

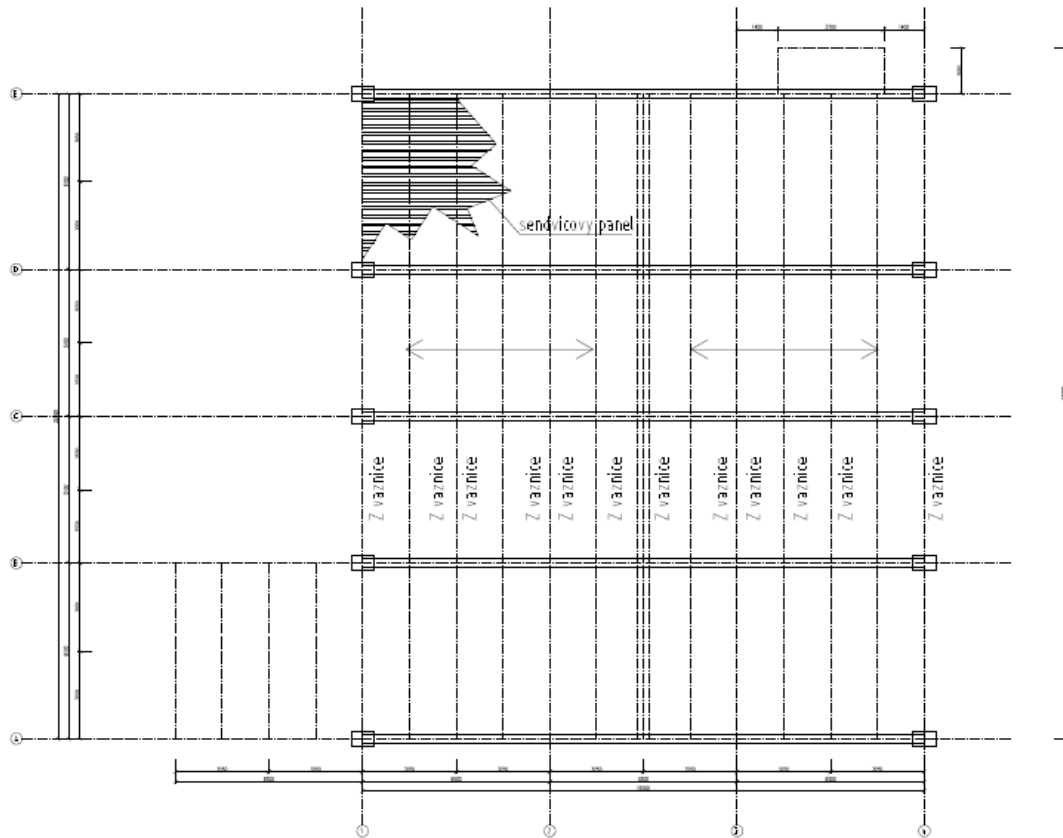
Obsah

1	Schéma haly	1
1.1	Varianta 1.....	1
1.2	Varianta 2.....	2
2	Zatížení.....	3
2.1	Zatížení sněhem	3
2.2	Zatížení větrem	3
2.2.1	Základní dynamický tlak větru	3
2.2.2	Maximální dynamický tlak větru.....	3
2.2.3	Tlak větru na svislé stěny	4
2.2.4	Tlak větru na střechu	4
3	Návrh opláštění haly	7
3.1	Stěnové panely	7
3.2	Střešní panely	8
4	Návrh vaznice	10
5	Typický rám.....	12
5.1	Zatěžovací stavy	12
5.2	Kombinace zatěžovacích stavů.....	14
5.3	Návrh sloupu.....	15
5.4	Návrh příčle.....	20
5.5	Rámový roh.....	24
5.5.1	Návrh svarů	24
5.5.2	Únosnost dílčích komponent	24
5.5.3	Výpočet únosnosti řad šroubů v tahu	25
5.5.4	Únosnost základních komponent.....	29
6	Štítová stěna	32
6.1	Zatěžovací stavy	32

6.2	Kombinace zatěžovacích stavů.....	34
6.3	Rohový sloup	35
6.4	Sloup štítové stěny.....	40
6.5	Příčel.....	45
7	Ztužení konstrukce.....	50
7.1	Příčná ztužidla	50
7.2	Podélná ztužidla.....	51
7.3	Střešní ztužidla	52
7.3.1	Svislice	52
7.3.2	Diagonály	53

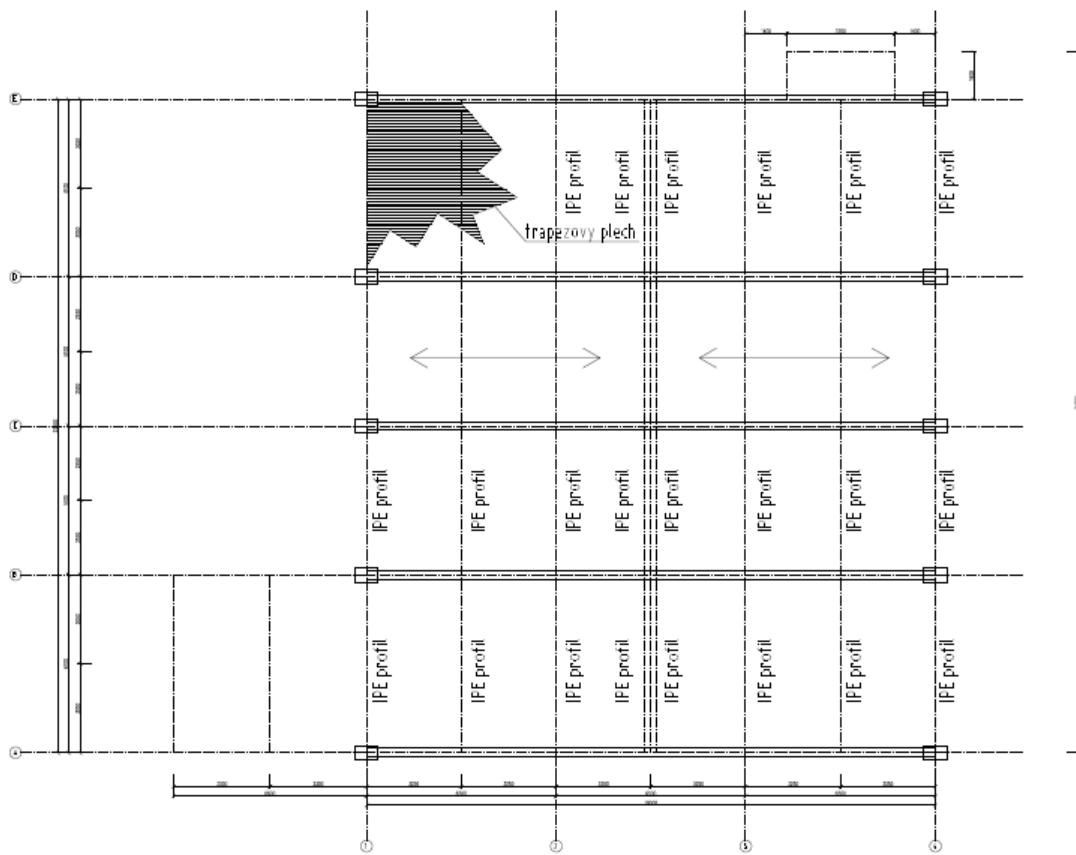
1 Schéma haly

1.1 Varianta 1



Obr. 1 – schéma 1. varianty

1.2 Varianta 2



Obr. 2 – schéma 2. varianty

2 Zatížení

Objekt je umístěn v předměstí Rychnova nad Kněžnou. Z toho vyplývají charakteristické hodnoty zatížení sněhem a větrem dle větrových a sněhových map ČR.

2.1 Zatížení sněhem

Sněhová oblast: IV

Charakteristická hodnota zatížení: $s_k = 2 \text{ kN/m}$

Tvarový součinitel: $\mu_1 = 0,8$

Tepelný součinitel: $C_t = 1$

Součinitel expozice: $C_e = 1$

$$s = \mu_1 * C_e * C_t * s_k = 0,8 * 1 * 1 * 2 = 1,6 \text{ kN/m}$$

Zatížení sněhem u atik

2.2 Zatížení větrem

Větrná oblast: II

Kategorie terénu: III

Výchozí základní rychlost větru: $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Součinitel směru: $c_{dir} = 1$

Součinitel ročního období: $c_{season} = 1$

Výchozí základní rychlost větru:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1 * 1 * 25 = 25 \text{ m/s}$$

2.2.1 Základní dynamický tlak větru

Měrná hmotnost vzduchu: $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

$$q_b = 0,5 * \rho * v_b^2 = 0,5 * 1,25 * 25^2 = 0,391 \text{ kPa}$$

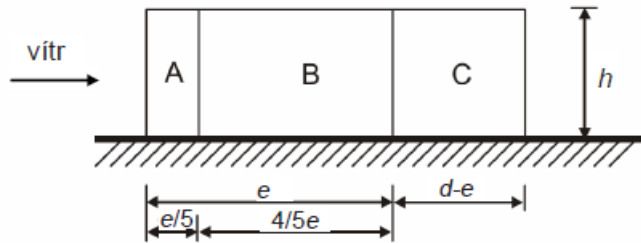
2.2.2 Maximální dynamický tlak větru

$$Q_{p(z)} = c_{e(z)} * q_{b,z} = 1,4 * 0,391 \text{ kPa}$$

2.2.3 Tlak větru na svislé stěny

Oblasti pro tlak větru na svislé stěny:

Pohled pro $e < d$



Obr. 3 - Oblasti pro svislé stěny

2.2.4 Tlak větru na střechu

Příčný směr:

Rozměry oblastí:

$$b = 22,4 \text{ m}; d = 19,5 \text{ m}$$

$$e = \min(2 \cdot h; b) = \min(2 \cdot 6,5; 22,4) = 13 \text{ m}$$

$$e/4 = 13/4 = 3,25 \text{ m}$$

$$e/10 = 13/10 = 1,3 \text{ m}$$

$$e/2 = 13/2 = 6,5 \text{ m}$$

Oblast	F	G	H	I
$C_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,7	-0,2
w_e [kN/m ²]	-0,656	-0,438	-0,383	-0,109

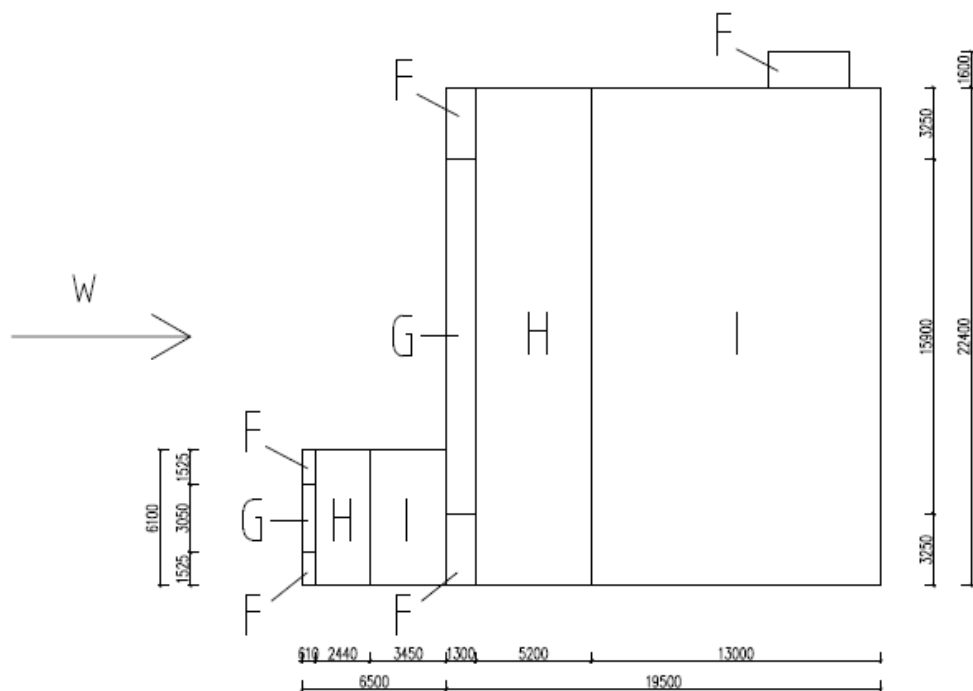
Přístavek:

$$e = \min(2 \cdot h; b) = \min(2 \cdot 5; 6,1) = 6,1 \text{ m}$$

$$e/4 = 6,1/4 = 1,525 \text{ m}$$

$$e/10 = 6,1/10 = 0,61 \text{ m}$$

$$e/2 = 6,1/2 = 3,05 \text{ m}$$



Obr. 4 – příčný směr větru (střecha)

Podélný směr:

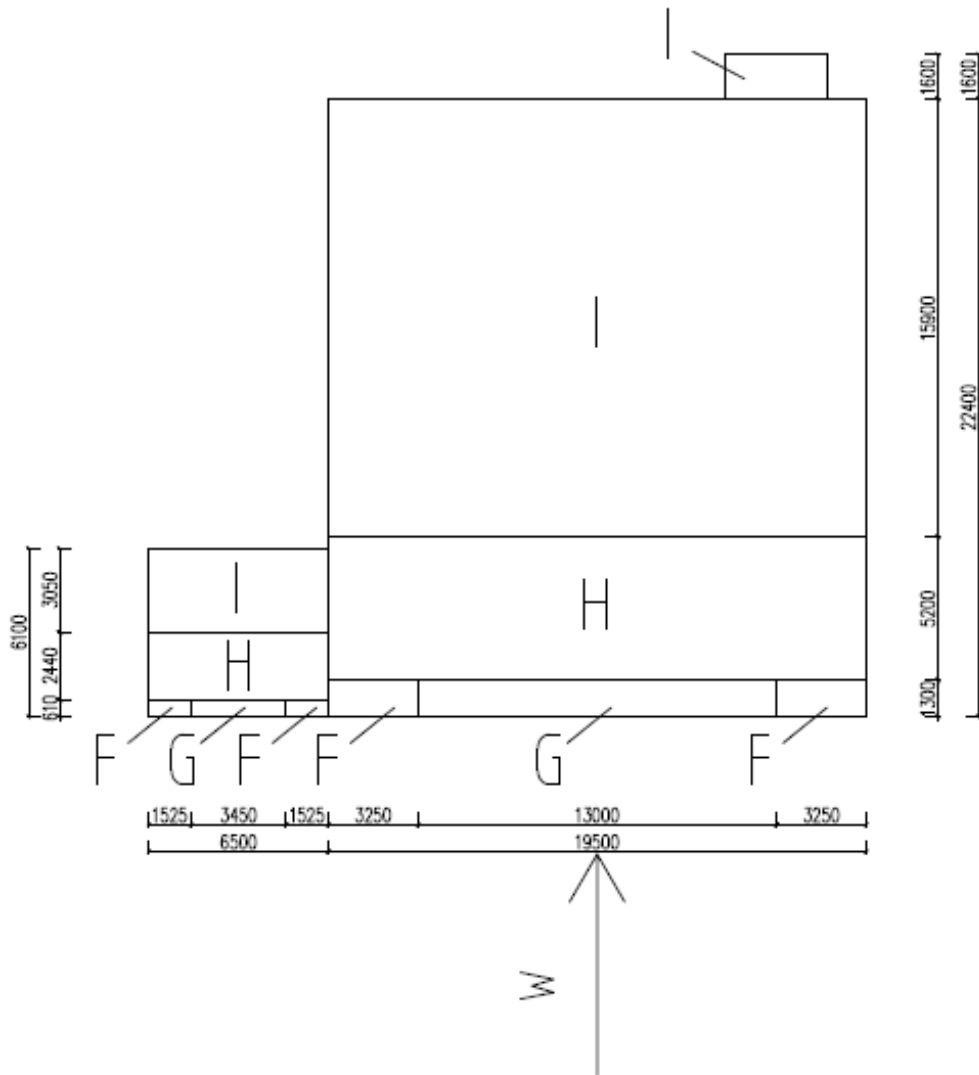
Rozměry oblastí:

$$e = 13 \text{ m}$$

$$e/4 = 13/4 = 3,25 \text{ m}$$

$$e/10 = 13/10 = 1,3 \text{ m}$$

$$e/2 = 13/2 = 6,5 \text{ m}$$



Obr. 5 – podélný směr větru (střecha)

3 Návrh opláštění haly

Jako obálku haly volím stěnové a střešní tepelně izolační sendvičové panely SATJAM. Důvodem je relativně malý rozpon (6,1 m) mezi nejvzdálenějšími vazbami. Stěnové panely jsou navrženy jako prostý nosník, střešní panely jako spojitý nosník o 3 a více polích.

3.1 Stěnové panely

Návrh: SATJAM PIRTECH PWS – PIR PL 120

STATICKÉ TABULKY SENDVIČOVÉ PANELE



■ Stěnový sendvičový panel PIRTECH PWS – PIR PL

Stěnový sendvičový panel PIRTECH PWS – PIR PL 120

Maximální zatížení stěnových panelů O JEDNOM POLI (prostý nosník) PWS – PIR PL 60, tloušťka plechového obkladu 0,50/0,50 mm, při výpočtu byl zohledněn teplotní rozdíl. **ZATÍŽENÍ VE SMĚRU OD PODPORY – SÁNÍ/DO PODPORY – TLAK**



Skupina barev	Podmínky zatížení	Zatížení v kN/m ² v závislosti na rozpětí L (m)																				
		1,50	1,80	2,10	2,40	2,70	3,00	3,30	3,60	3,90	4,20	4,50	4,80	5,10	5,40	5,70	6,00	6,30	6,60	6,90	7,20	
Skupina 1 velmi světlé barvy	tlak	L/100	14,31	11,92	10,22	8,94	7,95	7,08	5,94	5,03	4,28	3,67	3,16	2,74	2,39	2,09	1,84	1,62	1,44	1,28	1,14	1,02
		q _d	8,04	6,71	5,75	5,03	4,47	4,02	3,65	3,35	3,09	2,87	2,67	2,51	2,01	2,01	1,80	1,62	1,47	1,34	1,23	1,13
	sání	L/100	14,31	11,92	10,22	8,94	7,95	7,08	5,94	5,03	4,28	3,67	3,16	2,74	2,09	2,09	1,84	1,62	1,44	1,28	1,14	1,02
		q _d	5,72	4,77	4,08	3,57	3,18	2,85	2,60	2,39	2,19	2,04	1,91	1,77	1,40	1,40	1,25	1,13	1,02	0,93	0,86	0,78
Skupina 2 světlé barvy	tlak	L/100	14,31	11,92	10,22	8,94	7,95	7,08	5,94	5,03	4,28	3,67	3,16	2,74	2,09	2,09	1,84	1,62	1,44	1,28	1,14	1,02
		q _d	8,04	6,71	5,75	5,03	4,47	4,02	3,65	3,35	3,09	2,87	2,67	2,51	2,01	2,01	1,80	1,62	1,47	1,34	1,23	1,13
	sání	L/100	14,31	11,92	10,22	8,94	7,95	7,08	5,94	5,03	4,28	3,67	3,16	2,74	2,09	2,09	1,84	1,62	1,44	1,28	1,14	1,02
		q _d	5,72	4,77	4,08	3,57	3,18	2,85	2,60	2,39	2,19	2,04	1,91	1,77	1,40	1,40	1,25	1,13	1,02	0,93	0,86	0,78
Skupina 3 tmavé barvy	tlak	L/100	14,31	11,92	10,22	8,94	7,95	7,08	5,94	5,03	4,28	3,67	3,16	2,74	2,09	2,09	1,84	1,62	1,44	1,28	1,14	1,02
		q _d	8,04	6,71	5,75	5,03	4,47	4,02	3,65	3,35	3,09	2,87	2,67	2,51	2,01	2,01	1,80	1,62	1,47	1,34	1,23	1,13
	sání	L/100	14,31	11,92	10,22	8,94	7,95	7,08	5,94	5,03	4,28	3,67	3,16	2,74	2,09	2,09	1,84	1,62	1,41	1,24	1,09	0,96
		q _d	5,72	4,77	4,08	3,57	3,18	2,85	2,60	2,39	2,19	2,04	1,91	1,77	1,40	1,40	1,25	1,13	1,02	0,93	0,86	0,78

Obr. 6 – tabulka únosností (stěnové panely)

Tlak: $q_{Rd} = 1,47 \text{ kN/m}^2$; L/100: $1,44 \text{ kN/m}^2$

Sání: $q_{Rd} = 1,02 \text{ kN/m}^2$; L/100: $1,41 \text{ kN/m}^2$

Posouzení:

MSÚ

Tlak:

$$q_d = w_{eD} * \gamma = 0,383 * 1,5 = 0,575 \text{ kN/m}^2 \leq 1,47 \text{ kN/m}^2 = q_{Rd} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Sání:

$$q_d = w_{eA} * \gamma = -0,656 * 1,5 = -0,984 \text{ kN/m}^2 \leq 1,02 \text{ kN/m}^2 = q_{Rd} \quad \text{VYHOVUJE}$$

MSP

Tlak:

$$q_d = 0,575 \text{ kN/m}^2 \leq 1,44 \text{ kN/m}^2 = q_{Rd} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Sání:

$$q_d = -0,984 \text{ kN/m}^2 \leq 1,41 \text{ kN/m}^2 = q_{Rd}$$

VYHOVUJE

3.2 Střešní panely

Návrh: SATJAM PIRTECH PWD – PIR 100



STATICKÉ TABULKY SENDVIČOVÉ PANELE

■ Střešní sendvičový panel PIRTECH PWD – PIR

Střešní sendvičový panel PIRTECH PWD – PIR 100



Maximální zatížení stěnových panelů O TŘECH POLÍCH (spojitý nosník) PWD – PIR 100, tloušťka plechového obkladu 0,50/0,40 mm, při výpočtu byl zohledněn teplotní rozdíl. **ZATÍŽENÍ VE SMĚRU OD PODPORY – SÁNÍ/DO PODPORY – TLAK**

Skupina barev	Podmínky zatížení	Zatížení v kN/m ² v závislosti na rozpětí L (m)																				
		1,50	1,80	2,10	2,40	2,70	3,00	3,30	3,60	3,90	4,20	4,50	4,80	5,10	5,40	5,70	6,00	6,30	6,60	6,90	7,20	
Skupina 1 velmi světlé barvy	tlak	L/100	4,42	3,24	2,52	2,04	1,69	1,44	1,24	1,08	0,95	0,85	0,76	0,68	0,58	0,48	0,39	0,32	0,26	0,21	0,17	0,14
		q _s	5,52	4,61	3,95	3,45	3,06	2,75	2,49	2,28	2,10	1,95	1,82	1,70	1,59	1,49	1,41	1,31	1,20	1,11	1,02	0,95
	sání	L/100	4,35	3,27	2,59	2,14	1,82	1,59	1,40	1,25	1,14	1,04	0,95	0,88	0,82	0,77	0,72	0,68	0,65	0,61	0,58	0,56
		q _s	2,31	1,97	1,71	1,53	1,38	1,26	1,17	1,10	1,02	0,96	0,90	0,86	0,83	0,78	0,75	0,72	0,69	0,66	0,65	0,62
Skupina 2 světlé barvy	tlak	L/100	4,42	3,24	2,52	2,04	1,69	1,44	1,24	1,08	0,95	0,85	0,76	0,68	0,58	0,48	0,39	0,32	0,26	0,21	0,17	0,14
		q _s	5,52	4,61	3,95	3,45	3,06	2,75	2,49	2,28	2,10	1,95	1,82	1,70	1,59	1,49	1,41	1,31	1,20	1,10	1,02	0,95
	sání	L/100	4,19	3,14	2,49	2,05	1,75	1,52	1,34	1,20	1,09	1,00	0,92	0,85	0,79	0,74	0,70	0,66	0,62	0,59	0,57	0,54
		q _s	2,16	1,85	1,62	1,46	1,32	1,22	1,13	1,05	0,99	0,93	0,89	0,84	0,80	0,77	0,74	0,71	0,68	0,66	0,63	0,62
Skupina 3 tmavé barvy	tlak	L/100	4,42	3,24	2,52	2,04	1,69	1,44	1,24	1,08	0,95	0,85	0,76	0,68	0,58	0,48	0,39	0,32	0,26	0,21	0,17	0,14
		q _s	5,52	4,61	3,95	3,45	3,06	2,75	2,49	2,28	2,10	1,95	1,82	1,70	1,59	1,49	1,40	1,29	1,19	1,10	1,01	0,93
	sání	L/100	3,95	2,94	2,33	1,92	1,63	1,42	1,26	1,13	1,02	0,94	0,86	0,80	0,75	0,70	0,66	0,62	0,59	0,56	0,54	0,51
		q _s	1,94	1,67	1,49	1,34	1,23	1,14	1,07	0,99	0,95	0,89	0,84	0,81	0,77	0,74	0,71	0,69	0,66	0,63	0,62	0,60

Obr. 7 – tabulka únosností (střešní panely)

Tlak: $q_{Rd} = 4,61 \text{ kN/m}^2$; L/100: $3,24 \text{ kN/m}^2$

Sání: $q_{Rd} = 1,67 \text{ kN/m}^2$; L/100: $2,94 \text{ kN/m}^2$

Posouzení:

MSÚ

Kombinace pro tlak:

Zatížení	Char. zat. [kN/m ²]	Souč. [-]	Návrh. zat. [kN/m ²]
Stálé	0,12	1,35	0,162
Sníh	2,1	1,5	3,15
Celkem	2,22	-	3,312

$$q_d = 3,312 \text{ kN/m}^2 \leq 4,61 \text{ kN/m}^2 = q_{Rd}$$

MSP

$$q_d = 2,22 \text{ kN/m}^2 \leq 3,24 \text{ kN/m}^2 = q_{Rd}$$

Kombinace pro sání:

Zatížení	Char. zat. [kN/m ²]	Souč. [-]	Návrh. zat. [kN/m ²]
Stálé	0,12	1	0,12
Vítr	-0,656	1,5	-0,804
Celkem	-0,536	-	-0,684

MSÚ

$$q_d = 0,684 \text{ kN/m}^2 \leq 1,67 \text{ kN/m}^2 = q_{Rd}$$

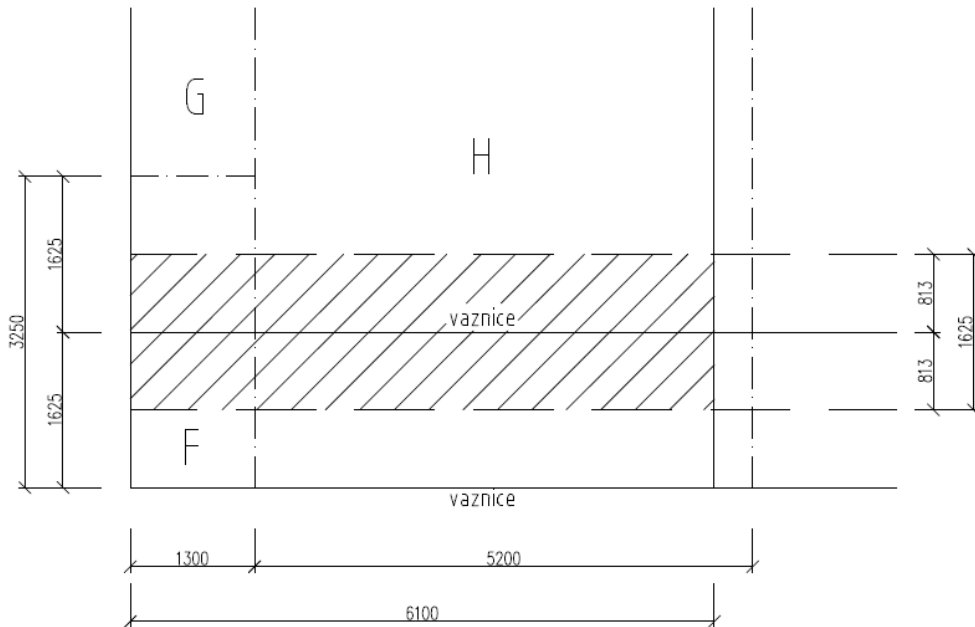
MSP

$$q_d = 0,684 \text{ kN/m}^2 \leq 2,94 \text{ kN/m}^2 = q_{Rd}$$

4 Návrh vaznice

L = 6,1 m

Příčný vítr:

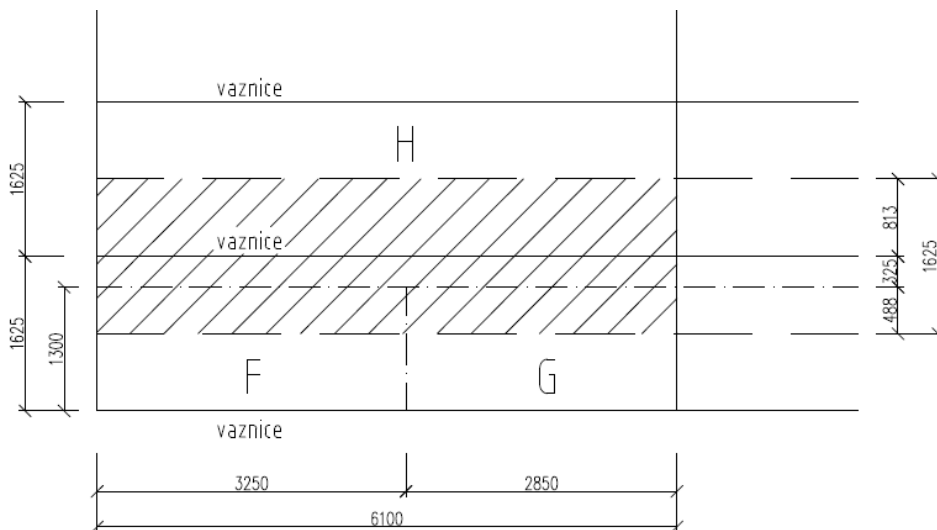


Obr. 8 – zatěžovací plochy vaznice (příčný vítr)

$$W_{ek} = -1/6 * (3,25 * 0,656 * 0,488 + 2,85 * 0,438 * 0,488 + 0,383 * 6,1 * 1,138)$$

$$W_{ek} = - 0,706 \text{ kN/m}$$

Podélný vítr:



Obr. 9 – zatěžovací plochy vaznice (podélný vítr)

$$w_{ek} = -1/6,1 * (3,25 * 0,656 * 0,488 + 2,85 * 0,438 * 0,488 + 6,1 * 0,383 * 1,138)$$

$$w_{ek} = -0,706 \text{ kN/m}$$

Kombinace zatížení:

KZS1: stálé + sníh

$$Q_k = 0,195 + 2,1 * 1,625 = 3,608 \text{ kN/m}$$

$$Q_{Ed,1} = 0,195 * 1,35 + 1,625 * 2,1 * 1,5 = 5,382 \text{ kN/m}$$

KZS2: min. stálé + vl. Tíha + sání

$$Q_k = 0,195 + 0,089 + (-0,717) = -0,433 \text{ kN/m}$$

$$Q_{Ed,2} = 0,195 + 0,089 - 0,717 * 1,5 = -0,792 \text{ kN/m}$$

NÁVRH: Z 300/2

Posouzení:

MSÚ:

$$\text{KZS 1: } q_{Ed,1} = 4,895 \text{ kN/m} \leq 5,17 \text{ kN/m} = q_{Rd,1}$$

$$\text{KZS 2: } q_{Ed,2} = -0,792 \text{ kN/m} \leq -4,59 \text{ kN/m} = q_{Rd,2}$$

MSP:

$$q_{EK} = 3,283 \text{ kN/m} \leq 6,96 \text{ kN/m} = q$$

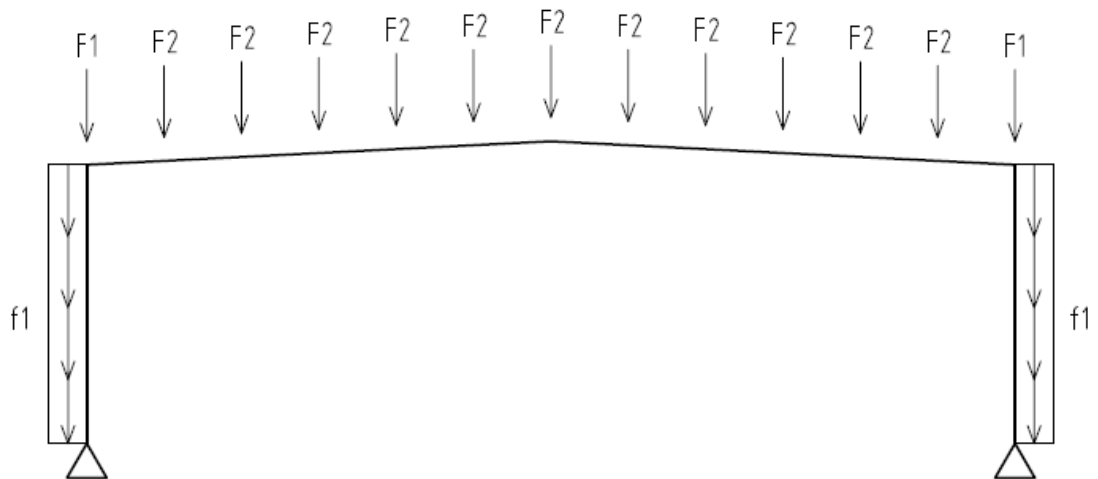
5 Typický rám

5.1 Zatěžovací stavy

ZS1) Vlastní tíha

ZS2) Ostatní stálé

-střešní a obvodový plášť, vaznice



Obr. 10 – schéma zatížení ZS2 typické vazby

Vaznice: 0,111 kN/m

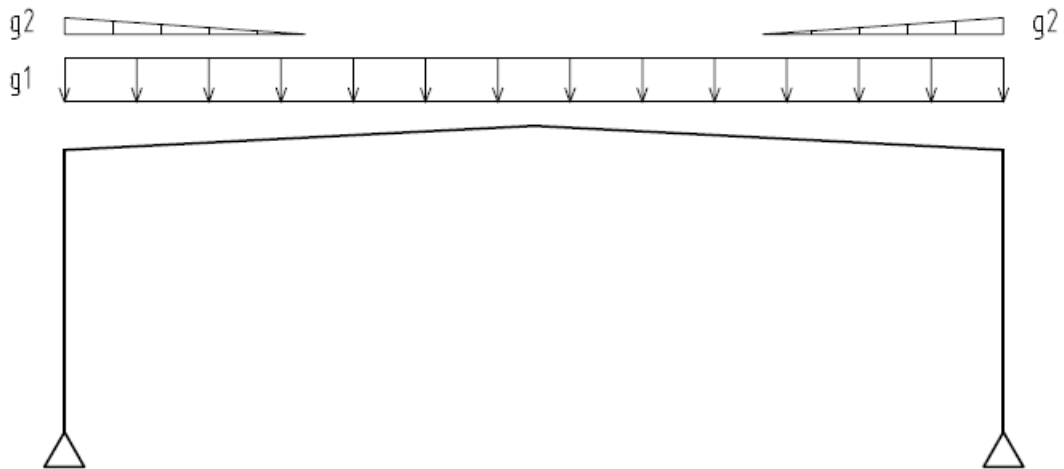
Sendvičový panel: 0,12 kN/m²

$$f_1 = 0,12 * 5,6 = 0,672 \text{ kN/m}$$

$$F_1 = 0,111 * 5,6 + 0,12 * 1,625/2 * 5,6 = 1,168 \text{ kN}$$

$$F_2 = 0,111 * 5,6 + 0,12 * 1,625 * 5,6 = 2,336 \text{ kN}$$

ZS3) Sníh

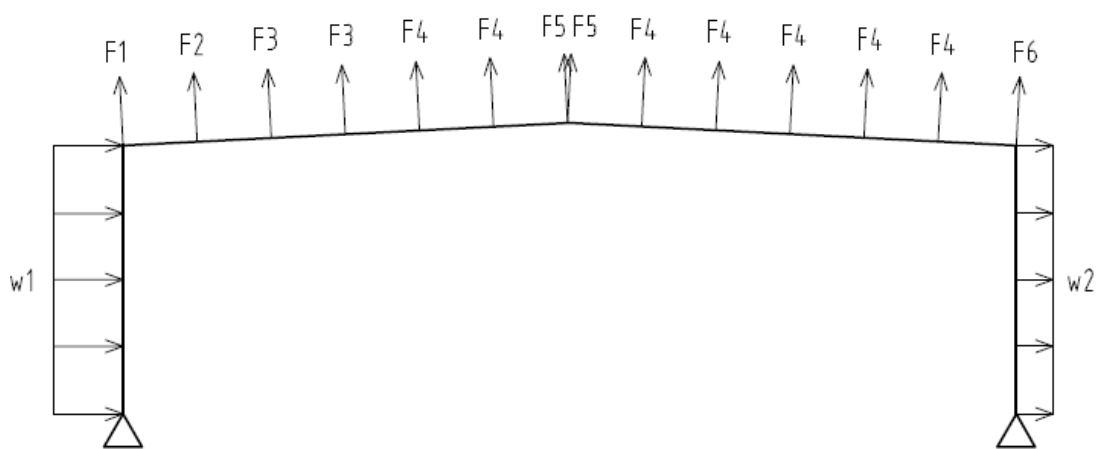


Obr. 11 – schéma zatížení ZS3 typické vazby

$$g_1 = 1,6 * 5,6 = 8,96 \text{ kN/m}$$

$$g_2 = 0,6 * 5,6 = 3,36 \text{ kN/m}$$

ZS4) Vítr příčný



Obr. 12 – schéma zatížení ZS4 typické vazby

$$W_1 = W_{eD} * 5,6 = 0,383 * 5,6 = 2,145 \text{ kN/m}$$

$$W_2 = W_{eE} * 5,6 = 0,164 * 5,6 = 0,918 \text{ kN/m}$$

$$F_1 = W_{eF} * 0,2 * 0,813 + W_{eG} * 5,4 * 0,813 = 0,656 * 0,2 * 0,813 + 0,438 * 5,4 * 0,813 = 2,03 \text{ kN/m}$$

$$F_2 = W_{eF} * 0,2 * 0,488 + W_{eG} * 0,488 * 5,4 + W_{eH} * 1,138 * 5,6 = 0,656 * 0,2 * 0,488 + 0,438 * 5,4 * 0,488 + 0,383 * 5,6 * 1,138 = 3,659 \text{ kN/m}$$

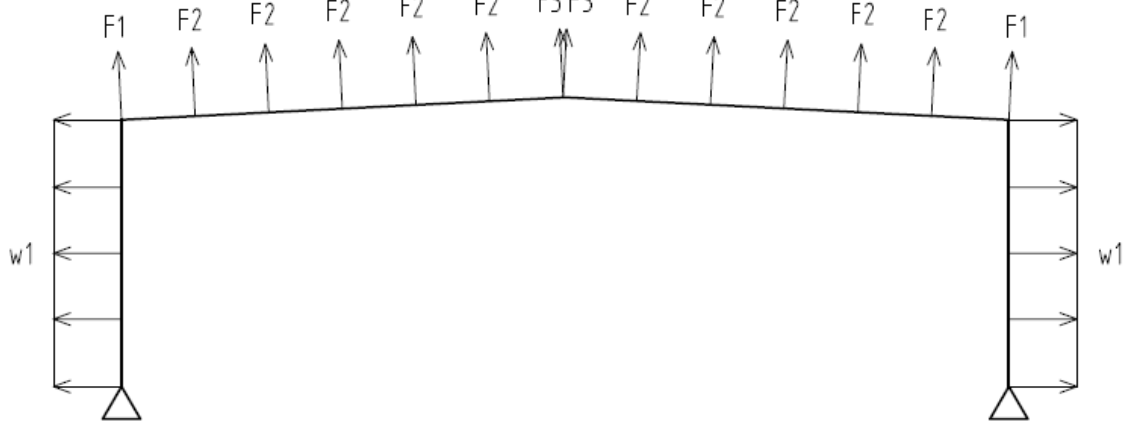
$$F_3 = W_{eH} * 5,6 * 1,625 = 0,383 * 5,6 * 1,625 = 3,485 \text{ kN/m}$$

$$F_4 = w_{el} * 5,6 * 1,625 = 0,109 * 5,6 * 1,625 = 0,992 \text{ kN/m}$$

$$F_5 = F_4 / 2 = 0,992 / 2 = 0,496 \text{ kN/m}$$

$$F_6 = w_{el} * 5,6 * 0,813 = 0,109 * 5,6 * 0,813 = 0,496 \text{ kN/m}$$

ZS5) Vítr podélný



Obr. 13 – schéma zatížení ZS5 typické vazby

$$w_1 = w_{eB} * 5,6 = 0,438 * 5,6 = 2,453 \text{ kN/m}$$

$$F_1 = w_{eH} * 0,813 * 3,45 + w_{el} * 2,15 * 0,813 = 0,383 * 0,813 * 3,45 + 0,109 * 0,813 * 2,15 = 1,265 \text{ kN/m}$$

$$F_2 = w_{eH} * 1,625 * 3,45 + w_{el} * 1,625 * 2,15 = 0,383 * 1,625 * 3,45 + 0,109 * 1,625 * 2,15 = 2,528 \text{ kN/m}$$

$$F_3 = F_2 / 2 = 2,528 / 2 = 1,264 \text{ kN/m}$$

5.2 Kombinace zatěžovacích stavů

$$\Psi_s = 0,5$$

$$\Psi_v = 0,6$$

MSÚ:

$$\text{KZS1) } ZS1 + ZS2 + 1,5 * ZS4$$

$$\text{KZS2) } ZS1 + ZS2 + 1,5 * ZS5$$

$$\text{KZS3) } 1,35 * ZS1 + 1,35 * ZS2 + 1,5 * ZS3 * \Psi_s + 1,5 * ZS4$$

$$\text{KZS4) } 1,35 * ZS1 + 1,35 * ZS2 + 1,5 * ZS3 * \Psi_s + 1,5 * ZS5$$

$$\text{KZS5) } 1,35 * ZS1 + 1,35 * ZS2 + 1,5 * ZS3 + 1,5 * ZS4 * \Psi_v$$

$$\text{KZS6) } 1,35 * ZS1 + 1,35 * ZS2 + 1,5 * ZS3 + 1,5 * ZS5 * \Psi_v$$

$$\text{KZS7) } 1,35 * \text{ZS1} + 1,35 * \text{ZS2} + 1,5 * \text{ZS3}$$

MSP:

$$\text{KZS1) } \text{ZS1} + \text{ZS2} + 1,0 * \text{ZS4}$$

$$\text{KZS2) } \text{ZS1} + \text{ZS2} + 1,0 * \text{ZS5}$$

$$\text{KZS3) } 1,0 * \text{ZS1} + 1,0 * \text{ZS2} + 1,0 * \text{ZS3} * \Psi_s + 1,0 * \text{ZS4}$$

$$\text{KZS4) } 1,0 * \text{ZS1} + 1,0 * \text{ZS2} + 1,0 * \text{ZS3} * \Psi_s + 1,0 * \text{ZS5}$$

$$\text{KZS5) } 1,0 * \text{ZS1} + 1,0 * \text{ZS2} + 1,0 * \text{ZS3} + 1,0 * \text{ZS4} * \Psi_v$$

$$\text{KZS6) } 1,0 * \text{ZS1} + 1,0 * \text{ZS2} + 1,0 * \text{ZS3} + 1,0 * \text{ZS5} * \Psi_v$$

$$\text{KZS7) } 1,0 * \text{ZS1} + 1,0 * \text{ZS2} + 1,0 * \text{ZS3}$$

5.3 Návrh sloupu

HEA 450

Průřezové charakteristiky:

$$h = 440 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 11,5 \text{ mm}$$

$$t_f = 21 \text{ mm}$$

$$r = 27 \text{ mm}$$

$$d = 344 \text{ mm}$$

$$A = 17\,800 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 6\,578 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 63\,720 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 2\,896 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 3\,216 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 189 \text{ mm}$$

$$I_z = 9\,465 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_z = 631 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 965,5 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_z = 72,9 \text{ mm}$$

$$I_t = 243,8 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 4\,148\,000 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

Rámové imperfekce:

$$\alpha_h = \frac{m}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{6,35}} = 0,79$$

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$$

$$\alpha_h = 0,79$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 0,866$$

Natočení sloupu:

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 0,79 \cdot 0,866 = 3,421 \cdot 10^{-3}$$

Návrhové hodnoty vnitřních sil:

$$N_{Ed} = 209,88 \cdot 10^3 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 581,9 \text{ kNm}$$

Křivky vzpěrnosti:

$$\frac{h}{b} = \frac{440}{300} = 1,47 > 1,2$$

$$t_f = 13,5 \leq 40 \text{ mm}$$

$$y - y \Rightarrow a$$

$$z - z \Rightarrow b$$

Zatřídění průřezu:

Posun neutrální osy:

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y} = \frac{209,88 \cdot 10^3}{11,5 \cdot 235} = 77,66 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 344 + 77,66}{344} = 0,726$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{344}{11,5} = 29,91 \leq 46,93$$

$$\frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 46,93$$

Zatřídění pásnice:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b \cdot 0,5 - t_w \cdot 0,5 - r}{t_f} = \frac{300 \cdot 0,5 - 11,5 \cdot 0,5 - 27}{21} = 5,58 < 9$$

$$9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9$$

Vzpěrné délky a součinitelé vzpěrnosti:

Štíhlosti sloupu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{5850}{189} = 30,95$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} = \frac{5850}{72,9} = 80,25$$

Poměrné štíhlosti:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{30,95}{93,9} = 0,33$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{80,25}{93,9} = 0,85$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

Součinitelé vzpěrnosti:

$$y \rightarrow a: x_y = 0,97$$

$$z \rightarrow a: x_z = 0,693$$

Vliv klopení:

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot k_{wt} = 1,85 + (1,85 - 1,77) \cdot 1,128 = 1,94 \geq 1,85$$

$$C_1 = 1,85$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 5850} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 4148 \cdot 10^4}{81000 \cdot 243,8 \cdot 10^4}} = 1,128$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} \\ = 2,789 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 1465 \cdot 10^4 \cdot 81000 \cdot 243,8 \cdot 10^4}}{5850}$$

$$M_{cr} = 1167,42 \text{ kNm}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right]$$

$$\mu_{Cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2} \right] = \frac{1,85}{1} \cdot \sqrt{1 + 1,128^2} = 2,789$$

Parametr nesymetrie průřezu:

$$\zeta_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 0$$

Parametr působíště zatížení:

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 0$$

χ_{LT} pro válcované I profily:

$$x_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,799 + \sqrt{0,799^2 - 0,75 \cdot 0,788^2}} = 0,823$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,788 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,788^2] = 0,799$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{631 \cdot 10^3 \cdot 235}{1167,42 \cdot 10^6}} = 0,356$$

$$\alpha_{LT} = 0,34$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

$$x_{LT} \leq \left\{ \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \right\} = \frac{1}{0,788^2} = 1,61$$

$$0,823 \leq 1$$

Posouzení sloupu na kombinaci tlaku a ohybu:

$$C_{my} = 0,9$$

$$C_{mLT} = 0,6 + \Psi \cdot 0,4 = 0,6 + 0 \cdot 0,4 = 0,6$$

Charakteristické hodnoty únosností v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 17800 \cdot 235 = 4183 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 3216 \cdot 10^3 \cdot 235 = 755,76 \text{ kNm}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{x_y \cdot N_{Rk}} \right) \\ c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{x_y \cdot N_{Rk}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min\{0,906; 0,937\} = 0,906$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{x_z \cdot \gamma_{M1} \cdot N_{Rk}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{x_z \cdot \gamma_{M1} \cdot N_{Rk}} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,85}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{209,88 \cdot 10^3}{0,693 \cdot 4184 \cdot 10^3} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{209,88 \cdot 10^3}{0,693 \cdot 4184 \cdot 10^3} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max\{0,982; 0,979\} = 0,982$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{x_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_M}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{x_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1$$

$$\frac{209,88 \cdot 10^3}{0,693 \cdot 4183 \cdot 10^3} + 0,982 \cdot \frac{581,9 \cdot 10^3}{1 \cdot 755,76 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,828 \leq 1$$

VYHOVUJE

Podmínky únosnosti:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_M}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1$$

$$\frac{209,88 \cdot 10^3}{4183 \cdot 10^3} + \frac{581,9 \cdot 10^6}{755,76 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,82 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = \frac{6578 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1} = 892,49 \text{ kN} > 162,33 \text{ kN} = V_{Ed}$$

$$\frac{892,49}{2} = 446,25 \text{ kN} > 162,35 \text{ kN} \Rightarrow \text{„MALÝ SMYK“}$$

VYHOVUJE

NAVRHUJI: HEA 450

5.4 Návrh příčle

IPE 550

$$h = 550 \text{ mm}$$

$$b = 210 \text{ mm}$$

$$t_w = 11,1 \text{ mm}$$

$$t_f = 17,2 \text{ mm}$$

$$r = 24 \text{ mm}$$

$$d = 467,6 \text{ mm}$$

$$A = 13\,440 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 7\,234 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 67\,120 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 2\,441 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 2\,787 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 223 \text{ mm}$$

$$I_z = 2\,668 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_z = 254,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 400,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_z = 44,5 \text{ mm}$$

$$I_t = 123,2 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 1\,884\,000 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

Návrhové hodnoty vnitřních sil:

$$N_{Ed} = -91,41 \cdot 10^3 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 560,45 \text{ kNm}$$

Křivky vzpěrnosti:

$$\frac{h}{b} = \frac{550}{210} = 2,62 > 1,2$$

$$t_f = 17,2 \leq 40 \text{ mm}$$

$$y - y \Rightarrow a$$

$$z - z \Rightarrow b$$

Zatřídění průřezu:

Posun neutrální osy:

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y} = \frac{91,41 \cdot 10^3}{11,1 \cdot 235} = 35,04 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 467,6 + 35,04}{467,6} = 0,575$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{467,6}{11,1} = 42,13 \leq 61,16$$

$$\frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0,575 - 1} = 61,16$$

Zatřídění pásnice:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b \cdot 0,5 - t_w \cdot 0,5 - r}{t_f} = \frac{210 \cdot 0,5 - 11,1 \cdot 0,5 - 24}{17,2} = 4,39 < 9$$

$$9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9$$

Vzpěrné délky a součinitelé vzpěrnosti:

Štíhlosti příčle:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{19500}{223} = 87,44$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} = \frac{4875}{44,5} = 109,55$$

Poměrné štíhlosti:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{87,44}{93,9} = 0,93$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{109,55}{93,9} = 1,17$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

Součinitelé vzpěrnosti:

$$y \rightarrow a: x_y = 0,714$$

$$z \rightarrow b: x_z = 0,495$$

LTBeamN:

$$\mu_{cr} = 4,633$$

$$M_{cr} = 2596,7 \text{ kNm}$$

x_{LT} pro válcované I profily:

$$x_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,595 + \sqrt{0,595^2 - 0,75 \cdot 0,47^2}} = 0,972$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,47 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,47^2] = 0,595$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2441 \cdot 10^3 \cdot 235}{2596,7 \cdot 10^6}} = 0,47$$

$$\alpha_{LT} = 0,34$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

$$x_{LT} \leq \left\{ \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \right\} = \frac{1}{0,47^2} = 4,53$$

$$0,972 \leq 1$$

Posouzení sloupu na kombinaci tlaku a ohybu:

Pro C_{my} :

$$\psi = \frac{-474,63}{-560,45} = 0,85$$

$$\alpha_s = \frac{201,61}{-560,45} = -0,38$$

$$-1 \leq \alpha_s < 0; 0 \leq \psi \leq 1 \rightarrow 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$0,1 - 0,8 \cdot (-0,38) = 0,404 \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,404$$

Pro C_{mLT} :

$$\psi = \frac{-179,42}{-560,45} = 0,32$$

$$\alpha_s = \frac{-369,12}{-560,45} = 0,66$$

$$-1 \leq \alpha_s < 0; 0 \leq \psi \leq 1 \rightarrow 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$0,1 - 0,8 \cdot 0,66 = 0,728 \geq 0,4$$

$$C_{mLT} = 0,728$$

Charakteristické hodnoty únosností v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 13440 \cdot 235 = 3158,4 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 3216 \cdot 10^3 \cdot 235 = 654,95 \text{ kNm}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{x_y \cdot N_{Rk}} \right) \\ c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{x_y \cdot N_{Rk}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min\{0,416; 0,417\} = 0,416$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{x_z \cdot N_{Rk}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{x_z \cdot N_{Rk}} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 1,17}{(0,728 - 0,25)} \cdot \frac{91,41 \cdot 10^3}{0,495 \cdot 3158,4 \cdot 10^3} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,728 - 0,25)} \cdot \frac{91,41 \cdot 10^3}{0,495 \cdot 4184 \cdot 10^3} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max\{0,986; 0,988\} = 0,988$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{x_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_M}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{x_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1$$

$$\frac{91,41 \cdot 10^3}{0,714 \cdot 3158,4 \cdot 10^3} + 0,416 \cdot \frac{560,45 \cdot 10^6}{0,972 \cdot 654,95 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,407 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\frac{N_{Ed}}{x_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_M}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{x_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1$$

$$\frac{91,41 \cdot 10^3}{0,495 \cdot 3158,4 \cdot 10^3} + 0,988 \cdot \frac{560,45 \cdot 10^6}{0,972 \cdot 654,95 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,928 \leq 1$$

VYHOVUJE

Podmínky únosnosti:

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_M} + \frac{M_{Ed}}{\gamma_M} \leq 1$$

$$\frac{91,41 \cdot 10^3}{3158,4 \cdot 10^3} + \frac{560,45 \cdot 10^6}{654,95 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,885 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = \frac{6578 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1} = 981,49 \text{ kN} > 162,33 \text{ kN} = V_{Ed}$$

$$\frac{981,49}{2} = 490,75 \text{ kN} > 162,35 \text{ kN} \Rightarrow \text{„MALÝ SMYK“}$$

VYHOVUJE

NAVRHUJI: IPE 550

5.5 Rámový roh

5.5.1 Návrh svarů

$$a_1 \geq \frac{t_f}{2} \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \cdot \left(\frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{2}} \right) = \frac{17,2}{2} \cdot \frac{235}{1} \cdot \frac{0,8 \cdot 1,25}{360 / \sqrt{2}} = 7,9 \text{ mm}$$

$$a_1 = 8 \text{ mm}$$

$$a_2 = 5 \text{ mm}$$

5.5.2 Únosnost dílčích komponent

Výztuha stojiny sloupu:

$$t_v \approx t_f = 17,2 \text{ mm}$$

$$t_v = 20 \text{ mm}$$

Tloušťka čelní desky:

$$t_d \approx t_f = 21 \text{ mm}$$

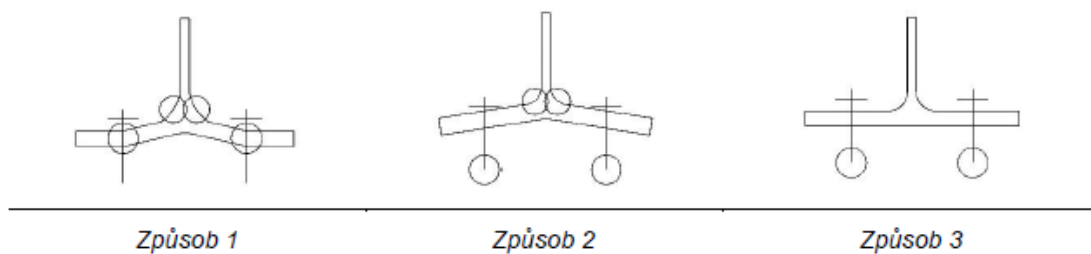
$$t_d = 25 \text{ mm}$$

5.5.3 Výpočet únosnosti řad šroubů v tahu

Pro výpočet únosnosti ohýbané pásnice a čelní desky se používá model náhradního T-průřezu. Jeho únosnost je dána jedním ze tří způsobů porušení podle následující tabulky.

Způsob porušení		Návrhová únosnost
Způsob 1	Plastický mechanismus (4 plastické klouby)	$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m}$
Způsob 2	Plastický mechanismus - páčení (2 plastické klouby + porušení šroubů v tahu)	$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$
Způsob 3	Porušení šroubů v tahu	$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd}$

Grafické znázornění způsobů porušení



Obr. 14 – způsoby porušení náhradního T-průřezu

Výpočet 1. řady šroubů:

Stanovení únosnosti pásnice náhradního T-průřezu.

$$c_1 = 0,8 \cdot 8 \cdot \sqrt{2} = 9,05 \text{ mm}$$

$$m_2 = 57,8 - c_1 = 57,8 - 9,05 = 48,75 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 \cdot a_3 \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 4,53 \text{ mm}$$

$$m = 60 - c_2 = 60 - 4,53 = 55,47 \text{ mm}$$

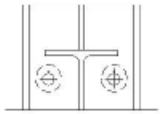
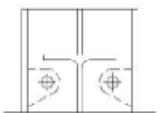
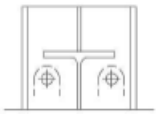
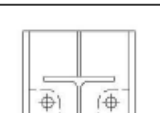
$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{55,47}{53,47 + 55} = 0,502$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{48,75}{53,47 + 55} = 0,441$$

$$\alpha = 6 \rightarrow \text{„z grafu“}$$

$$n = \min(e; 1,25 \cdot m) = \min(55; 1,25 \cdot 53,47) = \min(55, 69,34) = 55 \text{ mm}$$

Výpočet efektivní šířky pro náhradní T-profil pro řadu šroubů pod taženou pásnicí.

Řada šroubů působí samostatně		Kruhové porušení
		Nekruhové porušení
Řada šroubů působí jako součást skupiny		Kruhové porušení
		Nekruhové porušení

Obr. 15 – způsob porušení šroubů pod taženou pásnicí

Samostatně působící šrouby:

Kruhové porušení:

$$l_{eff,ep} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 55,47 = 348,53mm$$

Nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = \alpha \cdot m = 6 \cdot 55,47 = 332,82mm$$

Šrouby působí jako součást skupiny:

Kruhové porušení:

$$l_{eff,ep} = \pi \cdot m + p = \pi \cdot 55,47 + 130 = 304,26mm$$

Nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = 0,5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0,625 \cdot e)$$

$$l_{eff,nc} = 0,5 \cdot 130 + 6 \cdot 55,47 - (2 \cdot 55,47 + 0,625 \cdot 55) = 252,51mm$$

$$l_{eff,1} = \min(\min l_{eff,ep}; \min l_{eff,nc}) = \min(304,26 + 252,51) = 252,51mm$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 252,51mm$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 252,51 \cdot 21^2 \cdot \frac{235}{1} = 6,54 \cdot 10^6 Nmm$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 252,51 \cdot 21^2 \cdot \frac{235}{1} = 6,54 \cdot 10^6 Nmm$$

Návrhová únosnost šroubů pod taženou pásnicí:

Způsob 1:

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 6,54 \cdot 10^6}{55,47} = 471,61kN$$

Způsob 2:

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 6,54 \cdot 10^6 + 55 \cdot 2 \cdot 264,4 \cdot 10^3}{55,47 + 55} = 381,68kN$$

Způsob 3:

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 264,4 = 528,8kN$$

Únosnost řady šroubů pod taženou pásnicí je rovna:

$$F_{t,2,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(471,61; 381,68; 528,8) = 381,68kN$$

Výpočet 2. - 5. řady šroubů:

$$p = 130mm$$

$$c_2 = 0,8 \cdot a_3 \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 4,53mm$$

$$m = 60 - c_2 = 60 - 4,53 = 55,47mm$$

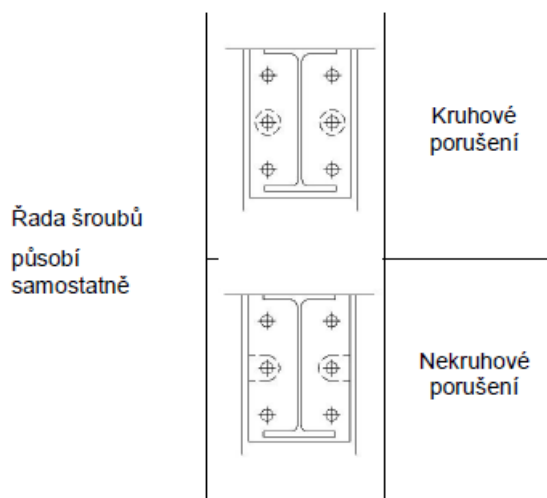
$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{55,47}{55,47 + 55} = 0,502$$

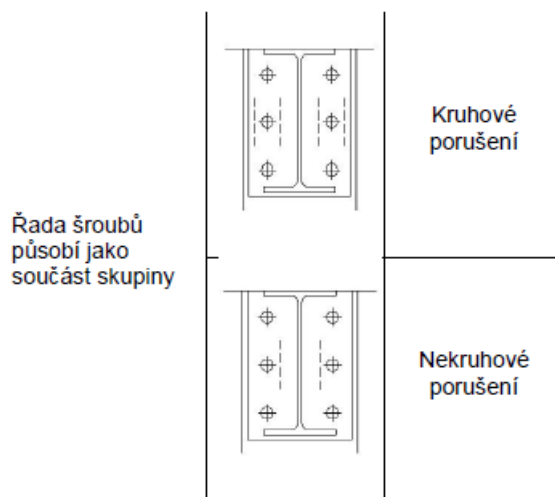
$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{130}{55,47 + 55} = 1,177$$

$$\alpha = 5,25 \rightarrow ,,z grafu"$$

$$n = \min(e; 1,25 \cdot m) = \min(55; 1,25 \cdot 55,47) = \min(55,69,34) = 55mm$$

Stanovení únosnosti pásnice náhradního T-průřezu.





Obr. 16 – způsob porušení vnitřních řad šroubů

Samostatně působící šrouby:

Kruhové porušení:

$$l_{eff,ep} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 55,47 = 348,53mm$$

Nekruhové porušení:

$$l_{eff,op} = 4 \cdot m + 1,25 \cdot e = 4 \cdot 55,47 + 1,25 \cdot 55 = 290,63mm$$

Šrouby působí jako součást skupiny:

Kruhové porušení:

$$l_{eff,ep} = 2 \cdot p = 2 \cdot 130 = 260mm$$

Nekruhové porušení:

$$l_{eff,op} = p = 130mm$$

$$l_{eff,1} = \min(\min l_{eff,ep}; \min l_{eff,op}) = \min(260; 130) = 130mm$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,op} = 130mm$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 130 \cdot 21^2 \cdot \frac{235}{1} = 3,37 \cdot 10^6 Nmm$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 130 \cdot 21^2 \cdot \frac{235}{1} = 3,37 \cdot 10^6 Nmm$$

Návrhová únosnost vnitřních řad šroubů:

Způsob 1:

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 3,37 \cdot 10^6}{55,47} = 243,01kN$$

Způsob 2:

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 3,37 \cdot 10^6 + 55 \cdot 2 \cdot 264,4 \cdot 10^3}{55,47 + 55} = 324,29 \text{ kN}$$

Způsob 3:

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 264,4 = 528,8 \text{ kN}$$

Únosnost vnitřní řady šroubů je rovna:

$$F_{t,2,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(243,01; 324,29; 528,29) = 243,01 \text{ kN}$$

6. a 7. řada šroubů navržena pouze konstrukčně.

Výpočet 8. řady šroubů – smyková únosnost:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 459 \cdot 800}{1,25} = 176,3 \text{ kN}$$

–ŠROUBY TŘ. 8.8 $\rightarrow \alpha_v = 0,6$

Únosnost v otlacení určíme pro menší hodnotu z tloušťky pásnice sloupu a čelní desky příčle.

$$t_f = 21 \text{ mm}$$

$$t_d = 25 \text{ mm}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{1,19 \cdot 0,89 \cdot 360 \cdot 27 \cdot 21}{1,25} = 172,95 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min\left\{\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right\} = \min\left\{\frac{80}{3 \cdot 30}; \frac{800}{360}; 1\right\} = \min\{0,89; 2,22; 1\} = 0,89$$

$$k_1 = \min\left\{\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; 2,5; 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0}\right\} = \min\left\{\frac{130}{3 \cdot 30} - \frac{1}{4}; 2,5; 2,8 \cdot \frac{55}{30}\right\}$$

$$k_1 = \min\{1,19; 2,5; 5,13\} = 1,19$$

Únosnost šroubu ve smyku:

$$V_{Rd} = 2 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 \cdot \min(176,3; 172,95) = 2 \cdot 172,95 = 345,9 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 345,9 \text{ kN} > 163,92 \text{ kN} = V_{Ed}$$

5.5.4 Únosnost základních komponent

Únosnost pásnice příčle v tlaku:

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{(h - t_f) \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2787 \cdot 10^3 \cdot 235}{(550 - 17,2) \cdot 1} = 1229,25 \text{ kN}$$

Podmínka:

$$F_{c,fb,Rd} \geq \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd}$$

$$F_{t,i,Rd} = 381,68 + 243,01 + 243,01 + 243,01 + 243,01 = 1353,72kN$$

$$1229,25kN < 1353,72kN$$

Nutná redukce spodní řady tažených šroubů.

Únosnost stěny sloupu ve smyku:

$$\frac{d}{t_w} \leq 69 \cdot \varepsilon = 69 \cdot 1 = 69$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{344}{11,5} = 29,91 < 69$$

Podmínka pro 1. třídu průřezu splněna.

Únosnost sloupu ve smyku:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot A_v^{HEA}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} + V_{wp,add,Rd} = \frac{0,9 \cdot 235 \cdot 6578}{\sqrt{3} \cdot 1} + 41,56 = 803,24 + 41,56$$

$$V_{wp,Rd} = 844,8kN$$

$$V_{wp,add,Rd} = \min\left(\frac{4 \cdot M_{pl,fc,Rd}}{d_s}; \frac{2 \cdot M_{pl,fc,Rd} + 2 \cdot M_{pl,st,Rd}}{d_s}\right) = \min(58,31; 41,56)$$

$$V_{wp,add,Rd} = 41,56kN$$

$$M_{pl,fc,Rd} = \frac{1}{4} \cdot b \cdot t_f^2 \cdot f_{yd} = \frac{1}{4} \cdot 300 \cdot 21^2 \cdot 235 = 7,77 \cdot 10^6 Nmm$$

$$V'_{wp,add,Rd} = \frac{4 \cdot 7,77 \cdot 10^6}{533} = 58,31kN$$

$$M_{pl,st,Rd} = \frac{1}{4} \cdot b \cdot t_f^2 \cdot f_{yd} = \frac{1}{4} \cdot 250 \cdot 15^2 \cdot 235 = 3,305 \cdot 10^6 Nmm$$

$$V'_{wp,add,Rd} = \frac{2 \cdot 7,77 \cdot 10^6 + 2 \cdot 3,305 \cdot 10^6}{533} = 41,56kN$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot (A_v^{HEA} + t_p \cdot d_p)}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} + V_{wp,add,Rd}$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot 235 \cdot (6578 + 15 \cdot 250)}{\sqrt{3} \cdot 1} + 41,56 = 1261,15 + 41,56 = 1302,71kN$$

$$1302,71kN > 1229,25kN$$

K jedné straně sloupu nutno přivařit plech 15x250mm.

Rozdělení sil momentové únosnosti:

Podmínka plastického rozdělení:

$$F_{t,i,Rd} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd}$$

$$381,68kN \leq 1,9 \cdot 264,4kN$$

$$381,68kN \leq 502,36kN$$

Řada	Únosnost řady [kN]	Síla pro M_{Rd} [kN]	Rameno h_i [mm]
1	381,68	381,68	966
2	243,01	243,01	836
3	243,01	243,01	706
4	243,01	243,01	576
5	243,01	118,54	446
Celkem	1353,72	1229,25	-

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= \Sigma F_{t,i,Rd} \cdot h_i \\ &= 381,68 \cdot 0,966 + 243,01 \cdot 0,836 + 243,01 \cdot 0,706 + 243,01 \cdot 0,576 \\ &\quad + 118,54 \cdot 0,446 \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 936,27kNm > 560,45kNm = M_{Ed} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{13440 \cdot 235}{1} = 3158,4kN$$

$$0,1 \cdot N_{pl,Rd} = 0,1 \cdot 3158,4 = 315,84kN > 97,89kN = N_{Ed} \quad \text{VYHOVUJE}$$

6 Štítová stěna

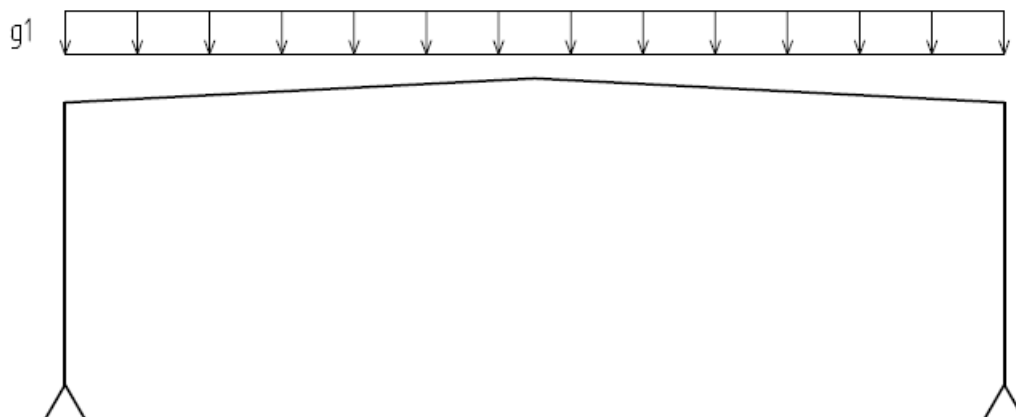
6.1 Zatěžovací stavy

ZS1) Vlastní tíha

Z programu SCIA Engineer 21.1

ZS2) Ostatní stálé

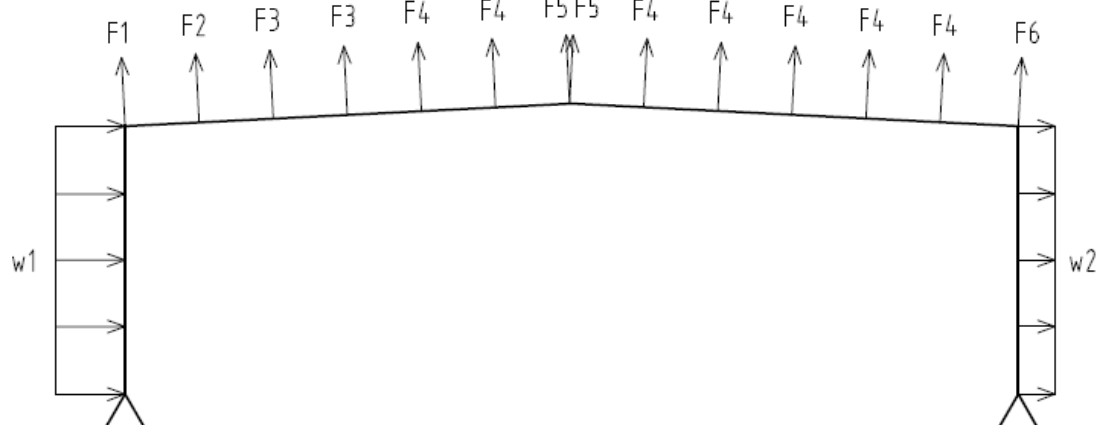
ZS3) Sníh



Obr. 17 – schéma zatížení ZS3 štítové vazby

$$g_1 = 1,834 * 3,05 + (2,2 - 1,834) * 0,5 * 3,05 = 6,15 \text{ kN/m}$$

ZS4) Vítr příčný



Obr. 18 – schéma zatížení ZS4 štítové vazby

$$W_1 = W_{eD} * 3,05 = 0,383 * 3,05 = 1,168 \text{ kN/m}$$

$$W_2 = W_{eE} * 3,05 = 0,164 * 3,05 = 0,5 \text{ kN/m}$$

$$F_1 = W_{eF} * 0,813 * 3,05 = 0,656 * 0,813 * 3,05 = 1,627 \text{ kN/m}$$

$$F_2 = w_{eF} * 0,488 * 3,05 + w_{eH} * 1,138 * 3,05 = 0,656 * 0,488 * 3,05 + 0,383 * 1,138 * 3,05 = 2,306 \text{ kN/m}$$

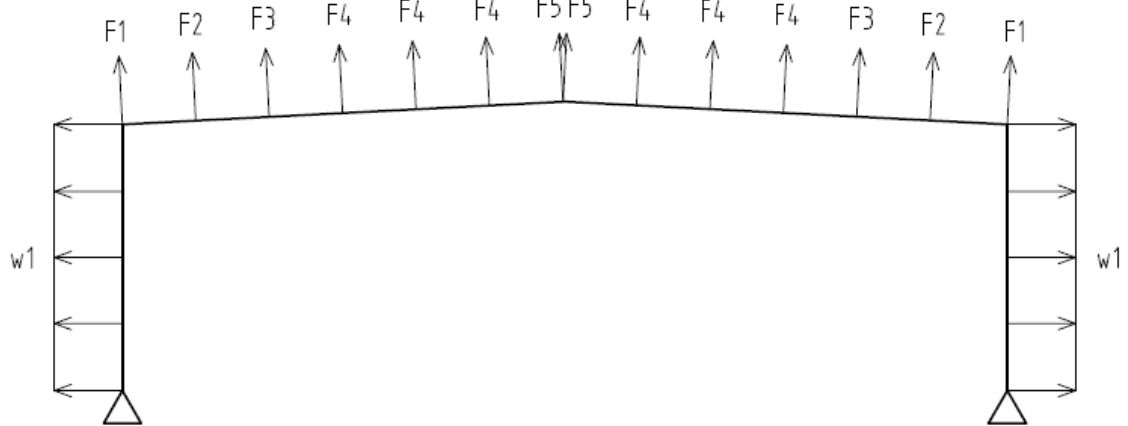
$$F_3 = w_{eH} * 1,625 * 3,05 = 0,383 * 1,625 * 3,05 = 1,898 \text{ kN/m}$$

$$F_4 = w_{eI} * 1,625 * 3,05 = 0,109 * 1,625 * 3,05 = 0,54 \text{ kN/m}$$

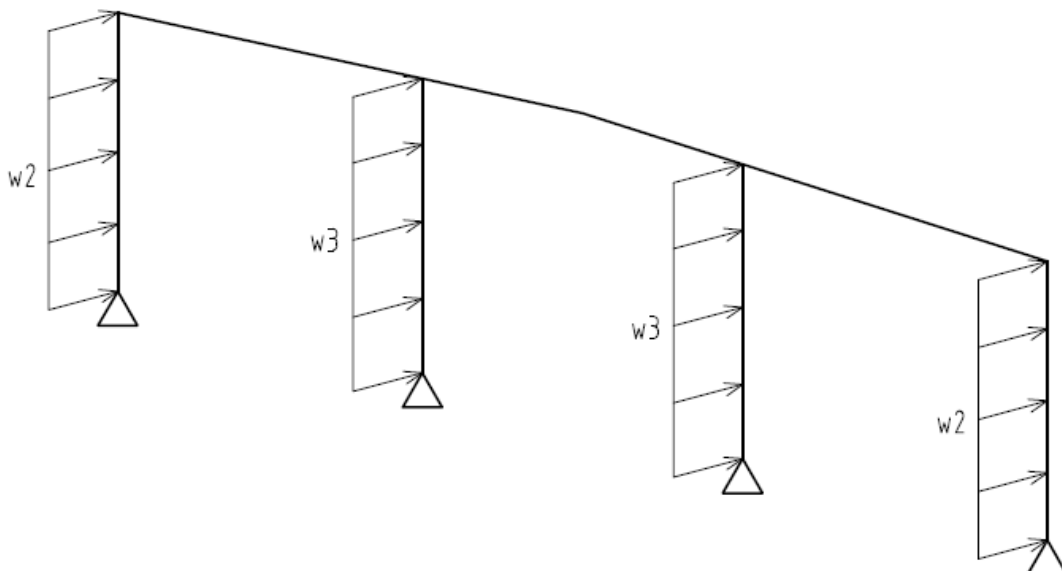
$$F_5 = F_4 / 2 = 0,54 / 2 = 0,27 \text{ kN/m}$$

$$F_6 = w_{eI} * 0,813 * 3,05 = 0,109 * 0,813 * 3,05 = 0,27 \text{ kN/m}$$

ZS5) Vítr podélný



Obr. 19 – schéma zatížení ZS5 štítové vazby



Obr. 20 – schéma zatížení sloupů ZS5

$$W_1 = W_{eH} * 2,6 + W_{eB} * 0,45 = 0,656 * 2,6 + 0,438 * 0,45 = 1,903 \text{ kN/m}$$

$$W_2 = W_{eD} * 3,25 = 0,383 * 3,25 = 1,245 \text{ kN/m}$$

$$W_3 = W_{eD} * 3,05 = 0,383 * 6,5 = 2,49 \text{ kN/m}$$

$$F_1 = W_{eF} * 0,813 * 1,3 + W_{eH} * 1,75 * 0,813 = 0,656 * 0,813 * 1,3 + 0,383 * 1,75 * 0,813 = 1,238 \text{ kN/m}$$

$$F_2 = W_{eF} * 1,625 * 1,3 + W_{eH} * 1,75 * 1,625 = 0,656 * 1,625 * 1,3 + 0,383 * 1,75 * 1,625 = 2,475 \text{ kN/m}$$

$$F_3 = W_{eF} * 0,813 * 1,3 + W_{eH} * 1,75 * 1,625 + W_{eG} * 1,3 * 0,813 = 0,656 * 0,813 * 1,3 + 0,383 * 1,75 * 1,625 + 0,438 * 1,3 * 0,813 = 2,245 \text{ kN/m}$$

$$F_4 = W_{eG} * 1,3 * 1,625 + W_{eH} * 1,75 * 1,625 = 0,438 * 1,3 * 1,625 + 0,383 * 1,75 * 1,625 = 2,014 \text{ kN/m}$$

$$F_5 = F_4 / 2 = 2,014 / 2 = 1,007 \text{ kN/m}$$

6.2 Kombinace zatěžovacích stavů

$$\Psi_s = 0,5$$

$$\Psi_v = 0,6$$

MSÚ:

$$\text{KZS1) } ZS1 + ZS2 + 1,5 * ZS4$$

$$\text{KZS2) } ZS1 + ZS2 + 1,5 * ZS5$$

$$\text{KZS3) } 1,35 * ZS1 + 1,35 * ZS2 + 1,5 * ZS3 * \Psi_s + 1,5 * ZS4$$

$$\text{KZS4) } 1,35 * ZS1 + 1,35 * ZS2 + 1,5 * ZS3 * \Psi_s + 1,5 * ZS5$$

$$\text{KZS5) } 1,35 * ZS1 + 1,35 * ZS2 + 1,5 * ZS3 + 1,5 * ZS4 * \Psi_v$$

$$\text{KZS6) } 1,35 * ZS1 + 1,35 * ZS2 + 1,5 * ZS3 + 1,5 * ZS5 * \Psi_v$$

$$\text{KZS7) } 1,35 * ZS1 + 1,35 * ZS2 + 1,5 * ZS3$$

MSP:

$$\text{KZS1) } ZS1 + ZS2 + 1,0 * ZS4$$

$$\text{KZS2) } ZS1 + ZS2 + 1,0 * ZS5$$

$$\text{KZS3) } 1,0 * ZS1 + 1,0 * ZS2 + 1,0 * ZS3 * \Psi_s + 1,0 * ZS4$$

$$\text{KZS4) } 1,0 * ZS1 + 1,0 * ZS2 + 1,0 * ZS3 * \Psi_s + 1,0 * ZS5$$

$$\text{KZS5) } 1,0 * ZS1 + 1,0 * ZS2 + 1,0 * ZS3 + 1,0 * ZS4 * \Psi_v$$

$$\text{KZS6) } 1,0 * ZS1 + 1,0 * ZS2 + 1,0 * ZS3 + 1,0 * ZS5 * \Psi_v$$

$$\text{KZS7) } 1,0 * ZS1 + 1,0 * ZS2 + 1,0 * ZS3$$

6.3 Rohový sloup

HEA 180

Průřezové charakteristiky:

$$h = 171 \text{ mm}$$

$$b = 180 \text{ mm}$$

$$t_w = 6,0 \text{ mm}$$

$$t_f = 9,5 \text{ mm}$$

$$r = 15 \text{ mm}$$

$$d = 122 \text{ mm}$$

$$A = 4\,525 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 1\,447 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 2\,510 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 293,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 324,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 74,5 \text{ mm}$$

$$I_z = 924,6 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_z = 102,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 156,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_z = 45,2 \text{ mm}$$

$$I_t = 14,8 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 60\,210 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

Rámové imperfekce:

$$\alpha_h = \frac{m}{\sqrt{h}} = \frac{4}{\sqrt{6,35}} = 1,59$$

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$$

$$\alpha_h = 1$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{4}\right)} = 0,79$$

Natočení sloupu:

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 1 \cdot 0,79 = 3,95 \cdot 10^{-3}$$

Návrhové hodnoty vnitřních sil:

$$N_{Ed} = 73,62 \cdot 10^3 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 29,48 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 8,51 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 7,51 \cdot 10^3 \text{ kN}$$

Křivky vzpěrnosti:

$$\frac{h}{b} = \frac{171}{180} = 0,95 \leq 1,2$$

$$t_f = 9,5 \leq 100 \text{ mm}$$

$$y - y \Rightarrow b$$

$$z - z \Rightarrow c$$

Zatřídění průřezu:

Posun neutrální osy:

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y} = \frac{73,62 \cdot 10^3}{6 \cdot 235} = 52,21 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 122 + 52,21}{122} = 0,928$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{122}{6} = 20,33 \leq 35,79$$

$$\frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 35,79$$

Zatřídění pásnice:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b \cdot 0,5 - t_w \cdot 0,5 - r}{t_f} = \frac{180 \cdot 0,5 - 6 \cdot 0,5 - 15}{9,5} = 7,58 < 9$$

$$9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9$$

Vzpěrné délky a součinitelé vzpěrnosti:

Štíhlosti sloupu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{5850}{74,5} = 78,52$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} = \frac{5850}{45,2} = 129,42$$

Poměrné štíhlosti:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{78,52}{93,9} = 0,84$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{129,42}{93,9} = 1,38$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

Součinitelé vzpěrnosti:

$$y \rightarrow b: x_y = 0,699$$

$$z \rightarrow c: x_z = 0,357$$

Vliv klopení:

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot k_{wt} = 1,77 + (1,85 - 1,77) \cdot 0,55 = 1,81 \leq 1,85$$

$$C_1 = 1,81$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 5850} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 60210 \cdot 10^6}{81000 \cdot 14,8 \cdot 10^4}} = 0,55$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 2,07 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 924,6 \cdot 10^4 \cdot 81000 \cdot 14,8 \cdot 10^4}}{5850}$$

$$M_{cr} = 169,6 \text{ kNm}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2} \right] = \frac{1,81}{1} \cdot \sqrt{1 + 0,55^2} = 2,07$$

Parametr nesymetrie průřezu:

$$\zeta_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 0$$

Parametr působišťe zatížení:

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 0$$

X_{LT} pro válcované I profily:

$$x_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,693 + \sqrt{0,693^2 - 0,75 \cdot 0,638^2}} = 0,9$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,638 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,638^2] = 0,693$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{293,6 \cdot 10^3 \cdot 235}{169,6 \cdot 10^6}} = 0,638$$

$$\alpha_{LT} = 0,34$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

$$x_{LT} \leq \left\{ \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \right\} = \frac{1}{0,638^2} = 2,46$$

$$0,9 \leq 1$$

Posouzení sloupu na kombinaci tlaku a ohybu:

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6$$

$$C_{mz} = 0,95$$

Charakteristické hodnoty únosností v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 4525 \cdot 235 = 1063,38 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 324,9 \cdot 10^3 \cdot 235 = 76,35 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{z,pl} \cdot f_y = 156,5 \cdot 10^3 \cdot 235 = 36,78 \text{ kNm}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{x_y \cdot N_{Rk}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{x_y \cdot N_{Rk}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot \left(1 + (0,84 - 0,2) \cdot \frac{73,62 \cdot 10^3}{0,699 \cdot 1063,38 \cdot 10^3} \right) \\ 0,6 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{73,62 \cdot 10^3}{0,699 \cdot 1063,38 \cdot 10^3} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min\{0,638; 0,648\} = 0,638$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{x_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{x_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 1,38}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{73,62 \cdot 10^3}{0,357 \cdot 1063,38 \cdot 10^3} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{73,62 \cdot 10^3}{0,357 \cdot 1063,38 \cdot 10^3} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max\{0,924; 0,945\} = 0,945$$

$$k_{zz} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{x_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ c_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{zz} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,95 \cdot \left(1 + (2 \cdot 1,38 - 0,6) \cdot \frac{73,62 \cdot 10^3}{0,357 \cdot 1063,38 \cdot 10^3} \right) \\ 0,95 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{73,62 \cdot 10^3}{0,357 \cdot 1063,38 \cdot 10^3} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{zz} = \min\{1,348; 1,208\} = 1,208$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,208 = 0,725$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{x_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_M}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{x_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{73,62 \cdot 10^3}{0,699 \cdot 1063,38 \cdot 10^3} + 0,638 \cdot \frac{29,48 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 76,35 \cdot 10^6} + 0,725 \cdot \frac{8,51 \cdot 10^6}{36,78 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,541 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_M}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1$$

$$\frac{73,62 \cdot 10^3}{0,357 \cdot 1063,38 \cdot 10^3} + 0,945 \cdot \frac{29,48 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 76,35 \cdot 10^6} + 1,208 \cdot \frac{8,51 \cdot 10^6}{36,78 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,879 \leq 1$$

VYHOVUJE

Podmínky únosnosti:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_M}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1$$

$$\frac{73,62 \cdot 10^3}{1063,38 \cdot 10^3} + \frac{29,48 \cdot 10^6}{76,35 \cdot 10^6} + \frac{8,51 \cdot 10^6}{36,78 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,687 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = \frac{1447 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1} = 196,33 \text{ kN} > 7,51 \text{ kN} = V_{Ed}$$

$$\frac{196,33}{2} = 98,17 \text{ kN} > 7,51 \text{ kN} \Rightarrow \text{„MALÝ SMYK“}$$

6.4 Sloup štítové stěny

HEA 140

Průřezové charakteristiky:

$$h = 133 \text{ mm}$$

$$b = 140 \text{ mm}$$

$$t_w = 5,5 \text{ mm}$$

$$t_f = 8,5 \text{ mm}$$

$$r = 12 \text{ mm}$$

$$d = 92 \text{ mm}$$

$$A = 3\,142 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 1\,012 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 1\,033 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 155,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 173,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 57,3 \text{ mm}$$

$$I_z = 389,3 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_z = 55,62 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 84,85 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_z = 35,2 \text{ mm}$$

$$I_t = 8,13 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 15\,060 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

Rámové imperfekce:

$$\alpha_h = \frac{m}{\sqrt{h}} = \frac{4}{\sqrt{6,35}} = 1,59$$

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$$

$$\alpha_h = 1$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{4}\right)} = 0,79$$

Natočení sloupu:

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 1 \cdot 0,79 = 3,95 \cdot 10^{-3}$$

Návrhové hodnoty vnitřních sil:

$$N_{Ed} = 40,62 \cdot 10^3 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 21,04 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 13,54 \text{ kNm}$$

Křivky vzpěrnosti:

$$\frac{h}{b} = \frac{133}{140} = 0,95 \leq 1,2$$

$$t_f = 8,5 \leq 100 \text{ mm}$$

$$y - y \Rightarrow b$$

$$z - z \Rightarrow c$$

Zatřídění průřezu:

Posun neutrální osy:

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y} = \frac{40,62 \cdot 10^3}{5,5 \cdot 235} = 31,43 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 92 + 31,43}{92} = 0,842$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{92}{5,5} = 16,73 \leq 39,82$$

$$\frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 39,82$$

Zatřídění pásnice:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b \cdot 0,5 - t_w \cdot 0,5 - r}{t_f} = \frac{140 \cdot 0,5 - 5,5 \cdot 0,5 - 12}{8,5} = 6,5 < 9$$

$$9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9$$

Vzpěrné délky a součinitelé vzpěrnosti:

Štíhlosti sloupu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{6183}{57,3} = 107,91$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} = \frac{6183}{35,2} = 175,65$$

Poměrné štíhlosti:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{107,91}{93,9} = 1,15$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{175,65}{93,9} = 1,87$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

Součinitelé vzpěrnosti:

$$y \rightarrow b: x_y = 0,506$$

$$z \rightarrow c: x_z = 0,22$$

Vliv klopení:

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot k_{wt} = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 0,35 = 1,13 \geq 1,13$$

$$C_1 = 1,13$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 6183} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 15060 \cdot 10^6}{81000 \cdot 8,13 \cdot 10^4}} = 0,35$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,20 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 389,3 \cdot 10^4 \cdot 81000 \cdot 8,13 \cdot 10^4}}{6183}$$

$$M_{cr} = 44,74 \text{ kNm}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2} \right] = \frac{1,13}{1} \cdot \sqrt{1 + 0,35^2} = 1,20$$

Parametr nesymetrie průřezu:

$$\zeta_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 0$$

Parametr působíště zatížení:

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 0$$

χ_{LT} pro válcované I profily:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,891 + \sqrt{0,891^2 - 0,75 \cdot 0,903^2}} = 0,759$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,903 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,903] = 0,891$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{155,4 \cdot 10^3 \cdot 235}{44,74 \cdot 10^6}} = 0,903$$

$$\alpha_{LT} = 0,34$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

$$\chi_{LT} \leq \left\{ \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \right\} = \frac{1}{0,903^2} = 1,23$$

$$0,759 \leq 1$$

Posouzení sloupu na kombinaci tlaku a ohybu:

$$C_{my} = 0,95$$

$$C_{mLT} = 0,95$$

Charakteristické hodnoty únosností v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3142 \cdot 235 = 738,37 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 173,5 \cdot 10^3 \cdot 235 = 40,77 \text{ kNm}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{x_y \cdot N_{Rk}} \right) \\ c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{x_y \cdot N_{Rk}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,95 \cdot \left(1 + (1,15 - 0,2) \cdot \frac{40,62 \cdot 10^3}{0,506 \cdot 738,37 \cdot 10^3} \right) \\ 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{40,62 \cdot 10^3}{0,506 \cdot 738,37 \cdot 10^3} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min\{1,048; 1,033\} = 1,033$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{x_z \cdot N_{Rk}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{x_z \cdot N_{Rk}} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 1,87}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{40,62 \cdot 10^3}{0,22 \cdot 738,37 \cdot 10^3} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{77,01 \cdot 10^3}{0,22 \cdot 738,37 \cdot 10^3} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max\{0,933; 0,964\} = 0,964$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{x_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_M}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{x_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1$$

$$\frac{40,62 \cdot 10^3}{0,506 \cdot 738,37 \cdot 10^3} + 1,033 \cdot \frac{21,04 \cdot 10^6}{0,759 \cdot 40,77 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,811 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\frac{N_{Ed}}{x_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_M}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{x_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1$$

$$\frac{40,62 \cdot 10^3}{0,22 \cdot 738,37 \cdot 10^3} + 0,964 \cdot \frac{21,04 \cdot 10^6}{0,759 \cdot 40,77 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,906 \leq 1$$

VYHOVUJE

Podmínky únosnosti:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_M}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1$$

$$\frac{40,62 \cdot 10^3}{738,37 \cdot 10^3} + \frac{21,04 \cdot 10^6}{40,77 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,571 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = \frac{1012 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1} = 137,31 \text{ kN} > 13,54 \text{ kN} = V_{Ed}$$

$$\frac{137,31}{2} = 68,66 \text{ kN} > 13,54 \text{ kN} \Rightarrow \text{,, MALÝ SMYK"}$$

VYHOVUJE

NAVRHUJI: HEA 140

6.5 Příčel

IPE 200

h = 200 mm

b = 100 mm

t_w = 5,6 mm

t_f = 8,5 mm

r = 12 mm

d = 159 mm

A = 2 848 mm²

A_{v,z} = 1 400 mm²

I_y = 1 943 * 10⁴ mm⁴

W_y = 194,3 * 10³ mm³

$$W_{pl,y} = 220,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 82,6 \text{ mm}$$

$$I_z = 142,4 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_z = 28,47 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 44,61 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_z = 22,4 \text{ mm}$$

$$I_t = 6,98 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 12\,990 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

Návrhové hodnoty vnitřních sil:

$$N_{Ed} = -14,45 \cdot 10^3 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = -39,57 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 36,41 \cdot 10^3 \text{ kN}$$

Křivky vzpěrnosti:

$$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2 > 1,2$$

$$t_f = 8,5 \leq 40 \text{ mm}$$

$$y - y \Rightarrow a$$

$$z - z \Rightarrow b$$

Zatřídění průřezu:

Posun neutrální osy:

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y} = \frac{14,45 \cdot 10^3}{5,6 \cdot 235} = 10,98 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 159 + 10,98}{159} = 0,569$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{159}{5,6} = 28,39 \leq 61,9$$

$$\frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0,569 - 1} = 61,9$$

Zatřídění pásnice:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b \cdot 0,5 - t_w \cdot 0,5 - r}{t_f} = \frac{100 \cdot 0,5 - 5,6 \cdot 0,5 - 12}{8,5} = 4,14 < 9$$

$$9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9$$

Tř. 1

Vzpěrné délky a součinitelé vzpěrnosti:

Štíhlosti příčle:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{6500}{82,6} = 78,69$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} = \frac{4875}{22,4} = 217,63$$

Poměrné štíhlosti:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{78,69}{93,9} = 0,84$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{217,63}{93,9} = 2,32$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

Součinitelé vzpěrnosti:

$$y \rightarrow a: x_y = 0,772$$

$$z \rightarrow b: x_z = 0,160$$

LTBeamN:

$$\mu_{cr} = 1,938$$

$$M_{cr} = 76,69 \text{ kNm}$$

X_{LT} pro válcované I profily:

$$x_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,787 + \sqrt{0,787^2 - 0,75 \cdot 0,772^2}} = 0,832$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,772 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,772^2] = 0,787$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{194,3 \cdot 10^3 \cdot 235}{76,69 \cdot 10^6}} = 0,772$$

$$\alpha_{LT} = 0,34$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

$$x_{LT} \leq \left\{ \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \right\} = \frac{1}{0,772^2} = 1,68$$

$$0,832 \leq 1$$

Posouzení sloupu na kombinaci tlaku a ohybu:

Pro C_{my} :

$$\psi = \frac{-39,47}{-39,57} = 0,997$$

$$\alpha_s = \frac{18,4}{-39,57} = -0,465$$

$$-1 \leq \alpha_s < 0; 0 \leq \psi \leq 1 \rightarrow 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$0,1 - 0,8 \cdot (-0,465) = 0,472 \geq 0,4$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,472$$

Charakteristické hodnoty únosností v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2848 \cdot 235 = 669,28 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 220,6 \cdot 10^3 \cdot 235 = 51,84 \text{ kNm}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{x_y \cdot N_{Rk}} \right) \\ c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{x_y \cdot N_{Rk}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,472 \cdot \left(1 + (0,84 - 0,2) \cdot \frac{14,45 \cdot 10^3}{0,772 \cdot 669,28 \cdot 10^3} \right) \\ 0,472 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{14,45 \cdot 10^3}{0,772 \cdot 669,28 \cdot 10^3} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min\{0,48; 0,483\} = 0,48$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{x_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{x_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 2,32}{(0,472 - 0,25)} \cdot \frac{14,45 \cdot 10^3}{0,160 \cdot 669,28 \cdot 10^3} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,472 - 0,25)} \cdot \frac{14,45 \cdot 10^3}{0,160 \cdot 669,28 \cdot 10^3} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max\{0,859; 0,939\} = 0,939$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{x_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_M}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{x_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1$$

$$\frac{14,45 \cdot 10^3}{0,772 \cdot 669,28 \cdot 10^3} + 0,48 \cdot \frac{39,57 \cdot 10^6}{0,832 \cdot 51,84 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,468 \leq 1 = 46,8 \%$$

VYHOVUJE

$$\frac{N_{Ed}}{x_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_M}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{x_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1$$

$$\frac{14,45 \cdot 10^3}{0,160 \cdot 669,28 \cdot 10^3} + 0,939 \cdot \frac{39,57 \cdot 10^6}{0,832 \cdot 51,84 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,996 \leq 1 = 99,6 \%$$

VYHOVUJE

Podmínky únosnosti:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_M}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1$$

$$\frac{14,45 \cdot 10^3}{669,28 \cdot 10^3} + \frac{39,57 \cdot 10^6}{51,84 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,785 \leq 1 = 78,5 \%$$

VYHOVUJE

Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = \frac{1400 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1} = 189,95 \text{ kN} > 36,41 \text{ kN} = V_{Ed}$$

$$\frac{189,95}{2} = \text{kN} > 94,98 \text{ kN} \Rightarrow \text{,,MALÝ SMYK''}$$

VYHOVUJE

NAVRHUJI: IPE 200

7 Ztužení konstrukce

7.1 Příčná ztužidla

Vnitřní síly:

KZS 3:

$$N_{Ed,tah} = 19,85 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,tlak} = -25,90 \text{ kN}$$

Návrh: TR 76/4

Zatřídění průřezu:

S235 – tř. 1

Průřezové charakteristiky:

$$A = 905 \text{ mm}^2$$

$$I = 58,8 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i = 25,5 \text{ mm}$$

Obě diagonály příčného ztužení mají stejný průřez.

Vzpěrná délka:

$$L = \sqrt{6500^2 + 6350^2} = 9086,94 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = L \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{N_{Ed,tah}}{N_{Ed,tlak}}} = 9086,94 \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{19,85 \cdot 10^3}{25,9 \cdot 10^3}} = 5925,3 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{5925,3}{25,5} = 232,36$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{232,36}{93,9} = 2,47$$

$$křivka c \rightarrow \alpha = 0,135$$

Tlaková únosnost:

$$N_{Rd,c} = x \cdot A \cdot f_y = 0,135 \cdot 905 \cdot 235 = 28,71 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,c} \geq N_{Ed,tlak}$$

$$28,71 \text{ kN} \geq 23,41 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,tlak}}{N_{Rd,c}} = \frac{25,9}{28,71} = 0,902 = 90,2 \%$$

VYHOVUJE

Tahová únosnost:

$$N_{Rd,t} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{905 \cdot 235}{1} = 212,27 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,t} \geq N_{Ed,tah}$$

$$212,27 \text{ kN} \geq 19,85 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,tah}}{N_{Rd,t}} = \frac{19,85}{212,27} = 0,094 = 9,4 \%$$

VYHOVUJE

7.2 Podélná ztužidla

$$F_1 = 32,98 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -212,48 \text{ kN}$$

Ekvivalentní počáteční naklonění sloupů:

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{5,85}} = 0,827$$

$$\alpha_h > \frac{2}{3} \rightarrow \alpha_h = \frac{2}{3}$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{5}\right)} = 0,775$$

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,775 = 2,583 \cdot 10^{-3}$$

Ekvivalentní vodorovná síla ze všech sloupů:

$$H_\phi = \phi \cdot \Sigma N = 5 \cdot 212,48 \cdot 2,583 \cdot 10^{-3} = 2,74 \text{ kN}$$

Reakce:

$$R_{H,Ed} = \frac{\Sigma F}{2} = \frac{32,98 + 2,74}{2} = 17,86 \text{ kN}$$

$$R_{V,Ed} = \pm \frac{(32,98 + 2,74) \cdot 5185}{6,1} = \pm 34,26 \text{ kN}$$

Diagonála:

$$D_{Ed} = \pm R_{H,Ed} \cdot \frac{7,76}{6,1} = \pm 22,72 \text{ kN}$$

TR 76/4

$$A = 905 \text{ mm}^2$$

$$i = 25,5 \text{ mm}$$

Vzpěrné délky:

$$L_{cr,z} = \frac{7760}{2} = 3880 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = 0,9 \cdot 3880 = 3492 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{3880}{25,5} = 152,16$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{152,16}{93,9} = 1,62$$

$$\text{křivka } a \rightarrow x = 0,326$$

Posouzení:

$$N_{b,Rd} = x \cdot A \cdot f_d = 0,326 \cdot 905 \cdot 235 = 69,33 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} > D_{Ed}$$

$$69,33 \text{ kN} > 22,72 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

7.3 Střešní ztužidla

7.3.1 Svislice

Vnitřní síly:

KZS 4:

$$N_{Ed,tlak} = -17,09 \text{ kN}$$

Návrh: TR 76/4

Zatřídění průřezu:

S235 – tř.1

Průřezové charakteristiky:

$$A = 905 \text{ mm}^2$$

$$I = 58,8 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i = 25,5 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka:

$$L = 6100 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = L = 6100 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6100}{25,5} = 239,22$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{239,22}{93,9} = 2,55$$

$$křivka c \rightarrow x = 0,128$$

Tlaková únosnost:

$$N_{Rd,c} = x \cdot A \cdot f_y = 0,128 \cdot 905 \cdot 235 = 27,22 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,c} \geq N_{Ed,tlak}$$

$$27,22 \text{ kN} \geq 17,09 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,tlak}}{N_{Rd,c}} = \frac{17,09}{27,22} = 0,628 = 62,8 \%$$

VYHOVUJE

7.3.2 Diagonály

Vnitřní síly:

KZS 4:

$$N_{Ed,tah} = 12,96 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,tlak} = -8,12 \text{ kN}$$

Návrh: TR 89/4

Zatřídění průřezu:

S235 – tř. 1

Průřezové charakteristiky:

$$A = 1068 \text{ mm}^2$$

$$I = 96,7 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i = 30,1 \text{ mm}$$

Obě diagonály příčného ztužení mají stejný průřez.

Vzpěrná délka:

$$L = \sqrt{6500^2 + 6100^2} = 8914,03 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = L \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{N_{Ed,tah}}{N_{Ed,tlak}}} = 8914,03 \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{8,12 \cdot 10^3}{12,96 \cdot 10^3}} = 6490,08 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6490,08}{30,1} = 215,64$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{215,64}{93,9} = 2,30$$

$$křivka c \rightarrow x = 0,154$$

Tlaková únosnost:

$$N_{Rd,c} = x \cdot A \cdot f_y = 0,154 \cdot 1068 \cdot 235 = 38,65 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,c} \geq N_{Ed,tlak}$$

$$38,65 \text{ kN} \geq 8,12 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,tlak}}{N_{Rd,c}} = \frac{8,12}{38,65} = 0,21 = 21,0 \%$$

VYHOVUJE

Tahová únosnost:

$$N_{Rd,t} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1068 \cdot 235}{1} = 250,98 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,t} \geq N_{Ed,tah}$$

$$250,98 \text{ kN} \geq 12,96 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,tah}}{N_{Rd,t}} = \frac{12,96}{250,98} = 0,052 = 5,2 \%$$

VYHOVUJE

Nelze zmenšovat profil kvůli limitní štíhlosti.

Seznam obrázků

Obr. 1 – schéma 1. varianty

Obr. 2 – schéma 2. varianty

Obr. 3 - Oblasti pro svislé stěny

Obr. 4 – příčný směr větru (střecha)

- Obr. 5 – podélný směr větru (střecha)
Obr. 6 – tabulka únosností (stěnové panely)
Obr. 7 – tabulka únosností (střešní panely)
Obr. 8 – zatěžovací plochy vaznice (příčný vítr)
Obr. 9 – zatěžovací plochy vaznice (podélný vítr)
Obr. 10 – schéma zatížení ZS2 typické vazby
Obr. 11 – schéma zatížení ZS3 typické vazby
Obr. 12 – schéma zatížení ZS4 typické vazby
Obr. 13 – schéma zatížení ZS5 typické vazby
Obr. 14 – způsoby porušení náhradního T-průřezu
Obr. 15 – způsob porušení šroubů pod taženou pásnicí
Obr. 16 – způsob porušení vnitřních řad šroubů
Obr. 17 – schéma zatížení ZS3 štítové vazby
Obr. 18 – schéma zatížení ZS4 štítové vazby
Obr. 19 – schéma zatížení ZS5 štítové vazby
Obr. 20 – schéma zatížení sloupů ZS5

Použité zdroje

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí
[2] ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí
[3] ČSN EN 1993: Navrhování ocelových konstrukcí
[4] <http://people.fsv.cvut.cz/~xjanderm/papers/OK01-Cv.pdf>
[5] <https://www.satjam.cz/sendvicove-panely>
[6] Z. Sokol, F. Wald: Ocelové konstrukce – Tabulky, ČVUT v Praze, 2019