



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

SPORTOVNÍ HALA

SPORT HALL

B – STATICKÝ VÝPOČET

STRUCTURAL DESIGN REPORT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radim Filip

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Horáček, Ph.D.

BRNO 2025

Obsah:

1	Popis konstrukce	7
2	Materiál.....	8
3	Zatížení	8
3.1	Stálé.....	9
3.1.1	ZS1 – Vlastní tíha	9
3.1.2	ZS2 – Ostatní stálé	10
3.2	Proměnné.....	13
3.2.1	ZS3 – Sníh plný.....	13
3.2.2	ZS4 – Sníh navátý	13
3.2.3	ZS5 – Sníh navátý (rozmístění dle národní přílohy)	14
3.2.4	ZS6 – Vítr příčný.....	15
3.2.5	ZS7 – Vítr podélný	18
3.2.6	ZS8 – Užité.....	20
3.3	Stabilitní síly.....	21
3.3.1	ZS9 – Stabilitní síly – tlak.....	21
3.3.2	ZS10 – Stabilitní síly – sání.....	22
4	Kombinace zatížení.....	22
4.1	Kombinace pro MSÚ.....	23
4.2	Kombinace pro MSP	25
5	Statický model.....	28
5.1	Příčný příhradový rám.....	28
5.1.1	Ověření tuhosti styčnicku	29
5.1.2	Vzpěrné délky	30
5.2	Tribuny.....	31
5.3	Sloupy štítových stěn.....	32

5.3.1	Vzpěrné délky	32
5.4	Paždíky a vaznice	33
5.5	Ztužidla	33
6	Stabilitní analýza	34
7	Posouzení na MSÚ	35
7.1	Horní pás vazníku	35
7.1.1	VZPĚRNÝ TLAK	36
7.2	Dolní pás vazníku	38
7.2.1	KOMBINACE OHYBU A TLAKU	39
7.2.2	TAH	43
7.2.3	ŠIKMÝ OHYB	43
7.2.4	SMYK	44
7.3	Výplňové pruty	45
7.3.1	VZPĚRNÝ TLAK	46
7.3.2	TAH	46
7.3.3	PODRUŽNÁ SVISLICE – VZPĚRNÝ TLAK	47
7.4	Krajní diagonály	48
7.4.1	VZPĚRNÝ TLAK	49
7.4.2	TAH	49
7.5	Střední diagonály	50
7.5.1	VZPĚRNÝ TLAK	51
7.5.2	TAH	51
7.6	Vnitřní pás sloupu	52
7.6.1	VZPĚRNÝ TLAK	53
7.6.2	KOMBINACE OHYBU A TLAKU	54
7.6.3	SMYK	55

7.6.4	TAH.....	55
7.7	Vnější pás sloupu.....	56
7.7.1	TAH.....	57
7.7.2	ŠIKMÝ OHYB.....	57
7.8	Pásky štítového sloupu.....	58
7.8.1	KOMBINACE OHYBU A TLAKU.....	59
7.8.2	VZPĚRNÝ TLAK – ČLENĚNÝ PRUT	60
7.9	Výplňové pruty štítového sloupu.....	63
7.9.1	VZPĚRNÝ TLAK	64
7.9.2	PODRUŽNÁ SVISLICE – VZPĚRNÝ TLAK	65
7.10	Vaznice a paždíky	66
7.10.1	ŠIKMÝ OHYB.....	67
7.10.2	KOMBINACE OHYBU A TLAKU.....	67
7.11	Konstrukce tribuny.....	69
7.11.1	KOMBINACE OHYBU A TLAKU.....	70
7.11.2	ŠIKMÝ OHYB.....	71
7.11.3	KLOPENÍ.....	72
7.12	Konstrukce tribuny – horní nosník.....	73
7.12.1	KLOPENÍ.....	74
7.12.2	SMYK	74
7.12.3	ŠIKMÝ OHYB.....	75
7.13	Tribuna – ztužidla.....	76
7.13.1	VZPĚRNÝ TLAK	77
7.14	Příčná a okapová ztužidla	78
7.14.1	VZPĚRNÝ TLAK	79
7.14.2	TAH.....	79

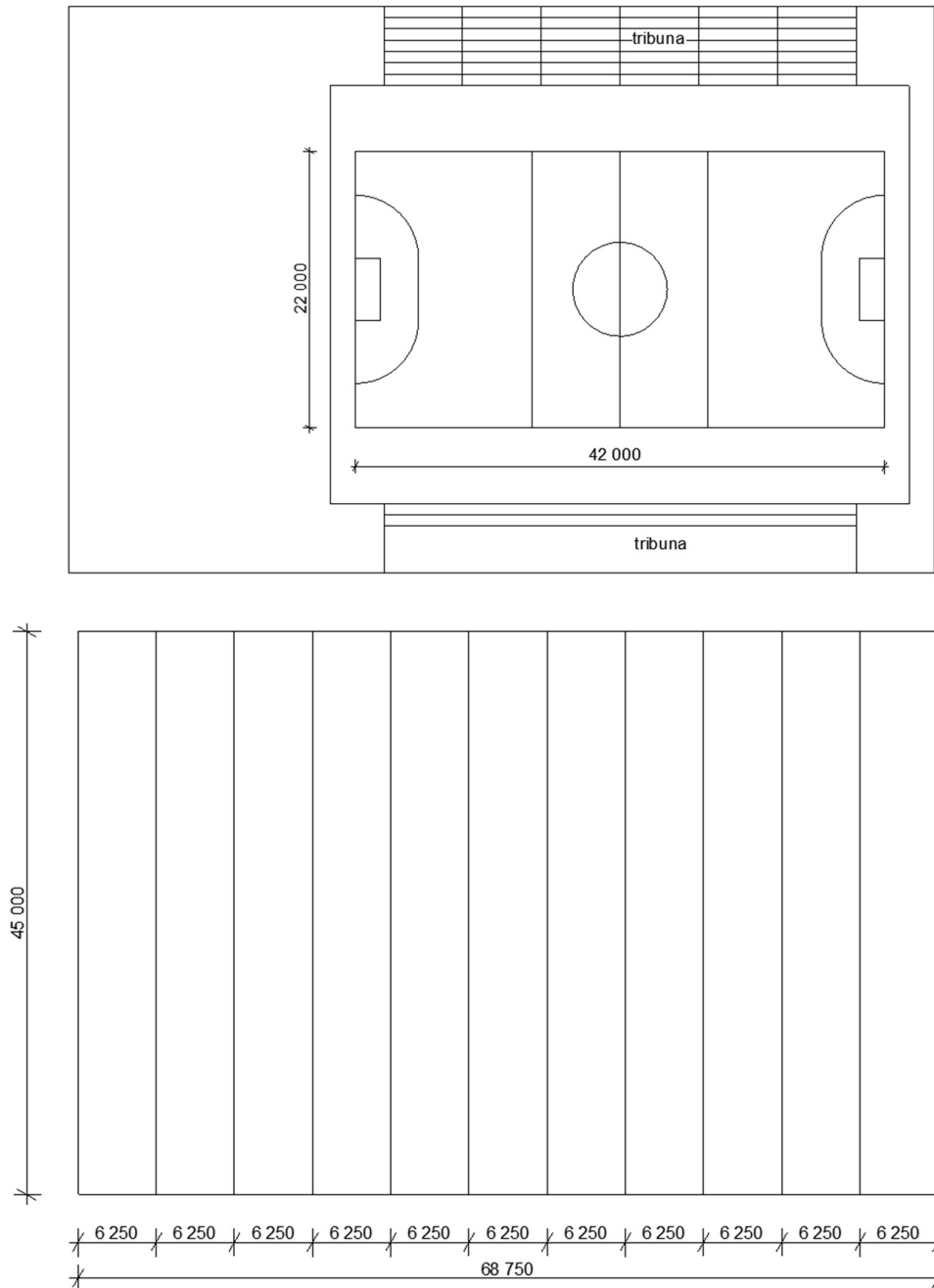
7.15	Podélná a stěnová ztužidla ve štítové stěně	80
7.15.1	VZPĚRNÝ TLAK	81
8	Posouzení na MSP	81
8.1	Stanovení třídy provedení	81
8.2	Posouzení svislého průhybu	82
8.2.1	Vazník	82
8.2.2	Vaznice	82
8.3	Posouzení vodorovného posunu	83
8.3.1	Sloup příčné vazby	83
8.3.2	Sloup štítové stěny	84
8.3.3	Paždík	84
9	Posouzení přípojků a detailů	85
9.1	Přípoj diagonál a svislic k pásu vazníku	85
9.1.1	Návrh v IDEA Statica:	85
9.1.2	Vlastní posudek:	85
9.2	Přípoj vaznice k hornímu pásu vazníku	86
9.2.1	Návrh v IDEA Statica:	87
9.2.2	Vlastní posudek:	87
9.3	Přípoj podélného ztužidla	89
9.3.1	Návrh v IDEA Statica:	89
9.3.2	Vlastní posudek:	89
9.4	Přípoj štítového sloupu	91
9.4.1	Návrh v IDEA Statica:	92
9.4.2	Vlastní posudek:	92
9.5	Přípoj tribuny se ztužidlem	95
9.5.1	Návrh v IDEA Statica:	95

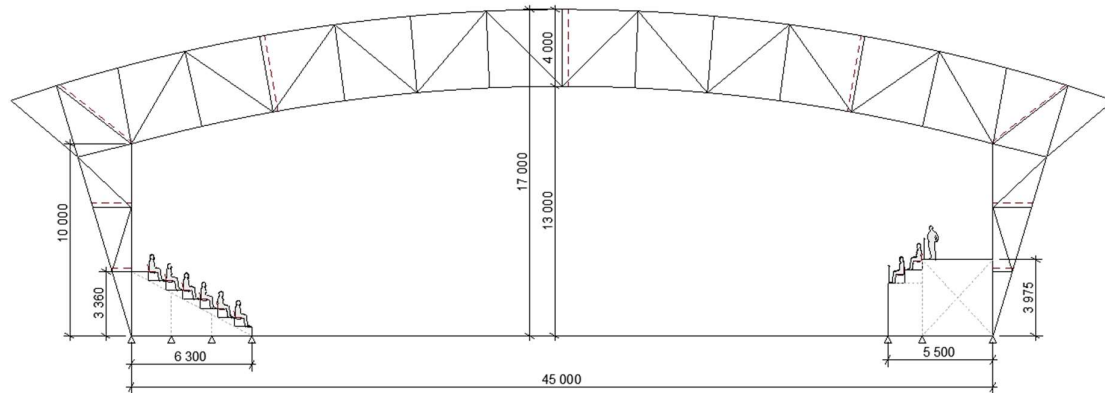
9.5.2	Vlastní posudek:.....	96
10	Kotvení.....	105
10.1	Čepový spoj.....	105
10.1.1	Návrh přípoje	105
10.1.2	Posouzení čepu.....	106
10.1.3	Posouzení plechů	107
10.2	Kotvení K1 – Hlavní sloupy s příčnými ztužidly.....	108
10.2.1	Návrh rozměrů a materiálu	108
10.2.2	Síly v jednotlivých kotvách.....	109
10.2.3	Posouzení vytažení kotvy.....	109
10.2.4	Posouzení betonu v soustředěném tlaku	110
10.2.5	Posouzení kotevních šroubů na tah	110
10.2.6	Posouzení kotvení na smyk	111
10.2.7	Posouzení svarů.....	112
10.2.8	Porušení vytržením betonového kuželu.....	114
10.3	Kotvení K2 – Hlavní sloupy bez příčných ztužidel	116
10.3.1	Návrh rozměrů a materiálu	116
10.3.2	Síly v jednotlivých kotvách.....	116
10.3.3	Posouzení betonu v soustředěném tlaku	117
10.3.4	Posouzení kotvení na smyk	117
10.3.5	Posouzení svarů.....	118
10.4	Kotvení K3 – Štítové sloupy	119
10.4.1	Návrh rozměrů a materiálu	119
10.4.2	Síly v jednotlivých kotvách.....	120
10.4.3	Posouzení betonu v soustředěném tlaku	120
10.4.4	Posouzení kotvení na smyk.....	121

10.4.5	Porušení vytržením betonového kuželu	122
10.4.6	Posouzení svarů.....	124
10.5	Kotvení K4 – tribuny.....	124
10.5.1	Síly v jednotlivých kotvách	125
10.5.2	Posouzení betonu v soustředěném tlaku	125
10.5.3	Posouzení kotvení na smyk	126
10.5.4	Porušení vytržením betonového kuželu	127
10.5.5	Posouzení svarů.....	129
11	Výkaz materiálu.....	129
12	Seznam zdrojů a literatury	130
12.1	Knižní zdroje	130
12.2	Normativní předpisy	130
12.3	Internetové zdroje	131

1 Popis konstrukce

Jedná se o ocelovou konstrukci sportovní haly s bočními tribunami o půdorysných rozměrech 68,75 x 45 metrů. Jednotlivé vazby jsou navrženy po 6,25m. Nosná konstrukce tribun je vždy v místě sloupů. Samotná hrací plocha je v objektu umístěna až u štítové stěny. Na opačné straně tak vzniká prostor pro vstup, šatny, sprchy a další místnosti zázemí. Štítové stěny budou částečně prosklené.





2 Materiál

Konstrukce je celá navržena z oceli S 235 JR.

Ocel S 235 JR

- $f_y = 235 \text{ MPa}$
- $f_u = 360 \text{ MPa}$
- $E = 210 \text{ GPa}$
- $G = 81 \text{ GPa}$

3 Zatížení

Stavba je situována do podhůří Orlických hor. Nachází se konkrétně ve městě Letohrad (okres Ústí nad Orlicí), v nadmořské výšce 356 m.n.m.

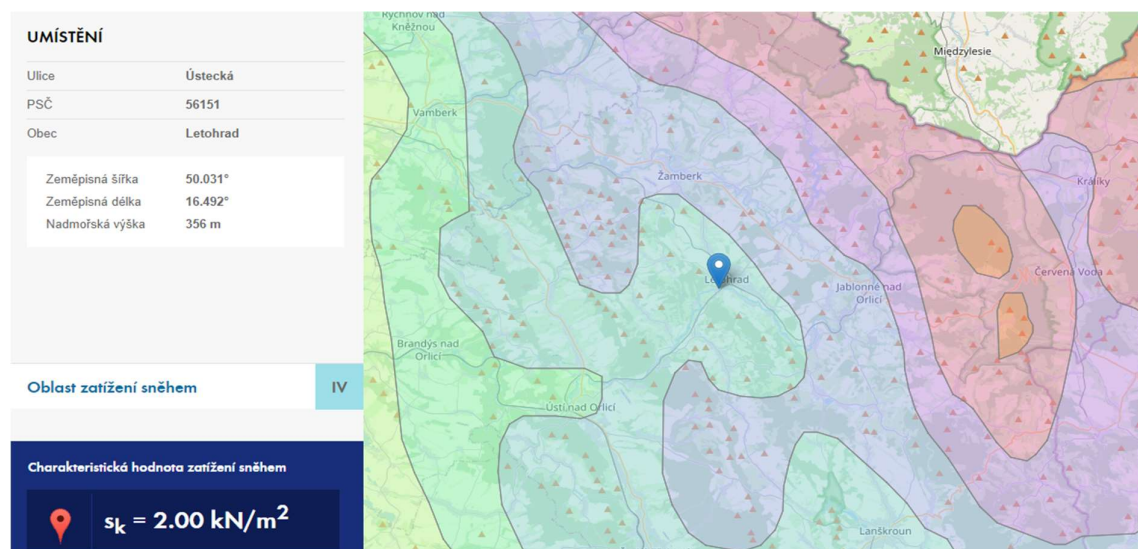
- sněhová oblast – IV.
- Typ krajiny – normální ($C_e = 1,0$)
- Větrná oblast – II.
- Kategorie terénu – III.

Kategorie terénu III

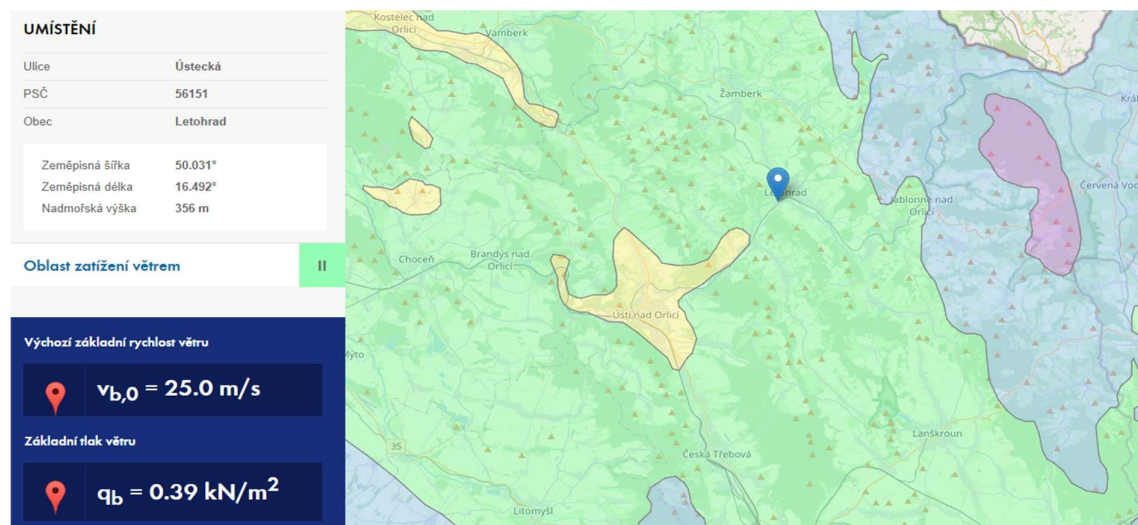
Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací, pozemními stavbami nebo izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstský terén, souvislý les).



Obrázek 1 – kategorie terénu dle ČSN EN 1991-1-4



Obrázek 2 – mapa sněhových oblastí (<https://www.dlupal.com/cs/reseni/online-sluzby/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim>)



Obrázek 3 – mapa větrných oblastí (<https://www.dlupal.com/cs/reseni/online-sluzby/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim>)

3.1 Stálé

3.1.1 ZS1 – Vlastní tíha

Vlastní tíha konstrukce je stanovena v softwaru Dlubal RFEM 5.31. Jedná se pouze o přibližně stanovenou hmotnost z osového modelu. Nejsou započítány konstrukční detaily a styčníky. Objemová hmotnost oceli je uvažována hodnotou $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$, tíhové zrychlení zaokrouhleně $g = 10 \text{ m/s}^2$.

3.1.2 ZS2 – Ostatní stálé

3.1.2.1 Opláštění střechy:

Na opláštění střechy budou použity střešní sendvičové panely od firmy Kingspan.

Konkrétně panel Kingspan X-Dek XD QuadCore určeným pro ploché, či zakřivené střechy.

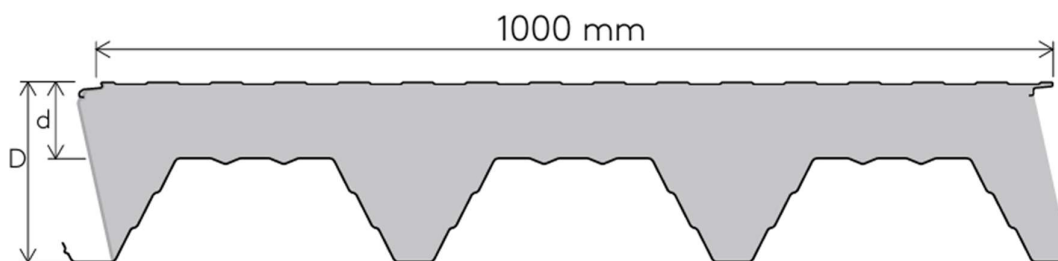
Kvůli malému sklonu střechy je nutno panely doplnit o PVC hydroizolaci.

Technické parametry

Kingspan izolační panely byly testovány v souladu se zkušebními normami a postupy uvedenými v EN 14509:2013.

Modulová šířka/Skladebná šířka [mm]	Tloušťka panelu [mm]	Hmotnost [kg/m ²]	Součinitel prostupu tepla U _d podle EN 14509:2013 [W/m ² ·K]	Vážená vzduchová neprůzvučnost R _w [dB] a faktory přizpůsobení spektru (C; C _{tr})	Potenciál globálního oteplování (GWP) pro moduly A1-A3 [kg CO ₂ -eq./m ²]	Potenciál globálního oteplování (GWP) pro moduly A-C [kg CO ₂ -eq./m ²]
1 000 / 1 000	80	19,15	0,22	24 (-2; -3) dB	25,4	30,4
	100	19,91	0,18	24 (-2; -3) dB	28,4	34,6
	140	21,43	0,13	24 (-2; -3) dB	34	42,5

Obrázek 4 Technické parametry střešního panelu Kingspan (<https://www.kingspan.com>)



- Hmotnost panelu – $19,91 \text{ kg/m}^2 = 0,1991 \text{ kN/m}^2$

Obrázek 5 – řez střešním panelem (<https://www.kingspan.com>)

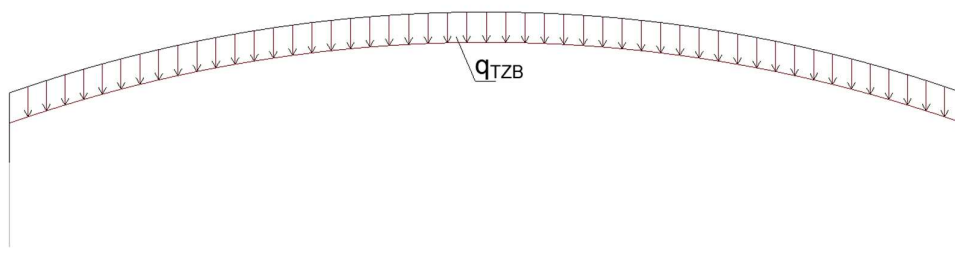
V hmotnosti není započítána hydroizolace (zhruba $0,02 \text{ kN/m}^2$). Celkovou tíhu zaokrouhlím na $0,22 \text{ kN/m}^2$.

3.1.2.2 Technická zařízení:

Rozvody vzduchotechniky, osvětlení apod.

Odhad – $q_{\text{tzB}} = 1,0 \text{ kN/m}$

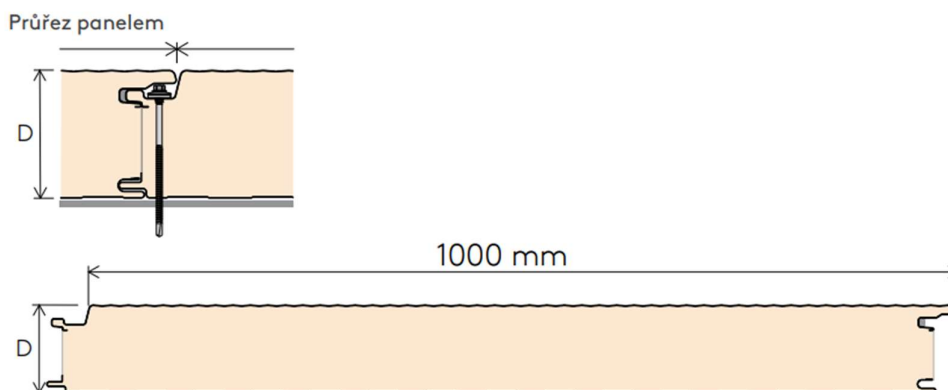
Budu uvažovat po celé délce dolního pásu vazníku.



3.1.2.3 Opláštění stěn:

Opláštění plnými fasádními panely:

Budou použity izolační stěnové panely Kingspan. Konkrétně Kingspan AT fasádní stěnový panel se skrytým kotvením.



Obrázek 6 – řez stěnovým panelem (<https://www.kingspan.com>)

Modulová šířka / Skladebná šířka [mm]	Tloušťka panelu [mm]	Hmotnost	Součinitel prostupu tepla U _d podle EN 14509:2013 [W/m ² ·K]	Potenciál globálního oteplování (GWP) pro moduly A1-A3	Potenciál globálního oteplování (GWP) pro moduly A-C
1 000/1 000	60	11,18 kg/m ²	0,37	No	No
	80	11,94 kg/m ²	0,28		
	100	12,7 kg/m ²	0,22		
	120	13,46 kg/m ²	0,19		
	140	14,22 kg/m ²	0,16		
	150	14,6 kg/m ²	0,15		
	170	15,36 kg/m ²	0,13		

Obrázek 7 – Technické parametry stěnového panelu Kingspan (<https://www.kingspan.com>)

- Hmotnost panelu – $12,7 \text{ kg/m}^2 = 0,127 \text{ kN/m}^2$

V hmotnosti není započítána hydroizolace (zhruba $0,02 \text{ kN/m}^2$). Celkovou tíhu zaokrouhlím na $0,15 \text{ kN/m}^2$.

Prosklená fasáda:

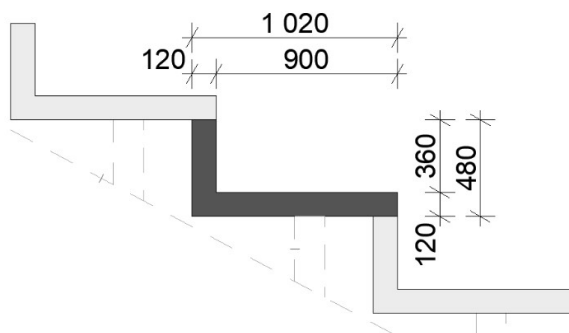
Na štítových stěnách bude navrženo prosklení. Bude kombinované s plnými panely.

V modelu však zjednodušeně uvažuji vyšší zatížení na celou štítovou stěnu. Hmotnost panelu odhaduji dle prospektů výrobců skleněných fasád.

- Hmotnost skleněného panelu – $50 \text{ kg/m}^2 = 0,50 \text{ kN/m}^2$.

3.1.2.4 Konstrukce tribun:

Konstrukce tribun je navržena z prefabrikovaných železobetonových dílců o tloušťce 120 mm. Ty budou přikotveny k ocelové konstrukci tribuny.



Obrázek 8 – ŽB prefabrikát konstrukce tribuny
(<http://old.konstrukce.cz/clanek/zelezobetonove-prefabrikovane-konstrukce>)

Zatížení od jednoho stupně:

$$(0,36 + 1,02) \cdot 0,12 = 0,166 \text{ m}^2$$

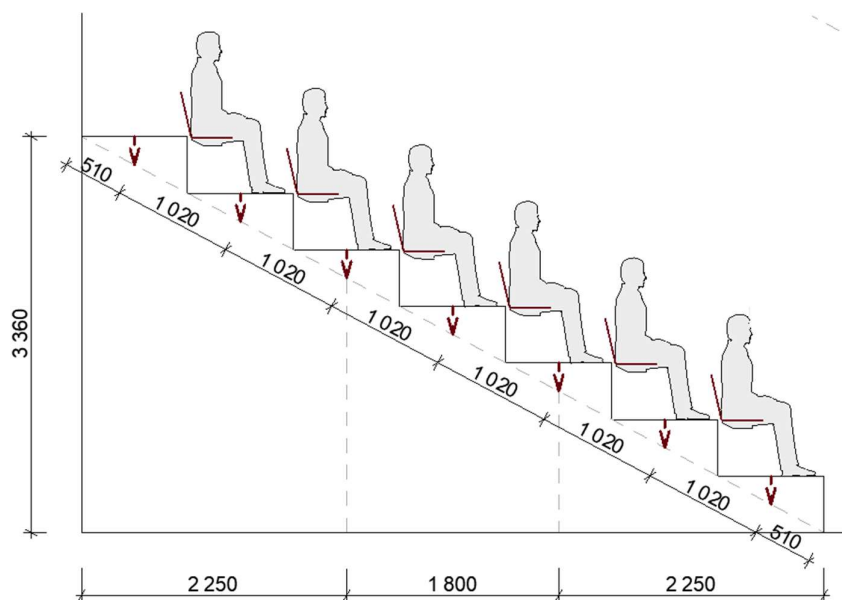
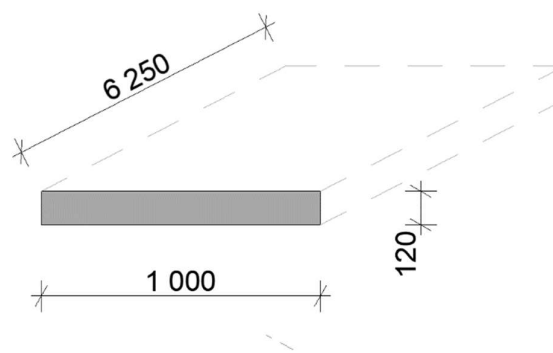
$$0,166 \cdot Z\check{S} = 0,166 \cdot 6,25 = 1,038 \text{ m}^3$$

$$1,038 \cdot \rho_{bet.} = 1,038 \cdot 25 = 25,94 \text{ kN}$$

Zatížení rovným panelem:

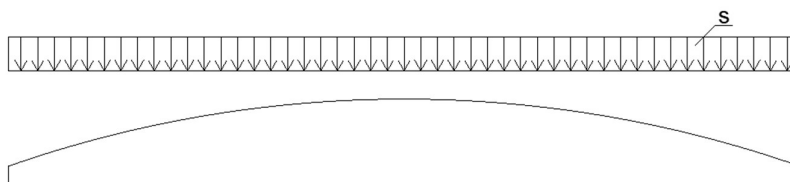
$$0,12 \cdot Z\check{S} = 0,12 \cdot 6,25 = 0,75 \text{ m}^2$$

$$0,75 \cdot \rho_{bet.} = 0,75 \cdot 25 = 18,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



3.2 Proměnné

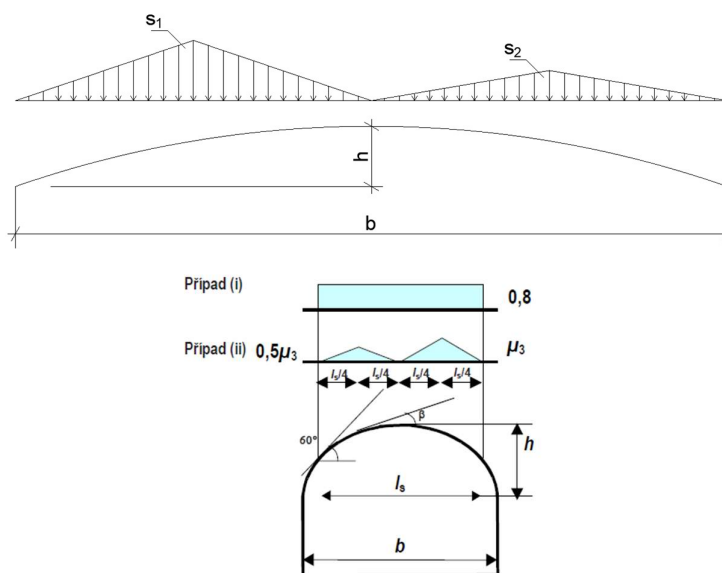
3.2.1 ZS3 – Sníh plný



- Sněhová oblast – IV
- součinitel expozice – $C_e = 1,0$
- tepelný součinitel – $C_t = 1,0$
- charakteristické zatížení sněhem na zemi – $s_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$
- tvarový součinitel zatížení sněhem – $\mu_3 = 0,8$

$$s = \mu_3 * c_e * c_t * s_k = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 2,0 = 1,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

3.2.2 ZS4 – Sníh navátý



Obrázek 9 – zatížení válcové střechy sněhem dle ČSN EN 1991-1-3

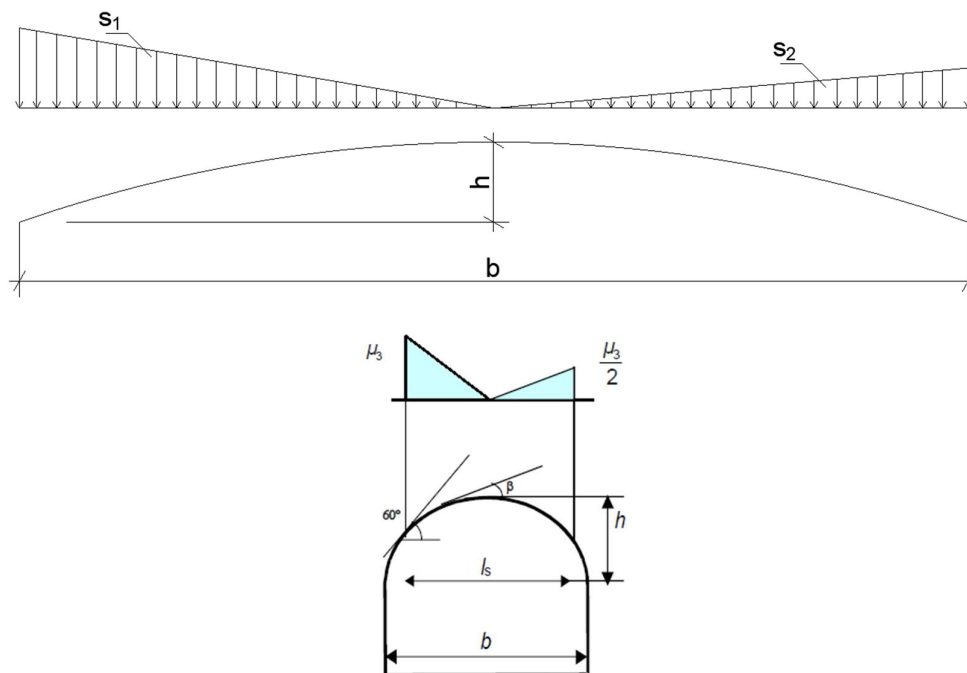
$$\frac{h}{b} = \frac{4,74}{57,6} = 0,082$$

- součinitel expozice – $C_e = 1,0$
- charakteristické zatížení sněhem na zemi – $s_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$
- tepelný součinitel – $C_t = 1,0$
- tvarový součinitel zatížení sněhem $\mu_3 = 0,2 + 10 * \frac{h}{b} = 0,2 + 10 * 0,082 = 1,02$

$$s_1 = \mu_3 * c_e * c_t * s_k = 1,02 * 1,0 * 1,0 * 2,0 = 2,04 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$s_2 = 0,5 * \mu_3 * c_e * c_t * s_k = 0,5 * 1,02 * 1,0 * 1,0 * 2,0 = 1,02 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

3.2.3 ZS5 – Sněh navátý (rozmístění dle národní přílohy)



Obrázek 10 – zatížení válcové střechy sněhem dle národní přílohy ČSN EN 1991-1-3

Jelikož se poměry h/b u jednotlivých variant liší pouze nepatrně, bude použit pro všechny ten nejkritičtější.

$$\frac{h}{b} = \frac{4,74}{57,6} = 0,082$$

- součinitel expozice – $C_e = 1,0$
- charakteristické zatížení sněhem na zemi – $s_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$
- tepelný součinitel – $C_t = 1,0$
- tvarový součinitel zatížení sněhem $\mu_3 = 1,02$ (viz. předchozí případ)

$$s_1 = \mu_3 * c_e * c_t * s_k = 1,02 * 1,0 * 1,0 * 2,0 = 2,04 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$s_2 = 0,5 * \mu_3 * c_e * c_t * s_k = 0,5 * 1,02 * 1,0 * 1,0 * 2,0 = 1,02 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

3.2.4 ZS6 – Větr příčný

Pro větrnou oblast II a kategorii terénu III:

- Součinitel směru větru – $C_{dir} = 1,0$
- Součinitel ročního období – $C_{season} = 1,0$
- Základní rychlost větru – $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$
- Součinitel orografie – $c_{0,z} = 1,0$
- Kategorie terénu – $z_0 = 0,3 \text{ m}$; $z_{min} = 5 \text{ m}$
- Výška konstrukce nad terénem – $z = 17,0 \text{ m}$
- Maximální výška konstrukce nad terénem – $z_{max} = 200 \text{ m}$
- součinitel turbulence – $k_I = 1,0$
- měrná hmotnost vzduchu – $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

Základní rychlost větru 10 m nad terénem:

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

Součinitel drsnosti terénu:

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 * \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$$

$$z_{max} > z > z_{min}$$

$$17 \text{ m} > 5 \text{ m} ; c_r(z) = k_r * \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,215 * \ln \left(\frac{17}{0,3} \right) = 0,870$$

Střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b$$

$$v_m(z) = 0,87 * 1,0 * 25 = 21,739 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Turbulence větru:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) * \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1,0}{1,0 * \ln \left(\frac{17}{0,3} \right)} = 0,248$$

Maximální dynamický tlak větru:

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) = [1 + 7 * 0,248] * \frac{1}{2} * 1,25 * 21,739^2 =$$

$$q_p(z) = 807,51 \text{ Pa} = 0,808 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

3.2.4.1 Působení příčného větru na válcovou střechu:

$$h = 12,25 \text{ m} ; d = 57,60 \text{ m} ; f = 4,74 \text{ m}$$

$$\frac{f}{d} = \frac{4,74}{57,6} = 0,082$$

$$\frac{h}{d} = \frac{12,25}{57,6} = 0,213$$

Součinitelé vnějšího tlaku:

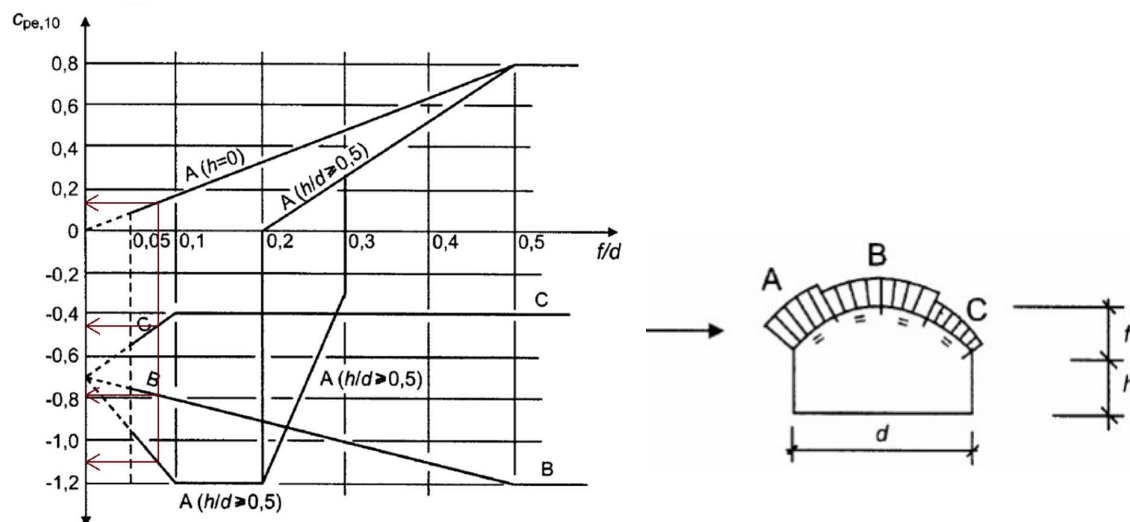
$$C_{pe,10} (A) \text{ (pro } h=0) = 0,13 \text{ (tlak)}$$

$$C_{pe,10} (A) \text{ (pro } h/d > 5) = -1,1 \text{ (sání)}$$

$$C_{pe,10} (A) = -0,51 \text{ (sání)} - \text{interpolací mezi případy } h=0 \text{ a } h/d=5.$$

$$C_{pe,10} (B) = -0,79 \text{ (sání)}$$

$$C_{pe,10} (C) = -0,47 \text{ (sání)}$$



Obrázek 11 – zatížení válcové střechy větrem dle ČSN EN 1991-1-4

Zatížení na části střešní konstrukce:

$$w_{e,A} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * (-0,51) = -0,412 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_{e,B} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * (-0,79) = -0,638 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_{e,C} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * (-0,47) = -0,380 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Konstrukce střechy je pomyslně rozdělena na čtvrtiny. Oblasti A a C leží každá na čtvrtině oblouku, oblast B ve vrcholu tvoří jeho polovinu.

3.2.4.2 Působení příčného větru na stěny:



Mírný sklon stěn je zanedbán. Uvažuji zatížení větrem stejně, jako pro dokonale svislé stěny.

$$b = 68,75 \text{ m}; h = 17,00 \text{ m}; d = 45 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{17,0}{45} = 0,378$$

$$e = \min(b; 2h) = \min(68,75; 34,00) = 34 \text{ m}$$

Velikosti oblastí:

$$A = \frac{e}{5} = \frac{34}{5} = 6,8 \text{ m}$$

$$B = \frac{4}{5} * e = \frac{4}{5} * 34 = 27,2 \text{ m}$$

$$C = d - e = 45 - 34 = 11,0 \text{ m}$$

Součinitelé vnějšího tlaku:

$$C_{pe,10}(A) = -1,200 \text{ (sání)}$$

$$C_{pe,10}(B) = -0,902 \text{ (sání)}$$

$$C_{pe,10}(C) = -0,500 \text{ (sání)}$$

$$C_{pe,10}(D) = 0,717 \text{ (tlak)}$$

$$C_{pe,10}(E) = -0,334 \text{ (sání)}$$

Zatížení na části střešní konstrukce:

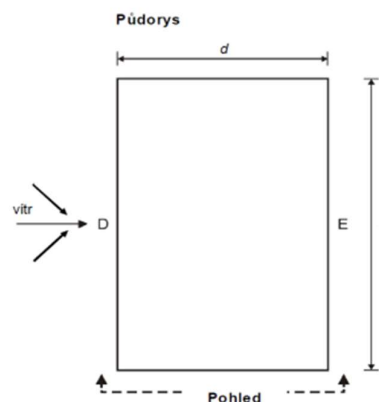
$$q_{p,A} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * (-1,200) = -0,970 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{p,B} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * (-0,902) = -0,729 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{p,C} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * (-0,500) = -0,404 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{p,D} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * 0,703 = 0,568 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{p,E} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * (-0,305) = -0,246 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



3.2.5 ZS7 – Větr podélný



Obrázek 14 – působení větru na stěny dle ČSN EN 1991-1-4

3.2.5.1 Působení větru na střechu:

Uvažuji zjednodušeně případ sedlové střechy. Na válcové střechě se stále mění sklon, budu tedy počítat s průměrnou hodnotou sklonu pro danou oblast.

- Průměrný sklon střechy pro oblast F – 14,4°
- Průměrný sklon střechy pro oblast G – 3,8°
- Průměrný sklon střechy pro oblast H a I – 5,3°

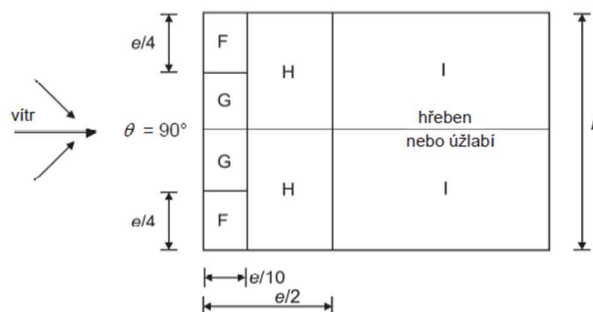
$$e = \min(b; 2h) = \min(57,58; 34,00) = 34 \text{ m}$$

Velikosti oblastí:

$$\frac{e}{4} = \frac{34}{4} = 8,5 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = \frac{34}{10} = 3,4 \text{ m}$$

$$\frac{e}{2} = \frac{34}{2} = 17 \text{ m}$$



c) Směr větru $\theta = 90^\circ$

Obrázek 15 – působení větru na střechu dle ČSN EN 1991-1-4

Součinitelé vnějšího tlaku:

$$C_{pe,10}(F) = -1,318 \text{ (sání)}$$

$$C_{pe,10}(G) = -1,300 \text{ (sání)}$$

$$C_{pe,10}(H) = -0,697 \text{ (sání)}$$

$$C_{pe,10}(I) = -0,597 \text{ (sání)}$$

Zatížení na části střešní konstrukce:

$$w_{e,F} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * (-1,318) = -1,065 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_{e,G} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * (-1,300) = -1,050 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_{e,H} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * (-0,697) = -0,563 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_{e,I} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * (-0,597) = -0,482 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

3.2.5.2 Působení podélného větru na stěny:

Mírný sklon stěn je zanedbán. Uvažuji zatížení větrem stejně, jako pro dokonale svislé stěny.

$$b = 45 \text{ m} ; h = 17,00 \text{ m} ; d = 68,75 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{17,0}{68,75} = 0,247$$

$$e = \min (b; 2h) = \min (45,0; 34,0) = 34 \text{ m}$$

Velikosti oblastí:

$$A = \frac{e}{5} = \frac{34}{5} = 6,8 \text{ m}$$

$$B = \frac{4}{5} * e = \frac{4}{5} * 34 = 27,2 \text{ m}$$

$$C = d - e = 68,75 - 34 = 34,75 \text{ m}$$

Součinitelé vnějšího tlaku:

$$C_{pe,10} (A) = -1,200 \text{ (sání)}$$

$$C_{pe,10} (B) = -0,800 \text{ (sání)}$$

$$C_{pe,10} (C) = -0,500 \text{ (sání)}$$

$$C_{pe,10} (D) = 0,700 \text{ (tlak)}$$

$$C_{pe,10} (E) = -0,300 \text{ (sání)}$$

Zatížení na části střešní konstrukce:

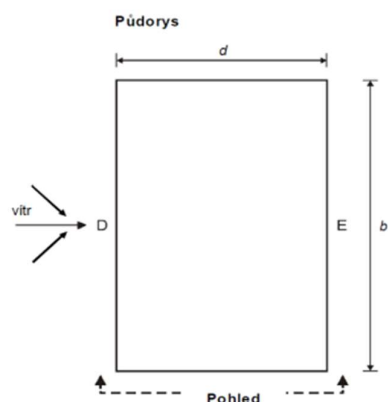
$$q_{p,A} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * (-1,200) = -0,970 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{p,B} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * (-0,800) = -0,646 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{p,C} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * (-0,500) = -0,404 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{p,D} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * 0,700 = 0,566 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{p,E} = q_p(z) * c_{pe,10} = 0,808 * (-0,300) = -0,242 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Obrázek 16 – působení větru na stěny dle ČSN EN 1991-1-4

3.2.6 ZS8 – Užité

Střešní konstrukce spadá dle ČSN EN 1991-1-1 do kategorie střech H – střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav. Dle národní přílohy je zatížení na těchto střechách stanoveno hodnotou $0,75 \text{ kN/m}^2$.

Jelikož však údržba střechy nebude probíhat v zimních měsících a toto zatížení by tak nebylo kombinováno se zatížením od sněhu, které je výrazně větší, nebude sním vůbec počítáno.

Užité zatížení v interiéru bude aplikováno pouze na konstrukce tribun. Samotná hrací plocha je situována na terénu. Stejně tak i další konstrukce, tvořící šatny a zázemí haly nejsou nijak spojeny s ocelovou konstrukcí a nepřitěžují ji.

Dle tabulky 6.1 – Užité kategorie z ČSN EN 1991-1-1 patří užité zatížení sportovní haly do kategorie C5. V národní příloze je pro tuto kategorii uvedeno zatížení 5 kN/m^2 .

$$q_k = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Plošné zatížení mimo stupně tribuny:

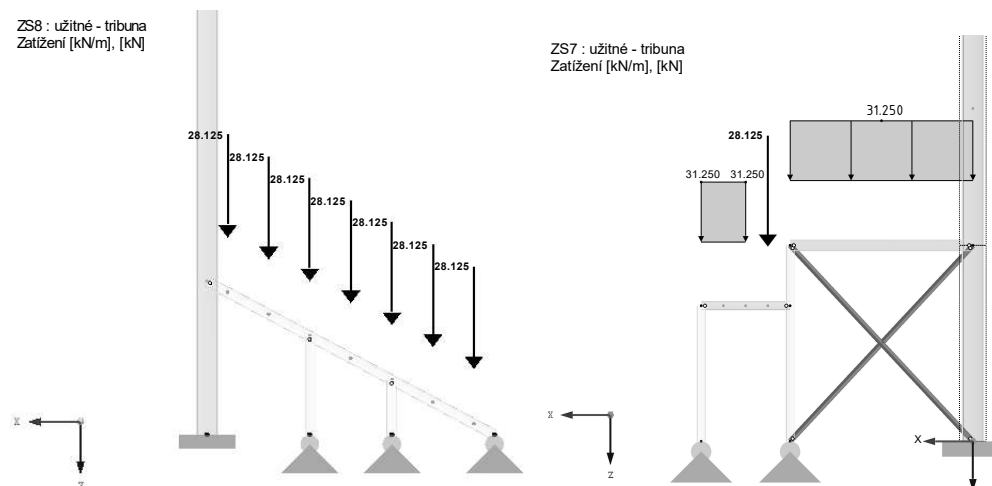
Zatěžovací šířka – $6,25 \text{ m}$ (osová vzdálenost sloupů)

$$q_k = 5 * 6,25 = 31,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Reakce v podpoře stupně:

Hloubka jednoho stupně tribuny – $0,9 \text{ m}$

$$Q_k = 31,25 * 0,9 = 28,125 \text{ kN}$$

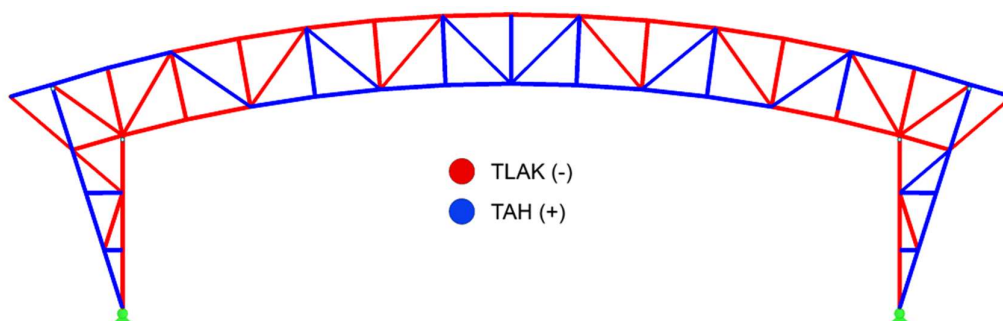


3.3 Stabilitní síly

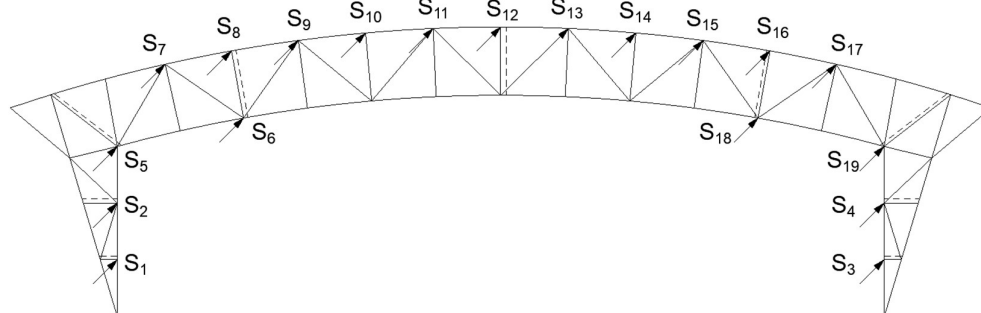
Stabilitní síly vzniknou na příhradové konstrukci v místech podélného ztužení. Vznikají v tlačenech částech. Uvažují se jako $\frac{1}{100} * N$, kde N je tlaková normálová síla v pásu v místě ztužidla. Hodnoty stabilitních sil v tabulce jsou vypočítány již v návrhové hodnotě, do všech kombinací pro MSÚ jsou tedy aplikovány se součinitelem zatížení 1,0. Do kombinací pro MSP budou zpětně násobeny součinitelem $\frac{1}{1,35} = 0,74$.

3.3.1 ZS9 – Stabilitní síly – tlak

Téměř od všech kombinací převládá tlak na střešní vazník. Pak je horní pás tlačenej a dolní tažený, s výjimkou krajních dvou prutů dolního pásu, kde tlak přechází přes diagonály do sloupů. (Viz obr.)



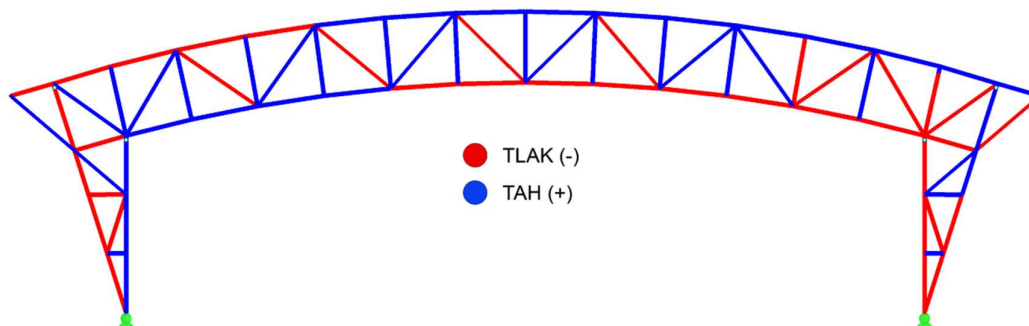
Největší tlakové síly vzniknou od kombinace KZ17 – $1.35 * ZS1 + 1.35 * ZS2 + 1.5 * ZS3 + 1.05 * ZS8$. Stabilitní síly budou rozmístěny následovně.



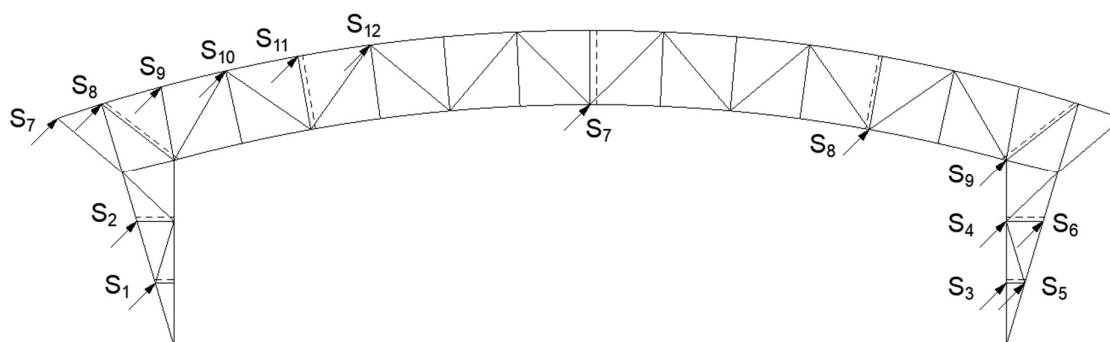
OZN.	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀
NORMÁLOVÁ SÍLA (kN)	1 029,3	1 045,1	994,7	1 002,1	1 041,4	257,3	275,6	274,9	723,7	723,4
STABILITNÍ SÍLA (kN)	10,3	10,5	9,9	10,0	10,4	2,6	2,8	2,7	7,2	7,2
OZN.	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅	S ₁₆	S ₁₇	S ₁₈	S ₁₉	
NORMÁLOVÁ SÍLA (kN)	878,7	879,1	738,4	738,7	291,9	304,8	305,4	232,7	998,4	
STABILITNÍ SÍLA (kN)	8,8	8,8	7,4	7,4	2,9	3,0	3,1	2,3	10,0	

3.3.2 ZS10 – Stabilitní síly – sání

Od kombinací zatížení, kde převládne sání větru se částečně otočí tlačené a tažené pruty. Částečně proto, že vítr působí na konstrukci vždy pouze z jedné strany.



Pro kombinace s převládajícím sáním větru počítám stabilitní síly z kombinace KZ48 – $1.00 \cdot ZS1 + 1.00 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS6$. Stabilitní síly budou rozmístěny následovně.



OZN.	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀
NORMÁLOVÁ SÍLA (kN)	144,2	111,5	75,6	65,5	67,4	5,8	11,6	72,7	72,4	69,4
STABILITNÍ SÍLA (kN)	1,4	1,1	0,8	0,7	0,7	0,1	0,1	0,7	0,7	0,7
OZN.	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅					
NORMÁLOVÁ SÍLA (kN)	25,9	27,8	54,4	65,0	64,7					
STABILITNÍ SÍLA (kN)	0,3	0,3	0,5	0,7	0,6					

4 Kombinace zatížení

Kombinace zatížení byly stanoveny a spočítány programem RFEM 5.31. Pro stanovení kombinací pro mezní stav únosnosti bylo použito kombinační pravidlo 6.10. Pro mezní stav použitelnosti byly spočítány charakteristické, časté a kvazistálé kombinace dle kombinačních pravidel ČSN EN 1990.

Přehled zatěžovacích stavů:

ZS1 vlastní tíha	ZS6 příčný vítr
ZS2 ostatní stálé	ZS7 podélný vítr
ZS3 sníh plný	ZS8 užitné – tribuna
ZS4 sníh navátý	ZS9 stabilitní síly – tlak
ZS5 sníh navátý (dle N.P.)	ZS10 stabilitní síly – sání

4.1 Kombinace pro MSÚ**Součinitelé kombinace:**

$$\gamma_G = 1,35 \qquad \psi_{0,užitné} = 0,7$$

$$\gamma_G = 1,00 \qquad \psi_{0,vítr} = 0,6$$

$$\gamma_Q = 1,5 \qquad \psi_{0,sníh} = 0,5$$

V klíči kombinací jsou rovnou uváděny násobky ($\gamma * \psi$).

Rovnice 6.10:

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

Přehled kombinací zatěžovacích stavů:

- KZ1 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + ZS9
- KZ2 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS3 + ZS9
- KZ3 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS4 + ZS9
- KZ4 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS5 + ZS9
- KZ5 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS6 + ZS9
- KZ6 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS7 + ZS9
- KZ7 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS4 + 0.9*ZS6 + ZS9
- KZ8 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS4 + 0.9*ZS7 + ZS9
- KZ9 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS5 + 0.9*ZS6 + ZS9
- KZ10 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS5 + 0.9*ZS7 + ZS9
- KZ11 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS6 + 1.05*ZS8 + ZS9
- KZ12 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS7 + 1.05*ZS8 + ZS9
- KZ13 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS4 + 0.9*ZS6 + 1.05*ZS8 + ZS9
- KZ14 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS4 + 0.9*ZS7 + 1.05*ZS8 + ZS9
- KZ15 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS5 + 0.9*ZS6 + 1.05*ZS8 + ZS9

KZ16 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS5 + 0.9 \cdot ZS7 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ17 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ18 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS4 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ19 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS5 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ20 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS6 + ZS9$
KZ21 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS7 + ZS9$
KZ22 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS6 + ZS9$
KZ23 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS7 + ZS9$
KZ24 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS6 + ZS9$
KZ25 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS7 + ZS9$
KZ26 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS6 + ZS9$
KZ27 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS7 + ZS9$
KZ28 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS6 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ29 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS7 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ30 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS6 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ31 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS7 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ32 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS6 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ33 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS7 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ34 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS6 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ35 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS7 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ36 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ37 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ38 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ39 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ40 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ41 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS7 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ42 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 0.9 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ43 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 0.9 \cdot ZS7 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ44 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 0.9 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ45 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 0.9 \cdot ZS7 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ46 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.9 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ47 – $1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.9 \cdot ZS7 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$

$$KZ48 - 1,0 \cdot ZS1 + 1,0 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS6 + ZS10$$

$$KZ49 - 1,0 \cdot ZS1 + 1,0 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS7 + ZS10$$

4.2 Kombinace pro MSP

Součinitelé kombinace:

$$\psi_{1,vítr} = 0,6$$

$$\psi_{1,užitné} = 0,7$$

$$\psi_{1,sníh} = 0,5$$

$$\psi_{2,vítr} = 0,2$$

$$\psi_{2,užitné} = 0,7$$

$$\psi_{2,sníh} = 0,2$$

$$\psi_{3,vítr} = 0,0$$

$$\psi_{3,užitné} = 0,6$$

$$\psi_{3,sníh} = 0,0$$

Kombinace charakteristická:

$$\sum_{j>1,0} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1,0} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

Přehled kombinací zatěžovacích stavů:

$$KZ50 - ZS1 + ZS2 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ51 - ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ52 - ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0,6 \cdot ZS6 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ53 - ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0,6 \cdot ZS7 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ54 - ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0,6 \cdot ZS6 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ55 - ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0,6 \cdot ZS7 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ56 - ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0,6 \cdot ZS6 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ57 - ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0,6 \cdot ZS7 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ58 - ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0,6 \cdot ZS6 + 0,7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ59 - ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0,6 \cdot ZS7 + 0,7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ60 - ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0,6 \cdot ZS6 + 0,7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ61 - ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0,6 \cdot ZS7 + 0,7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ62 - ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0,6 \cdot ZS6 + 0,7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ63 - ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0,6 \cdot ZS7 + 0,7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ64 - ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0,7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ65 - ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0,7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ66 - ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0,7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ67 - ZS1 + ZS2 + ZS6 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ68 - ZS1 + ZS2 + ZS7 + 0,74 \cdot ZS9$$

$$KZ69 - ZS1 + ZS2 + 0,5 \cdot ZS3 + ZS6 + 0,74 \cdot ZS9$$

KZ70 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS3 + ZS7 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ71 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS4 + ZS6 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ72 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS4 + ZS7 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ73 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS5 + ZS6 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ74 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS5 + ZS7 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ75 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS3 + ZS6 + 0.7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ76 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS3 + ZS7 + 0.7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ77 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS4 + ZS6 + 0.7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ78 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS4 + ZS7 + 0.7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ79 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS5 + ZS6 + 0.7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ80 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS5 + ZS7 + 0.7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ81 – $ZS1 + ZS2 + ZS6 + 0.7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ82 – $ZS1 + ZS2 + ZS7 + 0.7 \cdot ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ83 – $ZS1 + ZS2 + ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ84 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS3 + ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ85 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS4 + ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ86 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS5 + ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ87 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS3 + 0.6 \cdot ZS6 + ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ88 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS3 + 0.6 \cdot ZS7 + ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ89 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS4 + 0.6 \cdot ZS6 + ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ90 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS4 + 0.6 \cdot ZS7 + ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ91 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS5 + 0.6 \cdot ZS6 + ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ92 – $ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS5 + 0.6 \cdot ZS7 + ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ93 – $ZS1 + ZS2 + 0.6 \cdot ZS6 + ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ94 – $ZS1 + ZS2 + 0.6 \cdot ZS7 + ZS8 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ95 – $ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ96 – $ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0,74 \cdot ZS9$
KZ97 – $ZS1 + ZS2 + 0,74 \cdot ZS9$

Kombinace častá:

$$\sum_{j>1,0} G_{k,j} + \psi_{1,1} * Q_{k,1} + \sum_{i>1,0} \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

Přehled kombinací zatěžovacích stavů:

KZ98 – ZS1 + ZS2 + 0.2*ZS3 + 0,74*ZS9

KZ99 – ZS1 + ZS2 + 0.2*ZS4 + 0,74*ZS9

KZ100 – ZS1 + ZS2 + 0.2*ZS5 + 0,74*ZS9

KZ101 – ZS1 + ZS2 + 0.2*ZS3 + 0.6*ZS8 + 0,74*ZS9

KZ102 – ZS1 + ZS2 + 0.2*ZS4 + 0.6*ZS8 + 0,74*ZS9

KZ103 – ZS1 + ZS2 + 0.2*ZS5 + 0.6*ZS8 + 0,74*ZS9

KZ104 – ZS1 + ZS2 + 0.2*ZS6 + 0,74*ZS9 + 0,74*ZS9

KZ105 – ZS1 + ZS2 + 0.2*ZS7 + 0,74*ZS9

KZ106 – ZS1 + ZS2 + 0.2*ZS6 + 0.6*ZS8 + 0,74*ZS9

KZ107 – ZS1 + ZS2 + 0.2*ZS7 + 0.6*ZS8 + 0,74*ZS9

KZ108 – ZS1 + ZS2 + 0.7*ZS8 + 0,74*ZS9

Kombinace kvazistálá:

$$\sum_{j>1,0} G_{k,j} + \sum_{i>1,0} \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

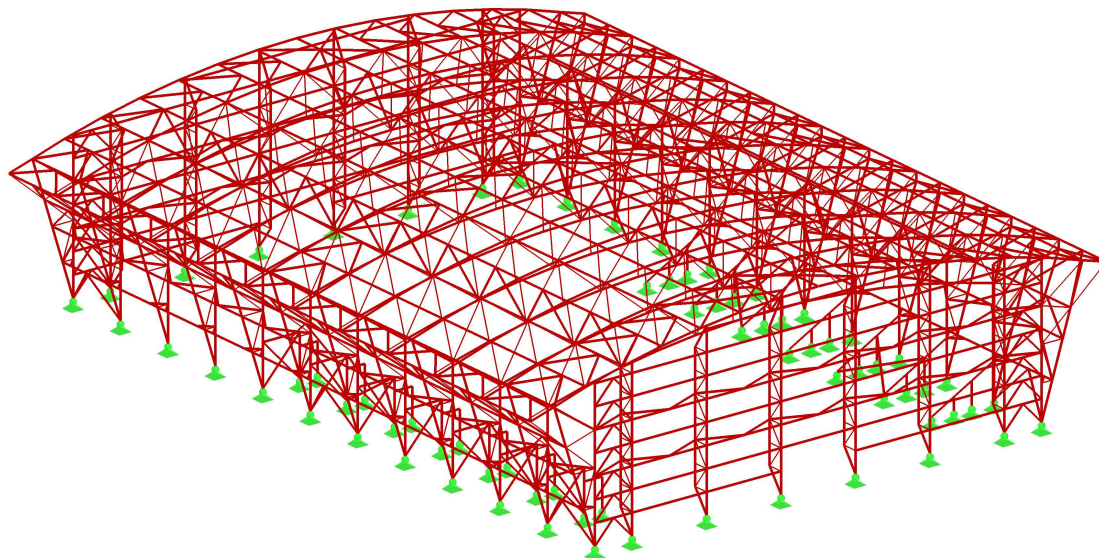
Přehled kombinací zatěžovacích stavů:

KZ109 – ZS1 + ZS2 + 0,74*ZS9

KZ110 – ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS8 + 0,74*ZS9

5 Statický model

Model je vytvořen jako prutový, prostorový. Konkrétní řešení bude popsáno níže.

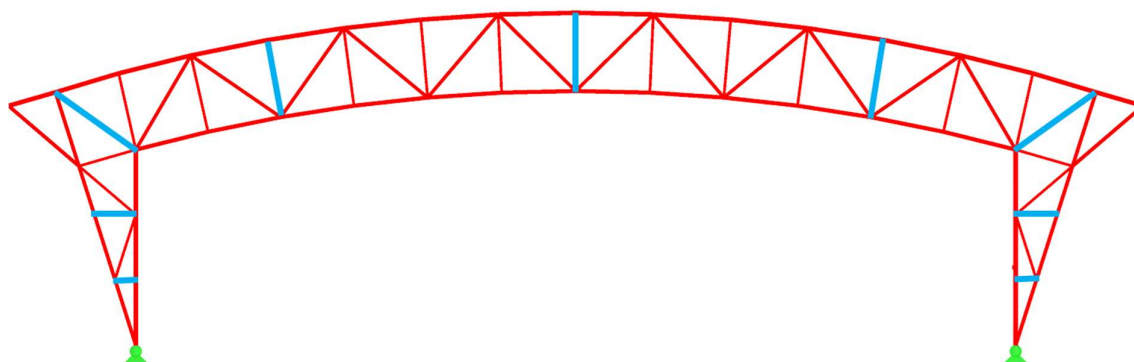


5.1 Příčný příhradový rám

Vzhledem k většímu rozpětí (45 m) a silnějším profilům použitých prutů se již nejedná o klasickou příhradovinu. Přivařené pruty ve styčnicku nelze uvažovat jako klouby. Styčníky byly analyzovány v programu IDEA Statica a všechny vyšly buď TUHÉ, nebo POLOTUHÉ, kde však k hraniční hodnotě rotační tuhosti pro tuhý styčník chybí velice málo.

V modelu byla vyzkoušena jak varianta se všemi výplňovými pruty rámovými, tak i příhradovými. Změna v posudcích na MSÚ byla do 10 % v neprospěch rámových spojů. Naopak se ale zmenšily průhyby na konstrukci.

Jelikož by pro stanovení přesných hodnot rotačních tuhostí bylo třeba analyzovat každý styčník zvlášť (proměnné průřezy a délky prvků), budu model uvažovat se všemi výplňovými pruty rámovými. V posudku však budu počítat s drobnou rezervou v průhybu, který by mohl být o trochu větší, než bude ten vypočtený.



Vnitřní pás sloupu

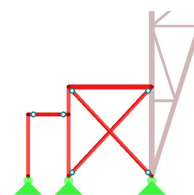
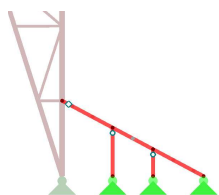
Zde jsou podélná ztužidla navržena v každém styčnicku. Vzpěrné délky se tedy rovnají v obou rovinách skutečným délkám

Vnější pás sloupu

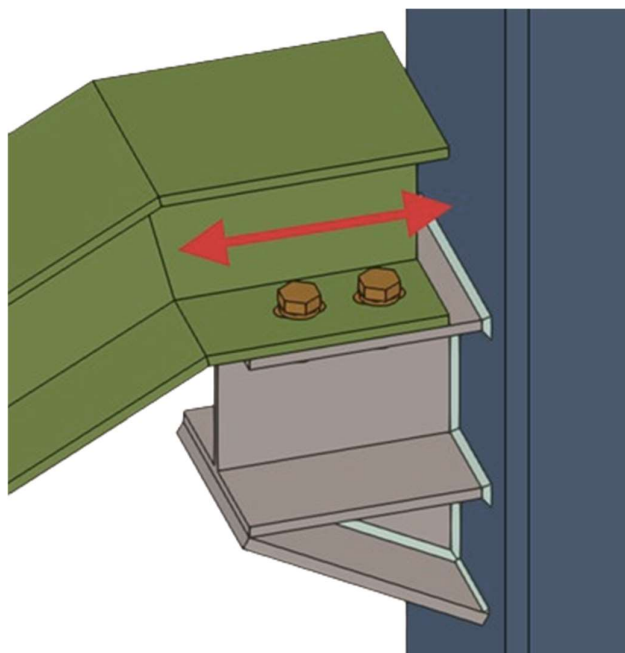
Zde se jedná o stejný případ jako u horního pásu vazníku. Vybočení z roviny je bráněno paždíky a ztužením ve stěně.

5.2 Tribuny

Obě konstrukce tribun jsou připojeny ke sloupům hlavní nosné konstrukce. Konstrukce v pravé části je se sloupem spojena tuze. Křížová ztužidla potom uvažují s klouby na obou koncích. Kloubové přípoje uvažují také pro krátký nosník této tribuny.



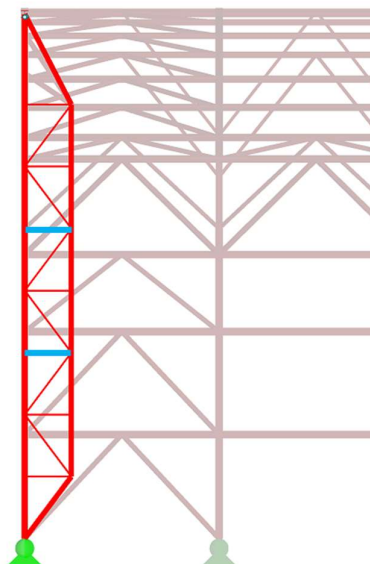
Konstrukce na levé straně je ke sloupu připojena kloubově. Jedná se o posuvný kloub v globální ose x. Toto „odpojení“ od zbytku konstrukce ve vodorovném směru bude zajištěno přípojem s prodlouženými otvory (viz detail).



Důvodem jsou vodorovné deformace sloupu, které by měly za následek tažení tribuny do strany a způsobovaly by velké vodorovné reakce a tah v kotvě u paty tribuny.

5.3 Sloupy štítových stěn

Oba pásy příhradové konstrukce jsou uvažovány vcelku jako rámový prut. Přenáší tedy normálové, posouvající síly a momenty. Pouze výplňové pruty jsou modelovány jako příhradové pruty. Na rozdíl od vazníku zde není pochyb o kloubovém připoji. Jedná se o průřez TR 4HR 60x60x5 přivařený k pásnici HEA profilu.



5.3.1 Vzpěrné délky

Výplňové pruty

Vzpěrné délky v rovině i z roviny jsou rovny délkám skutečným.

Vnější pás sloupu

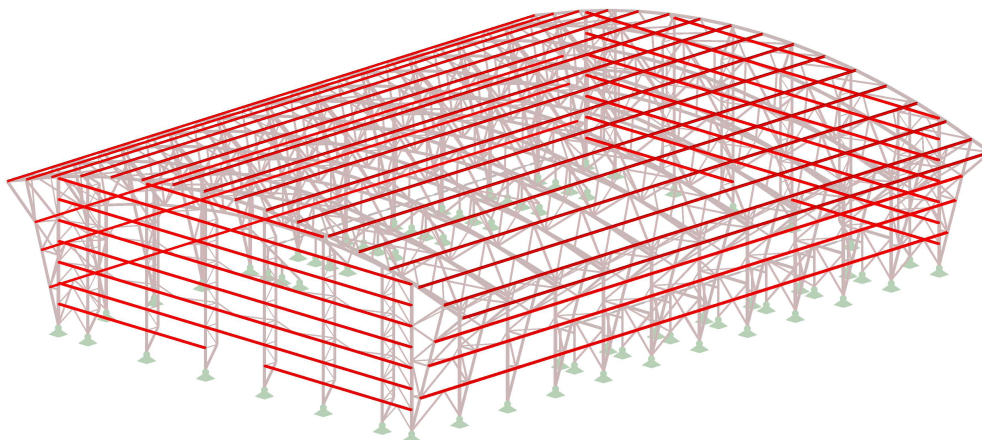
Vzpěrné délky v rovině i z roviny jsou rovny délkám skutečným. Vybočení z roviny je bráněno paždíky doplněnými o polopříčkové ztužidlo v rovině štítové stěny.

Vnitřní pás sloupu

Vybočení z roviny je bráněno podélnými ztužidly (na obr. vyznačeny modře). V rovině jsou kritické délky shodné se skutečnými.

5.4 Paždíky a vaznice

Vaznice i paždíky uvažují jednotně průřezem HEA 200. Profil HEA byl zvolen kvůli měnícímu se sklonu střechy. Vaznice/paždíky jsou namáhány i v měkké ose z. Proto nebyl vhodný původně navrhovaný průřez IPE.

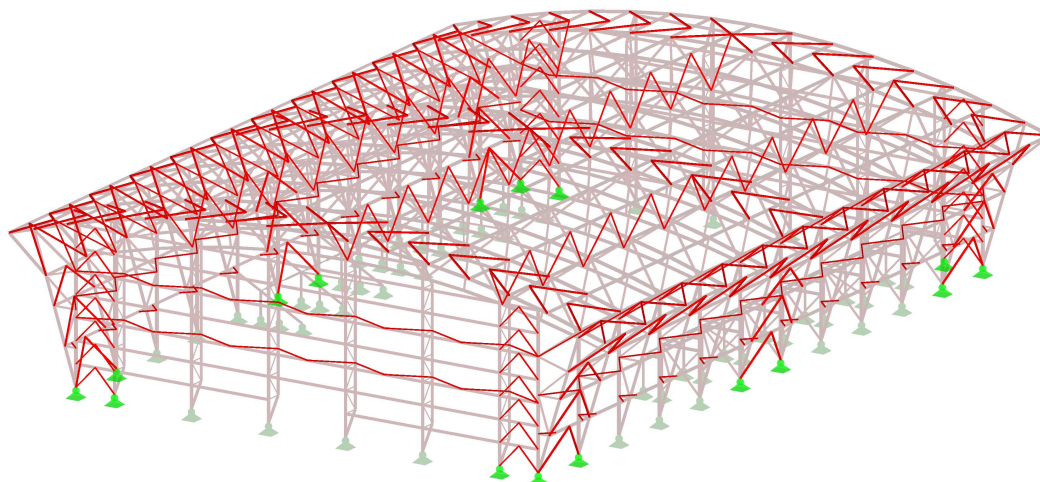


V modelu se jedná vlastně o prosté nosníky na rozpětí 6,25 m. Pouze v místech ztužení jsou podepřeny ještě na dalším místě. Ztužidla podélná i příčná jsou navrhována jako polopříčková, v tom případě vaznice/paždíky podpírají uprostřed jejich délky. Některá podélná ztužidla sloupů jsou zkrácena pro zachování úhlu přibližně 45°, pak podepření není v polovině. Uvažované vzpěrné délky odpovídají typu a směru podepření.

Přípoje vaznic a paždíků jsou navrženy přes čelní desku tak, že jejich horní pásnice jsou v rovině s horními pásnicemi vazníků/sloupů.

5.5 Ztužidla

Všechna ztužidla jsou navržena ze čtvercových dutých průřezů a jsou na obou koncích uvažována jako kloubově uložená.



Podélná ztužidla

Jsou navržena po celé délce objektu. A to ve dvou rovinách sloupů, ve třech rovinách střešního vazníku a pak ještě v každém rámovém rohu vazníku (viz 5.1).

Dvě podélná ztužidla pokračují ze sloupů také do štítových stěn.

Příčná ztužidla

Příčná ztužidla jsou navržena jako polopříčková. Jsou situována v krajních polích a uprostřed. Plynule pokračují ze střechy do stěn objektu.

Ve štítových stěnách jsou pouze na okrajích z důvodu prosklení a vstupu umístěného uprostřed.

Okapové ztužidlo

Okapové ztužidlo je zde navrženo především kvůli stabilizaci krajních vaznic, které jsou nejvíce namáhány. Zkracují jejich vzpěrnou délku na polovinu a brání nadměrným deformacím. Zároveň přispívají ke ztužení objektu jako celku.

6 Stabilitní analýza

Byla provedena stabilitní analýza pro stanovení nejmenší hodnoty součinitele kritického zatížení. Dále posloužila ke stanovení součinitelů vzpěrných délek u tlačných prutů.

VI. číslo č.	Součinitel kritického zatížení $f [-]$	Faktor zvětšení $\alpha [-]$
1	2,058	1,945
2	2,173	1,853
3	2,173	1,853
4	2,250	1,800

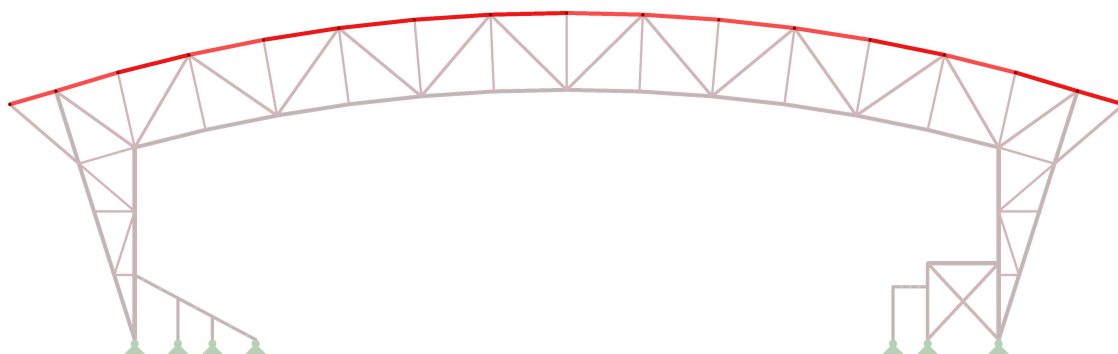
$$f = 2,058 < 10$$

Součinitel kritického zatížení pro první vlastní tvar konstrukce vyšel 2,058. První vaznice ztrácí stabilitu již při dvojnásobku vypočtené normálové síly. Hodnota je výrazně menší než 10, pro posouzení konstrukce je tedy nutno použít teorii II. řádu.

7 Posouzení na MSÚ

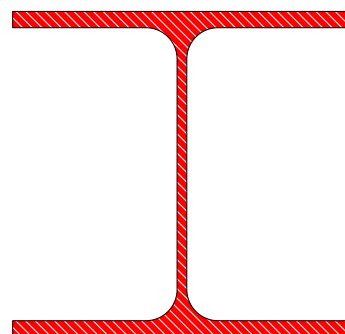
Každý typ posudku bude uveden v jednom případě konkrétně s rozepsáním a dosazením hodnot. Opakující se posudky budou uváděny pouze tabulkově a počítány v tabulkovém procesoru MS Excel.

7.1 Horní pás vazníku



Průřezové charakteristiky – HEA 240

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	h	230,000	mm
Šířka profilu	b	240,000	mm
Tloušťka stojiny	t_w	7,500	mm
Tloušťka pásnice	t_f	12,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r	21,000	mm
Vnitřní výška mezi pásnicemi	h_i	206,000	mm
Výška rovné části stojiny	d	164,000	mm
Plocha průřezu	A	7684,000	mm ²
Smyková plocha	A_y	4795,700	mm ²
Smyková plocha	A_z	1509,800	mm ²
Moment setrvačnosti	I_y	77630000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti	I_z	27690000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	100,500	mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	60,000	mm
Hmotnost průřezu	G	60,300	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I_t	415500,000	mm ⁴
Elastický průřezový modul	W_y	675100,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_z	230700,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	744600,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	351700,000	mm ³

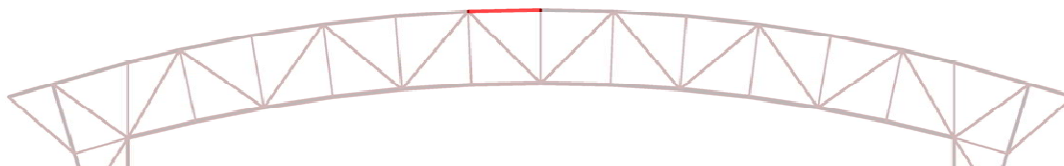


Zatřídění průřezu:

Třída průřezu 1

7.1.1 VZPĚRNÝ TLAK

- Nejkritičtější kombinace — KZ17 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS3 + 1.05*ZS8+ZS9



Údaje o prutu:

$$L = 3,968 \text{ m}$$

$$k_{cr,y} = 1,0$$

$$k_{cr,z} = 1,0$$

$$k_{cr,w} = 1,0$$

$$y_0 = z_0 = 0 \text{ mm (střed smyku leží v těžišti)}$$

$$N_{ed} = 945,483 \text{ kN}$$

Křivky vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez, ocel S 235 JR

→ kolmo k ose y: křivka b ($\alpha = 0,34$)

→ kolmo k ose z: křivka c ($\alpha = 0,49$)

Kritická délka prutu:

$$L_{cr,y} = k_{cr,y} * L = 1,0 * 3,968 = 3,968 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = k_{cr,z} * L = 1,0 * 3,968 = 3,968 \text{ m}$$

$$L_{cr,w} = k_{cr,w} * L = 1,0 * 3,968 = 3,968 \text{ m}$$

Poloměry setrvačnosti

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{77,63 * 10^{-6}}{0,007684}} = 0,101 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{27,69 * 10^{-6}}{0,007684}} = 0,060 \text{ m}$$

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 = 0,101^2 + 0,060^2 + 0^2 + 0^2 = 0,0138 \text{ m}^2$$

Kritická síla:

$$N_{cr,y} = \pi^2 * \frac{E * I_y}{L_{cr,y}^2} = \pi^2 * \frac{210 * 10^6 * 77,63 * 10^{-6}}{3,968^2} = 10\,217,5 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \pi^2 * \frac{E * I_z}{L_{cr,z}^2} = \pi^2 * \frac{210 * 10^6 * 27,69 * 10^{-6}}{3,968^2} = 3\,644,51 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} * \left(G * I_t + \pi^2 * \frac{E * I_\omega}{L_{cr,\omega}^2} \right) =$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{0,0138} * \left(81 * 10^6 * 0,416 * 10^{-6} + \pi^2 * \frac{210 * 10^6 * 0,3285 * 10^{-6}}{3,968^2} \right) =$$

$$N_{cr,T} = 5\,575,26 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{0,007684 * 235 * 10^3}{10\,217,5}} = 0,420$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{0,007684 * 235 * 10^3}{3\,644,51}} = 0,704$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{0,007684 * 235 * 10^3}{5\,575,26}} = 0,569$$

Součinitele vzpěrnosti:

$$\phi_y = 0,5 * \left(1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right) = 0,5 * \left(1 + 0,34 * (0,420 - 0,2) + 0,420^2 \right) = 0,626$$

$$\phi_z = 0,5 * \left(1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right) = 0,5 * \left(1 + 0,49 * (0,704 - 0,2) + 0,704^2 \right) = 0,871$$

$$\phi_T = 0,5 * \left(1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right) = 0,5 * \left(1 + 0,49 * (0,569 - 0,2) + 0,569^2 \right) = 0,752$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,626 + \sqrt{0,626^2 - 0,420^2}} = 0,918$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,871 + \sqrt{0,871^2 - 0,704^2}} = 0,722$$

$$\chi_T = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,752 + \sqrt{0,752^2 - 0,569^2}} = 0,804$$

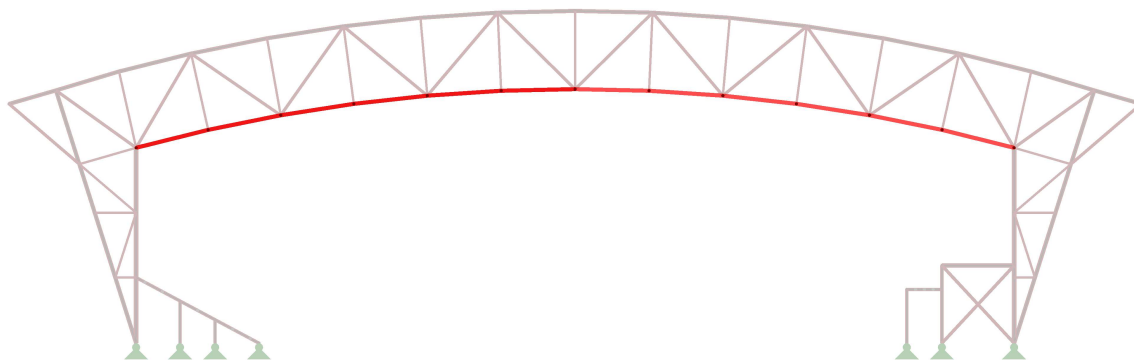
Návrhová vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,722 * 0,007684 * 235 * 10^3}{1,00} = 1\,303,74 \text{ kN}$$

Posouzení:

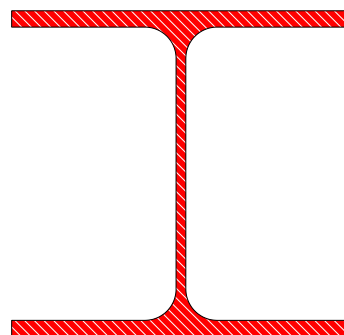
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{945,483}{1\,303,74} = 0,73 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

7.2 Dolní pás vazníku



Průřezové charakteristiky – HEA 220

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	h	210,000	mm
Šířka profilu	b	220,000	mm
Tloušťka stojiny	t _w	7,000	mm
Tloušťka pásnice	t _f	11,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r	18,000	mm
Vnitřní výška mezi pásnicemi	h _i	188,000	mm
Výška rovné části stojiny	d	152,000	mm
Plocha průřezu	A	6434,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	4030,200	mm ²
Smyková plocha	A _z	1279,600	mm ²
Moment setrvačnosti	I _y	54100000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti	I _z	19550000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	91,700	mm
Poloměr setrvačnosti	i _z	55,100	mm
Hmotnost průřezu	G	50,500	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	284600,000	mm ⁴
Elastický průřezový modul	W _y	515200,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _z	177700,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	568500,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,z}	270600,000	mm ³



Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

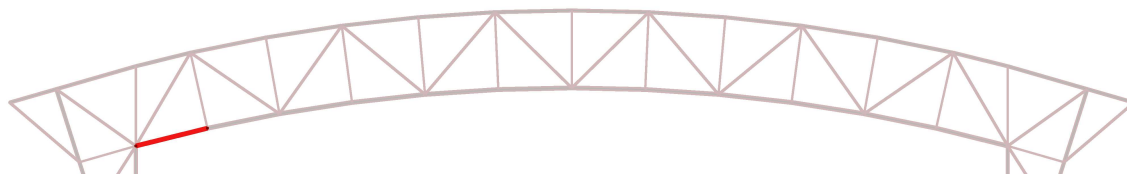
$$\frac{c}{t_w} = \frac{210 - 2 * 11 - 2 * 18}{7} = 21,7 < 33\varepsilon$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\left(\frac{220}{2}\right) - 0,5 * 7 - 18}{11} = 8,05 < 9\varepsilon$$

Třída průřezu 1

7.2.1 KOMBINACE OHYBU A TLAKU

- Nejkritičtější kombinace — $KZ2 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + ZS9$



Údaje o prutu:

$L = 3,806 \text{ m}$

$k_{cr,y} = 1,0$

$k_{cr,z} = 2,0$

$k_w = 2,0$ (deplanaci je zabráněno podélnými ztužidly)

$N_{ed} = 342,129 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = 8,706 \text{ kNm}$

$M_{z,Ed} = 1,919 \text{ kNm}$

Křivky vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez, ocel S 235 JR

→ kolmo k ose y: křivka b ($\alpha = 0,34$)

→ kolmo k ose z: křivka c ($\alpha = 0,49$)

→ klopení: křivka a ($\alpha = 0,21$)

Tabulka 6.7 – Hodnoty pro výpočet $N_{Rk} = f_y A_i$, $M_{i,Rk} = f_y W_i$ a $\Delta M_{i,Ed}$

Třída průřezu	1	2	3	4
A_i	A	A	A	A_{eff}
W_y	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$	$W_{eff,y}$
W_z	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$	$W_{eff,z}$
$\Delta M_{y,Ed}$	0	0	0	$\varphi_{N,y} N_{Ed}$
$\Delta M_{z,Ed}$	0	0	0	$\varphi_{N,z} N_{Ed}$

Obrázek 17 – tabulka 6.7 dle ČSN EN 1993-1-1

Charakteristické únosnosti:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 235 \cdot 10^3 \cdot 0,006434 = 1\,511,99 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 235 \cdot 10^3 \cdot 0,569 \cdot 10^{-3} = 133,598 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = f_y \cdot W_{pl,z} = 235 \cdot 10^3 \cdot 0,271 \cdot 10^{-3} = 63,591 \text{ kNm}$$

Kritická délka prutu:

$$L_{cr,y} = k_{cr,y} \cdot L = 1,0 \cdot 3,806 = 3,806 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = k_{cr,z} \cdot L = 2,0 \cdot 3,806 = 7,612 \text{ m}$$

Kritická síla:

$$N_{cr,y} = \pi^2 * \frac{E * I_y}{L_{cr,y}^2} = \pi^2 * \frac{210 * 10^6 * 54,1 * 10^{-6}}{3,806^2} = 7\,740,673 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \pi^2 * \frac{E * I_z}{L_{cr,z}^2} = \pi^2 * \frac{210 * 10^6 * 19,55 * 10^{-6}}{7,612^2} = 699,308 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

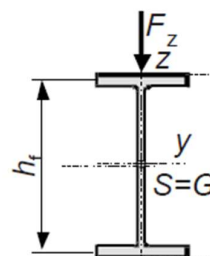
$$\overline{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{0,006434 * 235 * 10^3}{7\,740,67}} = 0,442$$

$$\overline{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{0,006434 * 235 * 10^3}{699,31}} = 1,470$$

VÝPOČET KLOPENÍ:**Bezrozměrný parametr působíště:**

$z_g = 0,5 * h_f = 0,5 * 210 = +105 \text{ mm}$ (uvažuji, že síla působí přímo na pásnici – destabilizující účinek)

$$\xi_g = \frac{\pi * z_g}{k_z * L} * \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi * 0,105}{2,0 * 3,81} * \sqrt{\frac{210 * 10^6 * 19,55 * 10^{-6}}{81 * 10^6 * 0,285 * 10^{-6}}} = 0,578$$



Obrázek 18 – destabilizující účinek síly dle ČSN EN 1993-1-1

Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu:

$\xi_j = 0$ (symetrický průřez)

Bezrozměrný parametr kroucení:

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w * L} * \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{2,0 * 3,81} * \sqrt{\frac{210 * 10^6 * 0,1933 * 10^{-6}}{81 * 10^6 * 0,285 * 10^{-6}}} = 0,547$$

$$C_1 = 2,500$$

$$C_2 = 0,440$$

Hodnoty C1 a C2 byly převzaty ze softwaru Dlubal Rfem 5.31, kde byly stanoveny metodou vlastních čísel diferenciálních rovnic ohybu.

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} * \left(\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 * \xi_g - C_3 * \xi_j)^2} - (C_2 * \xi_g - C_3 * \xi_j) \right) =$$

$$\mu_{cr} = \frac{2,500}{2,0} * (\sqrt{1 + 0,547^2 + (0,440 * 0,578 - 0)^2} - (0,440 * 0,578 - 0)) = 1,142$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} * \frac{\pi * \sqrt{EI_z * GI_t}}{L} =$$

$$M_{cr} = 1,142 * \frac{\pi * \sqrt{210 * 10^6 * 19,55 * 10^{-6} * 81 * 10^6 * 0,285 * 10^{-6}}}{3,806} = 290,275 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost:

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{0,569 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{290,275}} = 0,679$$

Součinitele vzpěrnosti:

$$\phi_y = 0,5 * (1 + \alpha * (\overline{\lambda} - 0,2) + \overline{\lambda}^2) = 0,5 * (1 + 0,34 * (0,442 - 0,2) + 0,442^2) = 0,64$$

$$\phi_z = 0,5 * (1 + \alpha * (\overline{\lambda} - 0,2) + \overline{\lambda}^2) = 0,5 * (1 + 0,49 * (1,470 - 0,2) + 1,470^2) = 1,89$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + \alpha * (\overline{\lambda} - 0,2) + \overline{\lambda}^2) = 0,5 * (1 + 0,21 * (0,679 - 0,2) + 0,679^2) = 0,78$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,64 + \sqrt{0,64^2 - 0,442^2}} = 0,91$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,89 + \sqrt{1,89^2 - 1,470^2}} = 0,33$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,78 + \sqrt{0,78^2 - 0,679^2}} = 0,86$$

Součinitele momentu:

$$\alpha_{s,y} = \frac{M_s}{M_h} = \frac{2,180}{8,706} = 0,250$$

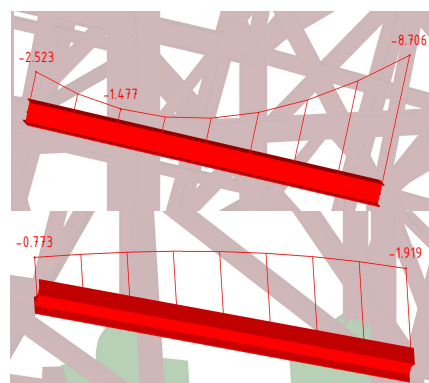
$$\psi_y = 0,290$$

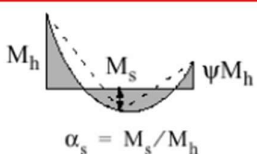
$$c_{m,y} = 0,2 + 0,8 * \alpha_s = 0,2 + 0,8 * 0,25 = \mathbf{0,40}$$

$$\alpha_{s,z} = \frac{M_s}{M_h} = \frac{1,572}{1,919} = 0,819$$

$$\psi_z = 0,403$$

$$c_{m,z} = 0,2 + 0,8 * \alpha_s = 0,2 + 0,8 * 0,403 = \mathbf{0,52}$$



	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$

Obrázek 19 – tabulka B.3 dle ČSN EN 1993-1-1

Součinitele interakce: (viz příloha B, ČSN EN 1993-1-1)

$$k_{yy} = c_{m,y} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{m,y} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,4 * \left(1 + (0,442 - 0,2) * \frac{342,129}{0,91 * \frac{1\,512}{1,0}} \right) \leq 0,4 * \left(1 + 0,8 * \frac{342,129}{0,91 * \frac{1\,512}{1,0}} \right)$$

$$0,424 \leq 0,480 \rightarrow k_{yy} = 0,424$$

$$k_{zz} = c_{m,z} * \left(1 + (2 * \bar{\lambda}_z - 0,6) * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{m,z} * \left(1 + 1,4 * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,52 * \left(1 + (2 * 1,47 - 0,6) * \frac{342,129}{0,33 * \frac{1\,512}{1,0}} \right) \leq 0,52 * \left(1 + 1,4 * \frac{342,129}{0,33 * \frac{1\,512}{1,0}} \right)$$

$$1,354 \not\leq 1,019 \rightarrow k_{zz} = 1,019$$

$$k_{yz} = 0,6 * k_{zz} = 0,6 * 1,019 = 0,611$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{c_{m,LT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = \left(1 - \frac{0,1 * 1,47}{0,52 - 0,25} * \frac{342,129}{0,91 * \frac{1\,512}{1,00}} \right) = 0,741$$

Podmínky spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{342,129}{0,91 * \frac{1\,512}{1,0}} + 0,424 * \frac{8,706 + 0}{0,86 * \frac{133,60}{1,0}} + 0,611 * \frac{1,919 + 0}{\frac{63,59}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,30 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} * \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

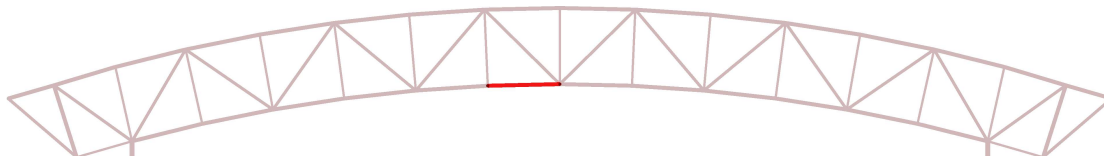
$$\frac{342,129}{0,33 * \frac{1\,512}{1,0}} + 0,741 * \frac{8,706 + 0}{0,86 * \frac{133,60}{1,0}} + 1,019 * \frac{1,919 + 0}{\frac{63,59}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,79 \leq 1,0$$

Vyhovuje

7.2.2 TAH

- Nejkritičtější kombinace — KZ17 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS3 + 1.05*ZS8+ZS9



Údaje o prutu:

$$N_{Ed} = 786,393 \text{ kN}$$

$$L = 3,792 \text{ m}$$

Návrhová únosnost v tahu:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,006434 * 235 * 10^3}{1,00} = 1\,512,0 \text{ kN}$$

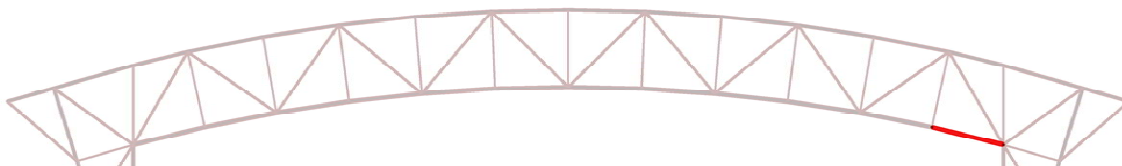
Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{786,4}{1512,0} = 0,52 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

7.2.3 ŠIKMÝ OHYB

- Nejkritičtější kombinace — KZ24 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS4 + 1.5*ZS6+ZS9



Údaje o prutu:

$$L = 3,806 \text{ m}$$

$$N_{Ed} = 10,713 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 3,446 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 2,099 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,006434 * 235 * 10^3}{1,00} = 1\,512,0 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq 0,25 * N_{pl,Rd} = 0,25 * 1\,512$$

$$10,713 \leq 378 \quad \text{Splněno}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 * 0,188 * 0,007 * 235\,000}{1,00}$$

$$10,713 \leq 154,63 \quad \text{Splněno}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,188 * 0,007 * 235\,000}{1,00}$$

$$10,713 \leq 309,26 \quad \text{Splněno}$$

Není třeba uvažovat účinek osové síly na plastický moment únosnosti

$\alpha = \beta = 1,0$ (konzervativně uvažují nejnepříznivější stav)

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{f_y * W_{pl,y}}{\gamma_{M0}} = \frac{235\,000 * 0,569 * 10^{-3}}{1,00} = 133,715 \text{ kNm}$$

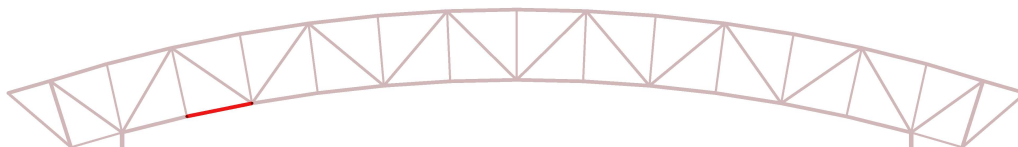
$$M_{pl,z,Rd} = \frac{f_y * W_{pl,z}}{\gamma_{M0}} = \frac{235\,000 * 0,271 * 10^{-3}}{1,00} = 63,658 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \right)^\beta \leq 1,00$$

$$\left(\frac{3,446}{133,715} \right)^{1,0} + \left(\frac{2,099}{63,658} \right)^{1,0} = 0,06 \leq 1,00 \quad \text{Vyhovuje}$$

7.2.4 SMYK

- Nejkritičtější kombinace — KZ17 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS3 + 1.05*ZS8+ZS9



Údaje o prutu:

$$L = 3,792 \text{ m}$$

$$V_{y,Ed} = 0,475 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 5,863 \text{ kN}$$

Posouzení:

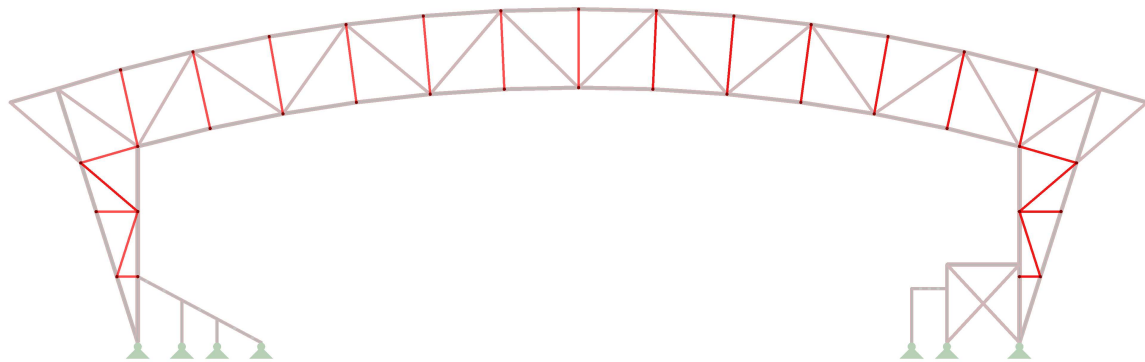
$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{0,00403 * (235\,000 / \sqrt{3})}{1,00} = 546,78 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{0,00128 * (235\,000 / \sqrt{3})}{1,00} = 173,67 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} = \frac{0,475}{546,78} = 0,01 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

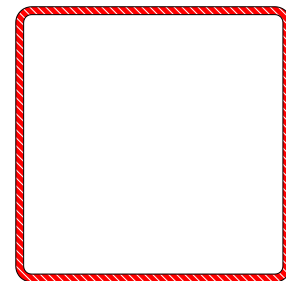
$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} = \frac{5,863}{173,67} = 0,03 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

7.3 Výplňové pruty



Průřezové charakteristiky – TR 4HR 140x4

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	140,000	mm
Tloušťka stěny	s	4,000	mm
Vnější rohové zaoblení	r	8,000	mm
Plocha průřezu	A	2130,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	913,700	mm ²
Moment setrvačnosti	I _y	6520000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	55,200	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	78,100	mm
Hmotnost průřezu	G	16,700	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	10230000,000	mm ⁴
Průřezový modul v kroucení	W _t	140000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	93100,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	108000,000	mm ³



Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{c}{t} = \frac{140 - 2 \cdot 8}{4} = 31 < 33\varepsilon$$

Třída průřezu 1

7.3.1 VZPĚRNÝ TLAK

- Nejkritičtější kombinace — $KZ11 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS6 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$

Údaje o prutu:

$N_{Ed} = 238,692 \text{ kN}$

$k_{cr,y} = 1,0$

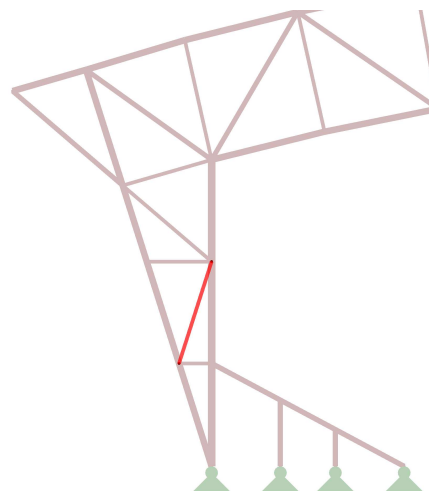
$k_{cr,z} = 1,0$

$k_{cr,w} = 1,0$

$L = 3,490 \text{ m}$

Posouzení:

Posouzení – VZPĚR (kolmo na osu y)	
kritická síla, $N_{cr,y}$ (kN)	1 128
Poměrná štíhlost, λ	0,671
součinitel, ϕ	0,840
součinitel vzpěrnosti, χ	0,743
Návrhová vzpěrná únosnost, $N_{b,Rd}$ (kN)	376,99
Jednotkový posudek	0,63
Posouzení	VYHOVUJE



7.3.2 TAH

- Nejkritičtější kombinace — $KZ11 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS6 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$

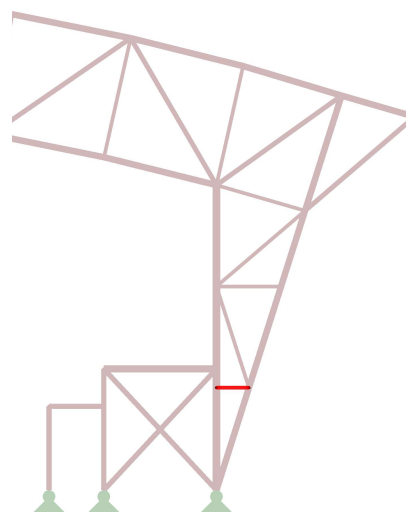
Údaje o prutu:

$N_{Ed} = 150,929 \text{ kN}$

$L = 1,066 \text{ m}$

Posouzení:

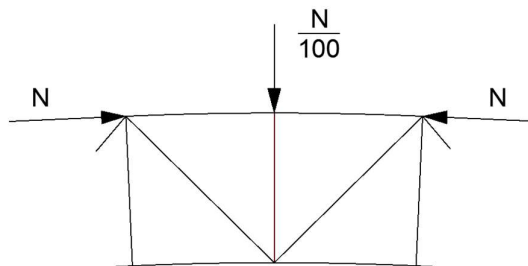
Posouzení – TAH	
Únosnost neoslabeného průřezu $N_{t,Rd}$ (kN)	507,60
Jednotkový posudek	0,30
Posouzení	VYHOVUJE



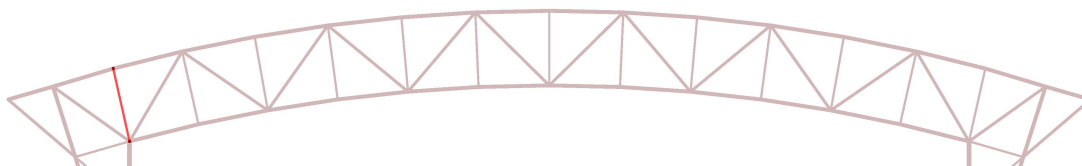
7.3.3 PODRUŽNÁ SVISLICE – VZPĚRNÝ TLAK

Podružná diagonála zkracuje vzpěrnou délku horního a dolního pásu. Je však třeba ji posoudit na tlak, který způsobuje tento pás ve snaze vybočit. Tato síla se uvažuje stejně jako u stabilitních sil jako $\frac{1}{100} * N$, kde N je tlaková síla v daném pásu.

Zjednodušeně beru jako normálovou sílu extrémní hodnotu tlaku ze všech horních a dolních pásů. Tu aplikuji na nejvíce využitou svislici a posoudím.



- Nejkritičtější kombinace — KZ17 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS3 + 1.05*ZS8+ZS9



Extrém tlaku v horním pásu – 945,493 kN

$$\frac{1}{100} * 945,493 = 9,455 \text{ kN}$$

Údaje o prutu:

$L = 4,000 \text{ m}$

$k_{cr,y} = 1,0$

$k_{cr,z} = 1,0$

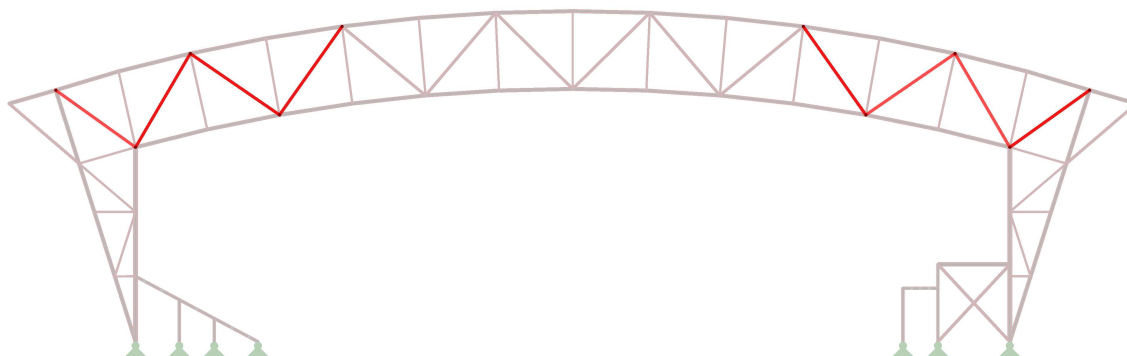
$k_{cr,w} = 1,0$

$N_{ed} = 97,566 + 9,455 = 107,021 \text{ kN}$

Posouzení:

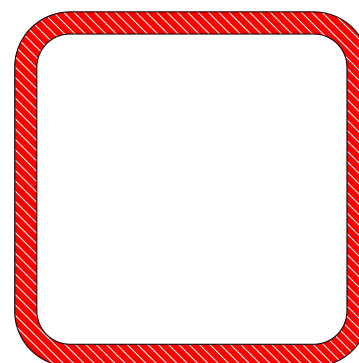
Posouzení – VZPĚŘ (kolmo na osu y=z)	
kritická síla, $N_{cr,y}$ (kN)	859
Poměrná štíhlost, λ	0,769
součinitel, ϕ	0,935
součinitel vzpěrnosti, χ	0,682
Návrhová vzpěrná únosnost, $N_{b,Rd}$ (kN)	346,06
Jednotkový posudek	0,31
Posouzení	VYHOVUJE

7.4 Krajní diagonály



Průřezové charakteristiky – TR 4HR 180x10

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	180,000	mm
Tloušťka stěny	s	10,000	mm
Vnější rohové zaoblení	r	25,000	mm
Plocha průřezu	A	6460,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	2880,800	mm ²
Moment setrvačnosti	I _y	30170000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	68,400	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	96,700	mm
Hmotnost průřezu	G	50,700	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	50740000,000	mm ⁴
Průřezový modul v kroucení	W _t	515000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	335000,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{ply}	404000,000	mm ³



Zatřídění průřezu:

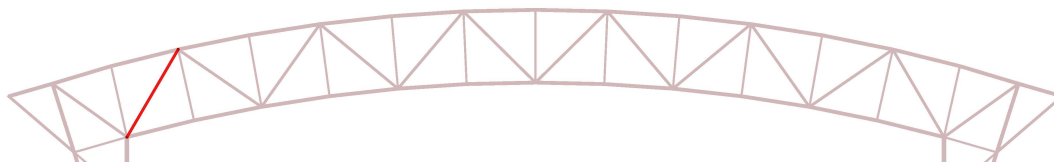
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{c}{t} = \frac{180 - 2 * 25}{10} = 13 < 33\varepsilon$$

Třída průřezu 1

7.4.1 VZPĚRNÝ TLAK

- Nejkritičtější kombinace — $KZ17 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$



Údaje o prutu:

$N_{Ed} = 653,121 \text{ kN}$

$k_{cr,y} = 1,0$

$k_{cr,z} = 1,0$

$k_{cr,w} = 1,0$

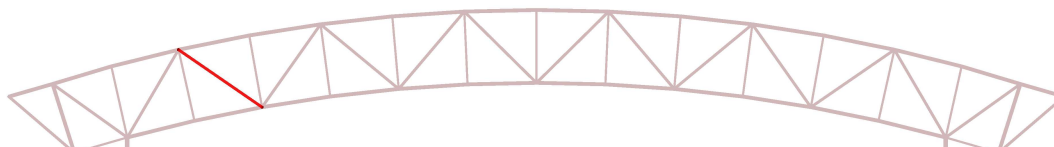
$L = 5,582 \text{ m}$

Posouzení:

Posouzení – VZPĚŘ (kolmo na osu y)	
kritická síla, $N_{cr,y}$ (kN)	2 124
Poměrná štíhlost, $\bar{\lambda}$	0,860
součinitel, ϕ	1,032
součinitel vzpěrnosti, χ	0,624
Návrhová vzpěrná únosnost, $N_{b,Rd}$ (kN)	981,60
Využití (%)	0,67
Posouzení	VYHOVUJE

7.4.2 TAH

- Nejkritičtější kombinace — $KZ17 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$



Údaje o prutu:

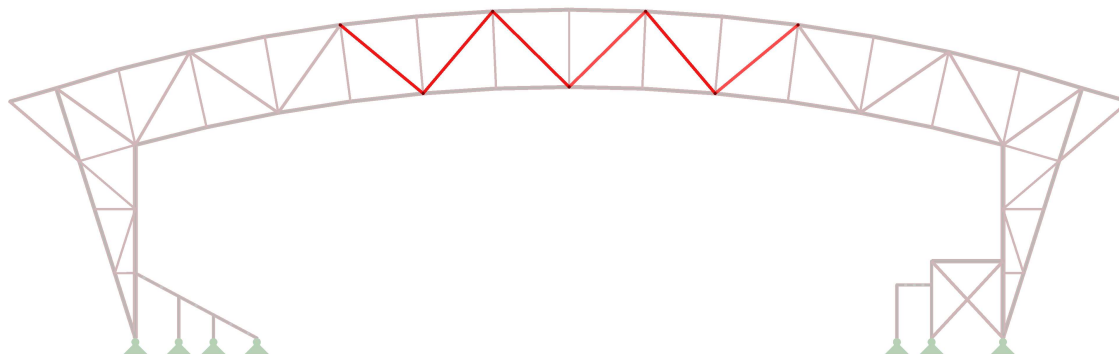
$N_{Ed} = 553,411 \text{ kN}$

$L = 5,572 \text{ m}$

Posouzení:

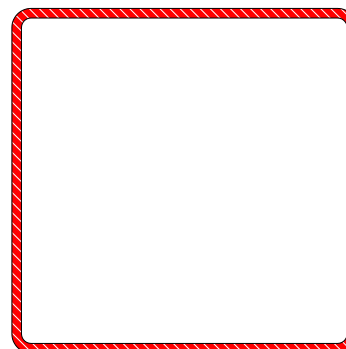
Posouzení – TAH	
Únosnost neoslabeného průřezu, $N_{t,Rd}$ (kN)	1 572,15
Jednotkový posudek	0,35
Posouzení	VYHOVUJE

7.5 Střední diagonály



Průřezové charakteristiky – TR 4HR 180x5

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	180,000	mm
Tloušťka stěny	s	5,000	mm
Vnější rohové zaoblení	r	10,000	mm
Plocha průřezu	A	3440,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	1469,400	mm ²
Moment setrvačnosti	I _y	17370000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	71,100	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	100,600	mm
Hmotnost průřezu	G	27,000	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	27240000,000	mm ⁴
Průřezový modul v kroucení	W _t	290000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	193000,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	224000,000	mm ³



Zatřídění průřezu:

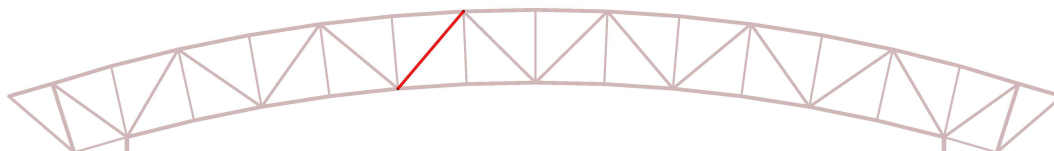
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{c}{t} = \frac{180 - 2 * 10}{5} = 32 < 33\varepsilon$$

Třída průřezu 1

7.5.1 VZPĚRNÝ TLAK

- Nejkritičtější kombinace — $KZ17 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$



Údaje o prutu:

$N_{Ed} = 199,633 \text{ kN}$

$k_{cr,y} = 1,0$

$k_{cr,z} = 1,0$

$k_{cr,w} = 1,0$

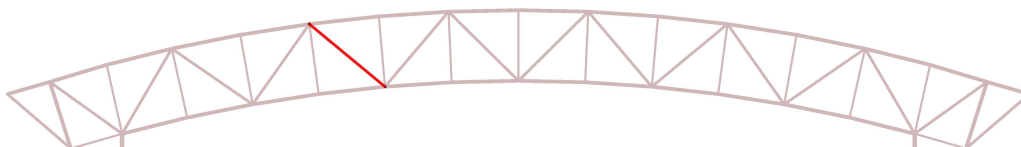
$L = 5,572 \text{ m}$

Posouzení:

Posouzení – VZPĚR (kolmo na osu y)	
kritická síla, $N_{cr,y}$ (kN)	1 178
Poměrná štíhlost, λ	0,832
součinitel, ϕ	1,001
součinitel vzpěrnosti, χ	0,642
Návrhová vzpěrná únosnost, $N_{b,Rd}$ (kN)	523,63
Jednotkový posudek	0,38
Posouzení	VYHOVUJE

7.5.2 TAH

- Nejkritičtější kombinace — $KZ17 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$



Údaje o prutu:

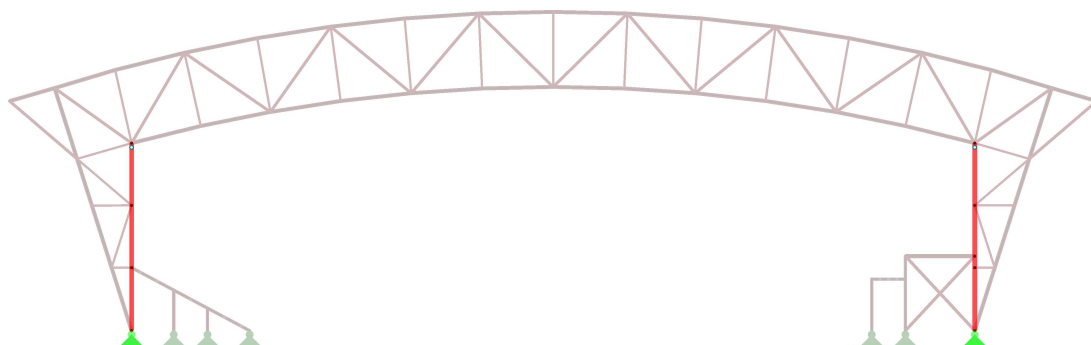
$N_{Ed} = 319,025 \text{ kN}$

$L = 5,572 \text{ m}$

Posouzení:

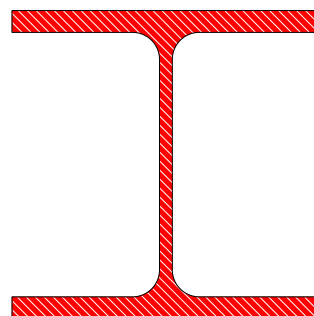
Posouzení – TAH	
Únosnost neoslabeného průřezu, $N_{t,Rd}$ (kN)	815,45
Jednotkový posudek	0,39
Posouzení	VYHOVUJE

7.6 Vnitřní pás sloupu



Průřezové charakteristiky – HEB 240

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	h	240,000	mm
Šířka profilu	b	240,000	mm
Tloušťka stojiny	t _w	10,000	mm
Tloušťka pásnice	t _f	17,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r	21,000	mm
Vnitřní výška mezi pásnicemi	h _i	206,000	mm
Výška rovné části stojiny	d	164,000	mm
Plocha průřezu	A	10600,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	6804,100	mm ²
Smyková plocha	A _z	2060,900	mm ²
Moment setrvačnosti	I _y	112600000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti	I _z	39230000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	103,100	mm
Poloměr setrvačnosti	i _z	60,800	mm
Hmotnost průřezu	G	83,200	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	1027000,000	mm ⁴
Elastický průřezový modul	W _y	938300,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _z	326900,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	1053000,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,z}	498400,000	mm ³



Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{240 - 2 * 17 - 2 * 21}{10} = 16,4 < 33\varepsilon$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\left(\frac{240}{2}\right) - 0,5 * 10 - 21}{17} = 5,53 < 9\varepsilon$$

Třída průřezu 1

7.6.1 VZPĚRNÝ TLAK

- Nejkritičtější kombinace — $KZ17 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$

Údaje o prutu:

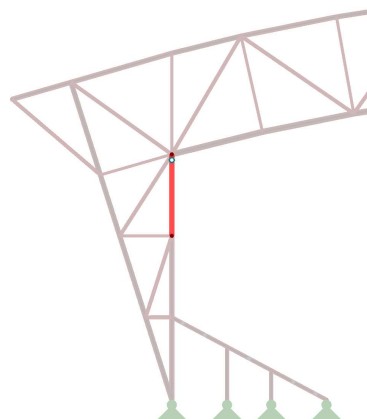
$N_{Ed} = 1\,178,010 \text{ kN}$

$k_{cr,y} = 1,0$

$k_{cr,z} = 1,0$

$k_{cr,w} = 1,0$

$L = 3,320 \text{ m}$



Posouzení:

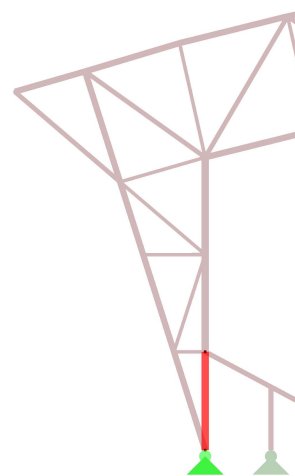
Posouzení – VZPĚŘ (kolmo na osu y)	
kritická síla, $N_{cr,y}$ (kN)	21 173
Poměrná štíhlost, $\bar{\lambda}$	0,343
součinitel, ϕ	0,583
součinitel vzpěrnosti, χ	0,948
Návrhová vzpěrná únosnost, $N_{b,Rd}$ (kN)	2 361,75
Jednotkový posudek	0,50
Posouzení	VYHOVUJE
Posouzení – VZPĚŘ (kolmo na osu z)	
kritická síla, $N_{cr,z}$ (kN)	7 371
Poměrná štíhlost, $\bar{\lambda}$	0,581
součinitel, ϕ	0,762
součinitel vzpěrnosti, χ	0,796
Návrhová vzpěrná únosnost, $N_{b,Rd}$ (kN)	1 983,82
Jednotkový posudek	0,59
Posouzení	VYHOVUJE
Posouzení – VZPĚŘ (zkroucením)	
poloměr setrvačnosti i_y (m)	1,03E-01
poloměr setrvačnosti i_z (m)	6,08E-02
$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 = (\text{m}^2)$	1,43E-02
kritická síla, $N_{cr,T}$ (kN)	12 219
Poměrná štíhlost, $\bar{\lambda}_T$	0,452
součinitel, ϕ	0,664
součinitel vzpěrnosti, χ	0,870
Návrhová vzpěrná únosnost, $N_{b,Rd}$ (kN)	2 166,46
Jednotkový posudek	0,54
Posouzení	VYHOVUJE

7.6.2 KOMBINACE OHYBU A TLAKU

- Nejkritičtější kombinace — $KZ17 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$

Údaje o prutu:

- $L = 3,360 \text{ m}$
- $k_{cr,y} = 1,0$
- $k_{cr,z} = 1,0$
- $k_w = 1,0$
- $N_{Ed} = 1\,232,280 \text{ kN}$
- $M_{y,Ed} = 39,248 \text{ kNm}$
- $M_{z,Ed} = 0,144 \text{ kNm}$



Posouzení:

Posouzení – OHYB A TLAK (vzpěr)	
Charakteristická únosnost N_{Rk} (kN)	2491,00
Charakteristická únosnost $M_{y,Rk}$ (kNm)	247,54
Charakteristická únosnost $M_{z,Rk}$ (kNm)	117,13
kritická síla, $N_{cr,y}$ (kN)	20 672
kritická síla, $N_{cr,z}$ (kN)	7 197
Poměrná štíhlost, λ_y	0,347
Poměrná štíhlost, λ_z	0,588
součinitel, ϕ_y	0,585
součinitel, ϕ_z	0,768
součinitel vzpěrnosti, χ_y	0,947
součinitel vzpěrnosti, χ_z	0,792
Bezrozměrný parametr působíště, ξ_g	1,115
Bezrozměrný parametr kroucení, k_{wt}	1,035
Součinitel C_1 (metodou vl. čísel – Rfem)	1,740
Součinitel C_2 (metodou vl. čísel – Rfem))	0,500
Bezrozměrný kritický moment, μ_{cr}	1,716
Kritický moment při klopení, M_{cr} (kNm)	1 329,522
Poměrná štíhlost, λ_{LT}	0,431
součinitel, ϕ_{LT}	0,617
součinitel klopení, χ_{LT}	0,944
součinitel momentu, c_{my}	0,604
součinitel momentu, c_{mz}	0,982
Součinitel interakce, k_{yy}	0,650
Součinitel interakce, k_{zz}	1,336
Součinitel interakce, k_{yz}	0,801
Součinitel interakce, k_{zy}	0,950
1. jednotkový posudek	0,63
2. jednotkový posudek	0,79
Posouzení	VYHOVUJE

7.6.3 SMYK

- Nejkritičtější kombinace — $KZ17 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$

Údaje o prutu: (vrchol sloupu ve štítové stěně)

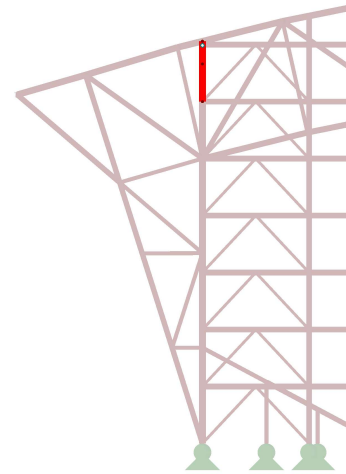
$$V_{Ed,y} = 7,909 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} = 177,131 \text{ kN}$$

$$L = 2,120 \text{ m}$$

Posouzení:

Posouzení – SMYK	
Únosnost ve smyku, $V_{pl,y,Rd}$ (kN)	1 149,19
Únosnost ve smyku, $V_{pl,z,Rd}$ (kN)	450,99
Jednotkový posudek (y)	0,01
Jednotkový posudek (z)	0,39
Posouzení	VYHOVUJE



7.6.4 TAH

- Nejkritičtější kombinace — $KZ17 - 1.00 \cdot ZS1 + 1.00 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS6 + ZS10$

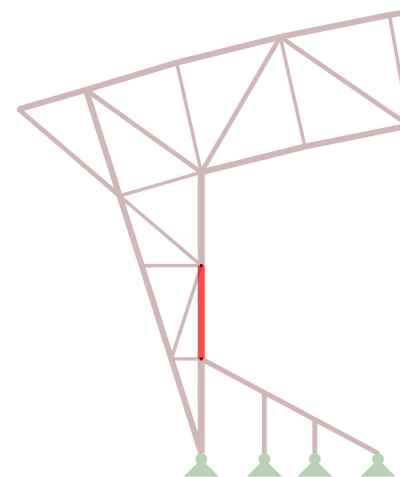
Údaje o prutu:

$$N_{Ed} = 172,035 \text{ kN}$$

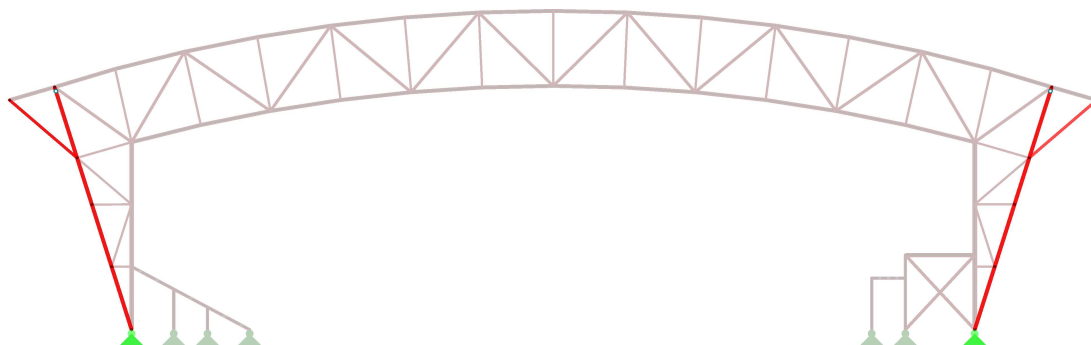
$$L = 3,320 \text{ m}$$

Posouzení:

Posouzení – TAH	
Únosnost neoslabeného průřezu, $N_{t,Rd}$ (kN)	2 491,00
Jednotkový posudek	0,07
Posouzení	VYHOVUJE

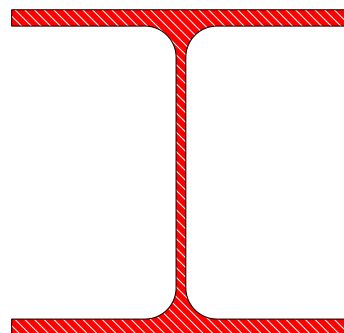


7.7 Vnější pás sloupu



Průřezové charakteristiky – HEA 200

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	h	190,000	mm
Šířka profilu	b	200,000	mm
Tloušťka stojiny	t _w	6,500	mm
Tloušťka pásnice	t _f	10,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r	18,000	mm
Vnitřní výška mezi pásnicemi	h _i	170,000	mm
Výška rovné části stojiny	d	134,000	mm
Plocha průřezu	A	5383,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	3330,400	mm ²
Smyková plocha	A _z	1076,800	mm ²
Moment setrvačnosti	I _y	36920000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti	I _z	13360000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	82,800	mm
Poloměr setrvačnosti	i _z	49,800	mm
Hmotnost průřezu	G	42,300	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	209800,000	mm ⁴
Elastický průřezový modul	W _y	388600,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _z	133600,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	429500,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,z}	203800,000	mm ³



Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{190 - 2 * 10 - 2 * 18}{6,5} = 20,6 < 33\varepsilon$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\left(\frac{200}{2}\right) - 0,5 * 6,5 - 18}{10} = 7,88 < 9\varepsilon$$

Třída průřezu 1

7.7.1 TAH

- Nejkritičtější kombinace — $KZ17 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$

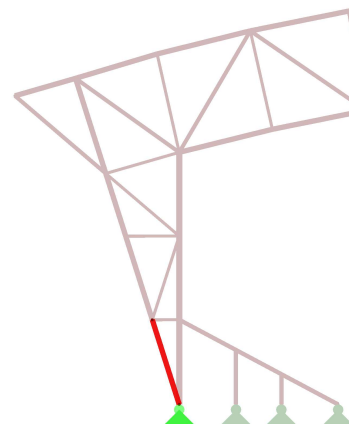
Údaje o prutu:

$$N_{Ed} = 576,703 \text{ kN}$$

$$L = 3,522 \text{ m}$$

Posouzení:

Posouzení – TAH	
Únosnost neoslabeného průřezu, $N_{t,Rd}$ (kN)	1 264,30
Jednotkový posudek	0,46
Posouzení	VYHOVUJE



7.7.2 ŠIKMÝ OHYB

- Nejkritičtější kombinace — $KZ17 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$

Údaje o prutu:

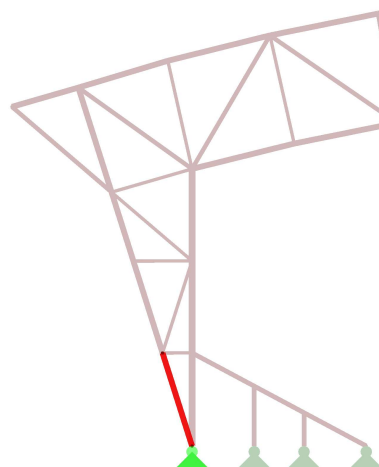
$$N_{Ed} = 10,713 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 3,446 \text{ kNm}$$

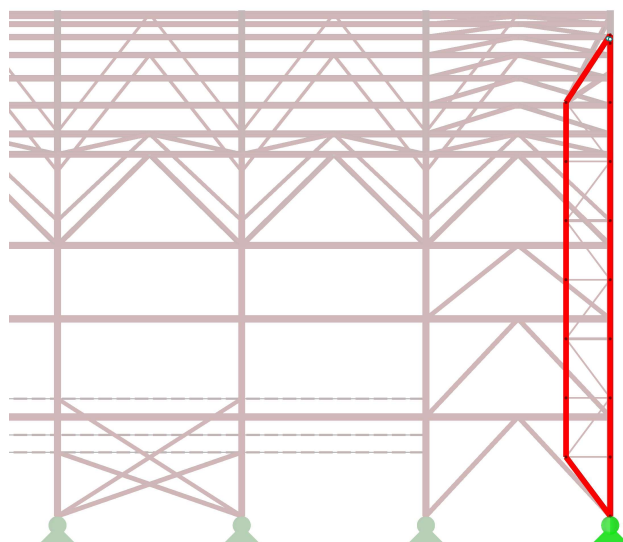
$$M_{z,Ed} = 2,099 \text{ kNm}$$

Posouzení:

Posouzení – ŠIKMÝ OHYB (I a H průřezů)	
Únosnost průřezu v tahu, $N_{pl,Rd}$ (kN)	1 264,30
$N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$	NESPLNĚNO
$N_{Ed} \leq (0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y) / \gamma_{M0}$	NESPLNĚNO
$N_{Ed} \leq (h_w \cdot t_w \cdot f_y) / \gamma_{M0}$	NESPLNĚNO
Nutno uvažovat vliv osové síly na plastický moment	
Únosnost v ohybu, $M_{pl,y,Rd}$ (kNm)	101,05
Únosnost v ohybu, $M_{pl,z,Rd}$ (kNm)	47,94
Poměr osové síly a plastické únosnosti, n	0,456
součinitel, a	0,257
Únosnost v ohybu, $M_{N,y,Rd}$ (kNm)	63,042
Únosnost v ohybu, $M_{N,z,Rd}$ (kNm)	44,484
$(M_{y,Ed} / M_{N,y,Rd}) + (M_{z,Ed} / M_{N,z,Rd})$	0,29
Posouzení	VYHOVUJE

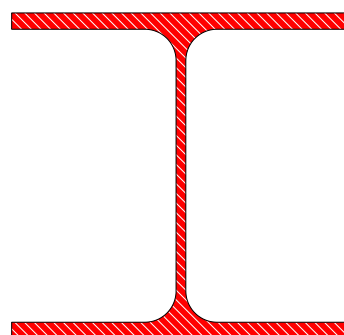


7.8 Pásky štítového sloupu



Průřezové charakteristiky – HEA 200

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	h	190,000	mm
Šířka profilu	b	200,000	mm
Tloušťka stojiny	t_w	6,500	mm
Tloušťka pásnice	t_f	10,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r	18,000	mm
Vnitřní výška mezi pásnicemi	h_i	170,000	mm
Výška rovné části stojiny	d	134,000	mm
Plocha průřezu	A	5383,000	mm ²
Smyková plocha	A_y	3330,400	mm ²
Smyková plocha	A_z	1076,800	mm ²
Moment setrvačnosti	I_y	36920000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti	I_z	13360000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	82,800	mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	49,800	mm
Hmotnost průřezu	G	42,300	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I_t	209800,000	mm ⁴
Elastický průřezový modul	W_y	388600,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_z	133600,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	429500,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	203800,000	mm ³



Zatřídění průřezu:

Třída průřezu 1

7.8.1 KOMBINACE OHYBU A TLAKU

- Nejkritičtější kombinace — $KZ22 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS6 + ZS9$

Údaje o prutu:

$L = 2,0\text{m}$

$k_{cr,y} = 1,0$

$k_{cr,z} = 3,64$ (vzdálenost podélných ztužidel je 7,28m)

$k_w = 3,64$

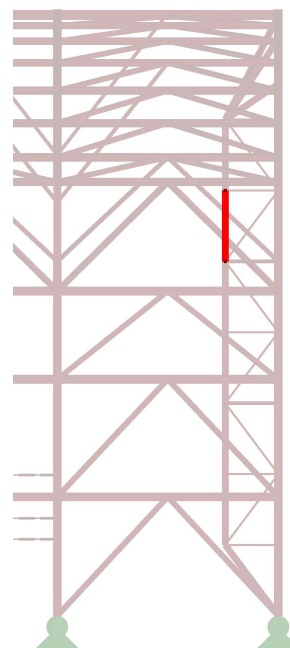
$N_{ed} = 161,241\text{ kN}$

$M_{y,Ed} = 2,729\text{ kNm}$

$M_{z,Ed} = 0,531\text{ kNm}$

Posouzení:

Posouzení – OHYB A TLAK (vzpěr)	
Charakteristická únosnost N_{Rk} (kN)	1264,30
Charakteristická únosnost $M_{y,Rk}$ (kNm)	101,05
Charakteristická únosnost $M_{z,Rk}$ (kNm)	47,94
kritická síla, $N_{cr,y}$ (kN)	19 120
kritická síla, $N_{cr,z}$ (kN)	524
Poměrná štíhlost, $\bar{\lambda}_y$	0,257
Poměrná štíhlost, $\bar{\lambda}_z$	1,553
součinitel, ϕ_y	0,543
součinitel, ϕ_z	2,038
součinitel vzpěrnosti, χ_y	0,980
součinitel vzpěrnosti, χ_z	0,298
Bezrozměrný parametr působíště, ξ_g	0,526
Bezrozměrný parametr kroucení, k_{wt}	0,497
Součinitel C_1 (metodou vl. čísel – Rfem)	1,226
Součinitel C_2 (metodou vl. čísel – Rfem))	0,460
Bezrozměrný kritický moment, μ_{cr}	0,303
Kritický moment při klopení, M_{cr} (kNm)	104,502
Poměrná štíhlost, $\bar{\lambda}_{LT}$	0,983
součinitel, ϕ_{LT}	1,066
součinitel klopení, χ_{LT}	0,677
součinitel momentu, c_{my}	0,842
součinitel momentu, c_{mz}	0,792
Součinitel interakce, k_{yy}	0,848
Součinitel interakce, k_{zz}	1,267
Součinitel interakce, k_{yz}	0,760
Součinitel interakce, k_{zy}	0,928
1. jednotkový posudek	0,17
2. jednotkový posudek	0,48
Posouzení	VYHOVUJE



7.8.2 VZPĚRNÝ TLAK – ČLENĚNÝ PRUT

- Nejkritičtější kombinace — KZ29 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS3 + 1.5*ZS7 + 1.05*ZS8 + ZS9

Údaje o prutu:

$L = 16,92 \text{ m}$

$L_{cr,y} = 16,92 \text{ m}$

$L_{cr,z} = 6,92 \text{ m}$

$a = 2,0 \text{ m}$

$h_0 = 1,5 \text{ m}$

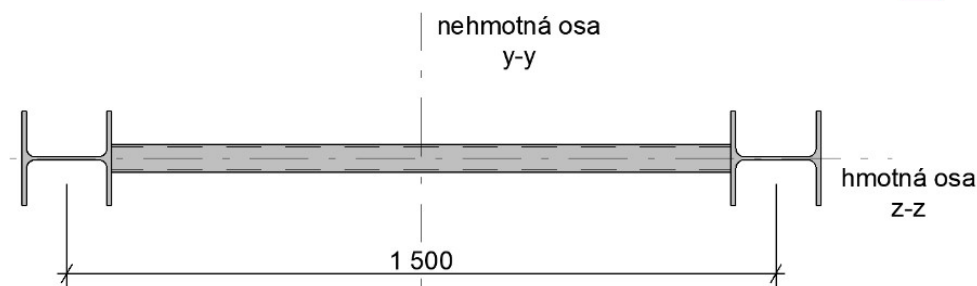
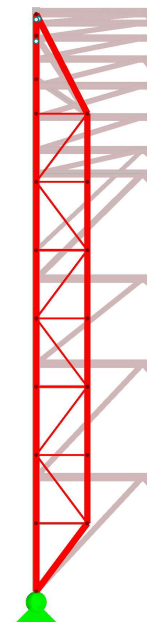
$d = 2,5 \text{ m}$

$n_{ch} = 2$ (počet pásů)

$n = 1$ (počet rovin příhradových spojek)

$N_{ch,Ed} = 277,466 \text{ kN}$ (extrém v jednom z pásů)

$N_{Ed} = 554,932 \text{ kN}$ (uvažuji stejnou extrémní sílu v obou pásech zároveň)



7.8.2.1 Rovinný vzpěr kolmo na hmotnou osu z:

Křivky vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez sloupu, ocel S 235 JR → kolmo k ose y: křivka b ($\alpha = 0,34$)

→ kolmo k ose z: křivka c ($\alpha = 0,49$)

Dutý průřez výplň. prutů, ocel S 235 JR → kolmo k ose y = z: křivka c ($\alpha = 0,49$)

Kritická síla:

$$N_{cr,z,ch} = \pi^2 * \frac{E * I_{z,ch}}{L_{cr,z}^2} = \pi^2 * \frac{210 * 10^6 * 13,36 * 10^{-6}}{6,92^2} = 578,247 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{0,005383 * 235 * 10^3}{578,247}} = 1,479$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\phi_z = 0,5 * \left(1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right) = 0,5 * (1 + 0,49 * (1,479 - 0,2) + 1,479^2) = 1,907$$

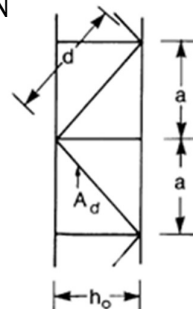
$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,907 + \sqrt{1,907^2 - 1,479^2}} = 0,321$$

Návrhová vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,321 * 0,005383 * 235 * 10^3}{1,00} = 406,067 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{277,466}{406,067} = 0,68 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$



Obrázek 20 – typ členěného prutu dle ČSN EN 1993-1-1

7.8.2.2 Vybočení kolmo na nehmotnou osu y:**Počáteční imperfekce prutu:**

$$e_0 = \frac{L}{500} = \frac{\max(L_{cr,y}; L)}{500} = \frac{16,92}{500} = 0,034 \text{ m}$$

Účinný moment setrvačnosti členěného prutu s příhradovými spojkami:

$$I_{eff} = 0,5 * h_0^2 * A_{ch} = 0,5 * 1,5^2 * 0,005383 = 0,006056 \text{ m}^4$$

Kritická síla: (vybočení čl. prutu jako celku)

$$N_{cr,y,ch} = \pi^2 * \frac{E * I_{eff}}{L_{cr,y}^2} = \pi^2 * \frac{210 * 10^6 * 60,56 * 10^{-4}}{16,92^2} = 43\,843,396 \text{ kN}$$

Smyková tuhost panelu s příhradovými spojkami:

$$S_v = \frac{n * E * A_d * a * h_0^2}{d^3} = \frac{1 * 210 * 10^6 * 0,00104 * 2,0 * 1,5^2}{2,5^3} = 62\,899,2 \text{ kN}$$

Max. ohybový moment uprostřed: (včetně účinků 2.řádu)

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} * e_0 + M_{Ed}^1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}} = \frac{554,932 * 0,034 + 0}{1 - \frac{554,932}{43\,843,4} - \frac{554,932}{62\,899,2}} = 19,282 \text{ kNm}$$

Max. tlaková síla v přitíženém pásu:

$$N_{ch,Ed} = \frac{N_{Ed}}{n_{ch}} + \frac{M_{Ed} * h_0 * A_{ch}}{2 * I_{eff}} = \frac{554,932}{2} + \frac{19,282 * 1,5 * 0,005383}{2 * 60,56 * 10^{-4}} = 290,320 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ PŘÍTÍŽENÉHO PÁSU PŘI VYBOČENÍ MEZI SPOJKAMI:**Kritická délka:**

$$L_{cr} = a = 2,0 \text{ m}$$

Kritická síla:

$$N_{cr,y,ch} = \pi^2 * \frac{E * I_{ch,y}}{a^2} = \pi^2 * \frac{210 * 10^6 * 36,92 * 10^{-6}}{2,0^2} = 19\,130,254 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\overline{\lambda}_{y,ch} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,y,ch}}} = \sqrt{\frac{0,005383 * 235 * 10^3}{19\,130,254}} = 0,257$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\phi_{y,ch} = 0,5 * \left(1 + \alpha * (\overline{\lambda} - 0,2) + \overline{\lambda}^2\right) = 0,5 * (1 + 0,34 * (0,26 - 0,2) + 0,26^2) = 0,543$$

$$\chi_{y,ch} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,543 + \sqrt{0,543^2 - 0,257^2}} = 0,979$$

Návrhová vzpěrná únosnost:

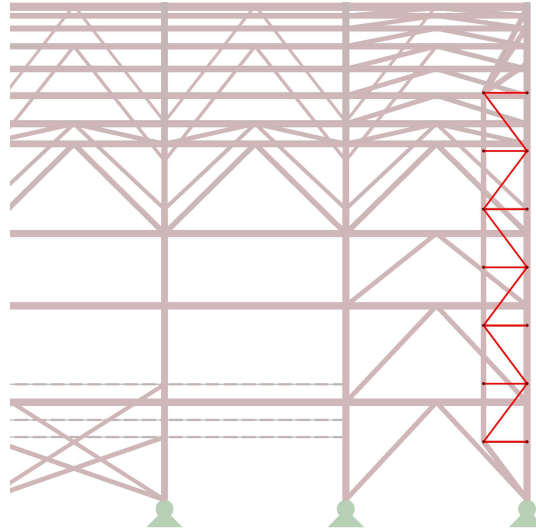
$$N_{b,ch,Rd} = \frac{\chi_{min} * A_{ch} * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,979 * 0,005383 * 235 * 10^3}{1,00} = 1\,238,44 \text{ kN}$$

Posouzení:

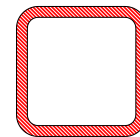
$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,ch,y,Rd}} = \frac{290,32}{1\,238,44} = 0,24 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení samotných příhradových spojek bude provedeno v následující kapitole.

7.9 Výplňové pruty štítového sloupu



Průřezové charakteristiky – TR 4HR 60x5



Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	60,000	mm
Tloušťka stěny	s	5,000	mm
Vnější rohové zaoblení	r	10,000	mm
Plocha průřezu	A	1040,000	mm ²
Moment setrvačnosti	I _y	505000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	22,100	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	31,300	mm
Hmotnost průřezu	G	8,200	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	864000,000	mm ⁴
Průřezový modul v kroucení	W _t	25600,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	16800,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	20900,000	mm ³

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{c}{t} = \frac{60 - 2 * 10}{5} = 8,0 < 33\varepsilon$$

Třída průřezu 1

7.9.1 VZPĚRNÝ TLAK

- Nejkritičtější kombinace — $KZ49 - 1.00 \cdot ZS1 + 1.00 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS7 + ZS10$

Údaje o prutu:

$$N_{Ed} = 49,512 \text{ kN}$$

$$k_{cr,y} = 1,0$$

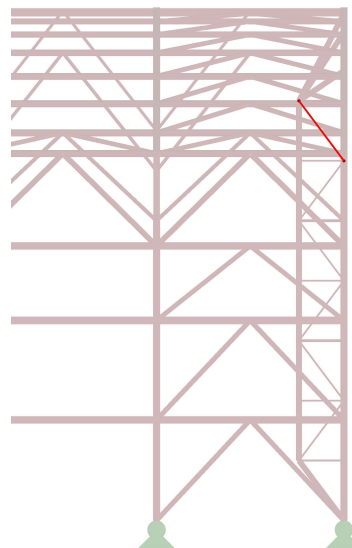
$$k_{cr,z} = 1,0$$

$$k_{cr,w} = 1,0$$

$$L = 2,500 \text{ m}$$

Posouzení:

Posouzení – VZPĚŘ (kolmo na osu $y=z$)	
kritická síla, $N_{cr,y}$ (kN)	177
Poměrná štíhlost, $\bar{\lambda}$	1,193
součinitel, ϕ	1,455
součinitel vzpěrnosti, χ	0,437
Návrhová vzpěrná únosnost, $N_{b,Rd}$ (kN)	109,95
Jednotkový posudek	0,45
Posouzení	VYHOVUJE

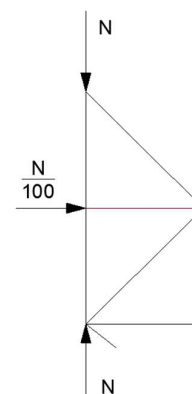


Posouzeno pouze v jednom směru vzhledem k symetrii uzavřeného průřezu a shodným průřezovým charakteristikám v obou směrech. Ke vzpěru zkroucením stejně jako ke klopení u uzavřených průřezů nedochází.

7.9.2 PODRUŽNÁ SVISLICE – VZPĚRNÝ TLAK

Podružná diagonála zkracuje vzpěrnou délku pásů. Je však třeba ji posoudit na tlak, který způsobuje tento pás ve snaze vybočit. Tato síla se uvažuje stejně jako u stabilitních sil jako $\frac{1}{100} * N$, kde N je tlaková síla v daném pásu.

Zjednodušeně beru jako normálovou sílu extrémní hodnotu tlaku ze všech pásů. Tu aplikuji na nejvíce využitou svislici a posoudím.



- Nejkritičtější kombinace — KZ49 – 1.00*ZS1 + 1.00*ZS2 + 1.5*ZS7 + ZS10

Extrém tlaku v horním pásu – 277,466 kN

$$\frac{1}{100} * 277,46 = 2,775 \text{ kN}$$

Údaje o prutu:

$$L = 1,500 \text{ m}$$

$$k_{cr,y} = 1,0$$

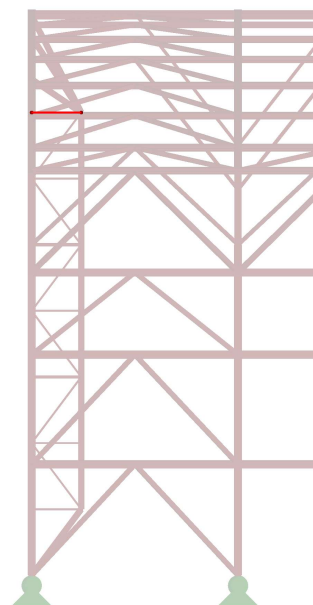
$$k_{cr,z} = 1,0$$

$$k_{cr,w} = 1,0$$

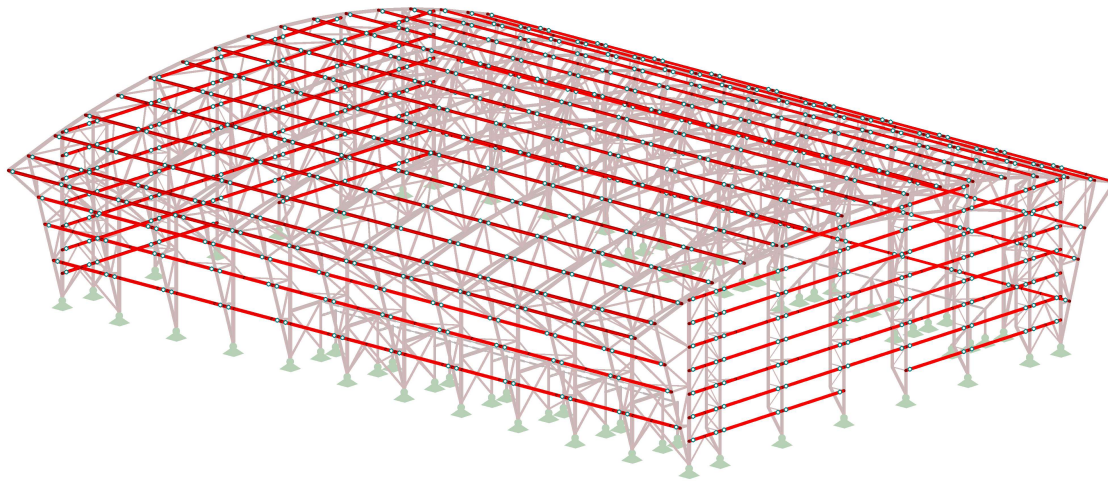
$$N_{ed} = 19,080 + 2,775 = 21,855 \text{ kN}$$

Posouzení:

Posouzení – VZPĚŘ (kolmo na osu y=z)	
kritická síla, $N_{cr,y}$ (kN)	491
Poměrná štíhlost, λ	0,716
součinitel, ϕ	0,882
součinitel vzpěrnosti, χ	0,715
Návrhová vzpěrná únosnost, $N_{b,Rd}$ (kN)	179,78
Jednotkový posudek	0,12
Posouzení	VYHOVUJE

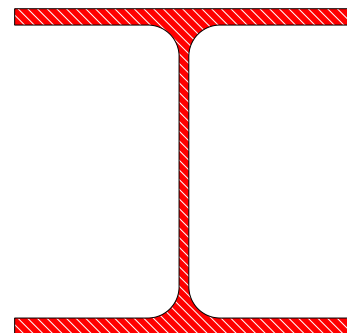


7.10 Vaznice a paždíky



Průřezové charakteristiky – HEA 200

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	h	190,000	mm
Šířka profilu	b	200,000	mm
Tloušťka stojiny	t_w	6,500	mm
Tloušťka pásnice	t_f	10,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r	18,000	mm
Vnitřní výška mezi pásnicemi	h_i	170,000	mm
Výška rovné části stojiny	d	134,000	mm
Plocha průřezu	A	5383,000	mm ²
Smyková plocha	A_y	3330,400	mm ²
Smyková plocha	A_z	1076,800	mm ²
Moment setrvačnosti	I_y	36920000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti	I_z	13360000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	82,800	mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	49,800	mm
Hmotnost průřezu	G	42,300	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I_t	209800,000	mm ⁴
Elastický průřezový modul	W_y	388600,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_z	133600,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	429500,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	203800,000	mm ³



Zatřídění průřezu:

Třída průřezu 1

7.10.1 ŠIKMÝ OHYB

- Nejkritičtější kombinace — KZ17 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS3 + 1.05*ZS8+ZS9

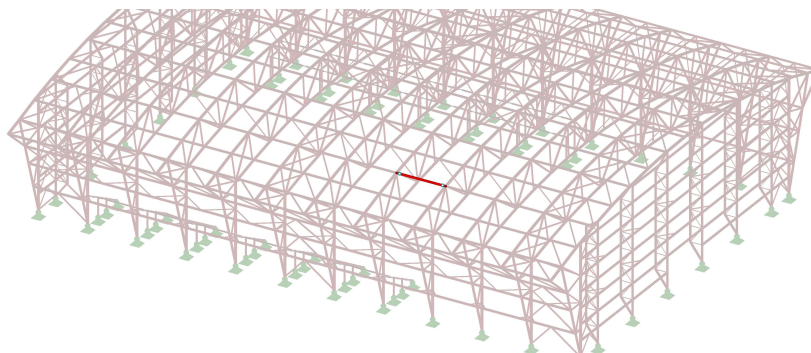
Údaje o prutu:

$$N_{Ed} = 12,833 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 52,155 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 10,426 \text{ kNm}$$

$$L = 6,250 \text{ m}$$



Posouzení:

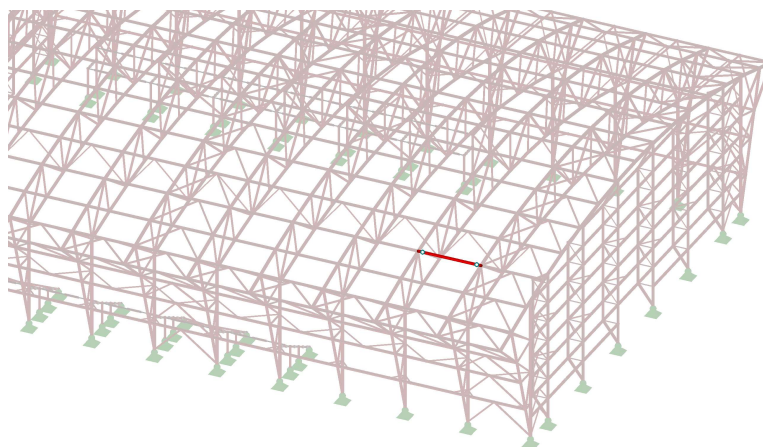
Posouzení – ŠIKMÝ OHYB (I a H průřezů)	
Únosnost průřezu v tahu, $N_{pl,Rd}$ (kN)	1 264,30
$N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$	SPLNĚNO
$N_{Ed} \leq (0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y) / \gamma_{M0}$	SPLNĚNO
$N_{Ed} \leq (h_w \cdot t_w \cdot f_y) / \gamma_{M0}$	SPLNĚNO
Bez vlivu osově síly na plastický moment	
Únosnost v ohybu, $M_{pl,y,Rd}$ (kNm)	101,05
Únosnost v ohybu, $M_{pl,z,Rd}$ (kNm)	47,94
$(M_{y,Ed} / M_{pl,y,Rd}) + (M_{z,Ed} / M_{pl,z,Rd})$	0,73
Posouzení	VYHOVUJE

7.10.2 KOMBINACE OHYBU A TLAKU

- Nejkritičtější kombinace — KZ17 – 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.5*ZS3 + 1.05*ZS8+ZS9

Údaje o prutu:

- $L = 6,25 \text{ m}$
- $k_{cr,y} = 1,0$
- $k_{cr,z} = 1,0$
- $k_w = 1,0$
- $N_{Ed} = 20,736 \text{ kN}$
- $M_{y,Ed} = 52,378 \text{ kNm}$
- $M_{z,Ed} = 10,551 \text{ kNm}$



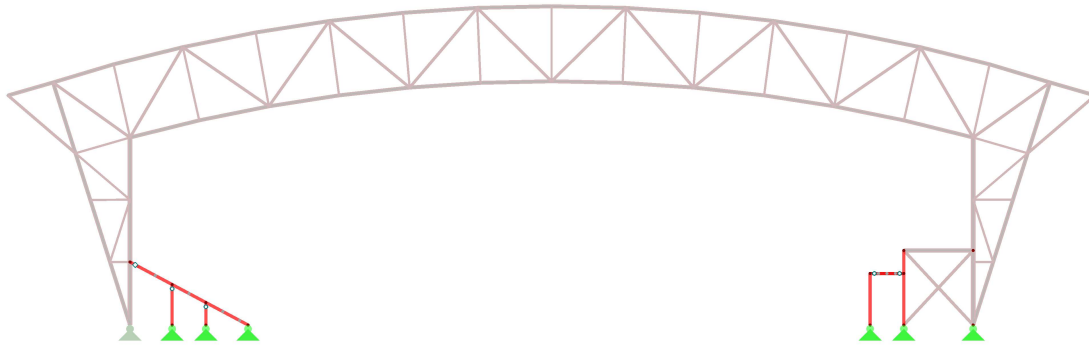
Posouzení:

Posouzení – OHYB A TLAK (vzpěr)	
Charakteristická únosnost N_{Rk} (kN)	1264,30
Charakteristická únosnost $M_{y,Rk}$ (kN)	101,05
Charakteristická únosnost $M_{z,Rk}$ (kN)	47,94
kritická síla, $N_{cr,y}$ (kN)	1 958
kritická síla, $N_{cr,z}$ (kN)	711
Poměrná štíhlost, λ_y	0,804
Poměrná štíhlost, λ_z	1,334
součinitel, ϕ_y	0,925
součinitel, ϕ_z	1,667
součinitel vzpěrnosti, χ_y	0,722
součinitel vzpěrnosti, χ_z	0,375
Bezrozměrný parametr působistě, ξ_g	0,613
Bezrozměrný parametr kroucení, k_{wt}	0,579
Součinitel C_1 (TAB. NB 3.2)	1,130
Součinitel C_2 (TAB. NB 3.2)	0,460
Bezrozměrný kritický moment, μ_{cr}	1,026
Kritický moment při klopení, M_{cr} (kNm)	113,051
Poměrná štíhlost, λ_{LT}	0,945
součinitel, ϕ_{LT}	1,025
součinitel klopení, χ_{LT}	0,735
součinitel momentu, c_{my}	0,950
součinitel momentu, c_{mz}	0,950
Součinitel interakce, k_{yy}	0,963
Součinitel interakce, k_{zz}	1,008
Součinitel interakce, k_{yz}	0,605
Součinitel interakce, k_{zy}	0,994
1. jednotkový posudek	0,83
2. jednotkový posudek	0,97
Posouzení	VYHOVUJE

Výpočet klopení je zjednodušeně uvažován méně příznivou metodou dle odstavce 6.3.2.2 v ČSN EN 1993-1-1. V přídatném modulu programu Dlubal RFem pro posuzování konstrukcí dle EC3 je počítáno přesněji dle odstavce 6.3.2.3 a posudek je příznivější (0,94<1,00).

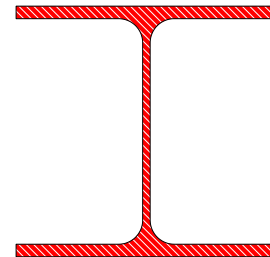
Výpočet byl tedy vzhledem k vysokému využití zkontrolován na 2 metodách.

7.11 Konstrukce tribuny



Průřezové charakteristiky – HEA 160

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	h	152,000	mm
Šířka profilu	b	160,000	mm
Tloušťka stojiny	t _w	6,000	mm
Tloušťka pásnice	t _f	9,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r	15,000	mm
Vnitřní výška mezi pásnicemi	h _i	134,000	mm
Výška rovné části stojiny	d	104,000	mm
Plocha průřezu	A	3877,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	2398,600	mm ²
Smyková plocha	A _z	784,500	mm ²
Moment setrvačnosti	I _y	16730000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti	I _z	6156000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	65,700	mm
Poloměr setrvačnosti	i _z	39,800	mm
Hmotnost průřezu	G	30,400	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	121900,000	mm ⁴
Elastický průřezový modul	W _y	220100,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _z	76950,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	245100,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,z}	117600,000	mm ³



Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{152 - 2 * 9 - 2 * 15}{6} = 17,3 < 33\varepsilon$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\left(\frac{160}{2}\right) - 0,5 * 6 - 15}{9} = 6,89 < 9\varepsilon$$

Třída průřezu 1

7.1.1 KOMBINACE OHYBU A TLAKU

- Nejkritičtější kombinace — $KZ40 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$

Údaje o prutu:

$L = 2,550 \text{ m}$

$k_{cr,y} = 1,0$

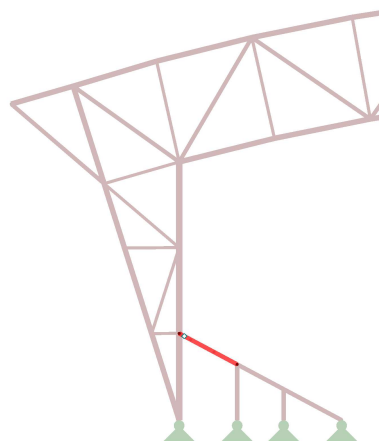
$k_{cr,z} = 1,0$

$k_w = 1,0$

$N_{Ed} = 35,784 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = 32,575 \text{ kNm}$

$M_{z,Ed} = 3,909 \text{ kNm}$



Posouzení:

Posouzení – OHYB A TLAK (vzpěr)	
Charakteristická únosnost N_{Rk} (kN)	911,80
Charakteristická únosnost $M_{y,Rk}$ (kNm)	57,81
Charakteristická únosnost $M_{z,Rk}$ (kNm)	27,73
kritická síla, $N_{cr,y}$ (kN)	5 323
kritická síla, $N_{cr,z}$ (kN)	1 963
Poměrná štíhlost, $\bar{\lambda}_y$	0,414
Poměrná štíhlost, $\bar{\lambda}_z$	0,681
součinitel, ϕ_y	0,622
součinitel, ϕ_z	0,850
součinitel vzpěrnosti, χ_y	0,921
součinitel vzpěrnosti, χ_z	0,736
Bezrozměrný parametr působíště, ξ_g	1,067
Bezrozměrný parametr kroucení, k_{wt}	1,002
Součinitel C_1 (metodou vl. čísel – Rfem)	1,232
Součinitel C_2 (metodou vl. čísel – Rfem))	0,692
Bezrozměrný kritický moment, μ_{cr}	1,058
Kritický moment při klopení, M_{cr} (kNm)	147,941
Poměrná štíhlost, $\bar{\lambda}_{LT}$	0,625
součinitel, ϕ_{LT}	0,740
součinitel klopení, χ_{LT}	0,880
součinitel momentu, c_{my}	0,810
součinitel momentu, c_{mz}	0,400
Součinitel interakce, k_{yy}	0,817
Součinitel interakce, k_{zz}	0,416
Součinitel interakce, k_{yz}	0,250
Součinitel interakce, k_{zy}	0,994
1. jednotkový posudek	0,60
2. jednotkový posudek	0,75
Posouzení	VYHOVUJE

7.11.2 ŠIKMÝ OHYB

- Nejkritičtější kombinace — $KZ40 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$

Údaje o prutu:

$N_{Ed} = 35,585 \text{ kN}$

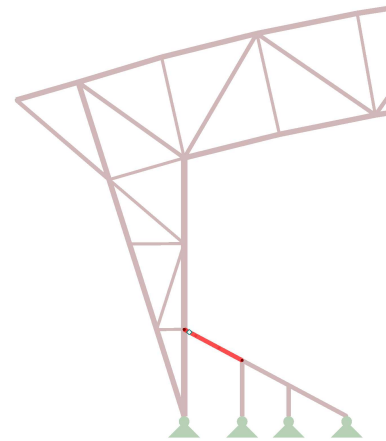
$M_{y,Ed} = 36,402 \text{ kNm}$

$M_{z,Ed} = 0,915 \text{ kNm}$

$L = 2,550 \text{ m}$

Posouzení:

Posouzení – ŠIKMÝ OHYB (I a H průřezů)	
Únosnost průřezu v tahu, $N_{pl,Rd} \text{ (kN)}$	911,80
$N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$	SPLNĚNO
$N_{Ed} \leq (0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y) / \gamma_{M0}$	SPLNĚNO
$N_{Ed} \leq (h_w \cdot t_w \cdot f_y) / \gamma_{M0}$	SPLNĚNO
Bez vlivu osově síly na plastický moment	
Únosnost v ohybu, $M_{pl,y,Rd} \text{ (kNm)}$	57,81
Únosnost v ohybu, $M_{pl,z,Rd} \text{ (kNm)}$	27,73
$(M_{y,Ed} / M_{pl,y,Rd}) + (M_{z,Ed} / M_{pl,z,Rd})$	0,66
Posouzení	VYHOVUJE



7.11.3 KLOPENÍ

- Nejkritičtější kombinace — $KZ37 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$

Údaje o prutu:

$$N_{Ed} = 35,180 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 35,590 \text{ kNm}$$

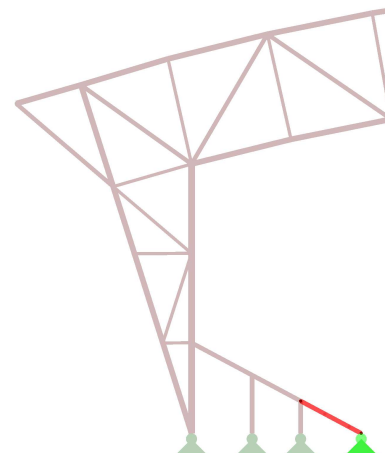
$$M_{z,Ed} = 0,013 \text{ kNm}$$

$$k_{cr,y} = 1,0$$

$$k_{cr,z} = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

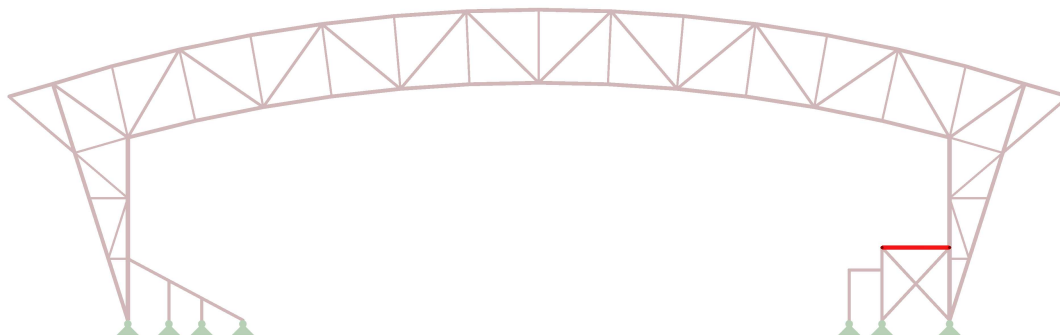
$$L = 2,550 \text{ m}$$



Posouzení:

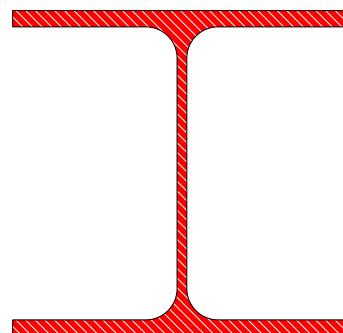
Posouzení – KLOPENÍ	
Bezrozměrný parametr působíště, ξ_g	1,067
Bezrozměrný parametr kroucení, k_{wt}	1,002
Součinitel C_1 (metodou vl. čísel – Rfem)	1,228
Součinitel C_2 (metodou vl. čísel – Rfem)	0,686
Bezrozměrný kritický moment, μ_{cr}	1,059
Kritický moment při klopení, M_{cr} (kNm)	148,053
Poměrná štíhlost, $\bar{\lambda}_{LT}$	0,625
součinitel, ϕ_{LT}	0,740
součinitel klopení, χ_{LT}	0,880
Moment únos. na klopení, $M_{b,Rd}$ (kNm)	50,891
Jednotkový posudek	0,70
Posouzení	VYHOVUJE

7.12 Konstrukce tribuny – horní nosník



Průřezové charakteristiky – HEA 240

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	h	230,000	mm
Šířka profilu	b	240,000	mm
Tloušťka stojiny	t_w	7,500	mm
Tloušťka pásnice	t_f	12,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r	21,000	mm
Vnitřní výška mezi pásnicemi	h_i	206,000	mm
Výška rovné části stojiny	d	164,000	mm
Plocha průřezu	A	7684,000	mm ²
Smyková plocha	A_y	4795,700	mm ²
Smyková plocha	A_z	1509,800	mm ²
Moment setrvačnosti	I_y	77630000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti	I_z	27690000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	100,500	mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	60,000	mm
Hmotnost průřezu	G	60,300	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I_t	415500,000	mm ⁴
Elastický průřezový modul	W_y	675100,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_z	230700,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	744600,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	351700,000	mm ³



Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{230 - 2 * 12 - 2 * 21}{7,5} = 21,9 < 33\varepsilon$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\left(\frac{240}{2}\right) - 0,5 * 7,5 - 21}{12} = 7,94 < 9\varepsilon$$

Třída průřezu 1

7.12.1 KLOPENÍ

- Nejkritičtější kombinace — $KZ46 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.9 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$

Údaje o prutu:

$L = 3,700 \text{ m}$

$k_{cr,y} = 0,5$ (oboustranně vetknuté)

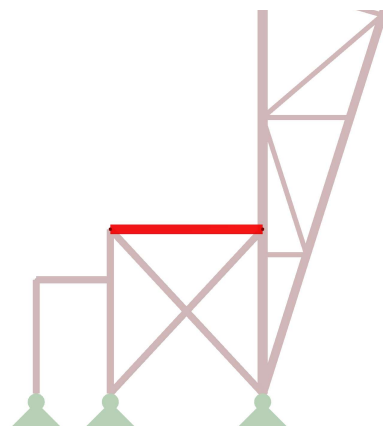
$k_{cr,z} = 0,5$ (oboustranně vetknuté)

$k_w = 0,5$ (oboustranně vetknuté)

$N_{Ed} = 40,665 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = 92,449 \text{ kNm}$

$M_{z,Ed} = 0,247 \text{ kNm}$



Posouzení:

Posouzení – KLOPENÍ	
Bezrozměrný parametr působíště, ξ_g	2,563
Bezrozměrný parametr kroucení, k_{wt}	2,427
Součinitel C_1 (metodou vl. čísel – Rfem)	1,147
Součinitel C_2 (metodou vl. čísel – Rfem)	0,548
Bezrozměrný kritický moment, μ_{cr}	7,636
Kritický moment při klopení, M_{cr} (kNm)	2 874,054
Poměrná štíhlost, $\bar{\lambda}_{LT}$	0,247
součinitel, ϕ_{LT}	0,535
součinitel klopení, χ_{LT}	0,990
Moment únos. na klopení, $M_{b,Rd}$ (kNm)	173,036
Jednotkový posudek	0,53
Posouzení	VYHOVUJE

7.12.2 SMYK

- Nejkritičtější kombinace — $KZ46 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 0.9 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS8 + ZS9$

Údaje o prutu:

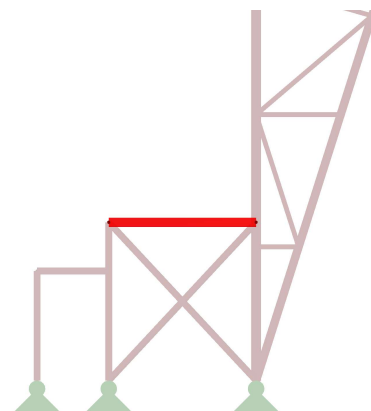
$L = 3,700 \text{ m}$

$V_{y,Ed} = 1,000 \text{ kN}$ (zanedbatelné – posudek jen pro směr z)

$V_{z,Ed} = 156,763 \text{ kN}$

Posouzení:

Posouzení – SMYK	
Únosnost ve smyku, $V_{pl,z,Rd}$ (kN)	341,64
Jednotkový posudek (z)	0,46
Posouzení	VYHOVUJE



7.12.3 ŠIKMÝ OHYB

- Nejkritičtější kombinace — KZ46 – 1.35*ZS1+ 1.35*ZS2+ 0.9*ZS6+ 1.5*ZS8+ ZS9

Údaje o prutu:

$L = 3,700 \text{ m}$

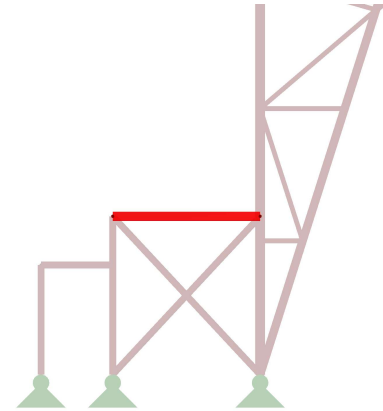
$N_{Ed} = 51,880 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = 93,232 \text{ kNm}$

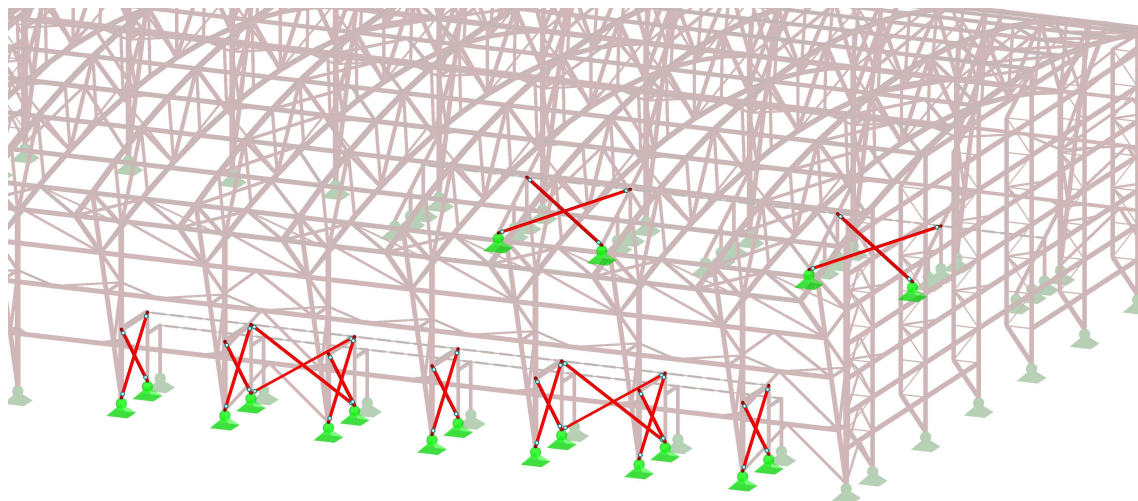
$M_{z,Ed} = 0,362 \text{ kNm}$

Posouzení:

Posouzení – ŠIKMÝ OHYB (I a H průřezů)	
Únosnost průřezu v tahu, $N_{pl,Rd}$ (kN)	1 804,80
$N_{Ed} \leq 0,25 * N_{pl,Rd}$	SPLNĚNO
$N_{Ed} \leq (0,5 * h_w * t_w * f_y) / \gamma_{M0}$	SPLNĚNO
$N_{Ed} \leq (h_w * t_w * f_y) / \gamma_{M0}$	SPLNĚNO
Bez vlivu osově síly na plastický moment	
Únosnost v ohybu, $M_{pl,y,Rd}$ (kNm)	174,84
Únosnost v ohybu, $M_{pl,z,Rd}$ (kNm)	82,72
$(M_{y,Ed} / M_{pl,y,Rd}) + (M_{z,Ed} / M_{pl,z,Rd})$	0,54
Posouzení	VYHOVUJE

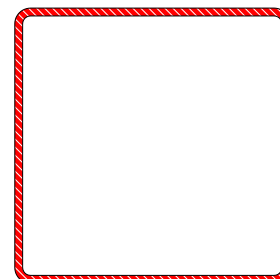


7.13 Tribuna – ztužidla



Průřezové charakteristiky – TR 4HR 140x4

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	140,000	mm
Tloušťka stěny	s	4,000	mm
Vnější rohové zaoblení	r	8,000	mm
Plocha průřezu	A	2130,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	913,700	mm ²
Moment setrvačnosti	I _y	6520000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	55,200	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	78,100	mm
Hmotnost průřezu	G	16,700	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	10230000,000	mm ⁴
Průřezový modul v kroucení	W _t	140000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	93100,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{ply}	108000,000	mm ³



Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{c}{t} = \frac{140 - 2 * 8}{4} = 31 < 33\varepsilon$$

Třída průřezu 1

7.13.1 VZPĚRNÝ TLAK

- Nejkritičtější kombinace — $KZ11 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS6 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$

Údaje o prutu:

$N_{Ed} = 162,489 \text{ kN}$

$k_{cr,y} = 1,0$

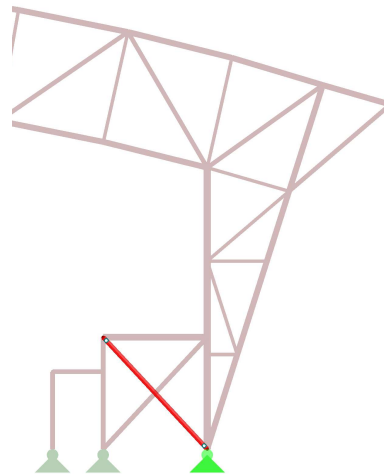
$k_{cr,z} = 1,0$

$k_w = 1,0$

$L = 5,431 \text{ m}$

Posouzení:

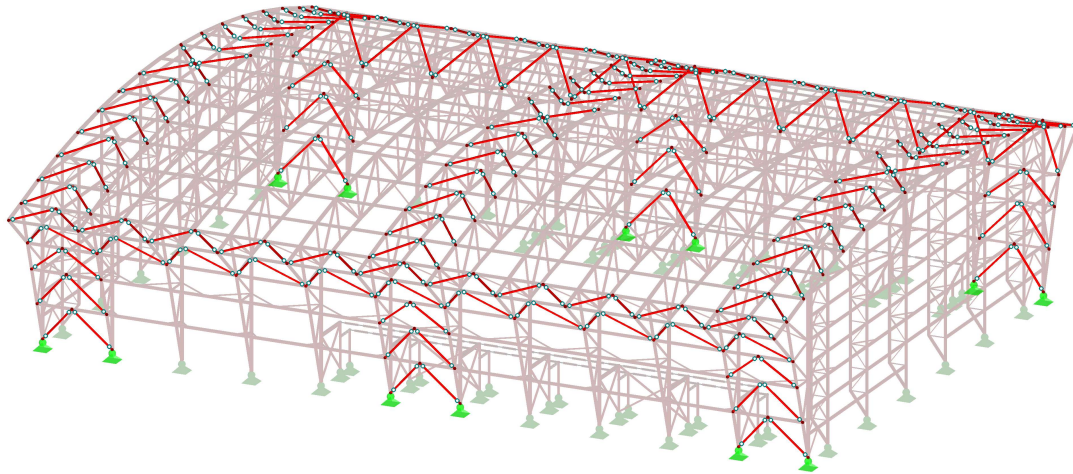
Posouzení – VZPĚŘ (kolmo na osu $y=z$)	
kritická síla, $N_{cr,y}$ (kN)	466
Poměrná štíhlost, $\bar{\lambda}$	1,044
součinitel, ϕ	1,252
součinitel vzpěrnosti, χ	0,515
Návrhová vzpěrná únosnost, $N_{b,Rd}$ (kN)	261,38
Jednotkový posudek	0,62
Posouzení	VYHOVUJE



Posouzeno pouze v jednom směru vzhledem k symetrii uzavřeného průřezu a shodným průřezovým charakteristikám v obou směrech. Ke vzpěru zkroucením stejně jako ke klopení u uzavřených průřezů nedochází.

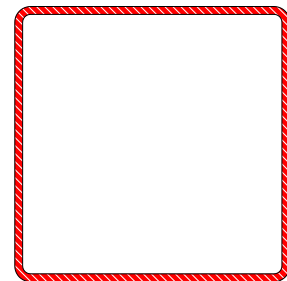
7.14 Příčná a okapová ztužidla

Izometrie



Průřezové charakteristiky – TR 4HR 140x4

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	140,000	mm
Tloušťka stěny	s	4,000	mm
Vnější rohové zaoblení	r	8,000	mm
Plocha průřezu	A	2130,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	913,700	mm ²
Moment setrvačnosti	I _y	6520000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	55,200	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	78,100	mm
Hmotnost průřezu	G	16,700	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	10230000,000	mm ⁴
Průřezový modul v kroucení	W _t	140000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	93100,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	108000,000	mm ³



Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{c}{t} = \frac{140 - 2 * 8}{4} = 31 < 33\varepsilon$$

Třída průřezu 1

7.14.1 VZPĚRNÝ TLAK

- Nejkritičtější kombinace — $KZ17 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$

Údaje o prutu:

$$N_{Ed} = 159,396 \text{ kN}$$

$$k_{cr,y} = 1,0$$

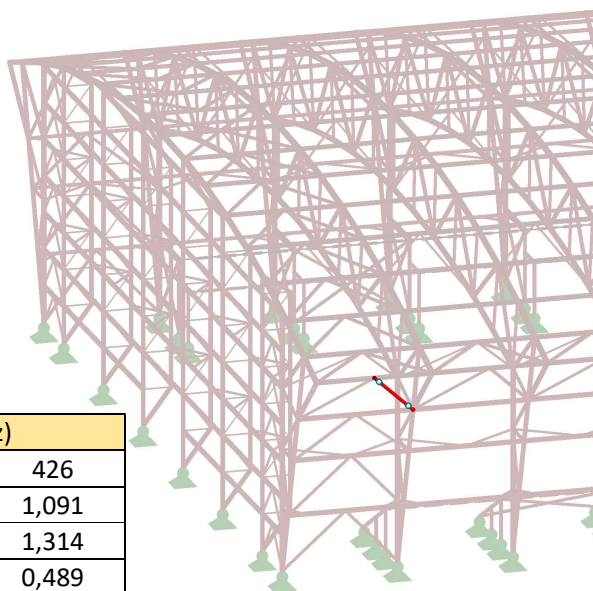
$$k_{cr,z} = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$L = 5,677 \text{ m}$$

Posouzení:

Posouzení – VZPĚR (kolmo na osu $y=z$)	
kritická síla, $N_{cr,y}$ (kN)	426
Poměrná štíhlost, $\bar{\lambda}$	1,091
součinitel, ϕ	1,314
součinitel vzpěrnosti, χ	0,489
Návrhová vzpěrná únosnost, $N_{b,Rd}$ (kN)	248,22
Jednotkový posudek	0,64
Posouzení	VYHOVUJE



Posouzeno pouze v jednom směru vzhledem k symetrii uzavřeného průřezu a shodným průřezovým charakteristikám v obou směrech. Ke vzpěru zkroucením stejně jako ke klopení u uzavřených průřezů nedochází.

7.14.2 TAH

- Nejkritičtější kombinace — $KZ17 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 1.05 \cdot ZS8 + ZS9$

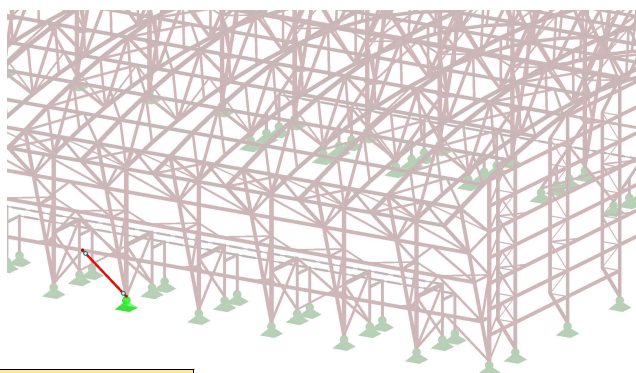
Údaje o prutu:

$$N_{Ed} = 172,225 \text{ kN}$$

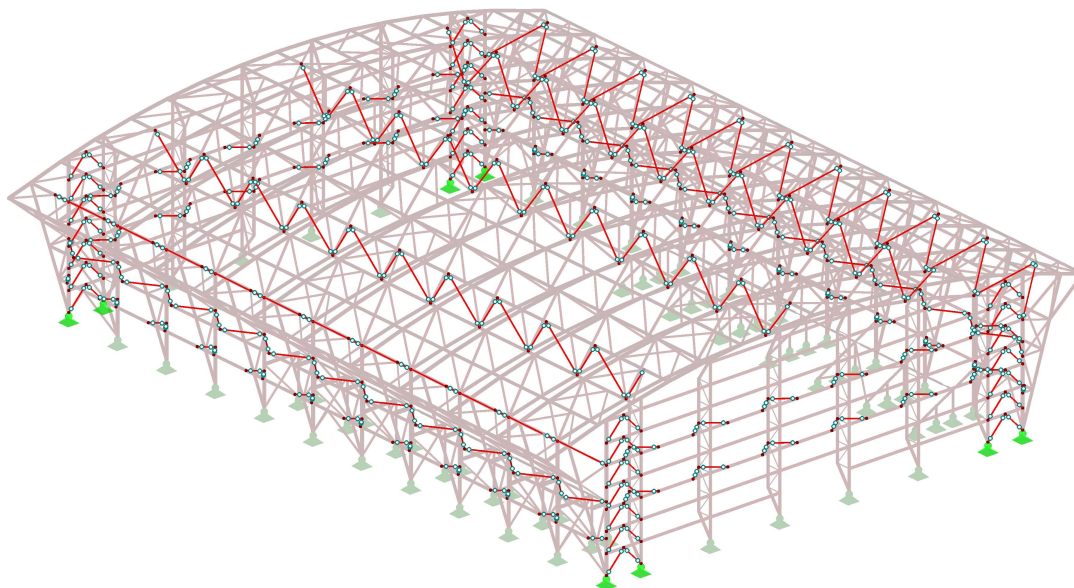
$$L = 4,709 \text{ m}$$

Posouzení:

Posouzení – TAH	
Únosnost neoslabeného průřezu, $N_{t,Rd}$ (kN)	507,60
Jednotkový posudek	0,34
Posouzení	VYHOVUJE

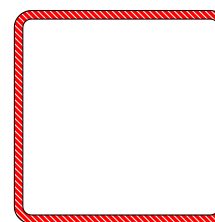


7.15 Podélná a stěnová ztužidla ve štítové stěně



Průřezové charakteristiky – TR 4HR 100x4

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	100,000	mm
Tloušťka stěny	s	4,000	mm
Vnější rohové zaoblení	r	8,000	mm
Plocha průřezu	A	1490,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	646,800	mm ²
Moment setrvačnosti	I _y	2260000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	38,900	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	55,000	mm
Hmotnost průřezu	G	11,700	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	3620000,000	mm ⁴
Průřezový modul v kroucení	W _t	68100,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	45300,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{ply}	53300,000	mm ³



Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{c}{t} = \frac{100 - 2 * 8}{4} = 21 < 33\varepsilon$$

Třída průřezu 1

7.15.1 VZPĚRNÝ TLAK

- Nejkritičtější kombinace — $KZ2 - 1.35 \cdot ZS1 + 1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + ZS9$

Údaje o prutu: (rohové podélné ztužidlo)

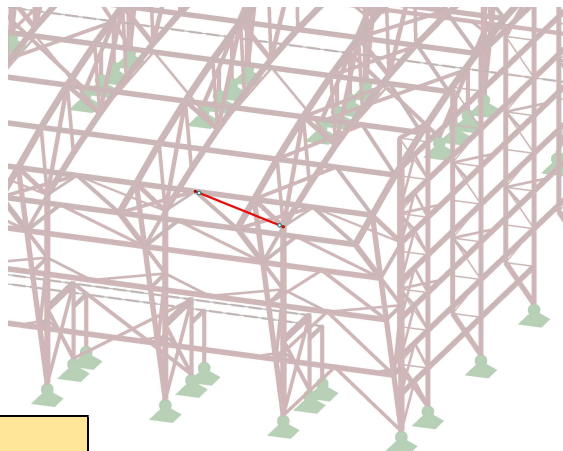
$$N_{Ed} = 63,643 \text{ kN}$$

$$k_{cr,y} = 1,0$$

$$k_{cr,z} = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$L = 5,939 \text{ m}$$



Posouzení:

Posouzení – VZPĚŘ (kolmo na osu y)	
kritická síla, $N_{cr,y}$ (kN)	136
Poměrná štíhlost, λ	1,619
součinitel, ϕ	2,158
součinitel vzpěrnosti, χ	0,279
Návrhová vzpěrná únosnost, $N_{b,Rd}$ (kN)	99,66
Jednotkový posudek	0,64
Posouzení	VYHOVUJE

Posouzeno pouze v jednom směru vzhledem k symetrii uzavřeného průřezu a shodným průřezovým charakteristikám v obou směrech. Ke vzpěru zkroucením stejně jako ke klopení u uzavřených průřezů nedochází

8 Posouzení na MSP

8.1 Stanovení třídy provedení

Třída následků – CC3

Velké následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo velmi významné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí.

Výrobní kategorie – PC1

Nesvařované dílce vyrobené z výrobků jakékoliv pevnostní třídy a svařované z oceli nižší pevnosti než S 355.

Kategorie použitelnosti – SC1

Konstrukce a dílce navržené pouze na kvazistatické zatížení (např.: pozemní stavby)

Třída provedení – EXC3

8.2 Posouzení svislého průhybu

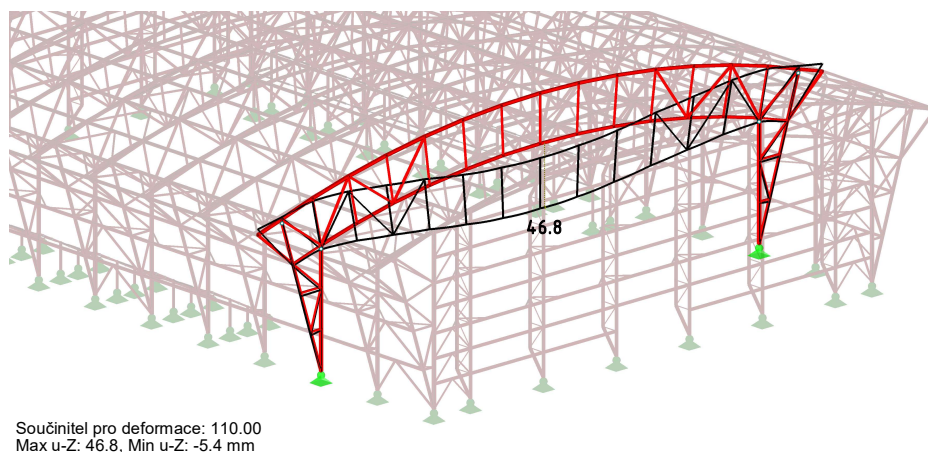
8.2.1 Vazník

Maximální přípustný svislý průhyb vazníku:

$$u_{z,max} = \frac{1}{250} * L = \frac{1}{250} * 45\,000 = 180 \text{ mm}$$

Maximální svislý průhyb konstrukce:

- Nejkritičtější kombinace – KZ64 – ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.7*ZS8 + 0.74*ZS9
- Maximální hodnota průhybu na konstrukci – $u_z = 46,8 \text{ mm}$



Posouzení:

$$u_{z,max} \geq u_z$$

$$180 \text{ mm} \geq 46,8 \text{ mm}$$

Vyhovuje

8.2.2 Vaznice

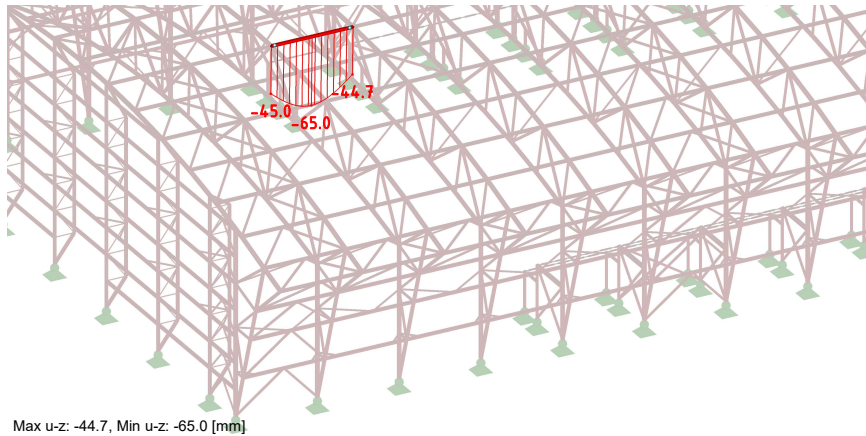
Maximální přípustný svislý průhyb vaznice:

$$u_{z,max} = \frac{1}{200} * L = \frac{1}{200} * 6\,250 = 31,25 \text{ mm}$$

Maximální svislý průhyb konstrukce:

- Nejkritičtější kombinace – charakteristická (KZ64 – ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.7*ZS8 + 0.74*ZS9)
- Maximální hodnota průhybu na konstrukci – $u_z = 20,15 \text{ mm}$

$$u_z = 65 - \frac{44,7 + 45,0}{2} = 20,15 \text{ mm}$$

**Posouzení:**

$$u_{z,max} \geq u_z$$

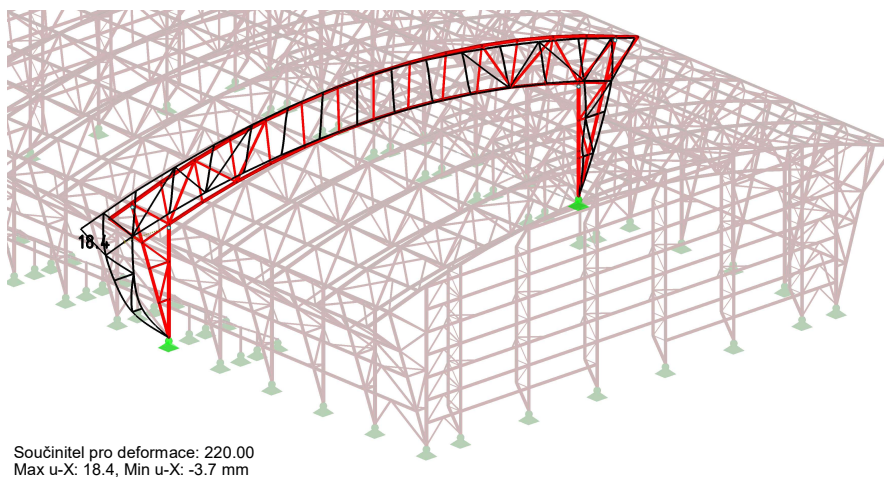
$$31,25 \text{ mm} \geq 20,15 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

8.3 Posouzení vodorovného posunu**8.3.1 Sloup příčné vazby****Maximální přípustný vodorovný posun sloupu:**

$$u_{x,max} = \frac{1}{300} * h = \frac{1}{300} * 10\,000 = 33,33 \text{ mm}$$

Maximální vodorovný posun konstrukce:

- Nejkritičtější kombinace – KZ64 – ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0,7*ZS8+ 0,74*ZS9
- Maximální hodnota průhybu na konstrukci – $u_x = 18,4 \text{ mm}$

**Posouzení:**

$$u_{x,max} \geq u_x$$

$$33,33 \text{ mm} \geq 18,4 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

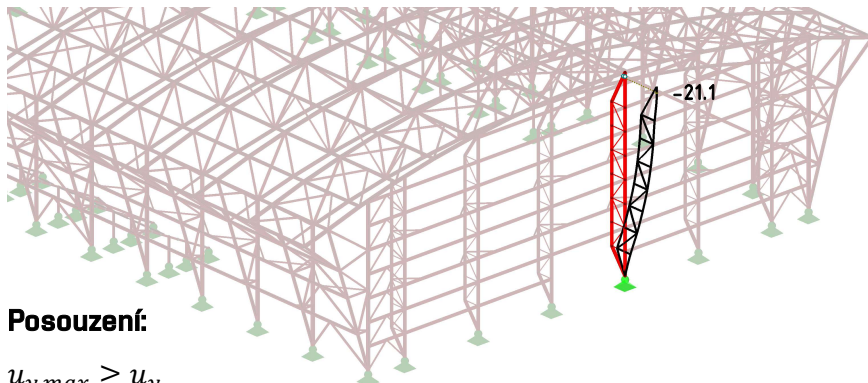
8.3.2 Sloup štítové stěny

Maximální přípustný vodorovný posun sloupu: (pro výšku nejnižšího sloupu)

$$u_{y,max} = \frac{1}{300} * h = \frac{1}{300} * 15\,000 = 50\text{ mm}$$

Maximální vodorovný posun konstrukce:

- Nejkritičtější kombinace – KZ75 – ZS1 + ZS2 + 0,5*ZS3 + 0,7*ZS8 + 0,74*ZS9
- Maximální hodnota průhybu na konstrukci – $u_y = 21,1\text{ mm}$



Posouzení:

$$u_{y,max} \geq u_y$$

$$50,0\text{ mm} \geq 21,1\text{ mm}$$

Vyhovuje

8.3.3 Paždík

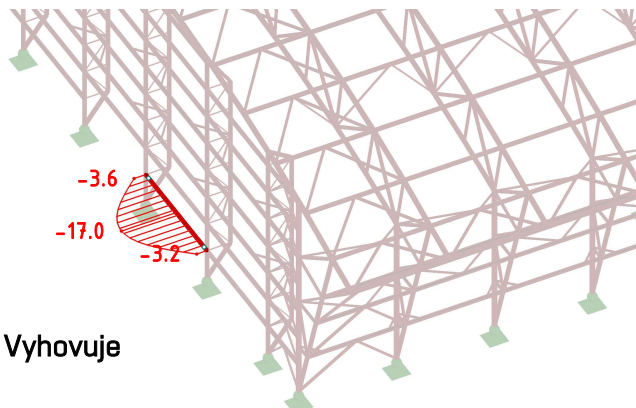
Maximální přípustný vodorovný posun paždíku: (přísnější hodnota kvůli zasklení)

$$u_{y,max} = \frac{1}{300} * L = \frac{1}{300} * 7\,500 = 25\text{ mm}$$

Maximální vodorovný posun konstrukce:

- Nejkritičtější kombinace – KZ75 – ZS1 + ZS2 + 0,5*ZS3 + 0,7*ZS8 + 0,74*ZS9
- Maximální hodnota průhybu na konstrukci:

$$u_y = 17 - \frac{3,6 + 3,2}{2} = 13,6\text{ mm}$$



Posouzení:

$$u_{y,max} \geq u_y$$

$$25,0\text{ mm} \geq 13,6\text{ mm}$$

Vyhovuje

12.3 Internetové zdroje

Oblasti zatížení sněhem, větrem a zemětřesením [online], c2001–2024. Tiefenbach, Deutschland:

Dlubal software [cit. 2025-01-04]. Dostupné z:

<https://www.dlubal.com/cs>

HILTI [online], c2019. Schaan, Liechtenstein: HILTI GROUP [cit. 2025-01-04]. Dostupné z:

<https://www.hilti.cz/>

Kingspan, 2024. *Kingspan* [online]. [cit. 2025-01-04]. Dostupné z:

<https://www.kingspan.com/cz/cs/>

ING. ARCH PAVEL HLADÍK, MA, PH.D., 2012. NAVRHOVÁNÍ TRIBUN SPORTOVNÍCH

STAVEB. *BETON* [online]. **2012**(5), 3-9 [cit. 2025-01-06]. Dostupné z:

https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2012-5-03_0.pdf