



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

C – STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Katarína Polerecká

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL ŠTRBA, Ph.D.

BRNO 2017

Obsah

1. Úvod.....	- 5 -
2. Popis konštrukcie	- 5 -
2.1 Pôdorysná schéma	- 6 -
2.2 3D model	- 6 -
2.3 Schéma priečnej väzby	- 7 -
3. Zaťažovacie stavy.....	- 7 -
3.1 Vlastná tiaž- ZS 1	- 8 -
3.2 Ostatné stále zaťaženie- ZS 2	- 8 -
3.3 Zaťaženie vzduchotechnikou.....	- 9 -
3.4 Sneh plný- ZS 3	- 9 -
3.5 Sneh naviaty na stred- ZS 4.....	- 10 -
3.6 Sneh naviaty na ľavú stranu-ZS 5	- 12 -
3.7 Sneh naviaty na pravú stranu- ZS 6.....	- 13 -
3.8 Vietor priečny zľava- ZS 7	- 14 -
3.8.1 Účinky priečneho vetra na steny	- 15 -
3.8.2 Účinky priečneho vetra na zastrešenie.....	- 18 -
3.9 Vietor priečny zprava- ZS 8	- 19 -
3.10 Vietor pozdĺžny na štítovú stenu OBL 1- ZS 9.....	- 19 -
3.10.1 Účinky vetra na steny	- 20 -
3.10.2 Účinky pozdĺžneho vetra na zastrešenie	- 20 -
3.11 Vietor pozdĺžny na štítovú stenu OBL 2 – ZS 10.....	- 21 -
3.11.1 Účinky vetra na steny	- 21 -
3.12 Účinky vetra na zastrešenie	- 23 -
4. Kombinácie zaťažovacích stavov	- 25 -
4.1 Kombinácie pre medzný stav únosnosti	- 25 -

4.2	Kombinácie pre medzný stav použiteľnosti	- 25 -
4.3	Vnútorne sily	- 25 -
4.4	Kľúč kombinácií	- 25 -
5.	Posúdenie väzníc - MSÚ	- 25 -
6.	Posúdenie prvkov väzníka - MSÚ	- 31 -
6.1	Horný pás.....	- 31 -
6.2	Spodný pás.....	- 35 -
6.3	Krajné diagonály.....	- 39 -
6.4	Stredné diagonály	- 40 -
6.5	Krajné zvislice	- 42 -
6.6	Stredné zvislice.....	- 43 -
7.	Posúdenie hlavných nosných stĺpov – MSÚ	- 45 -
8.	Posúdenie štítových stĺpov	- 51 -
9.	Posúdenie paždíkov	- 57 -
10.	Návrh a posúdenie stužidiel.....	- 62 -
10.1	Priečne stužidlá- strešné.....	- 62 -
10.2	Priečne stužidlá- stenové.....	- 64 -
10.3	Pozdĺžne stužidlá.....	- 65 -
11.	Medzné stavy použiteľnosti.....	- 66 -
11.1	Zvislý priehyb horného pásu väzníka	- 66 -
11.2	Zvislý priehyb dolného pásu väzníka	- 66 -
11.3	Deformácia stĺp HEA 450.....	- 67 -
11.4	Deformácia štítový stĺp HEA 320.....	- 67 -
11.5	Zvislý priehyb väznice	- 68 -
12.	Návrh a posúdenie konštrukčných detailov.....	- 69 -
12.1	D1-Prípoj väzníku k stĺpu- horný pás	- 69 -

12.1.1	Únostnosť čapu.....	- 70 -
12.1.2	Únostnosť styčnickového plechu	- 72 -
12.1.3	Posúdenie zvarov.....	- 73 -
12.2	D2- Prípoj väzníku k stĺpu- dolný pás	- 74 -
12.2.1	Únostnosť čapu.....	- 75 -
12.2.2	Únostnosť styčnickového plechu	- 76 -
12.2.3	Posúdenie zvarov.....	- 77 -
12.3	D3- Prípoj krajnej diagonály.....	- 78 -
12.4	D4 -Prípoj výplňových prútov k väzníku.....	- 80 -
12.5	D5- Kotvenie stĺpu	- 82 -
12.6	D6- pripojenie väzníc na väzník	- 86 -
12.7	Montážne spoje väzníku	- 90 -
12.7.1	M1- horný pás	- 90 -
12.7.2	M2- dolný pás.....	- 93 -
12.7.3	M3- prípoj diagonály.....	- 96 -

1. Úvod

Obsahom práce je návrh nosnej oceleovej konštrukcie jednolod'ového halového objektu, určeného pre volejbalové tréningy a podujatia v okolí mesta Brno. Pôdorysné rozmery sú 30 m x 40 m. Hlavná nosná konštrukcia je tvorená rovinnou priečnou väzbou z priehradových väzníkov. Väzníky sú oblúkového tvaru s jedným polomerom a konštrukčnou výškou 2,0 m až 3,12 m. Výškovo je konštrukcia členená na dve oblasti. Oblasť č.1 je vysoká 16,52 m, pôdorysne dĺžka ku šírke 30 m x 30 m a oblasť č.2 s výškou 10,52 m, 10 m x 30 m. Pásky väzníka sú kĺbovo pripojené k stĺpom, pričom sa nestretávajú v jednom mieste. Výškový rozdiel horného a spodného pásu v úrovni stĺpu sú 2 m. Stĺpy sú uložené kĺbovo. Priestorová tuhosť je zaistená systémom pozdĺžnych, priečných a odkvapových stužidiel. Jednotlivé priečne väzby sú navzájom spojené plnostennými väznicami.

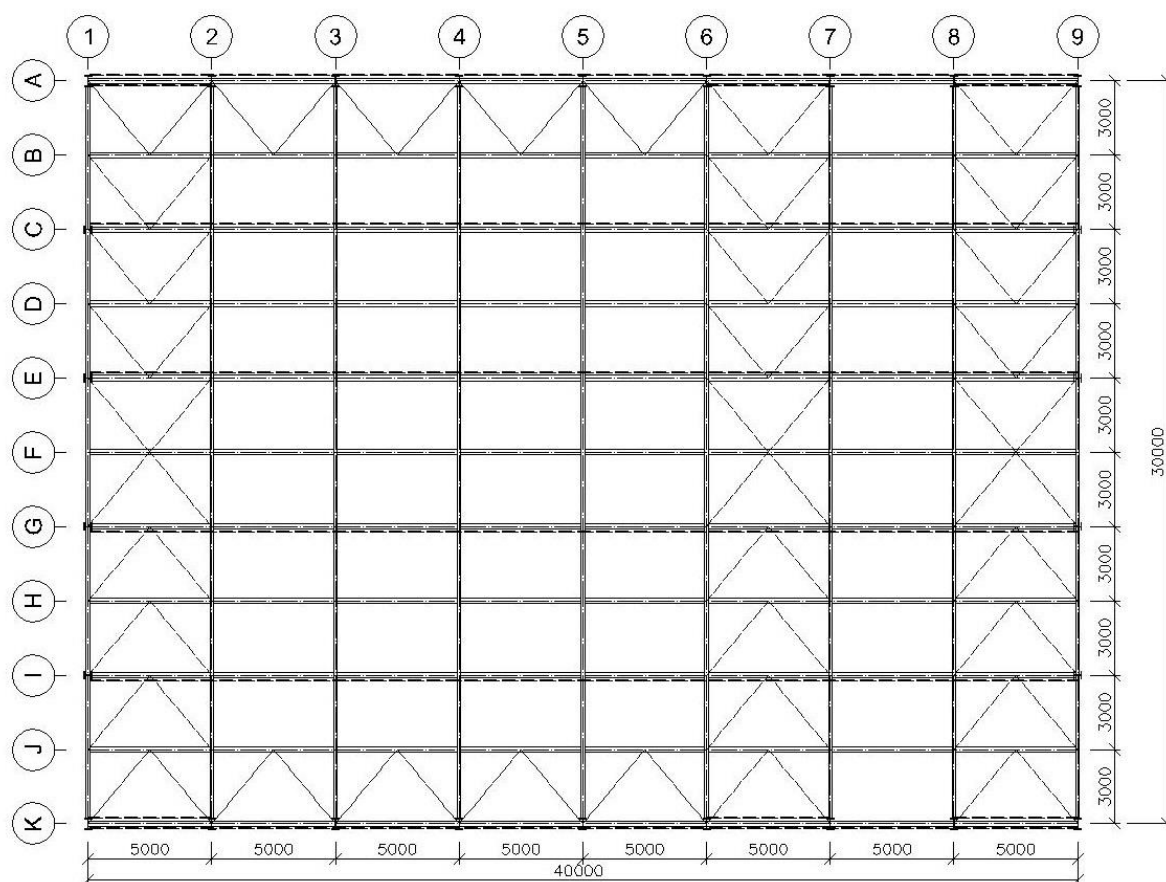
Táto časť práce sa zaoberá statickým výpočtom a konkrétnymi návrhmi, posudkami jednotlivých prvkov nosnej konštrukcie haly.

2. Popis konštrukcie

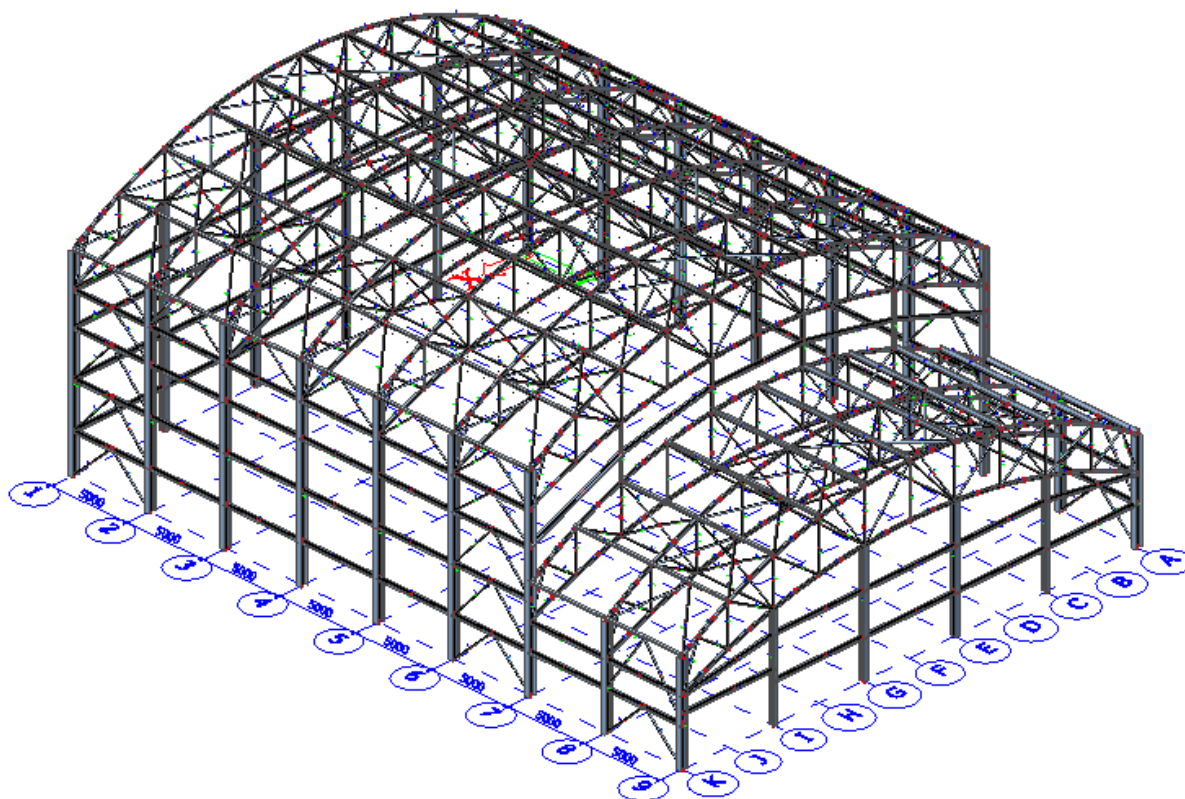
Hlavný nosný systém je tvorený z 9 kusov priehradových väzníkov oblúkového tvaru. Tvar oblúku je daný polomerom 27,15 m. Plnostenné väznice prenášajú zaťaženie zo strešného plášťa a zároveň stužujú konštrukciu. Väznice sú uvažované ako prostý nosník.

Účinky, ktoré pôsobia v pozdĺžnom smere na seba preberá systém priečných stužidiel. Kĺbovo pripojené tiahla v rovine strechy a stien sú umiestnené v krajných poliach systému a v mieste rozdielu výšok. Priestorová tuhosť je zaistená systémom pozdĺžnych stužidiel.

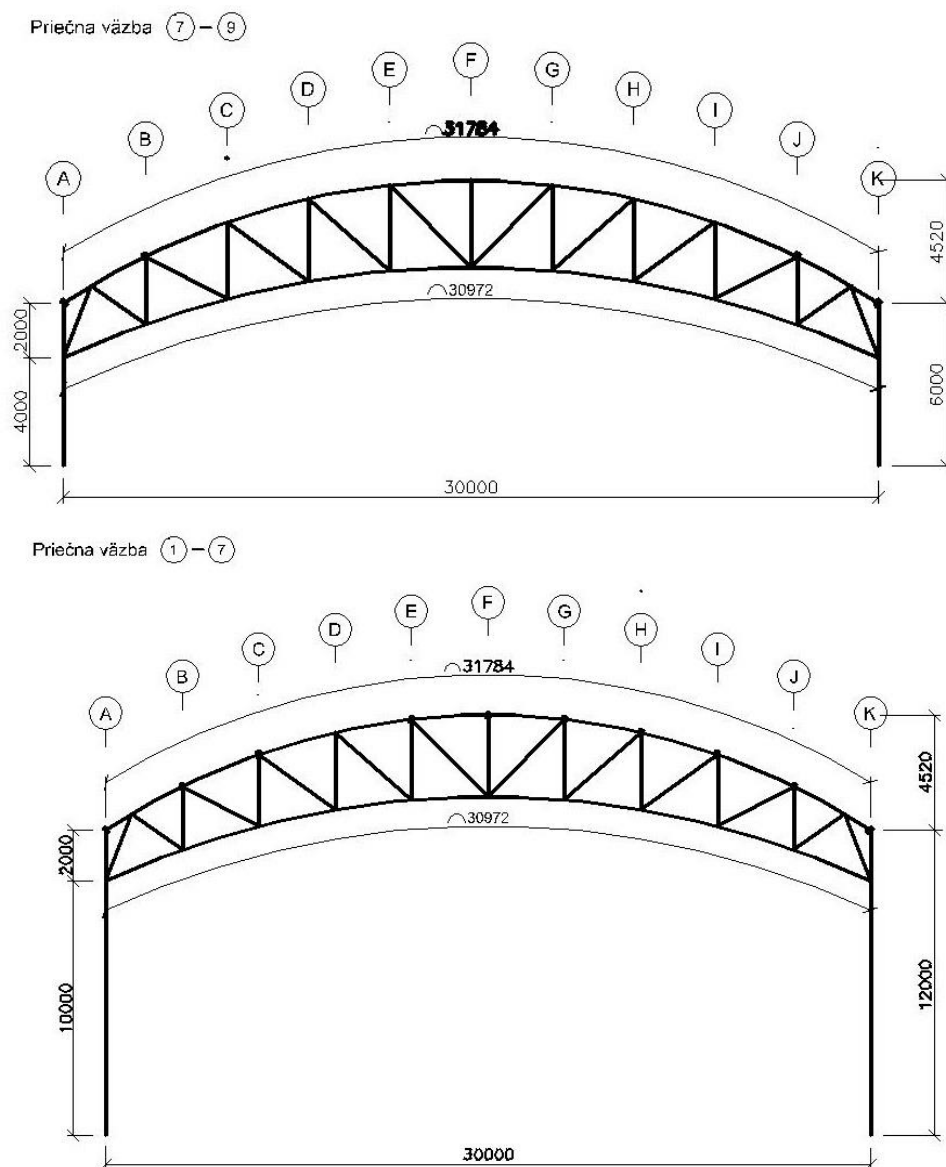
2.1 Pôdorysná schéma



2.2 3D model



2.3 Schéma priečnej väzby



3. Zat'azovacie stavy

Výpočet zaťaženia prostredníctvom zaťažovacích stavov bol prevedený podľa platných noriem ČSN EN – 1991. Všetky plošné zaťaženia pôsobiace na zastrešenie a opláštenie boli prepočítané na líniové zaťaženie pôsobiace na väznice a paždíky. Výpočet výsledných vnútorných síl a príslušných kombinácií bol získaný z priestorového modelu konštrukcie, modelovaného v programe SCIA Engineer 16.0 (študentská licencia).

Stále zat'azenie

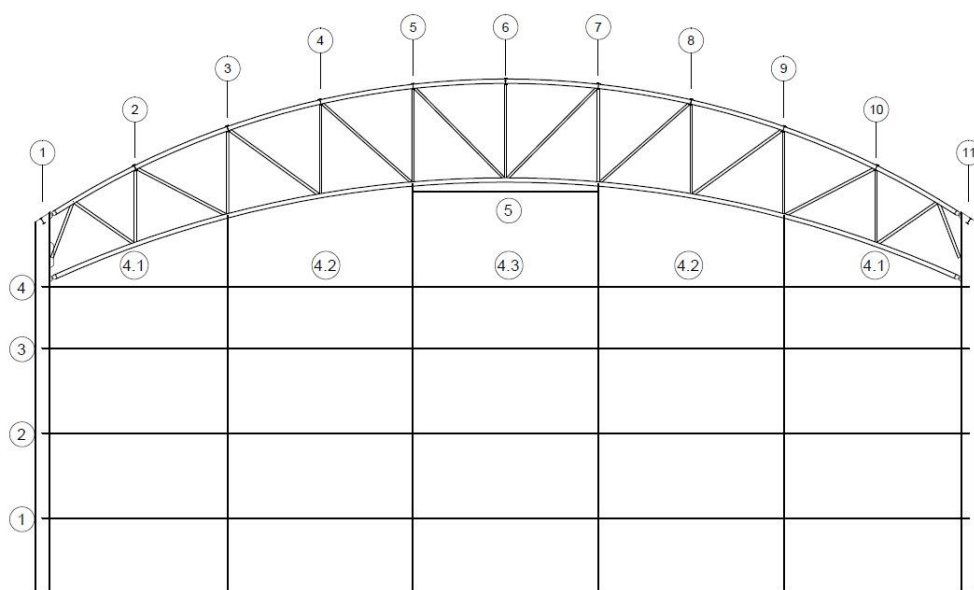
3.1 Vlastná tiaž- ZS 1

Vlastná tiaž konštrukcie je generovaná automaticky výpočtovým programom SCIA Engineer 16.0 .

3.2 Ostatné stále zat'azenie- ZS 2

Ostatné stále zat'azenie je charakterizované tiažou strešného plášťa, panelmi Kingspan KS 1000 RW 100. Hmotnosť tohoto panelu je $11,53 \text{ kg/m}^2$, zat'azenie je teda $0,1138 \text{ kN/m}^2$

Obvodový plášť je tvorený panelmi Kingspan KS 1000 FH 80. Hmotnosť tohoto panelu je $19,67 \text{ kg/m}^2$, zat'azenie je teda $0,1941 \text{ kN/m}^2$



Obrázok 1- Číslovanie pažďíkov a väzníc

Tabuľka 1- Zat'azenie väzníc strešným plášťom

Vaznica	Zat'azovacia šírka [m]	Zat'azenie [kN/m]
1	1,73	0,196
2	3,36	0,380
;	3,19	0,361
4	3,08	0,349
5	3,02	0,342
6	3,01	0,340
7	3,02	0,342
8	3,08	0,349
9	3,19	0,361
10	3,36	0,380
11	1,73	0,196

Paždík	Zaťažovacia šírka [m]	Zaťaženie [kN/m]
Štítová stena		
1	2,75	0,53
2	2,75	0,53
3	2,375	0,46
4.1	4,62	0,89
4.2	6,10	1,18
4.3	2,53	0,49
5	4,92	0,95
Podélna stena		
1	2,75	0,53
2	2,75	0,53
3	2,75	0,53
4	2,75	0,53

3.3 Zaťaženie vzduchotechnikou

Predpoklad inštalácie vzduchotechniky v hrebeňu väzníka. Počítané s ťiažou 80kg/m^2 .

Premenné zaťaženie

3.4 Sneh plný- ZS 3

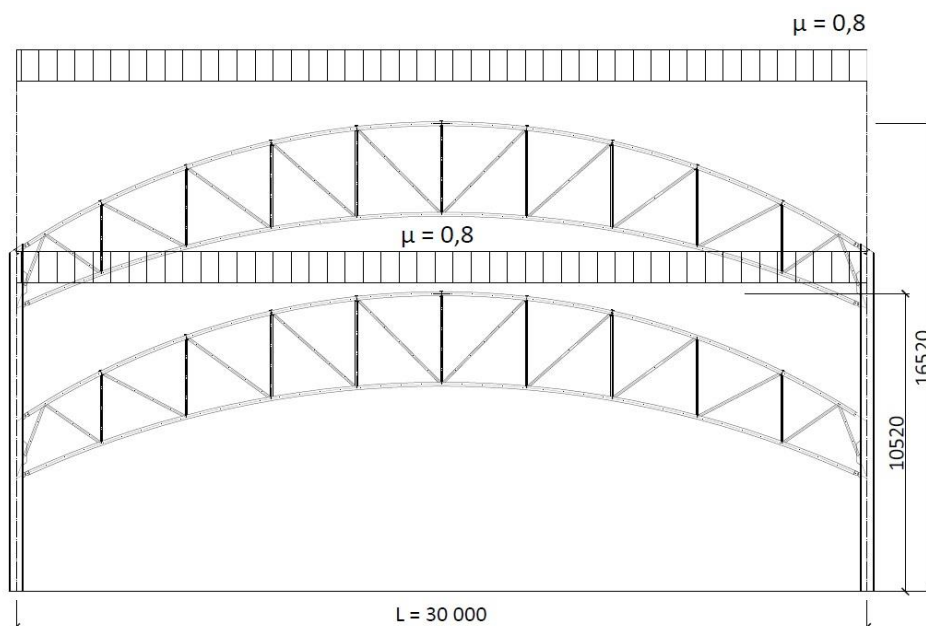
Z hľadiska klimatického zaťaženia snehom spadá lokalita Brno podľa snehovej mapy Českej republiky do oblasti II. Charakteristická hodnota zaťaženia snehom na zemi pre oblasť II je $s_k = 1,0\text{ kN/m}^2$. Sklon strechy nie je v žiadnom mieste väčší ako 60° , takže sneh sa uvažuje ako rovnomerný po celej zaťažovacej ploche strechy.

$C_e = 0,8$ – súčiniteľ expozície (typ krajiny – otvorená)

$C_t = 1,0$ – tepelný súčiniteľ

$\mu_i = 0,8$ – tvarový súčiniteľ

$$s = \mu_i C_e C_t s_k = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,64\text{ kN/m}^2$$



Obrázok 2- Schéma zaťaženia pre plný sneh podľa ČSN EN 1991-1-3

Vaznica	Zaťažovacia šírka [m]	Zaťaženie [kN/m]
1	1,50	0,960
2	3,00	1,920
3	3,00	1,920
4	3,00	1,920
5	3,00	1,920
6	3,00	1,920
7	3,00	1,920
8	3,00	1,920
9	3,00	1,920
10	3,00	1,920
11	1,50	0,960

3.5 Sneh naviaty na stred- ZS 4

Zaťaženie od snehu sa v tomto stave uvažuje ako nerovnomerne naviate ku stredu konštrukcie. Maximálna hodnota náveja sa uvažuje na pravej strane. Maximálna hodnota náveja sa určí podľa ČSN EN 1991 – 1 – 3, kde tvarový súčiniteľ μ_3 závisí na pomere vzopätia h a rozpätia b . V prípade, keď $\beta \leq 60^\circ$ platí rovnica $\mu_3 = 0,2 + 10(h/b)$, kde pomer h/b je $4,52\text{m}/30\text{m} = 0,151$. Hodnota tvarového súčiniteľa $\mu_3 = 1,7$. Hodnota na strane s nižším návejom je uvažovaná $0,5 \mu_3$.

$\mu_3 = \mu_i = 1,7$ – tvarový súčiniteľ

$C_e = 0,8$ – súčiniteľ expozície (typ krajiny – otvorená)

$C_t = 1,0$ – tepelný súčiniteľ

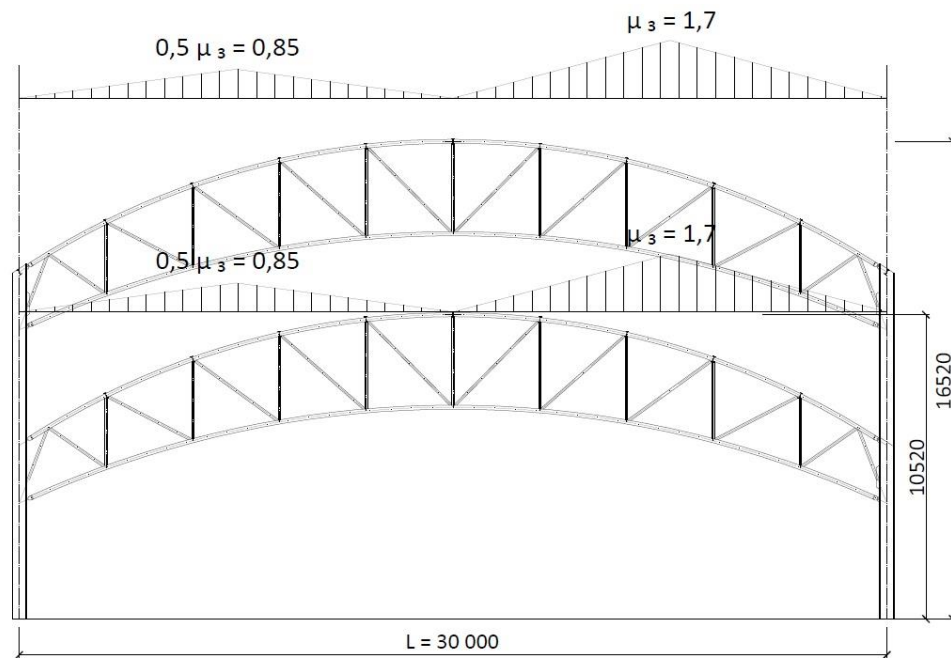
$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$

$s = \mu_i C_e C_t s_k = 1,7 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,36 \text{ kN/m}^2$

Vaznica	Zaťažovacia šírka [m]	s [kN/m ²]
1	1,50	0,068
2	3,00	0,297
3	3,00	0,540
4	3,00	0,540
5	3,00	0,270
6	3,00	0,228
7	3,00	0,534
8	3,00	1,080
9	3,00	1,080
10	3,00	0,534
11	1,50	0,160

Tabuľka 2- Zaťaženie na väznice snehom naviatym na stred

Väznica	Zaťažovacia šírka [m]	s [kN/m ²]	Zaťaženie vaznice [kN/m]
1	1,50	0,068	0,102
2	3,00	0,297	0,891
3	3,00	0,540	1,620
4	3,00	0,540	1,620
5	3,00	0,270	0,809
6	3,00	0,228	0,684
7	3,00	0,534	1,602
8	3,00	1,080	3,240
9	3,00	1,080	3,240
10	3,00	0,534	1,602
11	1,50	0,160	0,240



Obrázok 3- Schéma zaťaženia pre sneh naviaty do stredu podľa ČSN EN 1991-1-3

3.6 Sneh naviaty na ľavú stranu-ZS 5

Sneh sa v tomto stave uvažuje ako nerovnomerne naviaty na strany konštrukcie. Bez použitia snežníku. Maximálna hodnota náveja sa určí podľa ČSN EN 1991 – 1 – 3, kde tvarový súčiniteľ μ_3 závisí na pomere vzopätia h a rozpätia b . V našom prípade, pre pomer $h/b = 4,52/30 = 0,151$ je hodnota tvarového súčiniteľa $\mu_3 = 1,7$. Hodnota na strane s nižším návejom sa uvažuje $0,5 \mu_3$.

$$\mu_3 = \mu_i = 1,7 - \text{tvarový súčiniteľ}$$

$$C_e = 0,8 - \text{súčiniteľ expozície (typ krajiny – otvorená)}$$

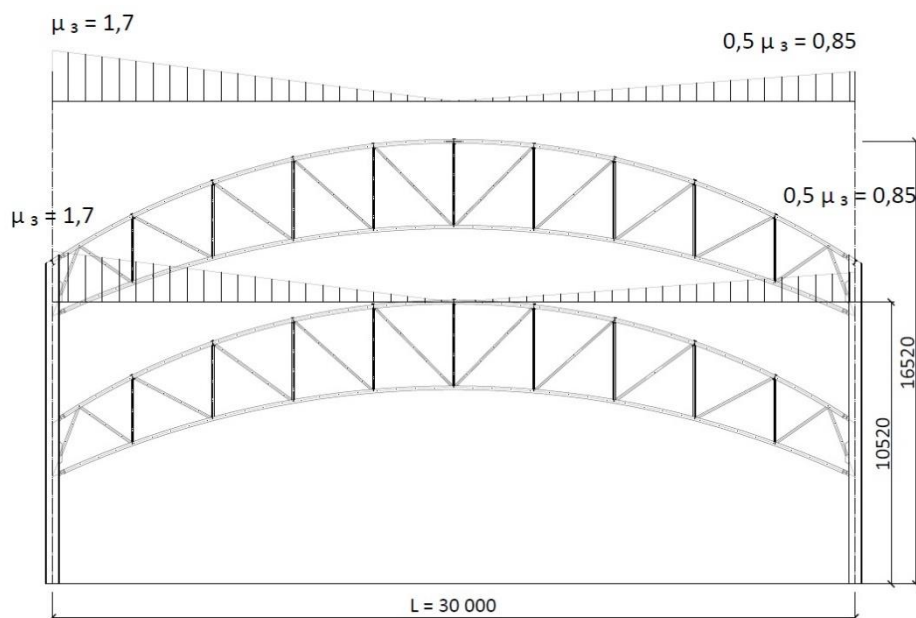
$$C_t = 1,0 - \text{tepelný súčiniteľ}$$

$$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

$$s = \mu_i C_e C_t s_k = 1,7 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,36 \text{ kN/m}^2$$

Tabuľka 3- Zatáženie na vaznice snehom naviatym vľavo

Väznica	Zatážovacia šírka [m]	s [kN/m ²]	Zatáženie väznice [kN/m]
1	1,50	1,530	2,30
2	3,00	1,190	3,57
3	3,00	0,850	2,55
4	3,00	0,510	1,53
5	3,00	0,170	0,51
6	3,00	0,085	0,26
7	3,00	0,255	0,77
8	3,00	0,424	1,27
9	3,00	0,595	1,79
10	3,00	0,765	2,30
11	1,50	0,850	1,28



Obrázok 4- Schéma zatáženia pre sneh naviaty vľavo podľa ČSN EN 1991-1-3

3.7 Sneh naviaty na pravú stranu- ZS 6

Zatáženie snehom symetrické s predchádzajúcim zatážovacím stavom ZS 5.

Väznica	Zatážovacia šírka [m]	s [kN/m ²]	Zatáženie väznice [kN/m]
1	1,50	0,850	1,28
2	3,00	0,765	2,30
3	3,00	0,595	1,79

4	3,00	0,424	1,27
5	3,00	0,255	0,77
6	3,00	0,085	0,26
7	3,00	0,170	0,51
8	3,00	0,510	1,53
9	3,00	0,850	2,55
10	3,00	1,190	3,57
11	1,50	1,530	2,30

3.8 Vietor priečný zľava- ZS 7

Z hľadiska klimatického zaťaženia spadá lokalita Brno podľa mapy veterných oblastí Českej republiky do oblasti II. Výchádzajúca základná rýchlosť vetra v oblasti II je $v_{b0} = 25$ m/s. Kategóriu terénu v okolí uvažujeme č.II (nízka vegetácia, izolované prekážky).

Pôdorysné rozmery: 30 x 30 m pre oblasť č.1 s výškou $h_1 = 16,52$ m

30 x 10 m pre oblasť č.2 s výškou $h_2 = 10,52$ m

Zaťažovací stav 7 počíta s pôsobením vetra kolmo na pozdĺžnu stranu budovy.

Základná rýchlosť vetra

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25,0 \text{ m/s}$$

Stredná rýchlosť vetra

$$z_0 = 0,05; z_{min} = 2,0$$

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

$$c_{r1}(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,19 \cdot \ln(16,52/0,05) = 1,102$$

$$c_{r2}(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,19 \cdot \ln(10,52/0,05) = 1,016$$

$$v_m(z) = c_{ri}(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$$

$$v_{m1}(z) = 1,102 \cdot 1,0 \cdot 25 = 27,55 \text{ m/s}$$

$$v_{m2}(z) = 1,016 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25,40 \text{ m/s}$$

Pozn. v ďalších výpočtoch bude počítané so strednou rýchlosťou $v_{m1}(z)$.

Turbulencia vetra

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1}{1 \cdot \ln(16,52/0,05)} = 0,172$$

$$k_I = 1,0; \quad c_0(z) = 1,0$$

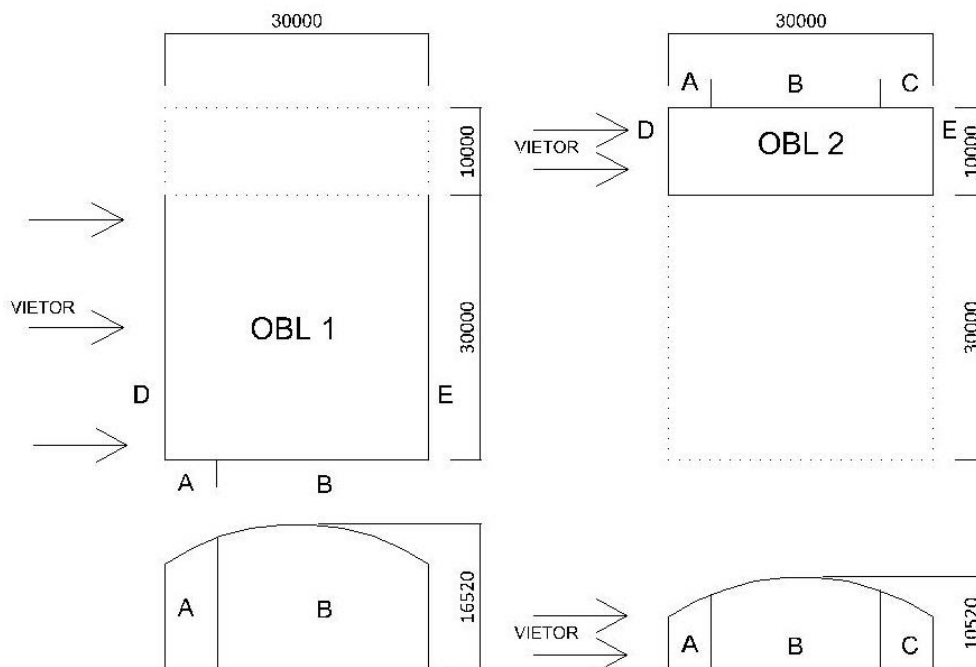
Maximálny dynamický tlak vetra

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_{m1}^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,172] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27,55^2$$

$$q_p(z) = 1,046 \text{ kN/m}^2$$

3.8.1 Účinky priečneho vetra na steny

Hodnoty súčiniteľa $c_{pe,10}$ pre zvislé steny budov s pravouhlým pôdorysom sú závislé na pomere výšky budovy h a hĺbky konštrukcie d (dĺžka povrchu rovnobežného so smerom vetra).



Obrázok 5- Rozdelenie stien do oblastí pri zaťažení priečnym vetrom

Pre časť s hracou plochou (OBL 1) pomer $h_1/d_1 = 16,52/30 = 0,551$ a pre nižšiu časť (OBL 2) $h_2/d_2 = 10,52/30 = 0,351$ boli určené nasledujúce hodnoty súčiniteľa $c_{pe,10}$ a tomu odpovedajúce plošné zaťaženie. Plošné zaťaženie bolo rozpočítané na pažďíky graficky z narysovanej geometrie v programe AutoCad.

Pozdĺžne a štítové steny OBL 1

$$e = \min(b; 2h) = \min(30 \text{ m}; 2 \cdot 16,52 \text{ m}) = 30 \text{ m}$$

$e \geq d \rightarrow$ oblasť C je vylúčená

$$A: c_{pe,10(A)} = -1,2 \quad w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(A)} = 1,046 \cdot (-1,2) = -1,255 \text{ kN/m}^2$$

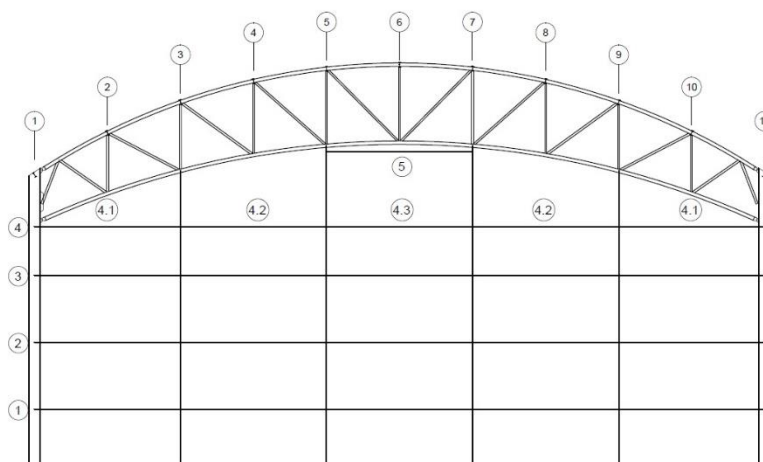
$$B: c_{pe,10(B)} = -1,043 \quad w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(B)} = 1,046 \cdot (-1,043) = -1,091 \text{ kN/m}^2$$

$$D: c_{pe,10(D)} = +0,741 \quad w_{e,D} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(D)} = 1,046 \cdot (+0,741) = +0,775 \text{ kN/m}^2$$

$$E: c_{pe,10(E)} = -0,381 \quad w_{e,E} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(E)} = 1,046 \cdot (-0,381) = -0,399 \text{ kN/m}^2$$

Tabuľka 4- Zaťaženie pažďíkov pozdĺžnych stien OBL1

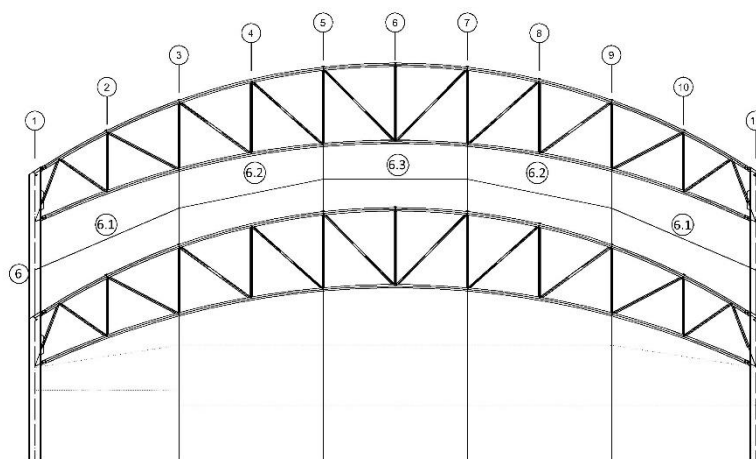
Paždík	Zaťažovacia šírka [m]	Zaťaženie oblasť D [kN/m]	Zaťaženie oblasť E [kN/m]
1	2,75	2,130	-1,096
2	2,75	2,130	-1,096
3	2,375	1,840	-0,947
4	3,125	2,421	-1,245



Obrázok 6- Paždíky štítová stena OBL1

Tabuľka 5- Zaťaženie pažďíkov štítovej steny OBL 1

Paždík	Zaťaženie oblasť A [kN/m]	Zaťaženie oblasť B [kN/m]
1	-3,452	-3,001
2	-3,452	-3,001
3	-2,981	-2,591
4A	-5,774	-5,019
4B	-7,657	-6,656
4C	-3,182	-2,766
5	-6,182	-5,374



Obrázok 7- Paždíky na medzilahlej štítovej stene

Tabuľka 6- Zaťaženie na paždíky medzilahlej štítovej steny OBL1

Paždík	Zaťaženie oblasť A [kN/m]	Zaťaženie oblasť B [kN/m]
6.1	-7,243	-5,316
6.2	-5,593	-4,105
6.3	-7,318	-5,371

Pozdĺžne a štítové steny OBL 2

$$e = \min (b; 2h) = \min (30 \text{ m}; 2 \cdot 10,52 \text{ m}) = 21,04 \text{ m}$$

$$e \leq d \rightarrow \text{oblasť C}$$

$$A: c_{pe,10(A)} = -1,2 \quad w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(A)} = 1,046 \cdot (-1,2) = -1,255 \text{ kN/m}^2$$

$$B: c_{pe,10(B)} = -0,881 \quad w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(B)} = 1,046 \cdot (-0,881) = -0,921 \text{ kN/m}^2$$

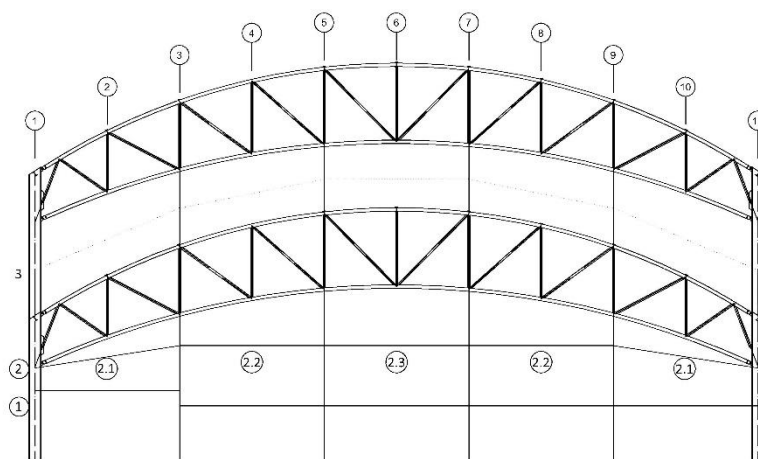
$$C: c_{pe,10(C)} = -0,5 \quad w_{e,C} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(C)} = 1,046 \cdot (-0,5) = -0,523 \text{ kN/m}^2$$

$$D: c_{pe,10(D)} = +0,714 \quad w_{e,D} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(D)} = 1,046 \cdot (+0,714) = +0,746 \text{ kN/m}^2$$

$$E: c_{pe,10(E)} = -0,327 \quad w_{e,E} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(E)} = 1,046 \cdot (-0,327) = -0,342 \text{ kN/m}^2$$

Tabuľka 7- Zaťaženie paždíkov pozdĺžnych stien OBL 2

Paždík	Zaťaženie oblasť D [kN/m]	Zaťaženie oblasť E [kN/m]
1	2,052	-0,940
2	1,772	-0,812



Obrázok 8- Paždíky na štítovej stene OBL2

Tabuľka 8- Zatiaženie na paždíky štítovej steny OBL2

Paždík	Zatiaženie oblasť A [kN/m]	Zatiaženie oblasť B [kN/m]	Zatiaženie oblasť C [kN/m]
1	-3,452	-2,534	-1,438
2.1	-4,393	-3,225	-1,831
2.2	-6,025	-4,422	-2,510
2.3	-7,908	-5,804	-3,295

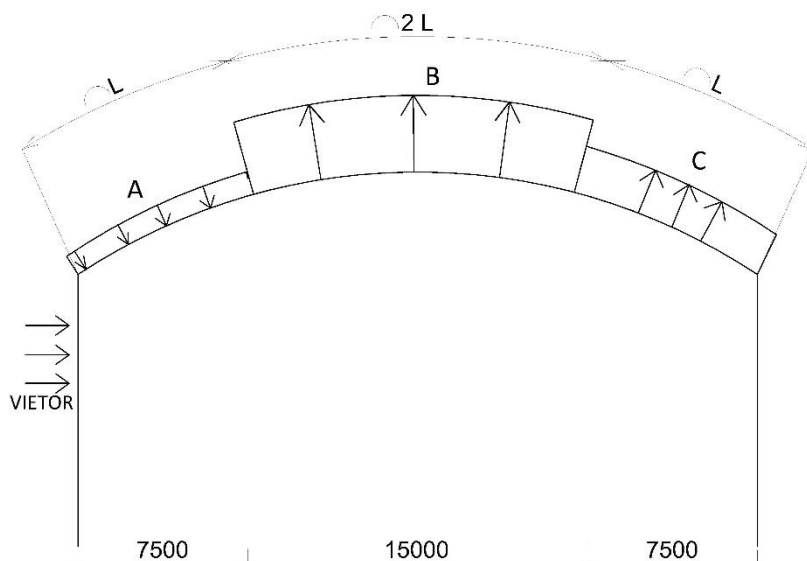
3.8.2 Účinky priečneho vetra na zastrešenie

Účinky vetra na zastrešenie určíme podľa normy ČSN EN 1991-1-4, ako účinky na valcové strechy. Hodnoty súčiniteľa $c_{pe,10}$ závisia na pomere vzopätia f a pôdorysného rozmeru d . Pre obe oblasti je tento pomer rovnaký a to $f/d = 4,52/30 = 0,151$.

$$A: c_{pe,10(A)} = 0,28 \quad w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(A)} = 1,046 \cdot (0,28) = 0,292 \text{ kN/m}^2$$

$$B: c_{pe,10(B)} = -0,85 \quad w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(B)} = 1,046 \cdot (-0,85) = -0,889 \text{ kN/m}^2$$

$$C: c_{pe,10(C)} = -0,4 \quad w_{e,C} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(C)} = 1,046 \cdot (-0,4) = -0,418 \text{ kN/m}^2$$



Obrázok 9- Schéma zaťaženie strechy priečnym vetrom zľava

Tabuľka 9-Zaťaženie väzníc priečnym vetrom zľava

Väznica	Zaťažovacia šírka [m]	Zaťaženie [kN/m]
1	1,73	0,506
2	3,36	0,982
3	3,19	0,932
4	3,08	-2,738
5	3,02	-2,685
6	3,01	-2,676
7	3,02	-2,685
8	3,08	-2,738
9	3,19	-1,335
10	3,36	-1,406
11	1,73	-0,724

3.9 Vietor priečny zprava- ZS 8

Zaťažovací stav 8 je číselne indentický s predošlým zaťažovacím stavom ZS 7, s rozdielom, že pri pohľade na čelo OBL1 fúka vietor z pravej strany .

3.10 Vietor pozdĺžny na štítovú stenu OBL 1- ZS 9

V zaťažovacom stave 9 uvažujeme s pôsobením vetra kolmo na priečnu stenu väčšej plochy.

3.10.1 Účinky vetra na steny

Hodnoty súčiniteľa $c_{pe,10}$ pre zvislé steny budovy s pravouhlým pôdorysom sú závislé na pomere výšky budovy h a hĺbky konštrukcie d (dĺžka povrchu rovnobežného so smerom vetra). Hodnoty súčiniteľa $c_{pe,10}$ a plošného zaťaženia vetrom boli stanovené pre pomer $h/d = 16,52/40 = 0,413$

$$e = \min(b; 2h) = \min(30; 2 \cdot 16,52) = 30 \text{ m}$$

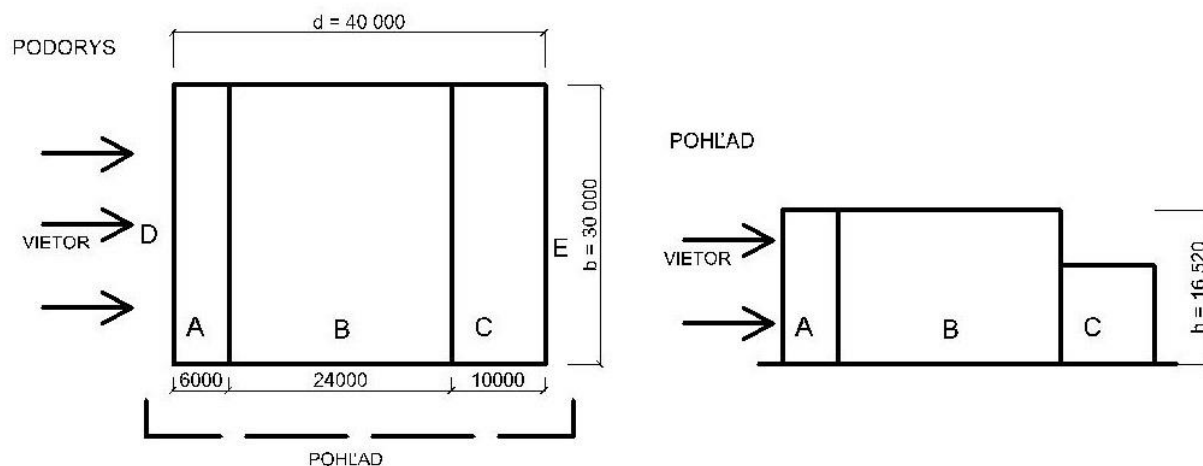
$$A: c_{pe,10(A)} = -1,2 \quad w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(A)} = 1,046 \cdot (-1,2) = -1,258 \text{ kN/m}^2$$

$$B: c_{pe,10(B)} = -0,930 \quad w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(B)} = 1,046 \cdot (-0,930) = -0,976 \text{ kN/m}^2$$

$$C: c_{pe,10(C)} = -0,5 \quad w_{e,C} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(C)} = 1,046 \cdot (-0,5) = -0,525 \text{ kN/m}^2$$

$$D: c_{pe,10(D)} = +0,722 \quad w_{e,D} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(D)} = 1,046 \cdot (+0,722) = +0,757 \text{ kN/m}^2$$

$$E: c_{pe,10(E)} = -0,344 \quad w_{e,E} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(E)} = 1,046 \cdot (-0,344) = -0,360 \text{ kN/m}^2$$

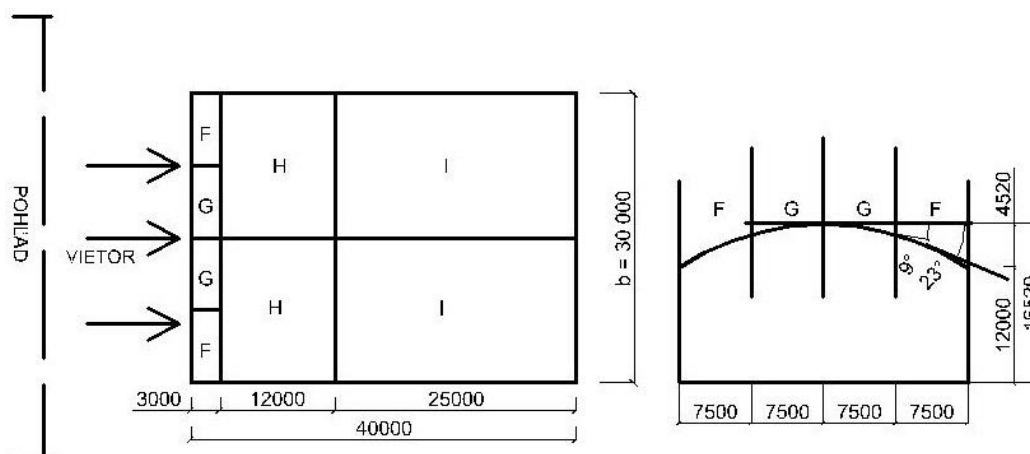


3.10.2 Účinky pozdĺžneho vetra na zastrešenie

Účinky vetra na zastrešenie určíme podľa normy ČSN EN 1991-1-4, ako účinky na sedlové strechy. Hodnoty súčiniteľa $c_{pe,10}$ závisia na uhle sklonu strechy α . Hodnoty $c_{pe,10}$ sú zobrazené v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 10- Súčiniteľ $c_{pe,10}$ a w_e [kN/m²] pre zastrešenie

Uhol sklonu	OBLASŤ							
	F		G		H		I	
α	$c_{pe,10}$	w_e	$c_{pe,10}$	w_e	$c_{pe,10}$	w_e	$c_{pe,10}$	w_e
9	-1,48	-1,553	-1,3	-1,364	-0,66	-0,692	-0,56	-0,587
23	-1,193	-1,251	-1,353	-1,419	-0,707	-0,741	-0,5	-0,525



Obrázok 10- Uvažované uhly a rozdelenie do zaťažovacích oblastí pre pozdĺžny vietor na OBL 1

3.11 Vietor pozdĺžny na štítovú stenu OBL 2 – ZS 10

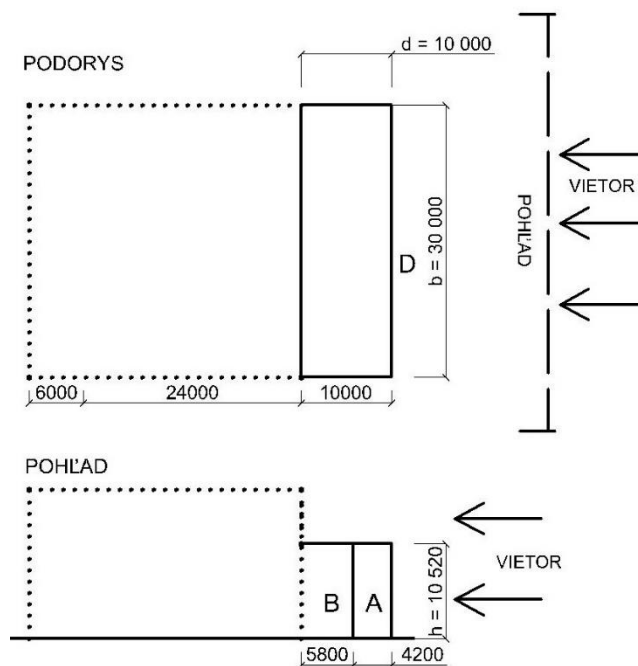
V zaťažovacom stave 10 uvažujeme s pôsobením vetra kolmo na priečnu stenu menšej plochy.

3.11.1 Účinky vetra na steny

Hodnoty súčiniteľa $c_{pe,10}$ a plošného zaťaženia vetrom boli stanovené pre pomer $h/d = 10,52/10 = 1,05$

$$e = \min(b; 2h) = \min(30; 2 \cdot 10,52) = 21,04 \text{ m}$$

$$e = 21,04 \text{ m} \geq d = 10 \text{ m}$$



Obrázok 11-Rozdelenie objektu do zaťažovacích oblastí pre pozdĺžny vietor na OBL 2

$$A: c_{pe,10}(A) = -1,2 \quad w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10}(A) = 1,046 \cdot (-1,2) = -1,258 \text{ kN/m}^2$$

$$B: c_{pe,10}(B) = -1,39 \quad w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10}(B) = 1,046 \cdot (-1,39) = -1,454 \text{ kN/m}^2$$

$$D: c_{pe,10}(C) = +0,8 \quad w_{e,D} = q_p(z) \cdot c_{pe,10}(D) = 1,046 \cdot (+0,8) = +0,837 \text{ kN/m}^2$$

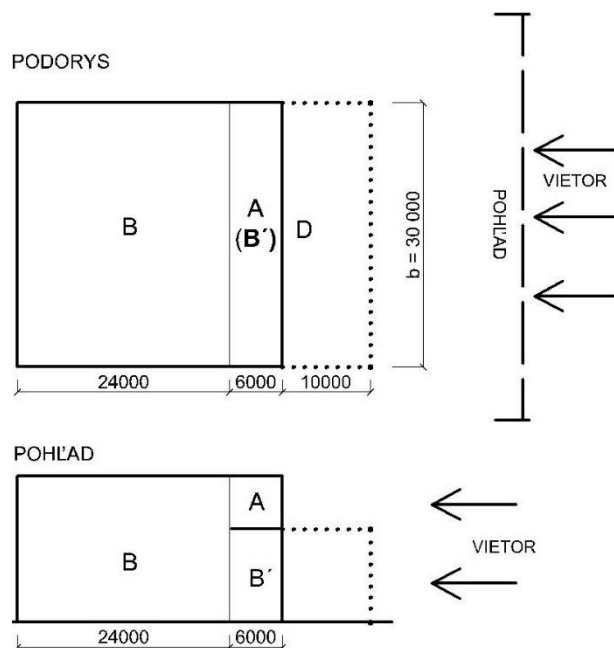
Naväzujúca vyššia časť je rozdelená do zaťažovacích oblastí obdobne ako v zaťažovacom stave ZS 9 s hodnotami:

$$A: c_{pe,10}(A) = -1,2 \quad w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10}(A) = 1,046 \cdot (-1,2) = -1,258 \text{ kN/m}^2$$

$$B: c_{pe,10}(B) = -0,930 \quad w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10}(B) = 1,046 \cdot (-0,930) = -0,976 \text{ kN/m}^2$$

Spodná časť B' dĺžky 6 m je braná ako pokračovanie s rovnakým účinkom zaťaženia ako v nižšej oblasti 1 (viď obr. 12)

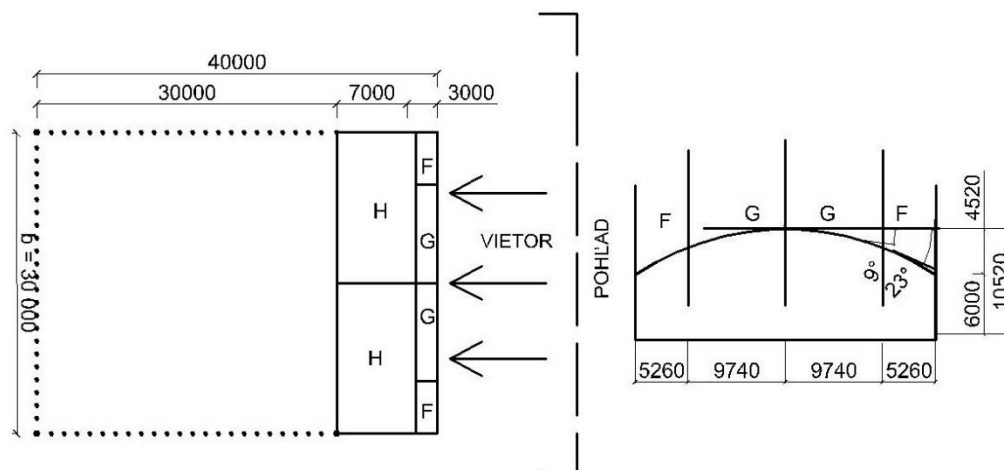
$$B': c_{pe,10}(B) = -1,39 \quad w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10}(B) = 1,046 \cdot (-1,39) = -1,454 \text{ kN/m}^2$$



Obrázok 12-Rozdelenie do zaťažovacích oblastí

3.12 Účinky vetra na zastrešenie

Účinky vetra na zastrešenie určíme podľa normy ČSN EN 1991-1-4, ako účinky na sedlové strechy. Hodnoty súčiniteľa $c_{pe,10}$ závisia na uhle sklonu strechy α . Uvažujeme rovnaké sklony ako pri pôsobení pozdĺžneho vetra kolmo na štítovú stenu OBL 1.



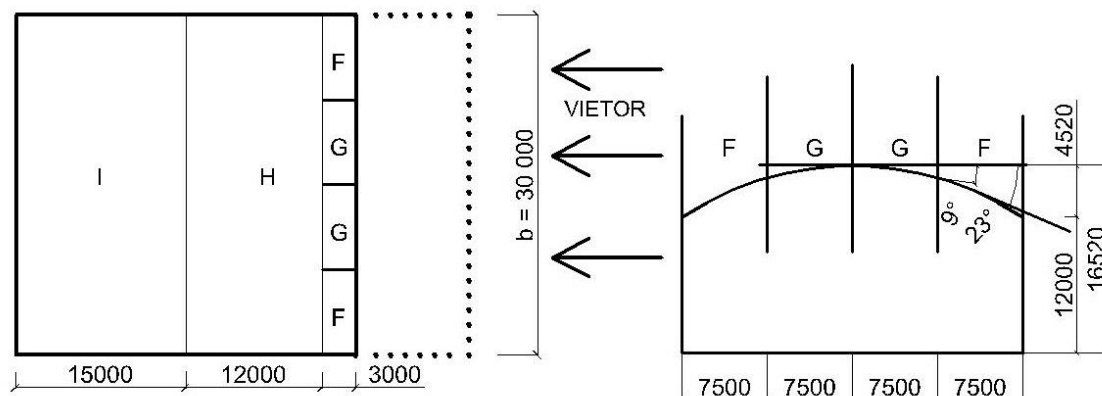
Obrázok 13- Rozdelenie na oblasti nižšia časť

Nižšia časť (OBL 2)

Uhol sklonu	OBLASŤ					
	F		G		H	
α	$c_{pe,10}$	w_e	$c_{pe,10}$	w_e	$c_{pe,10}$	w_e
9	-1,48	-1,553	-1,3	-1,364	-0,66	-0,692
23	-1,193	-1,251	-1,353	-1,419	-0,707	-0,741

Vyššia časť (OBL 2)

PODORYS



Obrázok 14- Rozdelenie na oblasti vyššia časť

Uhol sklonu	OBLASŤ							
	F		G		H		I	
α	$C_{pe,10}$	w_e	$C_{pe,10}$	w_e	$C_{pe,10}$	w_e	$C_{pe,10}$	w_e
9	-1,48	-1,553	-1,3	-1,364	-0,66	-0,692	-0,56	-0,587
23	-1,193	-1,251	-1,353	-1,419	-0,707	-0,741	-0,5	-0,525

4. Kombinácie zaťažovacích stavov

4.1 Kombinácie pre medzný stav únosnosti

Kombinácie zaťažovacích stavov pre medzný stav únosnosti sú vypočítané podľa kombinačnej rovnice 6.10 , ČSN EN 1990.

4.2 Kombinácie pre medzný stav použiteľnosti

Kombinácie zaťažovacích stavov pre medzný stav použiteľnosti sú vypočítané podľa kombinačnej rovnice 6.14b (charakteristická kombinácia zaťaženia), ČSN EN 1990.

4.3 Vnútorne sily

Vid' príloha D.

4.4 Kľúč kombinácií

Vid' príloha D.

5. Posúdenie väzníc - MSÚ

Vnútorne sily:

$$N_{Ed} = -97,45 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 84,07 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 24,05 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 30,07 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 8,52 \text{ kNm}$$

Súradnice:

-vazník 9-8, vaznica C, MSÚ 1

-vazník 9-8, vaznica C, MSÚ 2

-vazník 2-3, vaznica F , MSÚ 5

-vazník 2-3, vaznica F , MSÚ 5

-vazník 8-9, vaznica K, MSÚ 8

Typ profilu:

Profil: IPE 220

Materiál: S 235 ($f_y = 235 \text{ MPa}$, $f_u = 360 \text{ MPa}$)

$$A = 3,34 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 2,77 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 2,05 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_{y,pl} = 2,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{z,pl} = 5,81 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I_t = 9,07 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_w = 2,27 \cdot 10^{-8} \text{ m}^6$$

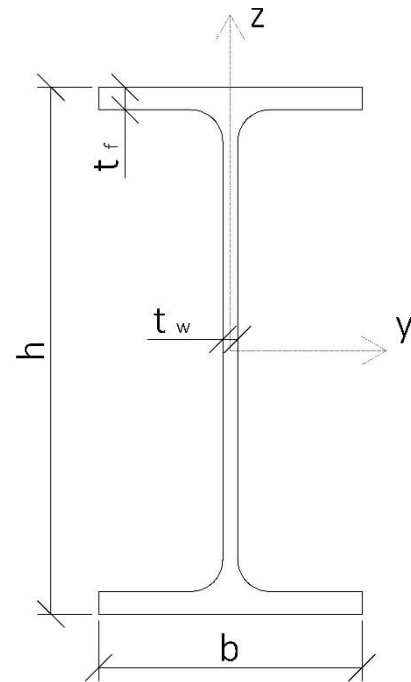
Rozmery prierezu:

$$h = 220 \text{ mm}$$

$$b = 110 \text{ mm}$$

$$t_f = 9,2 \text{ mm}$$

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



Obrázok 15- IPE profil

Trieda prierezu:

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

Zatriedenie stojiny:

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 220 - 2 \cdot 9,2 = 201,6$$

$$h_w/t_w = 201,6/5,9 = 34,2 \geq 33 \cdot \varepsilon = 33 \rightarrow \text{Trieda prierezu 2}$$

Zatriedenie pásnice:

$$c = \frac{b - t_w}{2} = \frac{110 - 5,9}{2} = 52,05 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{52,05}{9,2} = 5,65 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \rightarrow \text{Trieda prierezu 1 (rozhoduje stojina)}$$

Posúdenie na ťah:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,34 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 784,9 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{84,07}{784,9} = 0,12 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Posúdenie na šmyk :

Šmyková plocha:

$$A_v = 1,324 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Únosnosť v šmyku:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,324 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 179,6 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{24,05}{179,6} = 0,13 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

$$\leq 0,5 \rightarrow \text{Nie je potreba redukovať ohybovú únosnosť}$$

Posúdenie na ohyb:

Únosnosť v ohybe:

$$M_{c,Rd,y} = \frac{w_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,85 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 66,98 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd,z} = \frac{w_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,81 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 13,65 \text{ kNm}$$

Posúdenie:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right]_{1,0}$$

$$\left[\frac{30,07}{66,98} \right]^2 + \left[\frac{8,52}{13,65} \right]_{1,0}$$

$$0,202 + 0,62 = 0,826 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Posúdenie na rovinný vzper:Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y: $L_{cr,y} = 5,0 \text{ m}$ Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z: $L_{cr,z} = 5,0 \text{ m}$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2,77 \cdot 10^{-5}}{5,0^2} = 2296,46 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2,05 \cdot 10^{-6}}{5,0^2} = 169,95 \text{ kN}$$

Pomerná štíhlosť prútu:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3,34 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{2296,46}} = 0,585$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_z}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3,34 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{169,95}} = 2,149$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 (0,585 - 0,2) + 0,585^2] = 0,711$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 (2,149 - 0,2) + 2,149^2] = 3,014$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,711 + \sqrt{0,711^2 - 0,585^2}} = 0,896 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{3,014 + \sqrt{3,014^2 - 2,149^2}} = 0,195 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prutu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,195 \cdot 3,34 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 153,055 \text{ kN}$$

$$\text{Posúdenie: } \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{97,45}{153,05} = 0,6 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Posúdenie na klopenie (kolmo na os y):

Výpočet súčiniteľa klopenia:

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,11}{1,0 \cdot 5} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,05 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^9 \cdot 9,07 \cdot 10^{-8}}} = 0,529$$

Výpočet súčiniteľa klopenia:

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 5} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,27 \cdot 10^{-8}}{81 \cdot 10^9 \cdot 9,07 \cdot 10^{-8}}} = 0,506$$

Súčinitele: podľa tabulky NB3.2 pre I prierez

$$C_1 = C_{1,1} = 1,13; C_2 = 0,46$$

Bezrozmerný kritický moment:

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

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \cdot \left[\sqrt{1 + 0,506^2 + (0,46 \cdot 0,529)^2} - 0,46 \cdot 0,529 \right] = 1,053$$

Kritický moment:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{cr,z}} = 1,053 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 2,05 \cdot 10^{-6} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 9,07 \cdot 10^{-8}}}{5}$$

$$M_{cr} = 37195,3 \text{ kNm}$$

Pomerná štíhlosť:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,85 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{37195,3}} = 1,342$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,4; \beta = 0,75$$

Trieda prierezu:

$$h/b = 220/110 = 2 \leq 2 \dots \text{krivka klopenia „b“ } (\alpha = 0,34)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 (1,342 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,342^2] = 1,335$$

Súčiniteľ klopenia:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{1,335 + \sqrt{1,335^2 - 0,75 \cdot 1,342^2}} = 0,502$$

Únostnosť pri klopení:

$$M_{c,Rd,y} = \frac{\chi_{LT} \cdot w_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,502 \cdot 2,85 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 33,60 \text{ kNm}$$

Posúdenie:

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{c,Rd,y}} = \frac{30,07}{33,60} = 0,89 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Interakcia osového tlaku a ohybu :

Kombinácia: maximálny moment + odpovedajúca osová sila

$$M_{Ed,y} = 30,07 \text{ kNm} \quad - \text{vazník 2-3, vaznica F, MSÚ 5}$$

$$N_{Ed} = -23,61 \text{ kN}$$

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

Súčiniteľ c_m ekvivalentného konštantného momentu:

(výpočet podľa normy ČSN EN 1993-1-1, tab. B3)

$$M_s = 30,07 \text{ kNm}$$

$$\alpha_h = M_h / M_s = 0 / 30,07 = 0$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

Únostnosti prierezu:

$$M_{y,Rk} = w_{pl,y} \cdot f_y = 235 \cdot 10^3 \cdot 2,85 \cdot 10^{-4} = 66,98 \text{ kNm}$$

$$N_{R,k} = f_y \cdot A = 235 \cdot 10^3 \cdot 3,34 \cdot 10^{-3} = 784,9 \text{ kN}$$

Interakčné súčinitele k_{yy} , k_{zy} :

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

$$k_{yy} = \left\{ 0,95 \cdot \left(1 + (0,585 - 0,2) \cdot \frac{23,61}{0,896 \cdot \frac{784,9}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{23,61}{0,896 \cdot \frac{784,9}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = 0,962 \leq 0,976 \rightarrow k_{yy} = 0,962$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,962 = 0,577$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{R,k}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{23,611}{0,896 \cdot \frac{784,9}{1,0}} + 0,962 \cdot \frac{30,07+0}{0,502 \cdot \frac{66,98}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,89 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{R,k}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{24,41}{0,195 \cdot \frac{784,9}{1,0}} + 0,577 \cdot \frac{30,07+0}{0,502 \cdot \frac{66,98}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,67 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Kombinácia: maximálny osová sila + odpovedajúci moment

$$N_{Ed} = -96,45 \text{ kN}$$

-vazník H-I, vaznica 3, MSÚ 1

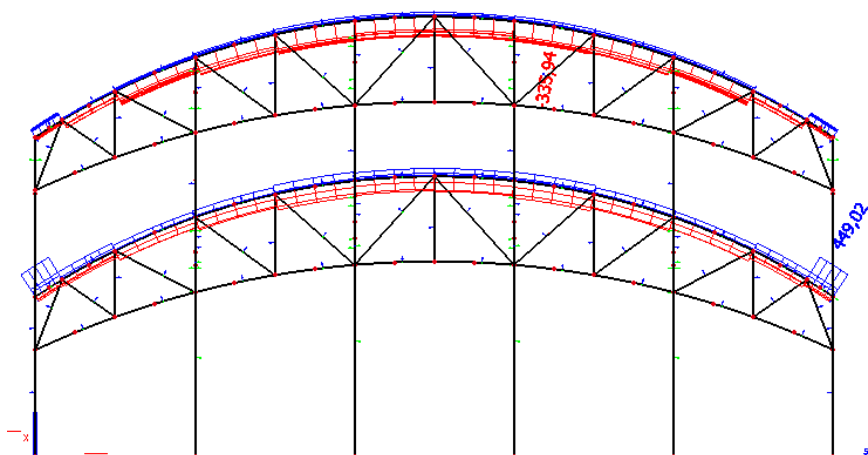
$$M_{Ed,y} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 0,01 \text{ kNm}$$

Zanedbateľné momenty, interakciu nie je potrebné posudzovať.

6. Posúdenie prvkov väzníka - MSÚ

6.1 Horný pás



Obrázok 16- Priebeh normálových síl v hornom páse väzníku

Vnútroné sily:

$$N_{Ed} = -335,94 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 449,02 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} = 18,41 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 9,62 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 12,71 \text{ kNm}$$

Súradnice:

-vazník 6, vaznica H-G, MSÚ 9

-vazník 7, vaznica K-J, MSÚ 5

-vazník 6, vaznica H-G, MSÚ 9

-vazník 4, vaznica G-F, MSÚ 9

-vazník 8, vaznica F-E, MSÚ 13

Typ profilu:

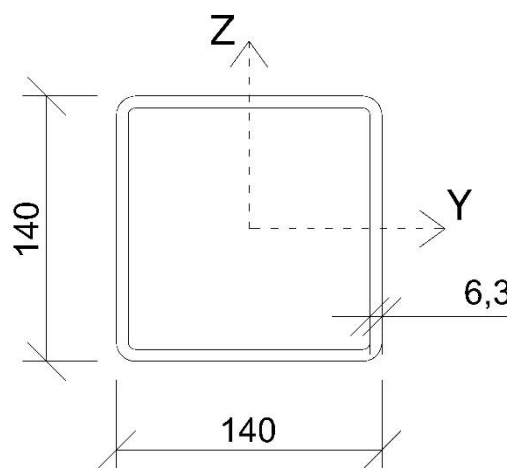
Profil: TR 4HR 140x140x6,3

Materiál: S 355 ($f_y = 355 \text{ MPa}$, $f_u = 490 \text{ MPa}$)

$$A = 3,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 9,84 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 1,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$



Obrázok 17- Prierez horného pásu väzníka

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Pre trubkové profily štvorcového tvaru platí:

$$\frac{c}{t} = \frac{140-12,6}{6,3} = 20,2 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \rightarrow \text{Trieda prierezu 1}$$

Posúdenie na ťah:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{3,33 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 1182,15 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{449,02}{1182,15} = 0,38 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Posúdenie na ohyb:

Únostnosť v ohybe:

$$M_{c,Rd,y} = M_{c,Rd,z} = \frac{w_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,64 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 58,22 \text{ kNm}$$

Posúdenie:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right] = \frac{9,62}{58,22} = 0,17 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

$$\left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right] = \frac{12,71}{58,22} = 0,22 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Posúdenie na rovinný vzper: $N_{Ed} = -335,94 \text{ kN} \rightarrow$ vazník 6, vaznica H-G, MSÚ 9Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y: $L_{cr,y} = 3,044 \text{ m}$ Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z: $L_{cr,z} = 6,05 \text{ m}$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 9,84 \cdot 10^{-6}}{3,044^2} = 2259,43 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 9,84 \cdot 10^{-6}}{6,05^2} = 557,19 \text{ kN}$$

Pomerná štíhlosť prútu:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3,33 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{2259,43}} = 0,723$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_z}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3,33 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{557,19}} = 1,457$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 (0,723 - 0,2) + 0,723^2] = 0,817$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 (1,457 - 0,2) + 1,457^2] = 1,693$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,817 + \sqrt{0,817^2 - 0,723^2}} = 0,837 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,693 + \sqrt{1,693^2 - 1,457^2}} = 0,391 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prutu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,391 \cdot 3,33 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 462,65 \text{ kN}$$

$$\text{Posúdenie: } \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{335,94}{462,65} = 0,72 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Interakcia osového tlaku a ohybu :

Kombinácia: maximálny moment + odpovedajúca osová sila

$$M_{Ed,z} = 12,71 \text{ kNm} \quad \text{-vazník 8, vaznica F-E , MSÚ 13}$$

$$N_{Ed} = -206,01 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 4,60 \text{ kNm}$$

-súčinitele vzperností a pomerných šíthlostí prútu vypočítané obdobne ako posúdenie na vzpernú únosnosť prútu 6 H-G

Súčiniteľ c_m ekvivalentného konštantného momentu:

(výpočet podľa normy ČSN EN 1993-1-1, tab. B3)

$$Y: \alpha_h = M_s / M_h = 3,66 / 4,60 = 0,79$$

$$c_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_h = 0,836$$

$$Z: \psi = M_h / M = 2,79 / 12,71 = 0,21$$

$$c_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,21 = 0,684$$

$$c_{LT} = 0,684$$

Únosnosti prierezu:

$$M_{y,Rk} = w_{pl,y} \cdot f_y = 355 \cdot 10^3 \cdot 1,64 \cdot 10^{-4} = 58,4 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = w_{pl,z} \cdot f_y = 355 \cdot 10^3 \cdot 1,64 \cdot 10^{-4} = 58,4 \text{ kNm}$$

$$N_{R,k} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^3 \cdot 3,33 \cdot 10^{-3} = 1182,15 \text{ kN}$$

Interakčné súčinitele k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} :

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

$$k_{yy} = \left\{ 0,836 \cdot \left(1 + (0,723 - 0,2) \cdot \frac{206,01}{0,836 \cdot \frac{1182,1}{1,0}} \right) \leq 0,836 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{206,01}{0,836 \cdot \frac{1182,1}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = 0,927 \leq 0,975 \rightarrow k_{yy} = 0,927$$

$$k_{zz} = \left\{ c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right\}$$

$$k_{zz} = \left\{ 0,684 \cdot \left(1 + (1,447 - 0,2) \cdot \frac{206,01}{0,396 \cdot \frac{1182,1}{1,0}} \right) \leq 0,684 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{206,01}{0,396 \cdot \frac{1182,1}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{zz} = 1,05 \leq 0,925 \rightarrow k_{zz} = 0,925$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,939 = 0,555$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,925 = 0,556$$

Posúdenie:

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

$$\frac{206,01}{0,836 \cdot \frac{1182,1}{1,0}} + 0,927 \cdot \frac{4,60+0}{1,0 \cdot \frac{58,4}{1,0}} + 0,555 \cdot \frac{12,71+0}{\frac{58,4}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,41 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

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

$$\frac{206,01}{0,396 \cdot \frac{1182,1}{1,0}} + 0,556 \cdot \frac{4,60+0}{1,0 \cdot \frac{58,4}{1,0}} + 0,939 \cdot \frac{12,71+0}{\frac{58,4}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,61 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Kombinácia: maximálny osová sila + odpovedajúci moment

$$N_{Ed} = -335,94 \text{ kN}$$

-vazník 6, vaznica H-G, MSÚ 9

$$M_{Ed,y} = 4,96 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 0,09 \text{ kNm} \approx 0,0 \text{ kNm}$$

Súčiniteľ c_m ekvivalentného konštantného momentu:

(výpočet podľa normy ČSN EN 1993-1-1, tab. B3)

$$Y: \alpha_h = M_h / M_s = 2,85 / 4,96 = 0,58$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot 0,58 = 0,979$$

Únosnosti prierezu:

$$M_{y,Rk} = w_{pl,y} \cdot f_y = 355 \cdot 10^3 \cdot 1,64 \cdot 10^{-4} = 58,4 \text{ kNm}$$

$$N_{R,k} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^3 \cdot 3,33 \cdot 10^{-3} = 1182,15 \text{ kN}$$

Interakčné súčinitele k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} :

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

$$k_{yy} = \left\{ 0,979 \cdot \left(1 + (0,723 - 0,2) \cdot \frac{334,75}{0,837 \cdot \frac{1182,1}{1,0}} \right) \leq 0,979 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{334,75}{0,837 \cdot \frac{1182,1}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = 1,15 \leq 1,24 \rightarrow k_{yy} = 1,15$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,901 = 0,541$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{R,k}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{334,75}{0,837 \cdot \frac{1182,1}{1,0}} + 0,901 \cdot \frac{4,96+0}{1,0 \cdot \frac{58,4}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,44 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{R,k}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{334,75}{0,391 \cdot \frac{1182,1}{1,0}} + 0,541 \cdot \frac{4,96+0}{1,0 \cdot \frac{58,4}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,78 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

6.2 Spodný pás

Vnútroné sily:

$$N_{Ed} = -313,52 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 359,68 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} = 16,02 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 8,19 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 3,90 \text{ kNm}$$

Súradnice:

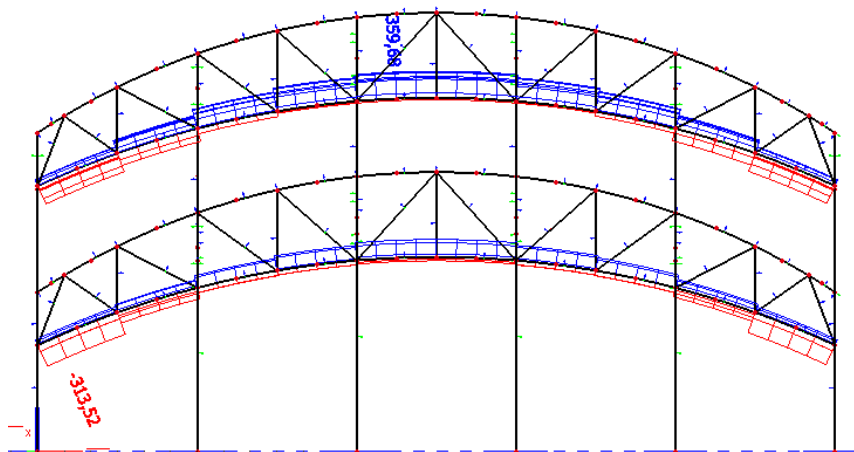
$$7\text{- H/G, MSÚ 10}$$

$$4\text{- K/J, MSÚ 9}$$

$$7\text{- H/G, MSÚ 9}$$

$$7\text{- G/F, MSÚ 10}$$

$$9\text{- F/E, MSÚ 14}$$



Obrázok 18- Priebeh normálových sil na dolnom páse väzníku

Typ profilu:

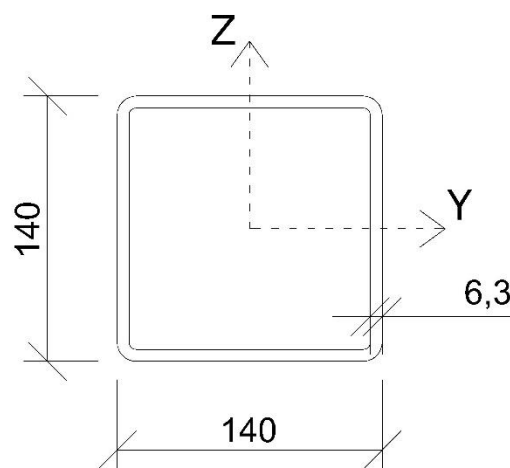
Profil: TR 4HR 140x140x6,3

Materiál: S 355 ($f_y = 355$ MPa, $f_u = 490$ MPa)

$$A = 3,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 9,84 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 1,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$



Obrázok 19- Prierez horného pásu väzníku

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Pre trubkové profily štvorcového tvaru platí:

$$\frac{c}{t} = \frac{140-12,6}{6,3} = 20,2 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \rightarrow \text{Trieda prierezu 1}$$

Posúdenie na ťah:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{3,33 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 1182,15 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{359,68}{1182,15} = 0,31 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Posúdenie na ohyb:

Únosnosť v ohybe:

$$M_{c,Rd,y} = M_{c,Rd,z} = \frac{w_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,64 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 58,22 \text{ kNm}$$

Posúdenie:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right] = \frac{8,19}{58,22} = 0,14 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

$$\left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right] = \frac{3,9}{58,22} = 0,1 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Posúdenie na rovinný vzper: $N_{Ed} = -308,46 \text{ kN} \rightarrow$ súradnice prútu: 7- H/G, MSÚ 10Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y: $L_{cr,y} = 3,145 \text{ m}$ Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z: $L_{cr,z} = 6,286 \text{ m}$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 9,84 \cdot 10^{-6}}{3,145^2} = 2061,9 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 9,84 \cdot 10^{-6}}{6,286^2} = 516,14 \text{ kN}$$

Pomerná štíhlosť prútu:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,67 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{2061,9}} = 0,757$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_z}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2,67 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{516,14}} = 1,513$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 (0,757 - 0,2) + 0,757^2] = 0,845$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 (1,513 - 0,2) + 1,513^2] = 1,783$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,845 + \sqrt{0,845^2 - 0,757^2}} = 0,819 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,783 + \sqrt{1,783^2 - 1,496^2}} = 0,367 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,367 \cdot 3,33 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 433,66 \text{ kN}$$

Posúdenie: $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{313,52}{433,66} = 0,72 \leq 1,0 \rightarrow$ Prierez vyhovuje

Interakcia osového tlaku a ohybu :*Kombinácia: maximálny osová sila + odpovedajúci moment**(súčasne kombináciou pre maximálny moment + odpovedajúca osová sila)*

$$N_{Ed} = -313,52 \text{ kN} \rightarrow \text{súradnice prútu: 7- H/G, MSÚ 10}$$

$$M_{Ed,y} = 8,19 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 0,01 \text{ kNm} \approx 0,0 \text{ kNm}$$

Súčiniteľ c_m ekvivalentného konštantného momentu:

(výpočet podľa normy ČSN EN 1993-1-1, tab. B3)

$$Y: \alpha_h = M_h / M_s = 2,74 / 7,94 = 0,35$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot 0,35 = 0,967$$

Únosnosti prierezu:

$$M_{y,Rk} = w_{pl,y} \cdot f_y = 355 \cdot 10^3 \cdot 1,64 \cdot 10^{-4} = 58,4 \text{ kNm}$$

$$N_{R,k} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^3 \cdot 3,33 \cdot 10^{-3} = 1182,15 \text{ kN}$$

Interakčné súčinitele k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} :

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

$$k_{yy} = \left\{ 0,952 \cdot \left(1 + (0,749 - 0,2) \cdot \frac{313,52}{0,824 \cdot \frac{1182,15}{1,0}} \right) \leq 0,952 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{313,52}{0,824 \cdot \frac{1182,15}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = 1,14 \leq 1,22 \rightarrow k_{yy} = 1,14$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,14 = 0,68$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{R,k}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{313,52}{0,819 \cdot \frac{1182,15}{1,0}} + 1,14 \cdot \frac{8,19+0}{1,0 \cdot \frac{47,5}{1,0}} \leq 1,0$$

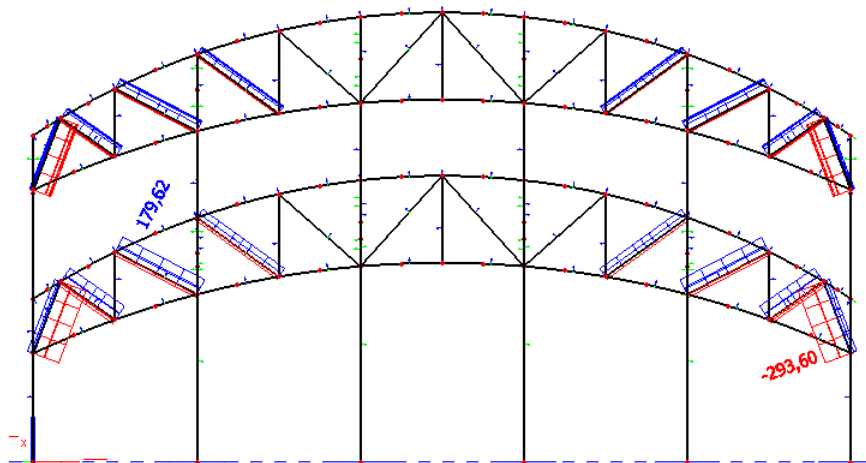
$$0,58 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{R,k}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{313,52}{0,367 \cdot \frac{1182,15}{1,0}} + 0,68 \cdot \frac{8,19+0}{1,0 \cdot \frac{47,5}{1,0}} \leq 1,0$$

$0,98 \leq 1,0 \rightarrow$ Prierez vyhovuje

6.3 Krajně diagonály



Obrázok 20- Priebeg normálových síl v krajných diagonálach

Vnútoné sily:

$$N_{Ed} = -293,60 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 179,62 \text{ kN}$$

Súradnice:

$$7\text{- J/K, MSÚ } 5$$

$$7\text{-B/C, MSÚ } 10$$

Typ profilu:

Profil: TR 88,9 x 8,0

Materiál: S 355 ($f_y = 355 \text{ MPa}$, $f_u = 490 \text{ MPa}$)

$$A = 2,03 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 1,68 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 5,25 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Pre duté profily kruhového tvaru platí:

$$\frac{d}{t} = \frac{88,9}{8,0} = 11,25 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \rightarrow \text{Trieda prierezu } 1$$

Posúdenie na rovinný vzper:

Vzperná dĺžka

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = 2,815 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,68 \cdot 10^{-6}}{2,815^2} = 439,25 \text{ kN}$$

Pomerná štíhlost' prútu:

$$\overline{\lambda}_{y,z} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,03 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{439,25}} = 1,281$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha (1,281 - 0,2) + 1,281^2] = 1,434$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{1,434 + \sqrt{1,434^2 - 1,281^2}} = 0,481 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prutu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,481 \cdot 2,03 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 346,78 \text{ kN}$$

$$\text{Posúdenie: } \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{293,6}{346,78} = 0,85 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

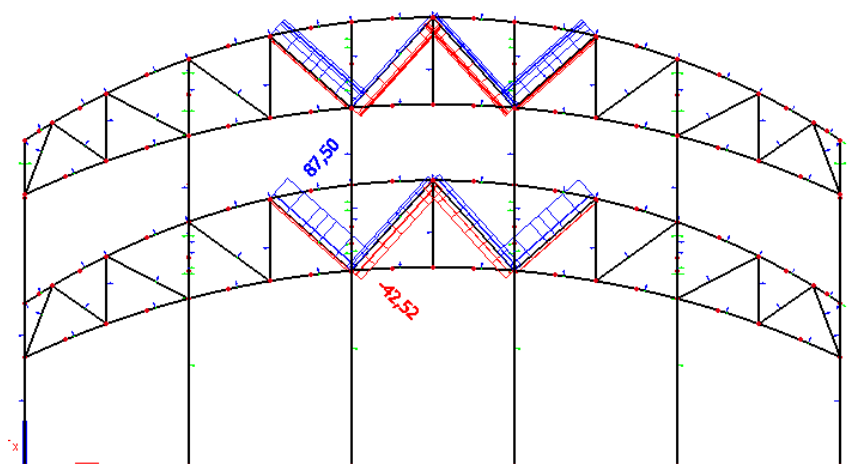
Posúdenie na ťah:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,03 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 720,65 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{179,62}{720,65} = 0,25 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

6.4 Stredné diagonály



Obrázok 21- Priebeh normálových síl v stredných diagonálach

Vnútroné sily:

$$N_{Ed} = -42,52 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 89,50 \text{ kN}$$

Súradnice:

$$7\text{- E/F, MSÚ } 10$$

$$7\text{-D/E, MSÚ } 10$$

Typ profilu:

Profil: TR 76,1 x 4,0

Materiál: S 355 ($f_y = 355$ MPa, $f_u = 490$ MPa)

$$A = 9,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 5,91 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 2,0487 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Pre duté profily kruhového tvaru platí:

$$\frac{d}{t} = \frac{76,1}{4,0} = 19,025 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \rightarrow \text{Trieda prierezu 1}$$

Posúdenie na rovinný vzper:

Vzperná dĺžka

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = 4,477 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 5,91 \cdot 10^{-7}}{4,477^2} = 61,113 \text{ kN}$$

Pomerná štíhlosť prútu:

$$\overline{\lambda}_{y,z} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{9,06 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{61,113}} = 2,292$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha (2,292 - 0,2) + 2,292^2] = 3,345$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{3,345 + \sqrt{3,345^2 - 2,292^2}} = 0,173 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,173 \cdot 9,06 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 55,50 \text{ kN}$$

$$\text{Posúdenie: } \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{42,52}{55,50} = 0,77 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

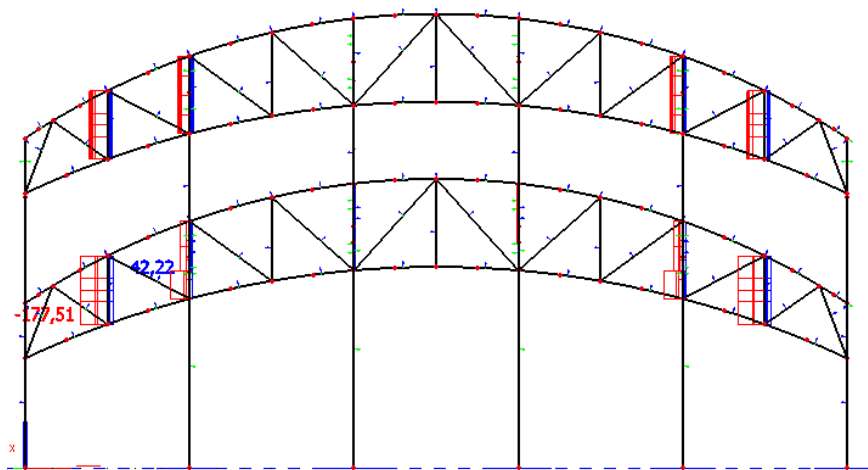
Posúdenie na ťah:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9,06 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 321,63 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{89,5}{321,63} = 0,28 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

6.5 Krajně zvislice



Obrázok 22- Priebeh normálových síl v krajných zvisliciach

Vnútročné sily:

$$N_{Ed} = -177,51 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 42,22 \text{ kN}$$

Súradnice:

$$7\text{- B, MSÚ } 10$$

$$9\text{- B, MSÚ } 2$$

Typ profilu:

Profil: TR 76,1 x 5,0

Materiál: S 355 ($f_y = 355 \text{ MPa}$, $f_u = 490 \text{ MPa}$)

$$A = 1,12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 7,09 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 2,04 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Pre duté profily kruhového tvaru platí:

$$\frac{d}{t} = \frac{76,1}{5,0} = 15,22 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \rightarrow \text{Trieda prierezu } 1$$

Posúdenie na rovinný vzper:

Vzperná dĺžka

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = 2,489 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 7,09 \cdot 10^{-7}}{2,489^2} = 237,05 \text{ kN}$$

Pomerná štíhlost' prútu:

$$\overline{\lambda}_{y,z} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,12 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{237,05}} = 1,295$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha (1,295 - 0,2) + 1,295^2] = 1,454$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{1,454 + \sqrt{1,454^2 - 1,295^2}} = 0,473 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,473 \cdot 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 188,10 \text{ kN}$$

$$\text{Posúdenie: } \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{177,51}{188,10} = 0,94 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

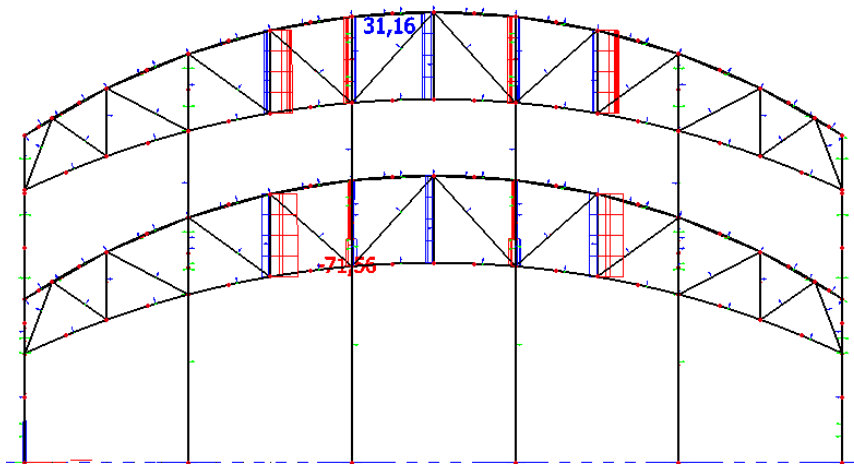
Posúdenie na ťah:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,12 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 397,6 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{42,22}{397,6} = 0,11 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

6.6 Stredné zvislice



Obrázok 23-Priebeh normálových síl, stredné zvislice

Vnútorne sily:

$$N_{Ed} = -71,56 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 31,16 \text{ kN}$$

Súradnice:

$$7\text{- E, MSÚ 10}$$

$$4\text{- F, MSÚ 9}$$

Typ profilu:

Profil: TR 76,1 x 4,0

Materiál: S 355 ($f_y = 355$ MPa, $f_u = 490$ MPa)

$$A = 9,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 5,91 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 2,048 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Pre duté profily kruhového tvaru platí:

$$\frac{d}{t} = \frac{76,1}{4,0} = 19,03 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \rightarrow \text{Trieda prierezu 1}$$

Posúdenie na rovinný vzper:

Vzperná dĺžka

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = 3,036 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 9,06 \cdot 10^{-7}}{3,036^2} = 132,89 \text{ kN}$$

Pomerná štíhlosť prútu:

$$\overline{\lambda}_{y,z} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{9,06 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{132,89}} = 1,556$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha (1,556 - 0,2) + 1,556^2] = 1,852$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{1,852 + \sqrt{1,852^2 - 1,556^2}} = 0,35 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,35 \cdot 9,06 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 122,53 \text{ kN}$$

$$\text{Posúdenie: } \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{177,51}{122,53} = 1,45 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Posúdenie na ťah:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,12 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 397,6 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{71,56}{397,6} = 0,18 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

7. Posúdenie hlavných nosných stĺpov – MSÚ

Vnútročné sily:

$$N_{Ed} = -444,79 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 148,69 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,y} = 96,63 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} = 286,79 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 405,57 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 27,59 \text{ kNm}$$

Súradnice:

$$-7A, \text{ MSÚ } 9$$

$$-7A, \text{ MSÚ } 2$$

$$-7K, \text{ MSÚ } 13$$

$$-7A, \text{ MSÚ } 10$$

$$-7A, \text{ MSÚ } 10$$

$$-7A, \text{ MSÚ } 24$$

Typ profilu:

Profil: HEA 450

Materiál: S 235 ($f_y = 235 \text{ MPa}$, $f_u = 360 \text{ MPa}$)

$$A = 1,78 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = 6,37 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 9,47 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_{y,pl} = 3,22 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{z,pl} = 9,66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_t = 2,44 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_w = 4,15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$$

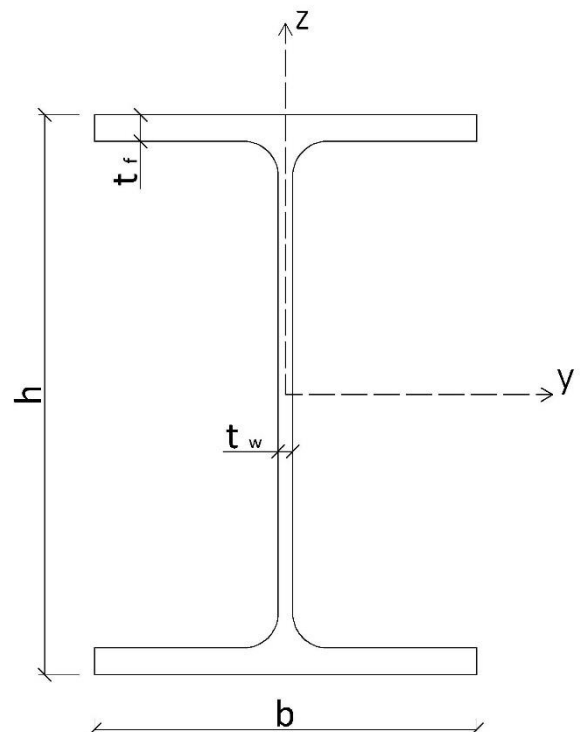
Rozmery prierezu:

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

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

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

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



Trieda prierezu:

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

Zatriedenie stojiny:

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 440 - 2 \cdot 21 = 398$$

$$h_w/t_w = 398/11,5 = 34,61 \geq 33 \cdot \varepsilon = 33 \rightarrow \text{Trieda prierezu } 2$$

$$\leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \rightarrow \text{Trieda prierezu } 1$$

Zatriedenie pásnice:

$$c = \frac{b - t_w}{2} = \frac{300 - 11,5}{2} = 144,25 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{144,25}{21} = 6,87 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \rightarrow \text{Trieda prierezu 1 (rozhoduje stojina)}$$

→ Trieda prierezu 2

Posúdenie na ťah:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,78 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 4183 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{148,69}{4183} = 0,04 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Posúdenie na šmyk :

Šmyková plocha:

$$A_v = 5,239 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Únosnosť v šmyku:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{5,239 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 710,9 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{286,79}{710,9} = 0,38 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

$\leq 0,5 \rightarrow$ Nie je potreba redukovať ohybovú únosnosť

Posúdenie na ohyb:

Únosnosť v ohybe:

$$M_{c,Rd,y} = \frac{w_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,22 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 756,7 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd,z} = \frac{w_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9,66 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 227,01 \text{ kNm}$$

Posúdenie:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right]^{1,0} \leq 1,0$$

$$\left[\frac{405,57}{756,7} \right]^2 + \left[\frac{27,59}{227,01} \right]^{1,0} \leq 1,0$$

$$0,30 + 0,11 = 0,41 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Výpočet súčiniteľa vzpernej dĺžky:

Moment zotrvačnosti väzníku:

$$I_b = 4,297 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$$

$$\beta_1 = 0,7 \cdot \sqrt{1 + \frac{P_1}{P}}$$

$$\beta_1 = 0,7 \cdot \sqrt{1 + \frac{268,91}{276,10}} = 0,983$$

sily $P_1 = 268,91 \text{ kN}$

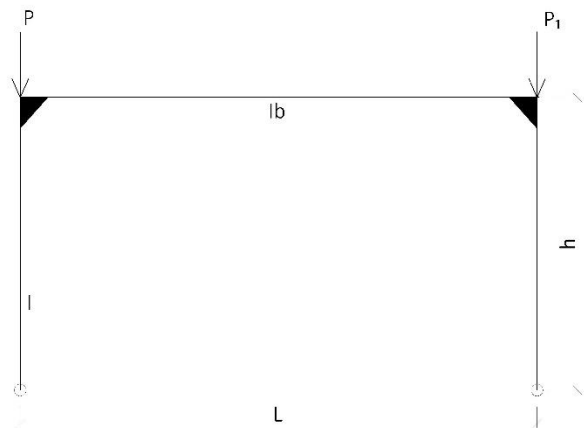
$$P = 276,10 \text{ kN}$$

$$\kappa = \frac{I_y \cdot L}{I_b \cdot h} \leq 1,0$$

$$\kappa = \frac{6,37 \cdot 10^{-4} \cdot 30}{4,297 \cdot 10^{-2} \cdot 12} = 0,037 \leq 1,0$$

$$\beta = 2 \cdot \beta_1 \cdot \sqrt{1 + 0,4\kappa}$$

$$\beta = 2 \cdot 0,983 \cdot \sqrt{1 + 0,4 \cdot 0,037} = 1,995$$

Obrázok 24 - Schéma pre výpočet súčiniteľa β **Posúdenie na rovinný vzper:**Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y: $L_{cr,y} = \beta \cdot L$

$$L_{cr,y} = 1,995 \cdot 12 = 23,94 \text{ m}$$

Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z: $L_{cr,z} = 2,75 \text{ m}$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 6,37 \cdot 10^{-4}}{23,94^2} = 2433,81 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 9,47 \cdot 10^{-5}}{2,75^2} = 25953,96 \text{ kN}$$

Pomerná štíhlosť prútu:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,78 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^3}{2433,81}} = 1,31$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_z}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1,78 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^3}{25953,96}} = 0,401$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 (1,31 - 0,2) + 1,31^2] = 1,476$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 (0,401 - 0,2) + 0,401^2] = 0,615$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{1,476 + \sqrt{1,476^2 - 1,31^2}} = 0,464 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,615 + \sqrt{0,615^2 - 0,401^2}} = 0,925 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,464 \cdot 1,78 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 1941,8 \text{ kN}$$

$$\text{Posúdenie: } \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{444,79}{1941,8} = 0,23 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Posúdenie na klopenie (kolmo na os y):

$$L = L_{cr,z} = 2,75 \text{ m}$$

Výpočet súčiniteľa klopenia:

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,225}{1,0 \cdot 2,75} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 9,47 \cdot 10^{-5}}{81 \cdot 10^9 \cdot 2,44 \cdot 10^{-6}}} = 2,578$$

Výpočet súčiniteľa klopenia:

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 2,75} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 4,15 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^9 \cdot 2,44 \cdot 10^{-6}}} = 2,398$$

Súčinitele: podľa tabulky NB3.2 pre I prierez

$$C_1 = C_{1,1} = 1,13; C_2 = 0,46$$

Bezrozmerný kritický moment:

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

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \cdot \left[\sqrt{1 + 2,398^2 + (0,46 \cdot 2,578)^2} - 0,46 \cdot 2,578 \right] = 2,042$$

Kritický moment:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{cr,z}} = 2,042 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^3 \cdot 9,47 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^3 \cdot 2,44 \cdot 10^{-6}}}{2,75}$$

$$M_{cr} = 4625,19 \text{ kNm}$$

Pomerná štíhlosť:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,22 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{4625,19}} = 0,404$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,4; \beta = 0,75$$

Trieda prierezu:

$$h/b = 440/300 = 1,46 \leq 2 \dots \text{krivka klopenia „b“ } (\alpha = 0,34)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 (0,404 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,404^2] = 0,562$$

Súčiniteľ klopenia:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,562 + \sqrt{0,562^2 - 0,75 \cdot 0,404^2}} = 0,99$$

Únostnosť pri klopení:

$$M_{c,Rd,y} = \frac{\chi_{LT} \cdot w_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,99 \cdot 3,22 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 755,00 \text{ kNm}$$

Posúdenie:

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{c,Rd,y}} = \frac{444,79}{755,00} = 0,59 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Interakcia osového tlaku a ohybu :

Kombinácia: maximálny moment + odpovedajúca osová sila

Vzperné dĺžky sú uvažované konzervatívne ako na stĺpoch A-G.

$$M_{Ed,y} = 405,57 \text{ kNm} \quad \text{-vazník G, č. 12, MSÚ 9}$$

$$N_{Ed} = -288,91 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z} = 5,53 \text{ kNm}$$

Súčiniteľ c_m ekvivalentného konštantného momentu:

(výpočet podľa normy ČSN EN 1993-1-1, tab. B3)

$$M_s = 405,57 \text{ kNm}$$

$$\alpha_h = M_h / M_s = 0 / 405,57 = 0$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

$$M_s = 5,56 \text{ kNm}$$

$$\alpha_h = M_h / M_s = 0 / 5,53 = 0$$

$$c_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

$$c_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

Únosnosti prierezu:

$$M_{y,Rk} = w_{pl,y} \cdot f_y = 3,22 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 756,70 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = w_{pl,z} \cdot f_y = 9,66 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 = 227,01 \text{ kNm}$$

$$N_{R,k} = f_y \cdot A = 235 \cdot 10^3 \cdot 1,78 \cdot 10^{-2} = 4183 \text{ kN}$$

Interakčné súčinitele k_{yy} , k_{zy} :

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

$$k_{yy} = \left\{ 0,95 \cdot \left(1 + (1,311 - 0,2) \cdot \frac{290,73}{0,464 \cdot \frac{4183}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{290,73}{0,464 \cdot \frac{4183}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = 1,108 \leq 1,064 \rightarrow k_{yy} = 1,064$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,064 = 0,638$$

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

$$k_{zz} = \left\{ 0,95 \cdot \left(1 + (2 \cdot 0,401 - 0,6) \cdot \frac{288,91}{0,925 \cdot \frac{4183}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{288,91}{0,925 \cdot \frac{4183}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{zz} = 0,964 \leq 1,042 \rightarrow k_{zz} = 0,964$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,964 = 0,578$$

Posúdenie:

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

$$\frac{288,91}{0,464 \cdot \frac{4183}{1,0}} + 1,064 \cdot \frac{405,57 + 0}{0,99 \cdot \frac{66,98}{1,0}} + 0,578 \cdot \frac{5,53 + 0}{\frac{227,01}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,75 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

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

$$\frac{288,91}{0,925 \cdot \frac{4183}{1,0}} + 0,638 \cdot \frac{405,57 + 0}{0,99 \cdot \frac{66,98}{1,0}} + 0,964 \cdot \frac{5,53 + 0}{\frac{227,01}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,44 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Kombinácia: maximálny osová sila + odpovedajúci moment

$$N_{Ed} = -444,79 \text{ kN}$$

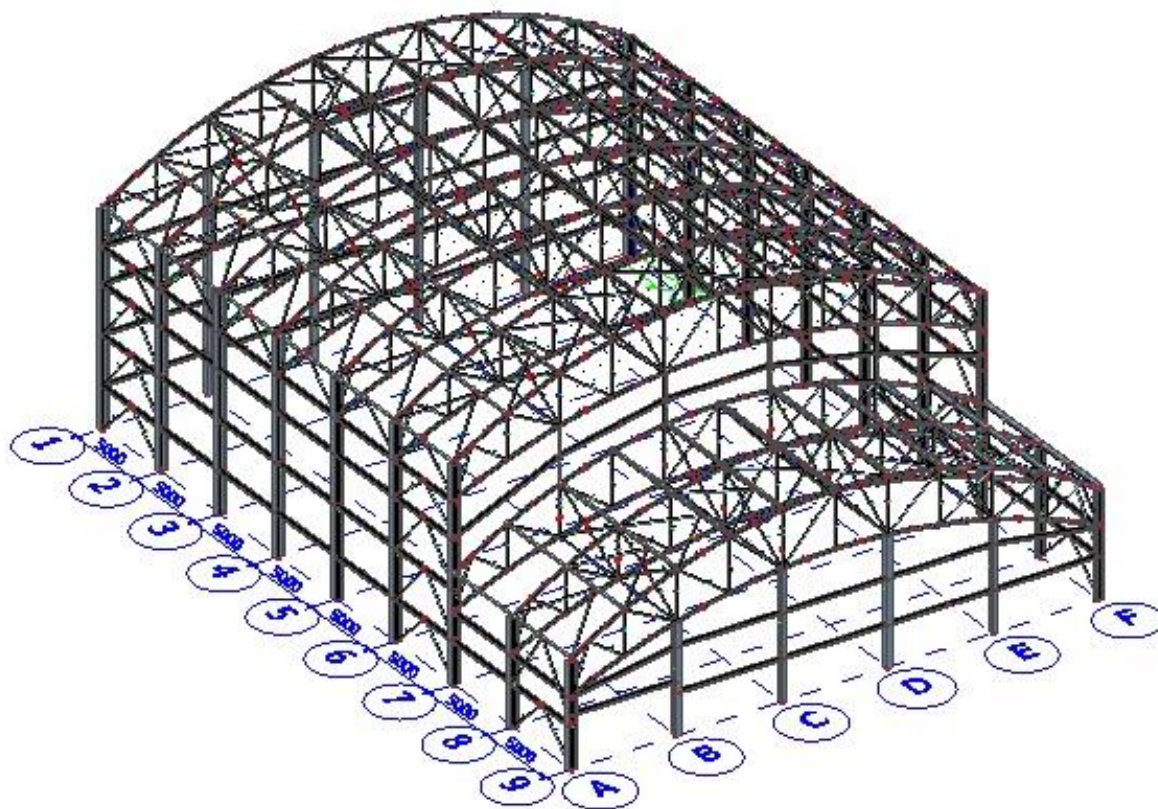
-vazník G, č. 12, MSÚ 9

$$M_{Ed,y} = 0,01 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 0,00 \text{ kNm}$$

Nulové momenty, interakciu nie je potrebné posudzovať.

8. Posúdenie štítových stĺpov



Obrázok 25- Súradnice pre polohu štítových stĺpov a paždíkov

Vnútroné sily:

$$N_{Ed} = -52,81 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 1,28 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,y} = 68,36 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} = 83,37 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 253,55 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 22,85 \text{ kNm}$$

Súradnice:

1-D MSÚ 25

9-C MSÚ 2

9-C MSÚ 26

1-D MSÚ 28

1-D MSÚ 28

1-D MSÚ 10

Typ profilu:

Profil: HEA 320

Materiál: S 235 ($f_y = 235 \text{ MPa}$, $f_u = 360 \text{ MPa}$)

$$A = 1,24 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = 2,29 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 6,99 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_{y,pl} = 1,63 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{z,pl} = 7,08 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_t = 1,08 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_w = 1,51 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$$

Rozmery prierezu:

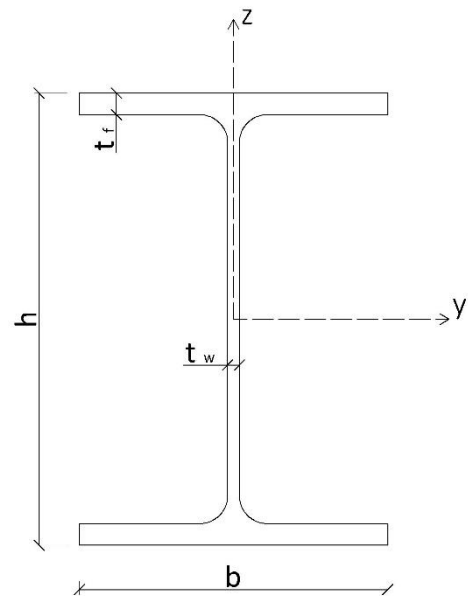
$$h = 310 \text{ mm}$$

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

$$d = 225 \text{ mm}$$

$$t_f = 15,5 \text{ mm}$$

$$t_w = 9,0 \text{ mm}$$

**Trieda prierezu:**

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

Zatriedenie stojiny:

$$d/t_w = 225/9,0 = 25 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \rightarrow \text{Trieda prierezu 1}$$

Zatriedenie pásnice:

$$c = \frac{b - t_w}{2} = \frac{300 - 9,0}{2} = 145,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{145,5}{15,5} = 9,38 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \rightarrow \text{Trieda prierezu 2 (rozhoduje)}$$

Posúdenie na šmyk :

Šmyková plocha:

$$A_{vz} = 2,975 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Únosnosť v šmyku:

$$V_{c,Rd,z} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,975 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 403,6 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{c,Rd}} = \frac{83,37}{403,6} = 0,21 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

$$\leq 0,5 \rightarrow \text{Nie je potreba redukovať ohybovú únosnosť}$$

Šmyková plocha:

$$A_{vy} = 8,975 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Únosnosť v šmyku:

$$V_{c,Rd,y} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{8,975 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1217,7 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{V_{Ed,y}}{V_{c,Rd,y}} = \frac{68,36}{1217,7} = 0,06 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

$$\leq 0,5 \rightarrow \text{Nie je potreba redukovať ohybovú únosnosť}$$

Posúdenie na prostý ohyb:

Únosnosť v ohybe:

$$M_{Rd,y} = \frac{w_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,629 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 382,82 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,z} = \frac{w_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,083 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 166,45 \text{ kNm}$$

Posúdenie:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

$$\left[\frac{253,55}{382,82} \right]^2 + \left[\frac{22,85}{166,45} \right]^2 \leq 1,0$$

$$0,44 + 0,14 = 0,58 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Posúdenie na rovinný vzper:

Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y: $L_{cr,y} = 13,195 \text{ m}$

Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z: $L_{cr,z} = 2,75 \text{ m}$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2,29 \cdot 10^{-4}}{13,195^2} = 2726,1 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 6,99 \cdot 10^{-5}}{2,75^2} = 19157 \text{ kN}$$

Pomerná štíhlost' prutu:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,24 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^3}{2726,1}} = 1,033$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_z}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{8,45 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^3}{19157}} = 0,39$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 (1,033 - 0,2) + 1,033^2] = 1,176$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 (0,39 - 0,2) + 0,39^2] = 0,623$$

$$h/b = 310/300 = 1,03 \leq 1,2 \rightarrow \text{krivka „b“ pre y-y } (\alpha = 0,34)$$

$$\rightarrow \text{krivka „c“ pre z-z } (\alpha = 0,49)$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{1,176 + \sqrt{1,176^2 - 1,033^2}} = 0,576 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,623 + \sqrt{0,623^2 - 0,39^2}} = 0,903 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prutu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,576 \cdot 1,24 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 1677,5 \text{ kN}$$

$$\text{Posúdenie: } \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{52,81}{1677,5} = 0,03 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Posúdenie na klopenie :

Stĺp namáhaný na max $M_{Ed,y}$ s výškou 13,195 m, kde klopeniu bránia pažďíky s max. rozponom 2,75 m

$$L = 2,75 \text{ m}$$

Výpočet súčiniteľa klopenia:

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,16}{1,0 \cdot 2,75} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 6,99 \cdot 10^{-5}}{81 \cdot 10^9 \cdot 1,08 \cdot 10^{-6}}} = 2,36$$

Výpočet súčiniteľa klopenia:

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 2,75} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 1,51 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^9 \cdot 1,08 \cdot 10^{-6}}} = 2,17$$

Súčinitele: podľa tabuľky NB3.2 pre I prierez

$$C_1 = C_{1,1} = 1,13; C_2 = 0,46$$

Bezrozmerný kritický moment:

$$\mu_{cr} = \frac{c_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g)^2} - C_2 \cdot \xi_g \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \cdot \left[\sqrt{1 + 2,17^2 + (0,46 \cdot 2,36)^2} - 0,46 \cdot 2,36 \right] = 1,88$$

Kritický moment:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{cr,z}} = 1,88 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^3 \cdot 6,99 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^3 \cdot 1,08 \cdot 10^{-6}}}{2,75}$$

$$M_{cr} = 2436,1 \text{ kNm}$$

Pomerná štíhlosť:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,63 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{2436,1}} = 0,40$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,4; \beta = 0,75$$

Trieda prierezu:

$$h/b = 310/300 = 1,03 \leq 2 \dots \text{krivka klopenia „b“ } (\alpha = 0,34)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 (0,40 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,40^2] = 0,558$$

Súčiniteľ klopenia:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,558 + \sqrt{0,558^2 - 0,75 \cdot 0,40^2}} = 1,001$$

$$\chi_{LT} = 1,001 \geq 1,00 \rightarrow \text{klopenie únosnosť neredukuje}$$

Interakcia osového tlaku a ohybu :

Kombinácia: maximálny moment + odpovedajúca osová sila

$$M_{Ed,y} = 253,55 \text{ kNm} \quad \text{Súradnice: 1-D} \quad \text{MSÚ 28}$$

$$N_{Ed} = -26,68 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z} = 15,88 \text{ kNm}$$

Súčiniteľ c_m ekvivalentného konštantného momentu:

(výpočet podľa normy ČSN EN 1993-1-1, tab. B3)

$$M_s = 253,55 \text{ kNm}$$

$$\alpha_h = M_h / M_s = 0 / 253,55 = 0$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

$$M_s = 5,72 \text{ kNm}$$

$$\alpha_h = M_h / M_s = 0 / 23,72 = 0$$

$$c_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

$$c_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

Únosnosti prierezu:

$$M_{y,Rk} = w_{pl,y} \cdot f_y = 1,63 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 382,82 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = w_{pl,z} \cdot f_y = 7,08 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 = 166,38 \text{ kNm}$$

$$N_{R,k} = f_y \cdot A = 235 \cdot 10^3 \cdot 1,24 \cdot 10^{-2} = 2914,0 \text{ kN}$$

Interakčné súčinitele k_{yy} , k_{zy} :

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

$$k_{yy} = \left\{ 0,95 \cdot \left(1 + (1,034 - 0,2) \cdot \frac{26,68}{0,576 \cdot \frac{2914,0}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{26,68}{0,576 \cdot \frac{2914,0}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = 0,963 \leq 0,962 \rightarrow k_{yy} = 0,962$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,962 = 0,577$$

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

$$k_{zz} = \left\{ 0,95 \cdot \left(1 + (2 \cdot 0,390 - 0,6) \cdot \frac{26,68}{0,903 \cdot \frac{2914,0}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{26,68}{0,903 \cdot \frac{2914,0}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{zz} = 0,952 \leq 0,961 \rightarrow k_{zz} = 0,952$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,952 = 0,571$$

Posúdenie:

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

$$\frac{26,68}{0,576 \cdot \frac{2914,0}{1,0}} + 0,962 \cdot \frac{253,55+0}{1,0 \cdot \frac{382,82}{1,0}} + 0,571 \cdot \frac{15,88+0}{\frac{166,38}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,68 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

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

$$\frac{26,68}{0,903 \cdot \frac{2914,0}{1,0}} + 0,577 \cdot \frac{253,55+0}{1,0 \cdot \frac{382,82}{1,0}} + 0,952 \cdot \frac{15,88+0}{\frac{166,38}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,42 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Kombinácia: maximálny osová sila + odpovedajúci moment

$$N_{Ed} = -52,81 \text{ kN}$$

1-D

MSÚ 25

$$M_{Ed,y} = 0,01 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 0,00 \text{ kNm}$$

Nulové momenty, kombináciu nie je potrebné posudzovať.

9. Posúdenie paždíkov

Vnútroné sily:

$$N_{Ed} = -80,00 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 221,69 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,y} = 6,52 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} = 34,48 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 35,68 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 11,55 \text{ kNm}$$

Súradnice:

- 3-7/A,

MSÚ 12

-1/B-C

MSÚ 9

-1/A-B,

MSÚ 10

-1/B-C,

MSÚ 29

-1/C-D

MSÚ 14

-1/E-F,

MSÚ 10

Typ profilu:

Materiálové charakteristiky k zvoleným osiam opačne ako v prílohe zo Scia, z dôvodu rotácie prierezu o 90°

Profil: UPN 300

Materiál: S 355 ($f_y = 355 \text{ MPa}$, $f_u = 490 \text{ MPa}$)

$$A = 5,88 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_z = 8,03 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_y = 4,95 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_{z,pl} = 6,32 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{y,pl} = 1,30 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_t = 3,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_w = 7,89 \cdot 10^{-8} \text{ m}^6$$

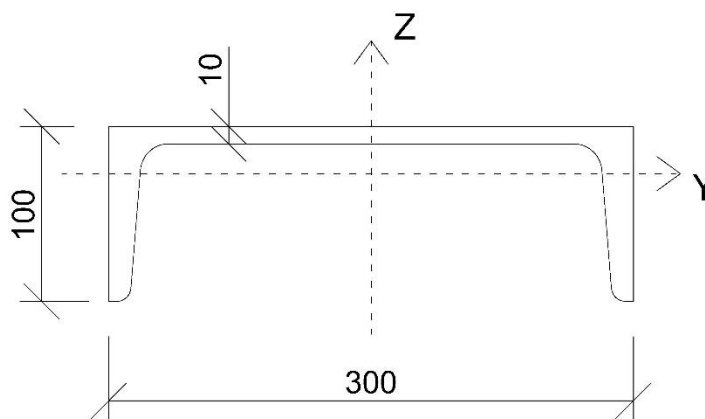
Rozmery prierezu:

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

$$b = 100 \text{ mm}$$

$$t_f = 16,0 \text{ mm}$$

$$t_w = 10,0 \text{ mm}$$



Obrázok 26- Prierez paždíkov UPN 300

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Zatriedenie pásnice:

$$c = b - t_w = 100 - 10,0 = 90 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{90}{16} = 5,626 \leq 9 \cdot \varepsilon = 7,29 \rightarrow \text{Trieda prierezu 1}$$

Posúdenie na ťah:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,88 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 2087,4 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{221,69}{2087,4} = 0,11 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Posúdenie na šmyk :

Šmyková plocha:

$$A_{vz} = 3,054 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Únosnosť v šmyku:

$$V_{c,Rd,z} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3,054 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 625,9 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{c,Rd}} = \frac{34,48}{625,9} = 0,05 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

$$\leq 0,5 \rightarrow \text{Nie je potreba redukovať ohybovú únosnosť}$$

Šmyková plocha:

$$A_{vy} = 2,99 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Únosnosť v šmyku:

$$V_{c,Rd,y} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,99 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 612,8 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{V_{Ed,y}}{V_{c,Rd,y}} = \frac{6,52}{612,8} = 0,01 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

$$\leq 0,5 \rightarrow \text{Nie je potreba redukovať ohybovú únosnosť}$$

Posúdenie na ohyb:

Únostenosť v ohybe:

$$M_{c,Rd,y} = \frac{w_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,30 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 461,5 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd,z} = \frac{w_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6,32 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 224,36 \text{ kNm}$$

Posúdenie:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

$$\left[\frac{35,68}{461,5} \right]^2 + \left[\frac{11,55}{224,36} \right]^2 \leq 1,0$$

$$0,005 + 0,05 = 0,055 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Posúdenie na rovinný vzper:Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y: $L_{cr,y} = 5,0 \text{ m}$ Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z: $L_{cr,z} = 5,0 \text{ m}$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 4,95 \cdot 10^{-6}}{5,0^2} = 410,38 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 8,03 \cdot 10^{-5}}{5,0^2} = 6657,2 \text{ kN}$$

Pomerná štíhlosť prútu:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5,88 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{410,38}} = 0,560$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_z}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{5,88 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{6657,2}} = 2,255$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 (0,560 - 0,2) + 0,560^2] = 0,745$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 (2,255 - 0,2) + 2,255^2] = 3,547$$

krivka zpernej pevnosti: „c“ ($\alpha = 0,49$)

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,745 + \sqrt{0,745^2 - 0,560^2}} = 0,809 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{3,547 + \sqrt{3,547^2 - 2,255^2}} = 0,159 \leq 1,0$$

Vzperná únostenosť prútu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,159 \cdot 5,88 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 332,16 \text{ kN}$$

Posúdenie: $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{80,00}{332,16} = 0,24 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$

Interakcia osového tlaku a ohybu :*Kombinácia: maximálny moment + odpovedajúca osová sila*

$$M_{Ed,y} = 35,68 \text{ kNm} \quad -1/C-D, \text{ MSÚ } 14$$

$$N_{Ed} = 29,61 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z} = 1,88 \text{ kNm}$$

N_{Ed} je ťahová sila \rightarrow neposudzujem

Kombinácia: maximálny osová sila + odpovedajúci moment

$$N_{Ed} = -80,00 \text{ kN} \quad -3-7/A, \text{ MSÚ } 12$$

$$M_{Ed,y} = 8,32 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 0,35 \text{ kNm} \approx 0,0 \text{ kNm}$$

Súčiniteľ c_m ekvivalentného konštantného momentu:

(výpočet podľa normy ČSN EN 1993-1-1, tab. B3)

$$M_s = 8,32 \text{ kNm}$$

$$M_h = 6,55 \text{ kNm}$$

$$\alpha_h = M_h / M_s = 6,55 / 8,32 = 0,79$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot 0,78 = 0,989$$

Únosnosti prierezu:

$$M_{y,Rk} = w_{pl,y} \cdot f_y = 1,30 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3 = 461,5 \text{ kNm}$$

$$N_{R,k} = A \cdot f_y = 5,88 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3 = 2087,4 \text{ kN}$$

Interakčné súčinitele k_{yy} , k_{zy} :

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

$$k_{yy} = \left\{ 0,989 \cdot \left(1 + (0,56 - 0,2) \cdot \frac{80,0}{0,809 \cdot \frac{2087,4}{1,0}} \right) \leq 0,989 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{80,0}{0,809 \cdot \frac{2087,4}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = 1,005 \leq 1,026 \rightarrow k_{yy} = 1,005$$

$$k_{zy} = \left\{ \left(1 - \frac{0,1 \cdot \lambda_z}{c_{mLT-0,25}} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq \left(1 - \frac{0,1}{c_{mLT-0,25}} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right\}$$

$$k_{zy} = \left\{ \left(1 - \frac{0,1 \cdot 2,255}{0,989 - 0,25} \cdot \frac{80,0}{0,159 \cdot \frac{2087,4}{1,0}} \right) \leq \left(1 - \frac{0,1}{0,989 - 0,25} \cdot \frac{80,0}{0,159 \cdot \frac{2087,4}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{zy} = 0,858 \geq 0,937 \rightarrow k_{zy} = 0,937$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{R,k}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{80,00}{0,809 \cdot \frac{2087,4}{1,0}} + 1,005 \cdot \frac{8,32+0}{1,0 \cdot \frac{461,5}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,06 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{R,k}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{80,00}{0,159 \cdot \frac{2087,4}{1,0}} + 0,937 \cdot \frac{8,32+0}{1,0 \cdot \frac{461,5}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,26 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Posúdenie na klopenie (kolmo na os y):

$$L = L_{cr,z} = 6,0 \text{ m}$$

Výpočet súčiniteľa klopenia:

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,15}{1,0 \cdot 6,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 8,03 \cdot 10^{-5}}{81 \cdot 10^9 \cdot 3,80 \cdot 10^{-7}}} = 1,838$$

Výpočet súčiniteľa klopenia:

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 6,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 7,89 \cdot 10^{-8}}{81 \cdot 10^9 \cdot 3,80 \cdot 10^{-7}}} = 0,384$$

Súčinitele: podľa tabulky NB3.2 pre jednoose symetrický prierez

$$C_1 = C_{1,1} = 1,13; C_2 = 0,33$$

Bezrozmerný kritický moment:

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

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \cdot \left[\sqrt{1 + 0,384^2 + (0,33 \cdot 1,838)^2} - 0,46 \cdot 1,838 \right] = 0,546$$

Kritický moment:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{cr,z}} = 0,546 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^3 \cdot 8,03 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^3 \cdot 3,80 \cdot 10^{-7}}}{6,0}$$

$$M_{cr} = 205,78 \text{ kNm}$$

Pomerná štíhlost':

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,30 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{205,78}} = 0,474$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,4; \beta = 0,75$$

Trieda prierezu:

U prierez...krivka klopenia „d“ ($\alpha = 0,76$)

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,76 (0,474 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,474^2] = 0,612$$

Súčiniteľ klopenia:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,612 + \sqrt{0,612^2 - 0,75 \cdot 0,474^2}} = 0,937$$

Únosnosť pri klopení:

$$M_{c,Rd,y} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,937 \cdot 1,30 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 43,28 \text{ kNm}$$

Posúdenie:

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{c,Rd,y}} = \frac{35,68}{43,28} = 0,82 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

10. Návrh a posúdenie stužidiel

V konštrukcii volejbalovej haly je použitý systém priečných a pozdĺžnych stužidiel.

10.1 Priečne stužidlá- strešné

Vnútroné sily:

$$N_{t,Ed} = 119,98 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -111,26 \text{ kN}$$

Súradnice:

- väzník 8-9, medzi väznicami A/B, MSÚ 17

- väzník 8-9, medzi väznicami A/B, MSÚ 1

Typ profilu:

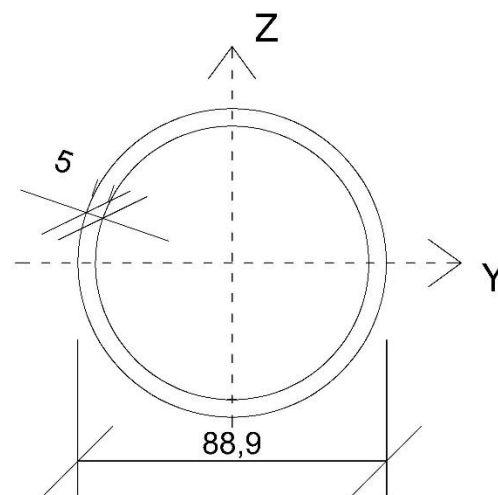
Profil: TR 88,9 x 5,0

Materiál: S 355 ($f_y = 355$ MPa, $f_u = 490$ MPa)

$$A = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 1,16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 3,468 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$



Obrázok 27- Prierez priečného stužidla
TR 88,9 x 5,0

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Pre duté profile kruhového tvaru platí:

$$\frac{d}{t} = \frac{88,9}{5,0} = 17,78 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8$$

→ Trieda prierezu 1

Posúdenie na rovinný vzper:

Vzperná dĺžka

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = 4,268 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,16 \cdot 10^{-6}}{4,268^2} = 131,986 \text{ kN}$$

Pomerná štíhlosť prútu:

$$\overline{\lambda}_{y,z} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,32 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{131,986}} = 1,884$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha (1,281 - 0,2) + 1,281^2] = 2,452$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{2,452 + \sqrt{2,452^2 - 1,884^2}} = 0,249 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,249 \cdot 1,32 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 116,53 \text{ kN}$$

$$\text{Posúdenie: } \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{111,21}{116,53} = 0,95 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

Posúdenie na ťah:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,32 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 479,25 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{119,98}{479,25} = 0,25 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

10.2 Priechne stužidlá- stenové

Vnútroné sily:

$$N_{t,Ed} = 90,55 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -73,81 \text{ kN}$$

Súradnice:

- väzník 6-7, medzi pažďíkmi 1-2, MSÚ 14

- väzník 6-7, medzi väznicami 1-2, MSÚ 14

Typ profilu:

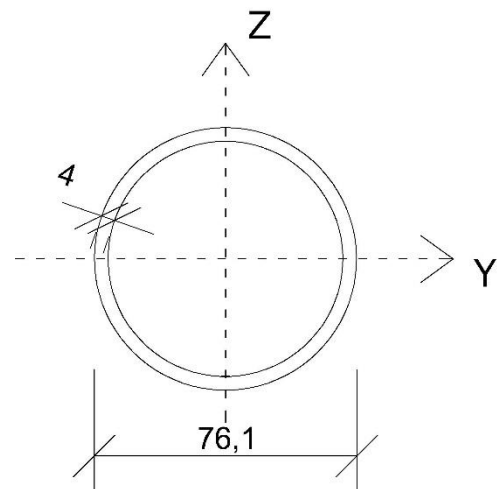
Profil: TR 76,1 x 4,0

Materiál: S 355 ($f_y = 355 \text{ MPa}$, $f_u = 490 \text{ MPa}$)

$$A = 9,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 5,91 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 2,0487 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$



Obrázok 28- Prierez priečného stužidla v stene TR 76,1 x 4,0

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Pre duté profily kruhového tvaru platí:

$$\frac{d}{t} = \frac{76,1}{4,0} = 19,02 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8$$

→ Trieda prierezu 1

Posúdenie na rovinný vzper:

Vzperná dĺžka

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = 3,716 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 5,91 \cdot 10^{-5}}{3,716^2} = 88,71 \text{ kN}$$

Pomerná štíhlosť prútu:

$$\overline{\lambda}_{y,z} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{9,06 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{88,71}} = 1,904$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha (1,904 - 0,2) + 1,904^2] = 2,492$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{2,492 + \sqrt{2,492^2 - 1,904^2}} = 0,244 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prutu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,244 \cdot 9,06 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 78,46 \text{ kN}$$

Posúdenie: $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{73,81}{78,46} = 0,94 \leq 1,0 \rightarrow$ Prierez vyhovuje

Posúdenie na ťah:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9,06 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 321,63 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{90,55}{321,63} = 0,28 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

10.3 Pozdĺžne stuždlá

Uvažujeme tlačný prut ako vybočený a teda nespôlpracuje pri prenose zaťaženia.

Vnútroné sily:

$$N_{t,Ed} = 49,23 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -56,17 \text{ kN}$$

Súradnice:

- väzník 2-3, pod väznicou E, MSÚ 6

Typ profilu:

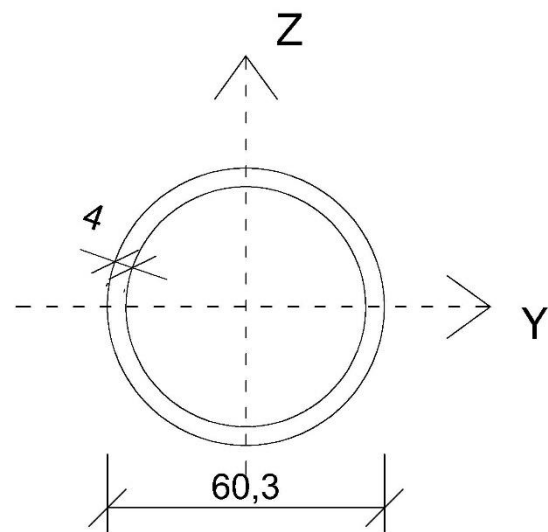
Profil: TR 60,3 x 4,0

Materiál: S 355 ($f_y = 355 \text{ MPa}$, $f_u = 490 \text{ MPa}$)

$$A = 7,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 2,82 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$



Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Pre duté profily kruhového tvaru platí:

$$\frac{d}{t} = \frac{60,3}{4,0} = 15,07 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \rightarrow \text{Trieda prierezu 1}$$

Posúdenie na ťah:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,07 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 250,9 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{2 \cdot 49,23}{250,9} = 0,4 \leq 1,0 \rightarrow \text{Prierez vyhovuje}$$

11. Medzné stavy použiteľnosti

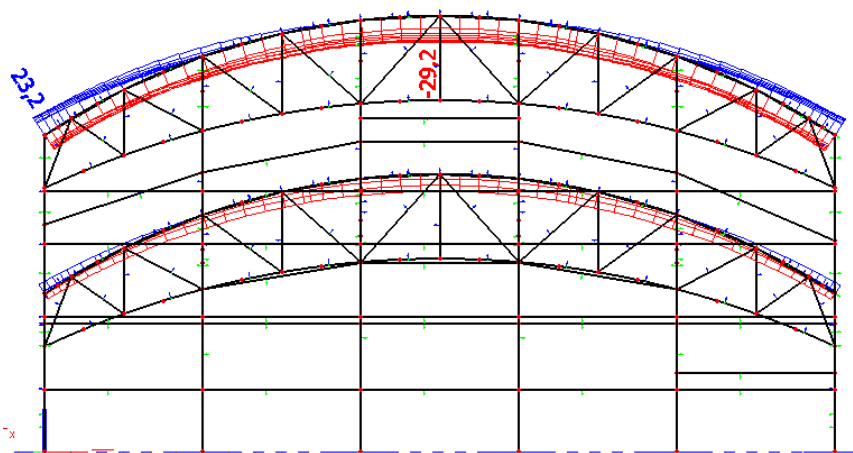
K výpočtu deformácií bol využitý program Scia Engineer. Hodnoty boli stanovené lineárnym výpočtom metódou konečných prvkov. Deformácie boli posudzované na limitné hodnoty podľa doporučených hodnôt ČSN EN 1993-1-1.

11.1 Zvislý prieťah horného pásu väzníka

Najväčšia hodnota prieťahu $\delta = 31,7 \text{ mm}$ je stanovená pre kombináciu MSP 39.

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

$$\delta_{\max} = L/250 = 30\,000/250 = 120 \text{ mm}$$



Obrázok 29- Maximálny prieťah horného pásu väzníka

$$\delta = 31,7 \text{ mm} \leq \delta_{\max} = 120 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovie}$$

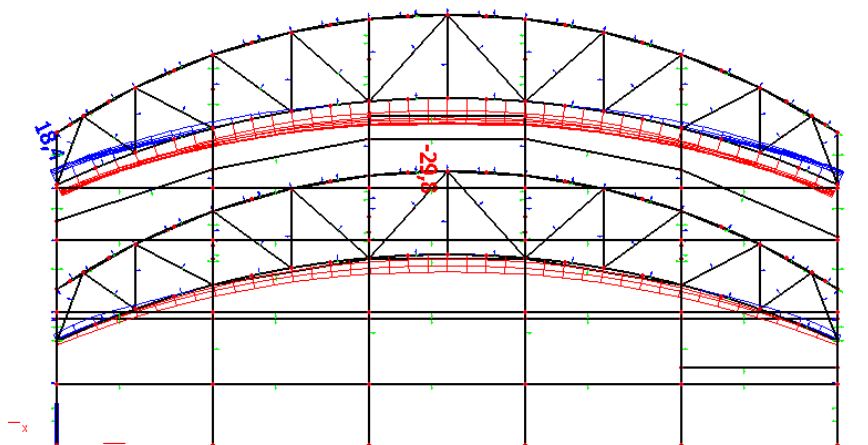
11.2 Zvislý prieťah dolného pásu väzníka

Najväčšia hodnota prieťahu $\delta = 32,4 \text{ mm}$ je stanovená pre kombináciu MSP 39.

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

$$\delta_{\max} = L/250 = 30\,000/250 = 120 \text{ mm}$$

$$\delta = 31,7 \text{ mm} \leq \delta_{\max} = 120 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovie}$$



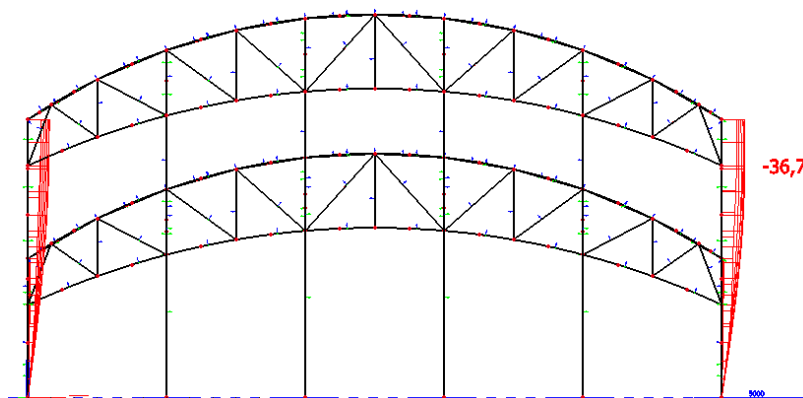
Obrázok 30-Maximálny priehyb dolného pásu väzníka

11.3 Deformácia stĺp HEA 450

Overujeme vodorovný posun v špičke stĺpu od priečného vetra. Maximálny posun bol stanovený na stĺpe A3 hodnotou $\delta = 37,9 \text{ mm}$.

$$\delta_{\max} = h/300 = 12\,000/300 = 40 \text{ mm}$$

$$\delta = 37,9 \text{ mm} \leq \delta_{\max} = 40 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovie}$$



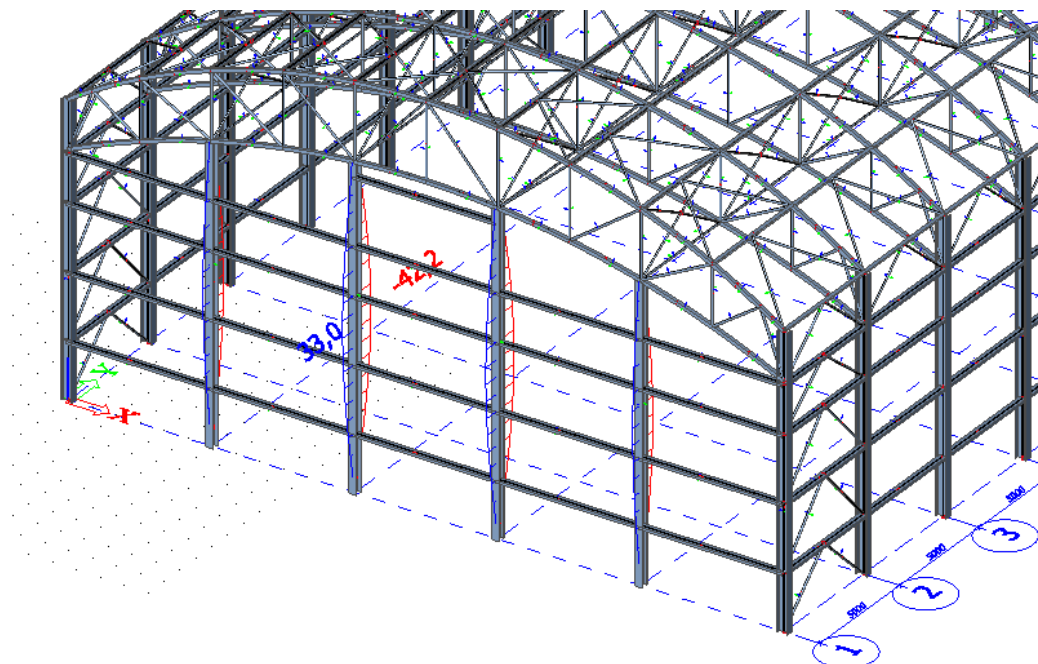
Obrázok 31- Vodorovný posun špičky stĺpu od účinkov priečného vetra z ľava

11.4 Deformácia štítový stĺp HEA 320

Overujeme vodorovný posun pre všetky kombinácie MSP. Maximálny posun bol stanovený v čelnej stene s väčšou výškou hodnotou $\delta = 42,2 \text{ mm}$.

$$\delta_{\max} = h/300 = 13\,195/300 = 43,98 \text{ mm}$$

$$\delta = 42,2 \text{ mm} \leq \delta_{\max} = 43,98 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovie}$$



Obrázok 32- Vodoroná deformácia štítového stĺpu z kombinácie MSP 5

11.5 Zvislý priehyb väznice

Zvislá deformácia je spočítaná zo statickej schémy jednoduchého nosníka s rozpätím 5 m. Vychádzame zo situácie keď na väznicu IPE 220 pôsobí tiaž snehu, maximálny tlak vetra a stále zaťaženie. Zaťažovacia šírka je 3,0 m.

Hodnoty zaťaženia:

Vlastná tiaž	0,257 kN/m ²
Strešný panel	0,114 kN/ m ²
Tlak vetra	0,292 kN/ m ²
Tiaž snehu	0,640 kN/ m ²
Vzduchotechnika	<u>0,785 kN/ m²</u>

$$q = Z\check{S} \cdot 2,088 \text{ kN/m} = 6,264 \text{ kN/m}$$

Priehyb:

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_y}$$

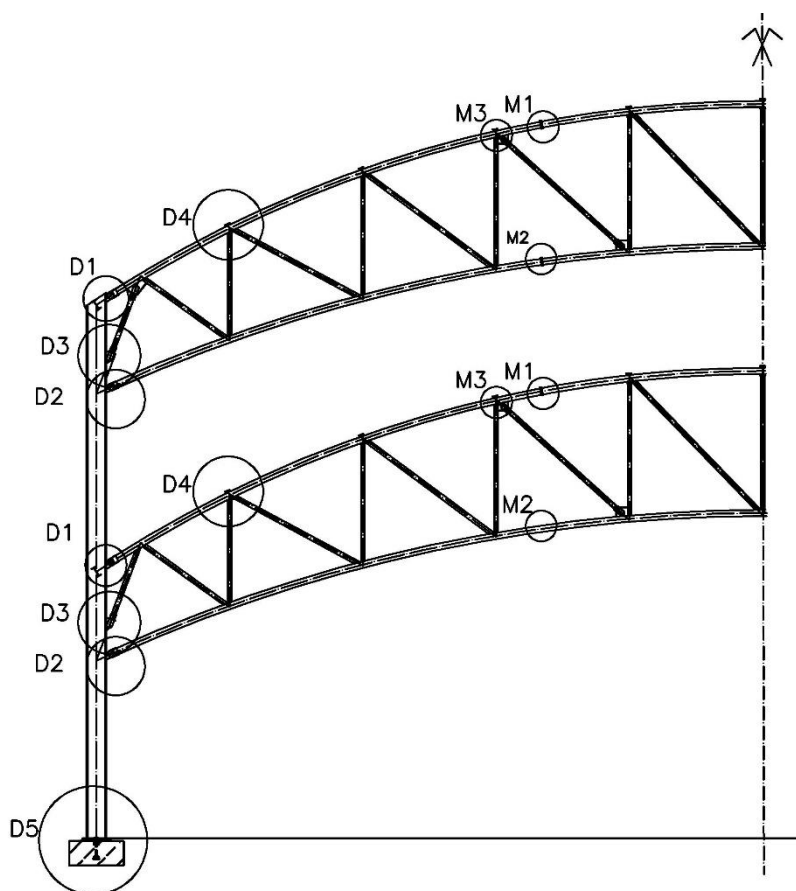
$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{6,264 \cdot 5,0^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 2,77 \cdot 10^{-5}} = 8,76 \text{ mm}$$

Medzné hodnoty:

$$w_{max} = L/200 = 5000/200 = 25 \text{ mm}$$

$$\delta = 8,76 \text{ mm} \leq \delta_{max} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovie}$$

12. Návrh a posúdenie konštrukčných detailov



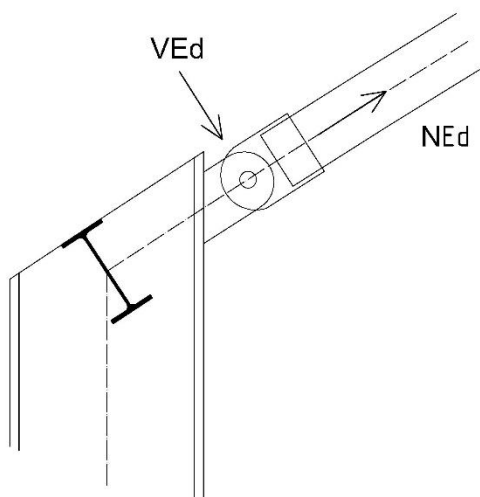
Obrázok 33- Prehľad detailov riešených v statickom výpočte

12.1 D1-Prípoj väzníku k stĺpu- horný pás

Vnútroné sily:

$$N_{Ed} = 448,85 \text{ kN (ťah)}$$

$$V_{Ed,z} = 8,36 \text{ kN}$$



Obrázok 34- Vnútorne sily v styčníku

Návrh styčnickovej dosky:

Podľa ČSN EN 1993-1-8 typ A

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{448,85 \cdot 1,0}{355 \cdot 10^3}} = 0,024$$

→ Návrh $t = 25 \text{ mm}$

Veľkosť vŕtania

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t = 2,5 \cdot 25 = 62,5 \text{ mm}$$

→ Návrh $d_0 = 45 \text{ mm}$

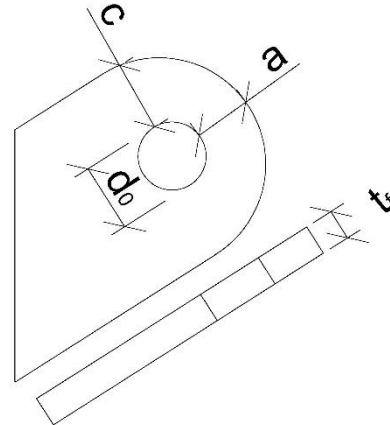
$$d = 42 \text{ mm}$$

$$a \geq \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{3 d_0}{3} = \frac{448,85 \cdot 1,0}{2 \cdot 25 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{3 \cdot 45}{3}$$

$$a \geq 45,00 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{448,85 \cdot 1,0}{2 \cdot 25 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{45}{3}$$

$$a \geq 15,00 \text{ mm}$$



Obrázok 35- Doska čapový spoj

Materiál:

Čap: M42 6.8 $f_{up} = 600 \text{ MPa}$, $f_{yp} = 480 \text{ MPa}$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,042^2}{4} = 1,39 \cdot 10^{-3}$$

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 0,042^3}{32} = 7,27 \cdot 10^{-6}$$

12.1.1 Únostnosť čapu**Únostnosť čapu v strihu:**

$$F_{V,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{up} \cdot A}{\gamma_{M2}} \cdot n$$

$$F_{V,Rd} = \frac{0,6 \cdot 600 \cdot 10^3 \cdot 1,39 \cdot 10^{-3}}{1,25} \cdot 2 = 800,64 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} = \frac{448,85}{800,64} = 0,56 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

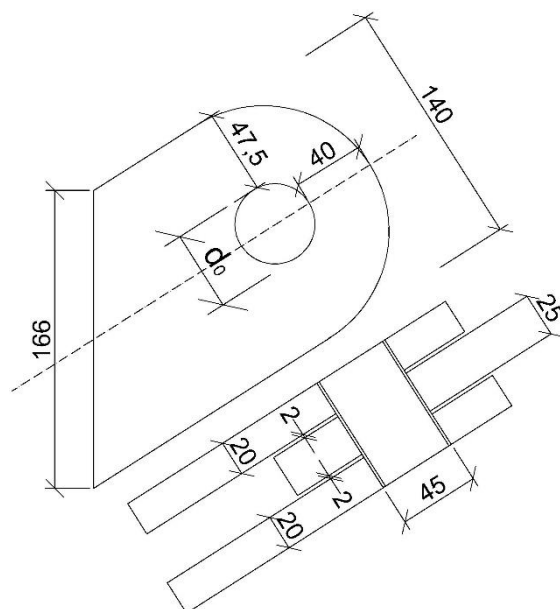
Únostnosť čapu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot d \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$t = \min(2 \cdot 20; 25) = 25 \text{ mm}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot 0,042 \cdot 0,025 \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 559,1 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{448,85}{559,1} = 0,81 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$



Obrázok 36- Čapový spoj rozmery

Únostnosť čapu v ohybe:

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot N_{Ed} \cdot (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a)$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot 448,85 \cdot (25 + 4 \cdot 2 + 2 \cdot 20)$$

$$M_{Ed} = 4095,3 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot 7,27 \cdot 10^{-6} \cdot 480 \cdot 10^6}{1,0} = 5212,8 \text{ kNm}$$

Posúdenie:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{4095,3}{5212,8} = 0,79 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Kombinácia pre čap v strihu a ohybe:

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

$$[0,79]^2 + [0,56]^2 \leq 0,94 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Materiál:

Plech: S 355 ($f_y = 355 \text{ MPa}$, $f_u = 490 \text{ MPa}$)

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

$$A_{net} = 140 \cdot 20 - 45 \cdot 20 = 1900 \text{ mm}^2$$

$$A = 2800 \text{ mm}^2$$

$$I_x = \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot (47,5 \cdot 20^3) + 47,5 \cdot 20 \cdot 2 \cdot \left(\frac{92,5}{2}\right)^2 = 7,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot (20 \cdot 47,5^3) = 3,57 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = 0,097 \text{ m}$$

12.1.2 Únostnosť styčnickového plechu

Únostnosť v ťahu:

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1900 \cdot 490}{1,25} = 670,3 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{448,85}{670,3} = 0,67 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Únostnosť v tlaku:

$$N_{Ed} = -335,90 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2800 \cdot 355}{1,0} = 994,0 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{335,90}{994,0} = 0,34 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Vzperná únostnosť plechu:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 7,4 \cdot 10^{-7}}{0,097^2} = 163,1 \text{ MN}$$

Pomerná štíhlosť prútu:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,8 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{163,1 \cdot 10^3}} = 0,078$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 (0,078 - 0,2) + 0,078^2] = 0,473$$

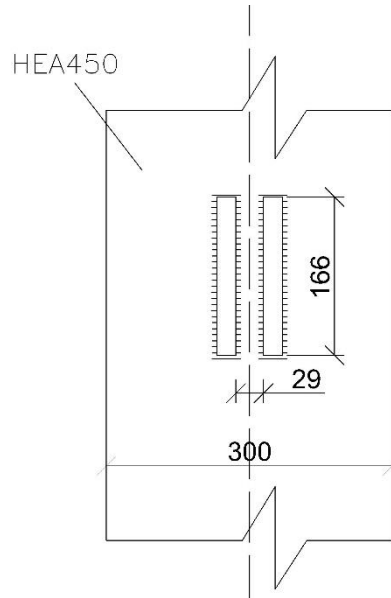
Krivka vzpernosti „c“ $\rightarrow \alpha = 0,49$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,473 + \sqrt{0,473^2 - 0,078^2}} = 1,064 \geq 1,0 \rightarrow \text{Únostnosť nie je redukovaná}$$

12.1.3 Posúdenie zvarov

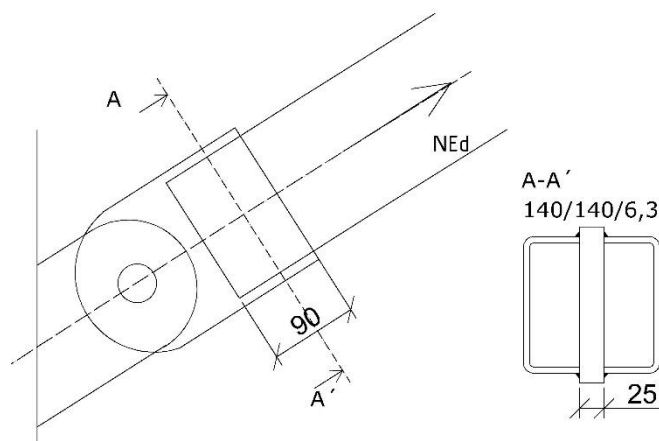
Zvar styčnickový plech-stĺp

Priestor 29 mm je pre zvar styčnickový plech – pásnica stĺpu nedostatočný na prevedenie kútového zvaru. Navrhujem „V“ zvar.



Obrázok 37- Zváraný spoj
styčnickový plech-stĺp

Zvar styčnickový plech-horný pás



Návrh zvaru:

$$a_{min} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min}$$

$$5 \text{ mm} \leq a = 6 \text{ mm} \leq 1,1 \cdot 6,3 = 6,9 \text{ mm}$$

$$a = 6 \text{ mm}$$

$$L = 90 - 2 \cdot a = 90 - 2 \cdot 6 = 78 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 78 \cdot 6 = 468 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot A} = \frac{448,85}{4 \cdot 4,68 \cdot 10^{-4}} = 239,7 \text{ MPa}$$

Posúdenie:

$$\sqrt{3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{3 \cdot 239,7^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$415,17 \text{ MPa} \leq 435 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovie}$$

12.2 D2- Prípoj väzníku k stĺpu- dolný pás

Vnútroné sily:

$$N_{Ed} = 313,55 \text{ kN (tlak)}$$

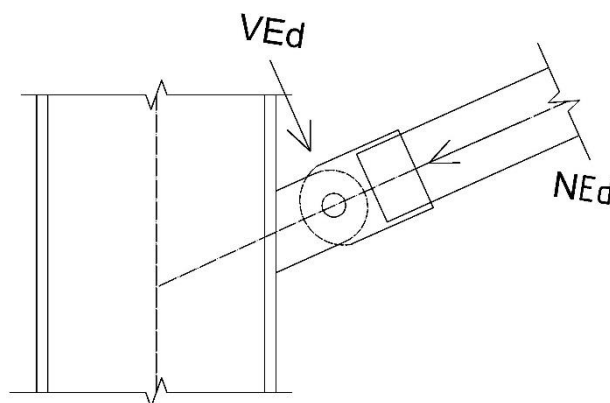
$$V_{Ed,z} = 16,02 \text{ kN}$$

Návrh styčnikovej dosky:

Podľa ČSN EN 1993-1-8 typ A

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{313,55 \cdot 1,0}{355 \cdot 10^3}} = 0,021$$

Obrázok 38- Vnútroné sily v styčniku dolného pásu väzníka so stĺpom



$$\rightarrow \text{Návrh } t = 25 \text{ mm}$$

Veľkosť vŕtania

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t = 2,5 \cdot 25 = 62,5 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \text{Návrh } d_0 = 45 \text{ mm}$$

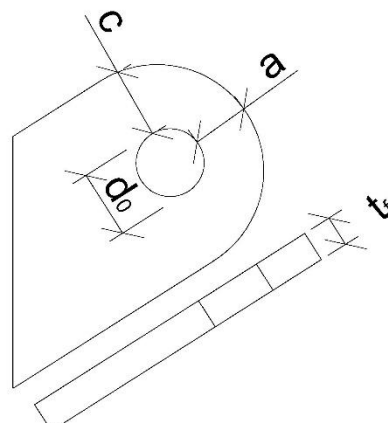
$$d = 42 \text{ mm}$$

$$a \geq \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{3 \cdot d_0}{3} = \frac{313,55 \cdot 1,0}{2 \cdot 25 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{3 \cdot 45}{3}$$

$$a \geq 45,00 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{313,55 \cdot 1,0}{2 \cdot 25 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{45}{3}$$

$$a \geq 15,00 \text{ mm}$$



Obrázok 39- Doska čapový spoj

Materiál:

Čap: M42 6.8 $f_{up}=600$ MPa, $f_{yp}=480$ MPa

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,042^2}{4} = 1,39 \cdot 10^{-3}$$

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 0,042^3}{32} = 7,27 \cdot 10^{-6}$$

12.2.1 Únostnosť čapu

Únostnosť čapu v strihu:

$$F_{V,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{up} \cdot A}{\gamma_{M2}} \cdot n$$

$$F_{V,Rd} = \frac{0,6 \cdot 600 \cdot 10^3 \cdot 1,39 \cdot 10^{-3}}{1,25} \cdot 2 = 800,64 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} = \frac{313,55}{800,64} = 0,39 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

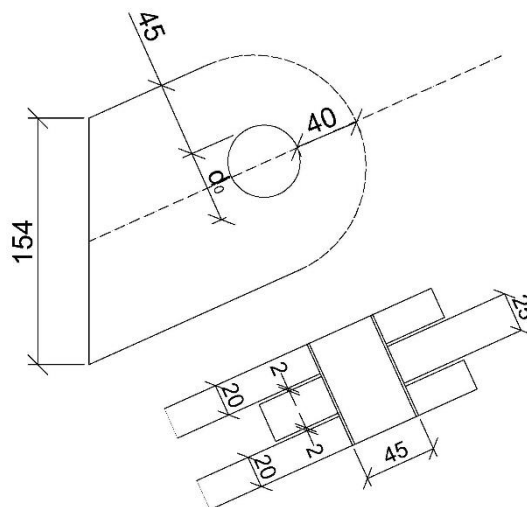
Únostnosť čapu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot d \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$t = \min(2 \cdot 20; 25) = 25 \text{ mm}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot 0,042 \cdot 0,025 \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 559,1 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{313,55}{559,1} = 0,56 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$



Obrázok 40- Čapový spoj rozmer dosiek

Únostnosť čapu v ohybe:

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot N_{Ed} \cdot (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a)$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot 313,55 \cdot (25 + 4 \cdot 2 + 2 \cdot 20)$$

$$M_{Ed} = 2860,87 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot 7,27 \cdot 10^{-6} \cdot 480 \cdot 10^6}{1,0} = 5212,8 \text{ kNm}$$

Posúdenie:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{2860,78}{5212,8} = 0,55 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Kombinácia pre čap v stihu a ohybe:

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

$$[0,55]^2 + [0,39]^2 \leq 0,45 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Materiál:

Plech: S 355 ($f_y = 355 \text{ MPa}$, $f_u = 490 \text{ MPa}$)

$t = 20 \text{ mm}$

$$A_{net} = 140 \cdot 20 - 45 \cdot 20 = 1900 \text{ mm}^2$$

$$A = 2800 \text{ mm}^2$$

$$I_x = \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot (47,5 \cdot 20^3) + 47,5 \cdot 20 \cdot 2 \cdot \left(\frac{92,5}{2} \right)^2 = 7,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot (20 \cdot 47,5^3) = 3,57 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = 0,097 \text{ m}$$

12.2.2 Únostnosť styčnickového plechu**Únostnosť v ťahu:**

$$N_{t,Ed} = 359,66 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1900 \cdot 490}{1,25} = 670,3 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{359,66}{670,3} = 0,54 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Únostnosť v tlaku:

$$N_{Ed} = -313,55 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{2800 \cdot 355}{1,0} = 994,0 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{313,55}{994,0} = 0,32 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Vzperná únostnosť plechu:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 7,4 \cdot 10^{-7}}{0,097^2} = 163,1 \text{ MN}$$

Pomerná štíhlosť prútu:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,8 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{163,1 \cdot 10^3}} = 0,078$$

Súčiniteľ vzpernosti:

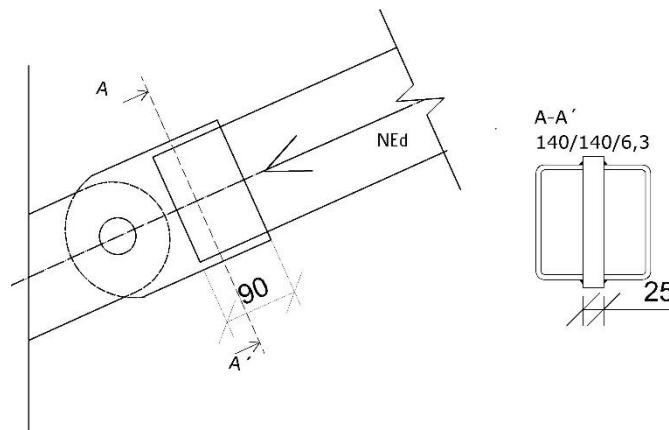
$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 (0,078 - 0,2) + 0,078^2] = 0,473$$

Krivka vzpernosti „c“ $\rightarrow \alpha = 0,49$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,473 + \sqrt{0,473^2 - 0,078^2}} = 1,064 \geq 1,0 \rightarrow \text{Únostnosť nie je redukovaná}$$

12.2.3 Posúdenie zvarov**Zvar styčnickový plech-stĺp**

Riešený rovnako ako zvar horný pás- stĺp v predošlej kapitole pomocou „V“ zvaru.

Zvar styčnickový plech-dolný pás

Návrh zvaru:

$$a_{min} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min}$$

$$5 \text{ mm} \leq a = 6 \text{ mm} \leq 1,1 \cdot 6,3 = 6,9$$

$$L = 90 - 2 \cdot a = 90 - 2 \cdot 6 = 78 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 78 \cdot 6 = 468 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot A} = \frac{313,55}{4 \cdot 468 \cdot 10^{-4}} = 167,4 \text{ MPa}$$

Posúdenie:

$$\sqrt{3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{3 \cdot 167,4^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$289,9 \text{ MPa} \leq 435 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovie}$$

12.3 D3- Prípoj krajnej diagonály

Vnútroné sily:

$$N_{Ed} = -293,60 \text{ kN (tlak)}$$

$$N_{Ed} = 177,25 \text{ kN}$$

Spojovací materiál:

Skrutka: 2 x M42, tr. 8.8

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}, f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$

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

$$d_0 = 26 \text{ mm}$$

$$A_s = 353 \text{ mm}^2$$

$$A = 452 \text{ mm}^2$$

$$F_{pc} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,7 \cdot 800 \cdot 353 = 197,7 \text{ kN}$$

Minimálne povolené rozostupy:

$$e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 26 = 31,2 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 50 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 26 = 31,2 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 50 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 26 = 57,2 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 70 \text{ mm}$$

Návrhová sila pre jednu skrutku:

$$F_{V,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{293,60}{2} = 146,8 \text{ kN}$$

Posúdenie na prekĺznutie:

$$F_{S,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{pc}$$

$$F_{S,Rd} = \frac{1,0 \cdot 2 \cdot 0,5}{1,25} \cdot 197,7 = 158,7 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{V,Ed,1}}{F_{S,Rd}} = \frac{146,8}{158,7} \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Posúdenie na otláčenie

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,64 \cdot 490 \cdot 24 \cdot 10}{1,25} = 150,53 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{50}{26} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{0}{26} - 1,7; 2,5 \right\} = \min\{3,68; 2,5\} = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ 0,64; \frac{800}{490}; 1,0 \right\} = 0,64$$

$$\alpha_d = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{50}{78}; \frac{70}{78} - \frac{1}{4} \right\} = 0,64$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{V,Ed,1}}{F_{b,Rd}} = \frac{146,8}{150,53} = 0,96 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Posúdenie zvaru (diagonála – styčnickový plech)

Návrh zvaru:

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min}$$

$$3 \text{ mm} \leq a = 4 \text{ mm} \leq 1,1 \cdot 8 = 8,8$$

$$L = 100 - 2 \cdot a = 100 - 2 \cdot 4 = 92 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 92 \cdot 4 = 368 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{||} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot A} = \frac{293,60}{4 \cdot 368} = 199,46 \text{ MPa}$$

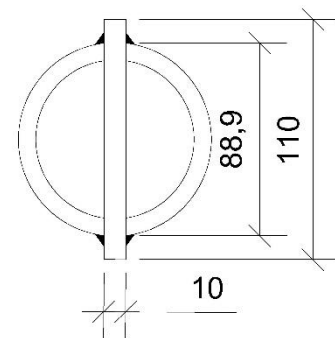
Posúdenie:

$$\sqrt{3 \cdot \tau_{||}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{3 \cdot 199,46^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$345,47 \text{ MPa} \leq 435 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovie}$$

TR 88,9/8,0



Posúdenie styčnickového plechu

$$A_{net} = (110 - 26) \cdot 10 = 840 \text{ mm}^2$$

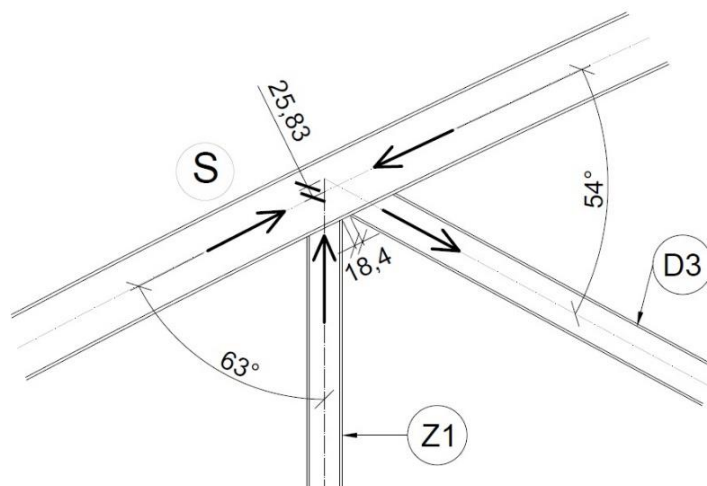
$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 840 \cdot 490}{1,25} = 296,35 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{177,25}{296,35} = 0,59 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

12.4 D4 -Prípoj výplňových prútov k väzníku

Posúdený je rozhodujúci styčník väzníku, v ktorého pripájané prúty nadobúdajú maximálnu osovú. Z pohľadu geometrie sa jedná o styčník typu „N“. Prekrytím trubiek $q = 12,98 \text{ mm} \leq p = 102,85/4 = 25,7 \text{ mm}$ nie je zaistené dostatočné spojenie pre prenesenie šmyku z jedného prútu na druhý. Riešením je odsadenie diagonál namáhaných ťahom. Momenty plynúce z excentricity sú zanedbané, nakoľko je splnená podmienka $e \leq 0,25 \cdot d_0 = 0,25 \cdot 140 = 35 \text{ mm}$. Pripojenie krajnej diagonály je prevedené pomocou styčnickového plechu.



Obrázok 41- Schéma styčníku

Prút	Z1	D3	S
Oceľ	S355	S355	S355
d_i [mm]	76,1	88,9	140,0
t_i [mm]	5,0	8,0	6,3
θ [°]	63	54	0
$N_{i,Ed}$ [kN]	-177,52	179,63	-261,99

Tabuľka 11- charakteristiky a zaťaženie prútov

Porušenie povrchu pásu

Rozsah platnosti zvarových styčníc podľa ČSN EN 1993-1-8, tab 7.8 – parametre styčníc:

$$\begin{aligned} 0,6 &\leq (d_1 + d_2)/2 \cdot d_1 \leq 1,3 & b_0/t_0 &\leq 15 \\ 0,6 &\leq (76,1 + 88,9)/2 \cdot 76,1 \leq 1,3 & 140/6,3 &\leq 15 \\ 0,6 &\leq 1,08 \leq 1,3 \dots \text{platí} & 22,2 &\leq 15 \dots \text{platí} \end{aligned}$$

$$\beta = (d_1 + d_2)/2 \cdot d_0 = (76,1 + 88,9)/2 \cdot 140 = 0,59$$

$$\sigma_{Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_0} = \frac{261,99}{3,33 \cdot 10^{-3}} + \frac{0}{1,64 \cdot 10^{-4}} = 78,675 \text{ MPa}$$

$$n_p = \frac{\sigma_{Ed}}{f_{yd} \cdot \gamma_{M5}} = \frac{78,675}{355 \cdot 1,0} = 0,222 \text{ (tlak)}$$

$$k_n = 1,3 - 0,4 \cdot \frac{n}{\beta} = 1,3 - 0,4 \cdot \frac{0,222}{0,59} = 1,15 \geq 1,0 \rightarrow k_n = 1,0$$

$$\lambda = d_0/2 \cdot t_0 = 140/2 \cdot 6,3 = 11,11$$

$$N_{1,Rd} = \frac{8,9 \cdot \gamma^{0,5} \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \left(\frac{2(d_1 + d_2)}{4 \cdot b_0} \right) \cdot \frac{\pi}{4} \gamma_{M5}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{8,9 \cdot 11,11^{0,5} \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 6,3^2}{\sin 63} \cdot \left(\frac{2(76,1 + 88,9)}{4 \cdot 140} \right) \cdot \frac{\pi}{4} / 1,0 = 217,115 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{179,62}{217,115} = 0,82 \leq 1,0$$

Návrh zvaru:

Predpoklad: N-styčník s kútovými zvarmi, efektívna dĺžka zvarov sa rovná obvodu pripojovaných prvkov.

$$\begin{aligned} a_{min} = 3 \text{ mm} &\leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} \\ 3 \text{ mm} &\leq a = 4 \text{ mm} \leq 1,1 \cdot 5,0 = 5,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Zvislica – Z1

Návrh zvaru:

$$L = \pi \cdot d = \pi \cdot 76,1 = 239,07 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 239,07 \cdot 4 = 956,3 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{1,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A} = \frac{177,52 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 956,3} = 131,26 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

Posúdenie:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{131,26^2 + 3 \cdot (0^2 + 131,26^2)} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$262,52 \text{ MPa} \leq 435 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovie}$$

- Diagonála- D3

Návrh zvaru:

$$L = \pi \cdot d = \pi \cdot 88,9 = 279,3 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 279,3 \cdot 4 = 1117,15 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{3Ed}}{\sqrt{2} \cdot A} = \frac{179,63 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 1117,15} = 113,63 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

Posúdenie:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{113,63^2 + 3 \cdot (0^2 + 113,63^2)} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$227,26 \text{ MPa} \leq 435 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovie}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 113,63 \text{ MPa} \leq 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovie}$$

12.5 D5- Kotvenie stĺpu

Vnútroné sily:

Maximálny tlak a odpovedajúca $V_{Ed,z}$

$$N_{Ed} = -480,77 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,y} = 1,20 \text{ kN} \approx 0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} = 55,08 \text{ kN}$$

Súradnice:

A7 MSÚ 9

Maximálny ťah a odpovedajúca V_{Ed}

$$N_{Ed} = 192,85 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,y} = 1,57 \text{ kN (z roviny vazníka)}$$

$$V_{Ed,z} = 7,34 \text{ kN}$$

Súradnice:

A7 MSÚ 2

Návrh pätkového plechu

Uvažovaný podkladný betón: C20/25, $k_j = 1,15$ (zjednodušené)

Plech: $t_p = 20 \text{ mm}$; S235 ($f_y = 235 \text{ MPa}$, $f_u = 360 \text{ MPa}$)

Návrhová pevnosť betónu pod pätkou:

$$f_{jd} = \frac{2}{3} \cdot \frac{k_j \cdot c_k}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1,15 \cdot 20}{1,5} = 10,22 \text{ MPa}$$

Presah dosky:

$$c_p = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{235 \cdot 10^3}{3 \cdot 10,22 \cdot 10^3 \cdot 1,0}} = 55,37 \text{ mm}$$

Účinná plocha pätkového plechu:

$$A_{eff} = 1,255 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ (odčítané z AutoCad)}$$

Návrhová únosnosť pätky:

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd}$$

$$N_{Rd} = 1,255 \cdot 10^{-1} \cdot 10,22 \cdot 10^3$$

$$N_{Rd} = 1282,61 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 480,77 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Návrh skrutiek vopred zabetonovaných s kotvenou hlavou 2x M30 5.8

$$N_{Ed} = 192,85 \text{ kN (ťah)}$$

$$N_{Ed,1} = 192,85/2 = 96,43 \text{ kN (ťah)}$$

$$d = 32 \text{ mm}$$

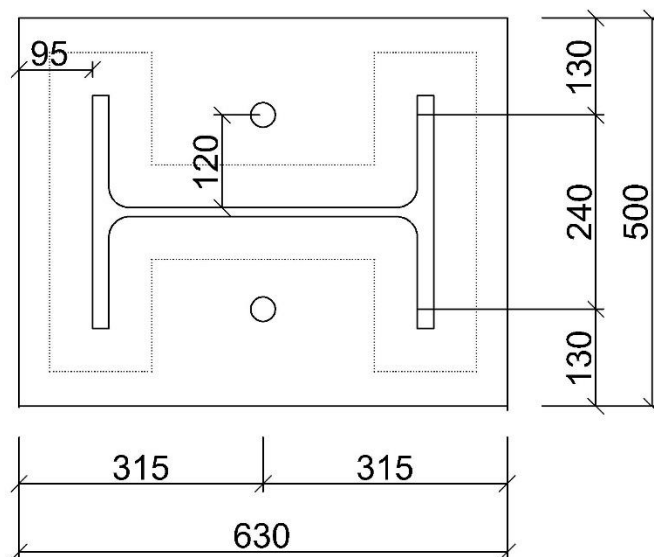
$$A_s = 561 \text{ mm}^2$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

Porušenie pretrhnutím v mieste závitu:

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 561 \cdot 10^{-4} \cdot 600 \cdot 10^3}{1,25} = 484,7 \text{ kN}$$

Posúdenie: $\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{96,43}{484,7} = 0,2 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$



Obrázok 42- Rozmery pätkový plech

Vzdialenosť skrutiek od stojiny s ohľadom na spojovacie náradie pre priemer skrutky $d = 30$ mm navrhujem 120 mm a vzdialenosť od okraja s toleranciou ± 50 mm $\rightarrow d_0 = 82$ mm

Návrh kotviacej zarážky HEA 120

$V_{Ed,y} = 2,18$ kN (z roviny vazníka)

Súradnice: A9 MSÚ 3

$V_{Ed,z} = 98,31$ kN (v rovine väzníka)

Súradnice: F7 MSÚ 10

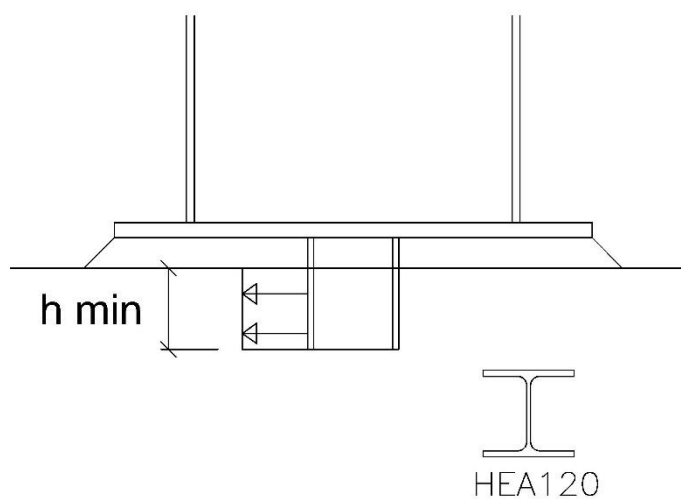
$$\sigma_c = \frac{V_{Ed}}{A_{kont}}$$

$$f_{cd} = 10,22 \text{ Mpa}$$

$$f_{cd} \geq \frac{V_{Ed}}{h_{min} \cdot b}$$

$$h_{min} = \frac{V_{Ed}}{f_{cd} \cdot b} = \frac{98,30}{10,22 \cdot 10^3 \cdot 0,120} = 0,079$$

$$h = 0,085 \text{ m} = 85 \text{ mm}$$



Únostnosť zarážky:

$$V_{Rd,z} = b \cdot h_{min} \cdot f_{cd} =$$

$$V_{Rd,z} = 0,120 \cdot 0,085 \cdot 10,22 \cdot 10^3 = 104,24 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{Rd,z}} = \frac{98,30}{104,24} = 0,8 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

$$V_{Rd,y} = b \cdot h_{min} \cdot f_{cd} =$$

$$V_{Rd,z} = 0,120 \cdot 0,085 \cdot 10,22 \cdot 10^3 = 104,24 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{Rd,z}} = \frac{2,18}{104,24} = 0,02 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Návrh zvaru:

$$a_{min} = 4 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min}$$

$$4 \text{ mm} \leq a = 5 \text{ mm} \leq 1,1 \cdot 5 = 5,5$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot (h - 2 \cdot t_f)} = \frac{98,30}{2 \cdot 5 \cdot (120 - 2 \cdot 8)} = 94,3 \text{ MPa}$$

Posúdenie:

$$\sqrt{3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{3 \cdot 94,3^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$163,33 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovie, zvar bude prevedený po celkom obvode.}$$

Vplyv páčenia:

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

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

$$a = 125 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$t_e = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}} = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{120 \cdot 32^2}{125}} = 42,75 \text{ mm}$$

$$t = 20 \text{ mm} \not\geq t_e = 42,75 \text{ mm} \rightarrow \text{nutné zohľadniť vplyv páčenia}$$

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \cdot \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \cdot \frac{42,75^3 - 20^3}{32^2} = 1,31$$

Posúdenie so zvýšenou ťahovou silou N_{Ed} :

$$N_{Ed,1} = 96,43 \cdot \gamma_p = 96,43 \cdot 1,31 = 126,3 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{126,3}{484,7} = 0,26 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie, zaistené proti páčeniu}$$

Návrh zvaru stĺp - patkový plech

Plocha zváraného obrazca: $A_s = 1,02 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{98,30}{2 \cdot 5 \cdot 0,398} = 24,69 \text{ MPa}$$

$$\sigma_N = \frac{N_{Ed}}{A_s} = \frac{444,79 \cdot 10^3}{1,02 \cdot 10^4} = 43,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}} = \frac{43,6}{\sqrt{2}} = 30,83 \text{ MPa}$$

Posúdenie:

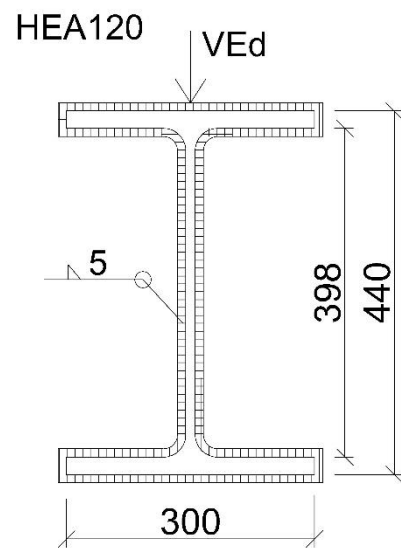
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{30,81^2 + 3 \cdot (24,69^2 + 30,81^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$\frac{63,85 \text{ MPa}}{360 \text{ MPa}} = 0,21 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25}$$

$$30,81 \leq 288 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovie}$$

**12.6 D6- pripojenie väzníc na väzník**

Vnútroné sily:

$$N_{Ed} = -97,45 \text{ kN (tlak)}$$

$$N_{Ed} = 84,07 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 24,05 \text{ kN}$$

Spojovací materiál:

Skrutka: 2 x M20, tr. 5.6

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}, f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

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

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2$$

$$A = 314 \text{ mm}^2$$

$$t_p = 10 \text{ mm}$$

Minimálne povolené rozostupy:

$$e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 30 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 22 = 48,4 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 60 \text{ mm}$$

Návrhová sila pre jednu skrutku: V_{Ed}

$$F_{V,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{24,05}{2} = 12,25 \text{ kN}$$

Porušenie strihom:

$$F_{V,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{V,Rd} = 1,0 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 0,314}{1,25} = 75,36 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{V,Ed,1}}{F_{V,Rd}} = \frac{12,25}{75,36} = 0,16 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Posúdenie na otláčenie

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,12 \cdot 0,45 \cdot 490 \cdot 22 \cdot 10}{1,25} = 82,27 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{30}{22} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{0}{26} - 1,7; 2,5 \right\} = \min\{2,12; 0; 2,5\} = 2,12$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ 0,45; \frac{500}{490}; 1,0 \right\} = 0,45$$

$$\alpha_d = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{30}{66}; \frac{60}{66} - \frac{1}{4} \right\} = 0,45$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{V,Ed,1}}{F_{b,Rd}} = \frac{12,25}{82,27} = 0,13 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Návrhová sila pre jednu skrutku: N_{Ed}

$$F_{V,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{97,45}{2} = 48,725 \text{ kN}$$

Porušenie strihom:

$$F_{V,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{V,Rd} = 1,0 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 0,314}{1,25} = 75,36 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{V,Ed,1-2}}{F_{V,Rd}} = \frac{48,725}{75,36} = 0,64 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Posúdenie na otláčenie

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,12 \cdot 0,45 \cdot 490 \cdot 22 \cdot 10}{1,25} = 82,27 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{30}{22} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{60}{22} - 1,7; 2,5 \right\} = \min\{2,12; 0; 2,5\} = 2,12$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ 0,45; \frac{500}{490}; 1,0 \right\} = 0,45$$

$$\alpha_d = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{30}{66}; \frac{60}{66} - \frac{1}{4} \right\} = 0,45$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{V,Ed,1}}{F_{b,Rd}} = \frac{48,73}{82,27} = 0,59 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Posúdenie na šmyk:

$$\left[\frac{F_{V,Ed,1}}{F_{V,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{V,Ed,1-2}}{F_{V,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

$$\left[\frac{12,25}{75,36} \right]^2 + \left[\frac{48,725}{75,36} \right]^2 = 0,44 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Posúdenie zvaru (horný pás – styčnickový plech)

Návrh zvaru:

$$a_{min} = 4 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min}$$

$$4 \text{ mm} \leq a = 4 \text{ mm} \leq 1,1 \cdot 6,3 = 6,93 \text{ mm}$$

$$L = 120 - 2 \cdot a = 100 - 2 \cdot 4 = 112 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 112 \cdot 4 = 448 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot A} = \frac{24,05 \cdot 10^3}{2 \cdot 448} = 26,84 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{\sqrt{2} \cdot A} = \frac{97,45 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 448} = 153,81 \text{ MPa}$$

Posúdenie:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{153,81^2 + 3 \cdot (26,84^2 + 153,81^2)} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$311,09 \text{ MPa} \leq 435 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovie}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 153,81 \text{ MPa} \leq 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Posúdenie styčnickového plechu

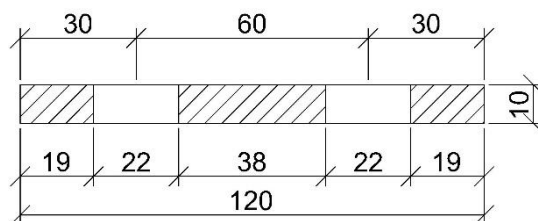
$$A_{net} = 2 \cdot (19 \cdot 10) + (38 \cdot 10) = 760 \text{ mm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot 0,76 \cdot 490}{1,25} = 268,13 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{97,45}{268,13} = 0,36 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$



12.7 Montážne spoje väzníku

12.7.1 M1- horný pás

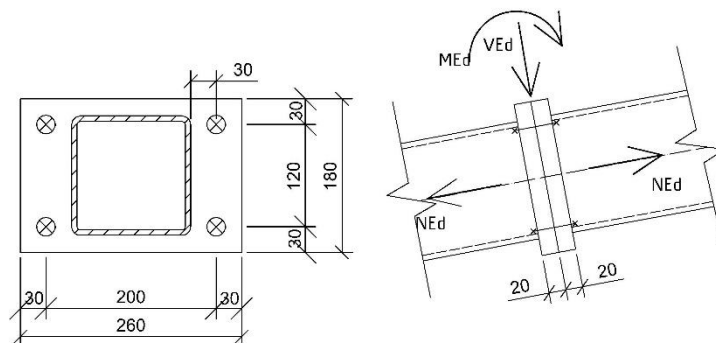
Vnútroné sily:

$$N_{Ed} = -335,90 \text{ (tlak)} \quad \text{MSÚ1}$$

$$N_{Ed} = 148,50 \text{ kN} \quad \text{MSÚ2}$$

$$V_{z,Ed} = 5,33 \text{ kN} \quad \text{MSÚ2}$$

$$M_{y,Ed} = 9,33 \text{ kN} \quad \text{MSÚ5}$$



Spojovací materiál:

Skrutka: 4 x M20, tr. 6.8

$$f_{ub} = 600 \text{ MPa}, f_{yb} = 480 \text{ MPa}$$

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

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$A_s = 314 \text{ mm}^2$$

$$A = 245 \text{ mm}^2$$

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

Minimálne povolené rozostupy:

$$e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 30 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 22 = 48,4 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 120 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 22 = 52,8 \text{ mm} \rightarrow p_2 = 200 \text{ mm}$$

Návrhová šmyková sila pre jednu skrutku:

$$F_{V,Ed,1} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{5,33}{4} = 1,33 \text{ kN}$$

Posúdenie na šmyk:

Porušenie strihom:

$$F_{V,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{V,Rd} = 1,0 \cdot \frac{0,5 \cdot 600 \cdot 245}{1,25} = 70,56 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{V,Ed,1}}{F_{V,Rd}} = \frac{1,33}{70,56} = 0,02 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Otláčanie materiálu:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,12 \cdot 0,45 \cdot 490 \cdot 20 \cdot 20}{1,25} = 149,59 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{30}{22} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{200}{22} - 1,7; 2,5 \right\} = \min\{2,12; 11,02; 2,5\} = 2,12$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ 0,45; \frac{600}{490}; 1,0 \right\} = 0,45$$

$$\alpha_d = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{30}{66}; \frac{120}{66} - \frac{1}{4} \right\} = 0,45$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{V,Ed,1}}{F_{b,Rd}} = \frac{1,33}{149,59} = 0,01 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Posúdenie na ťah:

Návrhová ťahová sila pre jednu skrutku:

$$F_{t,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{148,50}{4} = 37,13 \text{ kN}$$

Vplyv páčenia:

$$a = 30 \text{ mm}; b = 30 \text{ mm}; d = 20 \text{ mm}$$

$$t_e = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}} = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{30 \cdot 20^2}{30}} = 31,68 \text{ mm}$$

$$t = 20 \text{ mm} \leq 31,68 \text{ mm} \rightarrow \text{nutné započítať vplyv páčenia}$$

$$\gamma_P = 1 + 0,005 \cdot (t_e^3 - t^3) / d^2$$

$$\gamma_P = 1 + 0,005 \cdot (31,38^3 - 20^3) / 20^2 = 1,297$$

$$F_{t,1,Ed} = \gamma_P \cdot \left(\frac{N_{Ed}}{n} + M_{y,Ed} \cdot \frac{r_1}{2 \cdot \sum r_i} \right)$$

$$F_{t,1,Ed} = 1,297 \cdot \left(\frac{148,50}{4} + 9,33 \cdot \frac{0,120}{2 \cdot (0,120^2 + 0,030^2)} \right) = 95,61 \text{ kN}$$

Posúdenie na pretrhnutie

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot 600 \cdot 245}{1,25} = 105,84 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{95,61}{105,84} = 0,91 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Posúdenie na pretlačenie:

$$B_{P,Rd} = \frac{0,6 \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u \cdot \pi}{\gamma_{M2}}$$

$$B_{P,Rd} = \frac{0,6 \cdot 32,3 \cdot 20 \cdot 490 \cdot \pi}{1,25} = 477,3 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{B_{P,Rd}} = \frac{95,61}{477,3} = 0,20 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Kombinácia šmyku a ťahu:

$$\frac{F_{V,Ed,1}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,1,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = 0,01 + \frac{95,61}{1,4 \cdot 105,84} = 0,65 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Posúdenie zvaru medzi horný pásom a čelnou doskou

Návrh zvaru:

$$a_{min} = 4 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min}$$

$$4 \text{ mm} \leq a = 4 \text{ mm} \leq 1,1 \cdot 6,3 = 6,93$$

$$L = 4 \cdot b = 4 \cdot 140 = 560 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 560 \cdot 4 = 2240 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{\sqrt{2} \cdot A} = \frac{148,50 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 2240} = 46,87 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot A} = \frac{5,33}{2 \cdot 560} = 4,76 \text{ MPa}$$

Posúdenie:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{46,87^2 + 3 \cdot (4,76^2 + 46,87^2)} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$94,10 \text{ MPa} \leq 435 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovie}$$

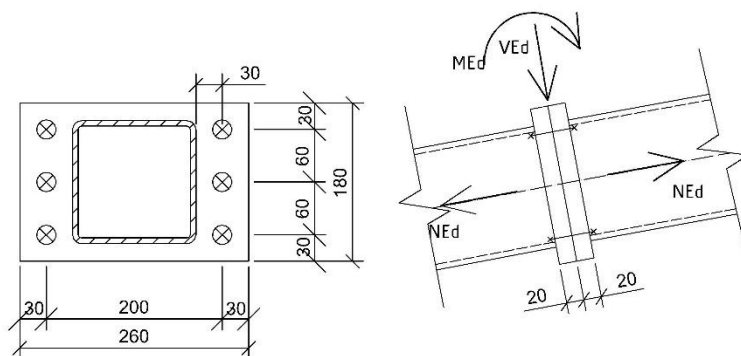
12.7.2 M2- dolný pás**Vnútroné sily:**

$$N_{Ed} = -61,98 \text{ (tlak)} \quad \text{MSÚ11}$$

$$N_{Ed} = 316,74 \text{ kN} \quad \text{MSÚ1}$$

$$V_{z,Ed} = 14,32 \text{ kN} \quad \text{MSÚ1}$$

$$M_{y,Ed} = 4,56 \text{ kN} \quad \text{MSÚ5}$$

**Spojovací materiál:**

Skrutka: 6 x M20, tr. 6.8

$$f_{ub} = 600 \text{ MPa}, f_{yb} = 480 \text{ MPa}$$

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

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$A_s = 314 \text{ mm}^2$$

$$A = 245 \text{ mm}^2$$

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

Minimálne povolené rozostupy:

$$e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 30 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 22 = 48,4 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 22 = 52,8 \text{ mm} \rightarrow p_2 = 200 \text{ mm}$$

Návrhová šmyková sila pre jednu skrutku:

$$F_{V,Ed,1} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{14,32}{6} = 2,38 \text{ kN}$$

Posúdenie na šmyk:

Porušenie strihom:

$$F_{V,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{V,Rd} = 1,0 \cdot \frac{0,5 \cdot 600 \cdot 245}{1,25} = 70,56 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{V,Ed,1}}{F_{V,Rd}} = \frac{2,38}{70,56} = 0,03 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Otláčanie materiálu:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,12 \cdot 0,45 \cdot 490 \cdot 20 \cdot 20}{1,25} = 149,59 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{30}{22} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{200}{22} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{2,12; 11,02; 2,5\} = 2,12$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ 0,45; \frac{600}{490}; 1,0 \right\} = 0,45$$

$$\alpha_d = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{30}{66}; \frac{60}{66} - \frac{1}{4} \right\} = 0,45$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{V,Ed,1}}{F_{b,Rd}} = \frac{3,58}{149,59} = 0,03 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Posúdenie na ťah:

Návrhová ťahová sila pre jednu skrutku:

$$F_{t,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{6} = \frac{316,74}{6} = 52,79 \text{ kN}$$

Vplyv páčenia:

$$a = 30 \text{ mm}; b = 30 \text{ mm}; d = 20 \text{ mm}$$

$$t_e = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}} = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{30 \cdot 20^2}{30}} = 31,68 \text{ mm}$$

$$t = 20 \text{ mm} \leq 31,68 \text{ mm} \rightarrow \text{nutné započítať vplyv páčenia}$$

$$\gamma_P = 1 + 0,005 \cdot (t_e^3 - t^3) / d^2$$

$$\gamma_P = 1 + 0,005 \cdot (31,38^3 - 20^3) / 20^2 = 1,297$$

$$F_{t,1,Ed} = \gamma_P \cdot \left(\frac{N_{Ed}}{n} + M_{y,Ed} \cdot \frac{r_1}{2 \cdot \sum r_i} \right)$$

$$F_{t,1,Ed} = 1,297 \cdot \left(\frac{316,74}{6} + 4,56 \cdot \frac{0,120}{2 \cdot (0,120^2 + 0,030^2)} \right) = 91,66 \text{ kN}$$

Posúdenie na pretrhnutie

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot 600 \cdot 245}{1,25} = 105,84 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{91,66}{105,84} = 0,86 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Posúdenie na pretlačenie:

$$B_{P,Rd} = \frac{0,6 \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u \cdot \pi}{\gamma_{M2}}$$

$$B_{P,Rd} = \frac{0,6 \cdot 32,3 \cdot 20 \cdot 490 \cdot \pi}{1,25} = 477,3 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{B_{P,Rd}} = \frac{91,66}{477,3} = 0,19 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Kombinácia šmyku a ťahu:

$$\frac{F_{V,Ed,1}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,1,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = 0,03 + \frac{91,66}{1,4 \cdot 105,84} = 0,65 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Posúdenie zvaru medzi horný pásom a čelnou doskou

Návrh zvaru:

$$a_{min} = 4 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min}$$

$$4 \text{ mm} \leq a = 4 \text{ mm} \leq 1,1 \cdot 6,3 = 6,93$$

$$L = 4 \cdot b = 4 \cdot 140 = 560 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 560 \cdot 4 = 2240 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{\sqrt{2} \cdot A} = \frac{316,74 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 2240} = 99,98 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot A} = \frac{14,32}{2 \cdot 560} = 12,78 \text{ MPa}$$

Posúdenie:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

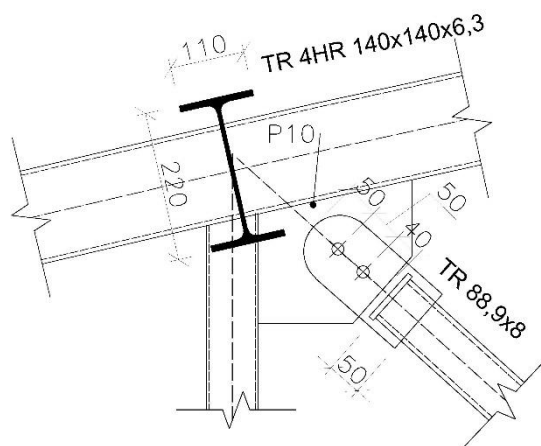
$$\sqrt{99,98^2 + 3 \cdot (12,78^2 + 99,98^2)} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$201,18 \text{ MPa} \leq 435 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovie}$$

12.7.3 M3- prípoj diagonály**Vnútoné sily:**

$$N_{Ed} = -13,67 \text{ (tlak)}$$

$$N_{Ed} = 87,52 \text{ kN}$$

**Vnútoné sily:**

$$N_{Ed} = -13,37 \text{ kN (tlak)}$$

$$N_{Ed} = 87,52 \text{ kN}$$

Spojovací materiál:

Skrutka: 2 x M16, tr. 5.6

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}, f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

$$A = 201 \text{ mm}^2$$

$$t_p = 10 \text{ mm}$$

Minimálne povolené rozostupy:

$$e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 50 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 50 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 50 \text{ mm}$$

Návrhová sila pre jednu skrutku:

$$F_{V,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{87,52}{2} = 43,76 \text{ kN}$$

Posúdenie na šmyk:

Porušenie strihom:

$$F_{V,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{V,Rd} = 1,0 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = 48,24 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{V,Ed,1}}{F_{V,Rd}} = \frac{43,76}{48,24} = 0,91 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Posúdenie na otláčenie

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,79 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 10}{1,25} = 123,87 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{50}{18} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{0}{26} - 1,7; 2,5 \right\} = \min\{6,07; 2,5\} = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ 0,79; \frac{500}{490}; 1,0 \right\} = 0,79$$

$$\alpha_d = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{50}{48}; \frac{50}{48} - \frac{1}{4} \right\} = 0,79$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{V,Ed,1}}{F_{b,Rd}} = \frac{43,76}{123,87} = 0,35 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Posúdenie zvaru (diagonála – styčnickový plech)

Návrh zvaru:

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min}$$

$$3 \text{ mm} \leq a = 4 \text{ mm} \leq 1,1 \cdot 8 = 8,8$$

$$L = 50 - 2 \cdot a = 100 - 2 \cdot 4 = 72 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 42 \cdot 4 = 168 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{||} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot A} = \frac{87,52 \cdot 10^3}{4 \cdot 168} = 130,23 \text{ MPa}$$

Posúdenie:

$$\sqrt{3 \cdot \tau_{||}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{3 \cdot 130,23^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$225,56 \text{ MPa} \leq 435 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovie}$$

Posúdenie styčnickového plechu

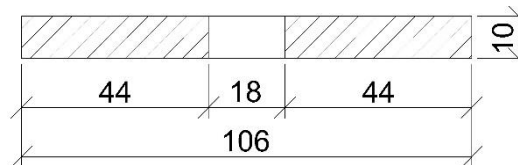
$$A_{net} = 2 \cdot (0,044 \cdot 10) = 0,88 \text{ mm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot 0,88 \cdot 490}{1,25} = 310,46 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{87,52}{310,46} = 0,91 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovie}$$



Zoznam obrázkov:

Obrázok 1- Číslovanie paždíkov a väzníc	- 8 -
Obrázok 2- Schéma zaťaženia pre plný sneh podľa ČSN EN 1991-1-3	- 10 -
Obrázok 3- Schéma zaťaženia pre sneh naviaty do stredu podľa ČSN EN 1991-1-3	- 12 -
Obrázok 4- Schéma zaťaženia pre sneh naviaty vľavo podľa ČSN EN 1991-1-3	- 13 -
Obrázok 5- Rozdelenie stien do oblastí pri zaťažení priečnym vetrom	- 15 -
Obrázok 6- Paždíky štítová stena OBL1	- 16 -
Obrázok 7- Paždíky na medzil'ahlej štítovej stene	- 17 -
Obrázok 8- Paždíky na štítovej stene OBL2	- 18 -
Obrázok 9- Schéma zaťaženie strechy priečnym vetrom zľava	- 19 -
Obrázok 10- Uvažované uhly a rozdelenie do zaťažovacích oblastí pre pozdĺžny vietor na OBL 1	- 21 -
Obrázok 11- Rozdelenie objektu do zaťažovacích oblastí pre pozdĺžny vietor na OBL 2	- 22 -
Obrázok 12- Rozdelenie do zaťažovacích oblastí	- 23 -
Obrázok 13- Rozdelenie na oblasti nižšia časť	- 23 -
Obrázok 14- Rozdelenie na oblasti vyššia časť	- 24 -
Obrázok 15- IPE profil	- 26 -
Obrázok 16- Priebeh normálových síl v hornom páse väzníku	- 31 -
Obrázok 17- Prierez horného pásu väzníku	- 31 -
Obrázok 18- Priebeh normálových síl na dolnom páse väzníku	- 36 -
Obrázok 19- Prierez horného pásu väzníku	- 36 -
Obrázok 20- Priebeh normálových síl v krajných diagonálach	- 39 -
Obrázok 21- Priebeh normálových síl v stredných diagonálach	- 40 -
Obrázok 22- Priebeh normálových síl v krajných zvisliciach	- 42 -
Obrázok 23- Priebeh normálových síl, stredné zvislice	- 43 -
Obrázok 24 - Schéma pre výpočet súčiniteľa β	- 47 -
Obrázok 25- Súradnice pre polohu štítových stĺpov a paždíkov	- 51 -
Obrázok 26- Prierez paždíkov UPN 300	- 57 -
Obrázok 27- Prierez priečneho stužidla TR 88,9 x 5,0	- 63 -
Obrázok 28- Prierez priečneho stužidla v stene TR 76,1 x 4,0	- 64 -
Obrázok 29- Maximálny priehyb horného pásu väzníku	- 66 -
Obrázok 30- Maximálny priehyb dolného pásu väzníku	- 67 -
Obrázok 31- Vodorovný posun špičky stĺpu od účinkov priečneho vetra z ľava	- 67 -

Obrázok 32- Vodoroná deformácia štítového stĺpu z kombinácie MSP 5	- 68 -
Obrázok 33- Prehľad detailov riešených v statickom výpočte.....	- 69 -
Obrázok 34- Vnútorne sily v styčníku	- 69 -
Obrázok 35- Doska čapový spoj	- 70 -
Obrázok 36- Čapový spoj rozmery	- 71 -
Obrázok 37- Zváraný spoj styčníkový plech-stĺp	- 73 -
Obrázok 38- Vnútorne sily v styčníku dolného pásu väzníka so stĺpom	- 74 -
Obrázok 39- Doska čapový spoj	- 74 -
Obrázok 40- Čapový spoj rozmer dosiek	- 75 -
Obrázok 42- Schéma styčníku.....	- 80 -
Obrázok 43- Rozmery pätkový plech.....	- 84 -

Tabuľka 1- Zaťaženie väzníc strešným plášťom	- 8 -
Tabuľka 2- Zaťaženie na väznice snehom naviatym na stred	- 11 -
Tabuľka 3- Zaťaženie na väznice snehom naviatym vľavo	- 13 -
Tabuľka 4- Zaťaženie paždíkov pozdĺžnych stien OBL1	- 16 -
Tabuľka 5- Zaťaženie paždíkov štítovej steny OBL 1	- 16 -
Tabuľka 6- Zaťaženie na paždíky medziľahlej štítovej steny OBL1	- 17 -
Tabuľka 7- Zaťaženie paždíkov pozdĺžnych stien OBL 2	- 17 -
Tabuľka 9- Zaťaženie na paždíky štítovej steny OBL2	- 18 -
Tabuľka 10- Zaťaženie väzníc priečnym vetrom zľava	- 19 -
Tabuľka 11- Súčiniteľ c_{pe} , 10 a w_{ekN/m^2} pre zastrešenie	- 20 -
Tabuľka 12- charakteristiky a zaťaženie prútov	- 80 -