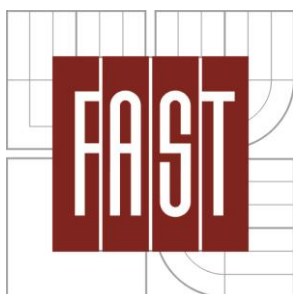


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

OCEĽOVÁ KONŠTRUKCIA LETISKOVÉHO HANGÁRU STEEL STRUCTURE OF AIRPORT HANGAR

STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁRSKA PRÁCA
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL KUBA

VEDÚCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ PEŠEK

BRNO 2015

Obsah

1. Úvod	4
2. Popis konštrukcie.....	4
3. Zaťažovacie stavy	5
3.1. Vlastná tiaž = zaťažovací stav 1	5
3.2. Ostatné stále zaťaženie = zaťažovací stav 2	5
3.3. Sneh plný = zaťažovací stav 3	6
3.4. Sneh naviaty do stredu – P = zaťažovací stav 4.....	7
3.5. Sneh naviaty do stredu – L = zaťažovací stav 5	9
3.6. Sneh naviaty na pravú stranu = zaťažovací stav 6.....	10
3.7. Sneh naviaty na ľavú stranu = zaťažovací stav 7.....	11
3.8. Vietor priečny z ľava = zaťažovací stav 8	12
3.8.1. Účinky vetra na zastrešenie	12
3.8.2. Účinky vetra na steny	13
3.9. Vietor priečny z prava = zaťažovací stav 9	14
3.9.1. Účinok vetra na zastrešenie	14
3.9.2. Účinok vetra na steny	15
3.10. Vietor priečny z ľava + vnútorný podtlak = zaťažovací stav 10.....	16
3.11. Vietor priečny z prava + vnútorný podtlak = zaťažovací stav 11	17
3.12. Vietor pozdĺžny = zaťažovací stav 12.....	18
3.12.1. Účinky vetra na zastrešenie	18
3.12.2. Účinky vetra na steny	19
3.13. Vietor pozdĺžny + podtlak = zaťažovací stav 13.....	20
3.14. Vietor pozdĺžny + pretlak = zaťažovací stav 14	21
3.15. Úžitné zaťaženie = zaťažovací stav 15.....	22
4. Kombinácie zaťažovacích stavov	23
4.1. Kombinačné súčinitele Ψ	23
4.2. Medzný stav únosnosti.....	23
4.3. Medzný stav použiteľnosti.....	24
5. Posúdenie a návrh trapézového plechu.....	25
6. Posúdenie prvkov väzníka	26
6.1. Horný pás	27
6.1.1. Horný pás – montážny diel 1	27
6.1.2. Horný pás – montážny diel 2	30

6.1.3.	Horný pás – montážny diel 3	34
6.2.	Spodný pás	37
6.2.1.	Spodný pás – montážny diel 1	37
6.2.2.	Spodný pás – montážny diel 2	39
6.2.3.	Spodný pás – montážny diel 3	41
6.3.	Diagonály	44
6.3.1.	Diagonála – montážny diel 1	44
6.3.2.	Diagonála – montážny diel 2	46
6.3.3.	Diagonála – montážny diel 3	48
6.4.	Zvislice	51
6.4.1.	Zvislica – montážny diel 1	51
6.4.2.	Zvislica – montážny diel 2	53
6.4.3.	Zvislica – montážny diel 3	55
7.	Návrh a posúdenie stužidiel	58
7.1.	Priečne stužidlo	58
7.1.1.	Diagonály priečného stužidla	59
7.1.2.	Medziväzníkové prúty	60
7.2.	Vrcholové stužidlo	62
7.3.	Stenové stužidlo	64
8.	Medzný stav použiteľnosti	67
8.1.	Zvislý priehyb horného pásu	67
8.2.	Zvislý priehyb spodného pásu	67
8.3.	Zvislý priehyb medziväzníkového prútu	67
9.	Stabilita oblúku	68
10.	Návrh a posúdenie stĺpu	70
10.1.	Medzný stav použiteľnosti	70
10.2.	Medzný stav únosnosti	70
11.	Pätka stĺpu	76
12.	Kotvenie väzníka	83
12.1.	Návrh a posúdenie čapového spoja:	83
12.2.	Návrh a posúdenie kotviacich skrutiek	85
12.3.	Zvar pätkového plechu	88
12.4.	Overenie únosnosti betónu	89
13.	Posúdenie vybraných detailov	90
13.1.	Prípoj diagonál a zvislíc na pásy väzníka	90
13.2.	Prípoj diagonál na horný pás väzníka	91
13.3.	Pripojenie väzníka na stĺp	93

13.4.	Křížení prútov priečneho stužidla	96
13.5.	Pripojenie prútov stužidla k väzníku	96
13.6.	Montážny spoj väzníka.....	99
14.	Výkaz materiálu.....	103
Zoznam použitých zdrojov a literatúry.....		104

1. Úvod

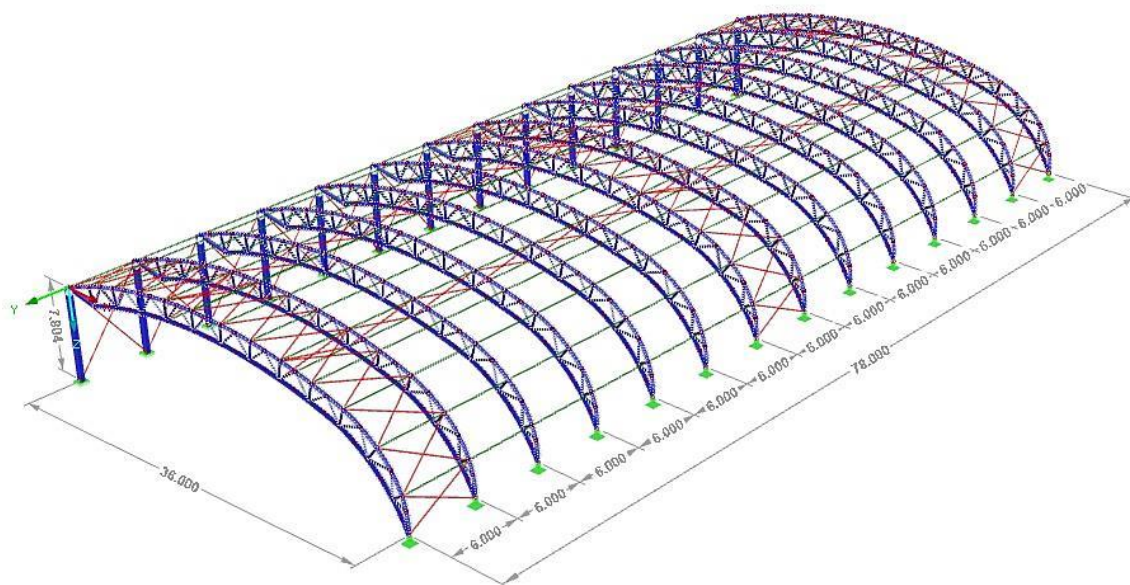
Obsahom práce je návrh nosnej oceleovej konštrukcie jednolodového halového objektu letiskového hangáru, určeného pre parkovanie športových lietadiel v okolí mesta Zlín. Pôdorysné rozmery objektu sú 36 x 78 m. Hlavná nosná konštrukcia je tvorená rovinnou priečnou väzbou. Priečna väzba je tvorená priehradovými väzníkmi, ktoré sú na jednej strane kĺbovo uložené na votknutých stĺpoch a na opačnej strane kĺbovo uložené na základovú konštrukciu. Hlavný nosník je tvorený z priehradových väzníkov oblúkového tvaru s konštrukčnou výškou 1,5 m, zloženého z oblúkov o 2 rôznych polomeroch. Vzdialenosť priečných väzieb je 6 m. Priestorová tuhosť je zaistená systémom pozdĺžnych a priečných stužidiel. Konštrukcia je navrhnutá ako bezväznicová.

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

2. Popis konštrukcie

Hlavný nosný systém pozostáva z 14 kusov priehradových väzníkov oblúkového tvaru. Tvar oblúku je daný polomerom 46 m v stredovej, vrcholovej časti a 9 m v krajnej časti. Osová vzdialenosť väzníkov je 6 m. Podpory väzníkov sú uvažované na jednej strane ako kĺbové neposuvné, na opačnej strane je väzník uložený na votknutých stĺpoch.

Systém je uvažovaný ako bezväznicový. Účinky, ktoré pôsobia v pozdĺžnom smere na seba preberá priečne stužidlo v rovine strechy, umiestnené v krajných poliach systému a v strede konštrukcie. Prenos účinkov v pozdĺžnom smere do stužidiel, prenášajú prúty medzi väzníkmi. Priestorová tuhosť systému je zaistená systémom vrcholových a bočných pozdĺžnych stužidiel.



Obr. 1: Schéma nosnej konštrukcie hangáru

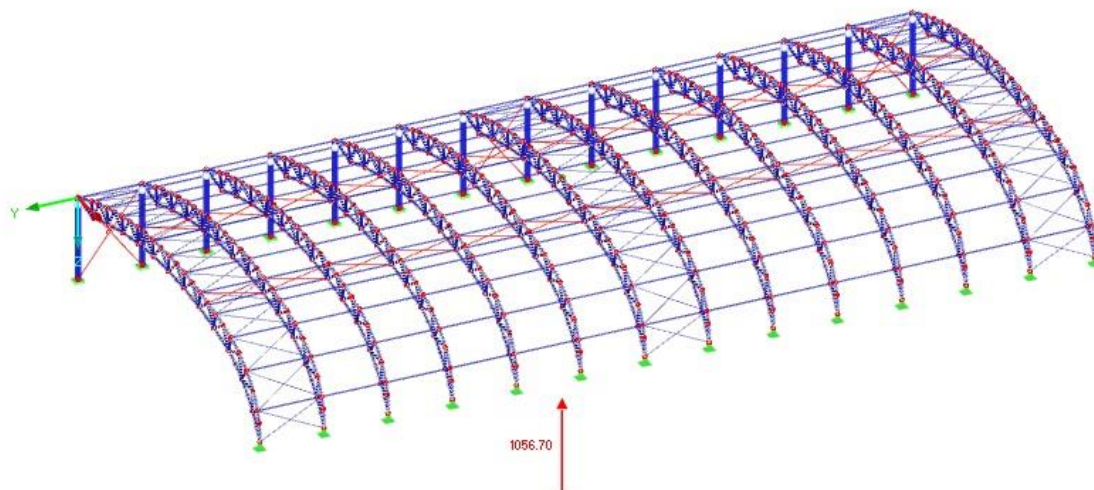
3. Zaťažovacie stavy

Výpočet zaťaženia prostredníctvom zaťažovacích stavov bol prevedený podľa platných noriem ČSN EN – 1991. Všetky plošné zaťaženia pôsobiace na zastrešenie boli prevedené na líniové zaťaženia pôsobiace na jednotlivé väzníky systému, prostredníctvom príslušných zaťažovacích šírok. Výpočet výsledných vnútorných síl zo zaťažovacích stavov a príslušných kombinácií bol prevedený v programe RFEM 5.

Stále zaťaženie

3.1. Vlastná tiaž = zaťažovací stav 1

Vlastná tiaž konštrukcie je generovaná automaticky výpočtovým programom RFEM 5. Na obr. 2 je ukázaná výslednica reakcií na účinky vlastnej tiaže celej konštrukcie o veľkosti 1056,7 kN.

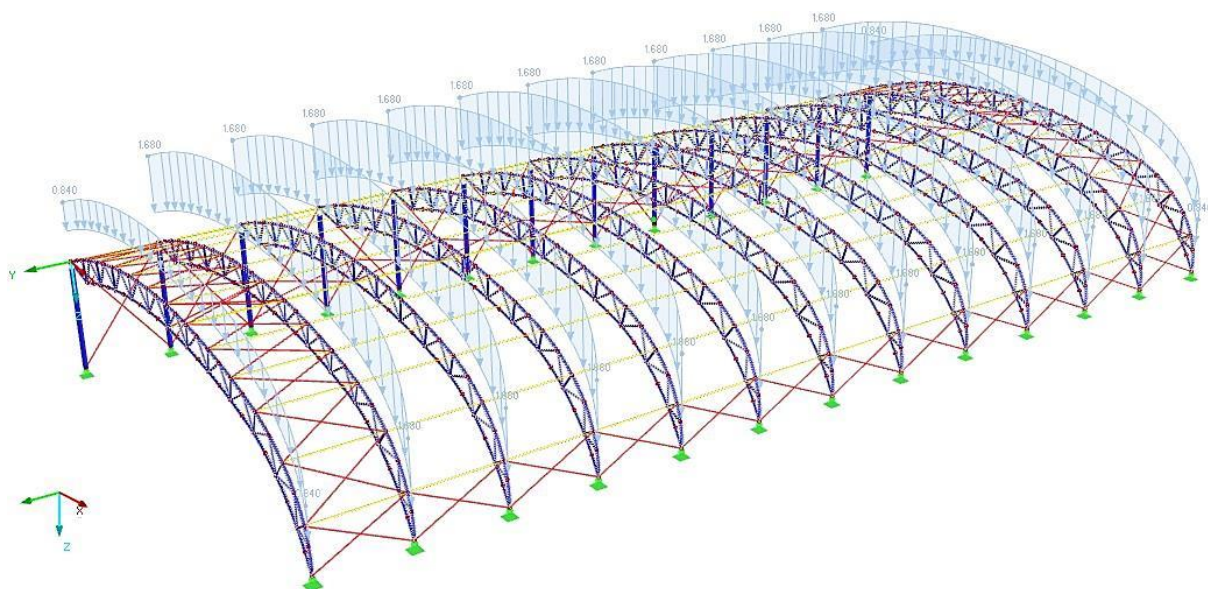


Obr. 2: ZS1 - Zobrazenie výslednice reakcií na účinky vlastnej tiaže [kN]

3.2. Ostatné stále zaťaženie = zaťažovací stav 2

Ostatné stále zaťaženie charakterizuje tiaž strešného plášťa. Nosnú časť strešného plášťa tvorí trapézový plech T 150 kladený kolmo na väzníky a zaoblený do príslušného polomeru. Na trapézový plech sa uložia asfaltové pásy, ktoré slúžia ako parozábrana. Tepelná izolácia je navrhnutá ako ochrana proti kondenzácii vodných pár, o celkovej hrúbke 100 mm. Na tepelnú izoláciu je kladená strešná krytina, ktorá je tvorená systémom falcovaných plechov typu Maslen. Tiaž jednotlivých prvkov je uvedená v tabuľke.

Ostatné stále zaťaženie - strešný plášť		kN/m ²	kN/m
1	Falcovaná krytina Maslen (hr. plechu 0,8 mm)	0,045	0,27
2	Tepelná izolácia (hr. 100 mm)	0,06	0,36
3	Asfaltové pásy - parozábrana (hr. 4 mm)	0,045	0,27
4	Trapézový plech T 150 - Satjam (hr. 0,9 mm)	0,13	0,78
Celkom:		0,28	1,68



Obr. 3: ZS2 - líniové zaťaženie na väzníkoch od strešného plášťa [kN/m]

Premenné zaťaženie

3.3. Sneh plný = zaťažovací stav 3

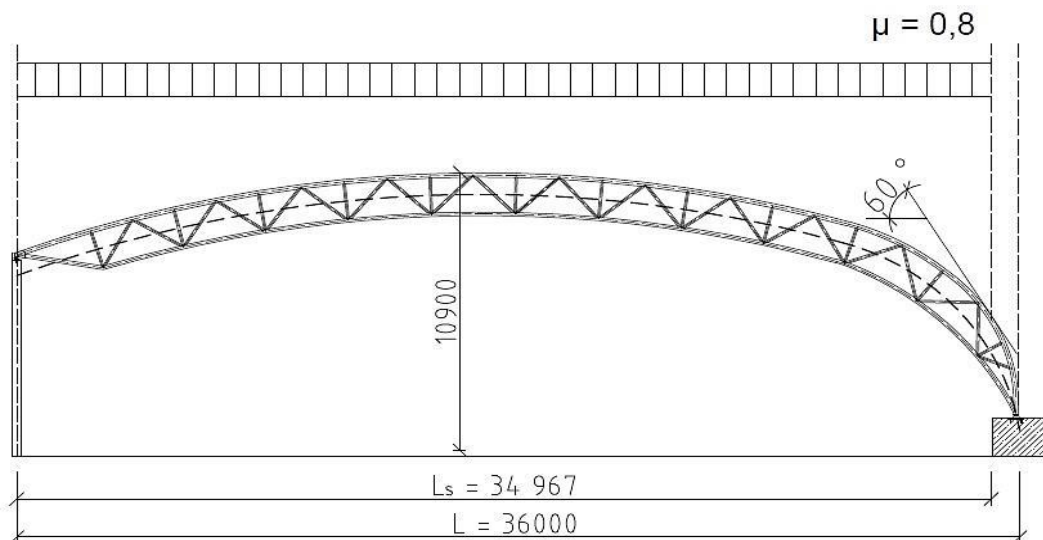
Z hľadiska klimatického zaťaženia snehom spadá lokalita Zlín podľa snehovej mapy Českej republiky do oblasti III. Charakteristická hodnota zaťaženia snehom na zemi pre oblasť III je $s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$. Sneh sa v zaťažovacom stave 3 uvažuje ako rovnomerný po celej zaťažovacej ploche strechy.

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

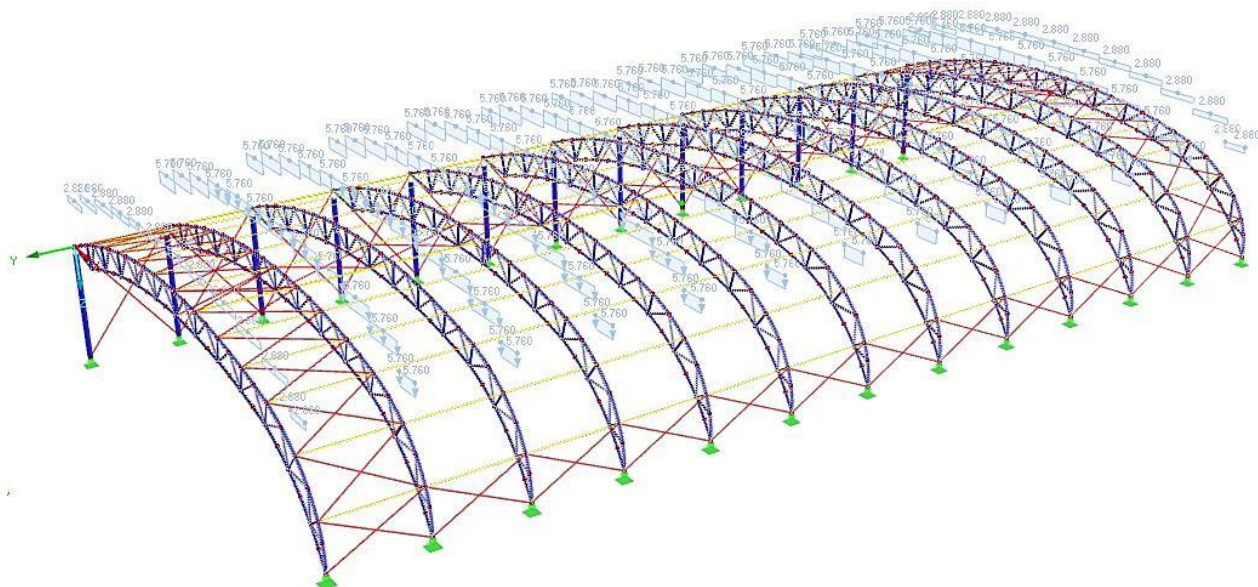
$C_t = 1,0$ – tepelný súčiniteľ

$\mu_i = 0,8$ – tvarový súčiniteľ

$$s = \mu_i C_e C_t s_k = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,96 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 4: Schéma zaťaženia pre plný sneh podľa ČSN EN 1991-1-3



Obr. 5: ZS3 - líniové zaťaženie na väzníkoch od účinkov plného snehu [kN/m]

3.4. Sneh naviaty do stredu – P = zaťažovací stav 4

Zaťaženie od snehu sa v tomto stave uvažuje ako nerovnomerne naviate ku stredu konštrukcie. Maximálna hodnota náveja sa uvažuje na strane s uložením väzníkov do základovej konštrukcie. Z dôvodu nesymetrickej konštrukcie je nutné vyriešiť aj opačnú variantu zaťaženia, kedy sa maximálna hodnota náveja uvažuje na strane s uložením väzníkov na stĺpy. 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 $h/b = 9,42/36 = 0,262$ je hodnota tvarového súčiniteľa $\mu_3 = 2,0$. Hodnota na strane s nižším návejom sa uvažuje $0,5 \mu_3$.

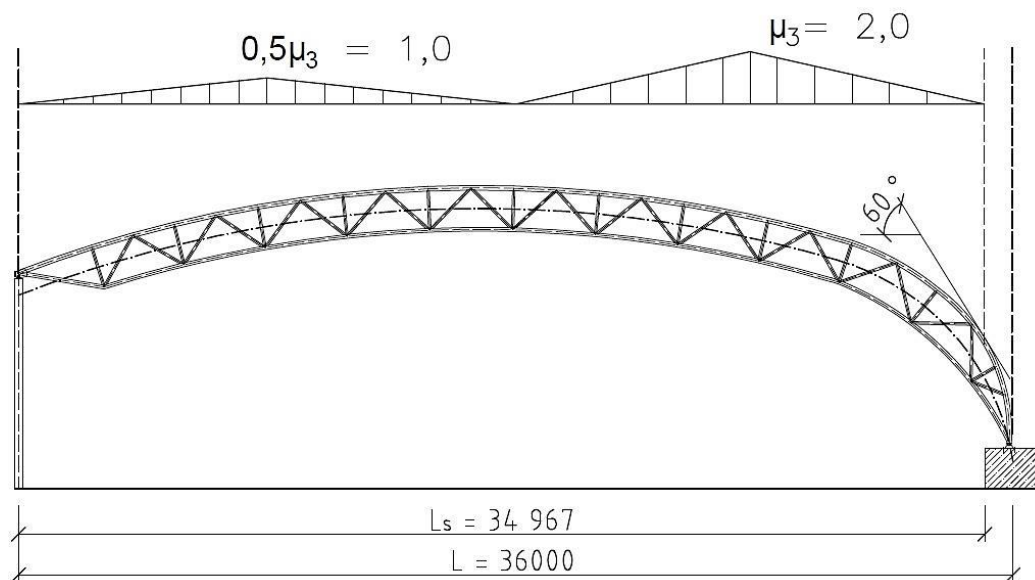
$\mu_3 = \mu_i = 2,0$ – tvarový súčiniteľ

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

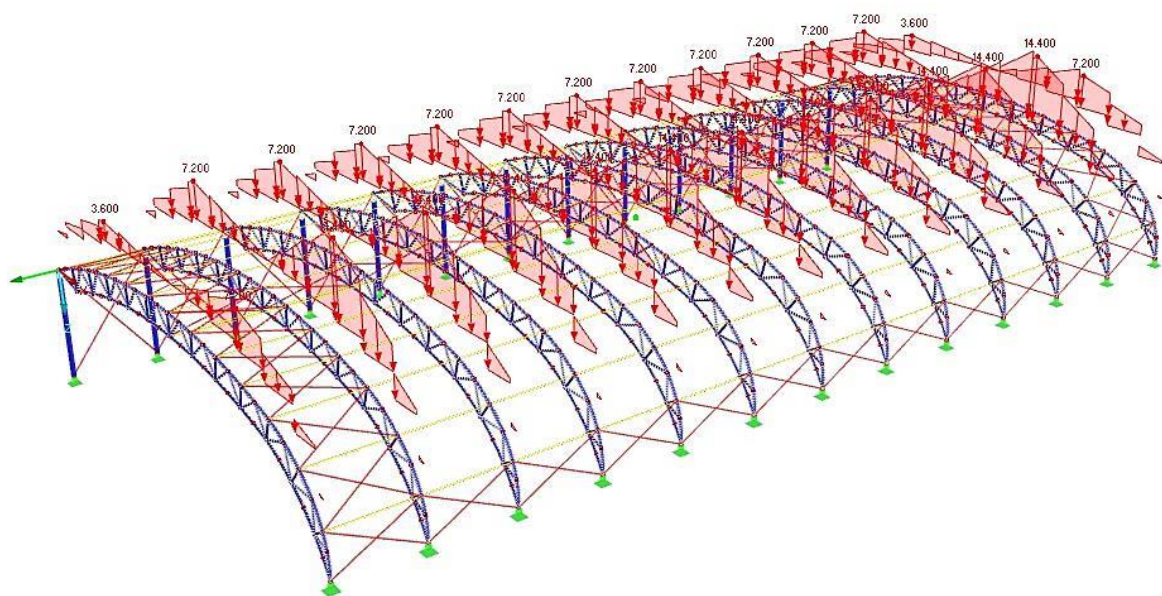
$C_t = 1,0$ – tepelný súčiniteľ

$s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$

$s = \mu_i C_e C_t s_k = 2,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,4 \text{ kN/m}^2$



Obr. 6: : Schéma zaťaženia pre sneh naviaty do stredu podľa ČSN EN 1991-1-3



Obr. 7: ZS4 - líniové zaťaženie na väzníkoch od účinkov snehu naviateho do stredu [kN/m]

3.5. Sneh naviaty do stredu – I' = zaťažovací stav 5

V tomto stave sa uvažuje maximálne hodnota náveja na strane, kde sú väzníky uložené na stĺpoch. Postup výpočtu je rovnaký ako pri zaťažovacom stave 4.

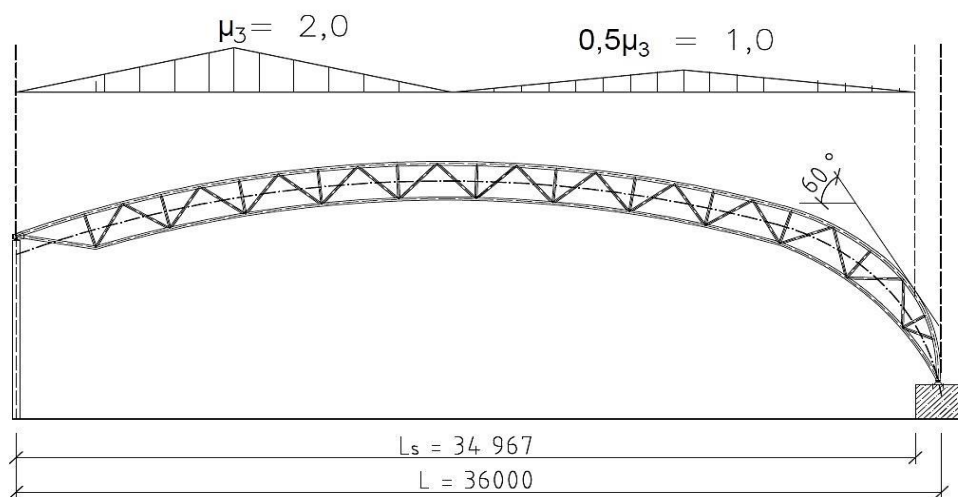
$$\mu_3 = \mu_i = 2,0 - \text{tvarový súčiniteľ}$$

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

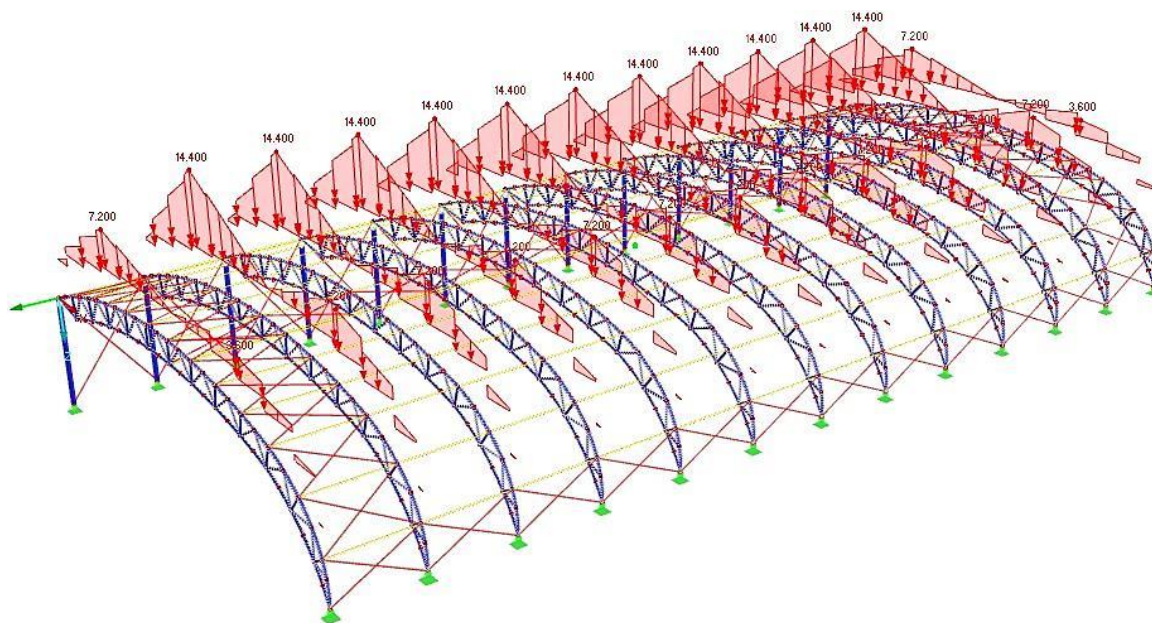
$$C_t = 1,0 - \text{tepelný súčiniteľ}$$

$$s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

$$s = \mu_i C_e C_t s_k = 2,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,4 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 8: Schéma zaťaženia pre sneh naviaty do stredu podľa ČSN EN 1991-1-3



Obr. 9: ZS5 - líniové zaťaženie na väzníkoch od účinkov snehu naviateho do stredu [kN/m]

3.6. Sneh naviaty na pravú stranu = zaťažovací stav 6

Sneh sa v tomto stave uvažuje ako nerovnomerne naviaty na strany konštrukcie. Takéto zaťaženie sa uplatní pri použití 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 $h/b=9,42/36 = 0,262$ je hodnota tvarového súčiniteľa $\mu_3 = 2,0$. Hodnota na strane s nižším návejom sa uvažuje $0,5 \mu_3$. V tomto zaťažovacom stave uvažujeme maximálny návej na strane s uložením väzníkov do základovej konštrukcie.

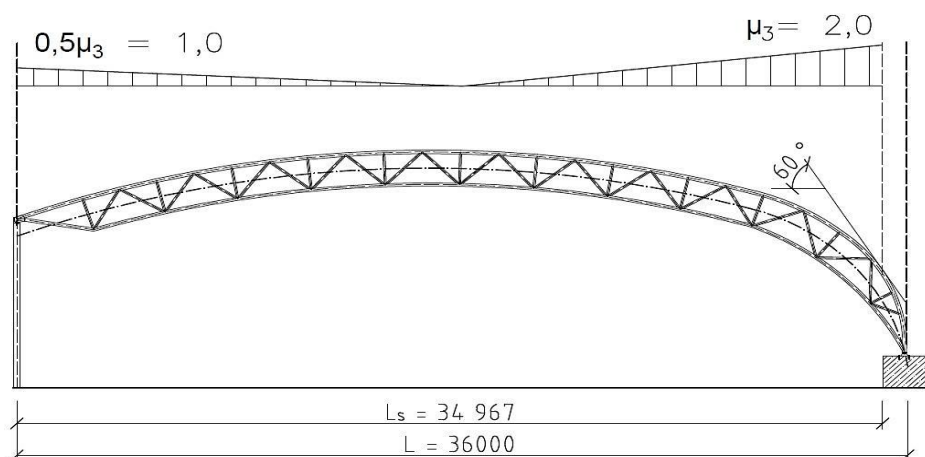
$$\mu_3 = \mu_i = 2,0 - \text{tvarový súčiniteľ}$$

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

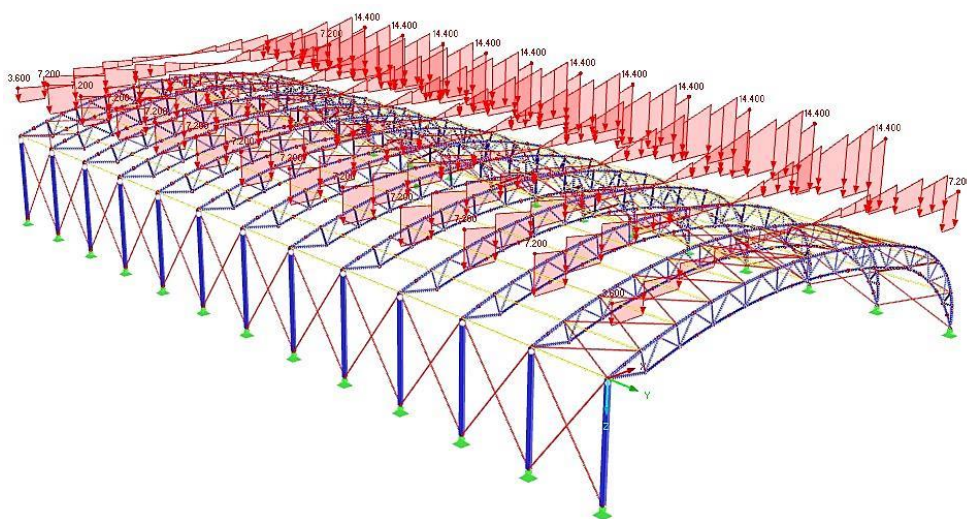
$$C_t = 1,0 - \text{tepelný súčiniteľ}$$

$$s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

$$s = \mu_i C_e C_t s_k = 2,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,4 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 10: Schéma zaťaženia pre sneh naviaty ku krajom podľa ČSN EN 1991-1-3



Obr. 11: ZS6 - líniové zaťaženie na väzníkoch od účinkov snehu naviateho do stredu [kN/m]

3.7. Sneh naviaty na ľavú stranu = zaťažovací stav 7

V 7 zaťažovacom stave sa sneh uvažuje ako nerovnomerne naviaty na stranu konštrukcie, kde sú väzníky uložené na stĺpy. 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 $h/b = 9,42/36 = 0,262$ je hodnota tvarového súčiniteľa $\mu_3 = 2,0$. Hodnota na strane s nižším návejom sa uvažuje $0,5 \mu_3$.

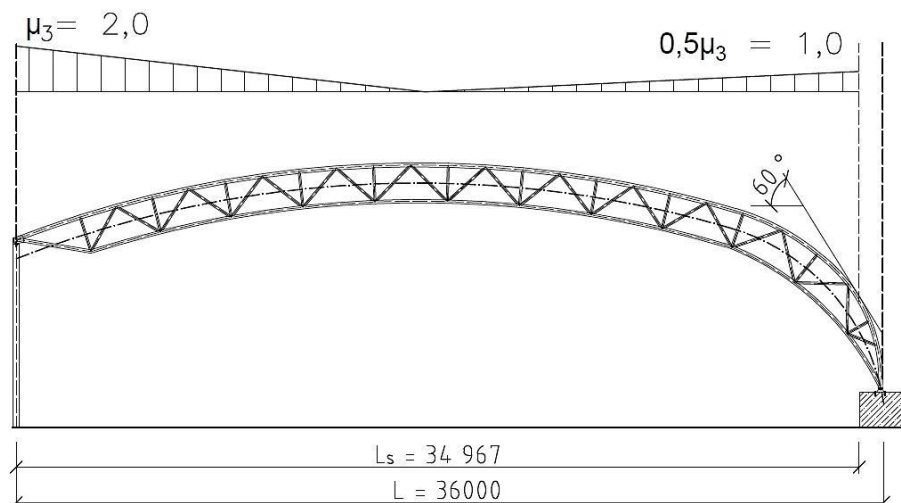
$$\mu_3 = \mu_i = 2,0 - \text{tvarový súčiniteľ}$$

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

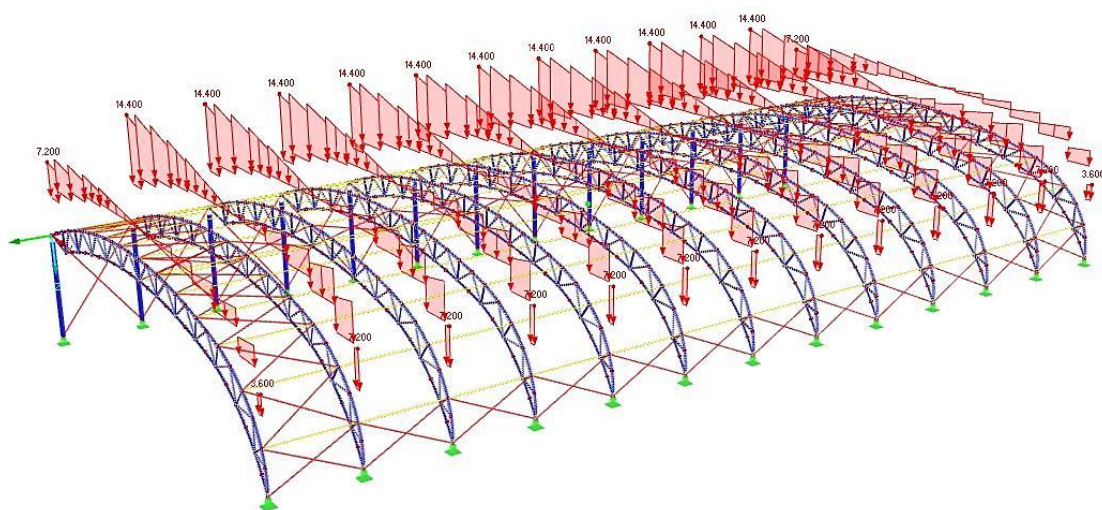
$$C_t = 1,0 - \text{tepelný súčiniteľ}$$

$$s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

$$s = \mu_i C_e C_t s_k = 2,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,4 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 12: Schéma zaťaženia pre sneh naviaty ku krajom podľa ČSN EN 1991-1-3



Obr. 13: ZS7 - líniové zaťaženie na väzníkoch od účinkov snehu naviateho do stredu [kN/m]

3.8. Vietor priečny z ľava = zat'azovací stav 8

Z hľadiska klimatického zat'azenia spadá lokalita Zlín podľa mapy veterných oblastí Českej republiky do oblasti I. Východzia základná rýchlosť vetra v oblasti I je $v_{b0} = 22,5$ m/s. Kategóriu terénu v okolí uvažujeme č. I (jazero alebo plochá krajina bez prekážok). Pôdorysné rozmery budovy sú 36 x 78 m. Výška budovy je uvažovaná $z = 10,9$ m.

Zat'azovací stav 8 počíta s pôsobením vetra kolmo na pozdĺžnu stranu budovy.

Základná rýchlosť vetra

$$v_b = C_{dir} C_{season} v_{b0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 22,5 = 22,5 \text{ m/s}$$

Stredná rýchlosť vetra

$$z_0 = 0,01; z_{min} = 1$$

$$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 \cdot (0,01/0,05)^{0,07} = 0,17$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,17 \cdot \ln(10,9/0,01) = 1,189$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 1,189 \cdot 1,0 \cdot 22,5 = 26,75 \text{ m/s}$$

Turbulencia vetra

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{10,9}{0,01}\right)} = 0,143$$

$$k_I = 1,0; \quad c_0(z) = 1,0; \quad z = 10,9 \text{ m}; \quad z_0 = 0,01 \text{ m}$$

Maximálny dynamický tlak vetra

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,143] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 26,75^2 = 0,895 \text{ kN/m}^2$$

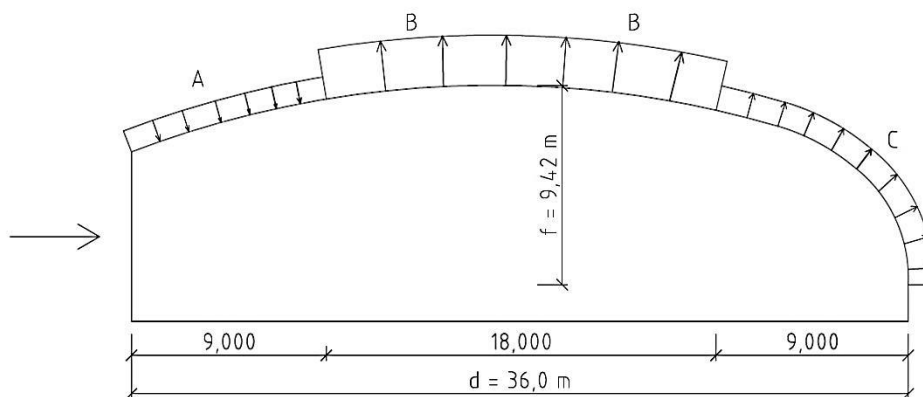
3.8.1. Účinky vetra na zastrešenie

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 pomer $f/d = 10,9/36 = 0,262$ je hodnota súčiniteľa nasledujúca:

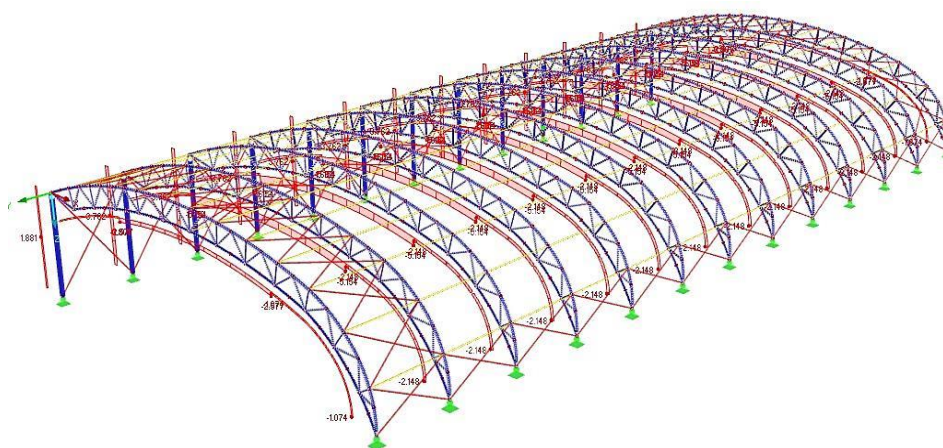
$$\text{A: } c_{pe,10(A)} = 0,30; \quad w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(A)} = 0,895 \cdot 0,30 = 0,269 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{B: } c_{pe,10(B)} = -0,95; \quad w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(B)} = 0,895 \cdot -0,95 = -0,895 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{C: } c_{pe,10(C)} = -0,40; \quad w_{e,C} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(C)} = 0,895 \cdot -0,40 = -0,358 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 14: ZS8 - účinok priečného vetra na zastrešenie



Obr. 15: ZS8 - líniové zaťaženie na väzníkoch od účinkov priečného vetra [kN/m]

3.8.2. Účinky 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 vetru). Pre pomer $h/d = 10,9/36 = 0,303$ boli určené nasledujúce hodnoty súčiniteľa $c_{pe,10}$ a následné plošné zaťaženie vetrom.

$$A: c_{pe,10(A)} = -1,20; \quad w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(A)} = 0,895 \cdot -1,20 = -1,074 \text{ kN/m}^2$$

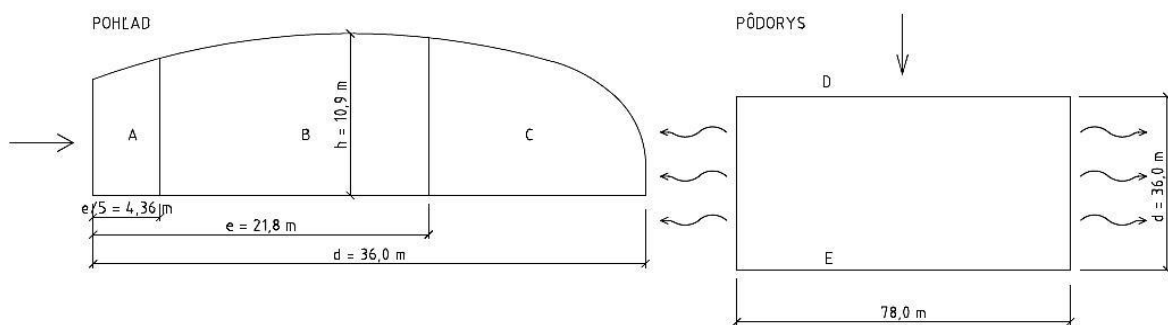
$$B: c_{pe,10(B)} = -0,82; \quad w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(B)} = 0,895 \cdot -0,82 = -0,734 \text{ kN/m}^2$$

$$C: c_{pe,10(C)} = -0,5; \quad w_{e,C} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(C)} = 0,895 \cdot -0,5 = -0,448 \text{ kN/m}^2$$

$$D: c_{pe,10(D)} = +0,70; \quad w_{e,D} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(D)} = 0,895 \cdot 0,70 = 0,627 \text{ kN/m}^2$$

$$E: c_{pe,10(E)} = -0,30; \quad w_{e,E} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(E)} = 0,895 \cdot -0,30 = -0,269 \text{ kN/m}^2$$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(78,0; 2 \cdot 10,9) = 21,8 \text{ m}$$



Obr. 16: ZS8 - účinok priečného vetra na steny

3.9. Vietor priečny z prava = zaťažovací stav 9

Zaťažovací stav 9 počíta s pôsobením vetra kolmo na pozdĺžnu stranu budovy, pričom vietor pri pohľade na čelo pôsobí z pravej strany.

Maximálny dynamický tlak vetra

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,143] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 26,75^2 = 0,895 \text{ kN/m}^2$$

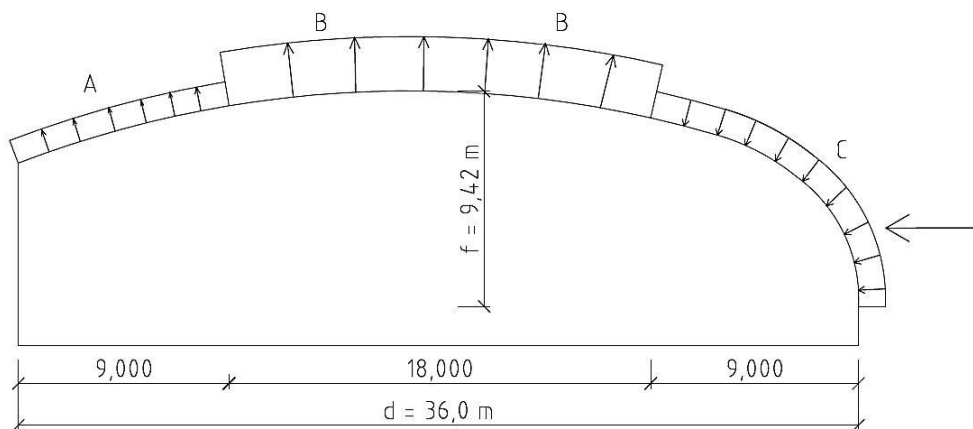
3.9.1. Účinok vetra na zastrešenie

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 pomer $f/d = 10,9/36 = 0,262$ je hodnota súčiniteľa nasledujúca:

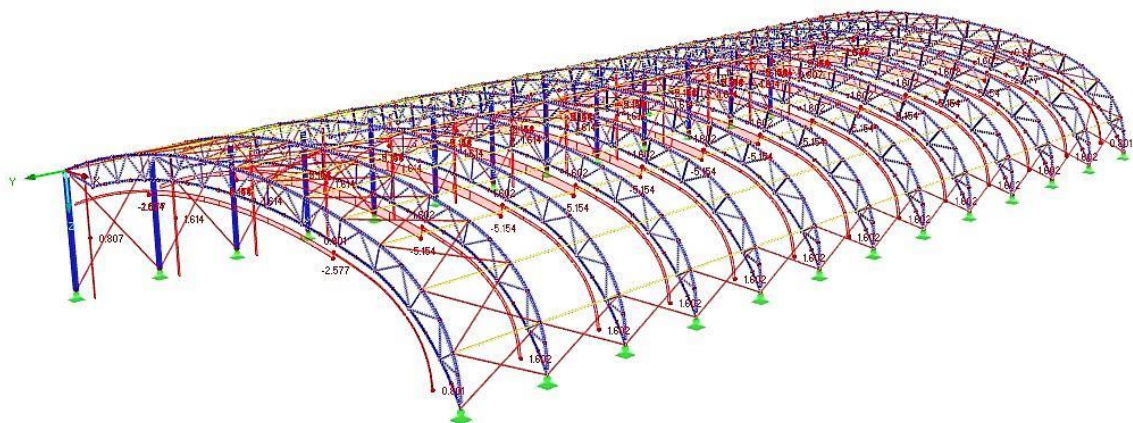
$$\text{A: } c_{pe,10(A)} = 0,30; \quad w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(A)} = 0,895 \cdot 0,30 = 0,269 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{B: } c_{pe,10(B)} = -0,95; \quad w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(B)} = 0,895 \cdot -0,95 = -0,895 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{C: } c_{pe,10(C)} = -0,40; \quad w_{e,C} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(C)} = 0,895 \cdot -0,40 = -0,358 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 17: ZS9 - účinok priečného vetra na zastrešenie



Obr. 18: ZS9 - líniové zaťaženie na väzníkoch od účinkov priečneho vetra [kN/m]

3.9.2. Účinok 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). Pre pomer $h/d = 10,9/36 = 0,303$ boli určené nasledujúce hodnoty súčiniteľa $c_{pe,10}$ a následné plošné zaťaženie vetrom.

$$A: c_{pe,10(A)} = -1,20; \quad w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(A)} = 0,895 \cdot -1,20 = -1,074 \text{ kN/m}^2$$

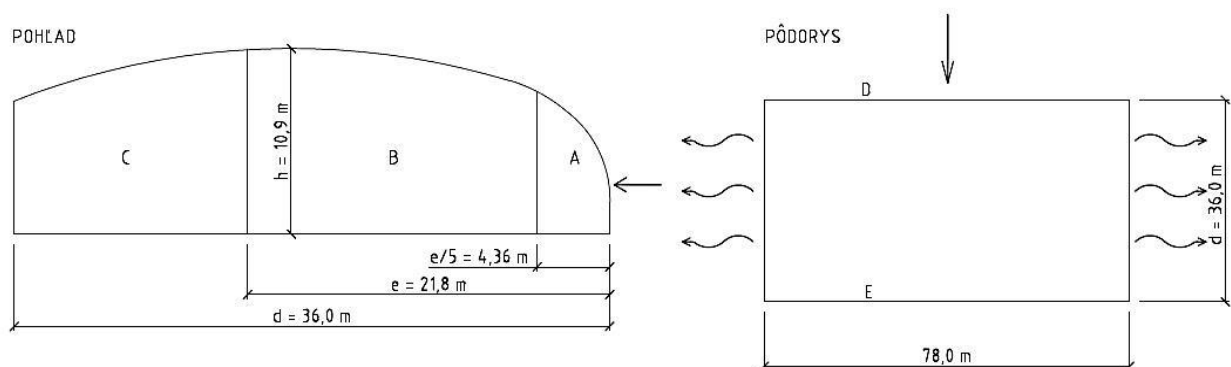
$$B: c_{pe,10(B)} = -0,82; \quad w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(B)} = 0,895 \cdot -0,82 = -0,734 \text{ kN/m}^2$$

$$C: c_{pe,10(C)} = -0,5; \quad w_{e,C} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(C)} = 0,895 \cdot -0,5 = -0,448 \text{ kN/m}^2$$

$$D: c_{pe,10(D)} = +0,70; \quad w_{e,D} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(D)} = 0,895 \cdot 0,70 = 0,627 \text{ kN/m}^2$$

$$E: c_{pe,10(E)} = -0,30; \quad w_{e,E} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(E)} = 0,895 \cdot -0,30 = -0,269 \text{ kN/m}^2$$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(78,0; 2 \cdot 10,9) = 21,8 \text{ m}$$



Obr. 19: ZS9 - účinok priečneho vetra na steny

3.10. Vietor priečny z ľava + vnútorný podtlak = zaťažovací stav 10

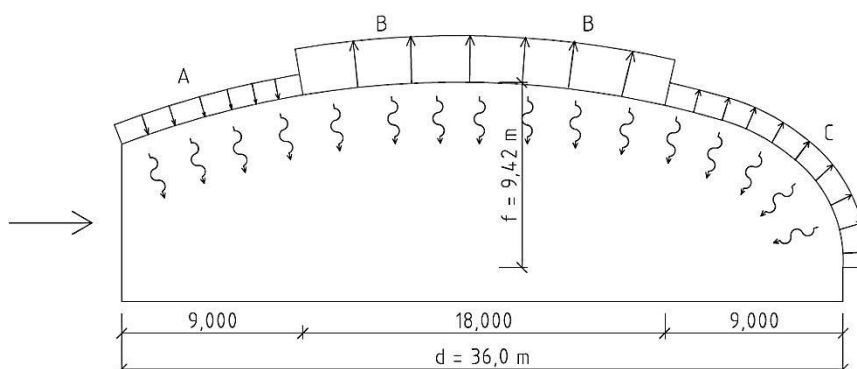
V tomto zaťažovacom stave uvažujeme s otvorenými čelnými vrátami. To má za následok vznik podtlaku vo vnútri konštrukcie z dôvodu účinkov sania na bočné steny hangáru. Účinky podtlaku sa určia pomocou súčiniteľa vnútorných tlakov c_{pi} , ktorý závisí na veľkosti a rozdelení otvorov na plášti budovy. Plocha otvorov na rozhodujúcej fasáde je trojnásobná, použijeme preto vzťah $c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe}$, kde c_{pe} je súčiniteľ vonkajšieho tlaku v otvore rozhodujúcej fasády.

$$c_{pe,10} = \frac{c_{pe,10,A} \cdot S_A + c_{pe,10,B} \cdot S_B + c_{pe,10,C} \cdot S_C}{S_{A+B+C}}$$

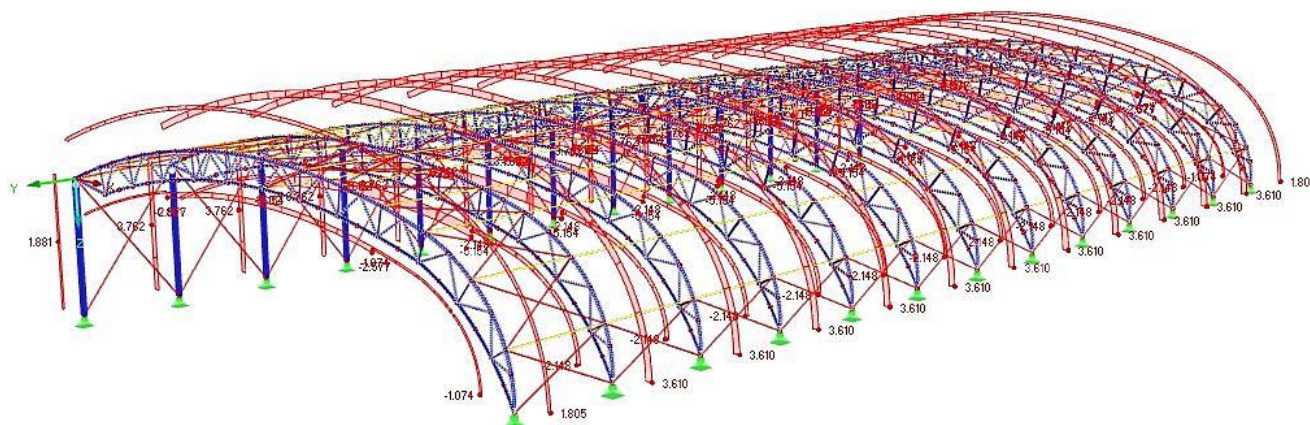
$$c_{pe,10} = \frac{(-1,20) \cdot 14,160 + (-0,82) \cdot 104,640 + (-0,50) \cdot 61,200}{14,160 + 104,640 + 61,200} = -0,741$$

$$c_{pi} = 0,9 \cdot c_{pe,10} = 0,9 \cdot (-0,741) = -0,667$$

$$w_i = q_p(z) \cdot c_{pi} = 0,895 \cdot (-0,672) = -0,597 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 20: ZS10 - účinok podtlaku vo vnútri hangáru na zastrešenie



Obr. 21: ZS10 - líniové zaťaženie na väzníkoch od účinkov priečného vetra a podtlaku [kN/m]

3.11. Vietor priechý z prava + vnútorný podtlak = zaťažovací stav 11

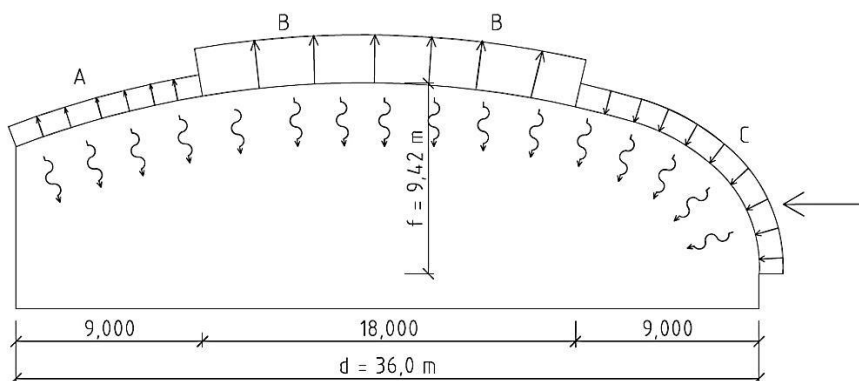
V tomto zaťažovacom stave uvažujeme s otvorenými čelnými vrátami. To má za následok vznik podtlaku vo vnútri konštrukcie z dôvodu účinkov sania na bočné steny hangáru. Účinky podtlaku sa určia pomocou súčiniteľa vnútorných tlakov c_{pi} , ktorý závisí na veľkosti a rozdelení otvorov na plášti budovy. Plocha otvorov na rozhodujúcej fasáde je trojnásobná, použijeme preto vzťah $c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe}$, kde c_{pe} je súčiniteľ vonkajšieho tlaku v otvore rozhodujúcej fasády. Plocha jednotlivých zaťažovacích oblastí je ale odlišná, súčiniteľ vonkajších tlakov bude preto vypočítaný ako vážený priemer.

$$c_{pe,10} = \frac{c_{pe,10,A} \cdot S_A + c_{pe,10,B} \cdot S_B + c_{pe,10,C} \cdot S_C}{S_{A+B+C}}$$

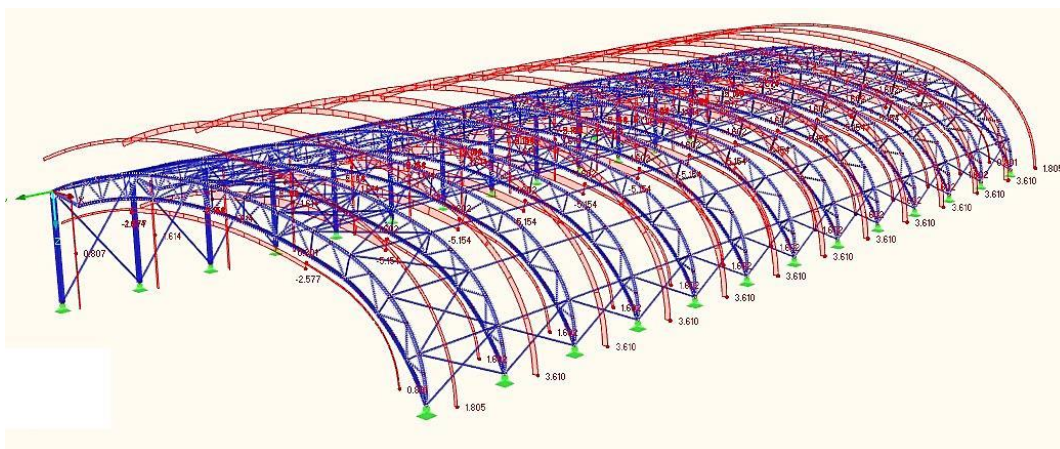
$$c_{pe,10} = \frac{(-1,20) \cdot 2,94 + (-0,82) \cdot 104,64 + (-0,50) \cdot 72,417}{2,94 + 104,64 + 72,417} = -0,697$$

$$c_{pi} = 0,9 \cdot c_{pe,10} = 0,9 \cdot (-0,724) = -0,628$$

$$w_i = q_p(z) \cdot c_{pi} = 0,895 \cdot (-0,672) = -0,562 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 22: ZS11 - účinok podtlaku vo vnútri hangáru na zastrešenie



Obr. 23: ZS11 - líniové zaťaženie na väzníkoch od účinkov priečneho vetra a podtlaku [kN/m]

3.12. Vietor pozdĺžny = zaťažovací stav 12

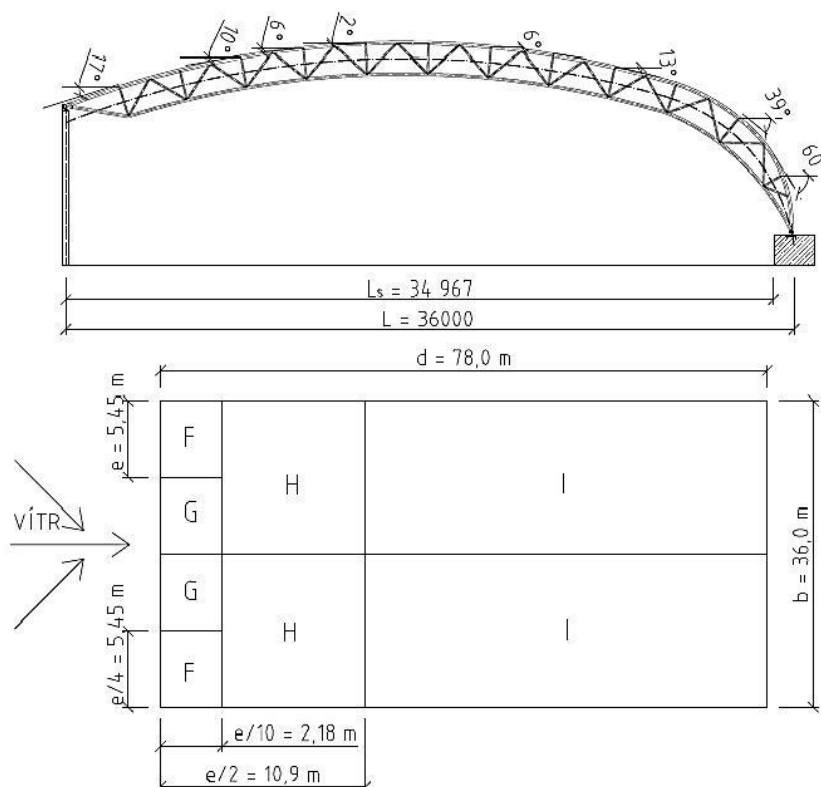
V zaťažovacom stave 12 uvažujeme s pôsobením vetra kolmo na priečnu stenu hangára, tzn. pozdĺžne. Súčasne uvažujeme že vrata hangáru sú zavreté.

3.12.1. Účinky vetra na zastrešenie

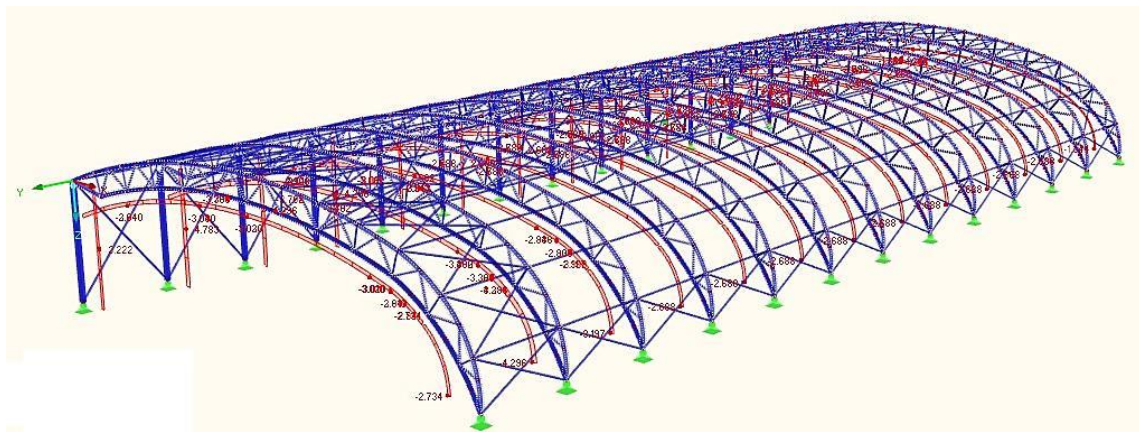
Účinky vetra na zastrešenie určíme podľa normy ČSN EN 1991-1-4, ako účinky na sedlové strechy. Hodnoty súčiniteľa $c_{pe,10}$ závisia na uhle sklonu strechy α . Hodnoty súčiniteľa $c_{pe,10}$ pre rôzne oblasti, sú zobrazené v nasledujúcej tabuľke.

Úhol 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
2°	-1,66	-1,49	-1,29	-1,15	-0,70	-0,63	-0,51	-0,46
6°	-1,60	-1,43	-1,30	-1,16	-0,69	-0,62	-0,50	-0,45
10°	-1,45	-1,30	-1,30	-1,16	-0,65	-0,58	-0,50	-0,45
13°	-1,27	-1,14	-1,31	-1,17	-0,63	-0,56	-0,50	-0,45
17°	-1,34	-1,20	-1,30	-1,16	-0,62	-0,55	-0,50	-0,45
39°	-1,10	-0,98	-	-	-0,86	-0,77	-0,50	-0,45
60°	-1,10	-0,98	-	-	-0,80	-0,72	-0,50	-0,45

Kde $w_e = q_p(z) \cdot c_{pe,10}$



Obr. 24: ZS12 - uvažované uhly sklonu strechy a zaťažovacie oblasti od účinkov pozdĺžneho vetra



Obr. 25: ZS12 - líniové zaťaženie na väznikoch od účinkov pozdĺžneho vetra [kN/m]

3.12.2. Účinky 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 vetru). Pre pomer $h/d = 10,9/78 = 0,140$ boli určené nasledujúce hodnoty súčiniteľa $c_{pe,10}$ a následné plošné zaťaženie vetrom.

$$A: c_{pe,10(A)} = -1,20; \quad w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(A)} = 0,895 \cdot -1,20 = -1,074 \text{ kN/m}^2$$

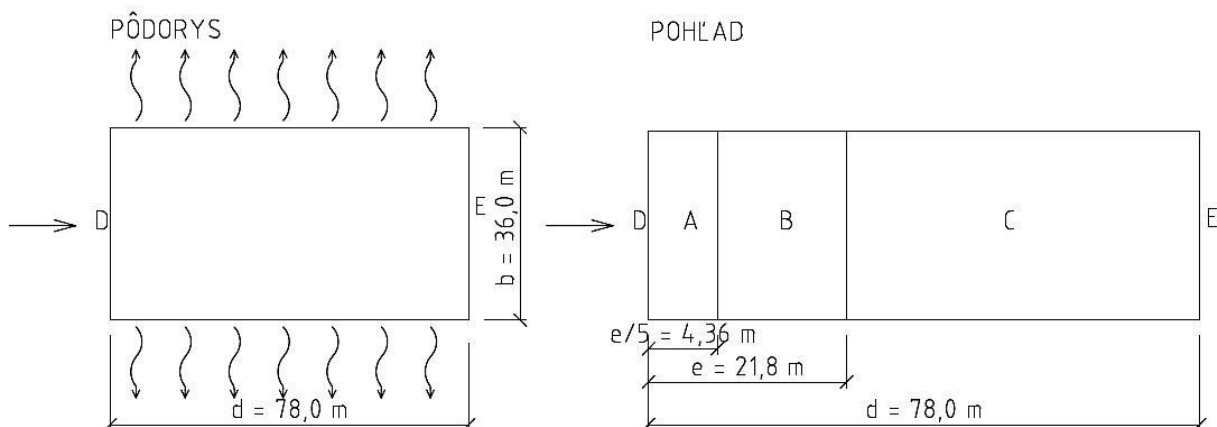
$$B: c_{pe,10(B)} = -0,80; \quad w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(B)} = 0,895 \cdot -0,80 = -0,716 \text{ kN/m}^2$$

$$C: c_{pe,10(C)} = -0,5; \quad w_{e,C} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(C)} = 0,895 \cdot -0,5 = -0,448 \text{ kN/m}^2$$

$$D: c_{pe,10(D)} = +0,70; \quad w_{e,D} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(D)} = 0,895 \cdot 0,70 = 0,627 \text{ kN/m}^2$$

$$E: c_{pe,10(E)} = -0,30; \quad w_{e,E} = q_p(z) \cdot c_{pe,10(E)} = 0,895 \cdot -0,30 = -0,269 \text{ kN/m}^2$$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(36,0; 2 \cdot 10,9) = 21,8 \text{ m}$$



Obr. 26: ZS 12 - účinok pozdĺžneho vetra na steny hangáru

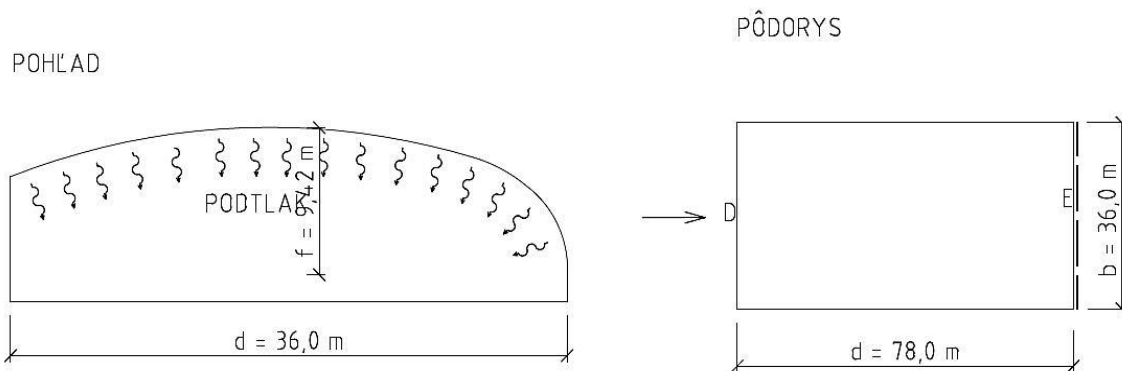
3.13. Vietor pozdĺžny + podtlak = zaťažovací stav 13

V tomto zaťažovacom stave uvažujeme s otvorenými čelnými vrátami. Pozdĺžny vietor pôsobí kolmo na zadnú stenu hangáru. To má za následok vznik podtlaku vo vnútri konštrukcie. Účinky podtlaku sa určia pomocou súčiniteľa vnútorných tlakov c_{pi} , ktorý závisí na veľkosti a rozdelení otvorov na plášti budovy. Plocha otvorov na rozhodujúcej fasáde je trojnásobná, použijeme preto vzťah $c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe}$, kde c_{pe} je súčiniteľ vonkajšieho tlaku v otvore rozhodujúcej fasády.

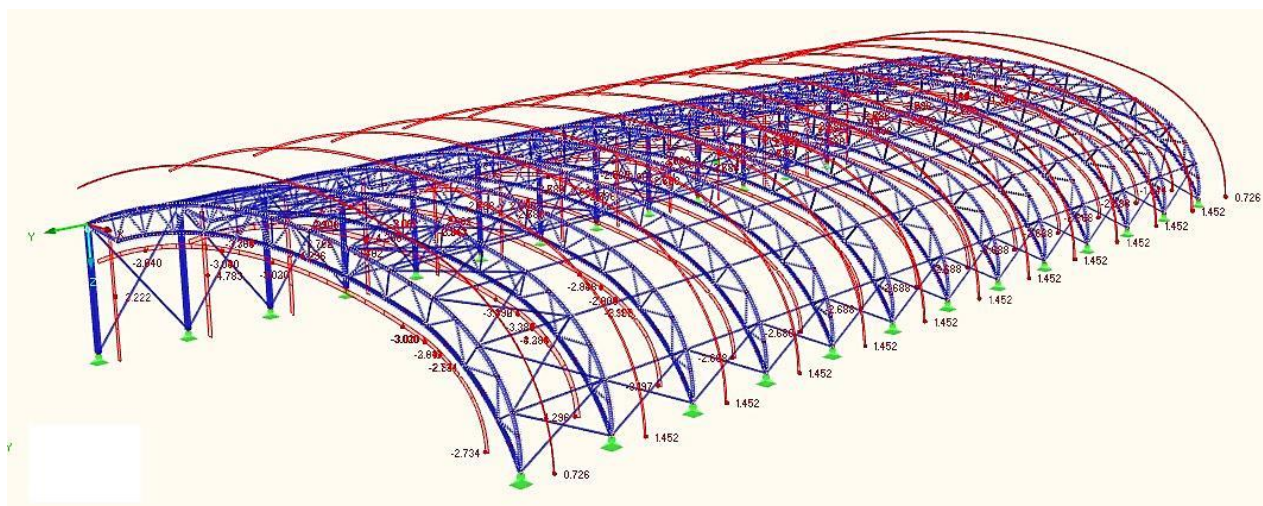
$$c_{pe,10} = -0,3$$

$$c_{pi} = 0,9 \cdot (-0,3) = -0,27$$

$$w_i = q_p(z) \cdot c_{pi} = 0,895 \cdot (-0,27) = 0,242 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 27: ZS13 - účinok podtlaku vo vnútri hangáru na zastrešenie



Obr. 28: ZS13 - líniové zaťaženie na väzníkoch od účinkov pozdĺžneho vetra a podtlaku [kN/m]

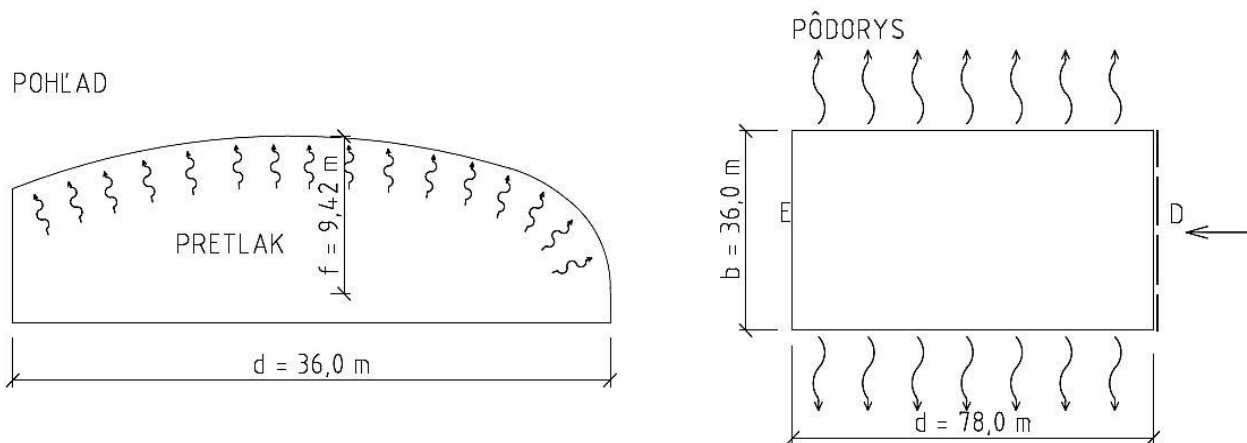
3.14. Vietor pozdĺžny + pretlak = zaťažovací stav 14

V tomto zaťažovacom stave uvažujeme s otvorenými čelnými vrátami. Vietor v tomto prípade fúka do vratového otvoru. To má za následok vznik pretlaku vo vnútri konštrukcie. Účinky pretlaku sa určia pomocou súčiniteľa vnútorných tlakov c_{pi} , ktorý závisí na veľkosti a rozdelení otvorov na plášti budovy. Plocha otvorov na rozhodujúcej fasáde je trojnásobná, použijeme preto vzťah $c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe}$, kde c_{pe} je súčiniteľ vonkajšieho tlaku v otvore rozhodujúcej fasády.

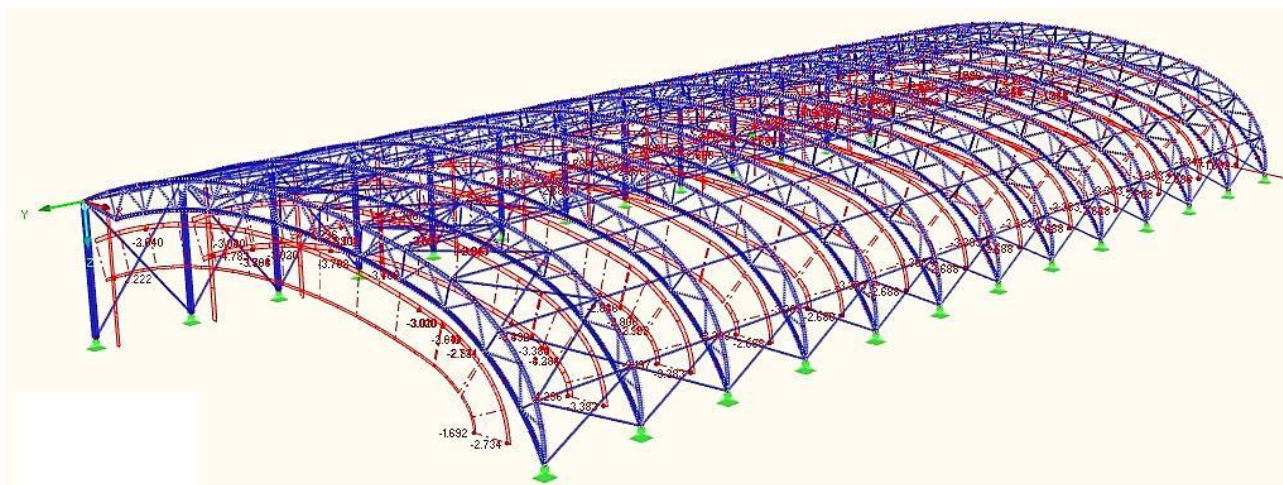
$$c_{pe,10} = 0,7$$

$$c_{pi} = 0,9 \cdot (0,7) = 0,63$$

$$w_i = q_p(z) \cdot c_{pi} = 0,895 \cdot (0,63) = 0,564 \text{ kN/m}^2$$



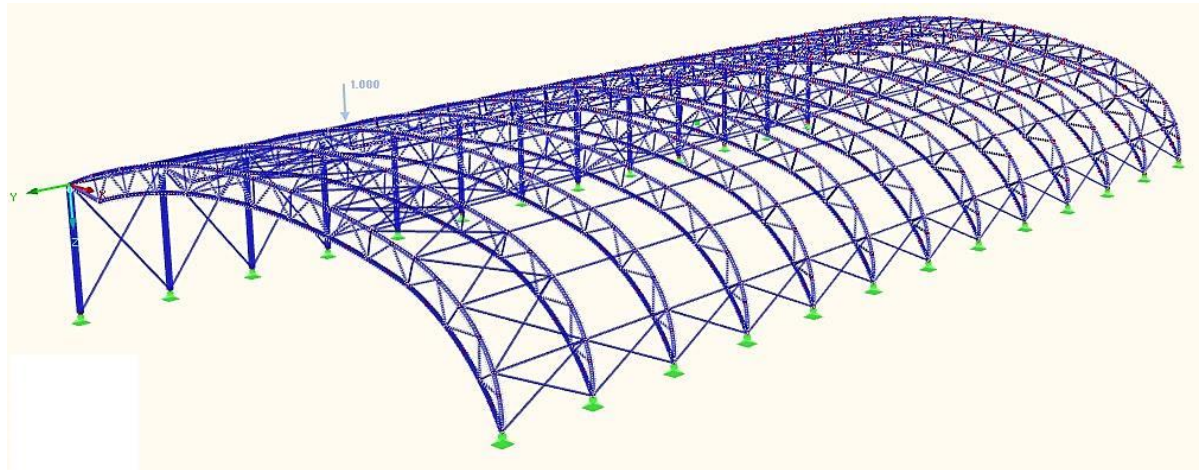
Obr. 29: ZS14 - účinok pretlaku vo vnútri hangáru na zastrešenie



Obr. 30: ZS14 - líniové zaťaženie na väzníkoch od účinkov pozdĺžneho vetra a pretlaku [kN/m]

3.15. Úžitné zaťaženie = zaťažovací stav 15

Podľa ČSN EN 1991 – 1- 1 sa strechy rozdeľujú podľa prístupnosti do troch kategórií. V našom prípade spadá strecha do kategórie H, tj. strecha neprístupná s výnimkou bežnej údržby a oprav. Charakteristická hodnota užitočného zaťaženia pre strechy kategórie H je rovná $Q_k = 1,0$ kN (bodové zaťaženie) a $q_k = 0,75$ kN/m² (rovnomerne rozdelené zaťaženie na ploche $A = 10$ m²).



Obr. 31: ZS15 - sústredené zaťaženie Q_k [kN]

4. Kombinácie zaťažovacích stavov

4.1. Kombinačné súčinitele Ψ

Hodnoty kombinačných súčiniteľov Ψ pre pozemné stavby sú uvedené v ČSN EN 1990. Pre náš prípad platí nasledovné:

Užitné zaťaženie: - kategória E: sklady

$$\Psi_0 = 1,0; \quad \Psi_1 = 0,9; \quad \Psi_2 = 0,8$$

- kategória H: strechy

$$\Psi_0 = 0,7; \quad \Psi_1 = 0,2; \quad \Psi_2 = 0,2$$

Zaťaženie snehom: - stavby umiestnené vo výšky ≤ 1000 m.n.m

$$\Psi_0 = 0,5; \quad \Psi_1 = 0,2; \quad \Psi_2 = 0,0$$

Zaťaženie vetrom:

$$\Psi_0 = 0,6; \quad \Psi_1 = 0,2; \quad \Psi_2 = 0,0$$

4.2. Medzný stav únosnosti

Kombinácie zaťažovacích stavov pre medzný stav únosnosti sú vypočítané podľa kombinačnej rovnice 6.10:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Ako najmenej priaznivé kombinácie pre medzný stav únosnosti boli určené nasledujúce kombinácie:

$$K1 = 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS5$$

$$K2 = 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS4$$

$$K3 = 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS4 + 1,50 \cdot 0,6 \cdot ZS11$$

$$K4 = 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS5 + 1,50 \cdot 0,6 \cdot ZS10$$

$$K5 = 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS4 + 1,50 \cdot 0,6 \cdot ZS9$$

$$K6 = 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS5 + 1,50 \cdot 0,6 \cdot ZS11$$

$$K7 = 1,00 \cdot ZS1 + 1,00 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS14$$

$$K8 = 1,00 \cdot ZS1 + 1,00 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS12$$

$$K9 = 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS5 + 1,50 \cdot 0,6 \cdot ZS12$$

$$K10 = 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS7 + 1,50 \cdot 0,6 \cdot ZS10$$

4.3. Medzný stav použiteľnosti

Kombinácie zaťažovacích stavov pre medzný stav použiteľnosti sú vypočítané podľa kombinačnej rovnice 6.14b (charakteristická kombinácia zaťaženia):

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

Ako najmenej priaznivé kombinácie pre medzný stav použiteľnosti boli určené nasledujúce kombinácie:

$$K2.1 = ZS1 + ZS2 + ZS5$$

$$K2.2 = ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0,6 \cdot ZS10$$

5. Posúdenie a návrh trapézového plechu

Trapézový plech je uložený v pozitívnej polohe. Plech je uvažovaný ako prostý nosník s rozpätím 6 m (vzdialenosť väzníkov). Pri posúdení sme vychádzali z únosnosti profilov podľa tabuliek dodávateľa pre rozpätie 6 m.

Zaťaženie: ZS2 – Ostatné stále zaťaženie
 ZS3 – Sneh plný
 ZS10 – Vietor priečny z ľava + podtlak

Kombinácia zaťažovacích stavov:

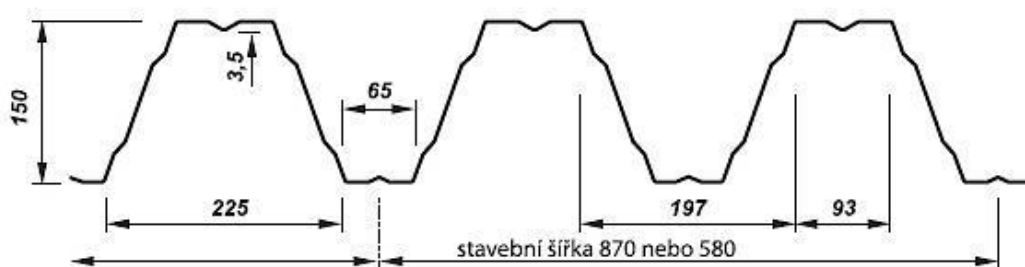
$$K = 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS3 + 0,9 \cdot ZS10$$

$$K = 1,35 \cdot 0,28 + 1,5 \cdot 0,96 + 0,9 \cdot 0,866$$

$$K = 2,597 \text{ kN/m}^2 = q_{Ed}$$

Únosnosť profilu T150 hrúbky 0,90 mm, pri rozpätí 6 m: $q_{Rd} = 2,92 \text{ kN/m}^2$

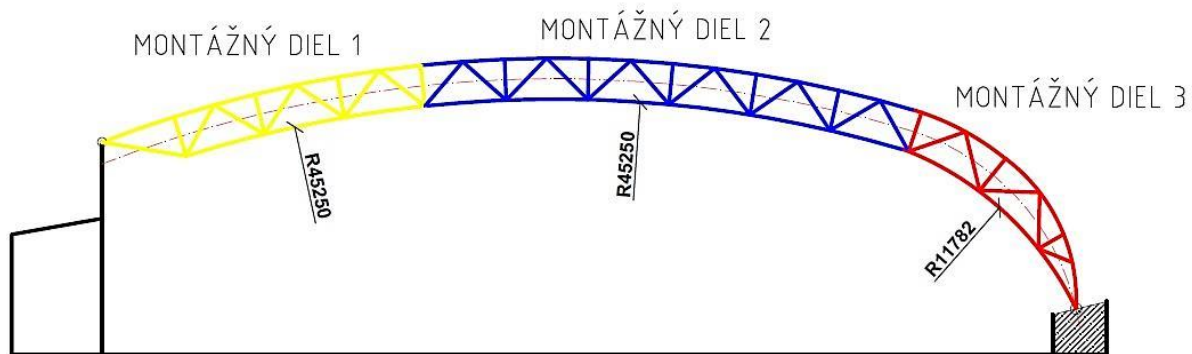
Posúdenie: $\frac{q_{Ed}}{q_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{2,597}{2,92} = 0,90 \leq 1,0$



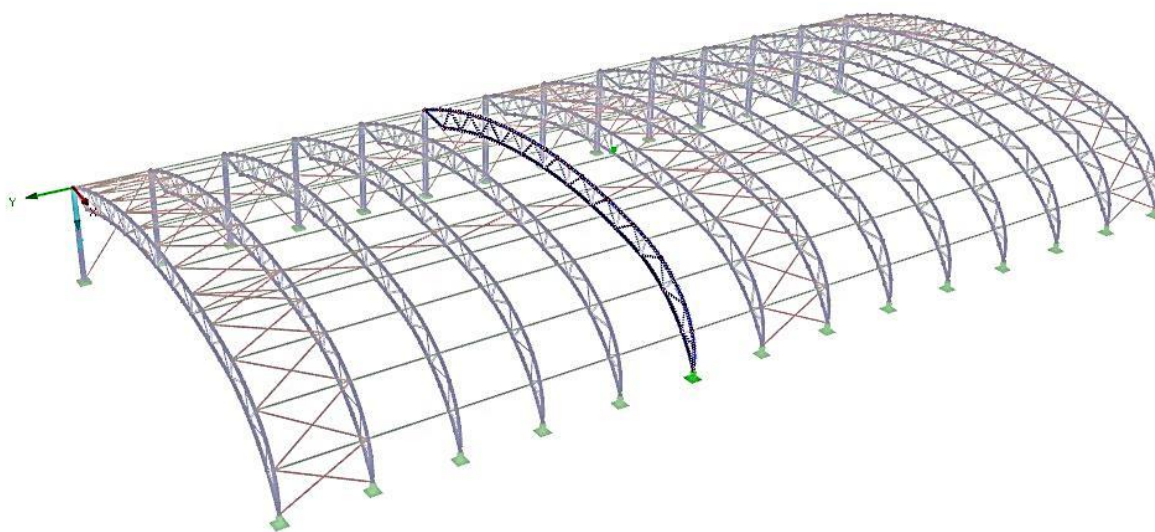
Obr. 32: Trapézový plech T150

6. Posúdenie prvkov väzníka

Pri návrhu väzníka sme nosník rozdelili na 3 základné dielce. Pre každý dielec bude prevedený návrh konkrétnych prvkov odpovedajúci príslušným hodnotám účinkov od najmenej priaznivých kombinácií zaťaženia.



Obr. 33: Rozdelenie väzníka na montážne dielce

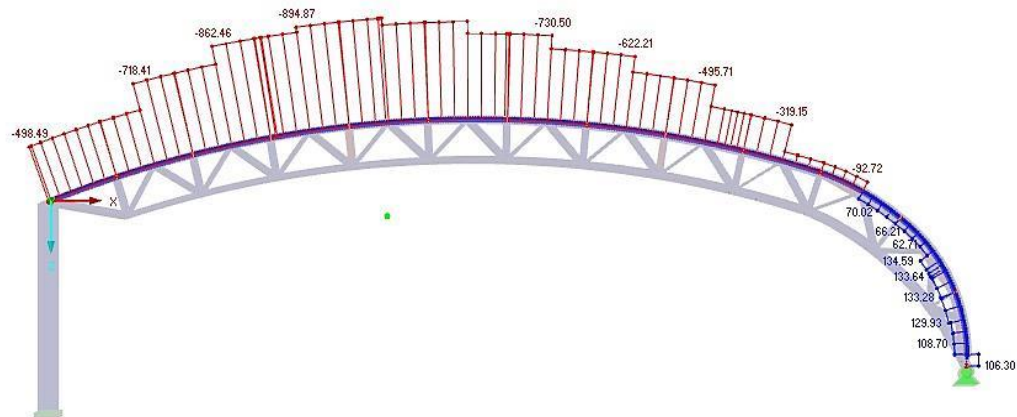


Obr. 34: Umiestenie najviac namáhaného väzníka

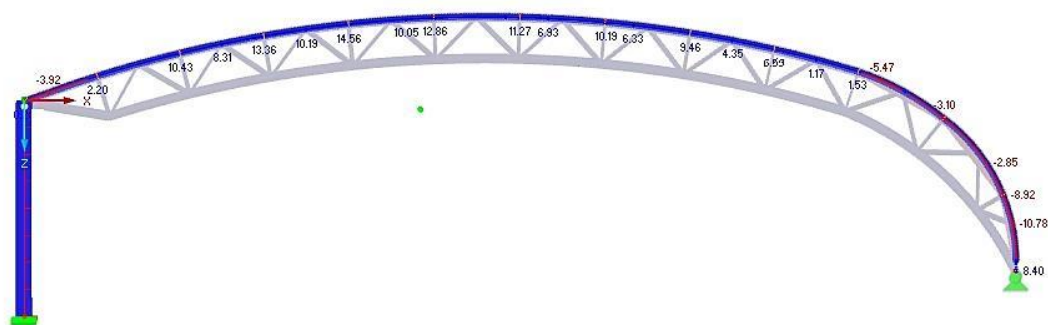
6.1. Horný pás

6.1.1. Horný pás – montážny diel 1

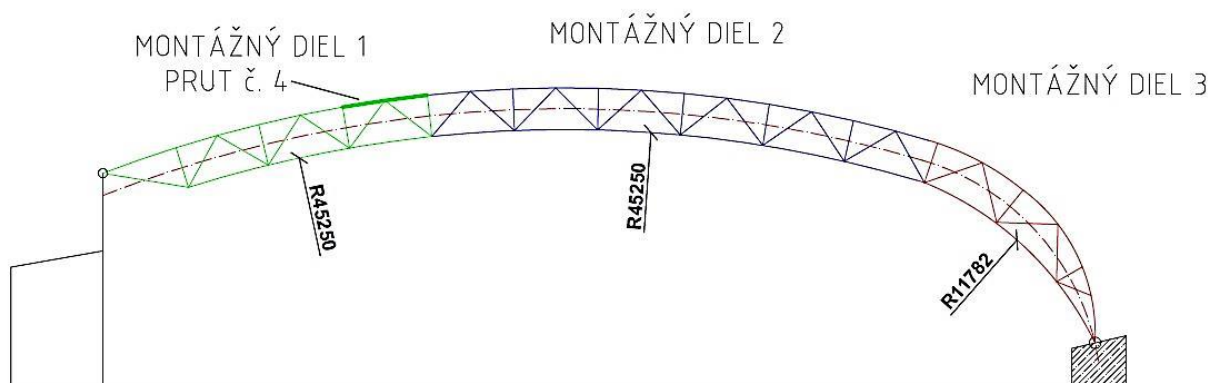
Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K1. Najviac namáhaný prút horného pásu priehradového väzníka montážneho dielu č. 1 bol prút č. 4.



Obr. 35: Pribeh normálových síl v hornom páse [kN]



Obr. 36: Pribeh ohybových momentov v hornom páse [kNm]



Obr. 37: Poloha najviac zaťaženého prútu v montážnom dielci č.1

Vnútorné sily:

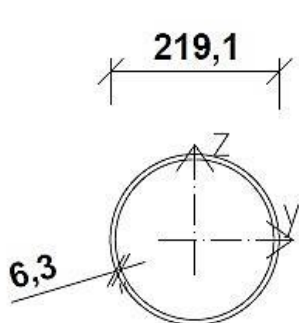
$$N_{Ed} = 894,87 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = 14,56 \text{ kNm}$$

Typ profilu:

Profil: TR 219,1 x 6,3

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



$$A = 4,21 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 2,39 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$w_{y,el} = w_{z,el} = 2,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

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

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

Trieda prierezu:

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

Pre trubkové profily platí:

$$d/t = 219,1/6,3 = 34,78 \leq 70 \cdot \varepsilon^2 = 70 \cdot 0,81^2 = 45,93 \rightarrow \text{Trieda prierezu 2}$$

Posúdenie na rovinný vzper:

Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y: $L_{cr,y} = 1,55 \text{ m}$

Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z: $L_{cr,z} = 3,10 \text{ m}$

Štíhlosť prútu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1,55}{0,075} = 20,67$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,10}{0,075} = 41,33$$

Jednotková štíhlosť:

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlost:

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{20,67}{76,40} = 0,27$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{41,33}{76,40} = 0,54$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,27 - 0,2) + 0,27^2] = 0,54$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,54 - 0,2) + 0,54^2] = 0,68$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,54 + \sqrt{0,54^2 - 0,27^2}} = 0,99 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \overline{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,54^2}} = 0,91 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,91 \cdot 4,21 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1362,83 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{894,87}{1362,83} = 0,66 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Interakcia ohybu a tlaku:

Súčiniteľ c_m ekvivalentného konštantného momentu:

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

$$\alpha_h = M_h / M_s = 10,19 / 14,56 = 0,70$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,70 = 0,985$$

Únosnosti prierezu:

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot w_{y,el} = 355 \cdot 10^6 \cdot 2,18 \cdot 10^{-4} = 77,39 \text{ kNm}$$

$$N_{R,k} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^6 \cdot 4,21 \cdot 10^{-3} = 1494,55 \text{ kN}$$

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

(výpočet podľa normy ČSN EN 1993 – 1-1, tab. B1)

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

$$k_{yy} = \min \left\{ 0,985 \left(1 + (0,27 - 0,2) \frac{894,87}{0,990 \cdot \frac{1494,55}{1,0}} \right) \leq 0,969 \left(1 + 0,8 \frac{894,70}{0,990 \cdot \frac{1494,55}{1,0}} \right) \right. \\ \left. 1,8 \right\}$$

$$k_{yy} = 1,03$$

$$k_{zy} = \min \left\{ 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,03 = 0,62 \right. \\ \left. 1,4 \right\}$$

$$k_{zy} = 0,62$$

Posúdenie:

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

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

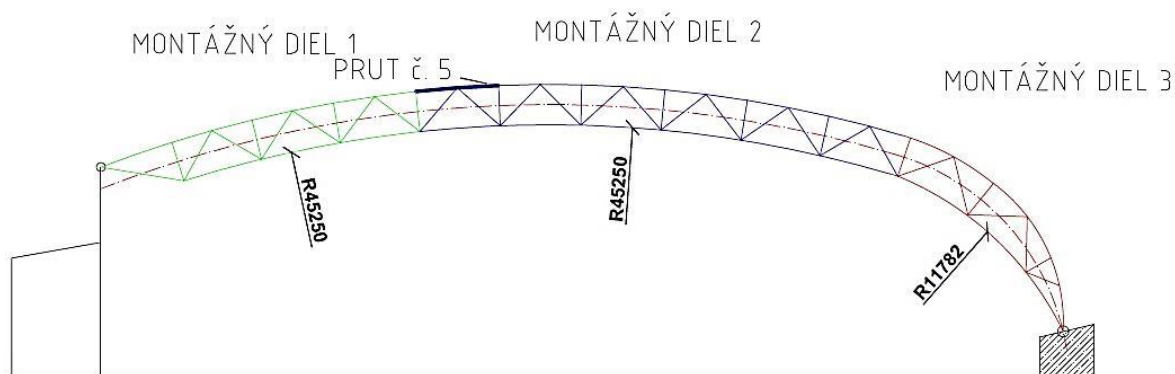
$$\frac{894,87}{0,99 \cdot \frac{1494,55}{1,0}} + 1,03 \frac{14,56}{1,0 \cdot \frac{77,39}{1,0}} + 0 \leq 1,0$$

$$\frac{894,87}{0,91 \cdot \frac{1494,55}{1,0}} + 0,62 \frac{14,56}{1,0 \cdot \frac{77,39}{1,0}} + 0 \leq 1,0$$

$$0,66 + 0,12 = 0,78 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

6.1.2. Horný pás – montážny diel 2

Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K1. Najviac namáhaný prút horného pásu priehradového väzníka montážneho dielu č. 2 bol prút č. 5.



Obr. 38: Poloha najviac zaťaženého prútu v montážnom dielci č.2

Vnútorne sily:

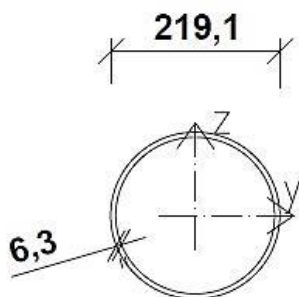
$$N_{Ed} = 889,09 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = 12,86 \text{ kNm}$$

Typ profilu:

Profil: TR 219,1 x 6,3

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



$$A = 4,21 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 2,39 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$w_{y,el} = w_{z,el} = 2,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

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

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

Trieda prierezu:

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

Pre trubkové profily platí:

$$d/t = 219,1/6,3 = 34,78 \leq 70 \cdot \varepsilon^2 = 70 \cdot 0,81^2 = 45,93 \rightarrow \text{Trieda prierezu 2}$$

Posúdenie na rovinný vzper:

$$\text{Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y: } L_{cr,y} = 1,55 \text{ m}$$

Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z: $L_{cr,z} = 3,10 \text{ m}$

Štíhlosť prútu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1,55}{0,075} = 20,67$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,10}{0,075} = 41,33$$

Jednotková štíhlosť:

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlosť:

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{20,67}{76,40} = 0,54$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{41,33}{76,40} = 0,54$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,27 - 0,2) + 0,27^2] = 0,54$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,54 - 0,2) + 0,54^2] = 0,68$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,54 + \sqrt{0,54^2 - 0,27^2}} = 0,99 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \overline{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,54^2}} = 0,91 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,91 \cdot 4,21 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1362,83 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{889,09}{1362,83} = 0,65 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Interakcia ohybu a tlaku:

Súčiniteľ c_m ekvivalentného konštantného momentu:

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

$$\alpha_h = M_h / M_s = 9,08 / 12,86 = 0,706$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,706 = 0,985$$

Únosnosti prierezu:

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot w_{y,el} = 355 \cdot 10^6 \cdot 2,18 \cdot 10^{-4} = 77,39 \text{ kNm}$$

$$N_{R,k} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^6 \cdot 4,21 \cdot 10^{-3} = 1494,55 \text{ kN}$$

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

(výpočet podľa normy ČSN EN 1993 – 1- 1, tab. B1)

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

$$k_{yy} = \min \left\{ 0,985 (1 + (0,27 - 0,2) \frac{889,09}{0,990 \cdot \frac{1494,55}{1,0}}) \leq 0,985 (1 + 0,8 \frac{889,09}{0,990 \cdot \frac{1494,55}{1,0}}) \right. \\ \left. 1,8 \right\}$$

$$k_{yy} = 1,03$$

$$k_{zy} = \min \left\{ 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,03 = 0,62 \right. \\ \left. 1,4 \right\}$$

$$k_{zy} = 0,62$$

Posúdenie:

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

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

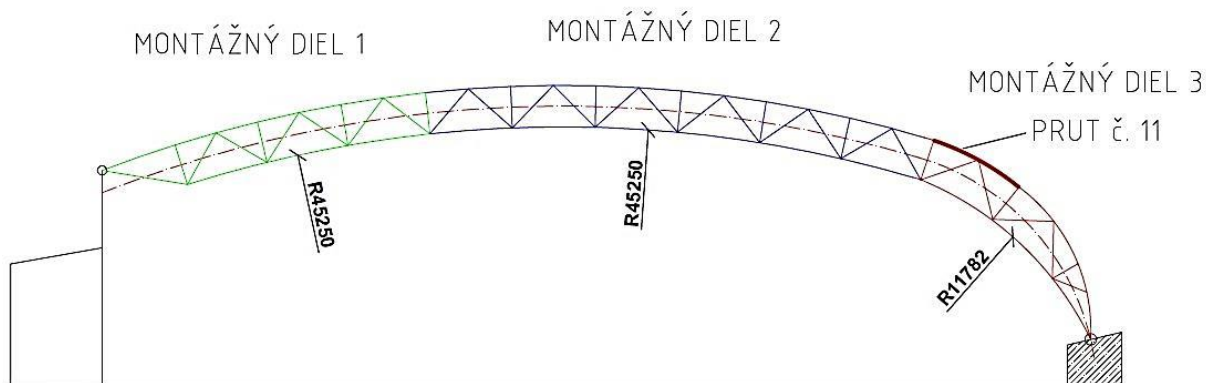
$$\frac{889,09}{0,990 \cdot \frac{1494,55}{1,0}} + 1,03 \frac{12,86}{1,0 \cdot \frac{77,39}{1,0}} + 0 \leq 1,0$$

$$\frac{889,09}{0,910 \cdot \frac{1494,55}{1,0}} + 0,62 \frac{12,86}{1,0 \cdot \frac{77,39}{1,0}} + 0 \leq 1,0$$

$$0,65 + 0,10 = 0,75 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

6.1.3. Horný pás – montážny diel 3

Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K3. Najviac namáhaný prút horného pásu priehradového väzníka montážneho dielu č. 3 bol prút č. 11.



Obr. 39: Poloha najviac zaťaženeho prútu v montážnom dielci č. 3

Vnútorne sily:

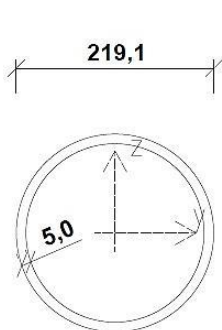
$$N_{Ed} = 315,64 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = 3,65 \text{ kNm}$$

Typ profilu:

Profil: TR 219,1 x 5,0

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



$$A = 3,36 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 19,30 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$w_{y,el} = w_{z,el} = 17,60 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$w_{y,pl} = w_{z,pl} = 22,90 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I_t = 38,60 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Trieda prierezu:

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

Pre trubkové profily platí:

$$d/t = 219,1/5,0 = 43,81 \leq 70 \cdot \varepsilon^2 = 70 \cdot 0,81^2 = 45,93 \rightarrow \text{Trieda prierezu 2}$$

Posúdenie na rovinný vzper:

$$\text{Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y:} \quad L_{cr,y} = 1,773 \text{ m}$$

$$\text{Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z:} \quad L_{cr,z} = 3,545 \text{ m}$$

Štíhlosť prútu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1,773}{0,076} = 23,33$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,545}{0,076} = 46,77$$

Jednotková štíhlosť:

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlosť:

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{23,33}{76,40} = 0,31$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{46,77}{76,40} = 0,61$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,31 - 0,2) + 0,31^2] = 0,56$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,61 - 0,2) + 0,61^2] = 0,73$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,31^2}} = 0,974 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \overline{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,73 + \sqrt{0,73^2 - 0,61^2}} = 0,884 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,884 \cdot 3,36 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1049,66 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{315,64}{1049,66} = 0,30 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Interakcia ohybu a tlaku:

Súčiniteľ c_m ekvivalentného konštantného momentu:

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

$$\alpha_h = M_h / M_s = 1,09 / 3,65 = 0,30$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,30 = 0,964$$

Únosnosti prierezu:

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot w_{y,el} = 355 \cdot 10^6 \cdot 1,76 \cdot 10^{-4} = 62,48 \text{ kNm}$$

$$N_{R,k} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^6 \cdot 3,36 \cdot 10^{-3} = 1192,8 \text{ kN}$$

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

(výpočet podľa normy ČSN EN 1993 – 1-1, tab. B1)

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

$$k_{yy} = \min \left\{ 0,964 (1 + (0,31 - 0,2) \frac{315,64}{0,974 \cdot \frac{1192,8}{1,0}}) \leq 0,964 (1 + 0,8 \frac{315,64}{0,974 \cdot \frac{1192,8}{1,0}}) \right. \\ \left. 1,8 \right\}$$

$$k_{yy} = 1,01$$

$$k_{zy} = \min \left\{ 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,01 = 0,61 \right. \\ \left. 1,4 \right\}$$

$$k_{zy} = 0,61$$

Posúdenie:

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

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

$$\frac{315,64}{0,974 \cdot \frac{1192,80}{1,0}} + 1,01 \frac{3,65}{1,0 \cdot \frac{62,48}{1,0}} + 0 \leq 1,0$$

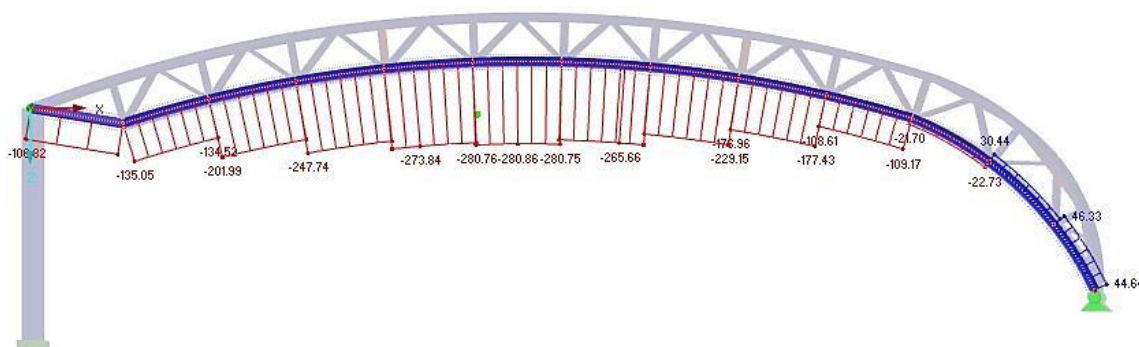
$$\frac{315,64}{0,884 \cdot \frac{1192,80}{1,0}} + 0,61 \frac{3,65}{1,0 \cdot \frac{62,48}{1,0}} + 0 \leq 1,0$$

$$0,30 + 0,04 = 0,34 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

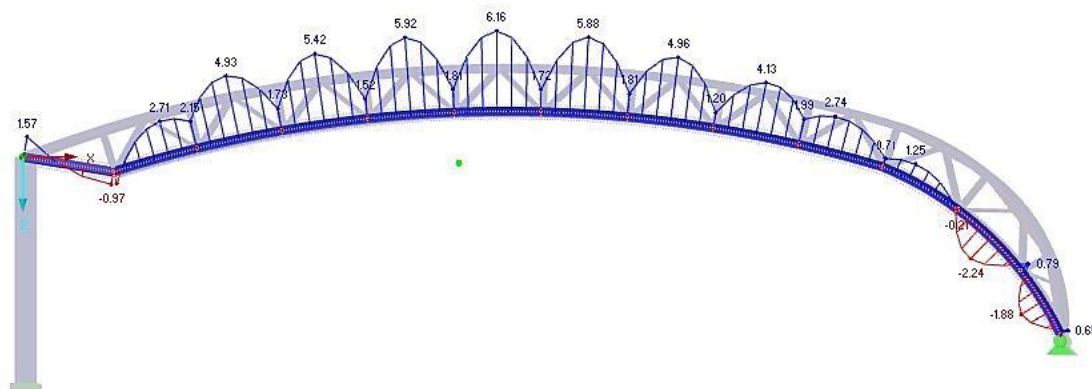
6.2. Spodný pás

6.2.1. Spodný pás – montážny diel 1

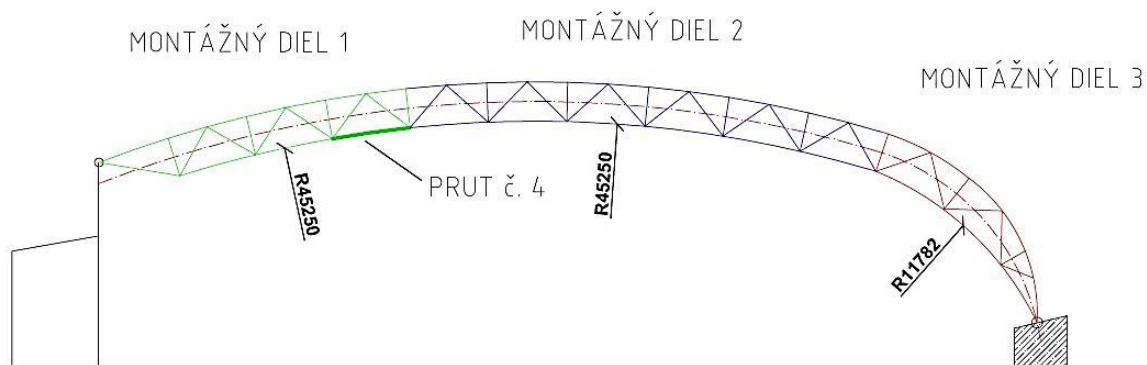
Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K7. Najviac namáhaný prút spodného pásu priehradového väzníka montážneho dielu č. 1 bol prút č. 4.



Obr. 40: Priebeh normálových síl v spodnom páse [kN]



Obr. 41: Priebeh ohybových momentov v spodnom páse [kNm]



Obr. 42: Poloha najviac namáhaného prútu v montážnom dielci č. 1

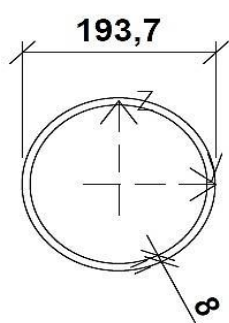
Vnútorne sily:

$$N_{Ed} = 247,74 \text{ kN}$$

Typ profilu:

Profil: TR 193,7 x 8,0

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



$$A = 4,67 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 2,02 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$w_{y,el} = w_{z,el} = 2,08 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$w_{y,pl} = w_{z,pl} = 2,76 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

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

Trieda prierezu:

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

Pre trubkové profily platí:

$$d/t = 193,7/8,0 = 24,21 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,81 \rightarrow \text{Trieda prierezu 1}$$

Posúdenie na rovinný vzper:

Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y: $L_{cr,y} = 2,960 \text{ m}$

Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z: $L_{cr,z} = 12,143 \text{ m}$ (vzdialenosť stužidiel)

Štíhlost' prútu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,960}{0,066} = 44,85$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{12,143}{0,066} = 183,98 \leq 200$$

Jednotková štíhlost':

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlost':

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{44,85}{76,40} = 0,59$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{183,98}{76,40} = 2,41$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,59 - 0,2) + 0,59^2] = 0,72$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,41 - 0,2) + 2,41^2] = 3,64$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,72 + \sqrt{0,72^2 - 0,59^2}} = 0,883 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \overline{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3,64 + \sqrt{3,64^2 - 2,41^2}} = 0,160 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

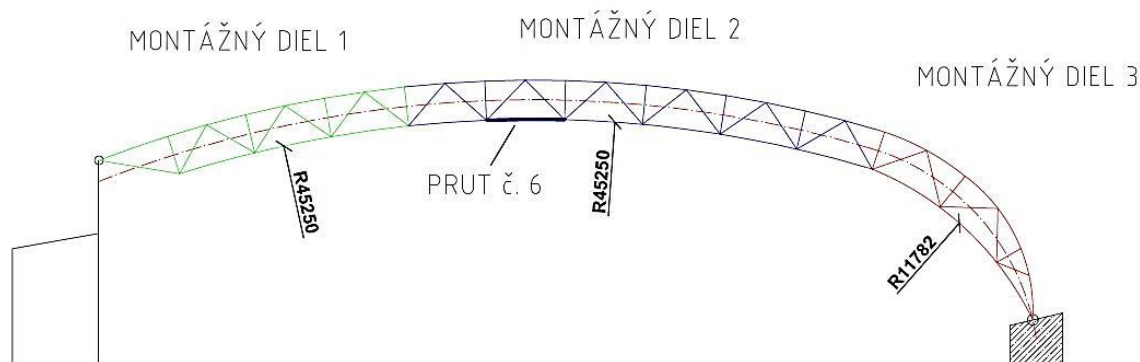
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,160 \cdot 4,67 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 265,26 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{247,74}{265,26} = 0,93 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

6.2.2. Spodný pás – montážny diel 2

Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K7. Najviac namáhaný prút spodného pásu priehradového väzníka montážneho dielu č. 2 bol prút č. 6.



Obr. 43: Poloha najviac namáhaného prútu v montážnom diele č. 2

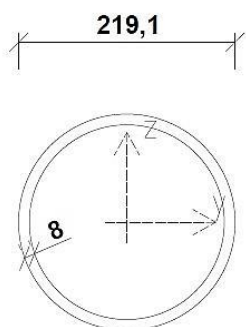
Vnútorne sily:

$$N_{Ed} = 280,86 \text{ kN}$$

Typ profilu:

Profil: TR 219,1 x 8,0

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



$$A = 5,31 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 2,96 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$w_{y,el} = w_{z,el} = 2,70 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$w_{y,pl} = w_{z,pl} = 3,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_t = 5,92 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Trieda prierezu:

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

Pre trubkové profily platí:

$$d/t = 219,1/8,0 = 27,39 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,81 \rightarrow \text{Trieda prierezu 1}$$

Posúdenie na rovinný vzper:

Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y: $L_{cr,y} = 3,000 \text{ m}$

Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z: $L_{cr,z} = 12,000 \text{ m}$ (vzdialenosť stužidiel)

Štíhlosť prútu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,000}{0,075} = 40,00$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{12,000}{0,075} = 160,00 \leq 200$$

Jednotková štíhlost':

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlost':

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{40,00}{76,40} = 0,52$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{160,00}{76,40} = 2,09$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,52 - 0,2) + 0,52^2] = 0,67$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,09 - 0,2) + 2,09^2] = 2,88$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,67 + \sqrt{0,67^2 - 0,52^2}} = 0,915 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \overline{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,88 + \sqrt{2,88^2 - 2,09^2}} = 0,206 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

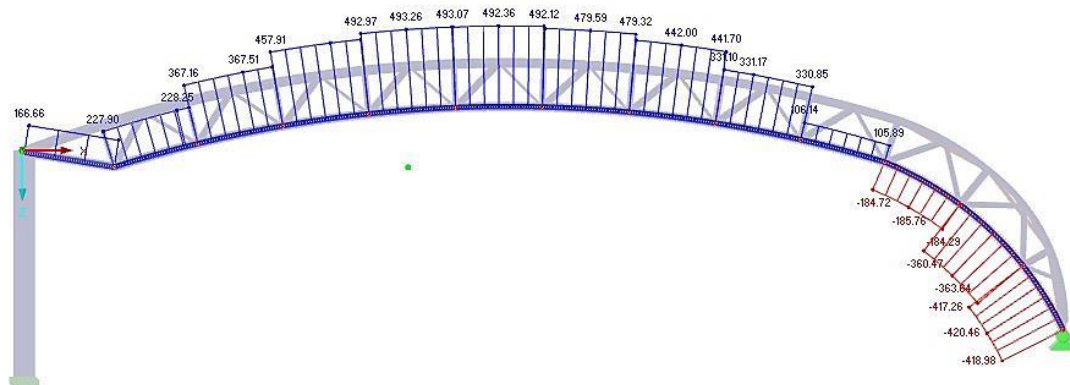
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,206 \cdot 5,31 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 387,75 \text{ kN}$$

Posúdenie:

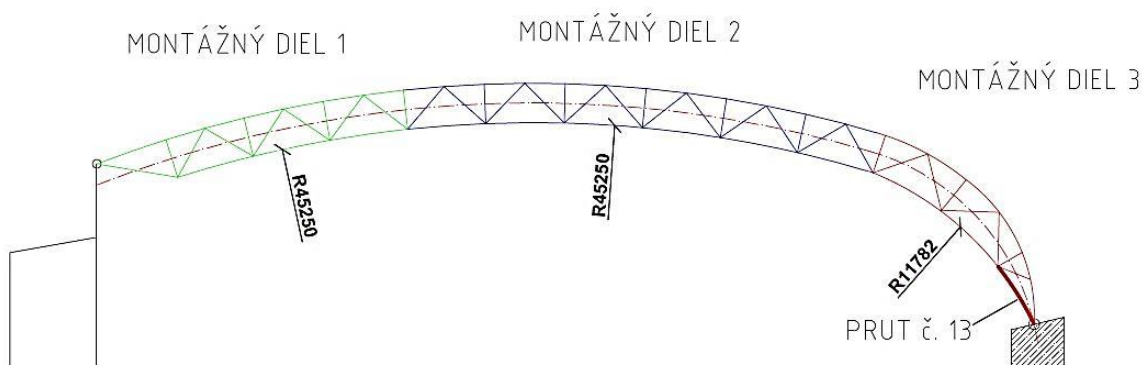
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{280,86}{387,75} = 0,72 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

6.2.3. Spodný pás – montážny diel 3

Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K2. Najviac namáhaný prút spodného pásu priehradového väzníka montážneho dielu č. 3 bol prút č. 13.



Obr. 44: Priebeh normálových síl v spodnom páse [kN]



Obr. 45: Poloha najviac namáhaného prútu v montážnom diele č. 3

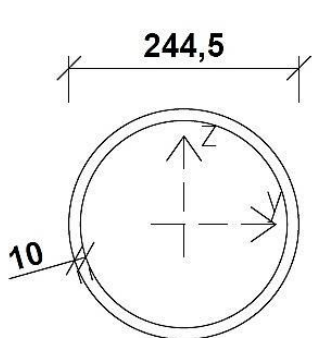
Vnútorne sily:

$$N_{Ed} = 420,46 \text{ kN}$$

Typ profilu:

Profil: TR 244,5 x 10,0

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



$$A = 7,37 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 5,07 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$w_{y,el} = w_{z,el} = 4,15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$w_{y,pl} = w_{z,pl} = 5,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_t = 10,10 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Trieda prierezu:

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

Pre trubkové profily platí:

$$d/t = 244,5/10,0 = 24,45 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,81 \rightarrow \text{Trieda prierezu 1}$$

Posúdenie na rovinný vzper:

$$\text{Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y:} \quad L_{cr,y} = 2,620 \text{ m}$$

$$\text{Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z:} \quad L_{cr,z} = 14,360 \text{ m (vzdialenosť ztužidiel)}$$

Štíhlosť prútu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,620}{0,083} = 31,59$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{14,360}{0,083} = 173,13 \leq 200$$

Jednotková štíhlosť:

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlosť:

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{31,59}{76,40} = 0,41$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{173,13}{76,40} = 2,27$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,41 - 0,2) + 0,41^2] = 0,61$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,27 - 0,2) + 2,27^2] = 3,28$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,61 + \sqrt{0,61^2 - 0,41^2}} = 0,949 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \overline{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3,28 + \sqrt{3,28^2 - 2,27^2}} = 0,177 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,177 \cdot 7,37 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 462,037 \text{ kN}$$

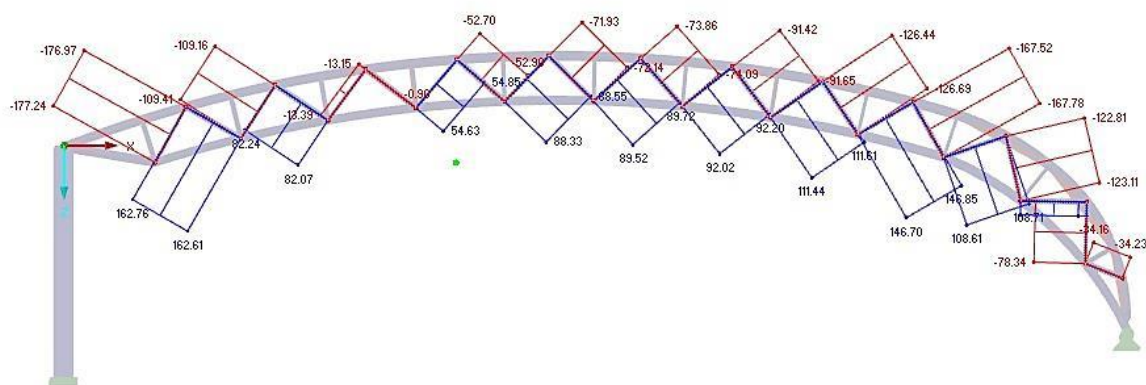
Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{420,460}{462,037} = 0,91 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

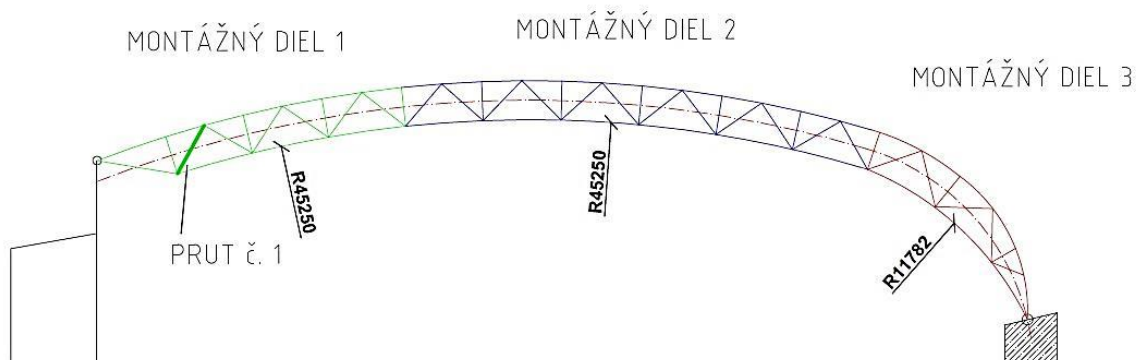
6.3. Diagonály

6.3.1. Diagonála – montážny diel 1

Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K4. Najviac namáhaná diagonála priehradového väzníka montážneho dielu č. 1 bol prút č. 1.



Obr. 46: Priebeh vnútorných síl v diagonálach od K4 [kN]



Obr. 47: Poloha najviac namáhaného prútu v montážnom dieli 1

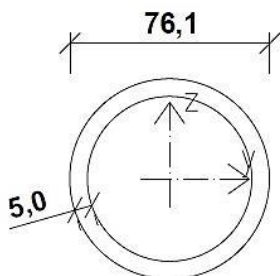
Vnútorné sily:

$$N_{Ed} = 176,97 \text{ kN}$$

Typ profilu:

Profil: TR 76,1 x 5,0

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



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

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

$$w_{y,el} = w_{z,el} = 1,86 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$w_{y,pl} = w_{z,pl} = 2,53 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I_t = 1,42 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Trieda prierezu:

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

Pre trubkové profily platí:

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

Posúdenie na rovinný vzper:

$$\text{Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y: } L_{cr,y} = 2,139 \text{ m}$$

$$\text{Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z: } L_{cr,z} = 2,139 \text{ m}$$

Štíhlosť prútu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,139}{0,025} = 84,95$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2,139}{0,025} = 84,95$$

Jednotková štíhlosť:

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlosť:

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{84,95}{76,40} = 1,11$$

$$\overline{\lambda_z} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{84,95}{76,40} = 1,11$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,11 - 0,2) + 1,11^2] = 1,21$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,11 - 0,2) + 1,11^2] = 1,21$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,21 + \sqrt{1,21^2 - 1,11^2}} = 0,588 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,21 + \sqrt{1,21^2 - 1,11^2}} = 0,588 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

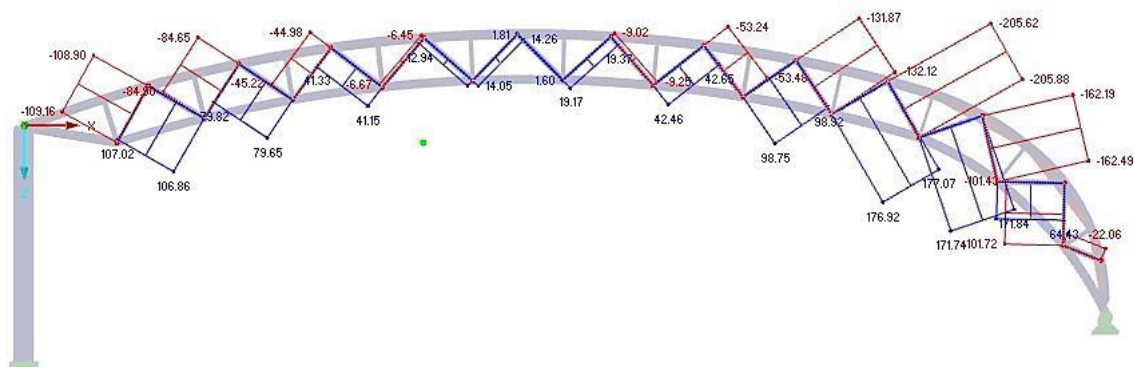
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,588 \cdot 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 233,79 \text{ kN}$$

Posúdenie:

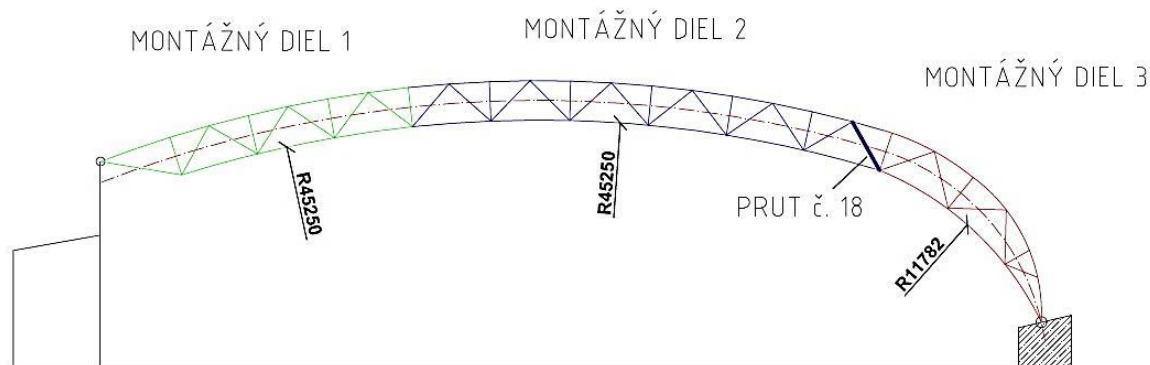
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{176,97}{233,79} = 0,76 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

6.3.2. Diagonála – montážny diel 2

Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K2. Najviac namáhaná diagonála priehradového väzníka montážneho dielu č. 2 bol prút č. 18.



Obr. 48: Priebeh vnútorných síl v diagonálach od K2 [kN]



Obr. 49: Poloha najviac namáhaného prútu v montážnom dielci 2

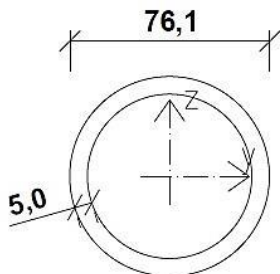
Vnútorne sily:

$$N_{Ed} = 205,88 \text{ kN}$$

Typ profilu:

Profil: TR 76,1 x 5,0

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



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

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

$$w_{y,el} = w_{z,el} = 1,86 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$w_{y,pl} = w_{z,pl} = 2,53 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I_t = 1,42 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Trieda prierezu:

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

Pre trubkové profily platí:

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

Posúdenie na rovinný vzper:

Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y: $L_{cr,y} = 2,126 \text{ m}$

Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z: $L_{cr,z} = 2,126 \text{ m}$

Štíhlost' prútu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,126}{0,025} = 84,44$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2,126}{0,025} = 84,44$$

Jednotková štíhlost':

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlost':

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{84,44}{76,40} = 1,11$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{84,44}{76,40} = 1,11$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,11 - 0,2) + 1,11^2] = 1,21$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,11 - 0,2) + 1,11^2] = 1,21$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,21 + \sqrt{1,21^2 - 1,11^2}} = 0,592 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \overline{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,21 + \sqrt{1,21^2 - 1,11^2}} = 0,592 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

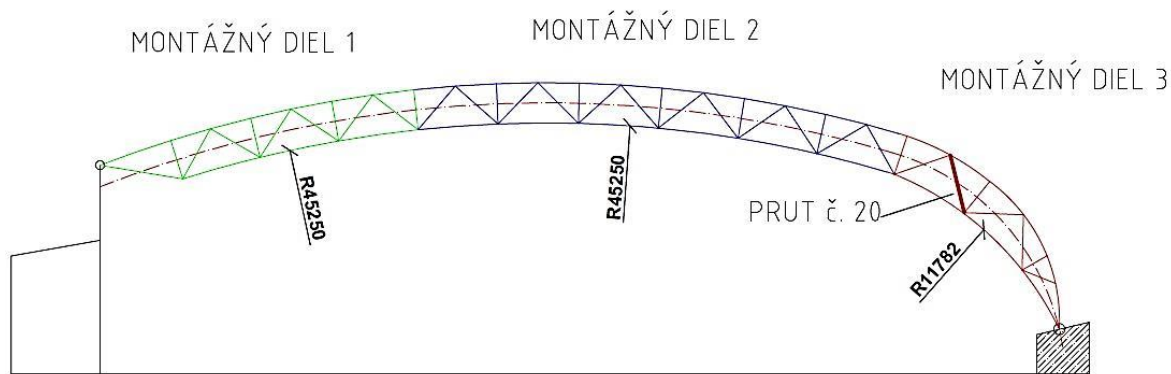
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,592 \cdot 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 235,55 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{205,88}{235,55} = 0,87 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

6.3.3. Diagonála – montážny diel 3

Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K2. Najviac namáhaná diagonála priehradového väzníka montážneho dielu č. 3 bol prút č. 20.



Obr. 50: Poloha najviac namáhaného prútu v montážnom dielci 3

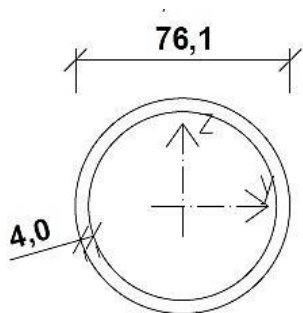
Vnútorne sily:

$$N_{Ed} = 162,19 \text{ kN}$$

Typ profilu:

Profil: TR 76,1 x 4,0

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



$$A = 0,91 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

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

$$w_{y,el} = w_{z,el} = 1,55 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$w_{y,pl} = w_{z,pl} = 2,08 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I_t = 1,18 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Trieda prierezu:

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

Pre trubkové profily platí:

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

Posúdenie na rovinný vzper:

Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y: $L_{cr,y} = 2,216 \text{ m}$

Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z: $L_{cr,z} = 2,216 \text{ m}$

Štíhlost' prútu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,216}{0,026} = 86,84$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2,216}{0,026} = 86,84$$

Jednotková štíhlost':

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlost':

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{86,84}{76,40} = 1,14$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{86,84}{76,40} = 1,14$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,14 - 0,2) + 1,14^2] = 1,24$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,14 - 0,2) + 1,14^2] = 1,24$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,24 + \sqrt{1,24^2 - 1,14^2}} = 0,571 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \overline{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,24 + \sqrt{1,24^2 - 1,14^2}} = 0,571 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,571 \cdot 0,91 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 183,72 \text{ kN}$$

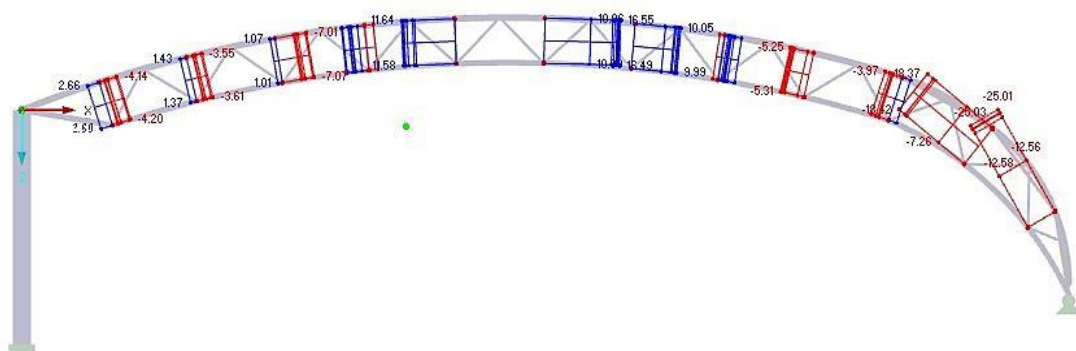
Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{162,19}{183,72} = 0,88 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

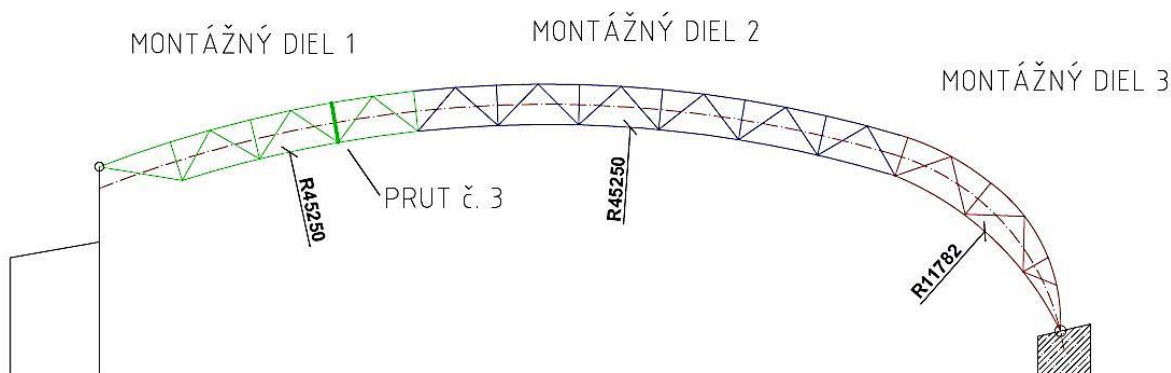
6.4. Zvislice

6.4.1. Zvislica – montážny diel 1

Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K4. Najviac namáhaná zvislica priehradového väzníka montážneho dielu č. 1 bol prút č. 3.



Obr. 51: Priebeh vnútorných síl v zvisliciach od K4 [kN]



Obr. 52: Poloha najviac namáhaného prútu v montážnom dieli 1

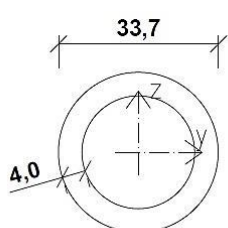
Vnútorné sily:

$$N_{Ed} = 7,07 \text{ kN}$$

Typ profilu:

Profil: TR 33,7 x 4,0

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



$$A = 0,373 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 4,19 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$w_{y,el} = w_{z,el} = 2,49 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$w_{y,pl} = w_{z,pl} = 3,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$I_t = 8,38 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

Trieda prierezu:

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

Pre trubkové profily platí:

$$d/t = 33,7/4,0 = 8,425 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,81 \rightarrow \text{Trieda prierezu 1}$$

Posúdenie na rovinný vzper:

$$\text{Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y:} \quad L_{cr,y} = 1,500 \text{ m}$$

$$\text{Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z:} \quad L_{cr,z} = 1,500 \text{ m}$$

Štíhlosť prútu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1,500}{0,011} = 141,36$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1,500}{0,011} = 141,36$$

Jednotková štíhlosť:

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlosť:

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{141,36}{76,40} = 1,85$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{141,36}{76,40} = 1,85$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,85 - 0,2) + 1,85^2] = 2,39$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,85 - 0,2) + 1,85^2] = 2,39$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,39 + \sqrt{2,39^2 - 1,85^2}} = 0,257 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{2,39 + \sqrt{2,39^2 - 1,85^2}} = 0,257 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

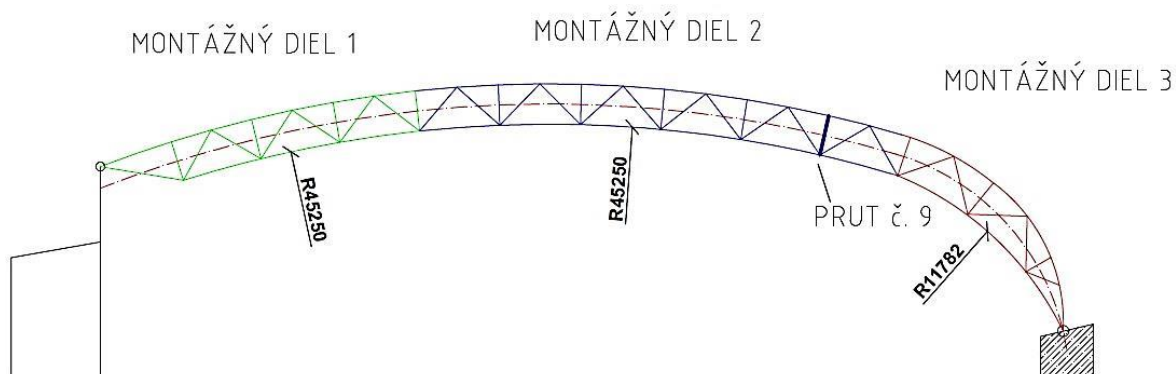
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,257 \cdot 0,37 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 34,04 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{7,07}{34,04} = 0,21 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

6.4.2. Zvislica – montážny diel 2

Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K6. Najviac namáhaná zvislica priehradového väzníka montážneho dielu č. 2 bol prút č. 9.



Obr. 53: Poloha najviac namáhaného prútu v montážnom dielci 2

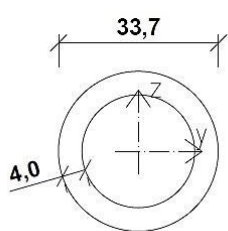
Vnútorne sily:

$$N_{Ed} = 6,05 \text{ kN}$$

Typ profilu:

Profil: TR 33,7 x 4,0

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



$$A = 0,373 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 4,19 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$w_{y,el} = w_{z,el} = 2,49 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$w_{y,pl} = w_{z,pl} = 3,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$I_t = 8,38 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

Trieda prierezu:

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

Pre trubkové profily platí:

$$d/t = 33,7/4,0 = 8,425 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,81 \rightarrow \text{Trieda prierezu 1}$$

Posúdenie na rovinný vzper:

$$\text{Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y:} \quad L_{cr,y} = 1,500 \text{ m}$$

$$\text{Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z:} \quad L_{cr,z} = 1,500 \text{ m}$$

Štíhlosť prútu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1,500}{0,011} = 141,36$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1,500}{0,011} = 141,36$$

Jednotková štíhlosť:

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlosť:

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{141,36}{76,40} = 1,85$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{141,36}{76,40} = 1,85$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,85 - 0,2) + 1,85^2] = 2,39$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,85 - 0,2) + 1,85^2] = 2,39$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,39 + \sqrt{2,39^2 - 1,85^2}} = 0,257 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \overline{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,39 + \sqrt{2,39^2 - 1,85^2}} = 0,257 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

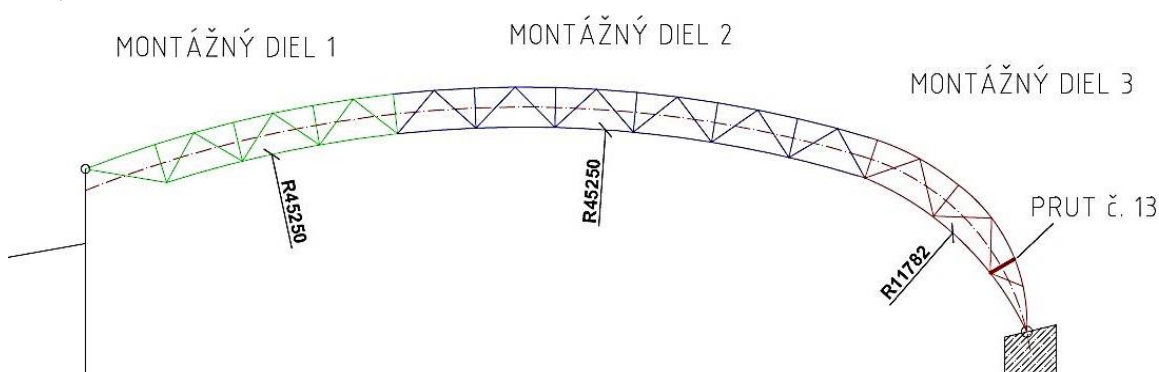
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,257 \cdot 0,37 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 34,04 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{6,05}{34,04} = 0,18 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

6.4.3. Zvislica – montážny diel 3

Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K1. Najviac namáhaná zvislica priehradového väzníka montážneho dielu č. 2 bol prút č. 12



Obr. 54: Poloha najviac namáhaného prútu v montážnom diele 3

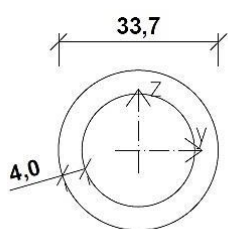
Vnútorne sily:

$$N_{Ed} = 25,23 \text{ kN}$$

Typ profilu:

Profil: TR 33,7 x 4,0

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



$$A = 0,373 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 4,19 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$w_{y,el} = w_{z,el} = 2,49 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$w_{y,pl} = w_{z,pl} = 3,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$I_t = 8,38 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

Trieda prierezu:

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

Pre trubkové profily platí:

$$d/t = 33,7/4,0 = 8,425 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,81 \rightarrow \text{Trieda prierezu 1}$$

Posúdenie na rovinný vzper:

$$\text{Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y:} \quad L_{cr,y} = 1,071 \text{ m}$$

$$\text{Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z:} \quad L_{cr,z} = 1,071 \text{ m}$$

Štíhlosť prútu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1,071}{0,011} = 100,93$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1,071}{0,011} = 100,93$$

Jednotková štíhlosť:

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlosť:

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{100,93}{76,40} = 1,32$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{100,93}{76,40} = 1,32$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,32 - 0,2) + 1,32^2] = 1,49$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,32 - 0,2) + 1,32^2] = 1,49$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,49 + \sqrt{1,49^2 - 1,32^2}} = 0,459 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \overline{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,49 + \sqrt{1,49^2 - 1,32^2}} = 0,459 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,459 \cdot 0,37 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 60,74 \text{ kN}$$

Posúdenie:

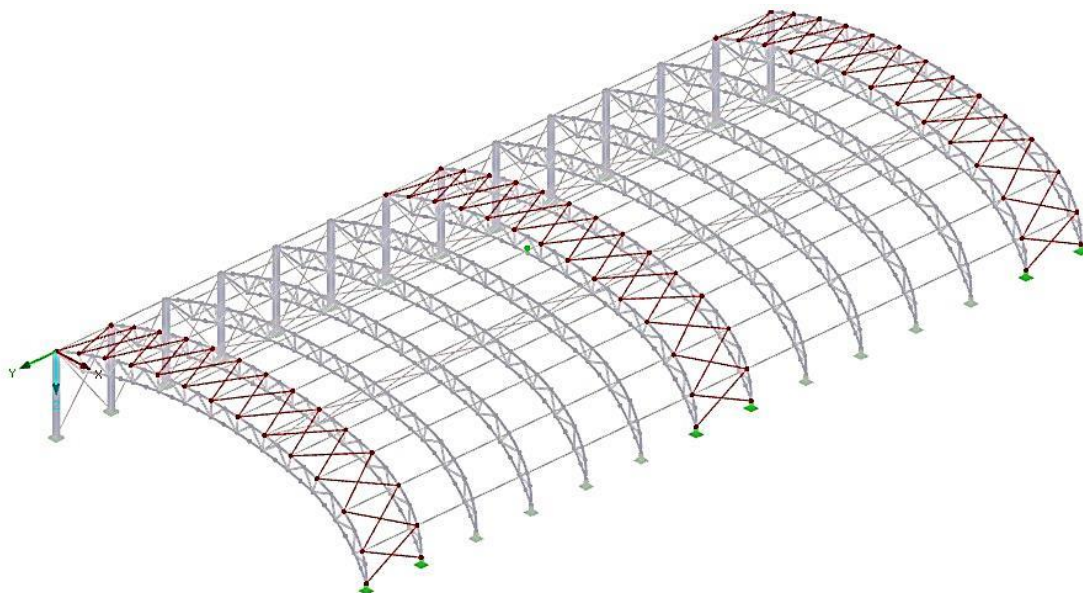
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{25,23}{60,74} = 0,42 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

7. Návrh a posúdenie stužidiel

V konštrukcii letiskového hangáru je využitý systém priečných a pozdĺžnych stužidiel. Pri návrhu jednotlivých prútov bol použitý program RFEM.

7.1. Priečne stužidlo

Hlavnou úlohou priečného stužidla je prevzatie všetkých pozdĺžnych účinkov na konštrukciu zastrešenia. Jedná sa o účinky od zaťaženia vetra a stabilitných síl v hornom páse väzníka. Pri výpočte a návrhu sú uvažované len ťahané prúty priehradového priečného stužidla (tlačené prúty uvažujeme vybočené). Na konštrukcii sa nachádzajú celkovo 3 priečne stužidlá – pri krajných väzníkoch a v strede.



Obr. 55: Poloha priečných stužidiel v konštrukcii letiskového hangáru

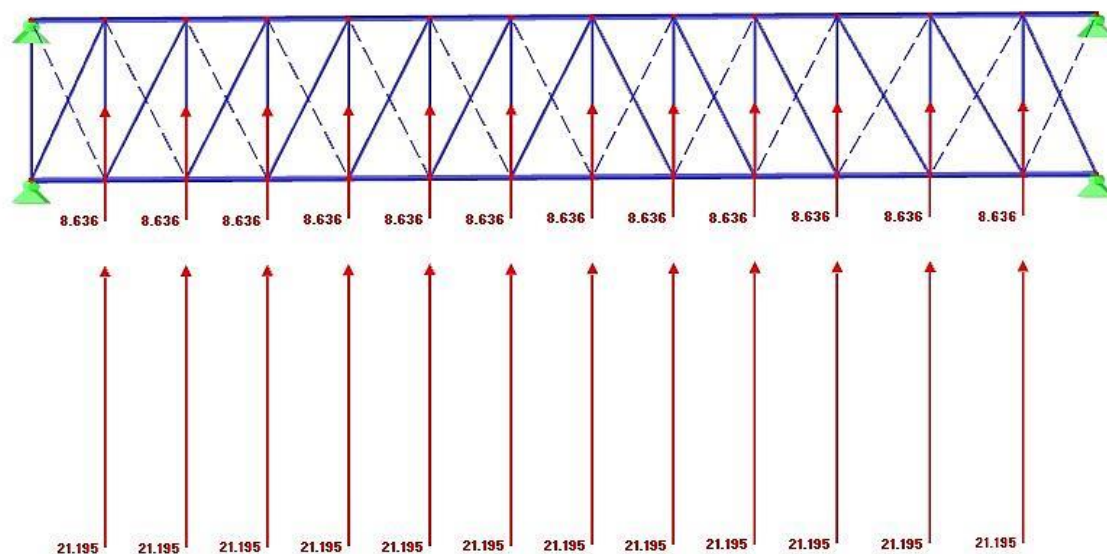
Pri výpočte účinkov na priečne stužidlá, bolo potrebné určiť zaťaženia od trenia vetru na povrch zastrešenia, pozdĺžne účinky vetra a stabilitné sily v horných pásoch väzníkov. Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K3 (účinky od zaťaženia priečného vetru z pravej strany, súčasne s otvorenými hangárovými vrátami a zaťažením snehom) na krajné stužidlo.

Výpočet stabilitných síl:

$$\bar{N} = \frac{\sum N_i \cdot l_i}{\sum l_i} = \frac{19877,5}{40,64} = 489,123 \text{ kN}$$

$$N_{st} = \frac{1}{100} \cdot \frac{\bar{N} \cdot n_v}{n_{st}} = \frac{1}{100} \cdot \frac{489,123 \cdot 13}{3} = 21,195 \text{ kN}$$

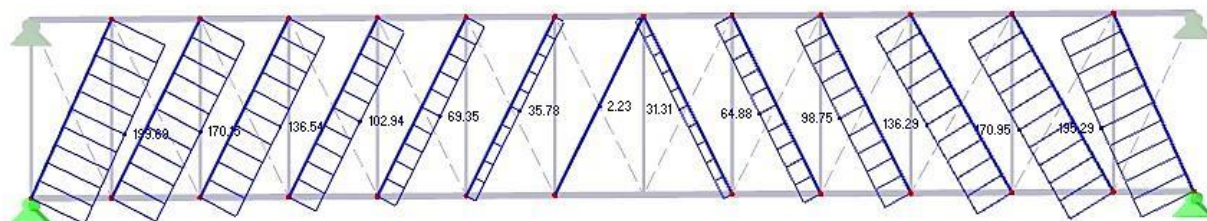
Účinok od zaťaženia vetrom – ZS11: $F = 8,636 \text{ kN}$



Obr. 56: Zatáženie priečného stužidla od účinkov stabilitných síl a priečneho vetra

7.1.1. Diagonály priečného stužidla

Pri návrhu diagonál priečného stužidla sú uvažované len ťahané prúty. Tlačené prúty (obr. 57) sú vyznačené čiarkovanou čiarou. Na účinky maximálnej ťahovej sily, boli nadimenzované všetky prúty priečného stužidla.



Obr. 57: Vnútorne sily na priečnom stužidle - osovú sily na diagonálach [kN]

Vnútorne sily:

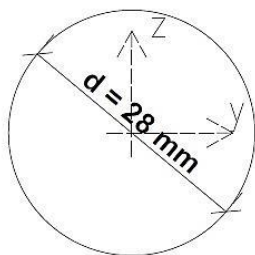
$$N_{Ed} = 199,69 \text{ kN}$$

Typ profilu:

Priečne stužidlo bolo navrhnuté ako ťahadlový systém od firmy Macalloy. Jedná sa o systém konštrukčných ťahadiel z oceli triedy S460. Konkrétne bol zvolený profil M30.

M30: Priemer ťahadla: $d = 28 \text{ mm}$

Minimálna medza klzu: 249 kN



$$A = 6,16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 30,17 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$w_{y,el} = w_{z,el} = 2,155 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$i_y = i_z = 0,070 \text{ m}$$

Posúdenie na ťah:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,62 \cdot 10^{-3} \cdot 460 \cdot 10^6}{1,0} = 285,20 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 0,62 \cdot 10^{-3} \cdot 610 \cdot 10^6}{1,25} = 272,30 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = \min(285,20; 272,30) = 272,30 \text{ kN}$$

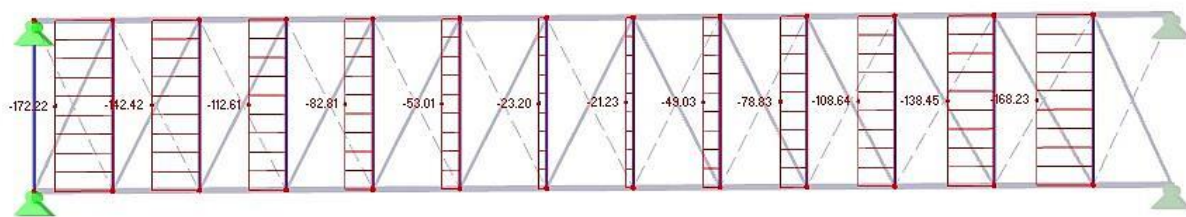
$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{199,69}{272,30} = 0,73 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Tabuľková únosnosť, ktorú udáva výrobca: $N_{Rd} = 249 \text{ kN}$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{199,69}{249,00} = 0,80 \leq 1,0$$

7.1.2. Medziväzníkové prúty

Prúty medzi hornými pásmi väzníkov sú navrhnuté na maximálnu tlakovú silu v prútoch, ktoré sú súčasťou priečného stužidla. Rovnaký profil je použitý u všetkých prútov medzi väzníkmi.



Obr. 58: Vnútné sily na priečnom stužidle - osové sily na prútoch medzi väzníkmi [kN]

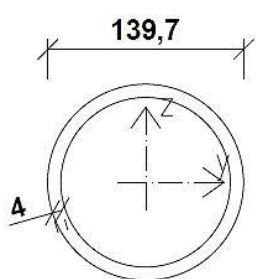
Vnútné sily:

$$N_{Ed} = 172,22 \text{ kN}$$

Typ profilu:

Profil: TR 139,7 x 4,0

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



$$A = 1,71 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 3,93 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$w_{y,el} = w_{z,el} = 5,62 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$w_{y,pl} = w_{z,pl} = 7,37 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I_t = 7,86 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Trieda prierezu:

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

Pre trubkové profily platí:

$$d/t = 139,7/4,0 = 34,93 \leq 70 \cdot \varepsilon^2 = 70 \cdot 0,81^2 = 45,93 \rightarrow \text{Trieda prierezu 2}$$

Posúdenie na rovinný vzper:

Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y: $L_{cr,y} = 6,000 \text{ m}$

Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z: $L_{cr,z} = 6,000 \text{ m}$

Štíhlosť prútu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6,000}{0,048} = 125,16$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6,000}{0,048} = 125,16$$

Jednotková štíhlosť:

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlosť:

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{125,16}{76,40} = 1,64$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{125,16}{76,40} = 1,64$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,64 - 0,2) + 1,64^2] = 1,99$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,64 - 0,2) + 1,64^2] = 1,99$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,99 + \sqrt{1,99^2 - 1,64^2}} = 0,320 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,99 + \sqrt{1,99^2 - 1,64^2}} = 0,320 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

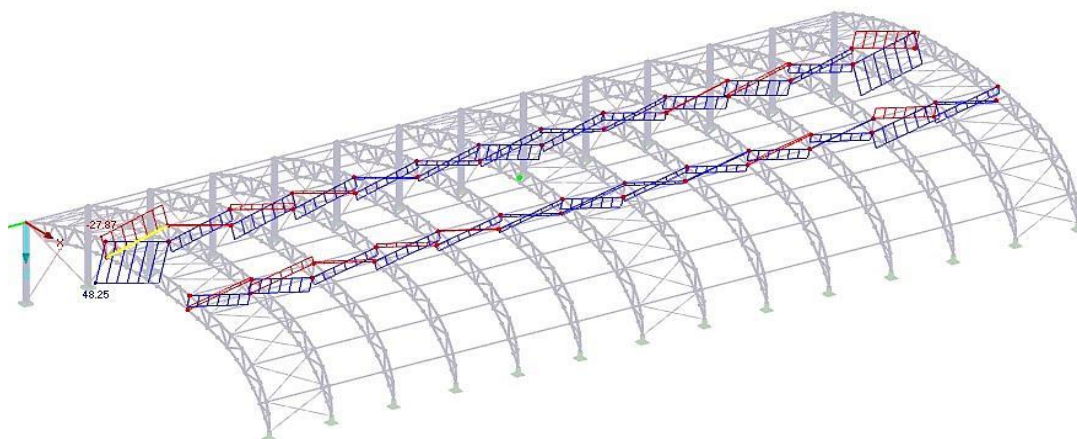
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,310 \cdot 1,71 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 194,09 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{172,22}{194,09} = 0,89 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

7.2. Vrcholové stužidlo

Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K4.



Obr. 59: Poloha najviac zaťaženeho prútu vrcholového stužidla a priebeh vnútorných síl

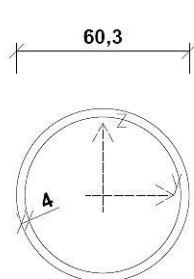
Vnútorné sily:

$$N_{Ed} = 27,87 \text{ kN}$$

Typ profilu:

Profil: TR 60,3 x 4,0

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



$$A = 0,71 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

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

$$W_{y,el} = W_{z,el} = 9,34 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 12,70 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$I_t = 5,64 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

Trieda prierezu:

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

Pre trubkové profily platí:

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

Posúdenie na rovinný vzper:

$$\text{Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y:} \quad L_{cr,y} = 3,093 \text{ m}$$

$$\text{Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z:} \quad L_{cr,z} = 3,093 \text{ m}$$

Štíhlosť prútu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,093}{0,020} = 154,65$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,093}{0,020} = 154,65$$

Jednotková štíhlosť:

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlosť:

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{154,65}{76,40} = 2,02$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{154,65}{76,40} = 2,02$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,02 - 0,2) + 2,02^2] = 2,73$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,02 - 0,2) + 2,02^2] = 2,73$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,73 + \sqrt{2,73^2 - 2,02^2}} = 0,259 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,73 + \sqrt{2,73^2 - 2,02^2}} = 0,259 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

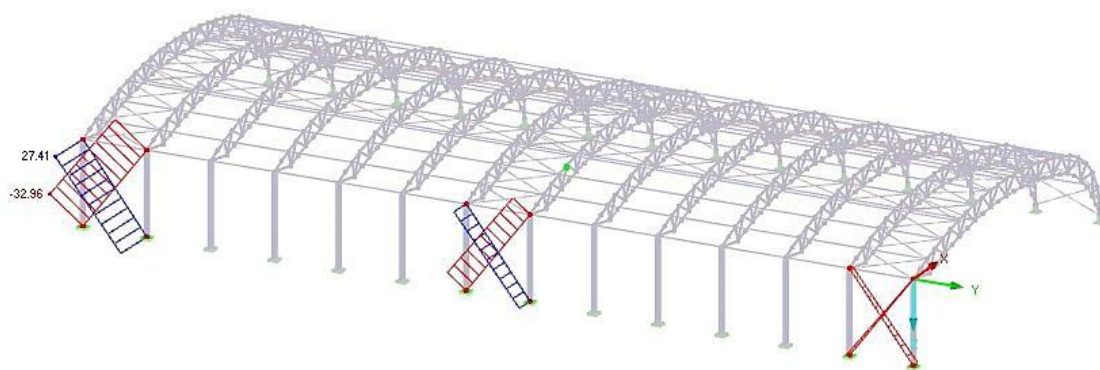
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,259 \cdot 0,71 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 65,28 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{27,87}{65,28} = 0,43 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

7.3. Stenové stužidlo

Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K9. Pri návrhu bol posudzovaný tlačný prút.



Obr. 60: Poloha a priebeh vnútorných síl na prútoch stenového stužidla

Vnútorné sily:

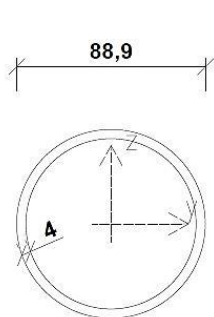
$$N_{Ed} = 32,96 \text{ kN}$$

Oceľová konštrukcia
letiskového hangáru

Typ profilu:

Profil: TR 88,9 x 4,0

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



$$A = 1,07 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 9,63 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_{y,el} = W_{z,el} = 2,17 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 2,89 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I_t = 1,93 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Trieda prierezu:

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

Pre trubkové profily platí:

$$d/t = 88,9/4,0 = 22,23 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,81 \rightarrow \text{Trieda prierezu 1}$$

Posúdenie na rovinný vzper:

Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y: $L_{cr,y} = 5,250 \text{ m}$

Vzperná dĺžka kolmo k osi z-z: $L_{cr,z} = 5,250 \text{ m}$

Štíhlosť prútu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5,250}{0,030} = 175,00$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5,250}{0,030} = 175,00$$

Jednotková štíhlosť:

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlosť:

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{175,00}{76,40} = 2,29$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{175,00}{76,40} = 2,29$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,29 - 0,2) + 2,29^2] = 3,34$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,29 - 0,2) + 2,29^2] = 3,34$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{3,34 + \sqrt{3,34^2 - 2,29^2}} = 0,173 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \overline{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3,34 + \sqrt{3,34^2 - 2,29^2}} = 0,173 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,173 \cdot 1,07 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 65,82 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{32,96}{65,82} = 0,50 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

8. Medzný stav použitelnosti

K výpočtu deformací bol využitý program RFEM. Hodnoty boli stanovené lineárnym výpočtom metódou konečných prvkov. Deformácie boli posudzované na limitné hodnoty podľa doporučených hodnôt podľa ČSN EN 1993 – 1 – 1.

8.1. Zvislý priehyb horného pásu

Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K2.1. Hodnota priehybu bola určená : $\delta = 78,5$ mm.

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

$$\delta_{max} = L/250 = 36\,000/300 = 120 \text{ mm}$$

$$\delta = 78,5 \leq \delta_{max} = 120$$

8.2. Zvislý priehyb spodného pásu

Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K2.1. Hodnota priehybu bola určená : $\delta = 79,0$ mm.

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

$$\delta_{max} = L/250 = 36\,000/300 = 120 \text{ mm}$$

$$\delta = 79,0 \leq \delta_{max} = 120$$

8.3. Zvislý priehyb medziväzníkového prútu

Ako najmenej priaznivá kombinácia bola určená kombinácia K2.1. Hodnota priehybu bola určená : $\delta = 4,1$ mm.

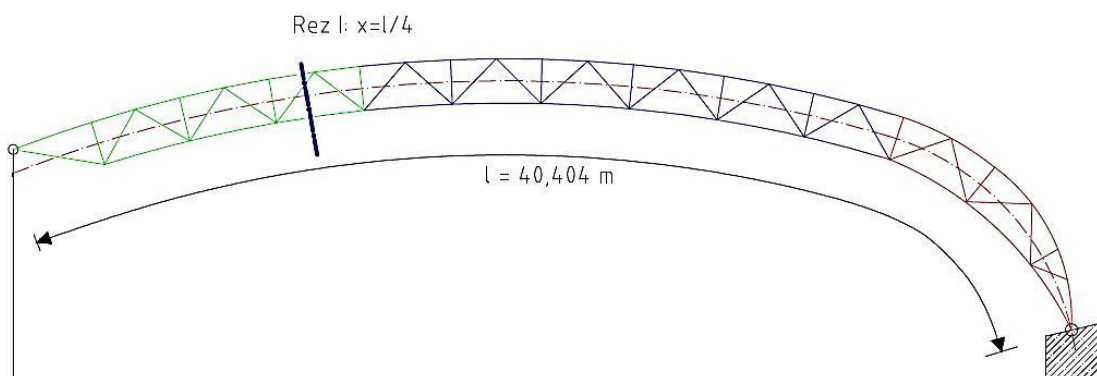
$$\delta \leq \delta_{max}$$

$$\delta_{max} = L/250 = 6\,000/300 = 20 \text{ mm}$$

$$\delta = 4,1 \leq \delta_{max} = 20$$

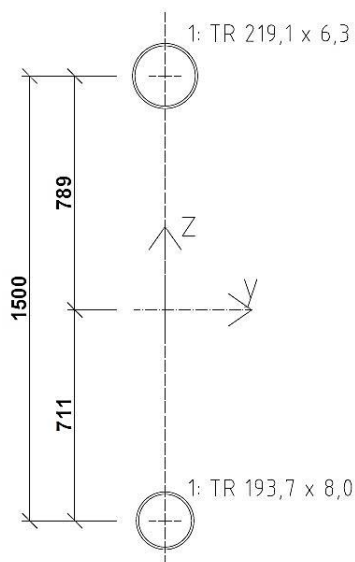
9. Stabilita oblúku

Stabilita oblúku ako celku proti vybočeniu v rovine väzníka vplyvom vzperného tlaku je posudzovaná bez prihliadnutia k počiatočným imperfekciám. Pri približnom posúdení na vzper pre $N_{x=L/4}$, je priehradový väzník uvažovaný ako jednopruťový oblúk s idealizovaným prierezom, ktorý je tvorený horným a dolným pásom väzníka. Väzník je uvažovaný ako kĺbovo uložený na oboch stranách. Z toho vyplýva: $\beta = 1,0$. Pre vybočenie v rovine väzníka platí: $L_{cr} = \beta \cdot \frac{\hat{l}}{2}$



Obr. 61: Dĺžka posudzovaného oblúku a poloha rezu

Idealizovaný prierez:



Prierez 1: TR 219,1 x 6,3

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

$$A_1 = 4,21 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 2,39 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Prierez 2: TR 193,7 x 8,0

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

$$A_2 = 4,67 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 2,02 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Vnútorne sily:

$$N_{Ed} = 894,70 \text{ kN}$$

Prierezové charakteristiky:

$$A = A_1 + A_2 = 4,21 \cdot 10^{-3} + 4,67 \cdot 10^{-3} = 8,88 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I = I_1 + I_2 + A_1 \cdot z_1 + A_2 \cdot z_2$$

$$I = 2,39 \cdot 10^{-5} + 2,02 \cdot 10^{-5} + 4,21 \cdot 10^{-3} \cdot 0,789 + 4,67 \cdot 10^{-3} \cdot 0,711 = 6,69 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

Posúdenie na vzperný tlak:

Vzperná dĺžka:

$$L_{cr} = \beta \cdot \frac{\hat{l}}{2} = 1,0 \cdot \frac{40,404}{2} = 20,202 \text{ m}$$

Štíhlosť prútu:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_i} = \frac{20,202}{0,868} = 23,27$$

Jednotková štíhlosť:

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlosť:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{23,27}{76,40} = 0,30$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,30 - 0,2) + 0,30^2] = 0,56$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,30^2}} = 0,976 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,976 \cdot 8,88 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 3078,01 \text{ kN}$$

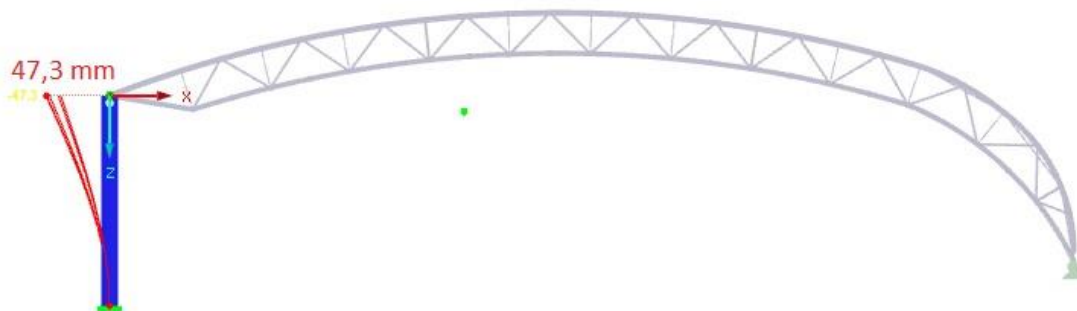
Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{894,70}{3078,01} = 0,29 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

10. Návrh a posúdenie stĺpu

10.1. Medzný stav použiteľnosti

Pri návrhu stĺpu je potrebné overiť podmienku prípustného vodorovného posunu špičky stĺpu. Pre daný posun rozhoduje kombinácia K2.1. Deformácia je určená od prevádzkového návrhového zaťaženia. K určení výslednej deformácie bol využitý program RFEM. Hodnota posunu bola určená : $\delta = 47,3$ mm.



Obr. 62: Vodorovný posun špičky stĺpu

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

$$\delta_{max} = h/150 = 7800/150 = 52 \text{ mm}$$

$$\delta = 47,3 \leq \delta_{max} = 52$$

10.2. Medzný stav únosnosti

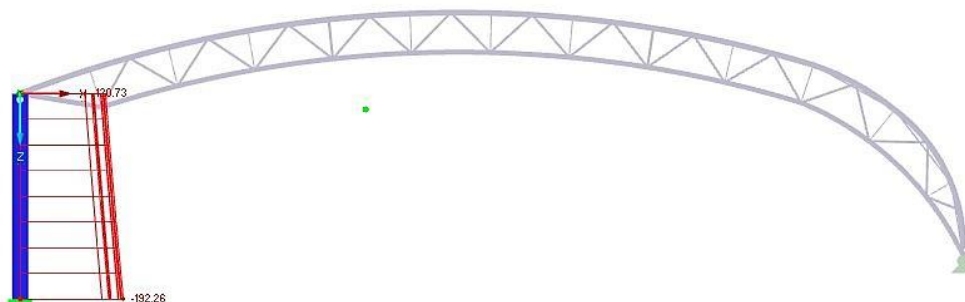
Vnútorne sily: pre kombináciu zaťažovacích stavov K3

$$N_{Ed} = 120,73 \text{ kN (v špičke)}$$

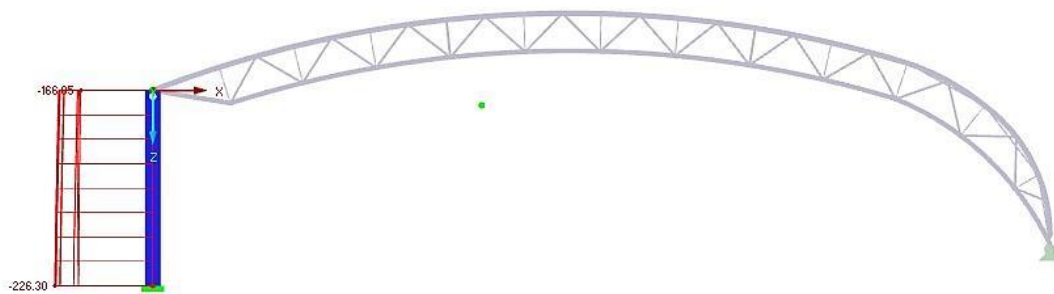
$$N_{Ed} = 192,26 \text{ kN (v päte)}$$

$$V_{Ed} = 226,30 \text{ kN (v päte)}$$

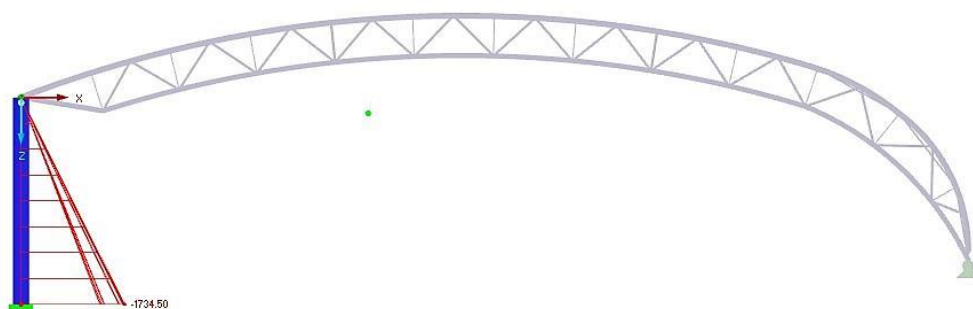
$$M_{Ed} = 1734,50 \text{ kNm (v päte)}$$



Obr. 63: Priebeh normálových sil na stĺpe [kN]



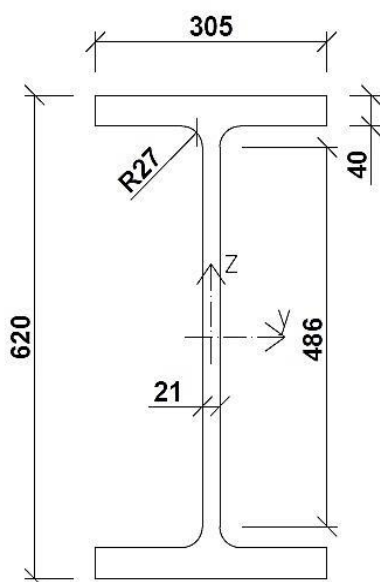
Obr. 64: Priebeh posúvajúcich síl na stĺpe [kN]



Obr. 65: Priebeh ohybových momentov na stĺpe [kNm]

Typ profilu:

Profil: HEM 600

Materiál: S 355 ($f_y = 235 \text{ MPa}$, $f_u = 360 \text{ MPa}$)

$$A = 36,40 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 2,37 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$w_{y,el} = 7,66 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$w_{y,pl} = 8,77 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$i_y = 256 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$I_z = 190 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$w_{z,el} = 1,24 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$w_{z,pl} = 1,93 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$i_z = 72,20 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$I_t = 15,60 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_w = 15,90 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$$

Trieda prierezu:

Podľa ČSN EN 1993 – 1 – 1: Ohyb (S355): 1

Tlak (S355): 1

Posúdenie na rovinný vzper:Vzperná dĺžka kolmo k osi y-y: $L_{cr,y} = 11,638 \text{ m}$

Pomocou prídavného modulu RF – Stability programu RFEM, bol určený súčiniteľ vzpernej dĺžky β na hodnotu $\beta = 1,492$. Z toho vyplýva:

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 1,492 \cdot 7,800 = 11,638 \text{ m}$$

Vzperná dĺžka kolmo k ose z-z: $L_{cr,z} = 7,800 \text{ m}$

Štíhlosť prútu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{11,638}{0,256} = 45,46$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7,80}{0,072} = 108,33$$

Jednotková štíhlosť:

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,40$$

Pomerná štíhlosť:

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{45,46}{76,40} = 0,59$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{108,33}{76,40} = 1,41$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,59 - 0,2) + 0,59^2] = 0,72$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,41 - 0,2) + 1,41^2] = 1,69$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,72 + \sqrt{0,72^2 - 0,59^2}} = 0,89 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,69 + \sqrt{1,69^2 - 1,41^2}} = 0,38 \leq 1,0$$

Vzperná únosnosť prútu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,38 \cdot 36,40 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 4849,34 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{192,26}{4849,34} = 0,04 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Určenie kritického momentu M_{cr} :

Tlačená pásnica nie je v priečnom smere podoprená. Stĺp musí byť preto posúdený s vplyvom klopenia od ohybového momentu.

$$L = 7,800 \text{ m}$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 0,7$$

Podľa normy ČSN EN 1993 – 1 – 1 boli určené hodnoty súčiniteľov $C_{1,0}$ a $C_{1,1}$ pre k_z a trojuholníkový priebeh ohybových momentov na:

$$C_{1,0} = 1,77$$

$$C_{1,1} = 1,85$$

Výpočet kritického momentu:

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{0,7 \cdot 7800} \sqrt{\frac{210000 \cdot 15,90 \cdot 10^{-6}}{81000 \cdot 15,60 \cdot 10^{-6}}} = 0,935$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot k_{wt} = 1,77 + (1,85 - 1,77) \cdot 0,935 = 1,84 \leq C_{1,1} = 1,85$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + k_{wt}^2} = \frac{1,84}{1,0} \sqrt{1 + 0,935^2} = 2,520$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 2,520 \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^3 \cdot 190 \cdot 10^6 \cdot 81000 \cdot 1560 \cdot 10^3}}{7800} = 2768,15 \text{ kNm}$$

Pomerná štíhlosť:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{8,77 \cdot 10^{-3} \cdot 355}{2768,15 \cdot 10^6}} = 1,06$$

Súčiniteľ klopenia: - krivka vzpernej pevnosti b (valcovaný nosník, $h/b > 2$)

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,06 - 0,2) + 1,06^2] = 1,20$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,20 + \sqrt{1,20^2 - 1,06^2}} = 0,57 \leq 1,0$$

Interakcia ohybu a tlaku:

Súčiniteľ c_m ekvivalentného konštantného momentu:

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

$$\alpha_h = M_h / M_s = 0/1734,50 = 0,00$$

$$C_{my} = 0,90 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,00 = 0,90$$

Súčiniteľ c_{mLT} : určený pre trojuholníkový priebeh ohybového momentu.

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

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

Únosnosti prierezu:

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot w_{y,pl} = 355 \cdot 10^6 \cdot 8,77 \cdot 10^{-3} = 3113,35 \text{ kNm}$$

$$N_{R,k} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^6 \cdot 36,40 \cdot 10^{-3} = 12922,00 \text{ kN}$$

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

(výpočet podľa normy ČSN EN 1993 – 1- 1, tab. B1)

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \frac{0,90(1 + (0,59 - 0,2) \frac{192,26}{0,89 \cdot \frac{12922,00}{1,0}})}{1,8} \leq 0,90(1 + 0,8 \frac{192,26}{0,89 \cdot \frac{12922,00}{1,0}}) \right.$$

$$k_{yy} = 0,91$$

$$k_{zy} = \min \left\{ 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) \frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25) \frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1}} \right.$$

$$k_{zy} = \min \left\{ 1 - \frac{0,1 \cdot 1,41}{(0,6-0,25)} \frac{192,26}{\frac{0,38 \cdot 12922,00}{1,0}} \leq 1 - \frac{0,1}{(0,6-0,25)} \frac{192,26}{\frac{0,38 \cdot 12922,00}{1,0}} \right.$$

$$1,4$$

$$k_{zy} = 0,89$$

Posúdenie:

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

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

$$\frac{192,26}{0,89 \cdot \frac{12922,00}{1,0}} + 0,91 \frac{1734,50}{0,57 \cdot \frac{3113,35}{1,0}} + 0 \leq 1,0$$

$$\frac{192,26}{0,38 \cdot \frac{12922,00}{1,0}} + 0,89 \frac{1734,50}{0,57 \cdot \frac{3113,35}{1,0}} + 0 \leq 1,0$$

$$0,04 + 0,87 = 0,91 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

11. Pätkä stĺpu

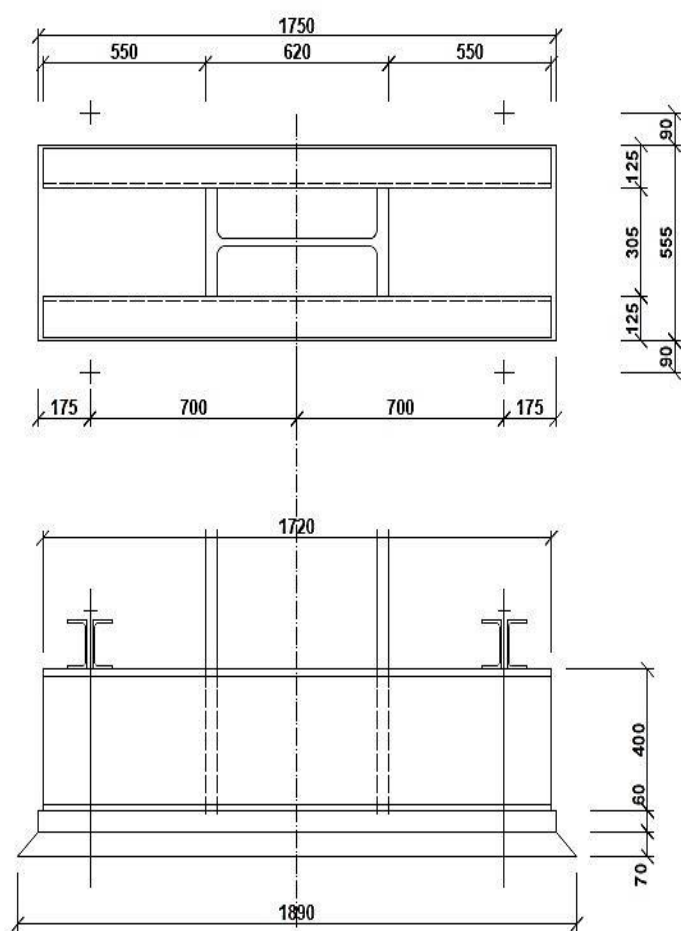
Pätkä stĺpu je navrhnutá votknutá. Je posudzovaná na 2 kombinácie zaťaženia:

- kombinácia s maximálnym momentom a súčasnou tlakovou silou (K3)
- kombinácia s maximálnym pomerom M_{Ed}/N_{Ed} (K3), prípadne s minimálnou tlakovou silou (K8)

Reakcie v pätkách:

	$V_{Ed} = R_y$	$N_{Ed} = R_z$	M_{Ed}
	kN	kN	kNm
K3	235,04	192,26	1734,5
K4	179,16	271,87	1513,9
K8	10,6	19,98	70,51

Geometria pätky:



Ocel: S 355 ($f_y = 235$ MPa,

$f_u = 360$ MPa)

$a = 1750$ mm

$b = 555$ mm

$t_p = 60$ mm

$r_t = 700$ mm

Beton C 20/25: $f_{ck} = 20$ MPa

Výška podliatia: 70 mm

Rozmery betónovej pätky:

$a_c \cdot b_c = 2700$ mm x 1600 mm

$h = 1200$ mm

Započítateľné rozmery:

$a_1 = 2700$ mm

$b_1 = 1600$ mm

Súčiniteľ kontrakcie napätia:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 b_1}{a b}} = \sqrt{\frac{2700 \cdot 1600}{1750 \cdot 555}} = 2,11$$

Návrhová pevnosť betónu:

$$f_{jd} = \frac{2}{3} \frac{k_j f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \frac{2,11 \cdot 20}{1,5} = 18,76 \text{ MPa}$$

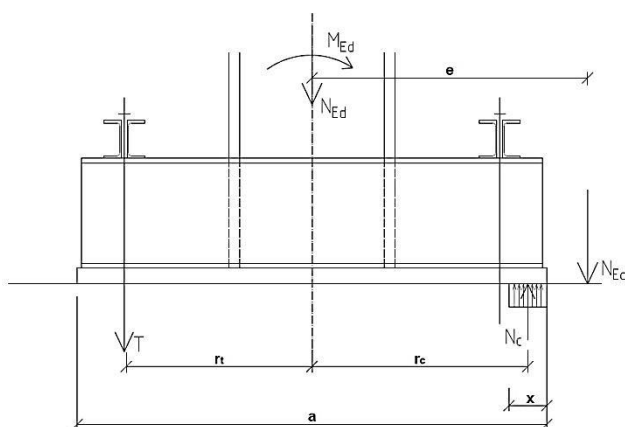
Presah dosky:

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 f_{jd}}} = 60 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 18,76}} = 150,7 \text{ mm}$$

Účinná šírka pätného plechu:

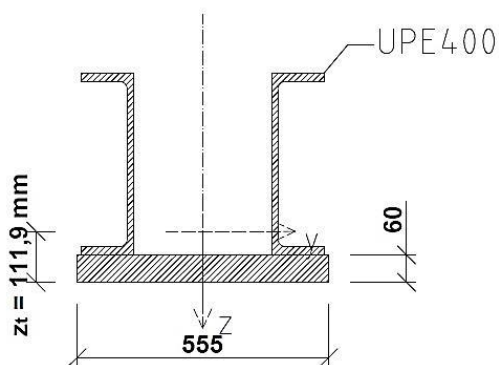
$$b_{eff} = 2 \cdot 115 + 2 \cdot c = 2 \cdot 115 + 2 \cdot 150,7 = 531,4 \text{ mm}$$

Výpočet síl do skrutiek:



	K3	K4	K8
M_{ed} [kNm]	1734,5	1513,9	70,5
N_{ed} [kN]	192,3	271,9	20,0
e [mm]	9021,6	5568,5	3529,0
x [mm]	119,0	108,5	5,4
N_c [kN]	1233,3	1120,6	53,7
T [kN]	1041,1	848,8	33,8

Prierez pätky:



Pätkový plech: 60 x 555 mm

Výstuhy 2 x UPE400:

$$A = 2 \cdot 9,19 \cdot 10^{-3} = 0,0184 \text{ m}^2$$

$$I_y = 2 \cdot 210 \cdot 10^{-6} = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$A_{vz} = 2 \cdot 5,62 \cdot 10^{-3} = 0,011 \text{ m}^2$$

Zvarený prierez:

$$A = 60 \cdot 555 + 18\,400 = 51\,700 \text{ mm}^2$$

$$z_T = \frac{\sum A_i z_i}{A} = \frac{60 \cdot 555 \cdot 30 + 18\,400 \cdot (\frac{400}{2} + 60)}{51\,700} = 111,9 \text{ mm}$$

$$I_y = \frac{60^3 \cdot 555}{12} + 60 \cdot 555 \cdot (111,9 - 30)^2 + 2 \cdot 210 \cdot 10^6 + 18\,400 \cdot (\frac{400}{2} - 111,9)^2$$

$$I_y = 796,17 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Prierez pätky pôsobí ako konzola namáhaná silou v skrutkách T a silou v betóne N_c .

- tlačaná strana pätky:

$$M_l = N_c \left(0,565 - \frac{x}{2}\right) = 1233,3 \cdot \left(0,565 - \frac{0,119}{2}\right) = 623,43 \text{ kNm}$$

- ťahaná strana pätky:

$$M_p = T \cdot 0,390 = 1041,1 \cdot 0,390 = 406,03 \text{ kNm}$$

Posúdenie prierezu pätky:

$$w_{y,h} = \frac{I_y}{z_h} = \frac{796,17 \cdot 10^6}{460 - 111,9} = 2,29 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

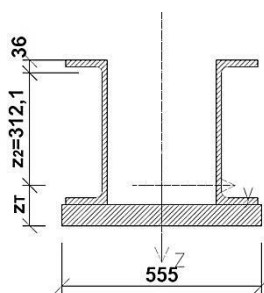
$$w_{y,d} = \frac{I_y}{z_d} = \frac{796,17 \cdot 10^6}{111,9} = 7,12 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_h = \frac{M_{max}}{w_{y,h}} = \frac{623,43}{2,29 \cdot 10^6} = 272,24 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = \frac{V_{max}}{A_{vz}} = \frac{1233,3}{11000} = 112,12 \text{ MPa} < \frac{355}{\sqrt{3}} = 204,96 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = 112,12 \text{ MPa} > \frac{204,96}{2} = 102,48 \text{ MPa} \rightarrow \text{Kombinácia M + V}$$

Normálové napätie v bode 2:



σ
272,24 MPa
244,39 MPa

$$\sigma_2 = \frac{M_{max}}{I_y} z_2 = \frac{623,43}{796,17 \cdot 10^6} 312,1 = 244,39 \text{ MPa}$$

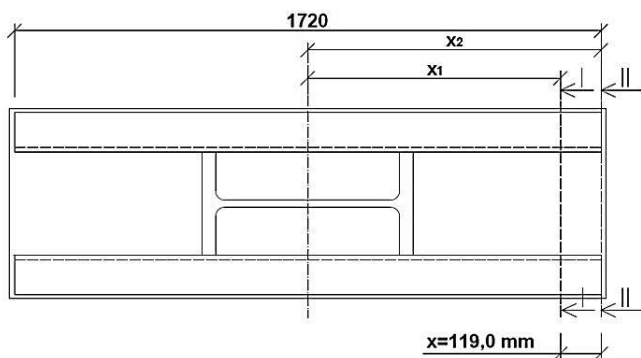
$$\sqrt{\sigma_2^2 + 3\tau^2} = \sqrt{244,39^2 + 3 \cdot 112,12^2} =$$

$$= 312,15 \text{ MPa} < 335 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Pripojenie pozdĺžnych výstuh k pätkovému plechu:

Sú navrhnuté kútové zvary $a = 6$ mm. Na každú výstuhu UPE180 pripadajú 2 zvary.

Posudzované sú 2 rezy: Rez I-I – na líci stĺpu (max. sila V_p) a Rez II-II – na konci pätky (najväčší vplyv momentu M_{Ed}). Pri posudzovaní rozhoduje kombinácia K3.



Vnútorne sily:

$$N_{Ed} = 192,3 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1734,5 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 226,3 \text{ kNm}$$

$$V_p = 1041,1 \text{ kN}$$

Napätie v zvaroch:

$$\tau_{||} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} + \frac{V_p S_{f,y}}{I_y^4 a_{we}}; \sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} x_i; \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \sigma_{we} / \sqrt{2}$$

$$L = 1720 - 2 \cdot a = 1720 - 2 \cdot 6 = 1708 \text{ mm}$$

$$A_{we} = 4 \cdot 6 \cdot 1708 = 40992 \text{ mm}^2$$

$$I_{we} = 4 \cdot 5/12 \cdot 1708^3 = 8304,45 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$S_{f,y} = 60 \cdot 555 \cdot (111,9 - 30) = 2,727 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Rez I-I:

$$\tau_{||} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} + \frac{V_p S_{f,y}}{I_y^4 a_{we}} = \frac{226300}{40992} + \frac{1041100 \cdot 2,727 \cdot 10^6}{796,17 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 6} = 5,5 + 148,6 = 154,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} x_i = \frac{192300}{40992} + \frac{1734,5}{8304,45 \cdot 10^6} (875 - 119) = 4,7 + 157,9$$

$$\sigma_{we} = 162,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{162,6}{\sqrt{2}} = 114,98 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} = \sqrt{114,98^2 + 3(114,98^2 + 154,1^2)} = 352,31 \text{ MPa}$$

$$352,31 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,8 \cdot 1,25} = 490 \text{ MPa}$$

Rez II-II:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} + 0 = 5,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{192300}{40992} + \frac{1734,5}{8304,45 \cdot 10^6} 860 = 4,7 + 179,6 = 184,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{184,3}{\sqrt{2}} = 130,32 \text{ MPa}$$

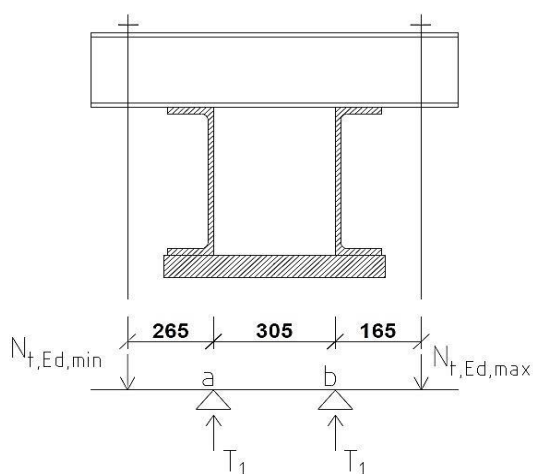
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{130,32^2 + 3(130,32^2 + 5,5^2)} = 260,81 \text{ MPa}$$

$$260,81 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,8 \cdot 1,25} = 490 \text{ MPa}$$

Zvary pozdĺžnych výstuh vyhovujú.

Návrh a posúdenie kotviacich skrutiek:

Pri určení pôsobiacej sily do jednej skrutky je potrebné rešpektovať toleranciu v osadení skrutiek, ktorú uvažujeme $\pm 50 \text{ mm}$. Maximálnu silu do skrutky $N_{t,Ed,max}$ určíme z momentovej podmienky k pôsobisku sily $N_{t,Ed,min}$. Pri návrhu rozhoduje kombinácia s maximálnou silou $T=1041,1 \text{ kN}$ – K3.



$$T_I = \frac{T_{max}}{2} = \frac{1041,1}{2} = 520,55 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed,max} = \frac{520,55(265+570)}{735} = 591,4 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed,min} = 1041,1 - 591,4 = 449,7 \text{ kN}$$

Návrh kotviacich skrutiek: M64 x 4 – 5.8.

$$D = 70 \text{ mm}; A = 3848 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 2851 \text{ mm}^2$$

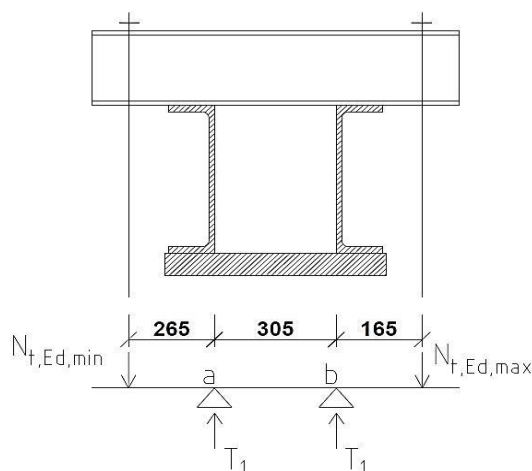
Porušenie v mieste závitú:

$$F_{t,Rd} = 0,85 \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{u,b}}{\gamma_{M2}} = 0,85 \frac{0,9 \cdot 2851 \cdot 500}{1,25} = 1026,36 \text{ kN} > N_{t,Ed,max} = 591,4 \text{ kN}$$

Porušenie v mieste drieku:

$$F_{t,Rd} = \frac{A f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{3848 \cdot 400}{1,0} = 1539,20 \text{ kN}$$

Kotviace skrutky vyhovujú.

Návrh a posúdenie kotviaceho priečniku:

Statické schéma priečniku je naznačené na obrázku. Jedná sa o prostý nosník s previslými koncami.

$$M_{a,d} = 449,7 \cdot 0,265 = 119,17 \text{ kNm}$$

$$V_{a,d} = 449,7 \text{ kN}$$

$$M_{b,d} = 591,4 \cdot 0,165 = 97,58 \text{ kNm}$$

$$V_{b,d} = 591,4 \text{ kN}$$

$$\text{Návrh: } 2 \times \text{U220: } w_{pl,y} = 2 \cdot 281 \cdot 10^3 = 562 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A_{v,z} = 2 \cdot 1580 = 3160 \text{ mm}^2$$

trieda prierezu pre ohyb: 1

Posúdenie:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{3160 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 647,67 \text{ kN} > V_{\max,d} = 591,4 \text{ kN} \wedge < 2 \cdot 591,4 \text{ kN}$$

Je potrebné posúdiť prierez na kombináciu V + M.

$$M_{pl,Rd} = 562 \cdot 10^3 \cdot 355 = 199,51 \text{ kNm} > M_{Ed,\max} = 119,17 \text{ kNm}$$

Prierez v bode a:

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot 449,7}{647,67} - 1 \right)^2 = 0,15$$

$$M_{V,Rd} = \left(W_{pl} - \frac{\rho \cdot A_p^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot f_{yd} = \left(562 \cdot 10^3 - \frac{0,15 \cdot 3160^2}{4 \cdot 2 \cdot 12} \right) \cdot 355 = 193,97 \text{ kNm}$$

$$M_{V,Rd} = 193,97 > 119,17 \text{ kNm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Prierez v bode b:

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot 591,4}{647,67} - 1 \right)^2 = 0,68$$

$$M_{V,Rd} = \left(W_{pl} - \frac{\rho \cdot A_p^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot f_{yd} = \left(562 \cdot 10^3 - \frac{0,68 \cdot 3160^2}{4 \cdot 2 \cdot 12} \right) \cdot 355 = 174,40 \text{ kNm}$$

$$M_{V,Rd} = 174,40 > 97,58 \text{ kNm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Prenos vodorovnej posúvajúcej sily do betónovej pätky:

Rozhoduje kombinácia K3, kde posudzujeme najväčšiu vodorovnú reakciu a minimálnu tlakovú silu.

$$R_{y,Ed} = 226,3 \text{ kN}$$

$$N_c = 192,26 \text{ kN}$$

$$\text{Súčiniteľ trenia: } \mu = 0,2$$

Šmyková únosnosť v škáre medzi betónom a oceľou:

$$V'_{Ed} = \mu N_c = 0,2 \cdot 192,26 = 38,452 \text{ kN} < V_{Ed} = 226,3 \text{ kN}$$

Vplyv uloženia skrutiek:

$$N'_c = N_c + 0,25 \cdot A_s f_{yd} = 192,26 + 4 \cdot 0,25 \cdot 2851 \cdot 355 = 1204,37 \text{ kN}$$

$$\mu N'_c = 0,2 \cdot 1204,37 = 240,87 \text{ kN} > V_{Ed} = 226,3 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Overenie únosnosti betónu

Pri návrhu kotvenia stĺpu je potrebné overiť napätie v pätkovej škáre pätky. Uvažuje sa s plastickým rozdelením napätia v základovej škáre. Pevnostná trieda betónu je C 20/25.

Charakteristika betónu:

Pevnosť betónu v tlaku:

$$f_{jd} = \frac{2}{3} \frac{k_j f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \frac{2,11 \cdot 20}{1,5} = 18,76 \text{ MPa}$$

Pôsobiacie sily:

$$N_c = 1233,3 \text{ kN}$$

Napätie v pätkovej škáre:

$$A = x \cdot b = 0,119 \cdot 0,555 = \text{m}^2$$

$$\sigma_{Ed} = \frac{N_c}{A} = \frac{1233,3}{0,066} = 18,64 \text{ MPa}$$

Posúdenie:

$$\frac{\sigma_{Ed}}{f_{j,d}} \leq 1,0 \quad \frac{18,64}{18,76} = 0,99 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

12. Kotvenie väzníka

Hodnoty reakcií od najmenej priaznivých kombinácií zaťaženia:

	$V_{Ed} = R_x$	$N_{Ed} = R_z$
	kN	kN
K3	200,88	326,63
K2	224,54	271,41
K8	54,01	97,86 (ťah)

12.1. Návrh a posúdenie čapového spoja:

Popis čapu:

Materiál: Oceľ S890: $f_{y,p} = 890 \text{ MPa}$; $f_{u,p} = 940 \text{ MPa}$

$$d_0 = 34 \text{ mm}$$

$$d = 36 \text{ mm}$$

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 17^2 = 0,91 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$n = 2 \text{ (počet strihových rovín)}$$

Únosnosť čapu v strihu:

Strihová sila: $F_{v,Ed} = R_z = 326,63 \text{ kN}$

Únosnosť čapu v strihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{u,p} A}{\gamma_{M2}} n = \frac{0,6 \cdot 940 \cdot 10^6 \cdot 0,91 \cdot 10^{-3}}{1,25} 2 = 821,18 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{326,63}{821,18} = 0,40 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Popis spojovaných častí:

Materiál: Oceľ S 355: $f_y = 355 \text{ MPa}$; $f_u = 490 \text{ MPa}$

$$a = 20,0 \text{ mm}$$

$$b = 30,0 \text{ mm}$$

$$c = 2,0 \text{ mm}$$

$$t = \min (2a; b) = \min (2 \cdot 20; 30) = 30 \text{ mm}$$

Únosnosť spojovaných častí v otlačení:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,5 \cdot 0,030 \cdot 0,036 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 575,10 \text{ kN}$$

Sila spôsobujúca otlačenie spojovaných častí:

$$F_{b,Ed} = 326,63 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{326,63}{575,10} = 0,57 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnosť čapového spoja v ohybe:

Ohybový moment pôsobiaci v čape: - podľa normy ČSN EN 1993 – 1 – 8:

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} R_{z,max} (b + 4c + 2a) = \frac{1}{8} 326,63 \cdot 10^3 \cdot (30 + 4 \cdot 2 + 2 \cdot 20) = 3,18 \text{ kNm}$$

Únosnosť čapu v ohybe:

$$W_{el} = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 0,034^3}{32} = 3,859 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{y,p}}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,5 \cdot 3,859 \cdot 10^{-6} \cdot 940 \cdot 10^6}{1,0} = 5,44 \text{ kNm}$$

Posúdenie:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{3,18}{5,44} = 0,59 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnosť čapu pri kombinácii strihu a ohybu:

Podmienka posúdenia:

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

$$\left[\frac{3,18}{5,44} \right]^2 + \left[\frac{326,63}{821,18} \right]^2 = 0,34 + 0,17 = 0,51 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

12.2. Návrh a posúdenie kotviacich skrutiek**Popis kotviacich skrutiek:**FISCHER RG M 24 x 300 – 6.8 ($f_{u,b} = 600 \text{ MPa}$; $f_{y,b} = 480 \text{ MPa}$) $d = 24 \text{ mm}$ $d_0 = 28 \text{ mm}$ $A_s = 353 \text{ mm}^2$ $n = 4 \text{ kusy} = \text{celkový počet skrutiek}$ $m = 2 \text{ rady}$ **Únosnosť v ťahu:**

Ťahová sila v najviac namáhanej skrutke (uvažovaný vplyv páčenia)

$$M_{y,Ed} = R_x \cdot e = 224,54 \cdot 0,15 = 33,68 \text{ kNm}$$

$$F_{t,Ed} = \left(\frac{R_z^+}{n} + \frac{M_{y,Ed} r_{x,1}}{m \sum r_{x,i}^2} + \frac{M_{x,Ed} r_{y,1}}{m \sum r_{y,i}^2} \right) \gamma_p = \left(\frac{0}{4} + \frac{33,68 \cdot 340}{2 \cdot 340^2} + \frac{0 \cdot 200}{2 \cdot 200^2} \right) \cdot 1,33$$

$$F_{t,Ed} = 65,87 \text{ kN}$$

Únosnosť 1 skrutky v ťahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{u,b} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 600 \cdot 353}{1,25} = 152,50 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{65,87}{152,50} = 0,43 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnosť v strihu:

Sila v 1 skrutke:

$$F_{V,Ed} = \frac{\sqrt{R_x^2 + R_y^2}}{n} = \frac{\sqrt{224,54^2 + 0^2}}{4} = 56,14 \text{ kN}$$

Únosnosť skrutky v strihu:

$$F_{V,Rd} = \frac{\alpha_v f_{u,b} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 600 \cdot 353}{1,25} = 101,66 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{56,14}{101,66} = 0,55 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Kombinácia strihu a ťahu:

Posúdenie:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{56,14}{101,66} + \frac{65,87}{1,4 \cdot 152,50} = 0,55 + 0,31 = 0,86 \leq 1,0$$

Skrutka vyhovuje na kombináciu strihu a ťahu.

Charakteristika pätkovej dosky:

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

$t = 30$ mm

$a = 60$ mm

$b = 85$ mm

Rozstupy a vzdialenosti od okrajov:

$$e_1 = 60,00 \text{ mm} \geq 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 27 = 32,4 \text{ mm}$$

$$e_2 = 60,00 \text{ mm} \geq 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 27 = 32,4 \text{ mm}$$

$$p_1 = 200,00 \text{ mm} \geq 1,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 27 = 59,4 \text{ mm}$$

$$p_2 = 200,00 \text{ mm} \geq 1,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 27 = 59,4 \text{ mm}$$

Únosnosť v otláčení:

Únosnosť dosky v otláčení:

$$k_1 = \min(2,5; 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7) = \min(2,5; 4,5; 8,7) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(1; \frac{f_{u,b}}{f_u}; \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min(1; 1,22; 0,74; 2,22) = 0,74$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 490 \cdot 24 \cdot 30}{1,25} = 522,14 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{56,14}{552,14} = 0,11 < 1 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnosť v pretlačení:

Únosnosť dosky v pretlačení:

$$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \pi \cdot 0,036 \cdot 0,030 \cdot \frac{490 \cdot 10^6}{1,25} = 798,01 \text{ kN}$$

Posúdenie:

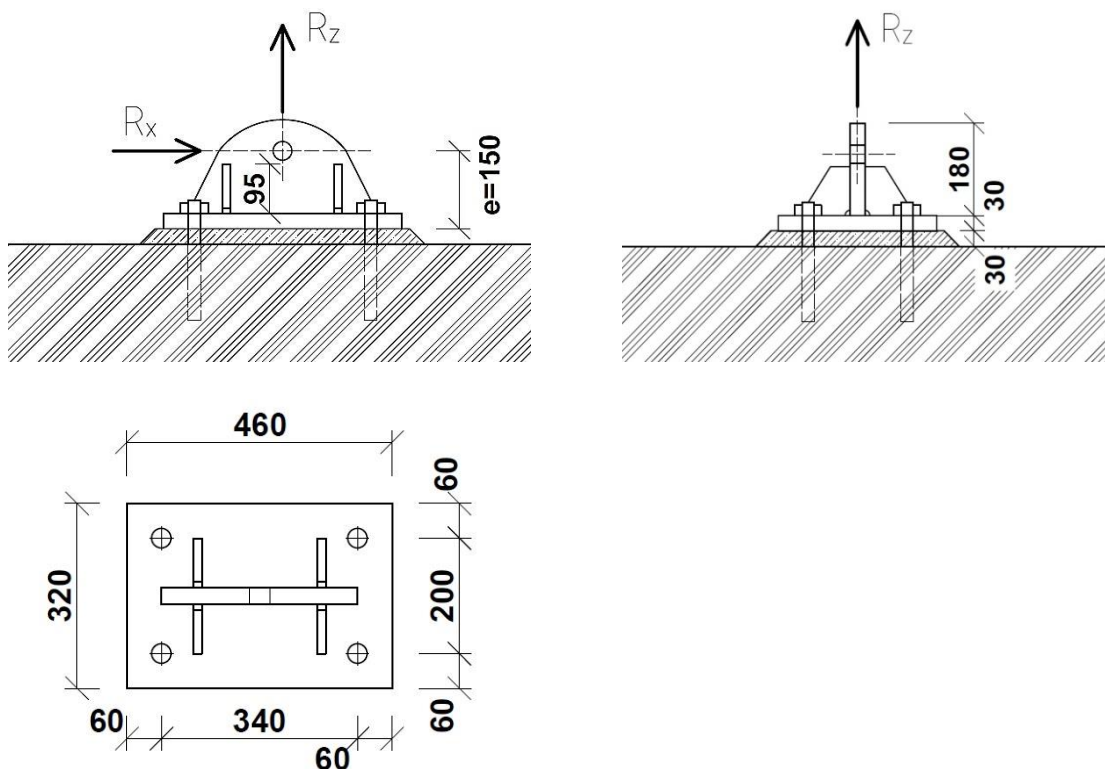
$$\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{65,87}{798,01} = 0,08 < 1 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Vplyv páčenia pätkovej dosky:

$$t_e = 4,3 \sqrt[3]{\frac{bd^2}{a}} = 4,3 \sqrt[3]{\frac{85 \cdot 24^2}{60}} = 40,18 \text{ mm} \nless t = 30 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \text{vplyv páčenia}$$

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \frac{40,18^3 - 30^3}{24^2} = 1,33$$

Schéma čapového spoja:



12.3. Zvar pätkového plechu

Jedná sa kútové privarenie čapového plechu na pätkovú dosku.

Charakteristika zvaru:

Materiál: Oceľ S355 ($f_u = 490$ MPa; $f_y = 355$ MPa)

$$\beta_w = 0,9$$

$$a = 7 \text{ mm}$$

$$L = 200 \text{ mm}$$

Pôsobiacie sily: $R_x = 224,54$ kN (K2)

$$M_y = R_x (e - t) = 224,54 (0,150 - 0,030) = 26,94 \text{ kNm}$$

Napätie v zvare:

$$\tau_{||} = \frac{R_x}{A} = \frac{R_x}{L a n} = \frac{224540}{200 \cdot 7 \cdot 2} = 80,19 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{w,M} = \frac{M_y}{W} = \frac{M_y}{\frac{1}{6} a L^2 n} = \frac{26940}{\frac{1}{6} \cdot 7 \cdot 200^2 \cdot 2} = 288,64 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{w,M}}{\sqrt{2}} = \frac{288,64}{\sqrt{2}} = 204,10 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} = \sqrt{204,10^2 + 3(204,10^2 + 80,19^2)} = 431,18 \text{ MPa}$$

$$431,18 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,8 \cdot 1,25} = 490 \text{ MPa} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 204,10 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{490}{1,25} = 392 \text{ MPa} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Navrhnutý zvar vyhovuje na pôsobiacie zaťaženie.

12.4. Overenie únosnosti betónu

Pri návrhu kotvenia väzníka je potrebné overiť napätie v pätkovej škáre kotevného bloku. Uvažuje sa s plastickým rozdelením napätia v základovej škáre. Pevnostná trieda betónu je C 20/25.

Charakteristika betónu:

Pevnosť betónu v tlaku:

$$f_{c,d} = \frac{f_{c,k}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ Mpa}$$

Pôsobiace sily:

$$R_z = 271,41 \text{ kN (K2)}$$

$$M_y = R_x \cdot h = 224,54 \cdot 0,180 = 40,42 \text{ kN}$$

Napätie v pätkovej škáre:

$$e_x = \frac{M_y}{R_z} = \frac{40,42}{326,63} = 0,15 \text{ m}$$

$$A_{eff} = (L_x - 2 e_x) L_y = (0,46 - 2 \cdot 0,15) \cdot 0,32 = 0,051 \text{ m}^2$$

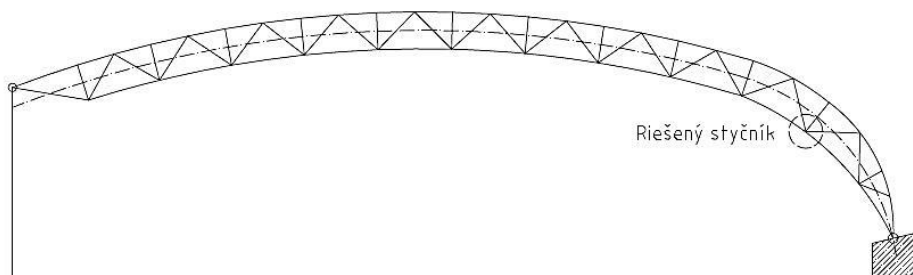
$$\sigma_{Ed} = \frac{R_z}{A_{eff}} = \frac{271,41}{0,051} = 5,32 \text{ MPa}$$

Posúdenie:

$$\frac{\sigma_{Ed}}{f_{c,d}} \leq 1,0 \quad \frac{5,32}{13,33} = 0,40 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

13. Posúdenie vybraných detailov

13.1. Prípoj diagonál a zvislíc na pásy väzníka

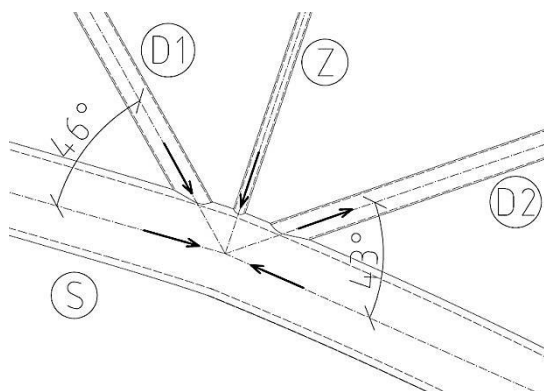


Obr. 66: Poloha riešeného styčníku v konštrukcii

Ako najmenej priaznivá bola určená kombinácia K2.

Vnútorne sily a popis prvkov:

Prút	D1	D2	Z	S
Oceľ:	S355	S355	S355	S355
d_i [mm]	76,1	76,1	33,7	244,5
t_i [mm]	4	4	4	10
θ_i [°]	46	43	90	0
$N_{i,Ed}$ [kN]	162,79	171,84	12,55	360,47



Návrhové osovú únosnosti:

Porušenie povrchu pásu:

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{360,47}{7,37 \cdot 10^{-3}} + \frac{14,31}{4,15 \cdot 10^{-4}} = 83,39 \text{ MPa}$$

$$n_p = \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{yd} \cdot \gamma_{M5}} = \frac{83,39}{355 \cdot 1,0} = 0,235$$

$$k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,235 \cdot (1 + 0,235) = 0,91$$

$$\gamma = \frac{d_0}{2t_0} = \frac{0,245}{2 \cdot 0,010} = 12,25$$

$$g = 0,17 \text{ m} \rightarrow \frac{g}{t_0} = \frac{0,17}{0,01} = 17$$

$$kg = \gamma^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{1 + \exp\left(\frac{0,5g}{t_0} - 1,33\right)} \right) = 12,25^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot 12,25^{1,2}}{1 + \exp\left(\frac{0,5 \cdot 0,17}{0,01} - 1,33\right)} \right) = 1,65$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{kgkp f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} (1,8 + 10,2 \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0})}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{1,65 \cdot 0,91 \cdot 355 \cdot 0,01^2}{\sin 46^\circ} (1,8 + 10,2 \frac{2 \cdot 0,076 + 0,034}{3 \cdot 0,245})}{1,0} =$$

$$N_{1,Rd} = 324,65 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} N_{1,Rd} = \frac{\sin 46^\circ}{\sin 43^\circ} 324,65 = 342,43 \text{ kN}$$

Porušenie prelomením šmykom:

$$d_1 = 76,1 \leq d_0 - 2t_0 = 244,5 - 2 \cdot 10 = 224,5$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{f_{y,0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_1 \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \sin^2 \theta_1}}{\gamma_{M5}} = \frac{355}{\sqrt{3}} 0,01 \pi 0,076 \frac{1 + \sin 46^\circ}{2 \sin^2 46^\circ} = 813,01 \text{ kN}$$

Návrhové kritérium:

Jedná sa o styčník typu KT.

$$N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \cdot \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

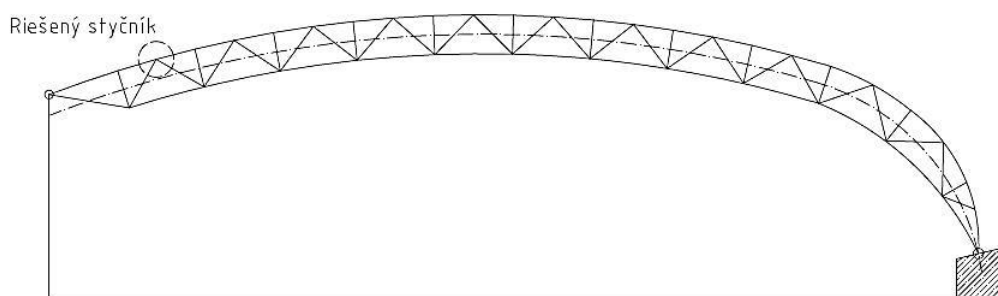
$$162,79 \cdot \sin 46^\circ + 12,55 \cdot \sin 90^\circ \leq 324,64 \cdot \sin 46^\circ$$

$$129,65 \text{ kN} \leq 233,54 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$N_{2,Ed} \leq N_{2,Rd}$$

$$171,84 \text{ kN} \leq 342,43 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

13.2. Prípoj diagonál na horný pás väzníka

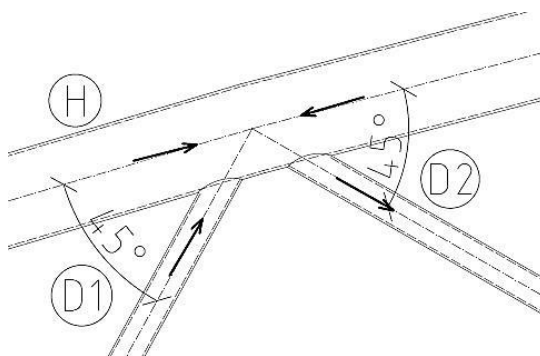


Obr. 67: Poloha riešeného styčníku v konštrukcii

Ako najmenej priaznivá bola určená kombinácia K4.

Vnútorne sily a popis prvkov:

Prút	D1	D2	H
Oceľ:	S355	S355	S355
d_i [mm]	76,1	76,1	219,1
t_i [mm]	5	5	8,0
θ_i [°]	45	45	0
$N_{i,Ed}$ [kN]	176,97	162,81	754,7

**Návrhové osovú únosnosti:**

Porušenie povrchu pásu:

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{754,7}{5,31 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,33}{2,70 \cdot 10^{-4}} = 143,35 \text{ MPa}$$

$$n_p = \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{yd} \cdot \gamma_{M5}} = \frac{143,35}{355 \cdot 1,0} = 0,404$$

$$k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,404 \cdot (1 + 0,404) = 0,83$$

$$\gamma = \frac{d_0}{2t_0} = \frac{0,219}{2 \cdot 0,008} = 13,69$$

$$g = 0,109 \text{ m} \rightarrow \frac{g}{t_0} = \frac{0,109}{0,008} = 13,63$$

$$kg = \gamma^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{1 + \exp\left(\frac{0,5g}{t_0} - 1,33\right)} \right) = 13,69^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot 13,69^{1,2}}{1 + \exp\left(\frac{0,5 \cdot 0,109}{0,008} - 1,33\right)} \right) = 1,69$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{kg k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} (1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0})}{\gamma_{M5}} = \frac{1,69 \cdot 0,83 \cdot 355 \cdot 0,008^2}{\sin 45^\circ} (1,8 + 10,2 \frac{0,076}{0,219}) = 255,16 \text{ kN}$$

$$N_{1,Rd} = 255,16 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} N_{1,Rd} = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 45^\circ} 255,16 = 255,16 \text{ kN}$$

Porušenie prelomením šmykom:

$$d_1 = 76,1 \leq d_0 - 2t_0 = 219,1 - 2 \cdot 8 = 203,1$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{f_{y,0} t_0 \pi d_1}{\sqrt{3}} \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \sin^2 \theta_1}}{\gamma_{M5}} = \frac{355}{\sqrt{3}} 0,008 \pi 0,076 \frac{1 + \sin 45^\circ}{2 \sin^2 45^\circ} = 945,14 \text{ kN}$$

Návrhové kritérium:

Jedná sa o styčník typu KT.

$$N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$176,97 \cdot \sin 45^\circ \leq 255,16 \cdot \sin 45^\circ$$

$$125,14 \text{ kN} \leq 180,43 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$N_{2,Ed} \leq N_{2,Rd}$$

$$162,81 \text{ kN} \leq 255,16 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

13.3. Pripojenie väzníka na stĺp**Popis čapu:**

Materiál: Oceľ S890: $f_{y,p} = 890 \text{ MPa}$; $f_{u,p} = 940 \text{ MPa}$

$$d_0 = 28 \text{ mm}$$

$$d = 31 \text{ mm}$$

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 14^2 = 6,16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n = 2 \text{ (počet strihových rovín)}$$

Únosnosť čapu v strihu:

Strihová sila: $F_{v,Ed} = R_z = 240,43 \text{ kN (K10)}$

Únosnosť čapu v strihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{u,p} A}{\gamma_{M2}} n = \frac{0,6 \cdot 940 \cdot 10^6 \cdot 6,16 \cdot 10^{-4}}{1,25} 2 = 555,65 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{240,43}{555,65} = 0,43 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Popis spojovaných častí:

Materiál: Oceľ S 355: $f_y = 355 \text{ MPa}$; $f_u = 490 \text{ MPa}$

$$a = 20,0 \text{ mm}$$

$$b = 30,0 \text{ mm}$$

$$c = 2,0 \text{ mm}$$

$$t = \min (2a; b) = \min (2 \cdot 20; 30) = 30 \text{ mm}$$

Únosnosť spojovaných častí v otlačení:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,5 \cdot 0,030 \cdot 0,031 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 479,25 \text{ kN}$$

Sila spôsobujúca otlačenie spojovaných častí:

$$F_{b,Ed} = 240,43 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{240,43}{479,25} = 0,50 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnosť čapového spoja v ohybe:

Ohybový moment pôsobiaci v čape: - podľa normy ČSN EN 1993 – 1 – 8:

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} R_{z,max} (b + 4c + 2a) = \frac{1}{8} 240,43 \cdot 10^3 \cdot (30 + 4 \cdot 2 + 2 \cdot 20) = 2,34 \text{ kNm}$$

Únosnosť čapu v ohybe:

$$W_{el} = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 0,028^3}{32} = 2,155 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{y,p}}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,5 \cdot 2,155 \cdot 10^{-6} \cdot 940 \cdot 10^6}{1,0} = 3,04 \text{ kNm}$$

Posúdenie:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{2,34}{3,04} = 0,77 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnosť čapu pri kombinácii strihu a ohybu:

Podmienka posúdenia:

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

$$\left[\frac{2,34}{3,04} \right]^2 + \left[\frac{240,43}{555,65} \right]^2 = 0,59 + 0,19 = 0,78 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Zvar čapového plechu

Jedná sa kútové privarenie pätkového plechu na pätkovú dosku.

Charakteristika zvaru:

Materiál: Oceľ S355 ($f_u = 490 \text{ MPa}$; $f_y = 355 \text{ MPa}$)

$$\beta_w = 0,9$$

$$a = 6 \text{ mm}$$

$$L = 218 \text{ mm}$$

Pôsobiacie sily: $R_x = 226,30 \text{ kN}$ (K2)

$$M_y = R_x (e - t) = 226,30 (0,150 - 0,030) = 27,16 \text{ kNm}$$

Napätie v zvare:

$$\tau_{\parallel} = \frac{R_x}{A} = \frac{R_x}{L a n} = \frac{226300}{212 \cdot 6 \cdot 2} = 88,95 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{w,M} = \frac{M_y}{W} = \frac{M_y}{\frac{1}{6} a L^2 n} = \frac{27160}{\frac{1}{6} \cdot 6 \cdot 212^2 \cdot 2} = 302,15 \text{ MPa}$$

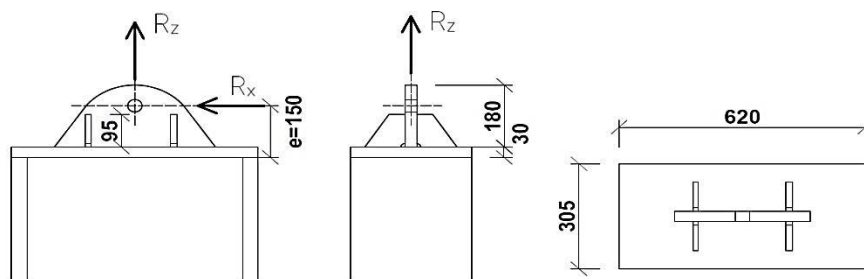
$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{w,M}}{\sqrt{2}} = \frac{302,15}{\sqrt{2}} = 213,65 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{213,65^2 + 3(213,65^2 + 88,95^2)} = 454,23 \text{ MPa}$$

$$454,23 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,8 \cdot 1,25} = 490 \text{ MPa} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 213,65 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{490}{1,25} = 392 \text{ MPa} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Navrhnutý zvar vyhovuje na pôsobiacie zaťaženie.

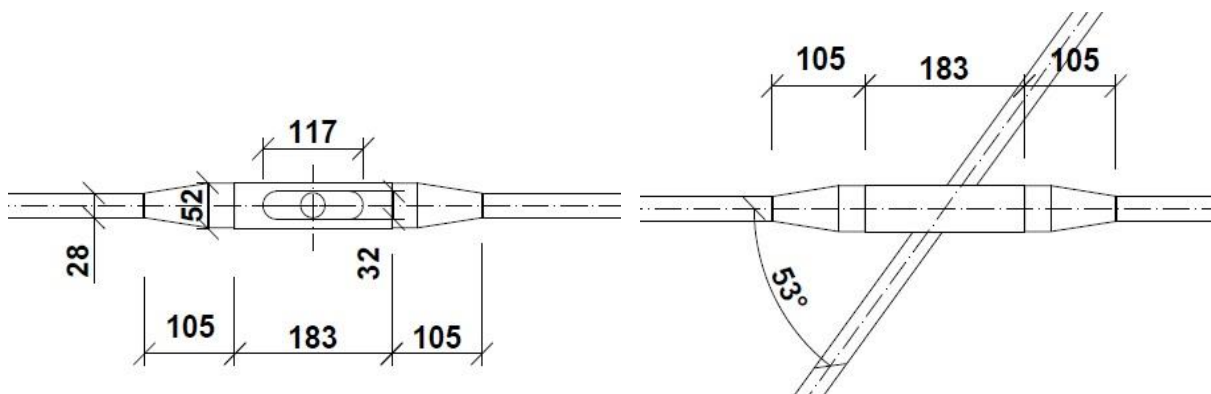
Schéma čapového spoja:

13.4. Krízenie prútov priečneho stužidla

Pri konštrukčnom ťahadlovom systéme typu Macallay sa pri krížení prútov využíva systém Cross Coupler. Jedná sa o systém, kde je profil jedného prútu rozšírený a cez vnútorný otvor prechádza križujúci prút. Rozmery jednotlivých častí udáva výrobca.

M 30:	CC (Cross Coupler) 30	LCC 30
	A = 183 mm	E = 105 mm
	B = 117 mm	$\varnothing F = 51$ mm
	C = 32 mm	
	$\varnothing D = 52$ mm	

Schéma kríženia prútov stužidla:



13.5. Pripojenie prútov stužidla k väzníku

Pri návrhu pripojenia prútov stužidla vychádzame z výrobcom daných rozmerov styčnickových plechov. Spoj je dimenzovaný na najmenej priaznivú kombináciu (K3). Styčnickový plech je pripojený 2 kútovými zvarmi k profilu horného pásu.

Pôsobiaci sila $N_{Ed} = 199,69$ kN

Styčnickový plech:

$t = 22$ mm

$a \times b = 160 \times 185$ mm

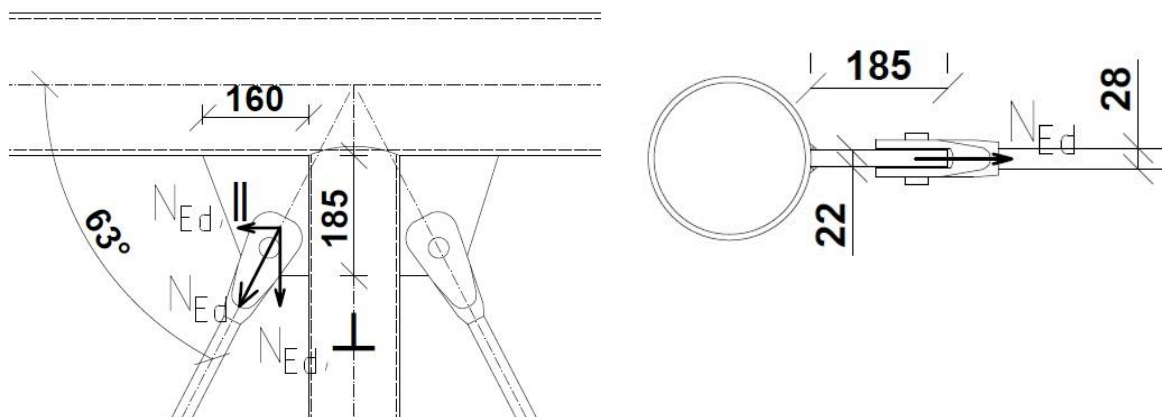
Navrhnutý zvar:

Materiál: Oceľ S355 ($f_u = 490$ MPa; $f_y = 355$ MPa)

$\beta_w = 0,9$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 148 \text{ mm}$$



Popis čapu:

Materiál: Oceľ S890: $f_{y,p} = 890 \text{ MPa}$; $f_{u,p} = 940 \text{ MPa}$

$d_0 = 29 \text{ mm}$ (udáva výrobca)

$d = 31,5 \text{ mm}$ (udáva výrobca)

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 14,5^2 = 6,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$n = 2$ (počet strihových rovín)

Únosnosť čapu v strihu:

Strihová sila: $F_{v,Ed} = N_{Ed} = 199,26 \text{ kN}$ (K10)

Únosnosť čapu v strihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{u,p} A}{\gamma_{M2}} n = \frac{0,6 \cdot 940 \cdot 10^6 \cdot 6,61 \cdot 10^{-4}}{1,25} 2 = 596,49 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{199,26}{596,49} = 0,33 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Popis spojovaných častí:

Materiál: Oceľ S 355: $f_y = 355 \text{ MPa}$; $f_u = 490 \text{ MPa}$

$$a = 12,0 \text{ mm}$$

$$b = 22,0 \text{ mm}$$

$$c = 2,0 \text{ mm}$$

$$t = \min (2a; b) = \min (2 \cdot 12; 22) = 22 \text{ mm}$$

Únosnosť spojovaných častí v otlačení:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,5 \cdot 0,022 \cdot 0,032 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 374,88 \text{ kN}$$

Sila spôsobujúca otlačenie spojovaných častí:

$$F_{b,Ed} = 199,26 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{199,26}{374,88} = 0,53 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnosť čapového spoja v ohybe:

Ohybový moment pôsobiaci v čape: - podľa normy ČSN EN 1993 – 1 – 8:

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} N_{Ed} (b + 4c + 2a) = \frac{1}{8} 199,26 \cdot 10^3 \cdot (22 + 4 \cdot 2 + 2 \cdot 12) = 1,35 \text{ kNm}$$

Únosnosť čapu v ohybe:

$$W_{el} = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 0,029^3}{32} = 2,39 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{y,p}}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,5 \cdot 2,39 \cdot 10^{-6} \cdot 940 \cdot 10^6}{1,0} = 3,38 \text{ kNm}$$

Posúdenie:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{1,35}{3,38} = 0,40 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnosť čapu pri kombinácii strihu a ohybu:

Podmienka posúdenia:

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

$$\left[\frac{1,35}{3,38} \right]^2 + \left[\frac{199,26}{596,49} \right]^2 = 0,16 + 0,11 = 0,27 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Zvarový spoj styčnickového plechu:

$$N_{Ed} = 199,26 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,||} = \cos 63^\circ N_{Ed} = \cos 63^\circ \cdot 199,26 = 90,46 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,\perp} = \sin 63^\circ N_{Ed} = \sin 63^\circ \cdot 199,26 = 177,54 \text{ kN}$$

$$\tau_{||} = \frac{N_{Ed,||}}{A} = \frac{R_x}{L a n} = \frac{90,46}{148 \cdot 4 \cdot 2} = 76,40 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed,\perp}}{A_w} = \frac{N_{Ed,\perp}}{L a n} = \frac{177,54}{148 \cdot 4 \cdot 2} = 149,95 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{149,95}{\sqrt{2}} = 106,03 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} = \sqrt{106,03^2 + 3(106,03^2 + 76,40^2)} = 249,96 \text{ MPa}$$

$$249,96 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,8 \cdot 1,25} = 490 \text{ MPa} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 106,03 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{490}{1,25} = 392 \text{ MPa} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

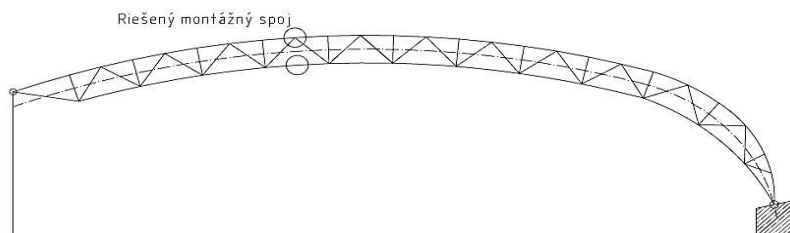
Navrhnutý zvar vyhovuje na pôsobiacie zaťaženie.

13.6. Montážny spoj väzníka

Montážny spoj väzníka je navrhnutý ako tupý zvar po celom obvode trubkového profilu.

Montážny spoj horného pásu – diel 1 a 2:

Hrúbka spojovaných častí: 6,3 mm. Navrhnutý V zvar s plne prevareným koreňom. V danom prípade je možné uvažovať pevnosť zvaru rovnakú ako pevnosť spojovaných častí. Je potreba ale zaistiť, aby bol zvar prevedený vhodným prídavným materiálom, ktorý zaistí v celej oblasti zvaru medzi klzu a pevnosti odpovedajúcu oceli S355.



Obr. 68: Poloha montážneho spoja horného a dolného pásu dielov 1 a 2

$N_{Ed} = 391,45$ kN (maximálna ťahová sila v hornom páse – K7)

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,31 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1885,05 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 5,31 \cdot 10^{-3} \cdot 490 \cdot 10^6}{1,25} = 1873,37 \text{ kN}$$

Únosnosť zvaru:

$\gamma_R = 0,7$ (zvar je prístupný iba jednostranne, nie je možné vykonať kontrolu)

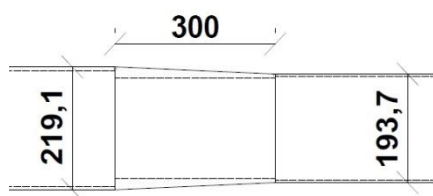
$$N_{Rd} = \gamma_R \cdot N_{u,Rd} = 0,7 \cdot 1873,37 = 1311,36 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{391,45}{1311,36} = 0,30 \leq 1 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Montážny spoj dolného pásu – diel 1 a 2:

Hrúbka spojovaných častí: min. 8 mm. Navrhnutý V zvar s plne prevareným koreňom. V danom prípade je možné uvažovať pevnosť zvaru rovnakú ako pevnosť spojovaných častí. Je potreba ale zaistiť, aby bol zvar prevedený vhodným prídavným materiálom, ktorý zaistí v celej oblasti zvaru medzu klzu a pevnosti odpovedajúcu oceli S355.



Medzi montážnym dielom 1 a 2 dochádza k zmene prierezu prútu dolného pásu z profilu TR 219,1 x 6,3 na TR 193,7 x 5. Z toho dôvodu je potreba medzi 2 diely pridať spojovaciu časť z profilu TR 219,1 x 20 o dĺžke 0,30 m ktorá bude upravená tak, aby bol zaistený plynulý prechod z montážneho dielu 1 na diel 2.

$N_{Ed} = 637,34$ kN (maximálna ťahová sila v spodnom páse – K1)

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,67 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1657,85 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 4,67 \cdot 10^{-3} \cdot 490 \cdot 10^6}{1,25} = 1647,58 \text{ kN}$$

Únosnosť zvaru:

$\gamma_R = 0,7$ (zvar je prístupný iba jednostranne, nie je možné vykonať kontrolu)

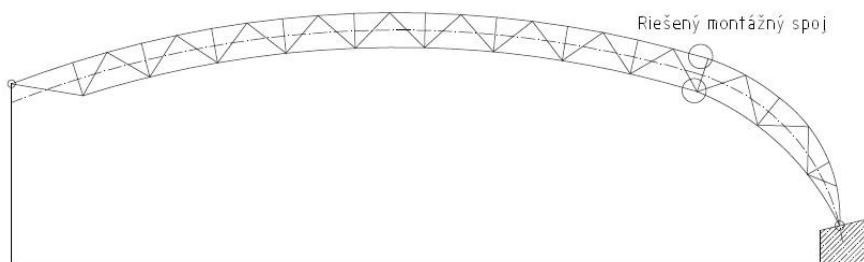
$$N_{Rd} = \gamma_R \cdot N_{u,Rd} = 0,7 \cdot 1647,58 = 1153,30 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{637,34}{1153,30} = 0,55 \leq 1 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Montážny spoj horného pásu – diel 2 a 3:

Hrúbka spojovaných častí: 5,0 mm. Navrhnutý V zvar s plne prevareným koreňom. V danom prípade je možné uvažovať pevnosť zvaru rovnakú ako pevnosť spojovaných častí. Je potreba ale zaistiť, aby bol zvar prevedený vhodným prídavným materiálom, ktorý zaistí v celej oblasti zvaru medzu klzu a pevnosti odpovedajúcu oceli S355.



Obr. 69: Poloha montážneho spoja horného a dolného pásu dielov 1 a 2

$N_{Ed} = 170,54 \text{ kN}$ (maximálna ťahová sila v spodnom pásu – K7)

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,36 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1192,80 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 3,36 \cdot 10^{-3} \cdot 490 \cdot 10^6}{1,25} = 1185,41 \text{ kN}$$

Únosnosť zvaru:

$\gamma_R = 0,7$ (zvar je prístupný iba jednostranne, nie je možné vykonať kontrolu)

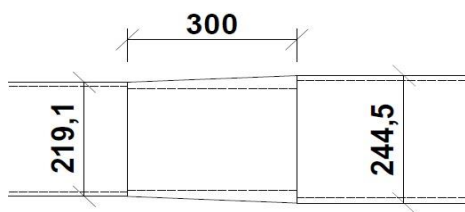
$$N_{Rd} = \gamma_R \cdot N_{u,Rd} = 0,7 \cdot 1185,41 = 829,79 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{170,54}{829,79} = 0,21 \leq 1 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Montážny spoj dolného pásu – diel 2 a 3:

Hrúbka spojovaných častí: min. 8 mm. Navrhnutý V zvar s plne prevareným koreňom. V danom prípade je možné uvažovať pevnosť zvaru rovnakú ako pevnosť spojovaných častí. Je potreba ale zaistiť, aby bol zvar prevedený vhodným prídavným materiálom, ktorý zaistí v celej oblasti zvaru medzu klzu a pevnosti odpovedajúcu oceli S355.



Medzi montážnym dielom 2 a 3 dochádza k zmene prierezu prútu dolného pásu z profilu TR 219,1 x 8,0 na TR 244,5 x 10. Z toho dôvodu je potreba medzi 2 diely pridať spojovaciu časť z profilu TR 244,5 x 25 o dĺžke 0,30 m ktorá bude upravená tak, aby bol zaistený plynulý prechod z montážneho dielu 2 na diel 3.

$N_{Ed} = 119,27 \text{ kN}$ (maximálna ťahová sila v spodnom páse – K1)

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,31 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1885,05 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 5,31 \cdot 10^{-3} \cdot 490 \cdot 10^6}{1,25} = 1873,37 \text{ kN}$$

Únosnosť zvaru:

$\gamma_R = 0,7$ (zvar je prístupný iba jednostranne, nie je možné vykonať kontrolu)

$$N_{Rd} = \gamma_R \cdot N_{u,Rd} = 0,7 \cdot 1873,37 = 1311,36 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{119,27}{1311,36} = 0,09 \leq 1 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

14. Výkaz materiálu

Výkaz materiálu je získaný pomocou programu RFEM 5. Týka sa nosných častí konštrukcie a slúži k orientačnej predstave o hmotnosti a ploche konštrukcie.

Celková hmotnosť konštrukcie: 101 134,6 kg

Povrch konštrukcie: 4570,64 m²

Povrch konštrukčných prvkov: 1914,55 m²

Prvok	Prierez	Dĺžka	Hmotnosť		Povrch	Materiál
		[m]	[kg/m]	[kg]	[m ²]	Oceľ
HP - Diel 1	TR 219,1 x 6,3	169,50	33,10	5610,45	116,62	S355
HP - Diel 2	TR 219,1 x 6,3	261,00	33,10	8639,10	179,57	S355
HP - Diel 3	TR 219,1 x 5,0	138,56	26,40	3658,98	84,32	S355
SP - Diel 1	TR 193,7 x 8,0	191,00	36,60	6990,60	116,32	S355
SP - Diel 2	TR 219,1 x 8,0	231,00	41,70	9632,70	158,93	S355
SP - Diel 3	TR 244,5 x 10,0	121,10	57,80	6999,58	93,02	S355
D - Diel 1	TR 76,1 x 5,0	209,62	8,77	1838,37	50,11	S355
D - Diel 2	TR 76,1 x 5,0	329,41	8,77	2888,93	78,73	S355
D - Diel 3	TR 76,1 x 4,0	141,27	7,11	1004,43	55,10	S355
Z - Diel 1	TR 33,7 x 4,0	84,00	2,93	246,12	8,89	S355
Z - Diel2	TR 33,7 x 4,0	105,00	2,93	307,65	11,13	S355
Z - Diel 3	TR 33,7 x 4,0	57,48	2,93	168,42	6,09	S355
Medziväzníkové prúty	TR 139,7 x 4,0	1170,00	13,40	15678,00	513,49	S355
Sužidlo priečne	M30: d=28	527,65	4,83	2548,55	46,41	S460
Stužidlo pozdĺžne	TR 60,3 x 4,0	346,36	5,55	1922,30	110,55	S355
Stužidlo stenové	TR 88,9 x 4,0	59,06	8,38	494,92	28,28	S355
Stĺpy	HEM 600	109,26	285,00	31139,10	256,98	S355

Zoznam použitých zdrojov a literatúry

Literatúra

FERJENČÍK, P. a kol. *Navrhovanie ocelových konštrukcií, 1. časť*. 1. vyd., Bratislava: ALFA, 1986. 616s.

BUJŇÁK, J., VIČAN, J. *Navrhovanie ocelových konštrukcií*. 1. vyd., Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2012. 191s. ISBN 978-80-554-0529-2

STUDNIČKA, J. *Ocelové konstrukce I*. 1. vyd., Praha: Vydavatelství ČVUT, 2013. 154s. ISBN 978-80-01-04800-9

VRANÝ, T., ELIÁŠOVÁ, M., JANDERA, M., *Ocelové konstrukce 2 - Cvičení*. 2. vyd., Praha: Vydavatelství ČVUT, 2013. 149s. ISBN 978-80-01-04368-4

STUDNIČKA, J., HOLICKÝ, M., MARKOVÁ, J., *Ocelové konstrukce 2 - Zatížení*. 1. vyd., Praha: Vydavatelství ČVUT, 2007. 138s. ISBN 978-80-01-03768-3

STUDNIČKA, J. *Ocelové konstrukce - Normy*. 1. vyd., Praha: Vydavatelství ČVUT, 2011. 55s. ISBN 978-80-01-03930-4

MIKULÁŠ, M., OLÁH, J., MIKULÁŠOVÁ, D. *Kreslenie stavebných konštrukcií*. 4. vyd., Bratislava: JAGA, 2011. 214s. ISBN 978-80-8076-088-5

Normy

ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, březen 2004, 76.s

ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, březen 2004. 44s.

ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, červen 2005. 52s.

ČSN EN 1993-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, duben 2007. 124s.

ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2006. 96s.

ČSN EN 1993-1-8. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování stýčníků*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2006. 128s.

ČSN 01 3483. *Výkresy stavebních konstrukcí. Výkresy kovových konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, červen 1986. 44s.

ČSN EN ISO 2561. *Technické výkresy – Zjednodušené označování tyčí a profilů*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2000. 12s.

Internetové zdroje

FERONA, a.s. *Ferona, a.s. – Velkoobchod s hutním materiálem* [online]. ©2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z : <http://www.ferona.cz/>

FISCHER. *Fischer – upevňovací systémy* [online]. ©2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z : <http://www.fischer-cz.cz/>

TENSION SYSTEMS. *Systém konstrukčních táhel Macalloy* [online]. ©2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z : <http://www.tension.cz/>

TRIDO. *Automatické dveře a brány - Hangárové brány* [online]. ©2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z : <http://www.trido.sk/>

CIVIL ENGINEERING. *Long-span framing* [online]. ©2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z : <http://www.civilengineeringx.com/>

MASLEN. *Plechové strechy – Falcovaná krytina* [online]. ©2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z : <http://www.maslen.sk/>

SATJAM. *Plechové střechy – Trapézové plechy* [online]. ©2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z : <http://www.maslen.sk/>

MACHÁČEK, J. *Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.* [online]. ©2012 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z : <http://people.fsv.cvut.cz/www/machacek/>

RÖDER, V. *Spoje ocelových konstrukcí* [online]. ©2010 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z : <http://www.ocel.wz.cz/>

KAISER,P. – VOKATÝ, T. *Čítanka výkresů ocelových konstrukcí* [online]. ©2006 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z : <http://www.citankaok.wz.cz/>

HRŮZA, J. *OCELÁŘ.cz - ocelářské tabulky* [online]. ©2010 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z : <http://www.steelcalc.com/cs/>