

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

OCELOVÁ NOSNÁ KONSTRUKCE ZEMĚDĚLSKÉ HALY

STEEL STRUCTURE OF AGRICULTURAL HALL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

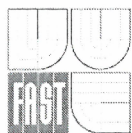
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN ŠOMEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Prof. Ing. MARCELA KARMAZÍNOVÁ, CSc

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Jan Šomek

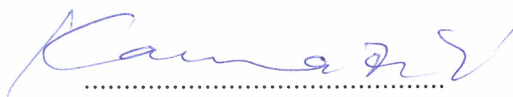
Název Ocelová nosná konstrukce zemědělské haly

Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.

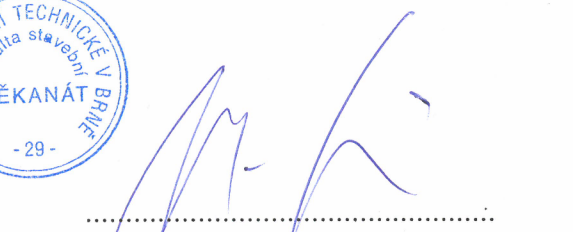
**Datum zadání
bakalářské práce** 30. 11. 2015

**Datum odevzdání
bakalářské práce** 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015


.....
prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
vedoucí ústavu




.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. Schematická dispozice objektu
2. Literatura podle doporučení vedoucí bakalářské práce

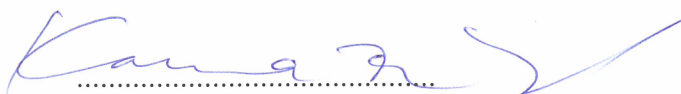
Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Vypracujte statický a konstrukční návrh zemědělské haly pro ustájení dobytka s ocelovou nosnou konstrukcí. Obdélníkový půdorys haly má šířku cca 30 m a délku cca 60 m. S ohledem na účel objektu a charakter provozu je výška objektu v okapu předepsána minimálně 3,5 m. S ohledem na technické požadavky je sklon střechy stanoven v rozsahu cca 20–25°. Objekt je situován do blízkosti města Frýdek-Místek mimo městskou zástavbu. V rámci řešení vypracujte technickou zprávu, statický výpočet a výkresovou dokumentaci v rozsahu podle pokynů vedoucí bakalářské práce.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
vedoucí bakalářské práce



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

| | |
|---|--|
| Vedoucí práce | prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc. |
| Autor práce | Jan Šomek |
| Škola | Vysoké učení technické v Brně |
| Fakulta | Stavební |
| Ústav | Ústav kovových a dřevěných konstrukcí |
| Studijní obor | 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby |
| Studijní program | B3607 Stavební inženýrství |
| Název práce | Ocelová nosná konstrukce zemědělské haly |
| Název práce v anglickém jazyce | Steel load-carrying structure of agricultural hall |
| Typ práce | Bakalářská práce |
| Přidělovaný titul | Bc. |
| Jazyk práce | Čeština |
| Datový formát elektronické verze | .pdf |
| Anotace práce | Práce se zabývá návrhem nosné ocelové konstrukce zemědělského využití. Objekt má půdorysnou délku 60m a šířku 30m. S ohledem na účel konstrukce je předepsaná minimální výška v okapu 3,5m. S ohledem na technické požadavky je sklon střechy stanoven v rozsahu 20° až 25°. Objekt je situován v okolí města Frýdek-Místek. |
| Anotace práce v anglickém jazyce | This thesis concerns of the design of a steel construction for agricultural using. Object is 60m long and 30m wide. In consideration of purpose of object, prescribed minimal height in eaves is 3,5m. In consideration of technical requirements, roof slope is between 20° to 25°. Object is situated in Frýdek-Místek surroundings. |
| Klíčová slova | ocelová konstrukce, zemědělský objekt, sloup, vazník, vaznice, spoje, rám |
| Klíčová slova v anglickém jazyce | steel construction, agricultural object, column, girder, purlin, joint, frame |

Abstrakt

Práce se zabývá návrhem nosné ocelové konstrukce zemědělského využití. Objekt má půdorysnou délku 60m a šířku 30m. S ohledem na účel konstrukce je předepsaná minimální výška v okapu 3,5m. S ohledem na technické požadavky je sklon střechy stanoven v rozsahu 20° až 25°. Objekt je situován v okolí města Frýdek-Místek.

Klíčová slova

ocelová konstrukce, zemědělský objekt, sloup, vazník, vaznice, spoje, rám

Abstract

This thesis concerns of the design of a steel construction for agricultural using. Object is 60m long and 30m wide. In consideration of purpose of object, prescribed minimal height in eaves is 3,5m. In consideration of technical requirements, roof slope is between 20° to 25°. Object is situated in Frýdek-Místek surroundings.

Keywords

steel construction, agricultural object, column, girder, purlin, joint, frame

...

Bibliografická citace VŠKP

Jan Šomek *Ocelová nosná konstrukce zemědělské haly*. Brno, 2016. 42 s., 29 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27.5.2016

.....
podpis autora

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 27.5.2016

titul jméno a příjmení studenta

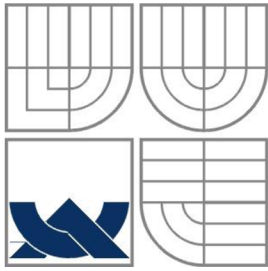
Poděkování:

Touto cestou bych velice rád poděkoval Prof. Ing. Marcele Karmazínové, CSc. za odborné vedení po celou dobu zpracovávání bakalářské práce. Za mnoho užitečných rad a nápadů. A také za její trpělivost a shovívavost.

Jan Šomek

Obsah

| | |
|-----|--|
| 001 | Titulní list |
| 002 | Zadání VŠKP |
| 003 | Abstrakt, klíčová slova |
| 004 | Bibliografická citace |
| 005 | Prohlášení autora o původnosti VŠKP |
| 006 | Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy |
| 007 | Poděkování |
| 008 | Obsah |
| 009 | Vlastní text práce |
| 010 | Seznam použitých zdrojů |
| 011 | Seznam použitých zkratk a symbolů |
| 012 | Seznam Příloh |
| 013 | Přílohy |



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

OCELOVÁ NOSNÁ KONSTRUKCE ZEMĚDĚLSKÉ HALY

TECHNICKÁ ZPRÁVA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN ŠOMEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Prof. Ing. MARCELA KARMAZÍNOVÁ, CSc.

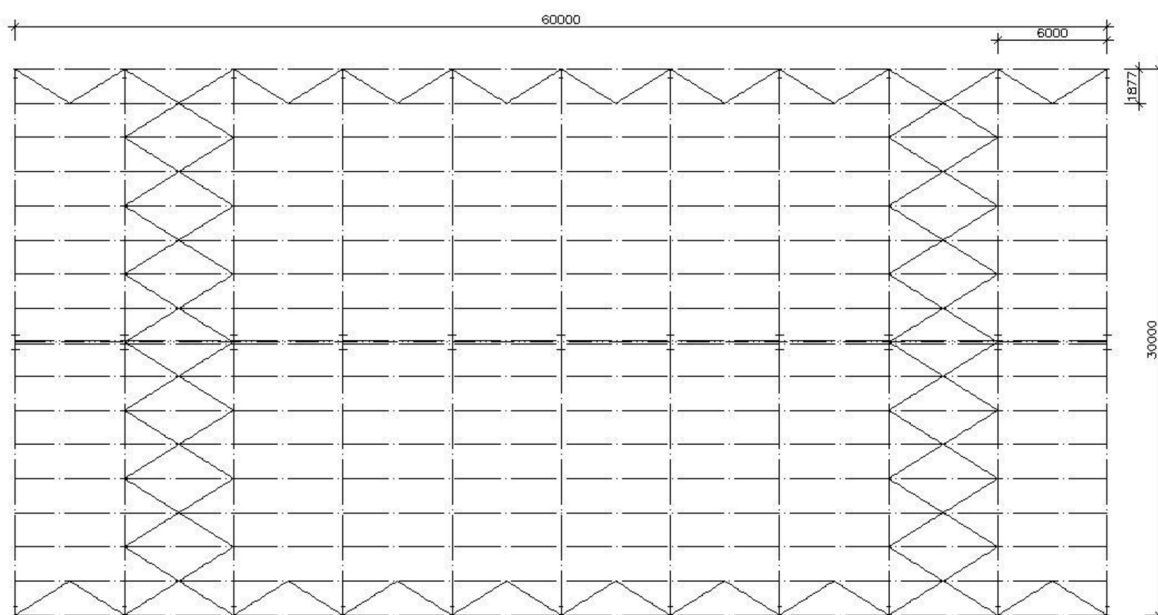
BRNO 2016

Obsah

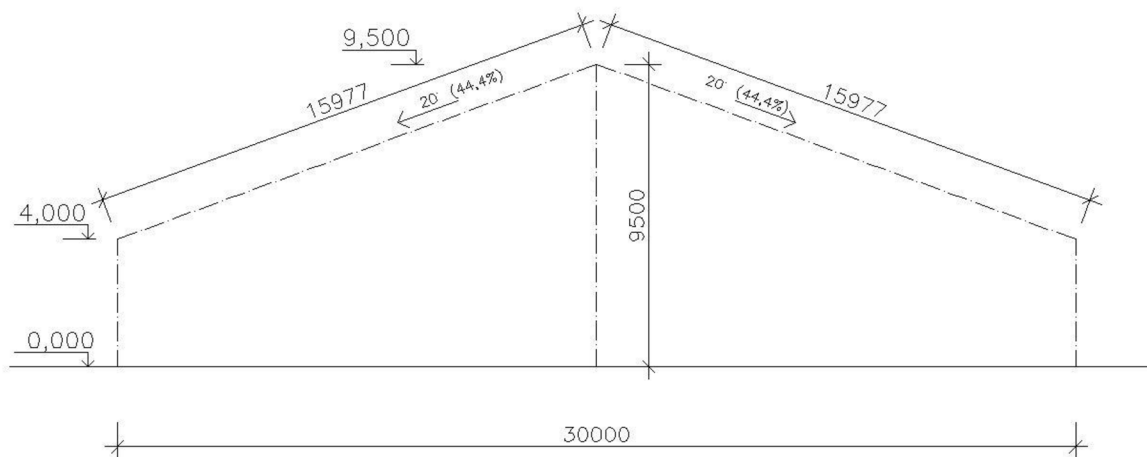
| | |
|--|---|
| 1. Dispozice | 2 |
| 1.1 Půdorys | 2 |
| 1.2 Řez | 2 |
| 2. Varianty | 3 |
| 2.1 Varianta 1 | 3 |
| 2.2 Varianta 2 | 3 |
| 2.3 Varianta 3 | 3 |
| 3. Technická zpráva | 4 |
| 3.1 Účel konstrukce | 4 |
| 3.2 Konstrukční systém | 4 |
| 3.2.1 Sloupy | 4 |
| 3.2.2 Vazník | 4 |
| 3.2.3 Vaznice | 4 |
| 3.2.4 Ztužidla | 5 |
| 3.2.5 Kotvení | 5 |
| 3.3 Materiál | 5 |
| 3.3.1 Vazníky, sloupy, vaznice, ztužidla | 5 |
| 3.3.2 Spojovací šrouby | 5 |
| 3.3.3 Kotvící šrouby | 5 |
| 3.3.4 Beton | 6 |
| 3.4 Výroba | 6 |
| 3.5 Montáž | 6 |
| 3.6 Ochrana | 6 |
| 3.7 Hmotnost a cena | 6 |
| 4. Výpočet | 6 |
| 5. Použité zdroje | 7 |
| 5.1 Seznam použitých předpisů | 7 |
| 5.2 Seznam použité literatury | 7 |

1. Dispozice

1.1 Půdorys



1.2 Řez



Hala má rozměry 30x60m v půdorysu a sklon střechy 20°. Výška v okapu 4m a výška hřebene 9,5m.

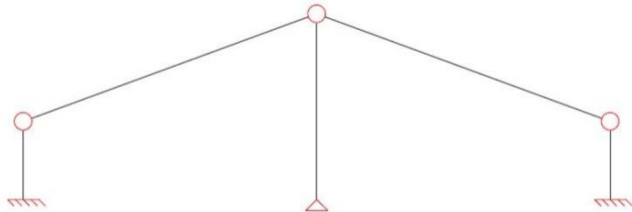
2. Varianty

Z hlediska výhodnosti byly posuzovány 3 různé varianty příčné vazby. Pro odhad chování vazeb bylo použito rovnoměrné zatížení $5\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$, přibližná hodnota plného sněhu pro danou oblast. Stejné zatížení bylo použito na všechny 3 varianty, které měly stejné průřezové charakteristiky. Jako ukazatel nejvýhodnější varianty sloužilo vypočítané napětí na konstrukci.

2.1 Varianta 1

$$M_{\max}=409,09\text{kNm}$$

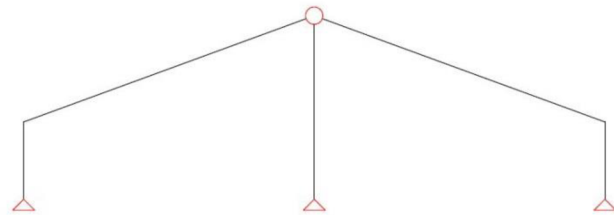
$$\sigma_{\max}=383,4\text{Mpa}$$



2.2 Varianta 2

$$M_{\max}=111,52\text{kNm}$$

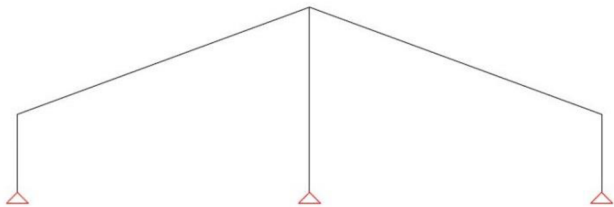
$$\sigma_{\max}=108,1\text{Mpa}$$



2.3 Varianta 3

$$M_{\max}=105,48\text{kNm}$$

$$\sigma_{\max}=97,4\text{Mpa}$$



Z hlediska výsledků je varianta číslo 3 vychází nejvýhodněji.

3. Technická zpráva

3.1 Účel konstrukce

Objekt je určen pro ustájení dobytka. Dle potřeb byl navržen v daných rozměrech, tvaru, výšce okapu a sklonu střechy. Přesné dispoziční řešení není předmětem této práce.

3.2 Konstrukční systém

Konstrukční systém objektu je rámová konstrukce s modulovou vzdáleností příčných vazeb 6m. V každé příčné vazbě jsou 2 krajní sloupy totožné výšky, 1 prostřední sloup s největší výškou a 2 vazníky. Krajní sloupy jsou s proměnným průřezem a oba vazníky s náběhy na obou stranách do vzdálenosti 20% délky vazníku. Sloupy jsou uloženy kloubově a vazníky jsou připojeny tuze ke sloupům. Jako střešní krytina je použit trapézový plech připojen k vaznicím.

3.2.1 Sloupy

Střední sloup je svařovaný I průřez o výšce 800mm a šířce 400mm. Krajní sloupy jsou svařované I průřezy o totožné šířce 200mm a proměnné výšce od 350mm do 500mm po délce sloupu.

3.2.2 Vazník

Vazník je díky náběhům na začátku i konci rozdělen 3 částí. Prostřední část je svařovaný I průřez o konstantní výšce 500mm a šířce 200mm. Okrajové části, jak na začátku tak na konci, jsou svařované I průřezy o proměnné výšce od 500mm do 650mm po délce náběhu a konstantní šířce 200mm. Náběhy jsou konstruovány v délce 20% z délky vazníku na obou stranách.

3.2.3 Vaznice

Vnitřní vaznice jsou z profilu IPE200. Okapové vaznice je kvůli eliminaci průhybu ze dvou profilů IPE200 navařených kolmo na sebe.

3.2.4 Ztužidla

Příčné střešní ztužidlo je z trubek o rozměrech 60/4mm. Diagonály ztužidla jsou v místě teoretického osového křížení připojeny na styčnickový plech o tl. 10mm, který je navařen na spodní pásnici vaznice. Připojení na plech je uskutečněno pomocí šroubů a zmáčknutí trubek. Okapové střešní ztužidlo je také z trubek 60/4mm. Diagonály ztužidla jsou v místě styčnicku připojeny na styčnickový plech tl. 10mm a ten následně navařen na spodní pásnici vaznice. Připojení na plech je uskutečněno pomocí šroubů a zmáčknutí trubek. Příčné stěnové ztužidlo je z trubek o rozměrech 80/6mm. Diagonály ztužidla jsou v místě teoretického osového křížení připojeny na styčnickový plech. Připojení je uskutečněno pomocí šroubů a zmáčknutí trubek.

3.2.5 Kotvení

Betonové patky krajních sloupů mají rozměry 550x400x600mm. Betonová patka středního sloupu má rozměr 1000x600x600. Sloupy jsou řešeny kloubově. Kotvení je vyřešeno dvěma šrouby M30, 5,6 s minimální kotevní hloubkou 360mm. Tloušťka patního plechu je 20mm.

3.3 Materiál

3.3.1 Vazníky, sloupy, vaznice, ztužidla

Zhotoveny z oceli S235.

$f_y=235\text{MPa}$; $f_u=360\text{MPa}$; $E= 210\ 000\text{MPa}$; $G=81\ 000\text{MPa}$

3.3.2 Spojovací šrouby

Šrouby 4.6:

$f_{yb}=240\text{MPa}$; $f_{ub}=400\text{MPa}$

Šrouby 6.8:

$f_{yb}=480\text{MPa}$; $f_{ub}=600\text{MPa}$

3.3.3 Kotvicí šrouby

Šrouby 5.8:

$f_{yb}=400\text{MPa}$; $f_{ub}=500\text{MPa}$

3.3.4 Beton

Beton pevnosti C25/30:

$f_{ck}=25\text{MPa}$; $f_{cd}=16,7\text{MPa}$; $f_{ctk}=1,8\text{MPa}$; $f_{ctd}=1,2\text{MPa}$

3.4 Výroba

Výroba bude probíhat v závodě ve shodě s ČSN EN 1090 – 2 (*Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí. Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce*). Při výrobě musí být povrch zbaven hrubých nečistot a vyrovnaný v rámci mezních odchylek stanovených v ČSN 73 2611.

3.5 Montáž

Každá příčná vazba se skládá z 5 dílů. 3 sloupy s náběhy vazníků a 2 střední části vazníků. Každý vazník bude spojen se sloupy pomocí 2 montážních spojů. Díly budou na stavbu dovezeny jednotlivě a následně smontovány.

3.6 Ochrana

Konstrukce bude opatřena dvouvrstevným antikoročním nátěrem.

3.7 Hmotnost a cena

Celková hmotnost konstrukce je cca 109,4 tuny. Předběžná cena odhadnuta na 6 155 000,- Kč.

4. Výpočet

Program SCIA Engineer 14 byl použit pro výpočet vnitřních sil a deformací. Posudky průřezů a spoje byly posouzeny ručním výpočtem.

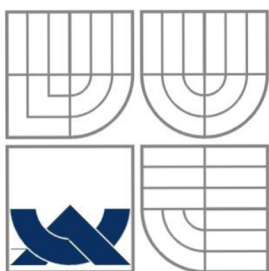
5. Použité zdroje

5.1 Seznam použitých předpisů

- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.
- ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Zatížení sněhem.
- ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Zatížení větrem
- ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí – Zatížení konstrukcí pozemních staveb teplotami
- ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků

5.2 Seznam použité literatury

- BO02 – PRVKY KOVOVÝVH KONSTRUKCÍ, podklady a zápisky z výuky
- BO04 – KOVOVÉ KONSTRUKCE I, podklady a zápisky z výuky
- BÁRTLOVÁ, Alice. *Vzpěr prutových soustav*. Praha, 1977



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

OCELOVÁ NOSNÁ KONSTRUKCE ZEMĚDĚLSKÉ HALY

STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN ŠOMEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Prof. Ing. MARCELA KARMAZÍNOVÁ, CSc.

BRNO 2016

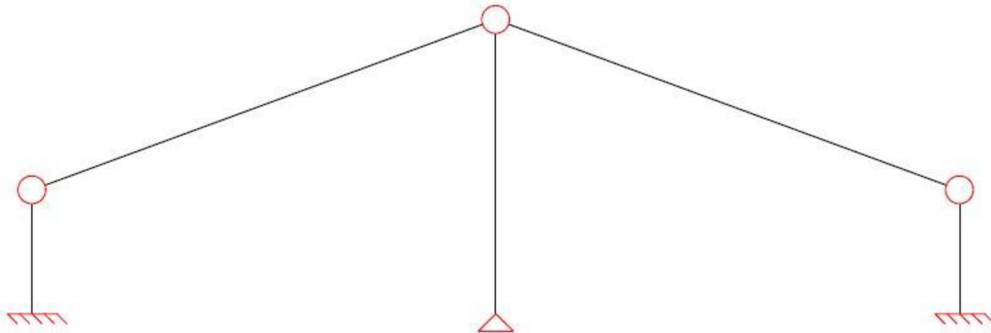
Obsah

| | |
|---|----|
| 1. Příčná vazba..... | 1 |
| 2. Zatížení..... | 5 |
| 2.1. Stálé zatížení..... | 5 |
| 2.1.1. Vlastní tíha..... | 5 |
| 2.1.2. Ostatní stálé | 5 |
| 2.2. Proměnné zatížení..... | 5 |
| 2.2.1. Zatížení sněhem | 5 |
| 2.2.2. Zatížení větrem..... | 6 |
| 2.3. Zatěžovací stavy..... | 8 |
| 2.4. Kombinace..... | 9 |
| 3. Statický výpočet..... | 9 |
| 3.1. Geometrie..... | 9 |
| 3.2. Průřezy | 10 |
| 3.2.1. Sloupy..... | 10 |
| 3.2.2. Příčel | 11 |
| 3.2.3. Vaznice..... | 12 |
| 3.2.4. Ztužidla | 13 |
| 3.3. Posudky | 15 |
| 3.3.1. Kombinace zatěžovacích stavů | 15 |
| 3.3.2. Maximální hodnoty..... | 18 |
| 3.3.3. Kontrola průhybu | 18 |
| 3.3.4. Posouzení průřezů..... | 19 |
| 3.3.5. Spoje | 34 |
| 3.3.6. Kotvení | 38 |
| 3.3.7. Zatížení teplotou | 42 |

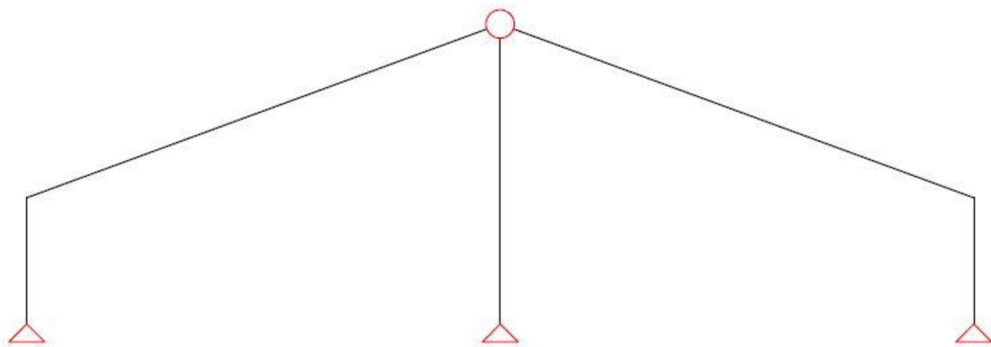
1. PŘÍČNÁ VAZBA

Byly porovnány tři možné varianty příčné vazby s odhadnutým zatížením $5\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$, přibližná hodnota zatížení plným sněhem pro danou oblast. Jako ukazatel vhodnosti varianty sloužilo vypočítané napětí na vazbě.

V první variantě jsou podpory na krajích vetknuty a uprostřed kloubově uložena na neposuvné podpoře. Styčníky jsou všechny tři kloubové.

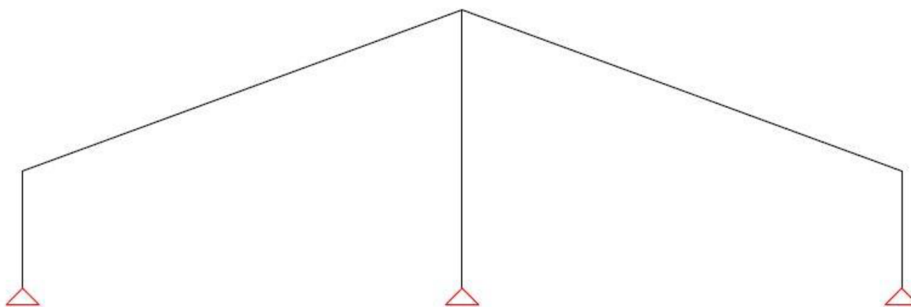


Ve druhé variantě jsou všechny tři podpory kloubově uloženy na neposuvných podporách.



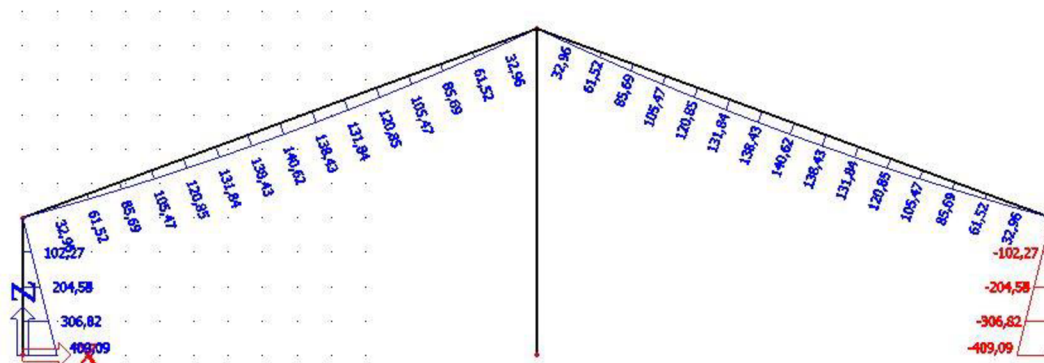
Dva krajní styčníky jsou tuhé a prostřední styčník kloubový.

A ve třetí variantě jsou všechny tři podpory kloubově uloženy na neposuvných podporách a všechny tři styčníky jsou tuhé.

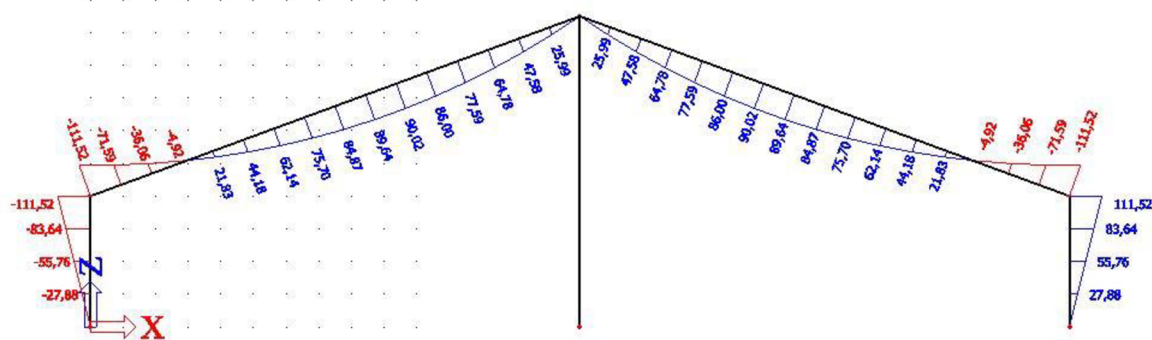


Výsledné momentové účinky od výše uvedeného zatížení na těchto vazbách.

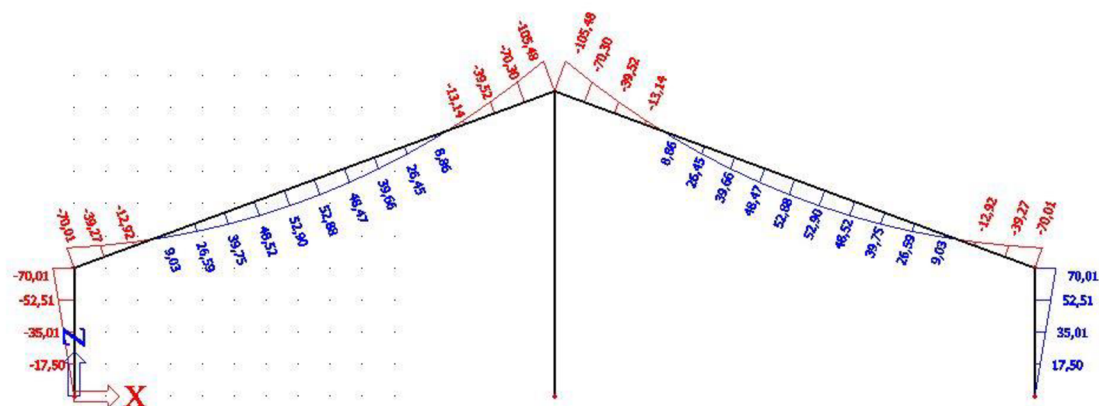
1. Varianta



2. Varianta

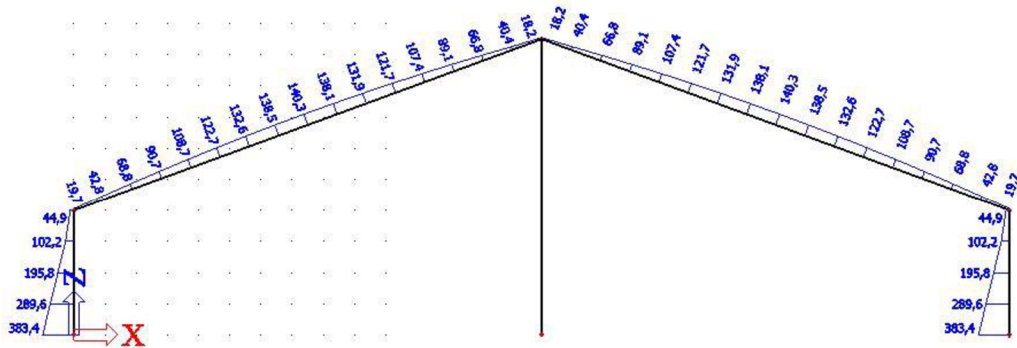


3. Varianta

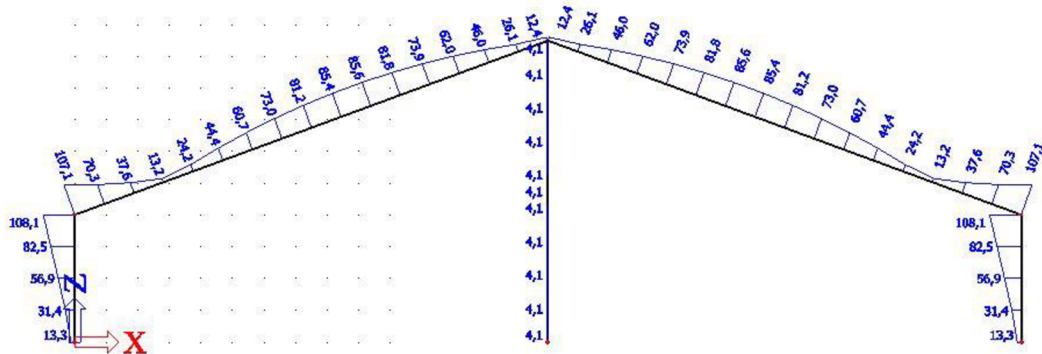


Vypočtené napětí na všech variantách.

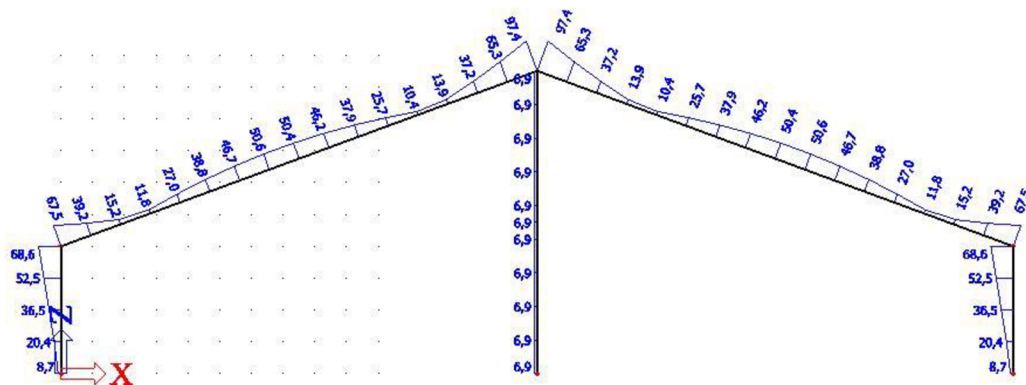
1. Varianta



2. Varianta



3. Varianta



Všechny výpočty, jak momentů, tak napětí byly provedeny v programu SCIA Engineer 14. S ohledem příklonění k výše uvedeným výsledkům byla vybrána varianta třetí, tedy všechny sloupy na neposuvných kloubových podporách a všechny stýčnický tuhé.

2. ZATÍŽENÍ

2.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ

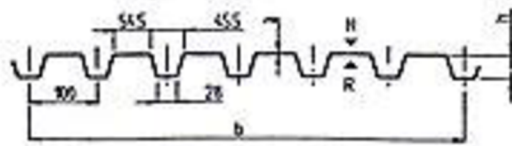
2.1.1. VLASTNÍ TÍHA

Generováno automaticky v programu SCIA Engineer 14 dle velikosti profilů.

2.1.2. OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

2.1.2.1. Střešní plášť

Spojité zatížení na celou délku vaznice $q_{k1} = 0,226 \text{ kN.m}^{-1}$.
Trapézový plech pozinkovaný 1012H tl. 1mm, Ferona



2.1.2.2. Stěna

Spojité zatížení na délku sloupu $q_{k2} = 0,678 \text{ kN.m}^{-1}$.

2.2. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

2.2.1. ZATÍŽENÍ SNĚHEM

Stavba se nachází ve městě Frýdek-Místek, sněhová oblast III. $\rightarrow S_k = 1,5 \text{ kN.m}^{-1}$.

$$S = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN.m}^{-2}$$

$\mu = 0,8$... Předpoklad, že není sněhová překážka na střeše

$C_e = 1,0$... Tabulka 5.1; ČSN EN 1991-1-3, odstavec 5.2 (7)

$C_t = 1,0$... ČSN EN 1991-1-3, odstaven 5.2 (8)

Na jeden metr příčle

$$q_s = 1,2 \cdot 6,0 = 7,2 \text{ kN.m}^{-1}$$

2.2.2. ZATÍŽENÍ VĚTREM

Kategorie terénu III.

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25,0 = 25 \text{ m.s}^{-1}$$

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$z_{min} = 5 \text{ m}$$

$$z_{max} = 200 \text{ m}$$

Referenční výška: $z_e = h = 9,5 \text{ m}$

Součinitel orografie: $C_o = 1,0$ (Příloha A.3, ČSN EN 1991-1-4)

$$z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$5 \leq 9,5 \leq 200 \Rightarrow C_r(z) = K_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,215 \cdot \ln(9,5/0,3) = 0,743$$

$$K_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 \cdot (0,3/0,05)^{0,07} = 0,215$$

$$\text{Součinitel turbulence: } I_v(z) = K_1/(C_o(z) \cdot \ln(z/z_0)) = 1,0/(1,0 \cdot 3,455) = 0,289$$

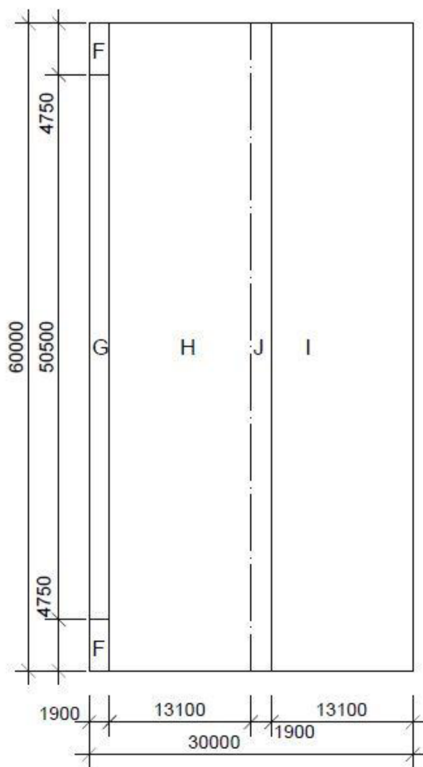
$$\text{Střední rychlost větru: } v_b = C_r(z) \cdot C_o(z) \cdot v_b = 0,743 \cdot 1,0 \cdot 25 = 18,575 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\text{Součinitel expozice: } C_e(z) = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot (C_r \cdot C_o)^2 = (1 + 7 \cdot 0,289) \cdot (0,743 \cdot 1,0)^2 = 1,669$$

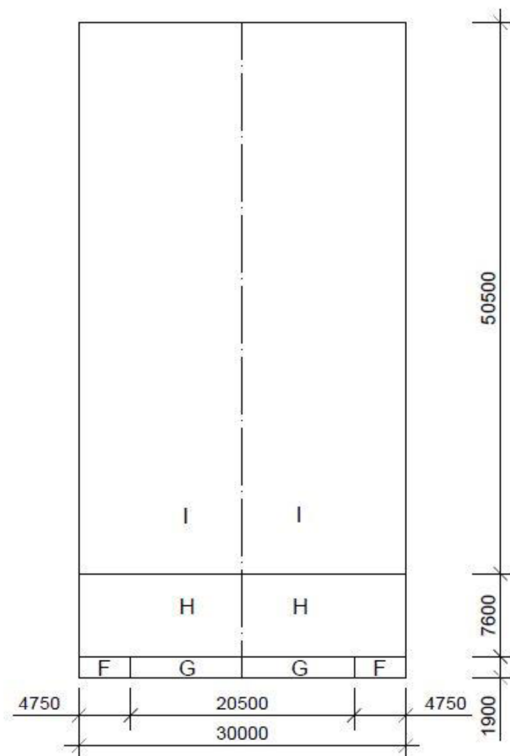
$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2(z) = 1/2 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 391 \text{ N.m}^{-2}$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$\text{Maximální dynamický tlak: } q_p(z) = C_e(z) \cdot q_b = 1,669 \cdot 391 = 652,579 \text{ N.m}^{-2}$$



Příčný vítr



Podélný vítr

2.2.2.1. Součinitel vnějšího tlaku pro příčný vítr

Oblast H:

$$C_{pe,10}(20^\circ) = -0,266; \quad C_{pe,10}^+(20^\circ) = 0,266$$

Oblast J:

$$C_{pe,10}(20^\circ) = 0,833; \quad C_{pe,10}^+(20^\circ) = 0,000$$

Oblast I:

$$C_{pe,10}(20^\circ) = 0,4; \quad C_{pe,10}^+(20^\circ) = 0,000$$

Oblast F:

$$C_{pe,10}(20^\circ) = -0,766; \quad C_{pe,10}^+(20^\circ) = 0,366$$

Oblast G:

$$C_{pe,10}(20^\circ) = -0,7; \quad C_{pe,10}^+(20^\circ) = 0,366$$

2.2.2.2. Součinitel vnějšího tlaku pro podélný vítr

Oblast F:

$$C_{pe,10}(20^\circ) = -1,233$$

Oblast G:

$$C_{pe,10}(20^\circ) = -1,333$$

Oblast H:

$$C_{pe,10}(20^\circ) = -0,666$$

Oblast I:

$$C_{pe,10}(20^\circ) = -0,5$$

2.2.2.3. Tlak větru pro příčný vítr

$$w = q_p \cdot C_{pe}$$

Oblast H:

$$w = 0,266 \cdot 653 = 174 \text{ N.m}^{-2}$$

Oblast J:

$$w = -0,833 \cdot 653 = -544 \text{ N.m}^{-2}$$

Oblast I:

$$w = -0,4 \cdot 653 = -261,1 \text{ N.m}^{-2}$$

Oblast F:

$$w = 0,366 \cdot 653 = 239 \text{ N.m}^{-2}$$

Oblast G:

$$w = 0,366 \cdot 653 = 239 \text{ N.m}^{-2}$$

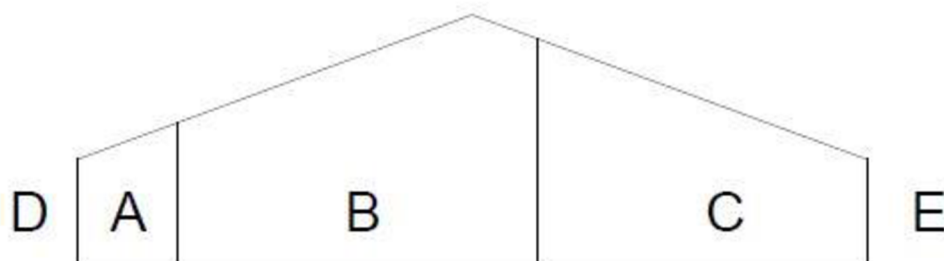
2.2.2.4. Tlak větru pro podélný vítr

$$w = q_p \cdot C_{pe}$$

Oblast H:

$$w = -0,666 \cdot 653 = -435 \text{ N.m}^{-2}$$

2.2.2.5. Součinitel tlaku větru na stěnu



Oblast A:

$$C_{pe,10} = -1,2$$

Oblast B:

$$C_{pe,10} = -0,856$$

Oblast C:

$$C_{pe,10} = -0,5$$

Oblast D:

$$C_{pe,10} = 0,709$$

Oblast E:

$$C_{pe,10} = -0,32$$

2.2.2.6. Tlak větru na stěnu

Oblast A:

$$w = -1,2 \cdot 653 = -0,784 \text{ N.m}^{-2}$$

Oblast B:

$$w = -0,856 \cdot 653 = -0,559 \text{ N.m}^{-2}$$

Oblast C:

$$w = -0,5 \cdot 653 = -0,327 \text{ N.m}^{-2}$$

Oblast D:

$$w = 0,709 \cdot 653 = 0,463 \text{ N.m}^{-2}$$

Oblast E:

$$w = -0,320 \cdot 653 = -0,209 \text{ N.m}^{-2}$$

2.3. ZATĚŽOVACÍ STAVY

1.ZS: Vlastní tíha

2.ZS: Sníh plný

3.ZS: Vítr + sníh

4.ZS: Vítr sání

2.4. KOMBINACE

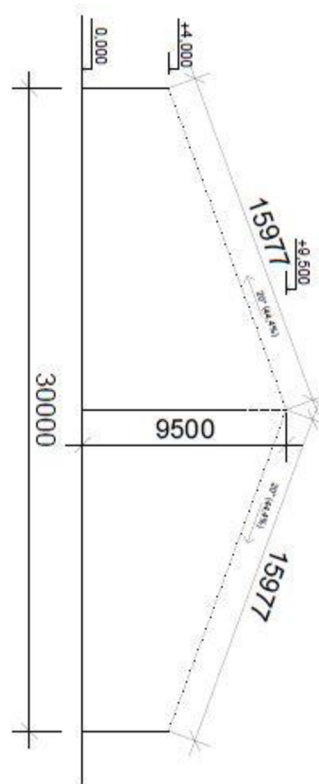
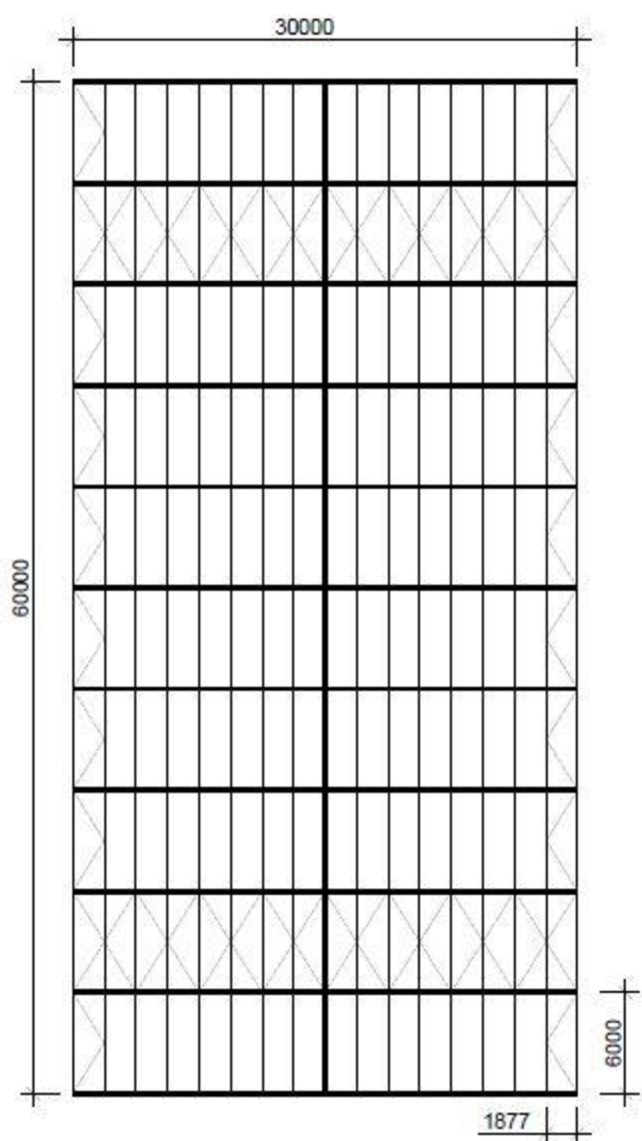
CO1: 1.ZS + 2.ZS

CO2: 1.ZS + 3.ZS

CO3: 1.ZS + 4.ZS

3. STATICKÝ VÝPOČET

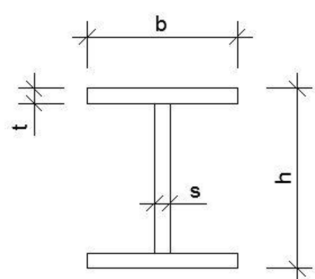
3.1 GEOMETRIE



3.2. PRŮŘEZY

3.2.1. SLOUPY

3.2.1.1 Krajní sloupy



Svařovaný I průřez o rozměrech:

$$h = 350 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$s = 14 \text{ mm}$$

$$t = 18 \text{ mm}$$

Průřez je proměnný a jeho výška h se zvětší o 150 mm na 500 mm.

Průřezové charakteristiky pro $h = 350 \text{ mm}$:

$$A = 1,1596 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = 2,3472 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 2,4072 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,142 \text{ m}$$

$$i_z = 0,046 \text{ m}$$

$$W_{el,y} = 1,3412 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 2,4072 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 1,5403 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 3,7539 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_t = 1,0124 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_w = 6,5854 \cdot 10^{-7} \text{ m}^6$$

Průřezové charakteristiky pro $h = 500 \text{ mm}$:

$$A = 1,370 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = 5,3492 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 2,4106 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,198 \text{ m}$$

$$i_z = 0,042 \text{ m}$$

$$W_{el,y} = 2,1397 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 2,4106 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

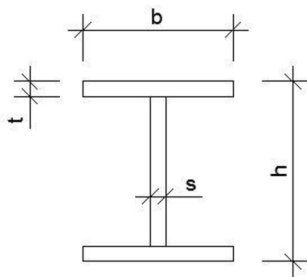
$$W_{pl,y} = 2,4887 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 3,8274 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_t = 1,1283 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_w = 1,3894 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$$

3.2.1.2. Střední sloup



Svařovaný I průřez o rozměrech:

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

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

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

Průřez je konstantní po celé své délce.

Průřezové charakteristiky:

$$A = 3,424 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = 3,6001 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_z = 2,565 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,324 \text{ m}$$

$$i_z = 0,087 \text{ m}$$

$$W_{el,y} = 9,0003 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 1,2825 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

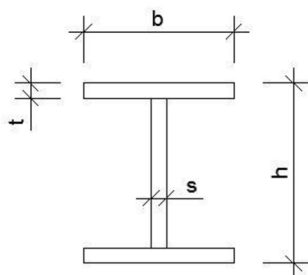
$$W_{pl,y} = 1,0277 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 1,9952 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_t = 5,3666 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_w = 3,8462 \cdot 10^{-5} \text{ m}^6$$

3.2.2. PŘÍČEL



Svařovaný I průřez o rozměrech:

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

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

$$t = 16 \text{ mm}$$

Příčle má na každé straně náběh. Její výška h se zvětší o 150 mm na 650 mm. Náběh je dlouhý 20% z délky příčle, to je 3,195m.

Průřezové charakteristiky pro $h = 500 \text{ mm}$:

$$A = 1,202 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = 4,775 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 2,140 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,199 \text{ m}$$

$$i_z = 0,042 \text{ m}$$

$$W_{el,y} = 1,910 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 2,140 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 2,206 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 3,369 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_t = 7,655 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_w = 1,246 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$$

Průřezové charakteristiky pro $h = 650 \text{ mm}$:

$$A = 1,382 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = 8,793 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 2,142 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,252 \text{ m}$$

$$i_z = 0,039 \text{ m}$$

$$W_{el,y} = 2,706 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 2,142 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 3,175 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

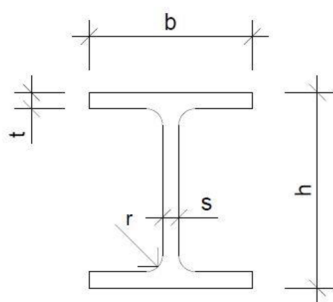
$$W_{pl,z} = 3,423 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_t = 8,124 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_w = 2,137 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$$

3.2.3. VAZNICE

3.2.3.1. Vnitřní vaznice



Profil IPE200 o rozměrech:

$$h = 200 \text{ mm}$$

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

$$s = 6 \text{ mm}$$

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

$$t = 9 \text{ mm}$$

Průřezové charakteristiky:

$$A = 2,8500 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 1,9430 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 1,4200 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,083 \text{ m}$$

$$i_z = 0,022 \text{ m}$$

$$W_{el,y} = 1,9400 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 2,8500 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 2,2100 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

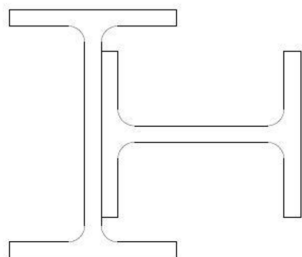
$$W_{pl,z} = 4,4600 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I_t = 6,9800 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_w = 1,3000 \cdot 10^{-8} \text{ m}^6$$

3.2.3.2. Okapová vaznice

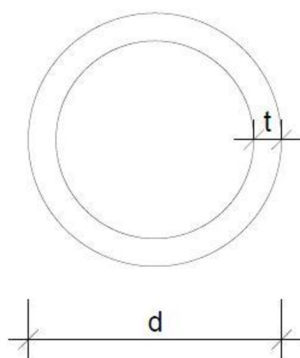
Dva IPE200 profily svařené kolmo na sebe.



Slouží k eliminaci vodorovného průhybu.

3.2.4. ZTUŽIDLA

3.2.4.1. Ztužidlo příčné střešní



Trubka o rozměrech:

$$d = 60 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

Průřezové charakteristiky:

$$A = 7,0372 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = 2,7726 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_z = 2,7726 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,020 \text{ m}$$

$$i_z = 0,020 \text{ m}$$

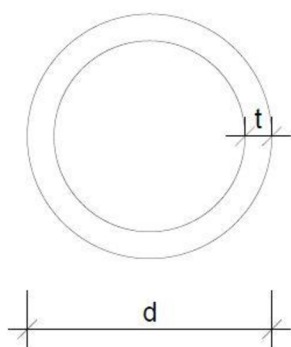
$$W_{el,y} = 9,2421 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 9,2421 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 1,2565 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 1,2565 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

3.2.4.2. Ztužidlo podélné střešní



Trubka o rozměrech:

$$d = 60 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

Průřezové charakteristiky:

$$A = 7,0372 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = 2,7726 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_z = 2,7726 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,020 \text{ m}$$

$$i_z = 0,020 \text{ m}$$

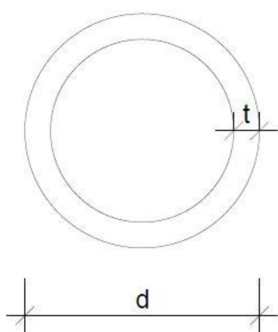
$$W_{el,y} = 9,2421 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 9,2421 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 1,2565 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 1,2565 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

3.2.4.3. Ztužidlo příčné stěnové



Trubka o rozměrech:

$$d = 80 \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

Průřezové charakteristiky:

$$A = 1,3949 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 9,6106 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_z = 9,6106 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,026 \text{ m}$$

$$i_z = 0,026 \text{ m}$$

$$W_{el,y} = 2,4027 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 2,4027 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 3,2928 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

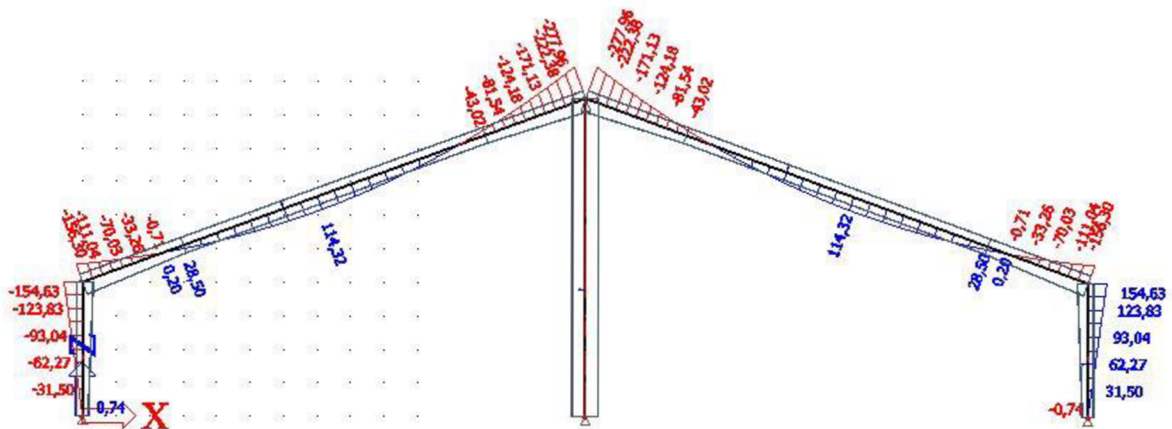
$$W_{pl,z} = 3,2928 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

3.3. POSUDKY

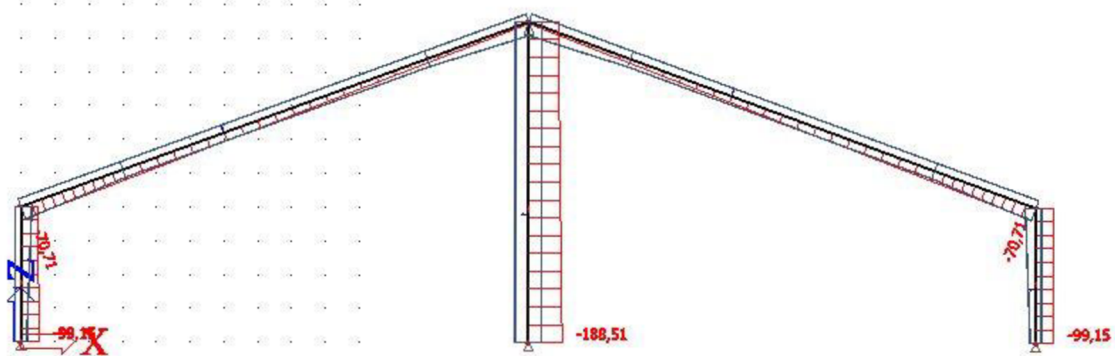
3.3.1. KOMBINACE ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ

3.3.1.1. CO1 Vlastní tíha + Plný sníh

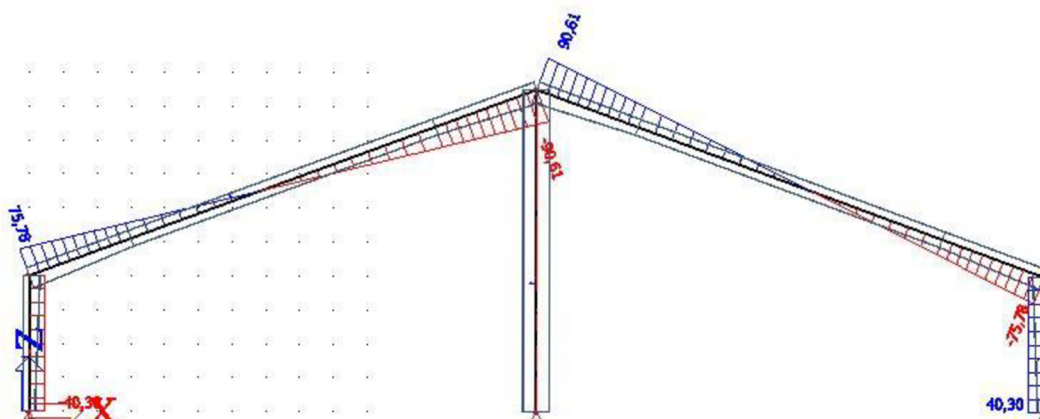
Ohybové momenty



Normálové síly

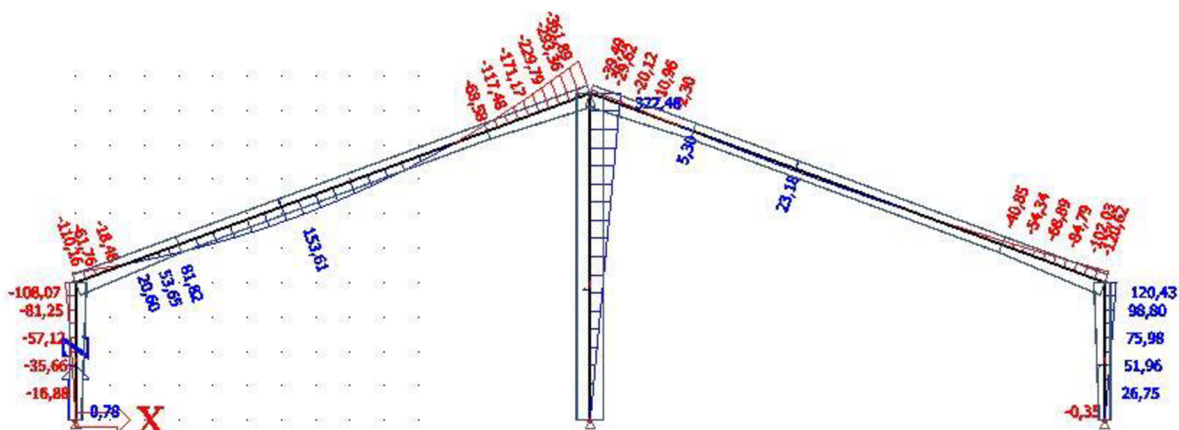


Smykové síly

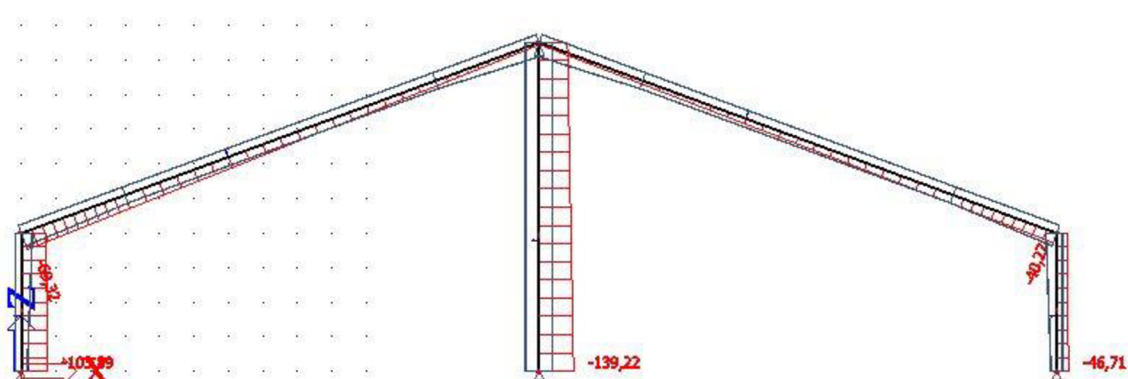


3.3.1.2. CO2 Vlastní tíha + vítr + sníh

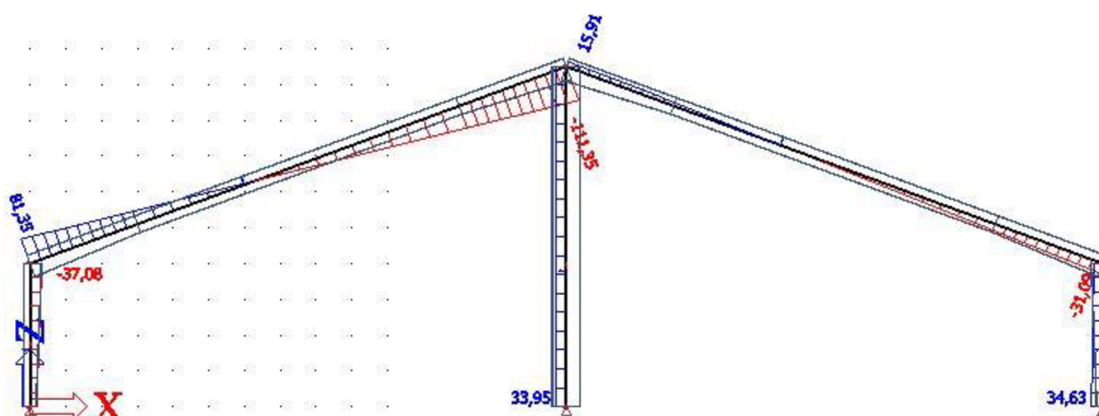
Momenty



Normálové síly



Posouvající síly



3.3.2. MAXIMÁLNÍ HODNOTY

3.3.2.1. Přičel

$$M_{\max} = 361,89 \text{ kNm}; N = 7,91 \text{ kN}; V = 111,35 \text{ kN (CO2)}$$

$$M_{\max} = 153,61 \text{ kNm}; N = 42,47 \text{ kN}; V = 2,91 \text{ kN (moment v poli) (CO2)}$$

$$N_{\max} = 70,71 \text{ kN}; M = 156,30 \text{ kNm (CO1)}$$

3.3.2.2. Sloup krajní

$$M_{\max} = 154,63 \text{ kNm}; N = 99,15 \text{ kN}; V = 40,30 \text{ kN (CO1)}$$

$$N_{\max} = 103,89 \text{ kN}; M = 0,70 \text{ kNm (CO2)}$$

3.3.2.3. Sloup střední

$$M_{\max} = 322,48 \text{ kNm}; N = 114,17 \text{ kN}; V = 33,95 \text{ (CO2)}$$

$$N_{\max} = 188,51 \text{ kN}; M = 0 \text{ (CO1)}$$

3.3.3. KONTROLA PRŮHYBU

3.3.3.1. Přičel

$$w_{\max} = \frac{L}{486} = 32,9 \text{ mm (CO2)}$$

$$w_{\lim} = \frac{L}{250} = 63,9 \text{ mm}$$

$$w_{\max} < w_{\lim} \dots \text{Vyhoví}$$

3.3.3.2. Sloup krajní

$$w_{\max} = \frac{L}{286} = 14 \text{ mm (CO2)}$$

$$w_{\lim} = \frac{L}{300} = 13,33 \text{ mm}$$

$$w_{\max} > w_{\lim} \dots \text{Nevyhoví, ale hodnota průhybu nezapočítává spolupůsobení ztužidel}$$

3.3.3.3. Sloup střední

$$w_{\max} = \frac{L}{679} = 14 \text{ mm (CO2)}$$

$$w_{\text{dop}} = \frac{L}{300} = 31,67 \text{ mm}$$

$$w_{\max} < w_{\lim} \dots \text{Vyhoví}$$

$$K_{wt} = \frac{\pi}{K_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 2,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,137 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^9 \cdot 8,124 \cdot 10^{-7}}} = 4,102$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{K_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,325}{1,0 \cdot 2,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,142 \cdot 10^{-5}}{81 \cdot 10^9 \cdot 8,124 \cdot 10^{-7}}} = 4,221$$

$$z_g = z_a - z_s = 0,325 - 0 = 0,325 \text{ m}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{K_z} \cdot \left[\sqrt{1 + K_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,75}{1,0} \cdot \left[\sqrt{1 + 4,102^2 + (0,83 \cdot 4,221)^2} - (0,83 \cdot 4,221) \right]$$

$$\mu_{cr} = 3,47$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 3,47 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 2,142 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 8,124 \cdot 10^{-7}}}{2,0} = 2965,488 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,175 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{2965488}} = 0,502$$

$$\alpha = 0,76 \text{ (svařovaný, } h/b = 650/200 = 3,25 > 2)$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (0,502 - 0,2) + 0,502^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,741$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,741 + \sqrt{0,741^2 - 0,502^2}} = 0,776$$

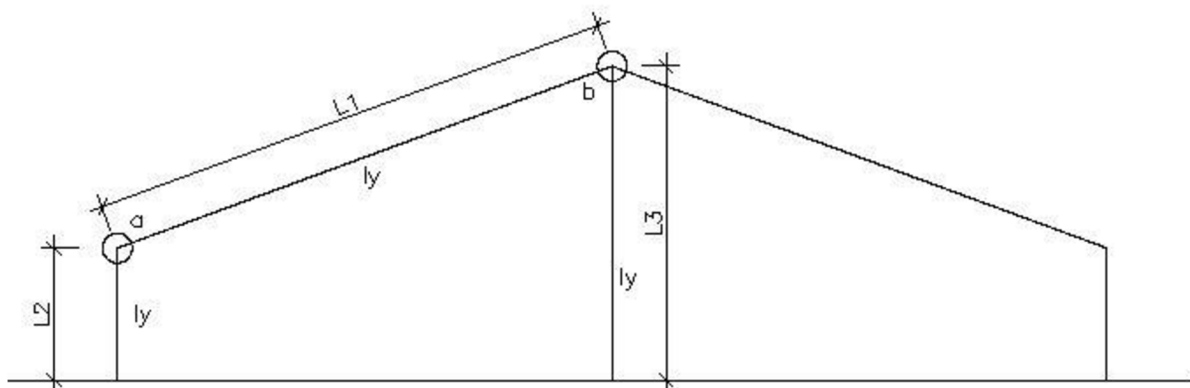
3.3.4.1.3. Vzpěr

Vzpěrné délky:

$$L_{cr,z} = 2,0 \text{ m (vzdálenost vaznic)}$$

$$L_{cr,y} = 35,2 \text{ m (metoda rámových výseků)}$$

Metoda rámových výseků:



$$R_i = \frac{I_i}{L_i}$$

$$R_1 = \frac{I_y}{L_1} = \frac{4,775 \cdot 10^{-4}}{16} = 29,84 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$R_2 = \frac{I_y}{L_2} = \frac{3,8482 \cdot 10^{-4}}{4} = 96,205 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$R_3 = \frac{I_y}{L_3} = \frac{3,6001 \cdot 10^{-3}}{9,5} = 378,96 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

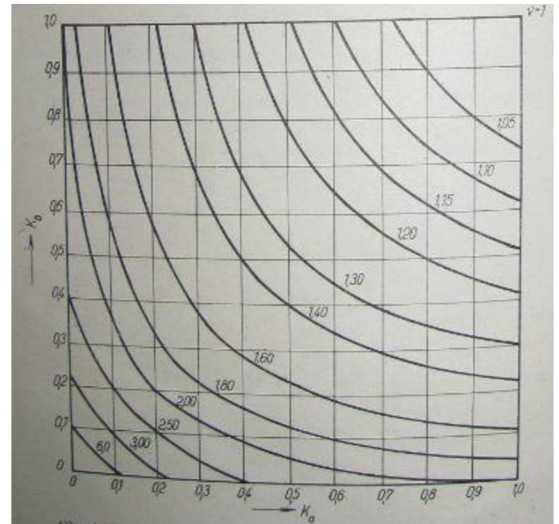
$$R_4 = R_1$$

$$K_a = \frac{R_1}{R_2 + R_1} = \frac{29,84 \cdot 10^{-6}}{29,84 \cdot 10^{-6} + 96,205 \cdot 10^{-6}} = 0,237$$

$$K_b = \frac{R_1 + R_4}{R_1 + R_3 + R_4} = \frac{29,84 \cdot 10^{-6} \cdot 2}{29,84 \cdot 10^{-6} \cdot 2 + 378,96 \cdot 10^{-6}} = 0,136$$

$$v = 2,2$$

$$L_{cr} = v \cdot L = 2,2 \cdot 16 = 35,2 \text{ m}$$



Součinitele vzpěrnosti:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z \cdot 93,9} = \frac{2,0}{0,039 \cdot 93,9} = 0,546$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot 93,9} = \frac{35,2}{0,252 \cdot 93,9} = 1,488$$

Posouzení:

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

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,488 - 0,2) + 1,488^2]$$

$$\Phi_y = 1,923$$

$$X_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{1,923 + \sqrt{1,923^2 - 1,488^2}} = 0,318$$

3.3.4.1.4. Únosnost

$$N_{rk} = f_y \cdot A = 235 \cdot 10^6 \cdot 1,382^{-2} = 3247,7 \text{ kN}$$

$$M_{rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 235 \cdot 10^6 \cdot 3,175 \cdot 10^{-3} = 746,125 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{\gamma_{M1} \cdot N_{rk}} + \frac{M_{y,ed}}{\gamma_{M1} \cdot M_{rk}} = \frac{7,91}{0,318 \cdot 3247,7} + \frac{361,89}{0,776 \cdot 746,125} = 0,008 + 0,625 = 0,633 < 1,0$$

Průřez vyhoví na kombinaci ohybu a normálové síly.

3.3.4.1.5. Smyk

$$V_{c,rd} = V_{pl,rd}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{74,16 \cdot 10^{-4} \cdot (235 \cdot 10^6 / \sqrt{3})}{1,0} = 1006,183 \text{ kN}$$

$$A_v = h_w \cdot t_w = 0,618 \cdot 0,012 = 74,16 \cdot 10^{-4}$$

$$V_{ed} = 111,35 \text{ kN}$$

$$V_{ed} < 0,5 \cdot V_{c,rd}$$

Účinek smykové síly na únosnost v ohybu lze zanedbat.

Průřez na smyk vyhoví.

3.3.4.2. Příčel v poli

3.3.4.2.1. Zatřídění průřezu

$$\text{stojina: } c_w/t_w = 468/12 = 39 \leq 72\varepsilon;$$

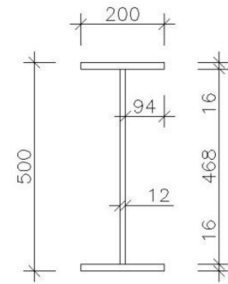
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

třída 1

$$\text{pásnice: } c_f/t_f = 94/16 = 4 \leq 9\varepsilon$$

třída 1

Průřez tř. 1



3.3.4.2.2. Klopení

$$K_z = 1,0$$

$$K_w = 1,0$$

$$C_1 = 1,75$$

Součinitele viz norma ČSN EN 1993-1-1 Ocelové konstrukce

$$C_2 = 0,83$$

$$C_3 = 0,0$$

$$K_{wt} = \frac{\pi}{K_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 2,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 1,246 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^9 \cdot 7,655 \cdot 10^{-7}}} = 3,227$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{K_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,25}{1,0 \cdot 2,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,14 \cdot 10^{-5}}{81 \cdot 10^9 \cdot 7,655 \cdot 10^{-7}}} = 3,343$$

$$z_g = z_a - z_s = 0,25 - 0 = 0,25 \text{ m}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{K_z} \cdot \left[\sqrt{1 + K_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,75}{1,0} \cdot \left[\sqrt{1 + 3,227^2 + (0,83 \cdot 3,343)^2} - (0,83 \cdot 3,343) \right]$$

$$\mu_{cr} = 2,795$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 2,795 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 2,14 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 7,655 \cdot 10^{-7}}}{2,0} = 2317,573 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,206 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{2317573}} = 0,473$$

$$\alpha = 0,76 \text{ (svařovaný, } h/b = 650/200 = 3,25 > 2)$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (0,473 - 0,2) + 0,473^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,716$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,716 + \sqrt{0,716^2 - 0,473^2}} = 0,798$$

3.3.4.2.3. Vzpěr

Vzpěrné délky:

$$L_{cr,z} = 2,0 \text{ m (vzdálenost vaznic)}$$

$$L_{cr,y} = 35,2 \text{ m (viz 3.3.4.1.3.)}$$

Součinitele vzpěrnosti:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z \cdot 93,9} = \frac{2,0}{0,042 \cdot 93,9} = 0,507$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot 93,9} = \frac{35,2}{0,199 \cdot 93,9} = 1,883$$

Posouzení:

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

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,883 - 0,2) + 1,883^2]$$

$$\Phi_y = 2,685$$

$$X_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{2,685 + \sqrt{2,685^2 - 1,883^2}} = 0,217$$

3.3.4.2.4. Únosnost

$$N_{rk} = f_y \cdot A = 235 \cdot 10^6 \cdot 1,202^{-2} = 2824,7 \text{ kN}$$

$$M_{rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 235 \cdot 10^6 \cdot 2,206 \cdot 10^{-3} = 518,41 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{X_y \cdot N_{rk}} + \frac{M_{y,ed}}{X_{LT} \cdot M_{rk}} = \frac{42,47}{0,217 \cdot 2824,7} + \frac{153,61}{0,798 \cdot 518,41} = 0,069 + 0,371 = 0,44 < 1,0$$

Průřez vyhoví na kombinaci ohybu a normálové síly.

3.3.4.2.5. Smyk

$$V_{c,rd} = V_{pl,rd}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{56,16 \cdot 10^{-4} \cdot (235 \cdot 10^6 / \sqrt{3})}{1,0} = 761,964 \text{ kN}$$

$$A_v = h_w \cdot t_w = 0,468 \cdot 0,012 = 56,16 \cdot 10^{-4}$$

$$V_{ed} = 2,91 \text{ kN}$$

$$V_{ed} < 0,5 \cdot V_{c,rd}$$

Účinek smykové síly na únosnost v ohybu lze zanedbat.

Průřez na smyk vyhoví.

3.3.4.3. Příčel na maximální normálovou sílu

$$N_{ed} = 70,71 \text{ kN}$$

$$M = 156,30 \text{ kNm}$$

Maximální N se nachází u styčnicku. Výpočtová data jsou tedy převzata z výpočtu 3.3.4.1.

$$N_{rk} = f_y \cdot A = 235 \cdot 10^6 \cdot 1,382^{-2} = 3247,7 \text{ kN}$$

$$M_{rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 235 \cdot 10^6 \cdot 3,175 \cdot 10^{-3} = 746,125 \text{ kN}$$

$$\frac{\frac{N_{ed}}{X_{y,Nrk}}}{\gamma_{M1}} + \frac{\frac{M_{y,ed}}{X_{LT,Mrk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{70,71}{\frac{0,318 \cdot 3247,7}{1,0}} + \frac{156,30}{\frac{0,776 \cdot 746,125}{1,0}} = 0,069 + 0,27 = 0,34 < 1,0$$

Průřez vyhoví na maximální normálovou sílu a k ní odpovídající ohybový moment.

3.3.4.4. Sloup krajní

3.3.4.4.1. Zatřívání průřezu

$$\text{stojina: } c_w/t_w = 464/14 = 33,1 \leq 38\epsilon;$$

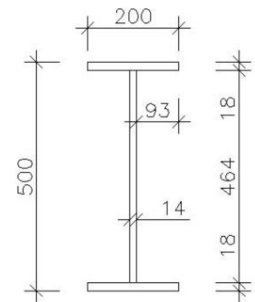
$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

třída 2

$$\text{pásnice: } c_t/t_f = 93/18 = 5,17 \leq 9\epsilon$$

třída 1

Průřez tř. 2



3.3.4.4.2. Klopení

$$K_z = 1,0$$

$$K_w = 1,0$$

$$C_1 = 1,75$$

Součinitele viz norma ČSN EN 1993-1-1 Ocelové konstrukce

$$C_2 = 0,83$$

$$C_3 = 0,0$$

$$K_{wt} = \frac{\pi}{K_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 4,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 1,3894 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^9 \cdot 1,1283 \cdot 10^{-6}}} = 1,403$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{K_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,25}{1,0 \cdot 4,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,4106 \cdot 10^{-5}}{81 \cdot 10^9 \cdot 1,1283 \cdot 10^{-6}}} = 1,461$$

$$z_g = z_a - z_s = 0,25 - 0 = 0,25 \text{ m}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{K_z} \cdot \left[\sqrt{1 + K_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,75}{1,0} \cdot \left[\sqrt{1 + 1,403^2 + (0,83 \cdot 1,461)^2} - (0,83 \cdot 1,461) \right]$$

$$\mu_{cr} = 1,565$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,565 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 2,4106 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 1,1283 \cdot 10^{-6}}}{4,0} = 900,688 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,4887 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{900 \cdot 688}} = 0,806$$

$$\alpha = 0,76 \text{ (svařovaný, } h/b = 650/200 = 3,25 > 2)$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (0,806 - 0,2) + 0,806^2]$$

$$\Phi_{LT} = 1,055$$

$$X_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{1,055 + \sqrt{1,055^2 - 0,806^2}} = 0,576$$

3.3.4.4.3. Vzpěr

Vzpěrné délky:

$$L_{cr,z} = 4,0 \text{ m (výška sloupu)}$$

$$L_{cr,y} = 11,6 \text{ m (metoda rámových výseků)}$$

Metoda rámových výseků:

$$R_i = \frac{I_i}{L_i}$$

$$R_1 = \frac{I_{y,n}}{L_1} = \frac{3,8482 \cdot 10^{-4}}{4,0} = 96,205 \cdot 10^{-6}$$

$I_{y,n}$... Průměrná hodnota momentu setrvačnosti průřezu sloupu na začátku a na konci, kvůli proměnnému průřezu.

$$R_2 = \frac{I_y}{L_2} = \frac{4,775 \cdot 10^{-4}}{16} = 29,84 \cdot 10^{-6}$$

$$K_a = \frac{R_2}{R_2 + R_1} = \frac{29,84 \cdot 10^{-6}}{29,84 \cdot 10^{-6} + 96,205 \cdot 10^{-6}} = 0,237$$

$$K_b = 0$$

$$v = 2,9$$

$$L_{cr} = v \cdot L = 2,9 \cdot 4,0 = 11,6 \text{ m}$$

Součinitele vzpěrnosti:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z \cdot 93,9} = \frac{4,0}{0,042 \cdot 93,9} = 1,014$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot 93,9} = \frac{11,6}{0,198 \cdot 93,9} = 0,624$$

Posouzení:

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_y^2]$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,014 - 0,2) + 1,014^2]$$

$$\Phi_z = 1,214$$

$$X_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,214 + \sqrt{1,214^2 - 1,014^2}} = 0,532$$

3.3.4.4.4. Únosnost

$$N_{rk} = f_y \cdot A = 235 \cdot 10^6 \cdot 1,37 \cdot 10^{-2} = 3219,5 \text{ kN}$$

$$M_{rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 235 \cdot 10^6 \cdot 2,4884 \cdot 10^{-3} = 584,845 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{X_z \cdot N_{rk}} + \frac{M_{y,ed}}{X_{LT} \cdot M_{rk}} = \frac{99,15}{0,532 \cdot 3219,5} + \frac{154,63}{0,576 \cdot 584,845} = 0,059 + 0,459 = 0,518 < 1,0$$

Průřez vyhoví na maximální normálovou sílu a k ní odpovídající ohybový moment.

3.3.4.4.5. Smyk

$$V_{c,rd} = V_{pl,rd}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{64,96 \cdot 10^{-4} \cdot (235 \cdot 10^6 / \sqrt{3})}{1,0} = 881,360 \text{ kN}$$

$$A_v = h_w \cdot t_w = 0,464 \cdot 0,014 = 64,96 \cdot 10^{-4}$$

$$V_{ed} = 40,30 \text{ kN}$$

$$V_{ed} < 0,5 \cdot V_{c,rd}$$

Účinek smykové síly na únosnost v ohybu lze zanedbat.

Průřez na smyk vyhoví.

3.3.4.5. Únosnost krajního sloupu na maximální normálovou sílu

3.3.4.5.1. Zatřívání průřezu

$$\text{stojina: } c_w/t_w = 314/14 = 22,43 \leq 33\varepsilon;$$

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

třída 1

$$\text{pásnice: } c_t/t_f = 93/18 = 5,17 \leq 9\varepsilon$$

třída 1

Průřez tř. 1

3.3.4.5.2. Klopení

$$K_z = 1,0$$

$$K_w = 1,0$$

$$C_1 = 1,75$$

Součinitele viz norma ČSN EN 1993-1-1 Ocelové konstrukce

$$C_2 = 0,83$$

$$C_3 = 0,0$$

$$K_{wt} = \frac{\pi}{K_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 4,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 6,5854 \cdot 10^{-7}}{81 \cdot 10^9 \cdot 1,0124 \cdot 10^{-6}}} = 1,02$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{K_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,175}{1,0 \cdot 4,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,4072 \cdot 10^{-5}}{81 \cdot 10^9 \cdot 1,0124 \cdot 10^{-6}}} = 1,079$$

$$z_g = z_a - z_s = 0,175 - 0 = 0,175 \text{ m}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{K_z} \cdot \left[\sqrt{1 + K_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,75}{1,0} \cdot \left[\sqrt{1 + 1,02^2 + (0,83 \cdot 1,079)^2} - (0,83 \cdot 1,079) \right]$$

$$\mu_{cr} = 1,383$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,383 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 2,4072 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 1,0124 \cdot 10^{-6}}}{4,0} = 699,353 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,5403 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{699,353}} = 0,719$$

$$\alpha = 0,49 \text{ (svařovaný, } h/b = 350/200 = 1,72 < 2)$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,719 - 0,2) + 0,719^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,886$$

$$X_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,886 + \sqrt{0,886^2 - 0,719^2}} = 0,712$$

3.3.4.5.3. Vzpěr

Vzpěrné délky:

$$L_{cr,z} = 4,0 \text{ m (výška sloupu)}$$

$$L_{cr,y} = 11,6 \text{ m (viz 3.3.4.4.3.)}$$

Součinitele vzpěrnosti:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z \cdot 93,9} = \frac{4,0}{0,046 \cdot 93,9} = 0,926$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot 93,9} = \frac{11,6}{0,142 \cdot 93,9} = 0,870$$

Posouzení:

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_y^2]$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,926 - 0,2) + 0,926^2]$$

$$\Phi_z = 1,107$$

$$X_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,107 + \sqrt{1,107^2 - 0,926^2}} = 0,584$$

3.3.4.5.4. Únosnost

$$N_{rk} = f_y \cdot A = 235 \cdot 10^6 \cdot 1,1596 \cdot 10^{-2} = 2725,06 \text{ kN}$$

$$M_{rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 235 \cdot 10^6 \cdot 1,5403 \cdot 10^{-3} = 361,971 \text{ kN}$$

$$\frac{\frac{N_{ed}}{X_z \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} + \frac{\frac{M_{y,ed}}{X_{LT} \cdot M_{rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{103,89}{\frac{0,584 \cdot 2725,06}{1,0}} + \frac{0,7}{\frac{0,712 \cdot 361,971}{1,0}} = 0,065 + 0,003 = 0,068 < 1,0$$

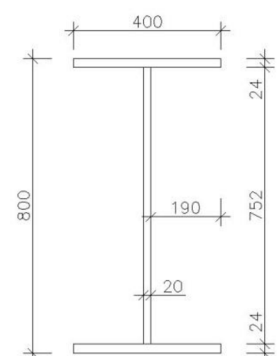
Průřez vyhoví na maximální normálovou sílu a odpovídající moment.

3.3.4.6. Sloup střední

3.3.4.6.1. Zatřídění průřezu

$$\text{stojina: } c_w/t_w = 752/20 = 37,6 \leq 38\epsilon;$$

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



třída 2

pásnice: $c_f/t_f = 190/24 = 7,92 \leq 9\epsilon$

třída 1

Průřez tř. 2

3.3.4.6.2. Klopení

$$K_z = 1,0$$

$$K_w = 1,0$$

$$C_1 = 1,75$$

Součinitele viz norma ČSN EN 1993-1-1 Ocelové konstrukce

$$C_2 = 0,83$$

$$C_3 = 0,0$$

$$K_{wt} = \frac{\pi}{K_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 9,5} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 3,8462 \cdot 10^{-5}}{81 \cdot 10^9 \cdot 5,3666 \cdot 10^{-6}}} = 1,426$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{K_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,4}{1,0 \cdot 9,5} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,565 \cdot 10^{-4}}{81 \cdot 10^9 \cdot 5,3666 \cdot 10^{-6}}} = 1,473$$

$$z_g = z_a - z_s = 0,4 - 0 = 0,4 \text{ m}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{K_z} \cdot \left[\sqrt{1 + K_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,75}{1,0} \cdot \left[\sqrt{1 + 1,426^2 + (0,83 \cdot 1,473)^2} - (0,83 \cdot 1,473) \right]$$

$$\mu_{cr} = 1,584$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,584 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 2,565 \cdot 10^{-4} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 5,3666 \cdot 10^{-6}}}{9,5} = 2534,702 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,0277 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{2534702}} = 0,976$$

$$\alpha = 0,49 \text{ (svařovaný, } h/b = 800/400 = 2 \leq 2)$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,976 - 0,2) + 0,976^2]$$

$$\Phi_{LT} = 1,166$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{1,166 + \sqrt{1,166^2 - 0,976^2}} = 0,554$$

3.3.4.6.3. Vzpěr

Vzpěrné délky:

$$L_{cr,z} = 9,5 \text{ m (výška sloupu)}$$

$$L_{cr,y} = 46,74 \text{ m (metoda rámových výseků; viz 3.3.4.4.3.)}$$

Metoda rámových výseků:

$$R_i = \frac{I_i}{L_i}$$

$$R_3 = \frac{I_y}{L_1} = \frac{3,6001 \cdot 10^{-3}}{9,5} = 379 \cdot 10^{-6}$$

$$R_2 = \frac{I_y}{L_2} = \frac{4,775 \cdot 10^{-4}}{16} = 29,84 \cdot 10^{-6}$$

$$R_1 = R_2$$

$$K_a = \frac{R_1 + R_2}{R_2 + R_1 + R_3} = \frac{2 \cdot 29,84 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 29,84 \cdot 10^{-6} + 379 \cdot 10^{-6}} = 0,136$$

$$K_b = 0$$

$$v = 4,92$$

$$L_{cr} = v \cdot L = 4,92 \cdot 9,5 = 46,74 \text{ m}$$

Součinitele vzpěrnosti:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z \cdot 93,9} = \frac{9,5}{0,087 \cdot 93,9} = 1,163$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot 93,9} = \frac{46,74}{0,324 \cdot 93,9} = 1,536$$

Posouzení:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_y^2]$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,536 - 0,2) + 1,536^2]$$

$$\Phi_y = 1,907$$

$$X_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{1,907 + \sqrt{1,907^2 - 1,536^2}} = 0,329$$

3.3.4.6.4. Únosnost

$$N_{rk} = f_y \cdot A = 235 \cdot 10^6 \cdot 3,424 \cdot 10^{-2} = 8046,4 \text{ kN}$$

$$M_{rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 235 \cdot 10^6 \cdot 1,0277 \cdot 10^{-2} = 2415,095 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{\gamma_{M1} \cdot N_{rk}} + \frac{M_{y,ed}}{\gamma_{M1} \cdot M_{rk}} = \frac{114,17}{0,329 \cdot 8046,4} + \frac{322,48}{0,554 \cdot 2415,095} = 0,043 + 0,241 = 0,284 < 1,0$$

Průřez vyhoví na maximální normálovou sílu a k ní odpovídající ohybový moment.

3.3.4.6.5. Smyk

$$V_{c,rd} = V_{pl,rd}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{150,4 \cdot 10^{-4} \cdot (235 \cdot 10^6 / \sqrt{3})}{1,0} = 2040,587 \text{ kN}$$

$$A_v = h_w \cdot t_w = 0,752 \cdot 0,020 = 150,4 \cdot 10^{-4}$$

$$V_{ed} = 33,95 \text{ kN}$$

$$V_{ed} < 0,5 \cdot V_{c,rd}$$

Účinek smykové síly na únosnost v ohybu lze zanedbat.

Průřez na smyk vyhoví.

3.3.4.7. Únosnost středního sloupu na maximální normálovou sílu

$$N_{rk} = f_y \cdot A = 235 \cdot 10^6 \cdot 3,424 \cdot 10^{-2} = 8046,4 \text{ kN}$$

$$M_{rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 235 \cdot 10^6 \cdot 1,0277 \cdot 10^{-2} = 2415,095 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}} + \frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{rk}} = \frac{188,51}{0,329 \cdot 8046,4} + \frac{0}{0,554 \cdot 2415,095} = 0,071 + 0 = 0,071 < 1,0$$

Průřez vyhoví na maximální normálovou sílu a odpovídající moment.

3.3.4.8. Vaznice

3.3.4.8.1. Zatřídění průřezu

$$\text{stojina: } c_w/t_w = 158/6 = 26,33 \leq 72\varepsilon;$$

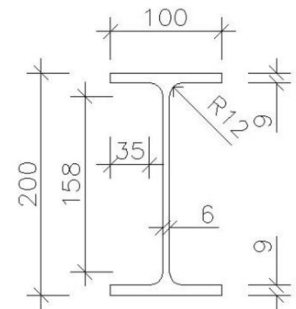
třída 1

$$\text{pásnice: } c_f/t_f = 35/9 = 3,89 \leq 9\varepsilon$$

třída 1

Jedná se tedy o průřez první třídy.

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



3.3.4.8.2. Rozložení momentů

$$N_{ed} = 13,35 \text{ kN}$$

$$A = 2,85 \cdot 10^{-3}$$

$$N_{pl,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,85 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 669,75 \text{ kN}$$

$$a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = \frac{2,85 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 0,1 \cdot 0,009}{2,85 \cdot 10^{-3}} = 0,368$$

$$n = \frac{N_{ed}}{N_{pl,rd}} = \frac{13,35}{669,75} = 0,02 \quad n < a$$

$$M_{NZ,rd} = M_{pl,z,rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,46 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 10,481 \text{ kNm}$$

$$M_{NY,rd} = \frac{[M_{pl,y,rd} \cdot (1-n)]}{1-0,5 \cdot a} = \frac{[51,935 \cdot (1-0,02)]}{1-0,5 \cdot 0,368} = 62,373 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,y,rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,21 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 51,935 \text{ kNm}$$

3.3.4.8.3. Vzpěr

Vzpěrné délky:

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

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

Součinitele vzpěrnosti:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z \cdot 93,9} = \frac{6,0}{0,022 \cdot 93,9} = 2,904$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6,0}{0,083 \cdot 93,9} = 0,77$$

Součinitel α_1 :

$$h/b = 158/85 = 1,86 > 1,2$$

$$y-y = a \text{ (křivka vzpěrné pevnosti)}; \alpha_y = 0,21$$

$$z-z = b \text{ (křivka vzpěrné pevnosti)}; \alpha_z = 0,34$$

Posouzení:

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_y^2]$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (2,904 - 0,2) + 2,904^2]$$

$$\Phi_z = 5,176$$

$$X_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{5,176 + \sqrt{5,176^2 - 2,904^2}} = 0,106$$

3.3.4.8.4. Únosnost

$$M_{ed} = 7,99 \text{ kNm}$$

$$N_{b,rd} = \frac{X_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,106 \cdot 2,85 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 70,994 \text{ kN}$$

$$M_{y,ed} = M_{ed} \cdot \sin 20^\circ = 2,733 \text{ kN}$$

$$M_{z,ed} = M_{ed} \cdot \cos 20^\circ = 7,508 \text{ kN}$$

$$\left[\frac{M_{y,ed}}{M_{NY,rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,ed}}{M_{NZ,rd}} \right]^\beta + \left[\frac{N_{ed}}{N_{b,rd}} \right] = \left[\frac{2,733}{62,373} \right]^2 + \left[\frac{7,508}{10,481} \right]^1 + \left[\frac{13,35}{70,994} \right] =$$

$$= 0,002 + 0,716 + 0,188 = 0,906 < 1,0$$

Průřez vyhoví na kombinaci šikmého ohybu a normálovou sílu.

3.3.4.8.5. Klopení

Klopení brání střešní plášť připojený k pásnicím vaznic.

3.3.4.9. Ztužidlo okapové

3.3.4.9.1. Zatřídění diagonálního prutu okapového ztužení

$$d/t = 60/4 = 15 \leq 50\varepsilon^2;$$

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

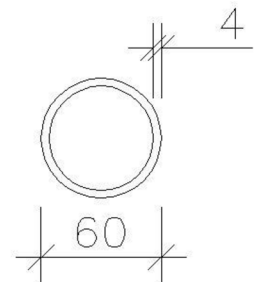
třída 1

Průřez tř. 1

3.3.4.9.2. Vzpěr

Vzpěrná délka:

$$L_{cr} = 3,61 \text{ m}$$



Součinitel vzpěrnosti:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i \cdot 93,9} = \frac{3,61}{0,02 \cdot 93,9} = 1,922$$

$$\alpha = 0,49$$

Posouzení:

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

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,922 - 0,2) + 1,922^2]$$

$$\Phi = 2,769$$

$$X = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{2,769 + \sqrt{2,769^2 - 1,922^2}} = 0,21$$

3.3.4.9.3. Únosnost

$$N_{b,rd} = \frac{X \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,21 \cdot 7,0372 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 34,729 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd}} = \frac{29,64}{34,729} = 0,854 < 1,0$$

Průřez vyhovuje na tlak.

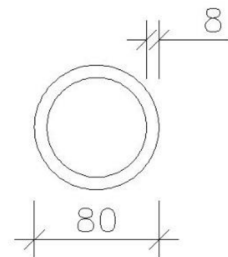
3.3.4.10. Ztužidlo stěnové příčné

3.3.4.10.1. Zatřídění diagonálního prutu stěnového ztužení

$$d/t = 80/6 = 13,33 \leq 50\epsilon^2; \quad \epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

třída 1

Jedná se tedy o průřez první třídy.



3.3.4.10.2. Vzpěr

Vzpěrná délka:

$$L_{cr} = 7,211 \text{ m}$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i \cdot 93,9} = \frac{7,211}{0,027 \cdot 93,9} = 2,844$$

$$\alpha = 0,49$$

Posouzení:

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

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,844 - 0,2) + 2,844^2]$$

$$\Phi = 5,192$$

$$X = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{5,192 + \sqrt{5,192^2 - 2,844^2}} = 0,105$$

3.3.4.10.3. Únosnost

$$N_{b,rd} = \frac{X \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,105 \cdot 9,5501 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 23,566 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd}} = \frac{20,86}{23,566} = 0,885 < 1,0$$

Průřez vyhovuje na tlak.

3.3.4.11. Ztužidlo střešní příčné

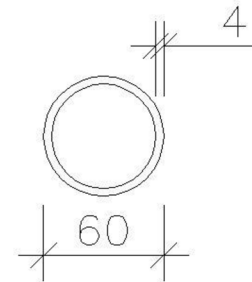
3.3.4.11.1. Zatřídění diagonálního prutu střešního ztužení

$$d/t = 60/4 = 15 \leq 50\epsilon^2;$$

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

třída 1

Jedná se tedy o průřez první třídy.



3.3.4.11.2. Vzpěr

Vzpěrná délka:

$$L_{cr} = 3,55 \text{ m}$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i \cdot 93,9} = \frac{3,55}{0,02 \cdot 93,9} = 1,89$$

$$\alpha = 0,49$$

Posouzení:

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

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,89 - 0,2) + 1,89^2]$$

$$\Phi = 2,7$$

$$X = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{2,7 + \sqrt{2,7^2 - 1,89^2}} = 0,216$$

3.3.4.11.3. Únosnost

$$N_{b,rd} = \frac{X \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,216 \cdot 7,0372 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 35,721 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd}} = \frac{18,65}{35,721} = 0,522 < 1,0$$

Průřez vyhovuje na tlak.

3.3.5. SPOJE

3.3.5.1. Spoj v příčném ztužení

3.3.5.1.1. Šroubový, trubka zmáčknutá

Normálová síla:

$$F = 18,65 \text{ kN}$$

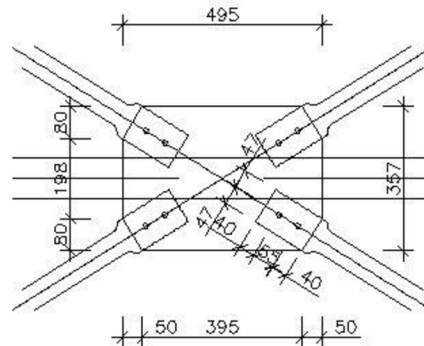
Počet šroubů:

$$n_b = 2$$

Šrouby:

$$\begin{aligned} \text{M16 x 40:} \quad d &= 16 \text{ mm} \\ A_s &= 157 \text{ mm}^2 \\ A &= 201 \text{ mm}^2 \\ d_m &= 25,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4.6: \quad f_{yb} &= 240 \text{ MPa} \\ f_{ub} &= 400 \text{ MPa} \end{aligned}$$



3.3.5.1.2. Střih

$$F_{v,rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{mb}} = 1,0 \cdot \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 10^6 \cdot 2,01 \cdot 10^{-4}}{1,45} = 33,269 \text{ kN}$$

$n = 1,0$ (počet stříhových rovin)

3.3.5.1.3. Otláčení

$$F_{b,rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{mb}} = \frac{2,5 \cdot 0,833 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 0,016 \cdot 0,008}{1,45} = 95,962 \text{ kN}$$

$$t = \min \{ t_{zt}; t_{pp} \} = \min \{ 8; 10 \} = 8 \text{ mm}$$

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u} \right\} = \min \left\{ \frac{40}{3 \cdot 16}; \frac{55}{3 \cdot 16} - 0,25; \frac{400}{360} \right\} = \min \{ 0,833; 0,896; 1,11 \}$$

$$\alpha = 0,833$$

3.3.5.1.4. Únosnost

Rozhoduje únosnost ve stříhu, protože je menší než v otláčení.

Síla na jeden šroub:

$$F_1 = \frac{F}{n_b} = \frac{18,65}{2} = 9,325 \text{ kN}$$

Posudek:

$$\frac{F_1}{F_{v,rd}} = \frac{9,325}{33,269} = 0,28 < 1,0$$

Spoj vyhoví.

3.3.5.2. Spoj v okapovém ztužení

3.3.5.2.1. Šroubový, trubka zmáčknutá

Normálová síla:

$$F = 29,64 \text{ kN}$$

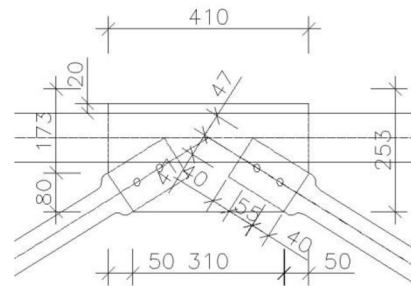
Počet šroubů:

$$n_b = 2$$

Šrouby:

$$\begin{aligned} \text{M16 x 40:} \quad & d = 16 \text{ mm} \\ & A_s = 157 \text{ mm}^2 \\ & A = 201 \text{ mm}^2 \\ & d_m = 25,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4.6: \quad & f_{yb} = 240 \text{ MPa} \\ & f_{ub} = 400 \text{ MPa} \end{aligned}$$



3.3.5.2.2. Střih

$$F_{v,rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{mb}} = 1,0 \cdot \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 10^6 \cdot 2,01 \cdot 10^{-4}}{1,45} = 33,269 \text{ kN}$$

$n = 1,0$ (počet stříhových rovin)

3.3.5.2.3. Otláčení

$$F_{b,rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{mb}} = \frac{2,5 \cdot 0,833 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 0,016 \cdot 0,008}{1,45} = 95,962 \text{ kN}$$

$$t = \min \{ t_{zt}; t_{pp} \} = \min \{ 8; 10 \} = 8 \text{ mm}$$

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u} \right\} = \min \left\{ \frac{40}{3 \cdot 16}; \frac{55}{3 \cdot 16} - 0,25; \frac{400}{360} \right\} = \min \{ 0,833; 0,896; 1,11 \}$$

$$\alpha = 0,833$$

3.3.5.2.4. Únosnost

Rozhoduje únosnost ve stříhu, protože je menší než v otláčení.

Síla na jeden šroub:

$$F_1 = \frac{F}{n_b} = \frac{29,64}{2} = 14,82 \text{ kN}$$

Posudek:

$$\frac{F_1}{F_{v,rd}} = \frac{14,82}{33,269} = 0,446 < 1,0$$

Spoj vyhoví.

3.3.5.3. Spoj ve stěnovém ztužení

3.3.5.3.1. Šroubový, trubka zmáčknutá

Normálová síla:

$$F = 20,86 \text{ kN}$$

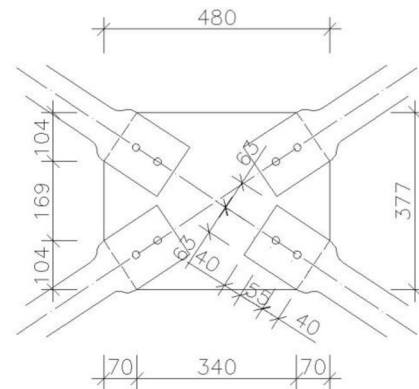
Počet šroubů:

$$n_b = 2$$

Šrouby:

$$\begin{aligned} \text{M16 x 40:} \quad d &= 16 \text{ mm} \\ A_s &= 157 \text{ mm}^2 \\ A &= 201 \text{ mm}^2 \\ d_m &= 25,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4.6: \quad f_{yb} &= 240 \text{ MPa} \\ f_{ub} &= 400 \text{ MPa} \end{aligned}$$



3.3.5.3.2. Střih

$$F_{v,rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{mb}} = 1,0 \cdot \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 10^6 \cdot 2,01 \cdot 10^{-4}}{1,45} = 33,269 \text{ kN}$$

$n = 1,0$ (počet stříhových rovin)

3.3.5.2.3. Otláčení

$$F_{b,rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{mb}} = \frac{2,5 \cdot 0,833 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 0,016 \cdot 0,008}{1,45} = 95,962 \text{ kN}$$

$$t = \min \{ t_{zt}; t_{pp} \} = \min \{ 8; 10 \} = 8 \text{ mm}$$

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u} \right\} = \min \left\{ \frac{40}{3 \cdot 16}; \frac{55}{3 \cdot 16} - 0,25; \frac{400}{360} \right\} = \min \{ 0,833; 0,896; 1,11 \}$$

$$\alpha = 0,833$$

3.3.5.2.4. Únosnost

Rozhoduje únosnost ve stříhu, protože je menší než v otláčení.

Síla na jeden šroub:

$$F_1 = \frac{F}{n_b} = \frac{20,86}{2} = 10,43 \text{ kN}$$

Posudek:

$$\frac{F_1}{F_{v,rd}} = \frac{10,43}{33,269} = 0,314 < 1,0$$

Spoj vyhoví.

3.3.5.4. Montážní spoj

3.3.5.4.1. Šroubový, čelní deska

Vnitřní síly:

$$M_{ed} = 260,63 \text{ kNm}$$

$$V_{ed} = 100,88 \text{ kN}$$

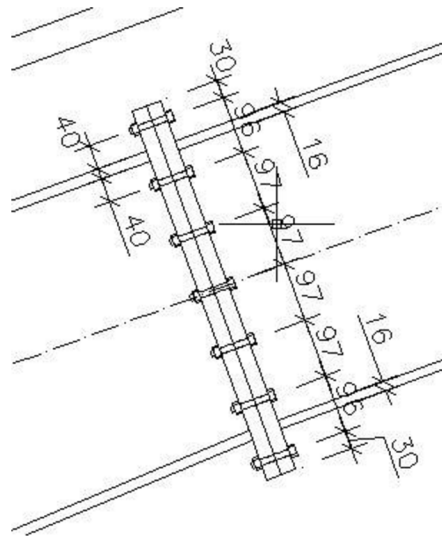
Počet šroubů:

$$n_b = 14$$

Šrouby:

$$\begin{aligned} \text{M20 x 60:} \quad d &= 20 \text{ mm} \\ A_s &= 245 \text{ mm}^2 \\ A &= 314 \text{ mm}^2 \\ d_m &= 32,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 8.8: \quad f_{yb} &= 640 \text{ MPa} \\ f_{ub} &= 800 \text{ MPa} \end{aligned}$$



3.3.5.4.2. Střih

$$F_{v,rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{mb}} = 1,0 \cdot \frac{0,6 \cdot 600 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 10^{-4}}{1,45} = 77,959 \text{ kN}$$

$$F_{v,sd} = \frac{V_{ed}}{n_b} = \frac{100,88}{14} = 7,206 \text{ kN}$$

$$F_{v,rd} > F_{v,sd}$$

Spoj vyhoví na střih.

3.3.5.4.3. Otláčení

$$F_{b,rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{mb}} = \frac{2,5 \cdot 0,5 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 0,02 \cdot 0,025}{1,45} = 155,172 \text{ kN}$$

$$t = \min \{ t_{\text{čd}} ; t_{\text{čd}} \} = \min \{ 25 ; 25 \} = 10 \text{ mm}$$

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0} ; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25 ; \frac{f_{ub}}{f_u} \right\} = \min \left\{ \frac{30}{3 \cdot 20} ; \frac{96}{3 \cdot 20} - 0,25 ; \frac{600}{800} \right\} = \min \{ 0,5 ; 1,35 ; 1,667 \}$$

$$\alpha = 0,5$$

$$F_{b,rd} > F_{v,rd}$$

Posuzuje se na střih.

3.3.5.4.4. Tah

$$F_{t,sd} = \frac{F_{1M}}{2} = \frac{206,968}{2} = 103,484 \text{ kN}$$

$$F_{1M} = M_{ed} \cdot \frac{r_1}{\sum r_i^2} = 260,63 \cdot \frac{0,532}{0,532^2 + 0,436^2 + 0,339^2 + 0,242^2 + 0,145^2 + 0,048^2} = 206,968 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} = \frac{K_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 10^6 \cdot 2,45 \cdot 10^{-4}}{1,45} = 121,655 \text{ kN}$$

3.3.5.4.5. Páčení

$$t_e = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}} = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot 20^2}{88}} = 27,9 \text{ mm} > t = 25 \text{ mm}$$

Páčení nastane.

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \cdot \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \cdot \frac{27,9^3 - 25^3}{20^2} = 1,08$$

3.3.5.4.6. Únosnost

$$F_{t,rd} > \gamma_p \cdot F_{t,sd}$$

$$121,655 > 1,08 \cdot 103,484 = 111,763 \text{ kN}$$

Spoj vyhoví na tah s páčením.

$$\frac{F_{v,sd}}{F_{v,rd}} + \frac{F_{t,sd}}{1,4 \cdot F_{t,rd}} = \frac{8,407}{77,959} + \frac{103,484}{1,4 \cdot 121,655} = 0,108 + 0,608 = 0,716 < 1,0$$

Spoj vyhoví na kombinaci stříhu s tahem.

3.3.6. KOTVENÍ

3.3.6.1. Kotvení středního sloupu

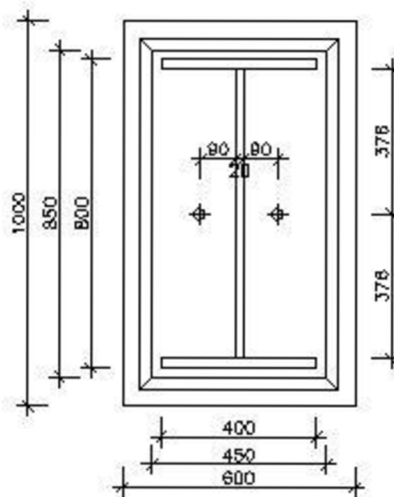
3.3.6.1.1. Patka + patní plech

Beton C25/30:

$$\begin{aligned} f_{ck} &= 25 \text{ MPa} \\ f_{cd} &= 16,7 \text{ MPa} \\ f_{ctk} &= 1,8 \text{ MPa} \\ f_{ctd} &= 1,2 \text{ MPa} \\ A &= 1000 \text{ mm} \\ B &= 600 \text{ mm} \\ h &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Patní plech:

$$\begin{aligned} t_p &= 20 \text{ mm} \\ a &= 850 \text{ mm} \\ b &= 450 \text{ mm} \end{aligned}$$



Posudek patky:

$$a_1 = \min \{A; 5 \cdot a; a + h; 5 \cdot B\} = \min \{1000; 4250; 1450; 2250\} = 1000$$

$$b_1 = \min \{B; 5 \cdot b; b + h; 5 \cdot A\} = \min \{600; 2250; 1200; 4250\} = 600$$

$$K_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{1000 \cdot 600}{850 \cdot 450}} = 1,253$$

$$f_{jd} = \beta_j \cdot K_j \cdot f_{cd} = 2/3 \cdot 1,253 \cdot 16,7 = 13,95 \text{ MPa}$$

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 0,02 \cdot \sqrt{\frac{235 \cdot 10^6}{3 \cdot 13,95 \cdot 10^6 \cdot 1,0}} = 47 \text{ mm} \Rightarrow c = 45 \text{ mm}$$

$$A_{\text{eff}} = 17,542 \cdot 10^{-2}$$

$$\sigma = \frac{N_{\text{ed}}}{A_{\text{eff}}} = \frac{192 \cdot 140}{17,542 \cdot 10^{-2}} = 1,095 \text{ MPa}$$

$\sigma < f_{\text{cd}}$
Vyhoví

Posudek patního plechu:

$$M_{\text{ed}} = \frac{1}{2} \cdot f_{\text{jd}} \cdot c^2 = \frac{1}{2} \cdot 13,95 \cdot 10^6 \cdot 0,045^2 = 14,124 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{rd}} = \frac{1}{6} \cdot t_p^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = \frac{1}{6} \cdot 0,02^2 \cdot 235 \cdot 10^6 / 1,0 = 15,667 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{ed}} < M_{\text{rd}} \quad \text{Vyhoví}$$

3.3.6.1.2. Kotevní šrouby

2 x M30 5.6:

$$A_z = 5,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d = 0,032 \text{ m}$$

$$d_m = 0,04955 \text{ m}$$

$$f_u = 500 \text{ MPa}$$

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

$$d_0 = 40 \text{ mm}$$

3.3.6.1.3. Otláčení

$$F_{\text{b,rd}} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,5 \cdot 0,25 \cdot 0,032 \cdot 0,02 \cdot 360 \cdot 10^6}{1,45} = 93,104 \text{ kN}$$

$$V_{\text{ed}} = 33,41 \text{ kN}$$

$$F_{\text{b,rd}} > V_{\text{ed}}$$

Vyhoví

3.3.6.1.4. Střih

$$F_{\text{v,rd}} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_u \cdot A}{\gamma_{Mb}} = 1,0 \cdot \frac{0,6 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 7,07 \cdot 10^{-4}}{1,45} = 146,276 \text{ kN}$$

$$V_{\text{ed}} = 33,41 \text{ kN}$$

$$F_{\text{v,rd}} > V_{\text{ed}}$$

Vyhoví

3.3.6.1.5. Tah

$$F_{\text{t,rd}} = \frac{0,9 \cdot f_u \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 10^6 \cdot 5,61 \cdot 10^{-4}}{1,45} = 174,104 \text{ kN}$$

$$N_{\text{ed}} = -3,09 \text{ kN (tah nenastává)}$$

Vyhoví

3.3.6.1.6. Hloubka zabetonování

$$h \geq \frac{0,2 \cdot F_{t,rd}}{\pi \cdot d \cdot f_{ctd}} = \frac{0,2 \cdot 174104}{\pi \cdot 0,032 \cdot 1,2 \cdot 10^6} = 289 \text{ mm}$$

$h = 360 \text{ mm}$ (vyžaduje použitý kotevní šroub a způsob kotvení)

3.3.6.1.7. Vyrážení jehlanu betonu

$$F_{\max} = A_{pj} \cdot f_{ctd} = 0,158 \cdot 1,2 \cdot 10^6 = 189,6 \text{ kN}$$

A_{pj} ... plocha pláště jehlanu

$$N_{ed} = -3,09 \text{ kN (tah nenastává)}$$

Vyhoví

3.3.6.1.8. Otláčení betonu od zarážky

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

$$A = 0,04 \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{V_{ed}}{A} = \frac{33 \cdot 410}{0,04} = 0,835 \text{ MPa}$$

$$f_{od} = \frac{f_{ck,cube}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{od} > \sigma$$

Vyhoví

3.3.6.2. Kotvení krajního sloupu

3.3.6.2.1. Patka + patní plech

Beton C25/30:

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 16,7 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 1,8 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = 1,2 \text{ MPa}$$

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

$$B = 400 \text{ mm}$$

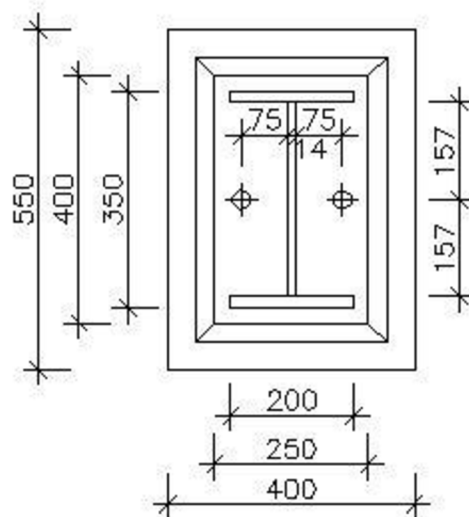
$$h = 600 \text{ mm}$$

Patní plech:

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

$$a = 400 \text{ mm}$$

$$b = 250 \text{ mm}$$



Posudek patky:

$$a_1 = \min \{A; 5 \cdot a; a + h; 5 \cdot b\} = \min \{550; 2000; 1000; 1250\} = 550$$

$$b_1 = \min \{B; 5 \cdot b; b + h; 5 \cdot a\} = \min \{400; 1250; 850; 2000\} = 400$$

$$K_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{550 \cdot 400}{400 \cdot 250}} = 2,2$$

$$f_{jd} = \beta_j \cdot K_j \cdot f_{cd} = 2/3 \cdot 2,2 \cdot 16,7 = 24,49 \text{ MPa}$$

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 0,02 \cdot \sqrt{\frac{235 \cdot 10^6}{3 \cdot 24,49 \cdot 10^6 \cdot 1,0}} = 35 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 5,95 \cdot 10^{-2}$$

$$\sigma = \frac{N_{ed}}{A_{eff}} = \frac{104 \ 280}{5,92 \cdot 10^{-2}} = 1,762 \text{ MPa}$$

$$\sigma < f_{cd}$$

Vyhoví

Posudek patního plechu:

$$M_{ed} = 1/2 \cdot f_{jd} \cdot c^2 = 1/2 \cdot 24,49 \cdot 10^6 \cdot 0,035^2 = 15,000 \text{ kNm}$$

$$M_{rd} = 1/6 \cdot t_p^2 \cdot f_y / \gamma_{m0} = 1/6 \cdot 0,02^2 \cdot 235 \cdot 10^6 / 1,0 = 15,667 \text{ kNm}$$

$$M_{ed} < M_{rd}$$

Vyhoví

3.3.6.2.2. Kotevní šrouby

2 x M30 5.6:

$$A_z = 5,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d = 0,032 \text{ m}$$

$$d_m = 0,04955 \text{ m}$$

$$f_u = 500 \text{ MPa}$$

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

$$d_0 = 40 \text{ mm}$$

3.3.6.2.3. Otláčení

$$F_{b,rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,5 \cdot 0,25 \cdot 0,032 \cdot 0,02 \cdot 360 \cdot 10^6}{1,45} = 93,104 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 39,34 \text{ kN}$$

$$F_{b,rd} > V_{ed}$$

Vyhoví

3.3.6.2.4. Střih

$$F_{v,rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_u \cdot A}{\gamma_{Mb}} = 1,0 \cdot \frac{0,6 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 7,07 \cdot 10^{-4}}{1,45} = 146,276 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 39,34 \text{ kN}$$

$$F_{v,rd} > V_{ed}$$

Vyhoví

3.3.6.2.5. Tah

$$F_{t,rd} = \frac{0,9 \cdot f_u \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 10^6 \cdot 5,61 \cdot 10^{-4}}{1,45} = 174,104 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 26,91 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} > N_{ed}$$

Vyhoví

3.3.6.2.6. Hloubka zabetonování

$$h \geq \frac{0,2 \cdot F_{t,rd}}{\pi \cdot d \cdot f_{ctd}} = \frac{0,2 \cdot 174104}{\pi \cdot 0,032 \cdot 1,2 \cdot 10^6} = 289 \text{ mm}$$

$h = 300 \text{ mm}$ (vyžaduje použitý kotevní šroub a způsob kotvení)

3.3.6.2.7. Vytržení jehlanu betonu

$$F_{max} = A_{pj} \cdot f_{ctd} = 0,158 \cdot 1,2 \cdot 10^6 = 189,6 \text{ kN}$$

A_{pj} ... plocha pláště jehlanu

$$N_{ed} = 26,91 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} > N_{ed}$$

Vyhoví

3.3.6.2.8. Otláčení betonu od zarážky

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

$$A = 0,02 \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{V_{ed}}{A} = \frac{39340}{0,02} = 1,967 \text{ MPa}$$

$$f_{od} = \frac{f_{ck,cube}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{od} > \sigma$$

Vyhoví

3.3.7. ZATÍŽENÍ TEPLOTOU

Mezní rozměr dilatačního úseku:

$$a = 50 \text{ m}$$

Skutečný rozměr dilatačního úseku:

$$a_1 = 42 \text{ m}$$

$$a_1 < a$$

Zatížení klimatickými teplotami nemusí být uvažováno.

Seznam použité literatury

- BO02 – PRVKY KOVOVÝVH KONSTRUKCÍ, podklady a zápisky z výuky
- BO04 – KOVOVÉ KONSTRUKCE I, podklady a zápisky z výuky
- BÁRTLOVÁ, Alice. *Vzpěr prutových soustav*. Praha, 1977
- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.
- ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Zatížení sněhem.
- ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Zatížení větrem
- ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí – Zatížení konstrukcí pozemních staveb teplotami
- ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků

Seznam použitých zkratek a symbolů

Velká písmena

| | |
|--------------|---|
| A | plná průřezová plocha šroubu |
| A | průřezová plocha |
| A_{ch} | průřezová plocha pásu členěného prutu |
| A_s | plocha šroubu účinná v tahu |
| A_w | průřezová plocha stojiny |
| $B_{P,Rd}$ | návrhová smyková únosnost při protlačení hlavy nebo matice šroubu |
| C_{dir} | součinitel směru |
| C_e | součinitel expozice |
| C_{mLT} | součinitel ekvivalentního konstantního momentu |
| C_{my} | součinitel ekvivalentního konstantního momentu |
| $C_0(z)$ | součinitel orografie |
| $C_{pe,10}$ | součinitel tlaku |
| $C_r(z)$ | součinitel drsnosti |
| C_{season} | součinitel ročního období |
| C_t | tepelný součinitel |
| $F_{b,Rd}$ | návrhová únosnost šroubu v otláčení |
| F_{Ed} | návrhová působící síla |
| $F_{t,Rd}$ | návrhová únosnost šroub v tahu |
| $F_{V,Ed}$ | návrhová smyková síla ve šroubu v mezním stavu únosnosti |
| $F_{V,Rd}$ | návrhová únosnost šroubu ve stříhu |
| E | modul pružnosti v tahu, tlaku |
| G | modul pružnosti ve smyku |
| I_t | moment setrvačnosti v kroucení |
| $I_v(z)$ | intenzita turbulence |
| I_w | výsečový moment setrvačnosti |
| I_y | moment setrvačnosti průřezu k ose y |
| I_z | moment setrvačnosti průřezu k ose z |
| L | délka svaru |
| $L_{cr,T}$ | vzpěrná délka při vybočení zkroucením |
| $L_{cr,y}$ | kritická vzpěrná délka kolmo k ose y |
| $L_{cr,z}$ | kritická vzpěrná délka kolmo k ose z |
| L_{min} | minimální délka svaru |
| $M_{c,Rd}$ | vrhová únosnost v ohybu |
| M_{Ed} | návrhový ohybový moment |
| $M_{el,Rd}$ | návrhová elastická momentová únosnost |
| M_{Rk} | charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu v ohybu |
| $N_{b,Rd}$ | vzpěrná únosnost |
| N_{cr} | kritická síla |
| $N_{cr,y}$ | pružná kritická síla při rovinném vzpěru k ose y |
| $N_{cr,z}$ | pružná kritická síla při rovinném vzpěru k ose z |
| N_{Ed} | návrhová hodnota osově síly |
| $N_{pl,Rd}$ | návrhová únosnost neoslabeného průřezu |
| N_R | počet cyklů do porušení |
| N_{Rk} | charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu při působení osově síly |

| | |
|-------------|--------------------------------------|
| $N_{t,Rd}$ | návrhová únosnost v tahu |
| $N_{u,Rd}$ | návrhová únosnost oslabeného průřezu |
| R | výslednice sil |
| $V_{E,d}$ | návrhová smyková síla |
| $V_{pl,Rd}$ | plastická smyková únosnost |
| $W_{el,y}$ | elastický modul průřezu k ose z |
| $W_{el,z}$ | elastický průřezový modul k ose z |
| $W_{pl,y}$ | plastický modul průřezu k ose y |
| $W_{pl,z}$ | plastický průřezový modul k ose z |

Malá písmena

| | |
|-----------|--|
| a | účinná výška svaru |
| b | šířka průřezu |
| d | hloubka konstrukce (délka povrchu rovnoběžného se směrem větru) |
| d | výška rovné části stojiny |
| d | jmenovitý průměr šroubu |
| d_0 | průměr otvoru pro šroub |
| e | excentricita normálové síly |
| e | vzdálenost šroubu od okraje |
| f_{cd} | výpočtová hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku |
| f_{ck} | charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku |
| f_y | mez kluzu |
| f_u | mez pevnosti |
| f_{ub} | mez pevnosti materiálu šroubu |
| h | výška průřezu |
| h | výška konstrukce |
| i_0 | polární poloměr setrvačnosti |
| i_y | poloměr setrvačnosti k ose y |
| i_z | poloměr setrvačnosti k ose z |
| k_r | součinitel terénu |
| k_w | součinitel vzpěrné délky |
| k_{yy} | součinitel interakce |
| k_{yz} | součinitel interakce |
| k_z | součinitel vzpěrné délky |
| k_{zy} | součinitel interakce |
| k_{zz} | součinitel interakce |
| k_τ | součinitel napětí |
| l_{eff} | efektivní délka |
| n | počet stříhových rovin |
| $q_p(z)$ | maximální hodnota dynamického tlaku větru |
| s | charakteristická hodnota zatížení sněhem (rovnoměrné spojité zatížení) |
| s_k | základní tíha sněhu |
| t | tloušťka |
| u | průhyb |
| u_{max} | maximální hodnota průhybu |
| $v_{b,0}$ | výchozí hodnota základní rychlosti větru |
| v_m | střední rychlost větru |

| | |
|------------|--|
| w | tlak větru (rovnoměrné spojité zatížení) |
| z_0 | parametr drsnosti terénu |
| $z_{0,II}$ | parametr drsnosti terénu |
| z | výška nad zemí |
| z_{min} | minimální výška |

Velká řecká písmena

| | |
|-------------|--|
| Φ | hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti |
| Φ_{LT} | hodnota pro výpočet součinitele klopení |

Malá řecká písmena

| | |
|---------------|---|
| α | součinitel |
| α_1 | součinitel imperfekce |
| α_{LT} | součinitel imperfekce pro klopení |
| β | součinitel vzpěrné délky |
| β_w | korelační součinitel pro svary závislý na druhu oceli |
| γ_{M1} | dílčí součinitel spolehlivosti materiálu |
| γ_{M2} | dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje |
| ε | součinitel závislý na f_y |
| κ_{wt} | bezrozměrný parametr kroucení |
| λ | štíhlost |
| λ_y | štíhlost k ose y |
| λ_z | štíhlost k ose z |
| LT | |
| λ_T | poměrná štíhlost při klopení |
| λ | poměrná štíhlost při vybočení zkroucením |
| λ_w | poměrná štíhlost stěny |
| λ_y | poměrná štíhlost k ose y |
| λ_z | poměrná štíhlost k ose z |
| μ_{cr} | bezrozměrný kritický moment |
| μ_i | tvárový součinitel zatížení sněhem |
| π | Ludolfovo číslo |
| ρ | měrná hmotnost vzduchu |
| τ | smykové napětí |
| χ_{LT} | součinitel klopení |
| χ_T | součinitel vzpěrnosti při prostorovém vzpěru |
| χ_y | součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru k ose y |
| χ_z | součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru k ose z |

Seznam příloh

- 001 Dispozice
- 002 Řez
- 003 Detaily
- 004 Kotvení