



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí - K133

Návrh přestavby konstrukce sila v Olomouci

Reconstruction of silo tower in Olomouc

Diplomová práce – 2. Část: STATICKÁ – OCELOVÉ KONSTRUKCE

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Hana Hanzlová, CSc.

Daniel Vyskočil

Praha 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že celou diplomovou práci jsem zpracoval samostatně, a že jsem veškerou použitou literaturu a jiné podklady uvedl v přehledu použité literatury, který je součástí diplomové práce.

V Praze dne 2.1.2018

.....

Daniel Vyskočil

Obsah

1	Úvod	4
2	Základní charakteristika projektu	5
2.1	Objekt	5
2.2	Popis objektu	8
2.3	Popis ocelové konstrukce	8
3	Zatížení	9
3.1	Zatížení sněhem	9
3.2	Zatížení větrem	9
3.3	Skladby a zatížení	10
4	Posouzení	11
4.1	Střešní nosník	11
4.1.1	Mezní stav únosnosti	11
4.1.2	Mezní stav použitelnosti	13
4.2	Sloup	14
4.2.1	Mezní stav únosnosti	14
4.3	Svislé ztužidlo	16
5	Závěr	18
6	Výkresová dokumentace	18
7	Přehled použité literatury	19
8	Seznam obrázků	20

1 Úvod

V mé diplomové práci se budu zabývat administrativní budovou postavenou na základech bývalého síla. Tato přestavba se nachází v blízkosti centra Olomouce a jedná se o unikátní a atypickou stavbu tohoto kraje.

Přestavba zahrnuje nástavbu pěti pater na konstrukci původního síla z roku 1936, která sahá do výšky 17 metrů. Nové prostory budou sloužit jako kanceláře.

Součástí posledního patra je venkovní terasa sloužící ke společenským akcím. Terasa je pouze na části půdorysu a tvoří jí ocelová konstrukce s hliníkovými prosklenými panely. Ocelová konstrukce je také přizpůsobena k hornímu dojezdu výtahu, který může být zpřístupněn k technologické údržbě.

Cílem 2.části diplomové práce je dimenzování stropního nosníku, sloupu a ztužidla ocelové konstrukce. Dále budou navrženy detaily kotvení sloupu a přípoje nosníku na sloup. Ke statické části zaměřující se na ocelovou konstrukci bude přiložena technická zpráva.

Součástí diplomové práce je výkresová dokumentace ocelové konstrukce řešené budovy. Jedná se o dispoziční výkresy provedeny v měřítku 1:50 a výkresy vnitřních detailů v měřítku 1:5.

2 Základní charakteristika projektu

2.1 Objekt

V mé diplomové práci se budu zabývat administrativní budovou postavenou na základech bývalého sila. Tato přestavba se nachází v blízkosti centra Olomouce. Celý komplex s oficiálním názvem Silo Tower je již dokončen. Při zpracování práce jsem vycházel ze stavebních schémat běžného podlaží (viz Obr.2) a řezu (viz Obr.4).



Obr. 1 Fotografie – Silo Tower

Nebyl získán souhlas autora se zveřejněním obrázku. Plná verze práce je k dispozici v knihovně katedry betonových a zděných konstrukcí stavební fakulty ČVUT v Praze.

Obr. 2 Schéma půdorysu běžného podlaží [7]

Nebyl získán souhlas autora se zveřejněním obrázku. Plná verze práce je k dispozici v knihovně katedry betonových a zděných konstrukcí stavební fakulty ČVUT v Praze.

Obr. 3 Fotografie původního sila z roku 1936 [6]

Nebyl získán souhlas autora se zveřejněním obrázku. Plná verze práce je k dispozici v knihovně katedry betonových a zděných konstrukcí stavební fakulty ČVUT v Praze.

Obr. 4 Schéma řezu s ocelovou konstrukcí v posledním nadzemním podlaží [7]

2.2 Popis objektu

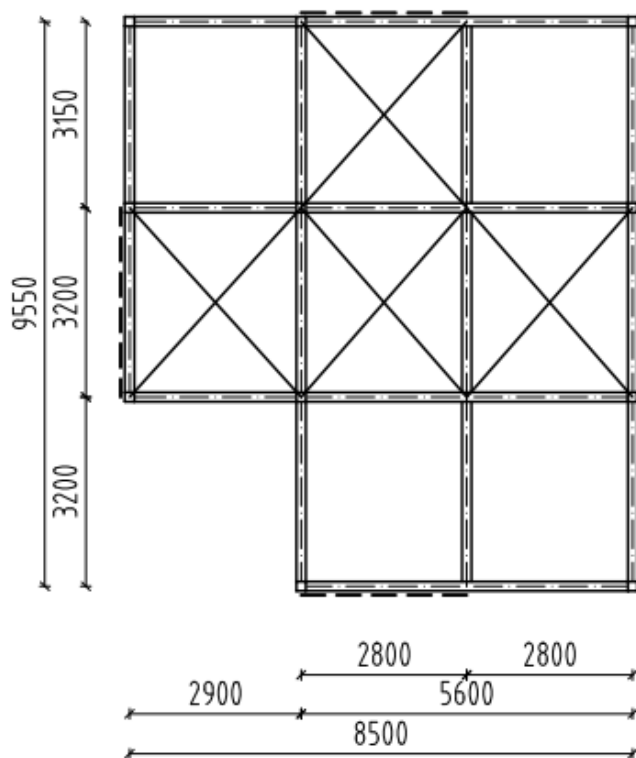
Předmětem projektu je přestavba konstrukce síla v Olomouci. Jedná se o nástavbu pěti pater na konstrukci původního síla z roku 1936. V přízemí se nachází recepce, další patra nástavby slouží jako kancelářské prostory o celkové ploše přibližně okolo 1100 m². Kanceláře mají flexibilní upořádání v podobě kuchyněk a sociálních zařízení. Součástí posledního patra je terasa s ocelovou konstrukcí.

Celý komplex je zpřístupněn výtahem a v patrech s kanceláři je umístěno tříramenné monolitické železobetonové schodiště. Nástavba je zpřístupněna i venkovním ocelovým schodištěm.

Objekt bude napojen na inženýrské sítě, které jsou vedeny v přilehlé komunikaci.

2.3 Popis ocelové konstrukce

Konstrukční systém tvoří čtyři ocelové střešní nosníky IPE ve vzdálenosti 3,15 a 3,2 m od sebe. Celková délka ocelové konstrukce je 9,55 m. Rozpětí je maximálně 8,5 m. Střešní nosník je podepřen sloupy z čtvercových trubek. Tento sloup přenáší vodorovné síly ze střešního nosníku a střešních panelů Glamet G4 do železobetonové stropní desky. Ve střešní rovině je ocelová konstrukce opatřena střešními ztužidly. V podélném směru je ocelová konstrukce svislým ztužidlem. Opláštění konstrukce je provedeno z prosklených hliníkových profilů nebo sendvičových panelů.



Obr. 5 Schéma půdorysu ocelové konstrukce

3 Zatížení

3.1 Zatížení sněhem

$$s = \mu \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ kN/m}^2$$

μ – tvarový součinitel $\mu = 1,0$ (plochá střecha)
 c_e – součinitel expozice $c_e = 1,0$ (normální typ krajiny)
 c_t – tepelný součinitel $c_t = 1,0$
 s_k – charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi
 $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$ (Mapa sněhových oblastí – Olomouc)

3.2 Zatížení větrem

Základní rychlost větru

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

$v_{b,0}$ – výchozí základní rychlost větru
 $v_{b,0} = 22,5 \text{ m/s}$ (Mapa větrných oblastí – Olomouc)

Maximální dynamický tlak

$$q_{p(z)} = c_{e(z)} \cdot q_b = 2,7 \cdot 316,4 = 854,3 \text{ N/m}^2$$

$c_{e(z)}$ – součinitel expozice $c_{e(z)} = 2,7$ (III. kategorie)

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 22,5^2 = 316,4 \text{ N/m}^2$$

Vítr příčný a podélný na stěnu (rozdělení na oblasti)

$$w_e = c_{pe,10} \cdot q_{p(z)}$$

$$w_e^A = -1,2 \cdot 0,854 = -1,03 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^B = -0,8 \cdot 0,854 = -0,69 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^D = 0,8 \cdot 0,854 = 0,69 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^E = -0,7 \cdot 0,854 = -0,60 \text{ kN/m}^2$$

Vítr příčný a podélný na plochou střechu (rozdělení na oblasti)

$$w_e = c_{pe,10} \cdot q_{p(z)}$$

$$w_e^F = -1,8 \cdot 0,854 = -1,37 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^G = -1,2 \cdot 0,854 = -0,94 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^H = -0,7 \cdot 0,854 = -0,60 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^I = \pm 0,2 \cdot 0,854 = \pm 0,17 \text{ kN/m}^2$$

3.3 Skladby a zatížení

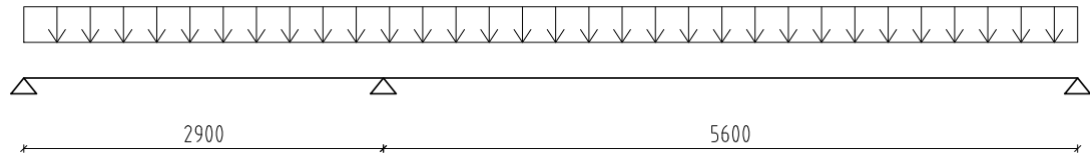
OBVODOVÝ PLÁŠŤ - PROSKLENÝ PANEĽ				
Materiál	Tloušťka [mm]	Char.zatížení [kN/m]	γ	Návrh.zatížení [kN/m]
Stálé				
Prosklený panel	-	0,5	1,35	0,675

ZATÍŽENÍ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE			
Materiál	Char.zatížení [kN/m ²]	γ	Návrh.zatížení [kN/m ²]
Stálé			
Panel Glamet A38 - P1000 -G4	11,32	1,35	15,282
Proměnné			
Užitné (Kategorie H)	0,75	1,5	1,125

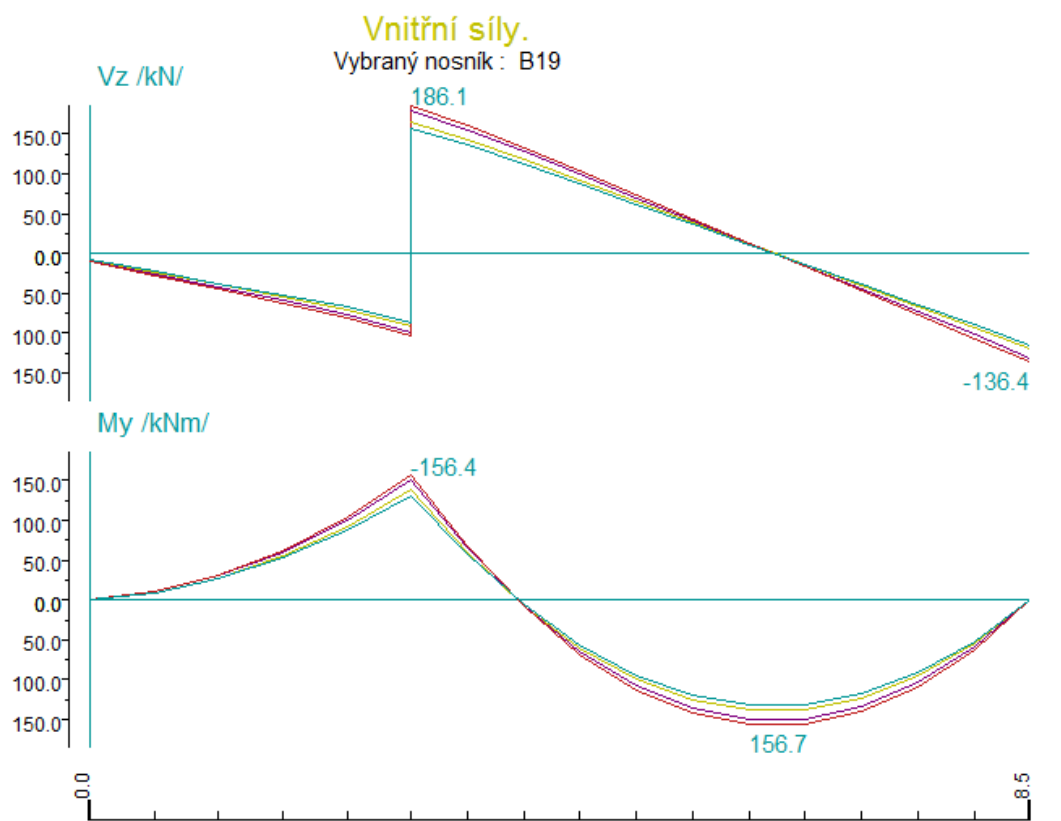
Kategorie H pro střechy nepřístupné, s výjimkou běžné údržby a oprav.

4 Posouzení

4.1 Střešní nosník



Obr. 6 Statické schéma střešního nosníku



Obr. 7 Vnitřní síly na vazníku

4.1.1 Mezní stav únosnosti

Návrh IPE 330 S355

$$I_t = 281,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 7881 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 199,1 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

$$W_{pl,y} = 804,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Třída 1 pro ohyb

Posouzení smyk

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{MO}} = \frac{2,475 \cdot 10^3 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 507,27 \text{ kN}$$

A_v – plocha rovnoběžná se smykem

f_y – mez kluzu oceli

V_{Ed} – maximální posouvající síla $V_{Ed} = 186,13 \text{ kN}$

$$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed}$$

507,27 ≥ 186,13 [kN] ... vyhovuje

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5$$

$$\frac{186,13}{507,27} = 0,37 \leq 0,5 \dots \text{není třeba redukovat ohybovou únosnost}$$

Posouzení ohybu s uvažováním klopení

Kritická únosnost

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,769 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 7881 \cdot 10^3 \cdot 81000 \cdot 281,5 \cdot 10^3}}{2900}$$

$$M_{cr} = 371,85 \text{ kNm}$$

μ_{cr} – kritický moment

G – modul pružnosti ve smyku

E – modul pružnosti v tahu, tlaku

I_t – moment tuhosti v prostém kroucení

I_z – moment setrvačnosti

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g)^2} - C_2 \cdot \zeta_g = \frac{1,0}{1,0} \cdot \sqrt{1 + 1,46^2} = 1,769$$

$\zeta_g = 0$ (symetrie)

$k_z = 1,0$ (kloubové uložení obou konců)

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 2900} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 199,1 \cdot 10^9}{81000 \cdot 281,5 \cdot 10^3}} = 1,46$$

$k_{wt} \geq 1,0$

Poměrná štíhlost při klopení

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{804,3 \cdot 10^3 \cdot 355}{371,85 \cdot 10^6}} = 0,87 \rightarrow \text{křivka B} \quad \chi_{LT} = 0,680$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,680 \cdot 804,3 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0} = 194,1 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} \geq M_{Ed}$$

194,1 ≥ 156,7 [kNm] .. vyhovuje

4.1.2 Mezní stav použitelnosti

Maximální dovolený průhyb

$$\delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{5600}{250} = 22,4 \text{ mm}$$

Průhyb od veškerého zatížení

$$\delta = 20,8 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\delta_{max} \geq \delta$$
$$22,4 \geq 20,8 \text{ [mm]} \dots \text{vyhovuje}$$

4.2 Sloup

4.2.1 Mezní stav únosnosti

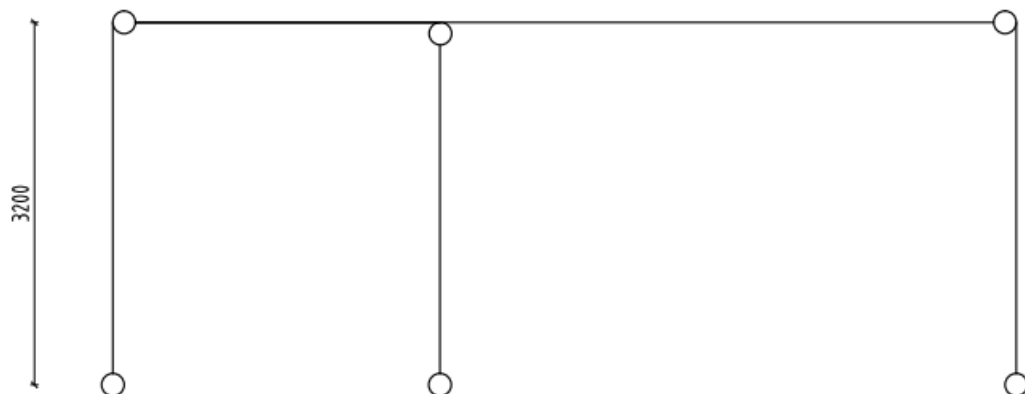
Návrh ČTVERCOVÁ TRUBKA 160 x 160 x 6,3 S235

$$A = 3830 \text{ mm}^2$$

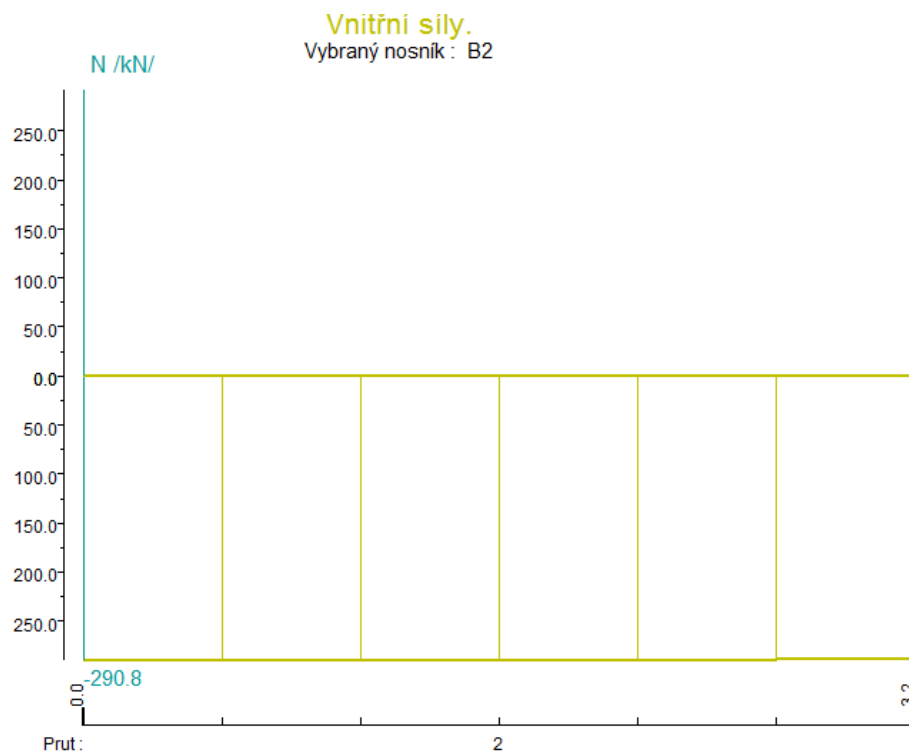
$$I_z = 15.10^6 \text{ mm}^4$$

Třída 1 pro ohyb i tlak

$$L = 3200 \text{ mm}$$



Obr. 8 Statické schéma sloupu



Obr. 9 Průběh normálové síly na sloupu

Štíhlost

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3200 \text{ mm}$$

Pružná kritická síla

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210\,000 \cdot 15 \cdot 10^6}{3200^2} = 3036,1 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3830 \cdot 235}{3036,1 \cdot 10^3}} = 0,544$$

Součinitel vzpěrnosti

Křívka C

$$\chi_z = 0,813$$

$$N_{Ed} = 290,8 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = \chi A \cdot f_{yd} = 0,813 \cdot 3830 \cdot 235 = 731,74 \text{ kN}$$

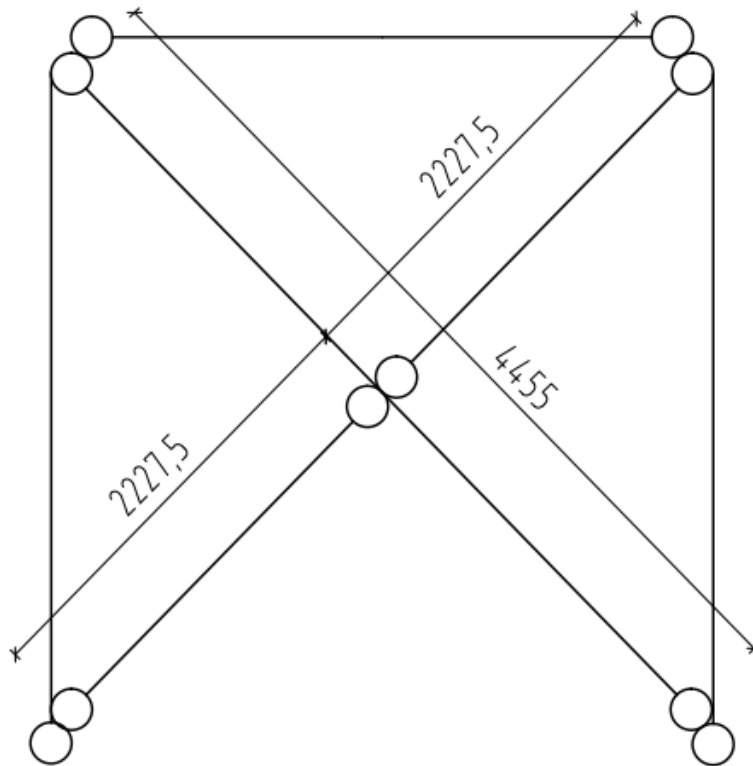
Podmínka spolehlivosti

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$731,74 \geq 290,8 \text{ [kN]}$$

Sloup vyhoví.

4.3 Svislé ztužidlo



Obr. 10 Statické schéma ztužidla

Nejvíce zatížená diagonála

$$D_{Ed} = \pm 29,9 \text{ kN}$$

Jedná se o zkřížené diagonály namáhané opačnými silami. Platí, že tažená diagonála v místě spojení stabilizuje tlačенou diagonálu vůči vybočení z roviny.

$$L_{cr,z} = \frac{4455}{2} = 2227,5 \text{ mm} \quad \dots \text{rozhoduje}$$

$$L_{cr,y} = 0,9 \cdot 2227,5 = 2004,75 \text{ mm}$$

Návrh KRUHOVÁ TRUBKA $\varnothing 44,5$ tl. 5mm S235

$$A = 620 \text{ mm}^2$$

$$i = 14,1 \text{ mm}$$

Štíhlost

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_y} = \frac{2227,5}{14,1} = 157,98$$

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

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{157,98}{93,9} = 1,68$$

Součinitel vzpěrnosti

Křívka a $\chi_z = 0,306$

$$N_{b,Rd} = \chi A \cdot f_{yd} = 0,306 \cdot 620 \cdot 235 = 44,58 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti

$$N_{b,Rd} \geq D_{Ed}$$

$$44,58 \geq 29,9 \text{ [kN]}$$

Diagonála ztužidla vyhoví.

Přípoj:

Návrh 2x M16 8.8

Únosnost ve střihu:

$$F_{v,Rd} = 60,3 \text{ kN (jednostřížný, střih v závitu)}$$

Únosnost v otláčení:

$$F_{b,Rd} = 85,3 \cdot \frac{10}{10} = 85,3 \text{ kN (} t = 10 \text{ mm, doporučené rozteče)}$$

Rozhoduje únosnost ve střihu

Podmínka spolehlivosti

$$60,3 \cdot 2 = 120,6 \text{ kN} > 29,9 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

5 Závěr

V rámci statického výpočtu diplomové práce byl dimenzován stropní nosník, sloup a ztužidlo ocelové konstrukce. Dále byly navrženy detaily kotvení sloupu a přípoje nosníku na sloup. Ke statické části zaměřující se na ocelovou konstrukci je přiložena technická zpráva.

6 Výkresová dokumentace

Součástí diplomové práce je výkresová dokumentace ocelové konstrukce řešené budovy. Jedná se o dispoziční výkresy provedeny v měřítku 1:50 a výkresy vnitřních detailů v měřítku 1:5.

7 Přehled použité literatury

Normy a předpisy:

- [1] ČSN EN 1993-1-1: *Navrhování ocelových konstrukcí - část 1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

Knihy:

- [2] STUDNIČKA. *Ocelové konstrukce - Normy*. Praha: České vysoké učení technické, 2011. 55 s. ISBN 978-80-01-03930-4.
- [3] VRANÝ, WALD. *Ocelové konstrukce - Tabulky*. Praha: České vysoké učení technické, 2009. 56 s. ISBN 978-80-01-03140-7.
- [4] STUDNIČKA, HOLICKÝ, MARKOVÁ. *Ocelové konstrukce 2 - Zatížení*. Praha: České vysoké učení technické, 2015. 138 s. ISBN 978-80-01-05815-2.
- [5] VRANÝ, JANDERA, ELIÁŠOVÁ. *Ocelové konstrukce 2 - Cvičení*. Praha: České vysoké učení technické, 2009. 149 s. ISBN 978-80-01-04368-4.

Články:

- [6] KRYNEK. V Olomouci přestavují staré silo na nové kanceláře. *Designmag*. 2013, 1, s 1-1. [2.10.2017]. ISSN 2464-6202.

Webové stránky:

- [7] *Silo Tower* [online]. Silo Tower Olomouc. 2012-2014. [2.10.2017]. Dostupné z <http://www.silotower.cz/index.php>

Počítačové programy:

- [8] NEMETSCHKE. *Scia Engineer 16.00* [software]. 2016 [přístup 2.10.2017]. Dostupné z <https://www.scia.net/cs/software/product-selection/scia-engineer>. [Požadavky na systém: procesor Intel Core2Duo nebo AMD, operační systém Windows 2008, Windows 2012, Windows 7, Windows 8.1, Windows 10, volné místo na disku 5 GB, RAM 2 GB]

8 Seznam obrázků

Obr. 1	Fotografie – Silo Tower	5
Obr. 2	Schéma půdorysu běžného podlaží [7]	6
Obr. 3	Fotografie původního sila z roku 1936 [6]	6
Obr. 4	Schéma řezu s ocelovou konstrukcí v posledním nadzemním podlaží [7].....	7
Obr. 5	Schéma půdorysu ocelové konstrukce	8
Obr. 6	Statické schéma střešního nosníku	11
Obr. 7	Vnitřní síly na vazníku	11
Obr. 8	Statické schéma sloupu	14
Obr. 9	Průběh normálové síly na sloupu	14
Obr. 10	Statické schéma ztužidla	16