

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE:

OCELOVÁ ROZHLEDNA

2024

Autor práce:	Adam Říha
Studijní program:	Stavební inženýrství
Specializace:	Pozemní stavby
Vedoucí práce:	Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Říha** Jméno: **Adam** Osobní číslo: **493410**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Specializace: **Pozemní stavby**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh ocelové rozhledny

Název bakalářské práce anglicky:

Steel observation tower design

Pokyny pro vypracování:

Stanovení zatížení na ocelovou konstrukci rozhledny. Návrh hlavních nosných prvků a posouzení vybraných přípojí. Výkresová dokumentace konstrukce (pohled, horizontální řezy, vybrané detaily). Technická zpráva.

Seznam doporučené literatury:

Návrh konstrukce bude proveden dle evropských norem. Tj. zejména využití částí EN 1991 a EN 1993.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:


Ing. Břetislav Židlický, Ph.D. katedra ocelových a dřevěných konstrukcí FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **21.02.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20.5.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


prof. Ing. Pavel Rýjáček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

23.2.2024
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Anotace

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout hlavní nosnou konstrukci ocelové rozhledny podle evropských norem, a to především EN 1991 a EN 1993. Hlavním cílem této bakalářské práce bylo porozumět různým způsobům zavedení zatížení větrem, jelikož se se stavbou podobnou rozhledně, případně stožáru, student FSV ČVUT běžně nesetká. Předlohou mého návrhu (vč. umístění) byla rozhledna Havran, která se nachází na pomezí česko-německých hranic. Během návrhu dochází k jistým zjednodušením tak, aby bylo možno rozhlednu přehledně, a co možná nejpodobněji vymodelovat v program Dlubal RFEM pro zjištění vnitřních sil a reakcí. Následně je proveden návrh a posouzení hlavních nosných konstrukcí a vybraných detailů, doplněný o výkresy.

Klíčová slova: Rozhledna, ocelová konstrukce, zatížení větrem

Anotace bakalářské práce v anglickém jazyce

The goal of my bachelor thesis was to design the main load bearing structure of a steel viewing tower using European norms, especially EN 1991 and EN 1993. The main goal of this thesis was to understand the different ways in which the wind load can be considered, since students of CTU in Prague usually don't come across such a construction during their bachelor degree. The inspiration of my design (site location included) was the viewing tower Havran, which is located on the Czech-German border. During the design process, the viewing tower is simplified in various ways to have the final 3D model simple, yet functional. The program used for modelling as well as calculating of the inner forces and reactions is Dlubal RFEM. After the model is finished, next steps are the design and structural assessment of selected load bearing elements and joints, drawing documentation.

Keywords: Viewing tower, steel structure, wind load

Bakalářská práce
Ocelová rozhledna

Adam Říha

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Ocelová rozhledna“ vypracoval samostatně pod odborným dohledem Ing. Břetislava Židlického, Ph.D.

V Praze 20. 5. 2024



.....

podpis autora práce

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval především panu Ing. Břetislavovi Židlickému, Ph. D. za jeho trpělivost při zpracovávání této práce a za jeho ochotu vyjít mi vstříc i v okolnostech nelehkých životních situací, které mi při zpracování mé bakalářské práce nastaly. Dále bych rád poděkoval své rodině, která mě nejen při tvorbě bp, ale i při studiu podporovala a věřila ve mě. A v neposlední řadě bych rád poděkoval mým přátelům Davidovi, Danovi a Fandovi a přátelům ze StudioPrague – jmenovitě Josef Abraham Mikulka, Matěj Šuráň, Patrik Dalton, Petr Janda, Adéla Haviar a Magdalena Mikulková – za to, že mi v těch nejtěžších chvílích pomohli a že mě dokázali přivést na jiné myšlenky. Každý jeden z těchto lidí byl klíčem k řešení mé bakalářské práce a jedno je jisté – bez nich bych to nezvládl.

Mimořádné díky patří také Ing. Dominiku Kynzlovi, jelikož byl tím člověkem, díky kterému jsem svého studia v posledním roce nezanechal.

Děkuji i všem dalším, které jsem zde nezmínil.

Obsah

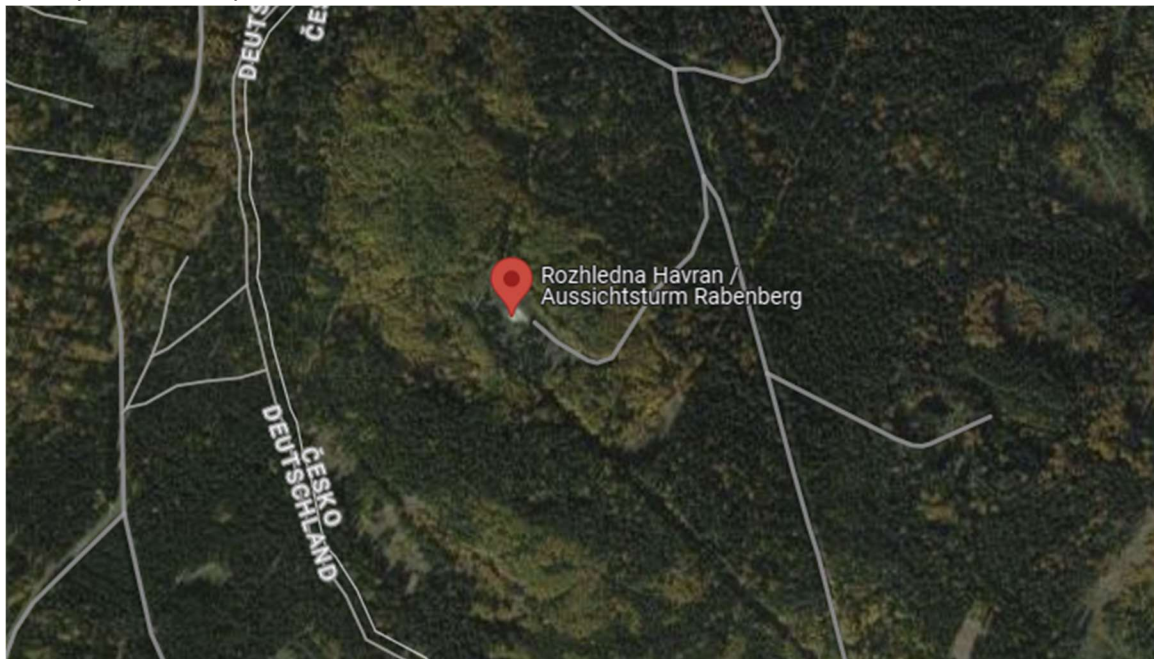
1.	Základní informace	4
1.1	Základní údaje	4
1.2	Dispozice konstrukce	4
1.3	Materiál a třída provedení	6
1.3.1	Povrchová úprava, ochrana proti korozi	6
2.	Návrh schodiště	7
3.	Zatížení	8
3.1	Zatížení stálé	8
3.1.1	Vlastní tíha nosné konstrukce	8
3.1.2	Podlahové rošty	8
3.1.3	Zábradlí	8
3.1.4	Zastřešení	8
3.1.5	Zatěžovací stavy	8
3.2	Zatížení proměnné – Užitné	8
3.2.1	Zatěžovací stavy	8
3.3	Zatížení proměnné – Vítr	9
3.3.1	Součinitel orografie	9
3.3.1.1	Ověření nutnosti uvážení součinitele orografie	9
3.3.2	Maximální dynamický tlak	11
3.3.3	Součinitel síly celé konstrukce	13
3.3.4	Součinitel konstrukce dle ČSN EN 1991-1-4, Přílohy B	16
3.3.5	Součinitel konstrukce dle ČSN EN 1991-1-4, Přílohy C	21
3.3.6	Součinitel konstrukce dle ČSN EN 1991-1-4, Přílohy D	22
3.3.7	Výsledný součinitel konstrukce	22
3.4.1	Zatížení Hlavních nosných prvků od působení větru – Varianta 1	23
3.4.2	Zatížení Hlavních nosných prvků od působení větru – Varianta 2	24
3.4.3	Zatížení hlavních nosných prvků od působení větru – Varianta 3	29
3.4.4	Výsledné zatížení hlavních nosných prvků od působení větru	37
3.4	Zatížení od teploty	37
3.5	Imperfekce konstrukce	37
	38
3.6	Zatížení sněhem	38

3.7	Kombinace zatěžovacích stavů.....	38
4.	Numerický model.....	41
5.	Posouzení hlavních nosných prvků ocelové konstrukce.....	43
5.1	Posouzení sloupu v hlavě.....	43
5.2	Posouzení sloupu v patě – vzpěrná únosnost.....	47
5.3	Posouzení výplňového prutu IPE180	48
5.4	Posouzení vodorovného prutu IPE270	50
5.5	Posouzení schodnice UPE 200	52
5.6	Posouzení svislých ztužidel RO193,7 x 10.....	53
5.7	Posouzení vodorovných ztužidel RO168,3 x 12,5	54
6.	Posouzení vybraných detailů.....	56
6.1	Posouzení kloubové patky nárožníků	56
6.1.1	Vstupní údaje	56
6.1.2	Únosnost v tahu	58
6.1.3	Smyková zarážka	58
6.1.4	Posouzení přípoje vertikálního ztužení k nárožníku.....	60
6.1.5	Posouzení styčnickového plechu v tlaku.....	61
6.1.6	Přípoj styčnickového plechu k nárožníku.....	62
6.2	Posouzení přípoje vertikálních ztužidel	62
6.3	Připojení horizontálního prutu ke sloupu.....	64
7.	Normy a literatura.....	65

1. Základní informace

1.1 Základní údaje

Předmětem práce je návrh hlavní nosné konstrukce modifikované ocelové rozhledny „Havran“. Jedná se o, v porovnání s typickými rozhlednami, relativně masivní konstrukci o 10 podlažích se třemi vyhlídkovými podlažími a vyhlídkovým ochozem. Rozhledna se nachází na české straně hranice mezi Českou republikou a Německem (obr. 1.1) v nadmořské výšce (u paty) přibližně 894 m. Dispozice je typově shodná se stávajícím stavem rozhledny s rozdílem, že například na vrcholu rozhledny není uvažován vysílač nebo že průřez sloupů narozdíl od stávajícího stavu zůstává po celé výšce neměnný.



Obr. 1.1 Lokalita rozhledny

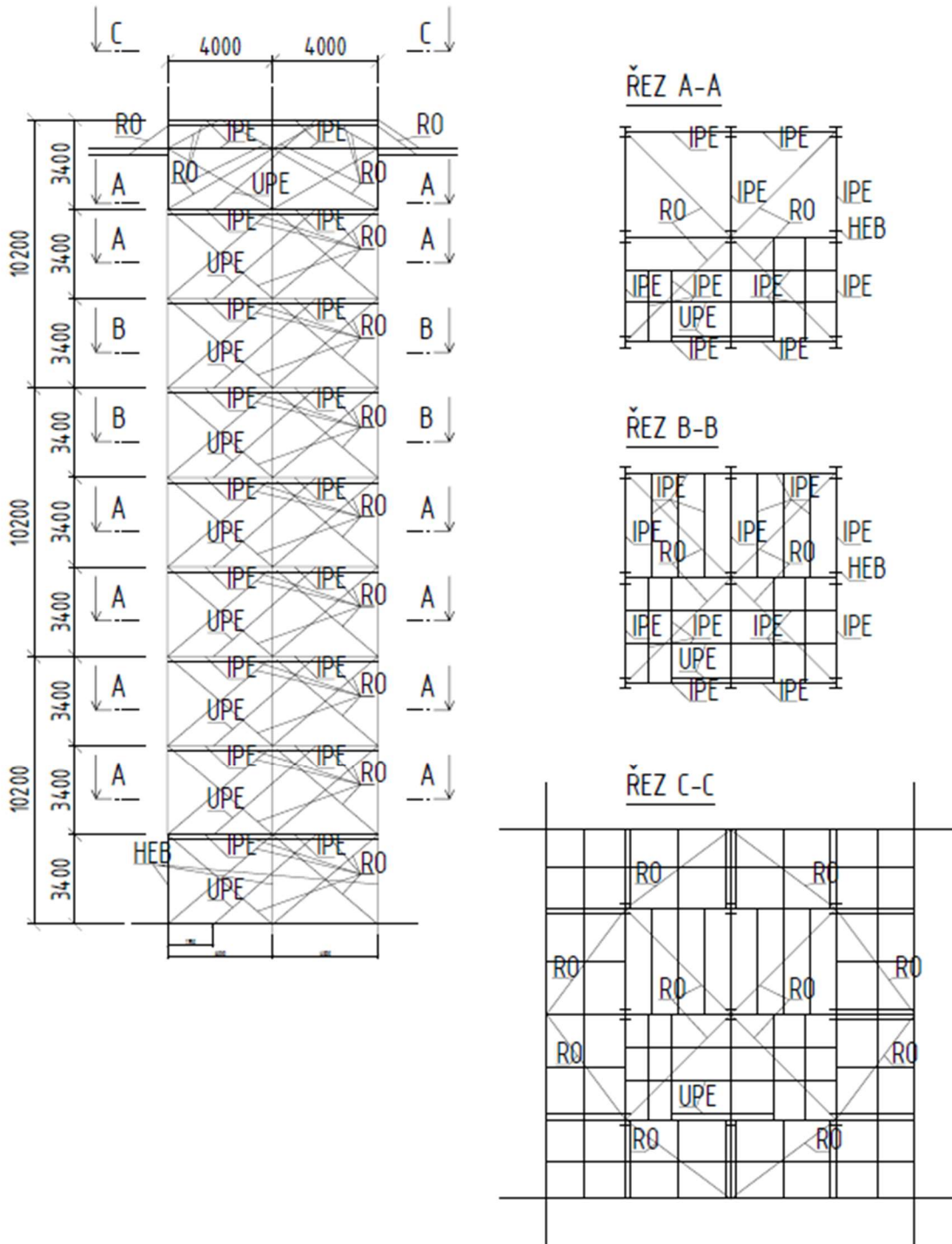
1.2 Dispozice konstrukce

Dispozice rozhledny je pravidelná. Sestává z 9 hlavních sloupů po výšce neměnného průřezu, které přenáší veškeré zatížení jednotlivých podlaží. Jejich osová vzdálenost je v obou směrech 4m. Jednotlivá podlaží jsou pravidelná (s výjimkou vyhlídkových podlaží) s jednotnou konstrukční výškou 3,4m. Vyhlídková podlaží se liší podlahovou plochou, jsou přístupná ve větší míře – tudíž dochází k přidání vodorovných prvků v rámci těchto podlaží.

Hlavní nosné prvky jsou již zmíněné sloupy, nárožníky umístěné v rozích. Nárožníky jsou uvažovány průřezu HEB. Horizontální prvky jsou tvořeny profily IPE o různých rozměrech. Konzoly ochozu jsou opět tvořeny profily HEB. Táhla a tužidla jsou tvořeny profily o průřezu RO (TR). Schodnice jsou tvořeny profily UPE orientovány zády k sobě. Dimenze jednotlivých prvků jsou pro první iteraci uvažovány shodné anebo alespoň přibližně s aktuálním stavem reálné konstrukce. V rámci výpočtu budou v případech nevyhovění iterativně upraveny dle potřeby.

Prostorová tuhost konstrukce je zajištěna její masivností a roztečí mezi jednotlivými sloupy, jež umožňuje přenos momentových sil.

Dispozice navrhovaného stavu je osově znázorněna na obr. 1.2.



Obr. 1.2. Dispozice hlavní nosné konstrukce

Prvek	Průřez
Nárožníky	HEB360
Středový sloup	HEB240
Svislá ztužidla	TR 193,7x10
Hlavní horizontální obvodové a středové pruty	IPE270
Výplňové pruty nesoucí podlahový rošt	IPE180
Konzoly	HEB240
Schodnice	UPE200
Horizontální ztužidla	TR168,3x12,5

Tab. 1.1 – Přehled uvažovaných průřezů jednotlivých prvků konstrukce.

1.3 Materiál a třída provedení

Prvky ocelové konstrukce jsou navrženy z oceli S235J2, šrouby jsou uvažovány jakosti 10.2 a třída betonu pro základové patky C25/30.

EXC je stanovena dle ČSN EN 1993-1-1 a informacích uvedených v ČSN EN 1990.

1.3.1 Povrchová úprava, ochrana proti korozi

Konstrukce je opatřena žárovým pozinkováním, odtok srážkové vody a kondenzátu je zajištěn odtokovými vložkami a štěrkovým zásypem patek u kotvení sloupů.

2. Návrh schodiště

Návrh schodiště je proveden v souladu s normou ČSN 73 4130 [3]. Jedná se o jednoramenné schodiště o konstrukční výšce podlaží $H = 3,4\text{m}$. Účinná šířka ramene B je uvažována $1,5\text{m}$ – splňuje tedy limit pro evakuaci osob. Tato šířka byla inspirována skutečným řešením konstrukce.

Konstrukční výška	$H = 3400\text{ mm}$
Účinná šířka ramene	$B = 1500\text{ mm}$
Počet ramen (jedno podlaží)	$N = 1$
Odhad výšky stupně	$v_{odh} = 200\text{ mm}$
Počet stupňů na základě odhadu výšky stupně	$n_{odh} = \frac{H}{v_{odh}} = \frac{3400}{200} = 17\text{ stupňů}$
Návrh počtu stupňů	$n = 17\text{ stupňů}$
Skutečná výška jednoho stupně	$v_s = \frac{H}{n} = \frac{3400}{17} = 200\text{ mm}$
Odhad šířky stupně	$b_{odh} = 630 - 2v_s = 630 - 2 \cdot 200 = 230\text{ mm}$
Návrh šířky stupně	$b_s = 240\text{ mm}$
Sklon schodišťového ramena	$\alpha = \arctg\left(\frac{H}{n b_s}\right) = \arctg\left(\frac{3400}{17 \cdot 240}\right) = 39,8^\circ$
Minimální podchodná výška	$H_{1,min} = 1500 + \frac{750}{\cos\alpha} = 1500 + \frac{750}{\cos 39,8}$ $H_{1,min} = 2477\text{ mm} \leq H = 3400\text{ mm}$
Průchodná výška	$H_2 = H \cos \alpha = 3400 \cdot \cos 39,8 = 2611\text{ mm}$
Minimální průchodná výška	$H_{2,min} = 750 + 1500 \cos \alpha = 750 + 1500 \cos 39,8$ $H_{2,min} = 1902\text{ mm} \leq H_2 = 2611\text{ mm}$

Zábradlí je zjednodušeně uvažováno jako čtvercové-trubkové s drátěnou výplní (stejně jako zábradlí po obvodu konstrukce) o výšce 1200 mm . Ve výpočtu poskytuje rezervu, při realizaci tohoto zábradlí také zvýšenou bezpečnost.

3. Zatížení

3.1 Zatížení stálé

3.1.1 Vlastní tíha nosné konstrukce

Dominantní složkou stálého zatížení je vlastní tíha ocelové konstrukce. Hodnoty tohoto zatížení jsou generovány a zohledněny ve výpočtu automaticky, v závislosti na průřezu, programem Dlubal RFEM. Další složkou stálého zatížení jsou podlahové rošty, zábradlí a záklopu posledního podlaží. Tyto hodnoty budou zaneseny explicitně jako „ostatní stálé zatížení“.

3.1.2 Podlahové rošty

Na základě průzkumu trhu je vlastní hmotnost podlahových roštů odhadnuta na $0,25\text{kg/m}^2$. Pro všechny pochozí plochy je uvažována tato hodnota. V případě schodištvých stupňů je toto zjednodušeno a zaneseno jako svislé zatížení přes svislý průmět plochy schodiště – tzn. uvažují schodištvé stupně po celé ploše, bez překryvu – toto zatížení je rozpočteno a zaneseno na schodnice.

3.1.3 Zábradlí

Zábradlí je ve všech případech tvořeno čtvercovými trubkami s drátěnou výplní. Plocha 1m délky je uvažována $0,328\text{ m}^2$ a zatížení na 1 b.m. je uvažováno konzervativně hodnotou $0,25\text{ kN/m}$.

3.1.4 Zastřešení

Zastřešení jako takové na této rozhledně nenajdeme. Jako zastřešení tedy bude zmiňován pochozí prkenný záklop posledního patra. Tento záklop je zde z důvodů estetických a funkčních – zabránění dešti. Hodnota zatížení je uvažováno jako $0,28\text{kN/m}^2$.

3.1.5 Zatěžovací stavy

Pro stálé zatížení jsou zavedeny dva zatěžovací stavy – ZS1 uvažuje pouze vlastní tíhu konstrukce, ZS2 obsahuje zatížení ostatní stálé – tj. podlahové rošty, prkenný záklop a zábradlí.

3.2 Zatížení proměnné – Užitné

Hodnota plošného užitného zatížení je stanovena na základě ČSN EN 1991-1-1. Jedná se o plochy určené k pohybu osob – kategorie C, podkategorie C3. Užitné zatížení pro tyto plochy je stanoveno na 3 kN/m^2 . Toto zatížení je zaneseno prostřednictvím ploch na veškeré pochozí plochy a softwarem (Dlubal RFEM) rozpočítáno na jednotlivé pruty.

3.2.1 Zatěžovací stavy

Budou uvažovány dva zatěžovací stavy - ZS9 a ZS10. ZS9 reprezentuje užitné zatížení působící na všech pochozích plochách. ZS9 uvažuje užitné zatížení pouze na jedné polovině konstrukce.

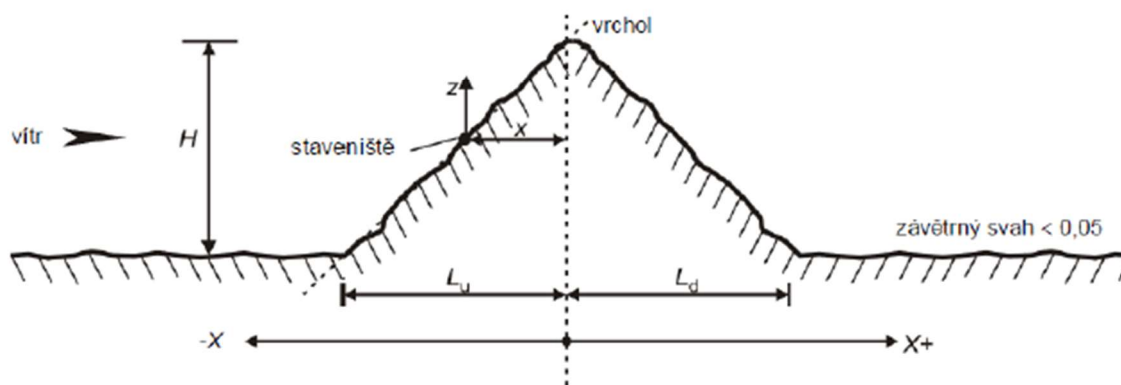
3.3 Zatížení proměnné – Vítr

3.3.1 Součinitel orografie

Poloha rozhledny (tj. na vrcholu kopce) udává povinnost zohlednit součinitel orografie c_0 . Výpočet je proveden dle ČSN EN 1991-1-4, přílohy A.3. Vítr je uvažován proměnlivý, proto je délka návětrného a závětrného svahu shodná. Vstupní hodnoty vychází z mapy (ags.cuzk.cz) a jsou zjednodušeny tak, aby odpovídaly obrázku 3.2. Pata rozhledny je uvažována ve výšce 894m.n.m.

Výpočet součinitele orografie c_0 (dle ČSN EN 1991-1-4 2.edice)

Účinná výška kopce	$H =$ 75 m
Skutečná délka závětrného svahu	$L_u =$ 477 m
Skutečná délka návětrného svahu	$L_d =$ 477 m
Umístění stavby - návětrná strana	$x_u =$ -26 m
Umístění stavby - závětrná strana	$x_d =$ 26 m
Svislá vzdálenost konstrukce od vrcholu	$z =$ 31 m
Sklon svahu	$\phi = H/L_u =$ 0.157
Účinná délka (Tabulka A.2)	$L_e = L_u =$ 477 m



Obr. 3.1 Parametry pro kopce a hřebeny

3.3.1.1 Ověření nutnosti uvážení součinitele orografie

Pro místa na návětrných svazích kopců a hřebenů mají být splněny 2 následující podmínky

1. podmínka	$0,05 < \phi \leq 0,3$ $0,05 < 0,157 \leq 0,3$	Splněno
2. podmínka	$ x_u \leq L_u/2$ $26 \leq 477/2$ $26 \leq 238,5$	Splněno

A) Návětrná strana pro všechny orografie

Ověření rozsahu

1. podmínka	$-1,5 \leq x_w/L_w \leq 0$ $-1,5 \leq -26/477 \leq 0$ $-1,5 \leq -0,055 \leq 0$	Splněno
2. podmínka	$0 \leq z/L_e \leq 2,0$ $0 \leq 40,4/477 \leq 2,0$ $0 \leq 0,092 \leq 2,0$	Splněno

Výpočet součinitele umístění s

$$s_u = A \cdot e^{(B \cdot x_u / L_u)}$$

Stanovení parametrů A a B

$$A = 0,1552 (z/L_e)^4 - 0,8575 (z/L_e)^3 + 1,8133 (z/L_e)^2 - 1,9115 (z/L_e) + 1,0124$$

$$= 0,1552 (31/477)^4 - 0,8575 (31/477)^3 + 1,8133 (31/477)^2 - 1,9115 (31/477) + 1,0124$$

$$A = 0,896$$

$$B = 0,3542 (z/L_e)^2 - 1,0577 (z/L_e) + 2,4656$$

$$B = 2,398$$

Součinitel umístění vztažený k účinné délce návětrného svahu L_e	$s_u = A \cdot e^{(B \cdot x_u / L_u)} = 0,896 \cdot e^{(2,398 \cdot -26/477)} =$	0,786
--	---	-------

B) Závětrná strana pro kopce a hřebeny

Ověření rozsahu

1. podmínka	$0 \leq x_d/L_d \leq 2,0$ $0 \leq 26/477 \leq 2,0$ $0 \leq 0,055 \leq 2,0$	Splněno
2. podmínka	$0 \leq z/L_e \leq 2,0$ $0 \leq 31/477 \leq 2,0$ $0 \leq 0,065 \leq 2,0$	Splněno

Parametr A má stejnou hodnotu jako v případě vyšetřování návětrné strany. Parametr B je stanoven následovně:

$$B = -0,3056 (z/L_e)^2 + 1,0212 (z/L_e) - 1,7637 = -1,699$$

Součinitel umístění vztažený k účinné délce návětrného svahu L_e	$s_d = A \cdot e^{(B \cdot x_d / L_d)} = 0,863 \cdot e^{(-1,699 \cdot -26/477)} =$	0,982
--	--	-------

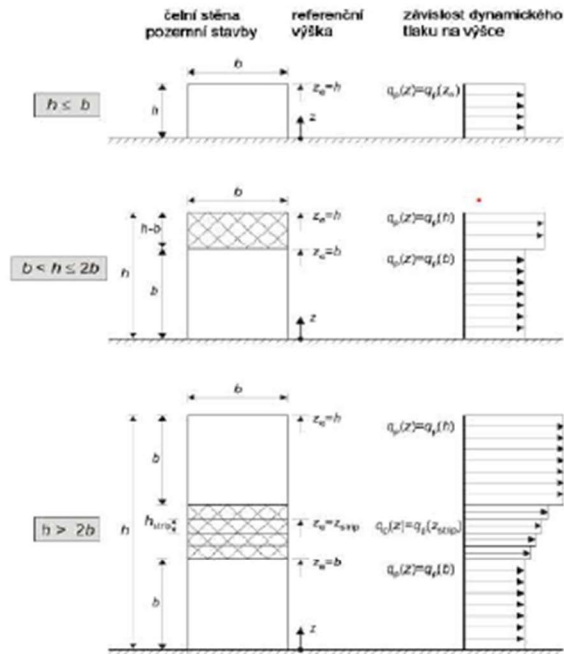
Stanovení součinitele orografie c_0

Rozhodující hodnota součinitele umístění	$s = \max(s_u; s_d) = \max(0,786; 0,982)$ $= 0,982$
Součinitel orografie je pro sklon svahu $\phi = 0,157$	$c_0 = 1 + 2s^\phi = 1 + 2 \cdot 0,982 \cdot 0,157$ $= 1,309$

3.3.2 Maximální dynamický tlak

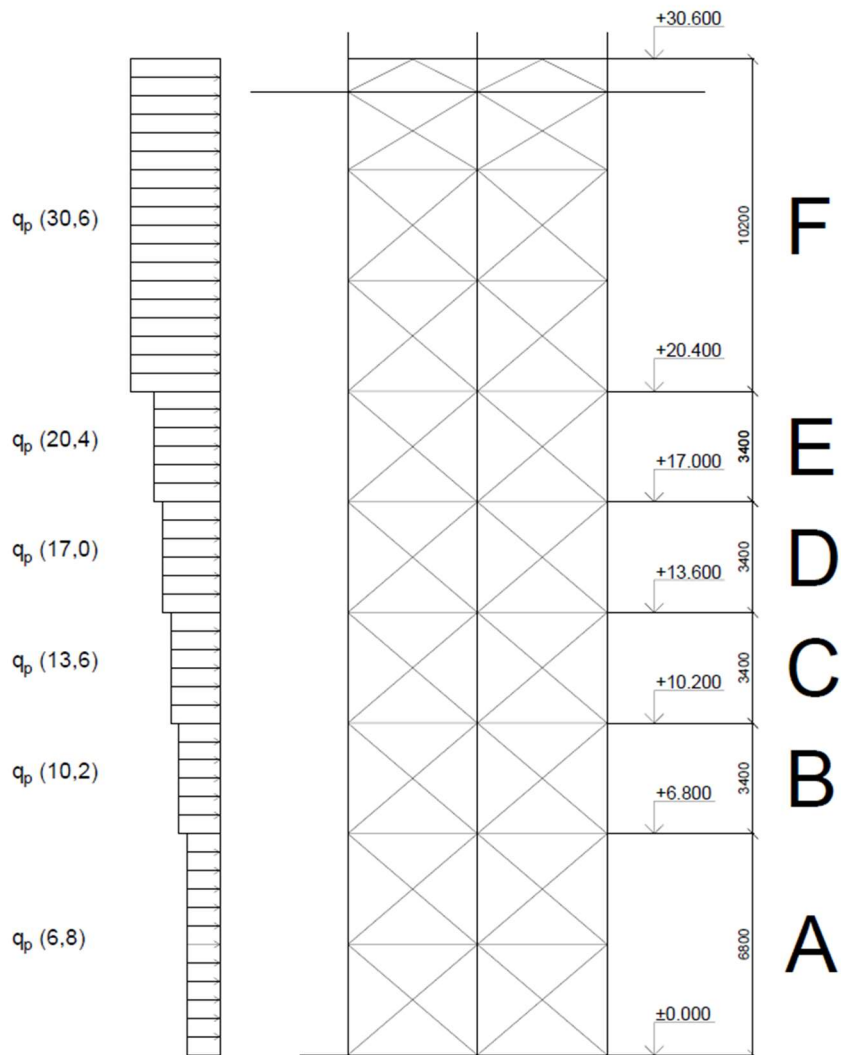
Výška konstrukce	$h = 31,4 \text{ m}$
Šířka konstrukce	$b = 8 \text{ m}$

Rozdělení zatížení po výšce bude provedeno v závislosti na splnění kritérií daných normou ČSN EN 1991-1-4



Kritérium rozdělení zatížení po výšce	$h > 2b$
	$31,4 > 2 \cdot 8$
	$31,4 > 16$ Splněno

Dle výše splněné podmínky a obrázku výše má být v patě konstrukce a u jejího vrcholu úsek s konstantní hodnotou zatížení větrem o délce $b = 8 \text{ m}$. Pro zjednodušení, aby bylo možné konstrukci rozdělit na totožné úseky, byla spodní část konzervativně zmenšena na $6,8 \text{ m}$ (dvě modulová podlaží) a vrchní část naopak zvýšena na $10,2 \text{ m}$ (tři modulová podlaží). Uvažované rozložení zatížení, společně s označením jednotlivých oblastí, je znázorněno následujícím obrázkem.



Obr. 3.1. Rozdělení zatížení větrem po výšce konstrukce a značení oblastí pro zatížení větrem.

Součinitel směru větru	$C_{dir} =$	1.0
Součinitel ročního období	$C_{season} =$	1.0
Výchozí základní rychlost větru (oblast III)	$v_{b,0} =$	27.5 m/s
Základní rychlost větru	$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 27.5 =$	27,5 m/s
Hustota vzduchu	$\rho =$	1.25 kg/m ³
Minimální výška (kategorie II?)	$z_{min} =$	5 m
Parametr drsnosti	$z_0 =$	0.05 m
Parametr drsnosti (kategorie II?)	$z_{0,II} =$	0.05 m
Součinitel turbulence	$k_s =$	1.0 (hodnota doporučená normou)

Následující vztahy jsou uvedeny v obecné formě a jsou použity pro výpočet hodnot v následující tabulce.

Součinitel drsnosti terénu	$c_r(z) = k_r \ln(z/z_0) = 0,19 (z_0/z_{0,II})^{0,07} \ln(z/z_0)$
Střední rychlost větru	$v_m(z) = c_r(z) c_0 v_0$
Intenzita turbulence	$I_v(z) = k_1 / (c_0 \ln(z/z_0))$
Maximální dynamický tlak	$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \cdot 0,5 \rho v_m^2(z)$

Výpočet maximálního dynamického tlaku

Oblast	z	$c_r(z)$	$v_m(z)$	$I_v(z)$	$q_p(z)$
[-]	[m]	[-]	[m/s]	[-]	[kN/m ²]
A	6.8	0.933	33.60	0.156	1.474
B	10.2	1.010	36.37	0.144	1.658
C	13.6	1.065	38.34	0.136	1.795
D	17.0	1.107	39.87	0.131	1.905
E	20.4	1.142	41.11	0.127	1.996
F	31	1.222	43.97	0.119	2.214

Tab. 3.1 Výpočet maximálního dynamického tlaku pro jednotlivé oblasti.

3.3.3 Součinitel síly celé konstrukce

Součinitel síly konstrukce je stanoven dle pokynů daných normou ČSN EN 1991-1-4, konkrétně pokynů pro příhradové konstrukce a lešení, pomocí součinitele plnosti a dalších zjednodušujících předpokladů. Jeho stanovení je nezbytné pro následný výpočet součinitele konstrukce $c_s c_d$, respektive logaritmického dekrementu aerodynamického útlumu při základním tvaru kmitání δ_a , který je nezbytné stanovit pro konstrukci jako celek.

Součinitel plnosti φ má být stanoven pomocí poměru mezi součtem průmětů ploch prutů a styčnickových plechů do čelní plochy A a plochy ohraničené okraji čelní plochy promítnuté kolmo k čelní ploše A_c. V případě dané konstrukce bude uvažováno kromě průmětů hlavních nosných konstrukcí také průměty veškerých ploch pevně spojených s konstrukcí.

Stanovení ploch dílčích průmětů bylo provedeno za pomoci programu AutoCAD LT 2023. Plocha styčnickových plechů je odhadnuta na 0,05m² v místě styků. Plocha je určena pouze pro kritický průřez - tj. pohled kolmo na schodnice. V druhém směru vztaženém k s.s. je výrazně menší plocha zábradlí vyplývající z orientace schodnic a také rozvržení pochozích ploch - tento směr nebude uvažován. Tato hodnota bude uvažována pro výpočet zatížení větrem v obou kolmých směrech (specifikovaných normou). Při výpočtu součinitele plnosti nejsou uvažovány prvky v zákrytu, nicméně při zavedení zatížení budou vypočtené hodnoty naneseny i na prvky v zákrytu.

Průmět plochy zábradlí (z důvodu drobných průměrů sítí oproti zbytku konstrukce a překryvu s konstrukcemi v zákrytu) bude zjednodušeně stanoven na jeden metr délky a to s rezervou 2% pro dodržení bezpečnosti návrhu. Reálná plocha průmětu zábradlí se tedy může lišit. Následně bude stanovena půdorysná délka zábradlí v rámci jednoho patra. Vzhledem k opakujícím se modulům konstrukce lze takto stanovit průmětnou plochu zábradlí v rámci celé konstrukce.

Výpočet plochy průmětu typického podlaží A_{typ}

Hl. nosné konstrukce, tj. svislé a vodorovné prvky	$A_{typ,1} = 4,54 \text{ m}^2$
Zavětrování	$A_{typ,2} = 3,64 \text{ m}^2$
Schodnice	$A_{typ,3} = 0,738 \text{ m}^2$
Zábradlí	$A_{typ,4} = 1,02 \cdot L_{zábr} \cdot A_{zábr,b,m} = 1,02 \cdot (2 \cdot 3,715 + 5,2) \cdot 0,32812 = 4,233 \text{ m}^2$
Styčnickové plechy	$A_{plech} = n \cdot 0,05 = 10 \cdot 0,05 = 0,5 \text{ m}^2$
Vodorovné ztužení	$A_{z.v.} = 1,25 \text{ m}^2$
$A_{typ} = 14,66 \text{ m}^2$	

Tab. 3.2 výpočet plochy průmětu typického podlaží

Potřebné mezivýpočty pro stanovení součinitele plnosti konstrukce

Oblast A, uvažováno $2x A_{typ,pr} - 4x$ styč. plech	$A_A = 28,39 \text{ m}^2$
Oblast B-H, uvažováno 44 % celkové plochy	$A_{B-E} = 14,66 \text{ m}^2$
Oblast I, viz výpočet výše	$A_F = 64,91 \text{ m}^2$
Plocha průmětu všech prvků do čelní plochy	$A = \Sigma A_i = 151,95 \text{ m}^2$
Čelní plocha (změřeno v AutoCAD LT 2023)	$A_c = 274,18 \text{ m}^2$

Plochy potřebné ke stanovení součinitele plnosti konstrukce φ

Oblast	$A_{\perp,i}$	$A_{z,i}$	$A_{s,i}$	$A_{4,i}$	A_{plech}	$A_{z.v.}$	A_{extra}
[-]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]
A	8.340	7.280	1.476	8.000	0.800	2.491	-
B	4.540	3.640	0.738	4.000	0.500	1.245	-
C	4.540	3.640	0.738	4.000	0.500	1.245	-
D	4.540	3.640	0.738	4.000	0.500	1.245	-
E	4.540	3.640	0.738	4.000	0.500	1.245	-
F	19.068	11.795	2.214	16.594	1.500	3.736	10.00

Tab. 3.3 výpočet plochy průmětu jednotlivých podlaží

Součinitel plnosti	$\varphi = A/A_c = 151,95/274,18 = 0,5542$
--------------------	--

Součinitel síly bez vlivu koncového efektu

Součinitel síly pro příhradové konstrukce a lešení bez vlivu proudění kolem volných konců $c_{f,0,i}$ se dle ČSN EN 1991-1-4 stanovuje v závislosti na typech průřezů prutů hlavní nosné konstrukce. Konkrétně rozlišuje prostorovou příhradovou konstrukci s pruty z úhelníků a s pruty o kruhových průřezích. Na řešené konstrukci převažují nosné prvky z kruhových trubek (vertikální ztužidla, vodorovná ztužidla) a je tedy použit postup pro prostorové příhradové konstrukce s pruty s kruhovým průřezem. Pro stanovení součinitele $c_{f,0,i}$ je nutné znát, kromě součinitele plnosti ϕ , hodnotu Reynoldsova čísla Re .

Výška konstrukce uvažovaná pro zatížení větrem v oblastech A až F (konzervativně je uvažována celá výška)	$h = 31.4 \text{ m}$
Viskozita vzduchu	$\nu = 0.000015 \text{ m}^2/\text{s}$
Rychlost vzduchu ve výšce +31,400 m	$v(31,4) = \sqrt{\frac{2 q_p(31,4)}{1,25}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2.214 \cdot 10^3}{1,25}} = 59.52 \text{ m/s}$
Střední průměr prvku (patro)	$b\phi = \frac{\sum b_i n_i L_i}{n_i L_i} =$ $= \frac{300 \cdot 3 \cdot 3,4 + 168,3 \cdot 2 \cdot 3,7 + 200 \cdot 4 \cdot 4,85 + 160 \cdot 1 \cdot 4,87 + 193,7 \cdot 2 \cdot 3,7}{3 \cdot 3,4 + 2 \cdot 3,7 + 4 \cdot 4,85 + 4,87 + 2 \cdot 3,7}$ $= 209.51 \text{ mm} = 0.2095 \text{ m}$
Reynoldsovo číslo	$Re(31,4) = b_\phi v(31,4) / \nu = 0,214 \cdot 59,52 \cdot 1,5 \cdot 10^{-5}$ $Re(31,4) = 831267.2 = 8,5 \cdot 10^5$
Součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců pro šikmý vítr – $\alpha = 45^\circ$ (Obrázek 7.35)	$C_{f,0,45^\circ} = 1.9$
Součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců pro kolmý vítr – $\alpha = 0^\circ$ (Obrázek 7.35)	$C_{f,0,0^\circ} = 1.4$
Výsledný součinitel síly	$C_{f,0} = \max(C_{f,0,45^\circ}; C_{f,0,0^\circ}) = \max(1,9; 1,4) =$ $C_{f,0} = 1.9$

Tab. 3.4 Výpočet součinitele síly bez vlivu koncového efektu

Součinitel koncového efektu

Ve výpočtu bude zohledněn vliv koncového efektu, který bere v úvahu snížení odporu konstrukce v důsledku proudění větru kolem volného konce. Součinitel koncového efektu ψ_λ je stanoven dle pokynů ČSN EN 1991-1-4. Výška konstrukce je v normě značena jako l , v tomto příkladu bude dodrženo výše zavedené označení h . Efektivní štíhlost λ se stanoví zvlášť pro konstrukci vyšší než 50 m a nižší než 15 metrů. Požadovaná hodnota bude následně získána pomocí lineární interpolace.

Efektivní štíhlost – horní limit	$\lambda_h = \min(1,4h/b; 70) = \min(1,4 \cdot 31,4/8; 70)$ $= \min(5,495; 70) = 5.495$
Efektivní štíhlost – spodní limit	$\lambda_s = \min(2h/b; 70) = \min(2 \cdot 40,8/8; 70)$ $= \min(7,85; 70) = 7.85$
Efektivní štíhlost řešené konstrukce	$\lambda = 6.75$
Součinitel koncového efektu (Obrázek 7.36)	$\psi_\lambda = 0.9$
Výsledný součinitel síly celé konstrukce	$C_f = C_{f,0} \psi_\lambda = 1,9 \cdot 0,91 = 1,71$

3.3.4 Součinitel konstrukce dle ČSN EN 1991-1-4, Přílohy B

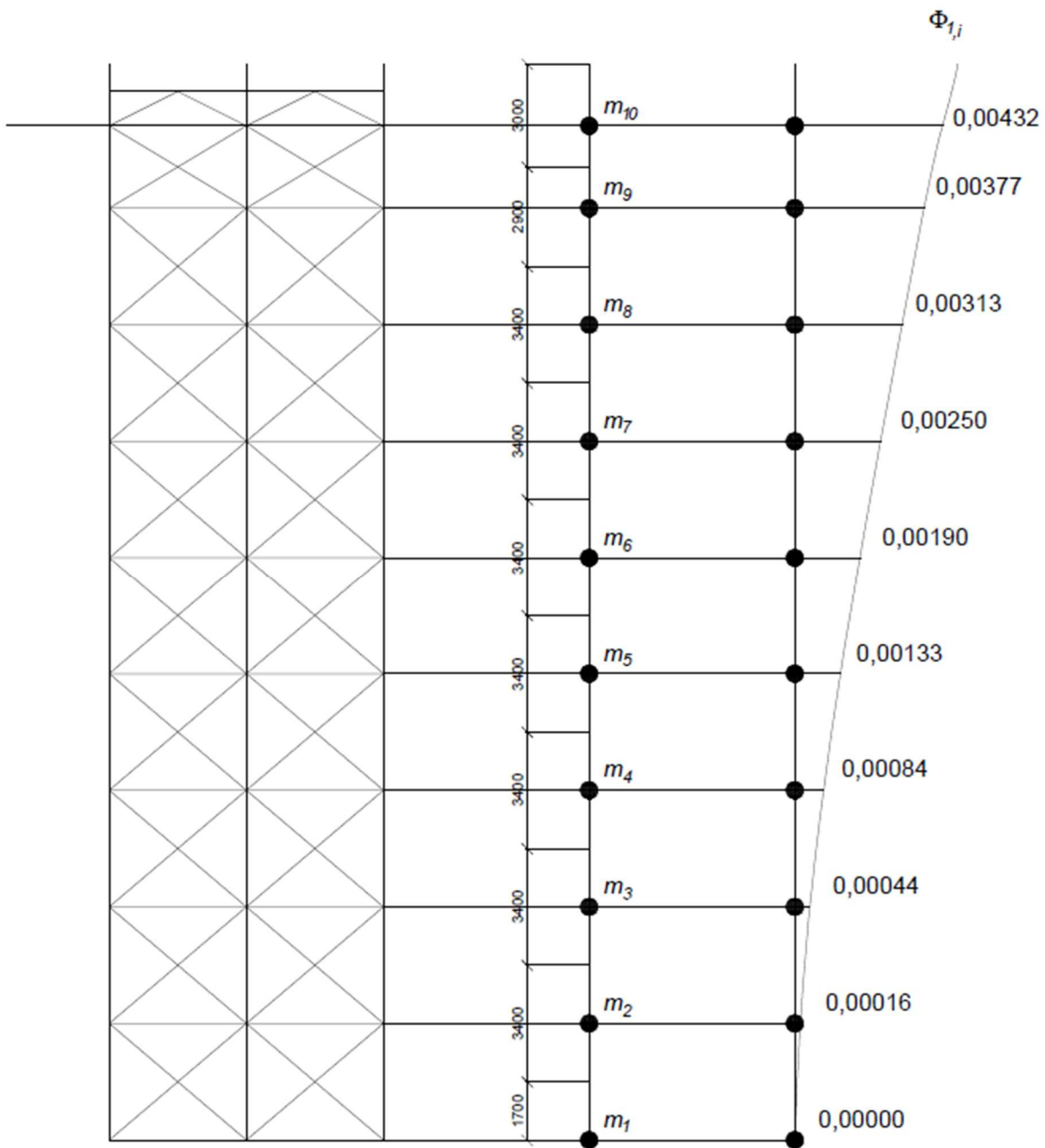
Součinitel konstrukce $c_s c_d$ zohledňuje zvětšení zatížení od kmitání v rezonanci větru s konstrukcí a účinek redukce zatížení větrem v důsledku nesoučasného výskytu maximálních dynamických tlaků větru na konstrukci. Pro jeho stanovení je nutné nejprve určit dynamické charakteristiky vlastního kmitání rozhledny, konkrétně vlastní frekvenci n_1 .

Dynamické vlastnosti konstrukce byly zkoumány na prostorovém modelu vytvořeném ve výpočetním softwaru Dlubal RFEM, který je popsán v kapitole 4.1. Pro výpočet dynamické odezvy byla konstrukce nejprve rozdělena do hmotových bodů m_i , viz Obr. 3.2. Pro jednotlivé pozice hmotových bodů byly pomocí přídatného modulu RF-DYNAM Pro spočteny pořadnice prvního vlastního tvaru $\phi_{1,i}$ (normováno vůči matici hmotnosti). Při výpočtu byla uvažována všechna stálá zatížení, tedy vlastní tíha konstrukce a ostatní stálé zatížení (podlahové rošty a zábradlí). Výsledná data získaná ze softwaru jsou uvedena níže a v následující tabulce.

Frekvence prvního vlastního tvaru	$n_1 = 2,082 \text{ Hz}$
Celková hmotnost konstrukce, stálého zatížení	$m_{\text{tot}} = 93\,738 \text{ kg}$

hmotový bod	m_i	ϕ_i	$\phi_{1,i}^2$	$m_i \phi_{1,i}^2$
[-]	[kg]	[-]	[-]	[kg]
m_1	3290.94	0.00000	0.0000	0.00000
m_2	10624.31	0.00016	2.56E-08	0.00027
m_3	10624.31	0.00044	1.936E-07	0.00206
m_4	10624.31	0.00084	7.056E-07	0.00750
m_5	10624.31	0.00133	1.7689E-06	0.01879
m_6	11556.64	0.00190	0.00000361	0.04172
m_7	12977.36	0.00250	0.00000625	0.08111
m_8	10624.31	0.00313	9.7969E-06	0.10409
m_9	10508.24	0.00377	1.42129E-05	0.14935
m_{10}	26341.4	0.00432	1.86624E-05	0.49159

Tab. 3.5 Hmotnost diskretizovaných hmotových bodů a výsledky dynamické analýzy.



Obr. 3.2 Diskretizace hmot konstrukce a první vlastní tvar kmitání (normováno vůči matici hmotnosti)

Charakteristiky turbulence větru

Referenční výška dle ČSN EN 1991-1-4, Obrázek 6.1 a)	$z_s = 0,6 h \geq z_{min}$ $z_s = 0,6 \cdot 31,4 \geq z_{min}$ $z_s = 18.84 \geq z_{min} = 5m$ Splněno
Referenční měřítko délky	$L_t = 300 \text{ m}$
Referenční výška	$z_t = 200 \text{ m}$
Parametr	$\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0)$ $\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(0,05)$ $\alpha = 0.520213$
Součinitel drsnosti v referenční výšce	$c_r(z_s) = k_r \ln(z/z_0) = 0,19 (z_0/z_{0,II})^{0,07} \ln(z/z_0)$ $= 0,19 (18.84/0.05)^{0,07} \ln(18.84/0.05)$ $= 1.707$
Střední rychlost větru v referenční výšce	$v_m(z_s) = c_r(z_s) c_0 v_b = 1,707 \cdot 1,309 \cdot 27,5$ $v_m(z_s) = 61.450 \text{ m/s}$
Měřítko délky turbulence pro referenční výšku $z_s = 16,62 \text{ m} > z_{min} = 5 \text{ m}$	$L(z_s) = L_t (z_s/z_t)^\alpha =$ $L(z_s) = 87.78267 \text{ m}$
Bezrozměrná vlastní frekvence pro referenční výšku	$f_L(z_s, n_1) = n_1 L(z_s) / v_m(z_s) = 2,082 \cdot 87,8 / 61,45$ $f_L(z_s, n_1) = 2.9742$
Bezrozměrná výkonová spektrální hustota pro referenční výšku	$S_L(z_s, n_1) = 6,8 f_L(z_s, n_1) / [1 + 10,2 f_L(z_s, n_1)]^{(5/3)}$ $= 6,8 \cdot 2,97 / [1 + 10,2 \cdot 2,97]^{(5/3)}$ $= 0.0649$

Ekvivalentní hmotnost

Ekvivalentní hmotnost na jednotku délky me pro první vlastní tvar je stanovena podle ČSN EN 1991-1-4, přílohy F (kapitola F.4).

Ekvivalentní hmotnost na jednotku délky m_e	$m_e = \frac{\int_0^l m(s)\phi_1^2(s) ds}{\int_0^l \phi_1^2(s) ds}$
Alternativně m_e	$m_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \phi_{1,i}^2)}{\sum_{i=1}^n \phi_{1,i}^2}$

Dosazeno bylo do alternativního zápisu. Hodnoty dosazené lze najít v tabulce č. 3.6, převzaty z tab. 3.5

hmotový bod	$\phi_{1,i}^2$	$m_i \phi_{1,i}^2$
[-]	[-]	[kg]
m_1	0	0.00000
m_2	2.56E-08	0.00027
m_3	1.936E-07	0.00206
m_4	7.056E-07	0.00750
m_5	1.769E-06	0.01879
m_6	3.61E-06	0.04172
m_7	6.25E-06	0.08111
m_8	9.797E-06	0.10409
m_9	1.421E-05	0.14935
m_{10}	1.866E-05	0.49159

$$m_e = \underline{\underline{16232.93}} \text{ kg}$$

Tab. 3.6 Vstupní údaje pro výpočet m_e

Logaritmický dekrement útlumu

Logaritmický dekrement konstrukčního útlumu dle ČSN EN 1991-1-4, přílohy F (kapitola F.5).

Logaritmický dekrement konstrukčního útlumu pro ocelové pozemní stavby (tabulka F.2 normy ČSN EN 1991-1-4)	$\hat{\delta}_z = 0,05$
Logaritmický dekrement aerodynamického útlumu při základním tvaru kmitání (vztah F.18 normy ČSN EN 1991-1-4)	$\hat{\delta}_a = c_f \rho b v_m(z_z) / (2 n_1 m_e)$ $\hat{\delta}_a = 1,71 \cdot 1,25 \cdot 8 \cdot 61,45 / (2 \cdot 2,087 \cdot 16233)$ $= 0,016$
Logaritmický dekrement útlumu od zvláštních zařízení - konstrukce není opatřena žádnými tlumiči	$\hat{\delta}_d = 0$
Výsledný logaritmický dekrement útlumu	$\hat{\delta} = \hat{\delta}_z + \hat{\delta}_a + \hat{\delta}_d = 0,05 + 0,016 + 0$ $\hat{\delta} = 0,066$

Aerodynamická admittance

Parametr	$\gamma_h = 4,6 h / L(z_s) \cdot f_l(z_s, n_1)$ $= 4,6 \cdot 31,4 / 87,8 \cdot 2,97$ $= 4.89383$
Parametr	$\gamma_b = 4,6 b / L(z_s) \cdot f_l(z_s, n_1)$ $= 4,6 \cdot 8 / 87,8 \cdot 2,97$ $= 1.246836$
Aerodynamická admittance	$R_h = 1/\gamma_h - [1/(2\gamma_h^2)] (1 - e^{-2\gamma_h})$ $= 1/4,89 - [1/(2 \cdot 4,89^2)] (1 - e^{-2 \cdot 4,89})$ $= 0.183463$
Aerodynamická admittance	$R_b = 1/\gamma_b - [1/(2\gamma_b^2)] (1 - e^{-2\gamma_b})$ $= 1/1,247 - [1/(2 \cdot 1,247^2)] (1 - e^{-2 \cdot 1,247})$ $= 0.888135$

Parametry pro výpočet součinitele konstrukce

Součinitel odezvy pozadí	$B^2 = (1 + 0,9 [(b+h)/L(z_s)]^{0,63})^{-1}$ $= 1/(1+0,9 \cdot (((8+31,4)/87,8)^{0,63}))$ $= 0.647953$
Rezonanční část odezvy	$R^2 = \pi^2 / (2\delta) S_l(z_s, n_1) R_h R_b$ $= \pi^2 / (2 \cdot 0,066) \cdot 0,065 \cdot 0,18 \cdot 0,89$ $= 0.79654$
Frekvence přechodů s kladnou směrnicí	$v = n_1 \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} = 1,137 \sqrt{\frac{0,80^2}{0,65^2 + 0,80^2}}$ $= 1.546$
Doba integrace	T = 600 s
Součinitel maximální hodnoty	$k_p = \max(3; \sqrt{2 \ln(v T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \ln(v T)}})$ $= \max(3; \sqrt{2 \ln(1,546 \cdot 600)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \ln(1,546 \cdot 600)}})$ $= \max(3; 3,859)$ $= 3.859$

Výsledný součinitel síly celé konstrukce

Vztah pro výpočet c_sc_d je uveden v normě ČSN EN 1991-1-4, konkrétně v kapitole 6.3.1.

Součinitel turbulence v referenční výšce	$l_v(z_s) = \frac{k_1}{c_0 \ln(\frac{z_s}{z_0})} = \frac{1}{1,309 \cdot \ln(\frac{18,84}{0,05})}$ $= 0.129$
Součinitel konstrukce c _s c _d	$c_s c_d = \frac{1 + 2k_p l_v(z_s) \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7l_v(z_s)}$ $= \frac{1 + 2 \cdot 3,859 \cdot 0,129 \sqrt{0,648^2 + 0,797^2}}{1 + 7 \cdot 0,129}$ $= 1.154$

3.3.5 Součinitel konstrukce dle ČSN EN 1991-1-4, Přílohy C

Redukční funkce

Konstanty dozívání	$c_y = c_z = 11,5$
Parametr	$\phi_y = c_y b n_1 / v_m(z_s) = 11,5 \cdot 8 \cdot 2,082/61,45$ $= 3.117$
Parametr	$\phi_z = c_z h n_1 / v_m(z_s) = 11,5 \cdot 31,4 \cdot 2,082/61,45$ $= 12.235$
Konstanta - konstantní tvar kmitu	$G_y = \frac{1}{2}$
Konstanta - parabolický tvar kmitu	$G_y = \frac{5}{18}$
Redukční funkce $K_s(n_1)$	$K_s(n_1) = \frac{1}{1 + \sqrt{(G_y \phi_y)^2 + (G_z \phi_z)^2 + \left(\frac{2}{\pi} G_y \phi_y G_z \phi_z\right)^2}}$ $= \frac{1}{1 + \sqrt{(0,5 \cdot 3.117)^2 + \left(\frac{5}{18} \cdot 12.235\right)^2 + \left(\frac{2}{\pi} \cdot 0,5 \cdot 3.117 \cdot \frac{5}{18} \cdot 12.235\right)^2}}$ $= 0.166$

Parametry pro výpočet konstrukce

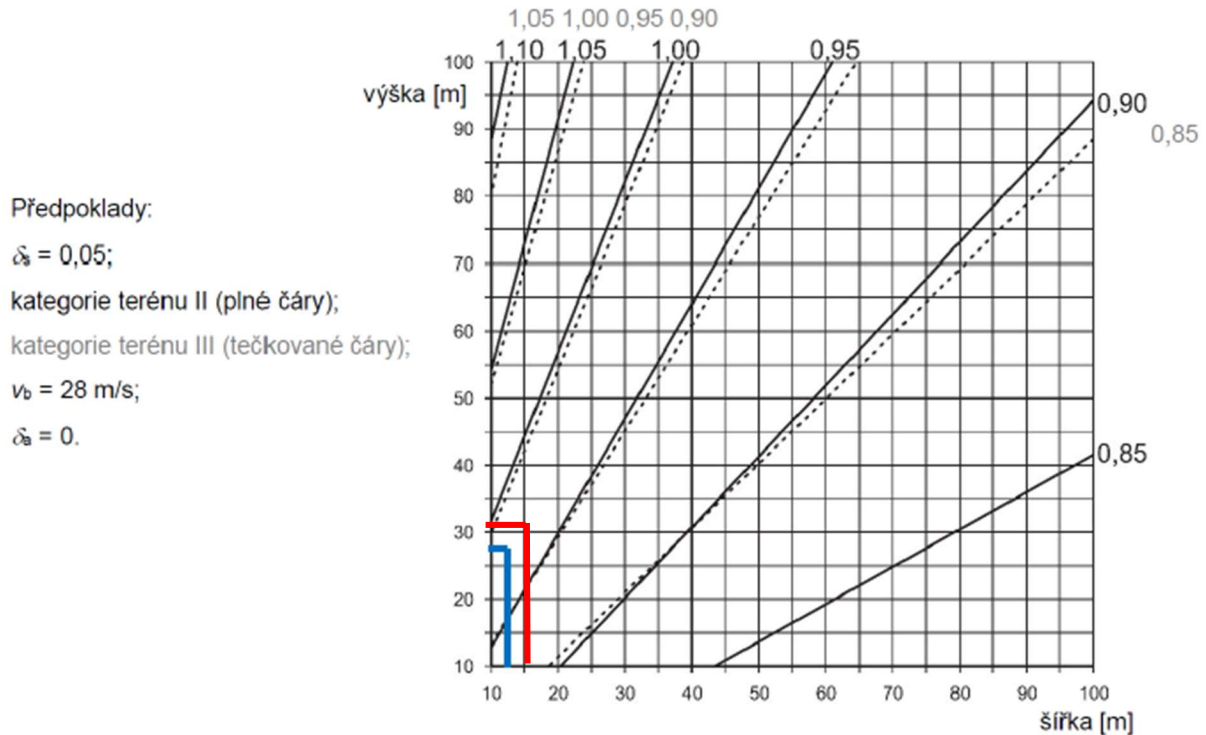
Součinitel odezvy pozadí	$B^2 = \frac{1}{1 + 1,5 \sqrt{\left[\frac{b}{L(z_s)}\right]^2 + \left[\frac{h}{L(z_s)}\right]^2 + \left[\frac{b}{L(z_s)} \cdot \frac{h}{L(z_s)}\right]^2}}$ $= \frac{1}{1 + 1,5 \sqrt{\left[\frac{8}{87,8}\right]^2 + \left[\frac{31,4}{87,8}\right]^2 + \left[\frac{8}{87,8} \cdot \frac{31,4}{87,8}\right]^2}}$ $= 0.643$
Rezonanční část odezvy	$R^2 = \pi^2 / (2 \delta) S_1(z_s, n_1) K_s(n_1)$ $= \pi^2 / (2 \cdot 0,091) \cdot 0,089 \cdot 0,271$ $= 0.810$

Výsledný součinitel síly celé konstrukce

Součinitel konstrukce	$c_s c_d = \frac{1 + 2k_p l_v(z_s) \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7l_v(z_s)}$ $= \frac{1 + 2 \cdot 3,859 \cdot 0,129 \sqrt{0,643^2 + 0,81^2}}{1 + 7 \cdot 0,129}$ $= 1.066$
-----------------------	--

3.3.6 Součinitel konstrukce dle ČSN EN 1991-1-4, Přílohy D

Příloha D umožňuje stanovit součinitel $c_s c_d$ graficky, na základě znalosti šířky a výšky konstrukce, viz obr. 3.3



Obr. 3.3 $c_s c_d$ pro vícepodlažní ocelové pozemní stavby s pravouhlejším půdorysem, svislými vnějšími stěnami, s pravidelným rozdělením tuhosti a hmotnosti

Vzhledem k výsledku $c_s c_d < 1$ uvažujeme $c_s c_d = 1,000$

3.3.7 Výsledný součinitel konstrukce

V předchozích kapitolách byl stanoven součinitel konstrukce c_{scd} třemi způsoby, které nabízí norma ČSN EN 1991-1-4 v přílohách B, C a D. Stanovené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 3.7.

Způsob výpočtu	$c_s c_d$ [-]
Příloha B	1.154
Příloha C	1.066
Příloha D	1.000

Tab. 3.7 Vypočtené hodnoty součinitele $c_s c_d$ dle jednotlivých příloh B, C, D normy ČSN EN 1991-1-4

Pro následný výpočet bude konzervativně uvažována hodnota $c_s c_d = 1,16$

3.4.1 Zatížení Hlavních nosných prvků od působení větru – Varianta 1

Výpočet zatížení na jednotlivé nosné prvky ocelové konstrukce je proveden ve třech variantách. V první variantě je uvažován součinitel síly $c_f = 1,16$ dle výpočtu pro celou konstrukci, viz kapitola 3.3.3 v kombinaci se vztahem (5.3) normy ČSN EN 1991-1-4. Zde je vztah upraven pro výpočet liniového zatížení, viz níže, kde b_i je šířka příslušného prvku a $q_p(z)$ je převzato z Tab. 3.1.

Liniové zatížení od větru	$f_w(z) = c_s c_d c_f b_i q_p(z)$
Šířka prutů nárožníků	$b_{nár} = 0.300 \text{ m}$
Šířka prutu schodnice	$b_{schod} = 0.160 \text{ m}$
Šířka prutů vertikálních ztužidel	$b_{vert} = 0.2 \text{ m}$
Šířka horizontálního prutu IPE	$b_{IPE} = 0.200 \text{ m}$
Šířka prutů vodorovných ztužidel	$b_{horiz} = 0.2 \text{ m}$

Náhradní plocha zábradlí/resp. šířka b byla stanovena na $0,328 \text{ m}^2/\text{b.m.}$ prostřednictvím programu Autocad LT.

Oblast	$f_{w,nár,i}$	$f_{w,schod,i}$	$f_{w,vert,i}$	$f_{w,IPE,i}$	$f_{w,horiz,i}$	$f_{w,zábr,i}$
[-]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
A	0.877	0.468	0.566	0.585	0.492	0.959
B	0.987	0.526	0.637	0.658	0.554	1.079
C	1.068	0.570	0.690	0.712	0.599	1.168
D	1.133	0.604	0.732	0.756	0.636	1.240
E	1.188	0.634	0.767	0.792	0.666	1.299
F	1.317	0.703	0.851	0.878	0.739	1.441

Tab. 3.8 Výsledné hodnoty zatížení na příslušné prvky – Varianta 1

3.4.2 Zatížení Hlavních nosných prvků od působení větru – Varianta 2

Ve druhé variantě stanovení liniového zatížení na nosné prvky konstrukce je aplikován stejný postup jako ve variantě první, avšak s rozdílným uvažováním součinitele síly c_f . V první variantě byla jeho hodnota stanovena pro celou konstrukci a následně byla stejná pro všechny dílčí nosné prvky. V této variantě bude pro každý nosný prvek stanoven součinitel síly zvlášť, a to dle ČSN EN 1991-1-4. Součinitel konstrukce $c_s c_d = 1,16$

Nárožníky

Délka prvku	$l = 3,4 \text{ m}$
Šířka prvku	$b_{nár} = 0,300 \text{ m}$

Stanovení součinitele koncového efektu

Efektivní štíhlost pro $l \leq 15 \text{ m}$	$\lambda = \min\left(\frac{2l}{b_{nár}}; 70\right) = \min\left(\frac{6,8}{0,3}; 70\right)$ $= 22,67$
Součinitel plnosti	$\varphi = 1$
Součinitel koncového efektu (Obrázek 7.36)	$\psi_\lambda = 0,75$

Ekvivalentní drsnost povrchu - pozinkovaná ocel	$k = 0,2 \text{ mm} = 0,0002 \text{ m}$
Poměr $k/b_{nár}$	$\frac{k}{b_{nár}} = \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{0,3} = 0,0007$
Rychlost vzduchu	$v(z) = \sqrt{\frac{2q_p(z)}{\rho}}$
Reynoldsovo číslo	$Re(z) = \frac{b_{nár} \cdot v(z)}{\nu}$
Součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců pro $k/b_{nár} > 10^{-5}$	$c_{f,0}(z) = 1,2 + \frac{0,18 \log\left(10 \frac{k}{b_{nár}}\right)}{1 + 0,4 \log(Re \cdot 10^{-6})}$
Součinitel síly	$c_f(z) = c_{f,0}(z) \psi_\lambda$
Liniové zatížení od větru	$f_w(z) = c_s c_d c_f b_{nár} q_p(z)$

Zápis výše je (podobně jako u dalších typových prvků) proveden pouze obecně, dosazené a získané hodnoty jsou k dispozici v tabulce 3.9.

Oblast	v(z)	Re(z)	$c_{f,0}(z)$	$c_f(z)$	$f_{w,nár,i}$
[-]	[m/s]	[-]	[-]	[-]	[kN/m]
A	48.56	971141	0.806	0.605	0.310
B	51.51	1030194	0.810	0.608	0.351
C	53.59	1071860	0.813	0.610	0.381
D	55.20	1104062	0.815	0.611	0.405
E	56.52	1130304	0.816	0.612	0.425
F	59.52	1190320	0.820	0.615	0.474

Tab. 3.9 Výsledné hodnoty zatížení na nárožníky $f_{w,nár,i}$ – Varianta 2

Schodnice

Délka prvku	$l = 4,87 \text{ m}$
Šířka prvku	$b_{schod} = 0,160 \text{ m}$

Stanovení součinitele koncového efektu

Efektivní štíhlost pro $l \leq 15 \text{ m}$	$\lambda = \min\left(\frac{2l}{b_{schod}}; 70\right) = \min\left(\frac{9,74}{0,16}; 70\right)$ = 60.88
Součinitel plnosti	$\varphi = 1$
Součinitel koncového efektu (Obrázek 7.36)	$\psi_\lambda = 0.9$

Součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců (NA.2.35)	$c_{f,0} = 2.0$
Součinitel síly	$c_f = c_{f,0} \psi_\lambda = 2,0 \cdot 0,9 = 1,8$

Liniové zatížení od větru	$f_w(z) = c_s c_d c_f b_{schod} q_p(z)$
---------------------------	---

Oblast	$f_{w,schod,i}$
[-]	[kN/m]
A	0.492
B	0.554
C	0.600
D	0.636
E	0.667
F	0.740

Tab. 3.10 Výsledné hodnoty zatížení na schodnice $f_{w,schod,i}$ – Varianta 2

Svislá ztužidla

Délka prvku	$l = 2,425 \text{ m}$
Šířka prvku	$b_{\text{vert}} = 0,1937 \text{ m}$
Efektivní štíhlost pro $l \leq 15 \text{ m}$	$\lambda = \min\left(\frac{2l}{b_{\text{vert}}}; 70\right) = \min\left(\frac{4,85}{0,1937}; 70\right)$ $= 25,04$
Součinitel plnosti	$\varphi = 1$
Součinitel koncového efektu (Obrázek 7.36)	$\psi_{\lambda} = 0,8$
Ekvivalentní drsnost povrchu - pozinkovaná ocel	$k = 0,2 \text{ mm} = 0,0002 \text{ m}$
Poměr k/b_{vert}	$\frac{k}{b_{\text{vert}}} = \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{0,1937} = 0,0010$
Rychlost vzduchu	$v(z) = \sqrt{\frac{2q_p(z)}{\rho}}$
Reynoldsovo číslo	$Re(z) = \frac{b_{\text{vert}} v(z)}{\nu}$
Součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců pro $k/b_{\text{vert}} > 10^{-5}$	$c_{f,0}(z) = 1,2 + \frac{0,18 \log\left(10 \frac{k}{b_{\text{vert}}}\right)}{1 + 0,4 \log(Re \cdot 10^{-6})}$
Součinitel síly	$c_f(z) = c_{f,0}(z) \psi_{\lambda}$
Liniové zatížení od větru	$f_w(z) = c_s c_d c_f b_{\text{vert}} q_p(z)$

Oblast	$v(z)$	$Re(z)$	$c_{f,0}(z)$	$c_f(z)$	$f_{w,vert,i}$
[-]	[m/s]	[-]	[-]	[-]	[kN/m]
A	48.56	627033	0.811	0.649	0.231
B	51.51	665162	0.815	0.652	0.262
C	53.59	692064	0.818	0.654	0.284
D	55.20	712856	0.820	0.656	0.303
E	56.52	729799	0.822	0.657	0.318
F	59.52	768550	0.825	0.660	0.354

Tab. 3.11 Výsledné hodnoty zatížení na svislá ztužidla $f_{w,vert,i}$ – Varianta 2

Vodorovné pruty IPE

Délka prvku	$l = 3.7 \text{ m}$
Šířka prvku	$b_{IPE} = 0,200\text{m}$
Efektivní štíhlost pro $l \leq 15 \text{ m}$	$\lambda = \min\left(\frac{2l}{b_{IPE}}; 70\right) = \min\left(\frac{7,4}{0,2}; 70\right)$ $= 37.00$
Součinitel plnosti	$\varphi = 1$
Součinitel koncového efektu (Obrázek 7.36)	$\psi_{\lambda} = 0.84$
Součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců (NA.2.35)	$c_{t,0} = 2.0$ (hodnota doporučená normou)
Součinitel síly	$c_f = c_{t,0} \psi_{\lambda} = 2,0 \cdot 0,84 = 1,68$
Liniové zatížení od větru	$f_w(z) = c_s c_d c_f b_{IPE} q_p(z)$

Oblast	$f_{w,IPE,i}$
[-]	[kN/m]
A	0.574
B	0.646
C	0.700
D	0.742
E	0.778
F	0.863

Tab. 3.12 Výsledné hodnoty zatížení na vodorovné pruty IPE $f_{w,IPE,i}$ – Varianta 2

Vodorovná ztužidla

Délka prvku	$l = 5,657 \text{ m}$
Šířka prvku	$b_{horiz} = 0,1683\text{m}$
Efektivní štíhlost pro $l \leq 15 \text{ m}$	$\lambda = \min\left(\frac{2l}{b_{horiz}}; 70\right) = \min\left(\frac{11,31}{0,1683}; 70\right)$ $= 67.23$
Součinitel plnosti	$\varphi = 1$
Součinitel koncového efektu (Obrázek 7.36)	$\psi_{\lambda} = 0.92$

Ekvivalentní drsnost povrchu - pozinkovaná ocel	$k = 0,2 \text{ mm} = 0,0002 \text{ m}$
Poměr $k/b_{\text{vár}}$	$\frac{k}{b_{\text{vert}}} = \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{0,1683} = 0,0012$
Rychlost vzduchu	$v(z) = \sqrt{\frac{2q_p(z)}{\rho}}$
Reynoldsovo číslo	$Re(z) = \frac{b_{\text{horiz}}v(z)}{\nu}$
Součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců pro $k/b_{\text{vert}} > 10^{-5}$	$c_{f,0}(z) = 1,2 + \frac{0,18 \log\left(10 \frac{k}{b_{\text{horiz}}}\right)}{1 + 0,4 \log(Re \cdot 10^{-6})}$
Součinitel síly	$c_f(z) = c_{f,0}(z)\psi_\lambda$
Liniové zatížení od větru	$f_w(z) = c_s c_d c_f b_{\text{horiz}} q_p(z)$

Oblast	$v(z)$	$Re(z)$	$c_{f,0}(z)$	$c_f(z)$	$f_{w,\text{horiz},i}$
[-]	[m/s]	[-]	[-]	[-]	[kN/m]
A	48.56	544810	0.813	0.748	0.215
B	51.51	577939	0.817	0.752	0.243
C	53.59	601314	0.820	0.754	0.264
D	55.20	619379	0.822	0.756	0.281
E	56.52	634100	0.824	0.758	0.295
F	59.52	667770	0.827	0.761	0.329

Tab. 3.13 Výsledné hodnoty zatížení na vodorovná ztužidla $f_{w,\text{horiz},i}$ – Varianta 2

Zábradlí

Poměr	$\frac{b_{\text{záb},i}}{b_{\text{záb},i}} = 1,0$
Součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců (Obrázek 7.23)	$c_{f,0} = 0,9$
Liniové zatížení od větru	$f_w(z) = c_s c_d c_f b_{\text{záb},i} q_p(z)$

Oblast	$f_{w,\text{záb},i}$
[-]	[kN/m]
A	0.505
B	0.568
C	0.615
D	0.652
E	0.684
F	0.758

Tab. 3.14 Výsledné hodnoty zatížení na zábradlí $f_{w,\text{záb},i}$ – Varianta 2

Oblast	$f_{w,nár,i}$	$f_{w,schod,i}$	$f_{w,vert,i}$	$f_{w,IPE,i}$	$f_{w,horiz,i}$	$f_{w,zábr,i}$
[-]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
A	0.310	0.492	0.231	0.574	0.215	0.505
B	0.351	0.554	0.262	0.646	0.243	0.568
C	0.381	0.600	0.284	0.700	0.264	0.615
D	0.405	0.636	0.303	0.742	0.281	0.652
E	0.425	0.667	0.318	0.778	0.295	0.684
F	0.474	0.740	0.354	0.863	0.329	0.758

Tab. 3.14 Výsledné hodnoty zatížení na příslušné prvky – viz tabulky 3.9 – 3.14 – Varianta 2

Zatížení v této variantě bude uvažováno pro další výpočet. Bude naneseno ve třech směrech a to 0, 45 a 90 stupňů. Uvažované hodnoty budou z Tab 3.14 pro všechny směry. Zatížení bylo mírně redukováno – nebylo naneseno na veškeré prvky, pouze na hlavní nosné prvky kolmé k danému směru větru.

3.4.3 Zatížení hlavních nosných prvků od působení větru – Varianta 3

Třetí varianta stanovení zatížení větrem na hlavní nosné prvky ocelové konstrukce je provedena na základě normy ČSN EN 1993-3-1 pro komíny a ocelové stožáry. Norma udává postup pro určení součinitele síly c_f (konkrétně bude použita Příloha B), zatímco součinitele konstrukce $c_s c_d$ má být stanoven podle ČSN EN 1991-1-4, viz kapitola 3.3.7. Na rozdíl od ČSN EN 1991-1-4 je termín wind force coefficient v 1993-3-1 přeložen jako tvarový součinitel, zde ale bude názvosloví sjednoceno s ČSN EN 1991-1-4 a bude používán název součinitel síly. Nicméně tento způsob uvažování zatížení nesplní (viz níže) podmínku pro její použití a její účel je tedy pouze informativního charakteru.

Jednotlivé “panely” byly značeny dle větrné oblasti, ve které se nacházejí (obr. 3.2.) a indexovány v případě, že dané oblasti náleží více panelů.

Součinitel síly na holou část konstrukce

Při stanovení součinitele na holou část konstrukce síly $c_{f,s}$ je uvažováno pouze s hlavními nosnými prvky rozhledny. Zábradlí bude zohledněno v následující podkapitole řešící příslušenství konstrukce.

Výška jednoho panelu	$h_1 =$	3.4 m
Celková šířka jednoho pole	$b_1 =$	4.15 m

Stanovení potřebných dílčích ploch

Pro stanovení potřebných dílčích ploch je nutné nejprve určit plochy průmětů jednotlivých prvků ocelové konstrukce. Plochy styčnickových plechů jsou odhadnuty, viz kapitola 3.4.3.1. Nejsou zde uvažovány profily v průmětu v zákrytu. Průměty jednotlivých prvků jsou uvedeny v Tab. 3.15. Veškeré plochy byly získány ze softwaru AutoCAD Lt.

Oblast	Panel	$A_{nár}$	A_{schod}	A_{vert}	A_{tPE}	A_{horiz}	A_{plech}
[-]	[-]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]
A	a1	1.530	0.390	1.820	0.680	0.572	0.500
	a2	1.530	0.390	1.820	0.680	0.572	0.500
B	b	1.530	0.390	1.820	0.680	0.572	0.500
C	c	1.530	0.390	1.820	0.680	0.572	0.500
D	d	1.530	0.390	1.820	0.680	0.572	0.500
E	e	1.530	0.390	1.820	0.680	0.572	0.500
F	f1	1.530	0.390	1.820	0.680	0.572	0.500
	f2	1.530	0.390	1.820	0.680	0.572	0.500
	f3	1.530	0.701	2.500	2.954	0.572	0.800

Tab. 3.15 Průměty jednotlivých prvků v rámci rozdělení na panely

V případě prvků o kruhovém průřezu jsou ve výpočtu rozlišovány pruty v podkritickém režimu a nadkritickém režimu. Příslušný režim je určen na základě Reynoldsova čísla Re , kdy $Re \leq 4 \cdot 10^5$ značí podkritický režim a $Re > 4 \cdot 10^5$ nadkritický režim. Hodnoty Reynoldsových čísel příslušných prutů pro dané oblasti jsou shrnuty v tab. 3.16, kdy jednotlivé hodnoty jsou převzaty z tab. 3.9, tab. 3.10 a tab. 3.11.

Oblast	Re_{vert}	Re_{horiz}
[-]	[-]	[-]
A	627033	544810
B	665162	577939
C	692064	601314
D	712856	619379
E	729799	634100
F	768550	667770

Tab. 3.16 Přehled Reynoldsových čísel v závislosti na oblasti

Dále je uveden postup ke získání součinitele plnosti jednotlivých panelů a v tab. 3.17. jsou dosazeny a získány příslušné hodnoty.

Celkový průmět plochy plochých prvků	A_f
Celkový průmět plochy kruhových prvků v podkritickém režimu	A_c
Celkový průmět plochy kruhových prvků v nadkritickém režimu	$A_{c,sup}$
Celkový průmět plochy všech ocelových prvků	$A_s = A_f + A_c + A_{c,sup}$
Součinitel plnosti panelu	$\varphi = \frac{A_s}{b_s \cdot h_s}$

Oblast	Panel	A_f	A_c	$A_{c,sup}$	A_s	φ
[-]	[-]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[-]
A	a1	3.100	0	2.392	5.492	0.39
	a2	3.100	0	2.392	5.492	0.39
B	b	3.100	0	2.392	5.492	0.39
C	c	3.100	0	2.392	5.492	0.39
D	d	3.100	0	2.392	5.492	0.39
E	e	3.100	0	2.392	5.492	0.39
F	f1	3.100	0	2.392	5.492	0.39
	f2	3.100	0	2.392	5.492	0.39
	f3	5.985	0	3.072	10.057	0.417

Tab. 3.17 Celkové kolmé průměry ploch nosných prvků a součinitele plnosti

Stanovení součinitele úhlu náběhu větru

Níže uvedené vztahy jsou uvedeny pouze v obecné formě. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v tab. 3.18.

Parametr	$K_1 = \frac{0,55A_f}{A_s} + \frac{0,8(A_c + A_{c,sup})}{A_s}$
Parametr K_2 pro $0 \leq \varphi \leq 0,2$ a $0,8 \leq \varphi \leq 1,0$	$K_2 = 0,2$
Parametr K_2 pro $0,2 < \varphi \leq 0,5$	$K_2 = \varphi$
Parametr K_2 pro $0,5 < \varphi < 0,8$	$K_2 = 1 - \varphi$
Úhel při působení kolmého větru	$\theta_{0^\circ} = 0^\circ$
Úhel při působení šikmého větru	$\theta_{45^\circ} = 45^\circ$
Součinitel úhlu náběhu větru	$K_{\theta_i} = 1,0 + K_1 K_2 \sin^2(2\theta_i)$

Oblast	Panel	K_1	K_2	$K_{\theta,0^\circ}$	$K_{\theta,45^\circ}$
[-]	[-]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]
A	a1	0.659	0.389	1.000	1.256
	a2	0.659	0.389	1.000	1.256
B	b	0.659	0.389	1.000	1.256
C	c	0.659	0.389	1.000	1.256
D	d	0.659	0.389	1.000	1.256
E	e	0.659	0.389	1.000	1.256
F	f1	0.659	0.389	1.000	1.256
	f2	0.659	0.389	1.000	1.256
	f3	0.572	0.417	1.000	1.239

Tab. 3.18 Stanovení součinitele úhlu náběhu větru

Stanovení hodnot celkového součinitele síly v poli

Koeficient – čtvercová konstrukce	$C_1 = 2,25$
Koeficient – čtvercová konstrukce	$C_2 = 1,5$
Součinitel síly v poli složeném z plochých prvků	$C_{f,0,f} = 1,76C_1 (1 - C_2 \varphi + \varphi^2)$
Součinitel síly v poli složeném z prvků s kruhovým průřezem v podkritickém režimu	$C_{f,0,c} = C_1 (1 - C_2 \varphi) + (C_1 + 0,875) \varphi^2$
Součinitel síly v poli složeném z prvků s kruhovým průřezem v nadkritickém režimu	$C_{f,0,c,sup} = 1,9 - \sqrt{(1 - \varphi)(2,8 - 1,14C_1 + \varphi)}$
Celkový součinitel síly v poli	$C_{f,S,0,i} = C_{f,0,f} \frac{A_f}{A_s} + C_{f,0,c} \frac{A_c}{A_s} + C_{f,0,c,sup} \frac{A_{c,sup}}{A_s}$

Výše uvedené vztahy jsou uvedeny pouze v obecné formě. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v tab. 3.19.

Oblast	Panel	$C_{f,0,f}$	$C_{f,0,c}$	$C_{f,0,c,sup}$	$C_{f,5,0,i}$
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
A	a1	2.248	1.410	1.283	1.827
	a2	2.248	1.410	1.283	1.827
B	b	2.248	1.410	1.283	1.827
C	c	2.248	1.410	1.283	1.827
D	d	2.248	1.410	1.283	1.827
E	e	2.248	1.410	1.283	1.827
F	f1	2.248	1.410	1.283	1.827
	f2	2.248	1.410	1.283	1.827
	f3	2.171	1.386	1.283	1.684

Tab. 3.19 Stanovení hodnot celkového součinitele síly v poli

Stanovení součinitele síly na holou část konstrukce v poli

Níže uvedené vztahy jsou uvedeny pouze v obecné formě. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v tab. 3.20. Plocha A_{ref} je referenční plocha konstrukce a zábradlí. Hodnoty A_{ref} jsou odměřeny v softwaru AutoCAD Lt a přímo dosazeny do výpočtu.

Plocha celkového průmětu prvků konstrukce	A_s
Plocha konstrukce dle ČSN EN 1991-1-4	$\Sigma A = A_{ref}$
Součinitel síly na holou část konstrukce v poli (Národní příloha)	$c_{f,s,i,j} = K_{\theta,j} c_{f,s,0,i} \frac{A_s}{\Sigma A}$

Oblast	Panel	$c_{f,s,i,0^\circ}$	$c_{f,s,i,45^\circ}$
[-]	[-]	[-]	[-]
A	a1	0.711	0.894
	a2	0.711	0.894
B	b	0.711	0.894
C	c	0.711	0.894
D	d	0.711	0.894
E	e	0.711	0.894
F	f1	0.711	0.894
	f2	0.711	0.894
	f3	1.200	1.487

Tab. 3.20 Stanovení součinitele síly na holou část konstrukce v poli

Součinitel síly liniového příslušenství

Jako liniové příslušenství je uvažováno zábradlí a byly by tak uvažovány i schodišťové stupně, pokud by nebyly v přímém zákrytu schodnic. Pro následný výpočet je nutné stanovit Reynoldsovo číslo pro prvky příslušenství o kruhovém průřezu, tedy svislíce a madlo zábradlí. Reynoldsovo číslo je stanoveno stejným způsobem jako v předchozích kapitolách, výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.21.

Průměr svíslice zábradlí	$b_{svis} = 0.05$ m
Průměr madla zábradlí	$b_{madl} = 0.05$ m

Oblast	Re_{svis}	Re_{madl}
[-]	[-]	[-]
A	161857	161857
B	171699	171699
C	178643	178643
D	184010	184010
E	188384	188384
F	198387	198387

Tab. 3.21 Výpočet Reynoldsových čísel pro jednotlivé pruty zábradlí v příslušných oblastech

Oblast	Panel	$A_{f,A}$	$A_{c,A}$	$A_{c,sup,A}$	$A_{s,A}$	φ_A
[-]	[-]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[-]
A	a1	0.000	1.214	0.000	1.214	0.09
	a2	0.000	1.214	0.000	1.214	0.09
B	b	0.000	1.214	0.000	1.214	0.09
C	c	0.000	1.214	0.000	1.214	0.09
D	d	0.000	1.214	0.000	1.214	0.09
E	e	0.000	1.214	0.000	1.214	0.09
F	f1	0.000	1.214	0.000	1.214	0.09
	f2	0.000	1.214	0.000	1.214	0.09
	f3	0.000	4.823	0.000	4.823	0.20

Tab. 3.22 Celkové kolmé průměry ploch liniových příslušenství a součinitele plnosti

Níže uvedené vztahy jsou uvedeny pouze v obecné formě. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v tab. 3.23.

Úhel směru větru k podélné ose liniového prvku	$\psi = 0^\circ$
Součinitel síly liniového příslušenství v poli složeném z plochých prvků pro $\varphi_A \leq 0,6$	$c_{f,a,f} = 1,58 + 1,05 (0,6 - \varphi_A)^{1,8}$
Součinitel síly liniového příslušenství v poli složeném z plochých prvků pro $\varphi_A > 0,6$	$c_{f,a,f} = 1,58 + 2,625 (\varphi_A - 0,6)^2$
Součinitel síly v poli složeném z prvků s kruhovým průřezem v podkritickém režimu	$c_{f,A,c} = (0,6 + 0,4 \varphi_A^2) c_{f,A,f}$
Součinitel síly v poli složeném z prvků s kruhovým průřezem v nadkritickém režimu	$c_{f,A,c,sup} = (0,33 + 0,62 \varphi_A^{5/3}) c_{f,A,f}$
Celkový součinitel síly v poli	$c_{f,A,0i} = c_{f,A,f} \frac{A_{f,A}}{A_A} + c_{f,A,c} \frac{A_{c,A}}{A_A} + c_{f,0,c,sup} \frac{A_{c,sup}}{A_A}$

Oblast	Panel	$C_{f,A,f}$	$C_{f,A,c}$	$C_{f,A,c,supp}$	$C_{f,A,0,i}$
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
A	a1	1.897	1.144	0.350	1.144
	a2	1.897	1.144	0.350	1.144
B	b	1.897	1.144	0.350	1.144
C	c	1.897	1.144	0.350	1.144
D	d	1.897	1.144	0.350	1.144
E	e	1.897	1.144	0.350	1.144
F	f1	1.897	1.144	0.350	1.144
	f2	1.897	1.144	0.350	1.144
	f3	1.782	1.098	0.406	1.098

Tab. 3.22 Stanovení celkového součinitele síly liniového příslušenství v poli

Stanovení součinitele síly liniového příslušenství v poli

Plocha celkového průmětu prvků konstrukce včetně příslušenství, které je považováno za prvky konstrukce – v tomto případě pouze řešené nosné prvky konstrukce.	$A_s = A_s$
Plocha konstrukce dle ČSN EN 1991-1-4	$\Sigma A = A_{ref}$
Součinitel síly na holou část konstrukce v poli	$C_{f,S,i,j} = K_A C_{f,A,0,i} \frac{A_A}{\Sigma A}$

Vzhledem k rozměrům konstrukce lze konstatovat, že ke stínění docházet nebude, proto $K_A = 1,0$

Oblast	Panel	$c_{f,A,0,i}$
[-]	[-]	[-]
A	a1	0.007
	a2	0.007
B	b	0.007
C	c	0.007
D	d	0.007
E	e	0.007
F	f1	0.007
	f2	0.007
	f3	0.010

Tab. 3.23 Stanovení součinitele síly liniového příslušenství v poli

Stanovení celkového součinitele síly zatížení větrem

Celkový součinitel síly zatížení větrem	$C_{f,i,j} = C_{f,S,i,j} + C_{f,A,i}$
---	---------------------------------------

Výše uvedený vztah je uveden pouze v obecné formě. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v tab. 3.24.

Oblast	Panel	$C_{f,i,0^\circ}$	$C_{f,i,45^\circ}$
[-]	[-]	[-]	[-]
A	a1	0.718	0.901
	a2	0.718	0.901
B	b	0.718	0.901
C	c	0.718	0.901
D	d	0.718	0.901
E	e	0.718	0.901
F	f1	0.718	0.901
	f2	0.718	0.901
	f3	1.211	1.497

Tab. 3.24 Celkový součinitel síly zatížení větrem

Ekvivalentní statická metoda

Ekvivalentní statickou metodu (Kapitola 3.2) lze použít pouze pokud je splněno kritérium uvedené níže, společně se vstupními hodnotami potřebnými pro jeho výpočet. V opačném případě je nutné použít složitější metody. V našem případě toto kritérium splněno není a hodnoty zatížení mají tedy jen informativní charakter. Tyto hodnoty v návrhu nebudou dále použity.

Objemová hmotnost materiálu konstrukce	$\rho_s = 7850 \text{ kg/m}^3$
Výška panelů tvořících $c_{f,T}$, ale ne více než $h/3$ (zaokrouhлено na tři hodiny panely – f1, f2, f3)	$h_t = \frac{h}{3} = \frac{31,4}{3} = 10,47 \cong 10,2 \text{ m}$
Součet aerodynamického odporu panelů tvořících $c_{f,T}$	$c_{f,T} A_T = c_{f,f1,0^\circ} A_{ref,f1} + c_{f,f2,0^\circ} A_{ref,f2} + c_{f,f3,0^\circ} A_{ref,f3}$ $c_{f,T} A_T = 46.17361 \text{ m}^2$
Konstanta objem / odpor	$\tau_0 = 0,001 \text{ m}$
Šířka konstrukce ve směru větru – pravouhlé stožáry	$d_B = 8,3 \text{ m}$
Celková hmotnost panelů tvořících $c_{f,T}$ (získáno ze softwaru Dlubal RFEM)	$m_T = 41440 \text{ kg}$
Kritérium ekvivalentní statické metody (Kapitola 3.1)	$\frac{7m_T}{\rho_s c_{f,T} A_T \sqrt{d_B \tau_0}} \left(\frac{5}{6} - \frac{h_T}{h} \right)^2 < 1$
	$\frac{7 \cdot 207}{7850 \cdot 46,27 \sqrt{8,3 \cdot 0,001}} \left(\frac{5}{6} - \frac{10,2}{31,4} \right)^2 = 1,09$ 1,09 > 1 Nevyhovuje

Střední hodnota zatížení konstrukce ve směru větru

Níže uvedený vztah je uveden pouze v obecné formě, výsledky jsou uvedeny v tab. 3.25. Hodnoty $q_p(z)$ a $l_v(z)$ jsou převzaty z Tab. 3.1, příslušný součinitel síly $c_{f,i,j}$ z Tab. 3.24

$$F_{m,w,j}(z) = \frac{q_p(z)}{1 + 7l_v(z)} \sum c_{f,i,j} A_{ref}$$

Oblast	Panel	$F_{m,w,0^\circ}(z)$	$F_{m,w,45^\circ}(z)$
[-]	[-]	[kN/m]	[kN/m]
A	a1	7.150	8.966
	a2	7.150	8.966
B	b	8.379	10.507
C	c	9.310	11.675
D	d	10.066	12.623
E	e	10.706	13.425
F	f1	12.248	15.359
	f2	12.248	15.359
	f3	31.309	38.715

Tab. 3.25 Střední hodnota zatížení konstrukce ve směru větru na příslušné panely

Ekvivalentní nárazové zatížení konstrukce ve směru větru

Níže uvedený vztah je uveden pouze v obecné formě, výsledky jsou uvedeny v tab. 3.26. Hodnoty $q_p(z)$ a $l_v(z)$ jsou převzaty z Tab. 3.1, příslušný součinitel síly $c_{f,i,j}$ z Tab. 3.24, součinitel orografie z kapitoly 3.3.1, součinitel $c_s c_d$ z kapitoly 3.3.7.

$$F_{T,W,j}(z) = F_{m,W,j}(z) \left\{ 1 + \left[1 + 0,2 \left(\frac{z}{h} \right)^2 \right] \frac{[1 + 7l_v(z)]c_s c_d - 1}{c_0} \right\}$$

Oblast	Panel	$F_{T,W,0^\circ}(z)$	$F_{T,W,45^\circ}(z)$
[-]	[-]	[kN/m]	[kN/m]
A	a1	14.941	18.735
	a2	14.995	18.803
B	b	17.050	21.380
C	c	18.658	23.396
D	d	20.033	25.121
E	e	21.278	26.682
F	f1	23.983	30.074
	f2	24.353	30.538
	f3	63.324	78.303

Tab. 3.26 Ekvivalentní nárazové zatížení konstrukce ve směru větru

Výsledná zatížení od působení větru – Varianta 3

Podle pokynů ČSN EN 1993-3-1 (Obrázek B.3.1) jsou vytvořeny zatěžovací stavy pro oba směry působení větru (0° a 45°), kde jsou nakombinovány účinky ekvivalentního nárazového a středního zatížení konstrukce ve směru větru. Zatížení na jednotlivých panelech pro směr 0° a 45° jsou výsledné hodnoty zatížení uvedeny v tab. 3.25 a tab. 3.26. Zatěžovací stavy by byly značeny $ZS_{i,j}$, kde i udává číslo zatěžovacího stavu a j směr zatížení větru ($a = 0^\circ$ a $b = 45^\circ$).

Oblast	Panel	ZS6a	ZS7a	ZS8a	ZS9a	ZS10a	ZS11a	ZS12a	ZS13a	ZS14a	ZS15a
[-]	[-]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
A	a1	14.94053	7.150367	7.150367	7.150367	7.150367	7.150367	7.150367	7.150367	7.150367	7.150367
	a2	14.99521	14.99521	7.150367	7.150367	7.150367	7.150367	7.150367	7.150367	7.150367	7.150367
B	b	17.05008	17.05008	17.05008	8.379384	8.379384	8.379384	8.379384	8.379384	8.379384	8.379384
C	c	18.65772	18.65772	18.65772	18.65772	9.310464	9.310464	9.310464	9.310464	9.310464	9.310464
D	d	20.03333	20.03333	20.03333	20.03333	20.03333	10.06644	10.06644	10.06644	10.06644	10.06644
E	e	21.27815	21.27815	21.27815	21.27815	21.27815	21.27815	10.70602	10.70602	10.70602	10.70602
F	f1	23.98301	23.98301	23.98301	23.98301	23.98301	23.98301	23.98301	12.24841	12.24841	12.24841
	f2	24.35322	24.35322	24.35322	24.35322	24.35322	24.35322	24.35322	24.35322	12.24841	12.24841
	f3	63.32368	63.32368	63.32368	63.32368	63.32368	63.32368	63.32368	63.32368	63.32368	31.30913

Tab. 3.26 Výsledná zatížení od působení větru ve směru 0°

Oblast	Panel	ZS6b	ZS7b	ZS8b	ZS9b	ZS10b	ZS11b	ZS12b	ZS13b	ZS14b	ZS15b
[-]	[-]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
A	a1	18.73488	8.966296	8.966296	8.966296	8.966296	8.966296	8.966296	8.966296	8.966296	8.966296
	a2	18.80344	18.80344	8.966296	8.966296	8.966296	8.966296	8.966296	8.966296	8.966296	8.966296
B	b	21.38017	21.38017	21.38017	10.50744	10.50744	10.50744	10.50744	10.50744	10.50744	10.50744
C	c	23.39609	23.39609	23.39609	23.39609	11.67498	11.67498	11.67498	11.67498	11.67498	11.67498
D	d	25.12106	25.12106	25.12106	25.12106	25.12106	12.62294	12.62294	12.62294	12.62294	12.62294
E	e	26.68202	26.68202	26.68202	26.68202	26.68202	26.68202	13.42495	13.42495	13.42495	13.42495
F	f1	30.0738	30.0738	30.0738	30.0738	30.0738	30.0738	30.0738	15.35906	15.35906	15.35906
	f2	30.53804	30.53804	30.53804	30.53804	30.53804	30.53804	30.53804	30.53804	15.35906	15.35906
	f3	78.30285	78.30285	78.30285	78.30285	78.30285	78.30285	78.30285	78.30285	78.30285	38.71528

Tab. 3.26 Výsledná zatížení od působení větru ve směru 45°

V této variantě by liniové zatížení bylo naneseno pouze na nárožníky a vřeteno. Jak pro směr větru 0°, tak pro 45° by liniové zatížení bylo rozloženo mezi nárožníky na základě poměru "zatěžovacích" ploch v jednotlivých úsecích. Vzhledem k charakteru konstrukce je zřejmé, že budou rozhodovat extrémní hodnoty zatížení, a proto by byly uvažovány pouze zatěžovací stavy ZS6a a ZS6b, kde nárazový vítr působí po celé výšce konstrukce.

3.4.4 Výsledné zatížení hlavních nosných prvků od působení větru

V kapitolách 3.4.1, 3.4.2 a 3.4.3 byly popsány tři postupy stanovení zatížení větrem na řešenou konstrukci. Vzhledem k povaze konstrukce, nevyhovění kritéria a značné odlišnosti výsledků byla varianta 3 pro účely této práce zavrhnuta. Jako rozhodující byla zvolena **Varianta 2**.

3.4 Zatížení od teploty

Vzhledem k rozměrům a povaze konstrukce lze konstatovat, že zatížení od teploty není nutné uvažovat a nebude pro danou konstrukci řešeno.

3.5 Imperfekce konstrukce

Imperfekce konstrukce byla zanesena jako samostatný zatěžovací stav přímo prostřednictvím programu Dlubal RFEM. Níže je popsán výpočet pouze pro ilustrativní účely. Výsledky výpočtu se shodují s hodnotami vypočtenými programem Dlubal RFEM.

Základní hodnota potočení	$\phi_0 = \frac{1}{200}$
Redukční součinitel v závislosti na výšce nárožníku	$\frac{2}{3} \leq \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h_{nár}}} \leq 1,0$ $\frac{2}{3} \leq \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{31,4}} \leq 1,0$ $0,66\bar{6} \leq \alpha_h = 0,35 \leq 1,0$ <p style="text-align: right;">Není splněno > $\alpha_h = \frac{2}{3}$</p>
Počet sloupů v řadě	$m = 3$
Redukční součinitel pro počet sloupů v řadě	$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{3}\right)}$ $\alpha_m = 0,816497$
Výsledné počáteční naklonění konstrukce	$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,8165$ $= 0,002722$

3.6 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem pro danou konstrukci není uvažováno ze dvou důvodů. Zaprvé konstrukce podlah je tvořena pororošty, tj. umožňuje sněhu propadnout a zabraňuje možnosti vytvoření větší sněhové vrstvy. Zadruhé vzhledem k poloze a výšce konstrukce lze s jistotou říct, že dominantní bude zatížení větrem, tedy konstrukce bude jeho prostřednictvím sněhu zbavena.

3.7 Kombinace zatěžovacích stavů

Označení	Název	Poznámka
ZS1	Vlastní tíha	vl. tíha modelovaných prvků
ZS2	Ostatní stálé	vl. tíha roštů, zábradlí apod.
ZS3	Varianta 1	Výpočet cf pro celou kci
ZS4	Varianta 2	Jednotlivé prvky dle ČSN EN 1991-1-4 [6]
ZS5	Varianta 2-90	Jednotlivé prvky dle ČSN EN 1991-1-4 [6], pro 90°
ZS6	Varianta 2-45	Jednotlivé prvky dle ČSN EN 1991-1-4 [6], pro 45°
ZS7	Varianta 3-0	1993-3-1 [7] pro ocelové stožáry - nevyhovující
ZS8	Varianta 3-45	1993-3-1 [7] pro ocelové stožáry - nevyhovující
ZS9	Užitné 1	Užitné zat. na všech dostupných plochách
ZS10	Užitné 0,5	Užitné zat. na polovině dostupných ploch
ZS11	Imperfekce	Náklon soustavy ve směru větru

Tab. 3.27 Přehled všech zatěžovacích stavů

Uvažované hodnoty součinitelů ψ byly převzaty z ČSN EN 1990 – viz následující tabulka.

Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kategorie užitných zatížení pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-1)			
Kategorie A: obytné plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: kancelářské plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: obchodní plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie E: skladovací plochy	1,0	0,9	0,8
Kategorie F: dopravní plochy tíha vozidla ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: dopravní plochy 30 kN < tíha vozidla ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H: střechy	0	0	0
Zatížení sněhem (viz EN 1991-1-3) ^{*)}			
Finsko, Island, Norsko, Švédsko	0,7	0,5	0,2
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H > 1\ 000$ m n.m.	0,7	0,5	0,2
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H \leq 1\ 000$ m n.m.	0,5	0,2	0
Zatížení větrem (viz EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Teplota (ne od požáru) pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
POZNÁMKA Hodnoty ψ mohou být stanoveny v národní příloze. ^{*)} Pro země, které zde nejsou uvedené, se součinitele ψ stanoví podle místních podmínek.			

Tab. 3.28 Doporučené hodnoty součinitelů ψ pro pozemní stavby

Zatížení	Označení	Hodnota
Stálá nepříznivá	$\gamma_{G,sup}$	1,1
Stálá příznivá	$\gamma_{G,inf}$	1,0
Proměnná nepříznivá	γ_Q	1,4
Imperfekce	γ_{imp}	1,0
Kombinační součinitel – užité (kategorie C)	ψ_0	0,7
Kombinační součinitel – sníh	ψ_0	0,5
Kombinační součinitel – vítr	ψ_0	0,6

Tab. 3.29 Uvažované dílčí součinitele zatížení

Kombinace zatěžovacích stavů

Označení	ZS1 - VI. tíha	ZS2 - Ostatní stálé	ZS3 - Varianta 1	ZS4 - Varianta 2	ZS5 - Varianta 2-90	ZS6 - Varianta 2-45	ZS7 - Varianta 3-0	ZS8 - Varianta 3 - 45	ZS9 - Užité 1	ZS10 - Užité 0,5	ZS11 - imperfekce
KZS1	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,sup}$		γ_a					$\gamma_a \psi_0$		γ_{imp}
KZS2	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,sup}$		$\gamma_a \psi_0$					γ_a		γ_{imp}
KZS3	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,sup}$		γ_a						$\gamma_a \psi_0$	γ_{imp}
KZS4	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,sup}$		$\gamma_a \psi_0$						γ_a	γ_{imp}
KZS5	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,sup}$			γ_a				$\gamma_a \psi_0$		γ_{imp}
KZS6	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,sup}$			$\gamma_a \psi_0$				γ_a		γ_{imp}
KZS7	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,sup}$			γ_a					$\gamma_a \psi_0$	γ_{imp}
KZS8	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,sup}$			$\gamma_a \psi_0$					γ_a	γ_{imp}
KZS9	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,sup}$				γ_a			$\gamma_a \psi_0$		γ_{imp}
KZS10	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,sup}$				$\gamma_a \psi_0$			γ_a		γ_{imp}
KZS11	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,sup}$				γ_a				$\gamma_a \psi_0$	γ_{imp}
KZS12	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,sup}$				$\gamma_a \psi_0$				γ_a	γ_{imp}

Tab. 3.30 Kombinace zatěžovacích stavů KZS pro MSÚ

Označení	ZS1 - VI. tíha	ZS2 - Ostatní stálé	ZS3 - Varianta 1	ZS4 - Varianta 2	ZS5 - Varianta 2-90	ZS6 - Varianta 2-45	ZS7 - Varianta 3-0	ZS8 - Varianta 3 - 45	ZS9 - Užité 1	ZS10 - Užité 0,5	ZS11 - imperfekce
KZS13M	1	1		ψ_0					1		1
KZS14M	1	1		1					ψ_0		1
KZS15M	1	1		ψ_0						1	1
KZS16M	1	1		1						ψ_0	1
KZS17M	1	1			ψ_0				1		1
KZS18M	1	1			1				ψ_0		1
KZS19M	1	1			ψ_0					1	1
KZS20M	1	1			1					ψ_0	1
KZS21M	1	1				ψ_0			1		1
KZS22M	1	1				1			ψ_0		1
KZS23M	1	1				ψ_0				1	1
KZS24M	1	1				1				ψ_0	1

Tab. 3.31 Kombinace zatěžovacích stavů KZS pro MSP

4. Numerický model

V této kapitole je popsán numerický model vytvořený ve výpočetním softwaru a způsob stanovení vnitřních sil.

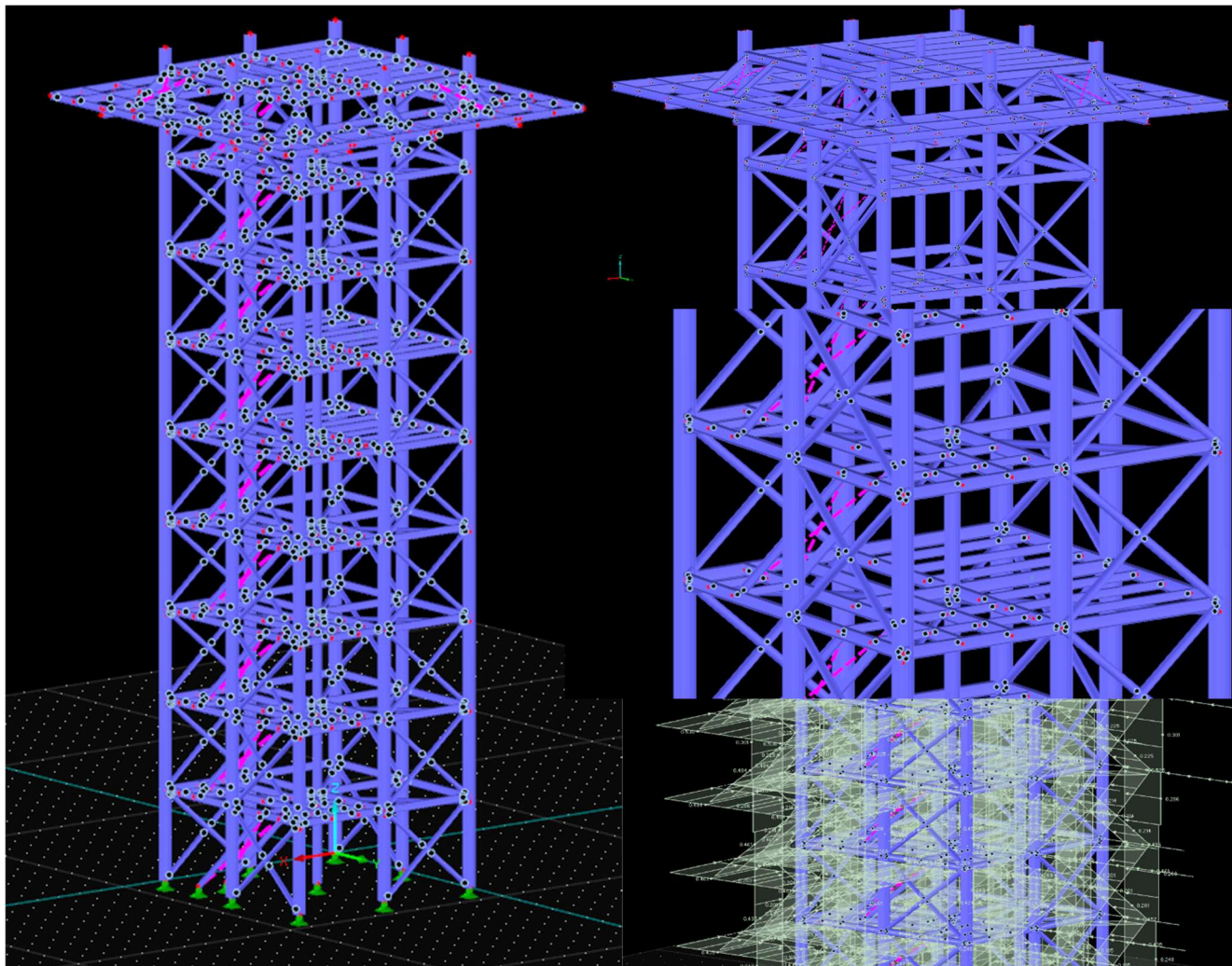
Numerický model byl vytvořen v programu Dlubal RFEM. Jedná se o prostorový model vystihující geometrii řešenou konstrukci, tvořený prutovými prvky (670 prutů) hlavní nosné konstrukce a schodnic.

Sloupy jsou modelovány jako průběžné pruty po celé výšce konstrukce. Jsou tvořeny profilem HEB360. Horizontální pruty IPE180/IPE270 jsou připojeny kloubově ke sloupům, případně dalším prutům. Pruty UPE200 - schodnice - jsou připojeny kloubově k vodorovným prutům (výplňovým) IPE180 a vzájemně uvažovány jako diafragma (využití uzlové vazby k nejbližší replikaci skutečného chování. Vertikální RO193,7x10,0 a horizontální RO168,6x12,5 jsou připojeny opět kloubově k příslušným prutům.

Schodišťové stupně nejsou v modelu provedené - ve směru větru jsou v přímém zákrytu za pruty UPE a jejich vlastní tíha je zanesena (nahodnoceně) na schodnice.

Celá konstrukce je podepřena devíti kloubovými podporami v místě sloupů a dvěma v místě styku schodnicí se zemí. V rámci realizace modelu byla provedena jistá zjednodušení - nejsou zde vymodelovány jednotlivé přípoje, nejsou zde modelovány jednotlivé schodišťové stupně obdobně jako podlahové rošty, které nemají na statickou únosnost vliv, je pouze uvažováno s jejich zatížením. Zábradlí v modelu také není vyhotoveno z obdobných důvodů - nemá statickou funkci, je zaneseno formou ZS2 (ostatní stálé zatížení) a následně zatížení větrem, které by na něj působilo. Oproti skutečné konstrukci ve své práci uvažují jednotný typ zábradlí pro jeho veškeré aplikace.

Program Dlubal RFEM stanovuje vnitřní síly pomocí výpočtu MKP - druhým řádem. Na následujících obrázcích ze vyobrazen prostřednictvím snímků obrazovky prostorový model, který byl použit ke stanovení vnitřních sil.



Obr. 4.1-3 Numerický model ocelové konstrukce – zleva – celý model, viditelné vazby, podpory; detailní pohled na poslední NP a ochoz; pohled na oba typy pater – tj. klasické a vyhlídkové patro; ukázka nanesení zatížení – z důvodu nepřehlednosti v tištěném formátu pouze takto.

Stanovení rozhodující kombinace zatěžovacích stavů

Pomocí nástroje (v terminologii Dlubal RFEM hovoříme o „přídavném modulu“) RF-STEEL MEMBERS byly předběžně určeny rozhodující KZS pro jednotlivé pruty. Po konzultaci s vedoucím práce, panem Ing. Břetislavem Židlickým, Ph. D, byly tyto pruty schváleny, případně změněny či doplněny (ruční hledání zdánlivě nejvíce namáhaného prutu daného průřezu) – v případě skutečného zadání a zpracování projektu (tj. ne pro akademické účely) by byla posouzena větší množství průřezů, v ideálním případě všechny. Tímto by se docílilo optimalizace jak z hlediska bezpečnosti, tak i z hlediska ekonomického. V konstrukci by tedy bylo použito více typů průřezů tak, aby návrh v dalších iteracích vyhověl.

5. Posouzení hlavních nosných prvků ocelové konstrukce

5.1 Posouzení sloupu v hlavě

Maximální tlaková síla	$N_{Ed} = -3.247 \text{ kN}$
Maximální smyková síla k ose y	$V_{Ed,y} = 3.319 \text{ kN}$
Maximální smyková síla k ose z	$V_{Ed,z} = 5.335 \text{ kN}$
Maximální ohybový moment k ose y	$M_{Ed,y} = 22.01 \text{ kNm}$
Maximální ohybový moment k ose z	$M_{Ed,z} = 6.475 \text{ kNm}$

Průřez	HEB 360
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Třída průřezu (převzato z tabulek)	1. třída
Plocha průřezu	$A = 18060 \text{ mm}^2$
Smyková plocha průřezu	$A_{v,y} = 13993,8 \text{ mm}^2$ $A_{v,z} = 6056,3 \text{ mm}^2$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 2683000 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 1032000 \text{ mm}^3$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 154,6 \text{ mm}$ $i_z = 74,9 \text{ mm}$

Vzpěrná únosnost

Vzpěrná délka ($L_{cr,y} = L_{cr,z}$)	$L_{cr,i} = 3.4 \text{ m}$
Štíhlost prutu	$\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i} = \frac{3400}{i_i}$ $\lambda_y = 21.992$ $\lambda_z = 45.394$
Srovnávací štíhlost	$\lambda_1 = 93,9\epsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9$
Poměrná štíhlost prutu	$\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ $\bar{\lambda}_y = 0.234$ $\bar{\lambda}_z = 0.483$

Součinitel imperfekce - křivka "a"	$\alpha = 0.21$
Parametr ($\phi_y; \phi_z$)	$\phi_i = 0.5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0.2) + \bar{\lambda}_i^2 \right]$ $\phi_y = 0.531$ $\phi_z = 0.647$
Součinitel vzpěrnosti $\chi_y; \chi_z$	$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}}$ $\chi_y = 0.992$ $\chi_z = 0.929$
Vzpěrná únosnost	$N_{b,Rd,i} = \chi_i A \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$ $N_{b,Rd,y} = 4212.098 \text{ kN}$ $N_{b,Rd,z} = 3944.208 \text{ kN}$

Smyková únosnost

Plastická smyková únosnost	$V_{Rd,i} = \frac{A_{v,i} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$ $V_{Rd,y} = 1898.6 \text{ kN}$ $V_{Rd,z} = 821.7 \text{ kN}$
Posouzení únosnosti ve smyku	$\frac{V_{Ed,y}}{V_{Rd,y}} = \frac{3.3}{1898.6} = 0.2\% \leq 1.0 \text{ Splněno}$ $\frac{V_{Ed,z}}{V_{Rd,z}} = \frac{5.3}{821.7} = 0.7\% \leq 1.0 \text{ Splněno}$
Kritérium malého smyku	$0.5 V_{Rd,i} \geq V_{Ed,i}$ $0.5 \cdot 821.7 \geq 5.3$ $410 \text{ kN} \geq 5.3 \text{ kN} \text{ Splněno}$

Únosnost v ohybu

Plastická únosnost v ohybu	$M_{Rd,i} = W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$ $M_{Rd,y} = 630.505 \text{ kNm} > M_{ed,y} = 22.01 \text{ kNm}$ $M_{Rd,z} = 242.52 \text{ kNm} > M_{ed,z} = 6.475 \text{ kNm}$
----------------------------	--

Interakce tlaku a ohybu

Poměr koncových momentů ψ k ose y (Tabulka B.3)	$\psi_y = \frac{M_{R,y}}{M_{L,y}} = \frac{7,784}{-22,01} = -0,354$
Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my} (Tabulka B.3)	$C_{my} = \max [0,6 + 0,4 \psi_y; 0,4]$ $C_{my} = \max [0,6 - 0,4 \cdot 0,35; 0,4]$ $C_{my} = \max [0,458; 0,4] = 0,458$

Poměr momentů $\alpha_{s,x}$ k ose z (Tabulka B.3)	$\alpha_{s,x} = \frac{M_{s,x}}{M_{h,x}} = -\frac{0,725}{6,475} = -0,112$
Poměr koncových momentů ψ k ose y (Tabulka B.3)	$\psi_{s,z} = \frac{0}{M_{h,x}} = \frac{0}{6,475} = 0$
Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my} (Tabulka B.3)	$C_{mz} = \max [0,1 - 0,8\alpha_{s,z}; 0,4]$ $C_{mz} = \max [0,1 + 0,8 \cdot 0,112; 0,4]$ $C_{mz} = \max [0,189; 0,4] = 0,4$
Interakční součinitel k_{yy} (Tabulka B.1)	$k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \right) \\ C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \right) \end{array} \right]$ $k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} 0,459 \left(1 + (0,234 - 0,2) \frac{3,247}{4212} \right) \\ 0,459 \left(1 + 0,8 \frac{3,247}{4212} \right) \end{array} \right]$ $k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} 0,459 \\ 0,458 \end{array} \right] = 0,458$
Interakční součinitel k_{zy} (Tabulka B.1)	$k_{zy} = 0,6k_{yy} = 0,6 \cdot 0,458$ $k_{zy} = 0,275$
Interakční součinitel k_{zz} (Tabulka B.1)	$k_{zz} = \min \left[\begin{array}{l} C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} \right) \\ C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} \right) \end{array} \right]$ $k_{zz} = \min \left[\begin{array}{l} 0,4 \left(1 + (0,483 - 0,2) \frac{3,247}{3944} \right) \\ 0,4 \left(1 + 0,8 \frac{3,247}{3944} \right) \end{array} \right]$ $k_{zz} = \min \left[\begin{array}{l} 0,4 \\ 0,4 \end{array} \right] = 0,400$
Interakční součinitel k_{yz} (Tabulka B.1[9])	$k_{yz} = 0,6k_{zz} = 0,6 \cdot 0,400$ $k_{yz} = 0,240$
Interakční rovnice, vzpěr k ose y [9]	$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}} \leq 1,0$ $\frac{3,247}{4212} + 0,458 \frac{22,010}{630,5} + 0,24 \frac{6,475}{242,5} \leq 1,0$ 0,023 < 1,0 Splněno
Interakční rovnice, vzpěr k ose z [9]	$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}} \leq 1,0$ $\frac{3,247}{3944,21} + 0,24 \frac{2,679}{630,5} + 0,4 \frac{5,261}{242,5} \leq 1,00$ 0,021 < 1,0 Splněno
Únosnost průřezu	$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}} \leq 1,0$ $\frac{N_{Ed}}{A f_y} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}} \leq 1,0$ $\frac{18060 \cdot 235/1000}{630,5} + \frac{3,247}{630,5} + \frac{6,475}{242,52} \leq 1,0$ 0,001+0,035+0,027 ≤ 1 0,062 ≤ 1 Splněno

Mezní stav použitelnosti

Rozhodující kombinace zatěžovacích stavů	KZS3M
Limitní průhyb	$\delta_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{31400}{200} = 157mm$
Extrémní průhyb (KZS28)	$\delta = 39,1 \text{ mm}$
Posouzení MSP	$\frac{\delta}{\delta_{lim}} = \frac{39,1}{157} = 0,250 \leq 1,0$ <i>Splněno</i>

5.2 Posouzení sloupu v patě – vzpěrná únosnost

Maximální tlaková síla	$N_{Ed} = 2260 \text{ kN}$
Průřez	HEB 360
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Třída průřezu (převzato z tabulek)	1. třída
Plocha průřezu	$A = 18060 \text{ mm}^2$
Smyková plocha průřezu	$A_{v,y} = 13993,8 \text{ mm}^2$ $A_{v,z} = 6056,3 \text{ mm}^2$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 2683000 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 1032000 \text{ mm}^3$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 154,6 \text{ mm}$ $i_z = 74,9 \text{ mm}$

Vzpěrná únosnost

Vzpěrná délka ($L_{cr,y} = L_{cr,z}$)	$L_{cr,i} = 3.4 \text{ m}$
Štíhlost prutu	$\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i} = \frac{3400}{i_i}$ $\lambda_y = 21.992$ $\lambda_z = 45.394$
Srovnávací štíhlost	$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9$
Poměrná štíhlost prutu	$\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ $\bar{\lambda}_y = 0.234$ $\bar{\lambda}_z = 0.483$
Součinitel imperfekce - křivka "a"	$\alpha = 0.21$
Parametr ($\phi_y; \phi_z$)	$\phi_i = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right]$ $\phi_y = 0.531$ $\phi_z = 0.647$
Součinitel vzpěrnosti $\chi_y; \chi_z$	$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}}$ $\chi_y = 0.992$ $\chi_z = 0.929$
Vzpěrná únosnost	$N_{b,Rd,i} = \chi_i A \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$ $N_{b,Rd,y} = 4212.098 \text{ kN}$ $N_{b,Rd,z} = 3944.208 \text{ kN} > N_{Ed} = 2260 \text{ kN}$

5.3 Posouzení výplňového prutu IPE180

Maximální tlaková síla	$N_{Ed} = 0.7 \text{ kN}$
Maximální smyková síla k ose y	$V_{Ed,y} = 9.916 \text{ kN}$
Maximální smyková síla k ose z	$V_{Ed,z} = 29.969 \text{ kN}$
Maximální ohybový moment k ose y	$M_{Ed,y} = 5.998 \text{ kNm}$
Maximální ohybový moment k ose z	$M_{Ed,z} = 3.26 \text{ kNm}$

Průřez	IPE 180
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Třída průřezu (převzato z tabulek)	1. třída
Plocha průřezu	$A = 2395 \text{ mm}^2$
Smyková plocha průřezu	$A_{v,y} = 1218,9 \text{ mm}^2$ $A_{v,z} = 876 \text{ mm}^2$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 166400 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 34600 \text{ mm}^3$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 74,2 \text{ mm}$ $i_z = 20,5 \text{ mm}$

Vzpěrná únosnost

Vzpěrná délka ($L_{cr,y} = L_{cr,z}$)	$L_{cr,i} = 1.5 \text{ m}$
Štíhlost prutu	$\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i} = \frac{1500}{i_i}$ $\lambda_y = 20.216$ $\lambda_z = 73.171$
Srovnávací štíhlost	$\lambda_1 = 93,9\epsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9$
Poměrná štíhlost prutu	$\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ $\bar{\lambda}_y = 0.215$ $\bar{\lambda}_z = 0.779$
Součinitel imperfekce - křivka "a"	$\alpha = 0.21$

Parametr ($\phi_y; \phi_z$)	$\phi_i = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right]$ $\phi_y = 0,525$ $\phi_z = 0,864$
Součinitel vzpěrnosti $\chi_y; \chi_z$	$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}}$ $\chi_y = 0,997$ $\chi_z = 0,807$
Vzpěrná únosnost	$N_{b,Rd,i} = \chi_i A \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$ $N_{b,Rd,y} = 560,9368 \text{ kN}$ $N_{b,Rd,z} = 454,3963 \text{ kN}$
Smyková únosnost	
Plastická smyková únosnost	$V_{Rd,i} = \frac{A_{v,i} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$ $V_{Rd,y} = 165,4 \text{ kN}$ $V_{Rd,z} = 118,9 \text{ kN}$
Posouzení únosnosti ve smyku	$\frac{V_{Ed,y}}{V_{Rd,y}} = \frac{9,916}{165,4} = 0,06 \leq 1,0 \text{ Splněno}$ $\frac{V_{Ed,z}}{V_{Rd,z}} = \frac{29,97}{118,9} = 0,252 \leq 1,0 \text{ Splněno}$
Kritérium malého smyku	$0,5 V_{Rd,i} \geq V_{Ed,i}$ $0,5 \cdot 118,9 \geq 5,3$ $59,43 \text{ kN} \geq 29,97 \text{ kN} \text{ Splněno}$
Únosnost v ohybu	
Plastická únosnost v ohybu	$M_{Rd,i} = W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$ $M_{Rd,y} = 39,104 \text{ kNm} > M_{ed,y} = 5,998 \text{ kNm}$ $M_{Rd,z} = 8,131 \text{ kNm} > M_{ed,z} = 3,26 \text{ kNm}$
Únosnost průřezu	$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}} \leq 1,0$ $\frac{N_{Ed}}{A f_y} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}} \leq 1,0$ $\frac{0,7}{2395 \cdot 235/1000} + \frac{5,998}{39,104} + \frac{3,26}{8,131} \leq 1,0$ $0,001 + 0,153 + 0,401 \leq 1$ $0,556 \leq 1 \quad \text{Splněno}$

Mezní stav použitelnosti

Rozhodující kombinace zatěžovacích stavů	KZS19M
Limitní průhyb	$\delta_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{1500}{200} = 7,5mm$
Extrémní průhyb (KZS19M)	$\delta = 2 \text{ mm}$
Posouzení MSP	$\frac{\delta}{\delta_{lim}} = \frac{2}{7,5} = 0,26\bar{6} \leq 1,0$ <i>Splněno</i>

5.4 Posouzení vodorovného prutu IPE270

Maximální tahová síla	$N_{Ed} = 13.35 \text{ kN}$
Maximální smyková síla k ose y	$V_{Ed,y} = 15.61 \text{ kN}$
Maximální smyková síla k ose z	$V_{Ed,z} = 6.456 \text{ kN}$
Maximální ohybový moment k ose y	$M_{Ed,y} = 13.342 \text{ kNm}$
Maximální ohybový moment k ose z	$M_{Ed,z} = 12.264 \text{ kNm}$

Průřez	IPE 270
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Třída průřezu (převzato z tabulek)	1. třída
Plocha průřezu	$A = 4595 \text{ mm}^2$
Smyková plocha průřezu	$A_{v,y} = 2896,6 \text{ mm}^2$ $A_{v,z} = 2214,3 \text{ mm}^2$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 484000 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 96950 \text{ mm}^3$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 112,3 \text{ mm}$ $i_z = 30,2 \text{ mm}$

Smyková únosnost

Plastická smyková únosnost	$V_{Rd,i} = \frac{A_{v,i} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$ $V_{Rd,y} = 393.0 \text{ kN}$ $V_{Rd,z} = 300.4 \text{ kN}$
Posouzení únosnosti ve smyku	$\frac{V_{Ed,y}}{V_{Rd,y}} = \frac{15.61}{393} = 0.04 \leq 1.0 \text{ Splněno}$ $\frac{V_{Ed,z}}{V_{Rd,z}} = \frac{6.456}{300.4} = 0.02 \leq 1.0 \text{ Splněno}$
Kritérium malého smyku	$0.5 V_{Rd,i} \geq V_{Ed,i}$ $0.5 \cdot 393 \geq 5.3$ <p>150 kN ≥ 5.3 kN Splněno</p>

Únosnost v ohybu

Plastická únosnost v ohybu	$M_{Rd,i} = W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$ $M_{Rd,y} = 113.74 \text{ kNm} > M_{ed,y} = 13.342 \text{ kNm}$ $M_{Rd,z} = 22.78325 \text{ kNm} > M_{ed,z} = 12.264 \text{ kNm}$
----------------------------	---

Únosnost průřezu

Únosnost průřezu	$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}} \leq 1.0$ $\frac{N_{Ed}}{A f_y} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}} \leq 1.0$ $\frac{13.35}{4595 \cdot 235 / 1000} + \frac{13.34}{113.7} + \frac{12.26}{22.78} \leq 1.0$ $0.01 + 0.12 + 0.54 \leq 1$ $0.656 \leq 1 \quad \text{Splněno}$
------------------	---

5.5 Posouzení schodnice UPE 200

Maximální tlaková síla	$N_{Ed} = 0$ kN
Maximální smyková síla k ose y	$V_{Ed,y} = 0$ kN
Maximální smyková síla k ose z	$V_{Ed,z} = 0$ kN
Maximální ohybový moment k ose y	$M_{Ed,y} = 1.606$ kNm
Maximální ohybový moment k ose z	$M_{Ed,z} = 7.007$ kNm

Průřez	UPE 200
Mez kluzu	$f_y = 235$ MPa
Třída průřezu (převzato z tabulek)	1. třída
Plocha průřezu	$A = 2900$ mm ²
Smyková plocha průřezu	$A_{v,y} = 1874$ mm ² $A_{v,z} = 1349$ mm ²
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 220346$ mm ³ $W_{pl,z} = 62210,5$ mm ³
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 81,1$ mm $i_z = 25,4$ mm

Únosnost v ohybu

Plastická únosnost v ohybu	$M_{Rd,i} = W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$ $M_{Rd,y} = 51.78131 \text{ kNm} > M_{Ed,y} = 1.606 \text{ kNm}$ $M_{Rd,z} = 14.61947 \text{ kNm} > M_{Ed,z} = 7.007 \text{ kNm}$
----------------------------	---

Únosnost průřezu	$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}} \leq 1.0$ $\frac{N_{Ed}}{A f_y} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}} \leq 1.0$ $\frac{0}{2900 \cdot 235/1000} + \frac{1.606}{51.78} + \frac{7.07}{14.62} \leq 1.0$ $0 + 0,031 + 0,479 \leq 1$ $0,51 \leq 1 \quad \text{Splněno}$
------------------	--

Mezní stav použitelnosti

Rozhodující kombinace zatěžovacích stavů	KZS3M
Limitní průhyb	$\delta_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{5000}{200} = 25mm$
Extrémní průhyb (KZS3M)	$\delta = 3 \text{ mm}$
Posouzení MSP	$\frac{\delta}{\delta_{lim}} = \frac{3}{25} = 0,12 \geq 1,0$ <i>Splněno</i>

5.6 Posouzení svislých ztužidel RO193,7 x 10

Maximální tlaková síla	$N_{Ed} = 360 \text{ kN}$
Průřez	RO 193,7x10
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Třída průřezu (převzato z tabulek)	1. třída
Plocha průřezu	$A = 5770 \text{ mm}^2$
Smyková plocha průřezu	$A_{v,y} = 2880,3 \text{ mm}^2$ $A_{v,z} = 2880,3 \text{ mm}^2$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 338000 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 338000 \text{ mm}^3$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 65 \text{ mm}$ $i_z = 65 \text{ mm}$

Vzpěrná únosnost

Vzpěrná délka ($L_{cr,y} = L_{cr,z}$)	$L_{cr,i} = 2,6 \text{ m}$
Štíhlost prutu	$\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i} = \frac{2600}{i_i}$ $\lambda_y = 40.000$ $\lambda_z = 40.000$
Srovnávací štíhlost	$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9$
Poměrná štíhlost prutu	$\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ $\bar{\lambda}_y = 0,426$ $\bar{\lambda}_z = 0,426$

Součinitel imperfekce - křivka "a"	$\alpha = 0.21$
Parametr ($\phi_y; \phi_z$)	$\phi_i = 0.5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0.2) + \bar{\lambda}_i^2 \right]$ $\phi_y = 0.614$ $\phi_z = 0.614$
Součinitel vzpěrnosti $\chi_y; \chi_z$	$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}}$ $\chi_y = 0.946$ $\chi_z = 0.946$
Vzpěrná únosnost	$N_{b,Rd,i} = \chi_i A \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$ $N_{b,Rd,y} = 1282.477 \text{ kN} > N_{Ed} = 360 \text{ kN}$ $N_{b,Rd,z} = 1282.477 \text{ kN} > N_{Ed} = 360 \text{ kN}$

5.7 Posouzení vodorovných ztužidel RO168,3 x 12,5

Maximální tlaková síla	$N_{Ed} = 66.8 \text{ kN}$
Průřez	RO 168,3x12,5
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Třída průřezu (převzato z tabulek)	1. třída
Plocha průřezu	$A = 6120 \text{ mm}^2$
Smyková plocha průřezu	$A_{v,y} = 3060,7 \text{ mm}^2$ $A_{v,z} = 3060,7 \text{ mm}^2$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 304000 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 304000 \text{ mm}^3$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 55,3 \text{ mm}$ $i_z = 55,3 \text{ mm}$

Vzpěrná únosnost

Vzpěrná délka ($L_{cr,y} = L_{cr,z}$)	$L_{cr,i} = 5 \text{ m}$
Štíhlost prutu	$\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i} = \frac{5000}{i_i}$ $\lambda_y = 90.416$ $\lambda_z = 90.416$
Srovnávací štíhlost	$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9$
Poměrná štíhlost prutu	$\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$ $\bar{\lambda}_y = 0.963$ $\bar{\lambda}_z = 0.963$

Součinitel imperfekce - křivka "a"	$\alpha = 0.21$
Parametr ($\phi_y; \phi_z$)	$\phi_i = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right]$ $\phi_y = 1.044$ $\phi_z = 1.044$
Součinitel vzpěrnosti $\chi_y; \chi_z$	$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}}$ $\chi_y = 0.691$ $\chi_z = 0.691$
Vzpěrná únosnost	$N_{b,Rd,i} = \chi_i A \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$ $N_{b,Rd,y} = 994.382 \text{ kN} > N_{Ed} = 66.8 \text{ kN}$ $N_{b,Rd,z} = 994.382 \text{ kN} > N_{Ed} = 66.8 \text{ kN}$

Maximální tlaková síla (reakce od KZS1)	$N_{Ed,c} = 2473 \text{ kN}$
Maximální tahová síla (reakce od KZS3)	$N_{Ed,t} = 1762 \text{ kN}$
Maximální smyková síla (reakce od KZS17; rozložena do složek $V_{Ed,x}$ a $V_{Ed,y}$)	$V_{Ed,x} = 196 \text{ kN}$ $V_{Ed,y} = 263 \text{ kN}$

Průřez	HEB 360
Výška průřezu	$h = 360 \text{ mm}$
Šířka průřezu	$b = 300 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ MPa}$

Šrouby	M39
Materiál šroubů	10.9
Počet šroubů	$n = 4 \text{ ks}$
Tloušťka koutového svaru	$a_w = 6 \text{ mm}$

Charakteristická pevnost betonu	$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
---------------------------------	---------------------------

Rozměry patního plechu	$a_0 = 800 \text{ mm}$
Tloušťka patního plechu	$t_0 = 60 \text{ mm}$
Rozměry betonové patky	$a_c = 1600 \times 1600 \text{ mm}$
Výška betonové patky	Betonový blok základu / pilota není předmětem návrhu tohoto příkladu. S ohledem na značnou tahovou sílu v základové spáře je patrné, že výška betonového bloku nebude v navazujícím výpočtu rozhodující.

Započitatelné rozměry betonové patky	$a = 1600 \times 1600 \text{ mm}$
Tloušťka podlití	$t_{pod} = 60 \text{ mm} \leq 0,2a_0 = 160 \text{ mm}$ $t_{pod} = 60 \text{ mm} \leq 160 \text{ mm}$ <i>Splněno</i>
Součinitel koncentrace napětí	$k_j = \sqrt{\frac{A_c}{A_0}} = \sqrt{\frac{1600^2}{800^2}} = 2$
Návrhová pevnost betonu v koncentrovaném tlaku	$f_{jd} = \frac{2}{3} \frac{k_j f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot 2 \cdot \frac{25}{1,5} = 22,22 \text{ MPa}$
Účinná šířka patní desky	$c = t_0 \sqrt{\frac{f_y}{3f_{jd}}} = 60 \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 22,22}} = 112,65 \text{ mm}$
Účinná plocha	$A_{eff} = 281669 \text{ mm}^2$
Únosnost v tlaku	$N_{Rd} = A_{eff} f_{jd} = 281669 \cdot 22,22 = 4321,422 \text{ kN}$
Posouzení únosnosti v tlaku	$\frac{N_{Ed,c}}{N_{Rd}} = \frac{2473}{6259} = 0,39 \leq 1,0$ <i>Splněno</i>

6.1.2 Únosnost v tahu

Posouzení únosnosti šroubů

Únosnost jednoho šroubu v tahu	$F_{t,Rd} = 640,5 \text{ kN}$
Nejmenší tloušťka desky, při které nedojde k páčení	$t_e = 4,3 \sqrt[3]{\frac{bd^2}{a}} = 4,3 \sqrt[3]{\frac{268,5 \cdot 39}{131,5}} = 18,5$
Ověření vzniku páčení	$\frac{t_e}{t_0} = \frac{18,5}{60} = 0,31 \leq 1,0$ <i>Splněno</i> (nedojde k páčení)

Posouzení únosnosti v tahu	$\frac{N_{Ed,t}}{nF_{t,Rd}} = \frac{1762}{4 \cdot 640,5} = 0,68 \leq 1,0$ <i>Splněno</i>
----------------------------	--

Posouzení únosnosti svaru (kolem dokola)	$L_w = o_{HEB} = 1615 \text{ mm}$
Napětí σ_w	$\sigma_w = \frac{N_{Ed,t}}{a_w L_w} = \frac{1762 \cdot 10^3}{6 \cdot 1615} = 181,8 \text{ MPa}$
Kolmé složky napětí ve svaru	$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{181,8}{\sqrt{2}} = 128,6 \text{ MPa}$
Korelační součinitel svařování	$\beta_w = 0,8$
1. podmínka únosnosti svaru	$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2} \leq \frac{\beta}{\beta_w \gamma_{M2}}$ $\sqrt{128,6^2 + 3 \cdot 128,6^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$ $257 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$ Splněno
2. podmínka únosnosti svaru	$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9f_u}{\gamma_{M2}}$ $128,6 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$ Splněno

6.1.3 Smyková zarážka

Průřez	HEB 300
Třída průřezu – ohyb (tabulky)	1. třída
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ Mpa}$
Mez pevnosti	$f_u = 360 \text{ Mpa}$
Výška průřezu	$h = 300 \text{ mm}$
Šířka průřezu	$b = 300 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 11 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny	$t_w = 19 \text{ mm}$
Plastický průřezový modul k ose y	$W_{pl,y} = 1869000 \text{ mm}^3$
Plastický průřezový modul k ose z	$W_{pl,z} = 870100 \text{ mm}^3$
Délka prvku	$L = 200 + t_{pod} = 100 + 60 = 260 \text{ mm}$
Charakteristická pevnost betonu	$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

Ověření délky smykové zarážky	$L \geq \frac{\max(V_{Ed,y}; V_{Ed,z})}{b \frac{f_{ck}}{\gamma_c}}$ $200 \geq \frac{\max(263; 196) \cdot 10^3}{300 \frac{25}{1,5}}$ $200 \text{ mm} \geq 52,6 \text{ mm}$	Splněno
-------------------------------	---	----------------

Smyková únosnost

Smyková plocha k ose y (konzervativně)	$A_{v,z} = t_w (h - 2t_f) = 19 \cdot (300 - 2 \cdot 11) = 5282 \text{ mm}^2$
Smyková plocha k ose z (konzervativně)	$A_{v,y} = 2t_f b = 2 \cdot 11 \cdot 300 = 6600 \text{ mm}^2$
Smyková únosnost k ose y	$V_{Rd,z} = \frac{A_{v,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{Mo}} = \frac{5282 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 716,65 \text{ kN}$
Smyková únosnost k ose z	$V_{Rd,y} = \frac{A_{v,y} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{Mo}} = \frac{6600 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 895,47 \text{ kN}$
Posouzení smykové únosnosti	$\frac{V_{Ed,y}}{V_{Rd,y}} + \frac{V_{Ed,z}}{V_{Rd,z}} \leq 1,0$ $\frac{263}{895} + \frac{196}{716} \leq 1,0$ $0,56 \leq 1,0 \text{ Vyhovuje}$

Kritérium malého smyku k ose y	$0,5 V_{Rd,z} \geq V_{Ed,z}$ $0,5 \cdot 716 \geq 196$ $358 \text{ kN} \geq 196 \text{ kN} \text{ Splněno}$
Kritérium malého smyku k ose z	$0,5 V_{Rd,y} \geq V_{Ed,y}$ $0,5 \cdot 895 \geq 263$ $447 \text{ kN} \geq 263 \text{ kN} \text{ Splněno}$

Únosnost v ohybu

Ohybový moment k ose y	$M_{Ed,y} = V_{Ed,y} \left(t_{pod} + \frac{L}{2} \right) = 263 \cdot 10^3 \cdot \left(60 + \frac{200}{2} \right) = 42,08 \text{ kNm}$
Ohybový moment k ose z	$M_{Ed,z} = V_{Ed,z} \left(t_{pod} + \frac{L}{2} \right) = 196 \cdot 10^3 \cdot \left(60 + \frac{200}{2} \right) = 31,36 \text{ kNm}$

Plastická únosnost v ohybu k ose y	$M_{Rd,y} = W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_{Mo}} = 1869 \cdot 10^3 \frac{235}{1,0} = 439,2 \text{ kNm}$
Plastická únosnost v ohybu k ose z	$M_{Rd,z} = W_{pl,z} \frac{f_y}{\gamma_{Mo}} = 870,1 \cdot 10^3 \frac{235}{1,0} = 204,5 \text{ kNm}$
Posouzení únosnosti v ohybu	$\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}} + \frac{M_{Ed,z}}{M_{Rd,z}} \leq 1,0$ $\frac{42,08}{439,2} + \frac{31,36}{204,45} \leq 1,0$ $0,30 \leq 1,0 \text{ Splněno}$

Svarový spoj smykové zarážky k patnímu plechu

Korelační součinitel svařování (S235)	$\beta_w = 0,8$
Návrh tloušťky svaru stojiny na plnou únosnost	$a_{w,w} \geq t_w \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \left(\frac{\beta_w \gamma_{M2}}{f_u \sqrt{2}} \right)$ $a_{w,w} \geq 12,5 \cdot \left(\frac{235}{1,0} \right) \left(\frac{0,8 \cdot 1,25}{360 \sqrt{2}} \right) = 5,76 \text{ mm}$ $a_{w,w} = 5,76 \text{ mm} \rightarrow a_{w,w} = 6 \text{ mm}$
Návrh tloušťky svaru pásnice na plnou únosnost	$a_{w,f} \geq t_f \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \left(\frac{\beta_w \gamma_{M2}}{f_u \sqrt{2}} \right)$ $a_{w,f} \geq 22,5 \cdot \left(\frac{235}{1,0} \right) \left(\frac{0,8 \cdot 1,25}{360 \sqrt{2}} \right) = 5,76 \text{ mm}$ $a_{w,f} = 10,39 \text{ mm} \rightarrow a_{w,f} = 11 \text{ mm}$

6.1.4 Posouzení přípoje vertikálního ztužení k nárožníku

Maximální síla	$N_{Ed} = 360 \text{ kN}$
Šrouby	M24; $d_0 = 26 \text{ mm}$
Materiál šroubů	10.9
Počet šroubů	$n = 2 \text{ ks}$
Rozteče	$e1 = 60 \text{ mm}$ $e2 = 50 \text{ mm}$ $p1 = 80 \text{ mm}$
Tloušťka koutového svaru	$a_w = 5 \text{ mm}$
Délka jednoho svaru	$L_w = 100 \text{ mm}$
Počet svarů	$n_w = 4 \text{ ks}$
Tloušťka styčnickových plechů	$t_p = 16 \text{ mm}$

Střih

Únosnost jednoho šroubu ve stříhu (tabulky; jedna střížná rovina)	$F_{v,Rd} = 217,1 \text{ kN}$
--	-------------------------------

Otlačení

Parametr	$k_1 = \min \left(2,5; 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right)$ $k_1 = \min \left(2,5; 2,8 \frac{50}{26} - 1,7 \right) = 2,5$
Parametr	$\alpha_b = \min \left(1,0; \frac{f_{ub}}{f_u}; \frac{e_1}{3d_0} \right)$ $\alpha_b = \min \left(1,0; \frac{1000}{360}; \frac{60}{3 \cdot 26} \right) = 0,769$
Únosnost jednoho šroubu v otlačení	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b d t_p f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,769 \cdot 24 \cdot 12 \cdot 360}{1,25} = 212,6 \text{ kN}$
Posouzení únosnosti šroubového spoje	$\frac{N_{Ed}}{n \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd})} \leq 1,0$ $\frac{360}{2 \cdot \min(217,1; 212,6)} \leq 1,0$ <p>0,85 ≤ 1,0 Splněno</p>

Posouzení svarového spoje

Napětí ve svaru	$\tau_{II} = \frac{N_{Ed}}{n_w a_w L_w} = \frac{360}{4 \cdot 5 \cdot 100} = 180 \text{ MPa}$
Korelační součinitel svařování (S235)	$\beta_w = 0,8$
Podmínka únosnosti svaru	$\sqrt{3\tau_{II}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$ $\sqrt{3 \cdot 180^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$ <p>311,7 MPa ≤ 360 MPa Vyhovuje</p>

6.1.5 Posouzení styčnickového plechu v tlaku

Posouzení bude provedeno podle normy ČSN EN 1993-1-1. Posouzena bude vzpěrná únosnost plechu k měkké ose. Rozměry posuzovaného průřezu jsou dány tloušťkou plechu a konzervativně roztečemi e2 (uvažovány menší hodnoty z přípojů vertikálního ztužení).

Maximální síla	$N_{Ed} = 360 \text{ kN}$
Výška průřezu (rozhoduje vlastní rozměr TR vertikálního ztužení + rezerva z důvodu přesnosti)	$h_p = 240 \text{ mm}$
Tloušťka styčnickových plechů	$t_p = 16 \text{ mm}$
Mez kluzu	$S = 235 \text{ Mpa}$
Plocha průřezu	$A = h_p t_p = 240 \cdot 16 = 3840 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti k ose z (měkká osa)	$I_z = \frac{1}{12} h_p t_p^3 = \frac{1}{12} 240 \cdot 16^3 = 81920 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{81920}{3840}} = 4,619 \text{ mm}$

Vzpěrná délka k ose z	$L_{cr,z} = 351 \text{ mm}$
Štíhlost prvku	$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{351}{4,619} = 76,0$
Srovnávací štíhlost	$\lambda_1 = 93,9 \varepsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9$
Poměrná štíhlost prutu	$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{76,0}{93,9} = 0,809$
Součinitel imperfekce – křivka „c“ (plné průřezy)	$\alpha = 0,49$
Parametr	$\phi_z = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2]$ $\phi_z = 0,5[1 + 0,49(0,809 - 0,2) + 0,809^2]$ $\phi_z = 0,977$
Součinitel vzpěrnosti	$\chi_z = 0,656$
Vzpěrná únosnost	$N_{b,Rd,z} = \chi_z A \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,656 \cdot 3840 \cdot \frac{235}{1,0} = 592 \text{ kN}$
Posouzení vzpěrné únosnosti	$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{360}{592} = 0,61 \leq 1,0$ Splněno

Maximální síla	$N_{Ed} = 360 \text{ kN}$
Výška průřezu (rozhoduje vlastní rozměr TR vertikálního ztužení + rezerva z důvodu přesnosti)	$h_p = 240 \text{ mm}$
Tloušťka styčnickových plechů	$t_p = 16 \text{ mm}$
Mez kluzu	$S = 235 \text{ Mpa}$
Plocha průřezu	$A = h_p t_p = 240 \cdot 16 = 3840 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti k ose z (měkká osa)	$I_z = \frac{1}{12} h_p t_p^3 = \frac{1}{12} 240 \cdot 16^3 = 81920 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{81920}{3840}} = 4,619 \text{ mm}$

Vzpěrná délka k ose z (viz obr.)	$L_{cr,z} = 301 \text{ mm}$
Štíhlost prvku	$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{301}{4,619} = 65,17$
Srovnávací štíhlost	$\lambda_1 = 93,9\epsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9$
Poměrná štíhlost prutu	$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{65,2}{93,9} = 0,694$
Součinitel imperfekce – křivka „c“ (plné průřezy)	$\alpha = 0,49$
Parametr	$\phi_z = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2]$ $\phi_z = 0,5[1 + 0,49(0,694 - 0,2) + 0,694^2]$ $\phi_z = 0,862$
Součinitel vzpěrnosti	$\chi_z = 0,728$
Vzpěrná únosnost	$N_{b,Rd,z} = \chi_z A \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,728 \cdot 4032 \cdot \frac{235}{1,0} = 690,2 \text{ kN}$
Posouzení vzpěrné únosnosti	$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{360}{690,2} = 0,52 \leq 1,0 \text{ Splněno}$

Posouzení svarového spoje

Napětí ve svaru	$\tau_{ } = \frac{N_{Ed}}{n_w a_w L_w} = \frac{360}{4 \cdot 6 \cdot 100} = 150 \text{ MPa}$
Korelační součinitel svařování (S235)	$\beta_w = 0,8$
Podmínka únosnosti svaru	$\sqrt{3\tau_{ }^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$ $\sqrt{3 \cdot 150^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$ $259,8 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \text{ Vyhovuje}$

6.3 Připojení horizontálního prutu ke sloupu

Maximální síla (KZS1)	$N_{Ed} = 281 \text{ kN}$
Šrouby	M27; $d_0 = 22 \text{ mm}$
Materiál šroubů	10.9
Počet šroubů	$n = 6 \text{ ks}$
Rozteče	$e_1 = 70 \text{ mm}$ $e_2 = v_5 = 50 \text{ mm}$ $p_1 = 90 \text{ mm}$ $h_1 = 210 \text{ mm}$
Tloušťka koutového svaru	$a_w = 6 \text{ mm}$
Délka jednoho svaru	$L_w = 210 \text{ mm}$
Počet svarů	$n_w = 2 \text{ ks}$
Tloušťka styčnickového plechů (min. z hodnot)	$t_p = 16 \text{ mm}; t_w = 6,5 \text{ mm}$

Střih

Únosnost jednoho šroubu ve střihu (tabulky; jedna střížná rovina)	$F_{v,Rd} = 274,8 \text{ kN}$
--	-------------------------------

Otlačení

Parametr	$k_1 = \min\left(2,5; 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7\right)$ $k_1 = \min\left(2,5; 2,8 \frac{50}{30} - 1,7\right) = 2,5$
Parametr	$\alpha_b = \min\left(1,0; \frac{f_{ub}}{f_u}; \frac{e_1}{3d_0}\right)$ $\alpha_b = \min\left(1,0; \frac{1000}{360}; \frac{70}{3 \cdot 30}\right) = 0,66$
Únosnost jednoho šroubu v otlačení	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b d t_p f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,78 \cdot 27 \cdot 6,6 \cdot 360}{1,25} = 99,8 \text{ kN}$
Posouzení únosnosti šroubového spoje	$\frac{N_{Ed}}{n \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd})} \leq 1,0$ $\frac{281}{4 \cdot \min(274,8; 99,8)} \leq 1,0$ $0,70 \leq 1,0$ Splněno

Posouzení svarového připoje styčnickového plechu k HEB360

Napětí ve svaru	$\tau_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{\sqrt{2} \cdot n_w a_w L_w} = \frac{281}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot 6 \cdot 210} = 78,85 \text{ MPa}$
Korelační součinitel svařování (S235)	$\beta_w = 0,8$
Podmínka únosnosti svaru	$\sqrt{3} \tau_{\perp}^2 \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$ $\sqrt{3} \cdot 78,85^2 \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$ $136,6 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$ Vyhovuje

7. Normy a literatura

ČSN EN 1993-1-1 Změna A1, *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), 2016.

ČSN EN 1990, *Eurokód: zásady navrhování*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), 2021.

ČSN 73 4130, *Schodiště a šikmé rampy – Základní požadavky*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), 2010.

ČSN EN 1991-1-1, *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*, Český normalizační institut (ČNI), 2004.

ČSN EN 1991-1-4, *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), 2020.

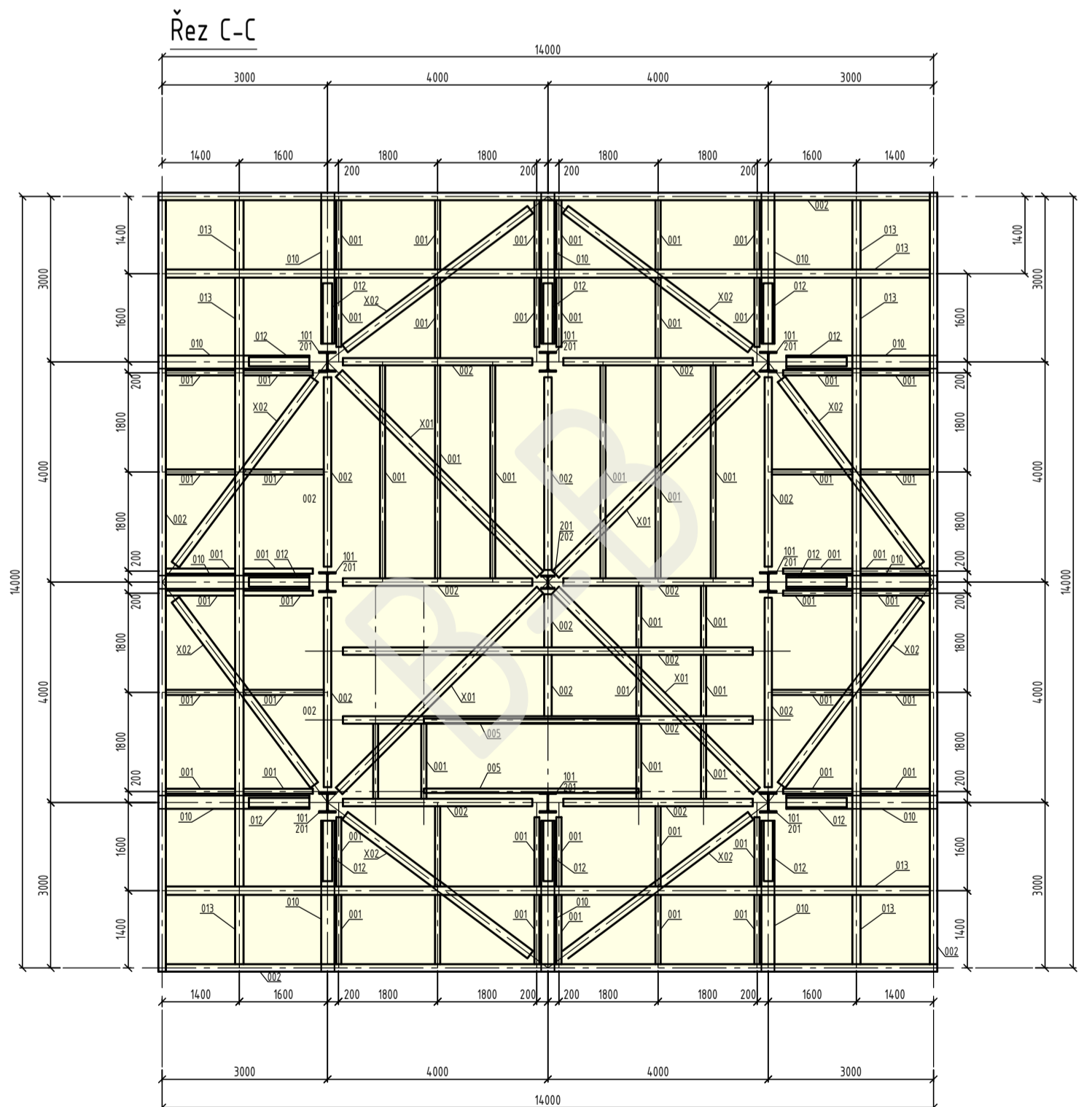
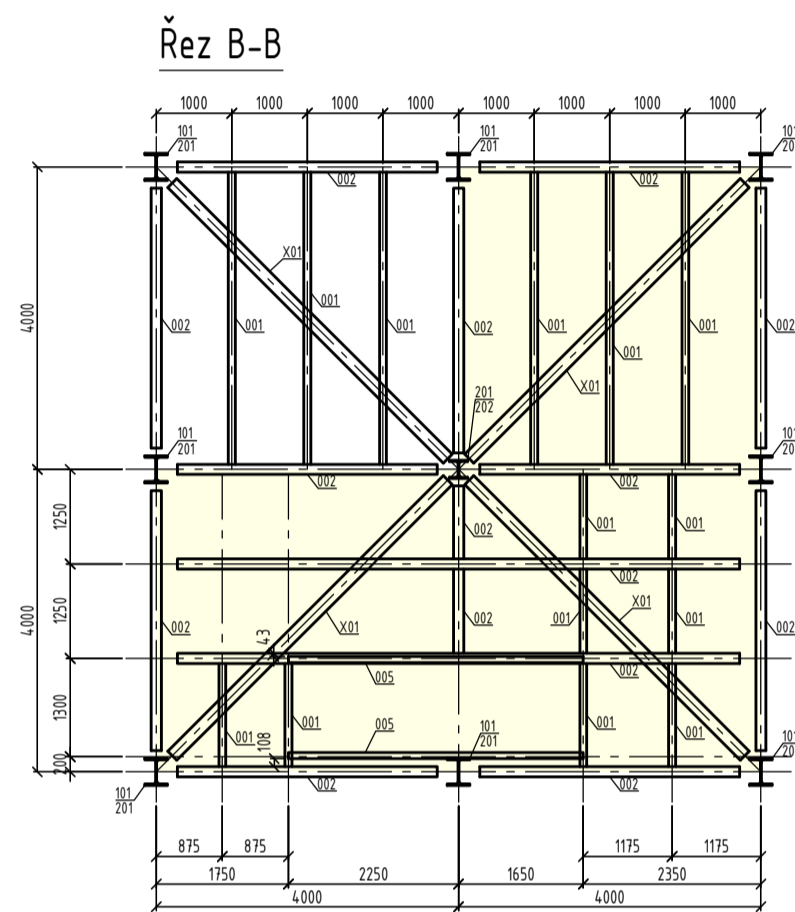
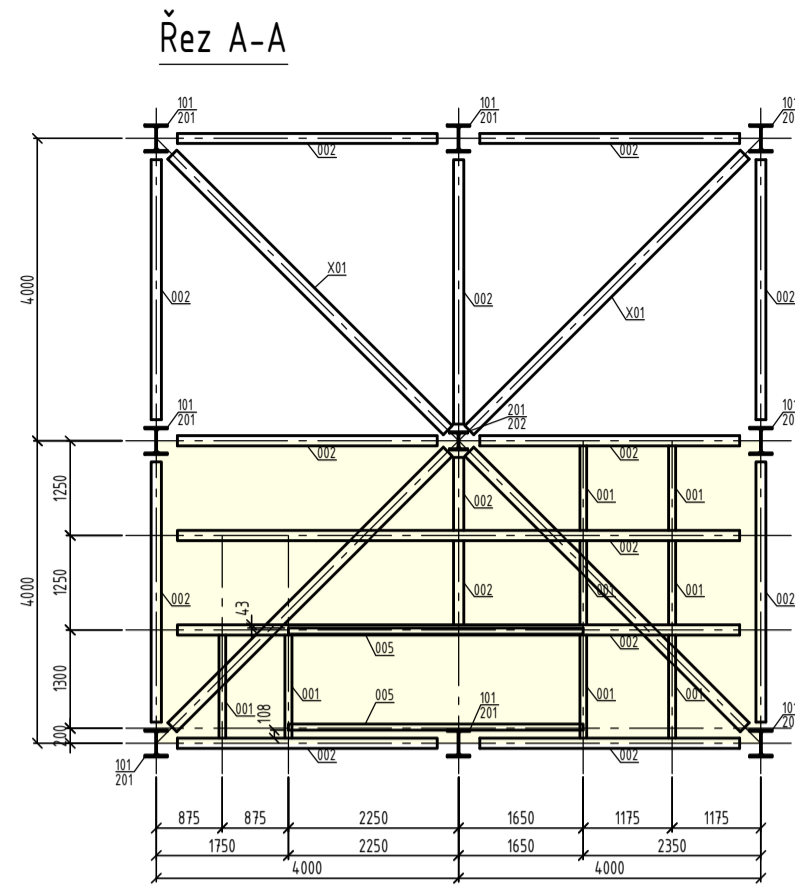
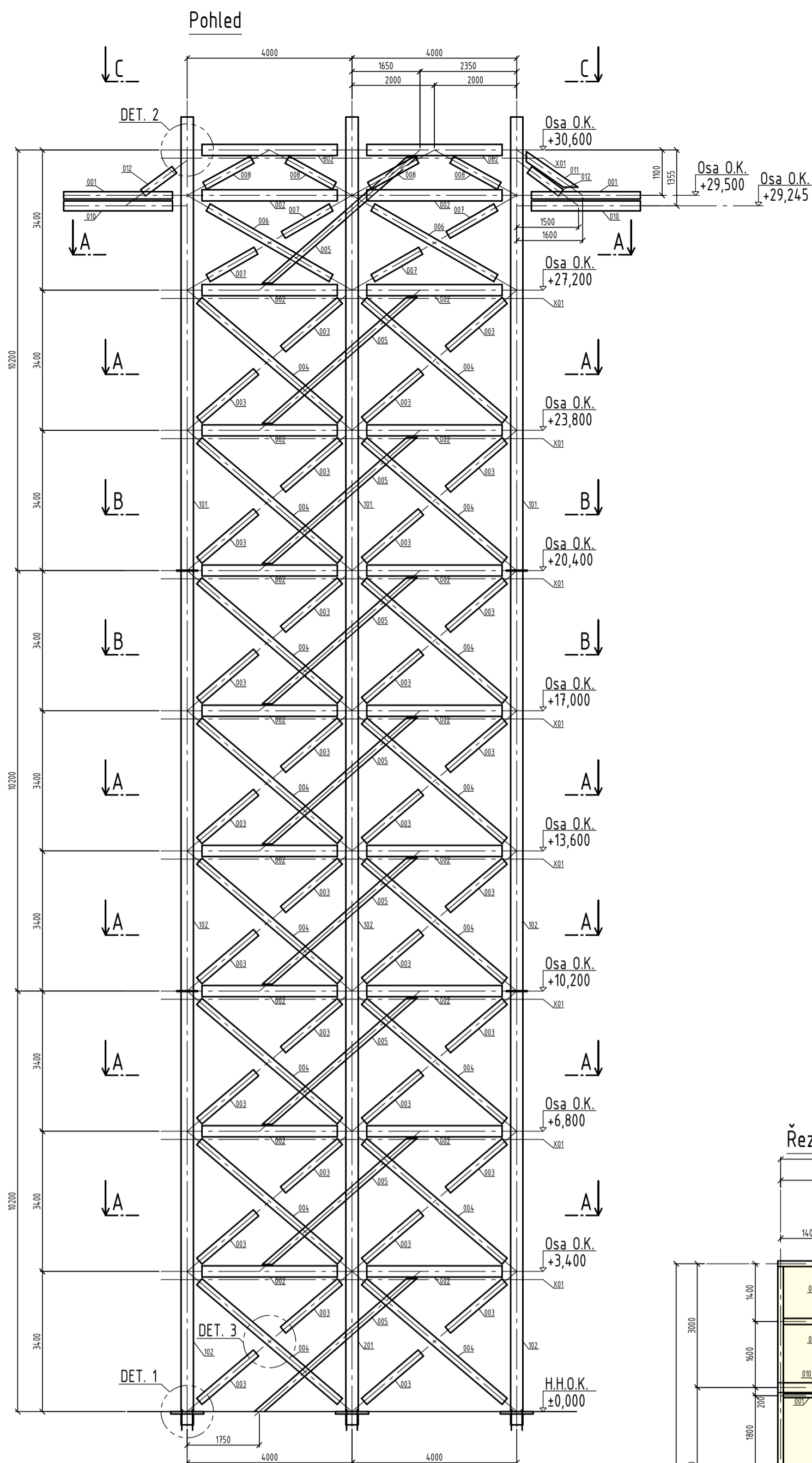
ČSN EN 1993-3-1, *Eurokód 3: navrhování ocelových konstrukcí – Část 3-1: Stožáry a komíny – Stožáry*, Český normalizační institut (ČNI), 2008.

ČSN EN 1993-1-1, *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*, Český normalizační institut (ČNI), 2006.

ČSN EN 1993-1-3, *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily*, Český normalizační institut (ČNI), 2008.

ČSN EN 1993-1-8, *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků*, Český normalizační institut (ČNI), 2006.

ČSN 73 1401, *Navrhování ocelových konstrukcí*, Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, 1998.



Legenda prvků		
označení prvku	Průřez / popis, dodatečné informace, délka (pokud je známá)	počet
101	HEB360 / 10,2 m	2x8=16
102	HEB360 / 11 m	8
201	HEB240 / 10,2 m	2x8=16
202	HEB240 / 11 m	8
001	IPE180 / různé délky	6x8+2x14+38=124
002	IPE270 / různé délky	6x15+2x15+19+8=147
003	RO 193,7 x 10 / svislá zt. - délka dle přípojů	8x8=64
004	RO 193,7 x 10 / svislá zt. průběžná - délka dle přípojů	8x4=32
005	UPE200 / schodnice - délka dle přípojů	18
006	RO 193,7 x 10 / svislá zt. atyp., průběžná - délka dle přípojů	4
007	RO 193,7 x 10 / svislá zt. atyp - délka dle přípojů	8
008	RO 193,7 x 10 / svislá zt. atyp - délka dle přípojů	8
010	HEB240 / konzola ochozu, L dle přípoje	12
011	UPE200 / schodnice - ohoz; délka dle přípojů	4
012	RO 193,7 x 10 / táhlo - velký průřez pro viditelnost	12
013	IPE300 / ohoz - střední prut	8
X01	RO 168,3 x 12,5 - horizontální ztužidla (v pohledu znázorněny osou)	36
X02	RO 168,3 x 12,5 - horizontální ztužidla ochozu	8

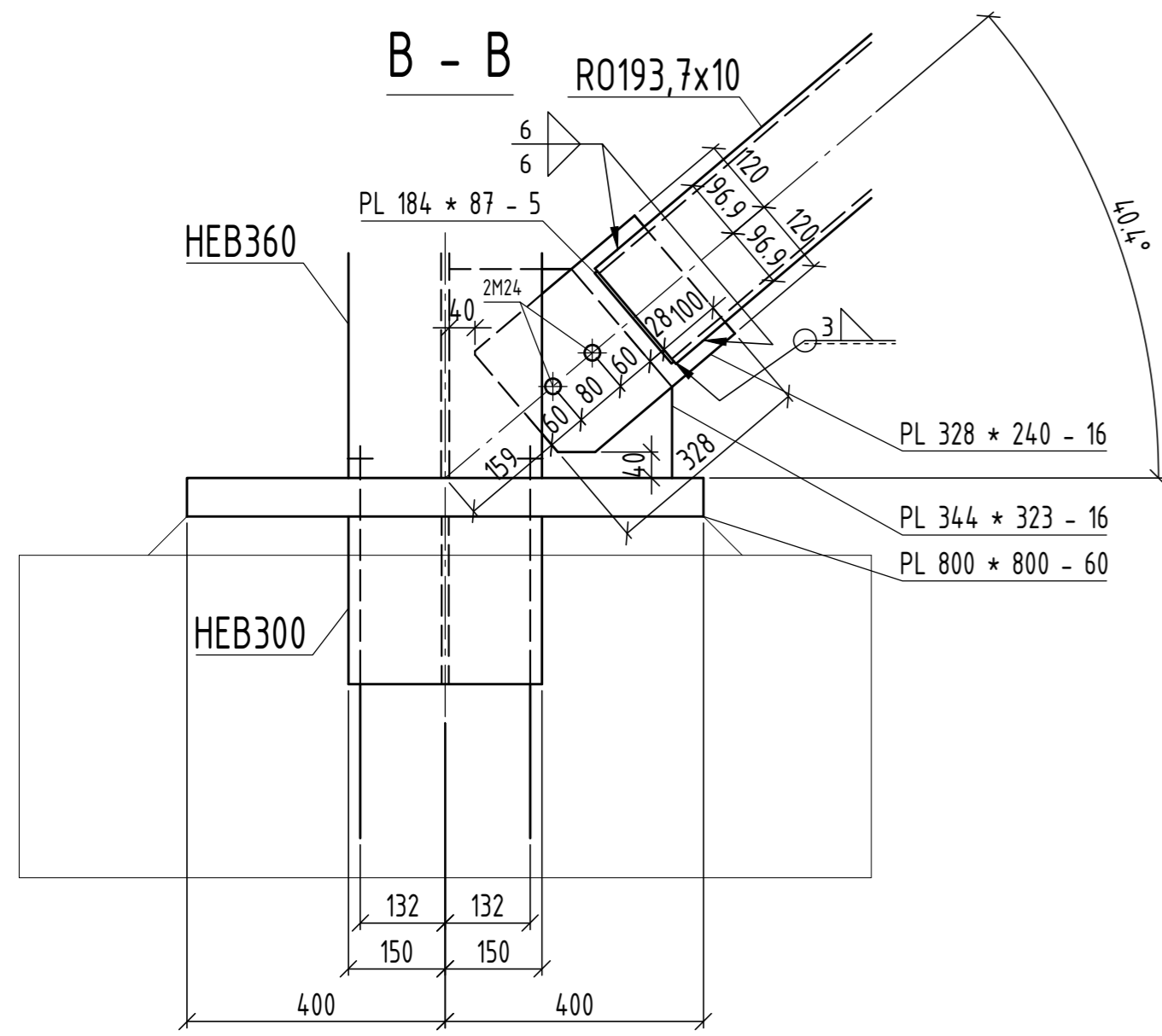
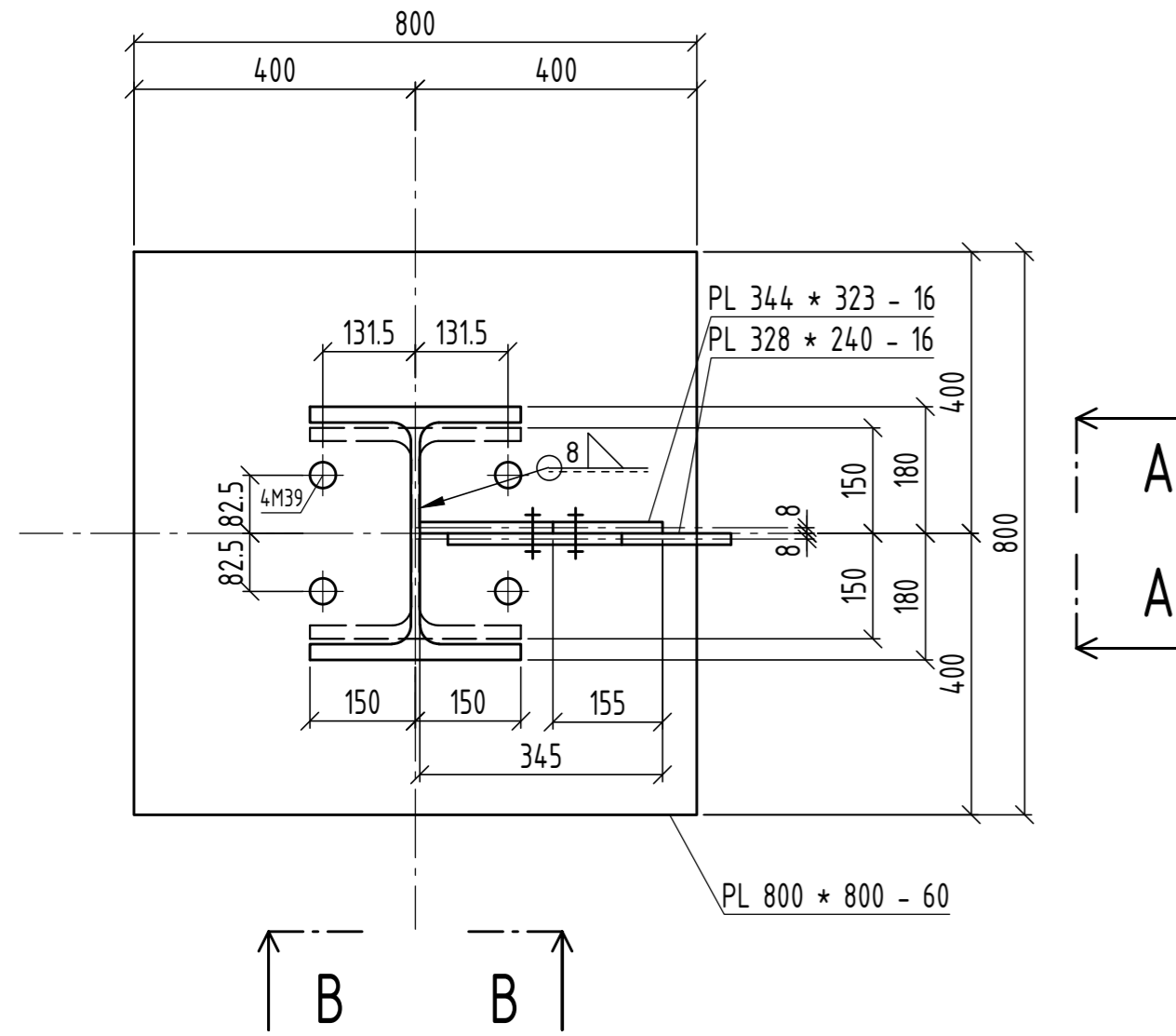
Ocel S235J2
 Beton C25/30
 Úprava provedení: EXC2
 ±0,000 = 894,00 m.n.m. B.p.v.
 Zábradlí a podlahové rošty nejsou pro přehlednost znázorněny, pochozí plocha vyznačena v jedné řezech.

SPECIALIZACE	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA
POZEMNÍ STAVBY	K134 ČVUT	Adam Říha
ROČNÍK	PŘEDMĚT	
4. ROČNÍK, 8. SEMESTR	134BAPC	

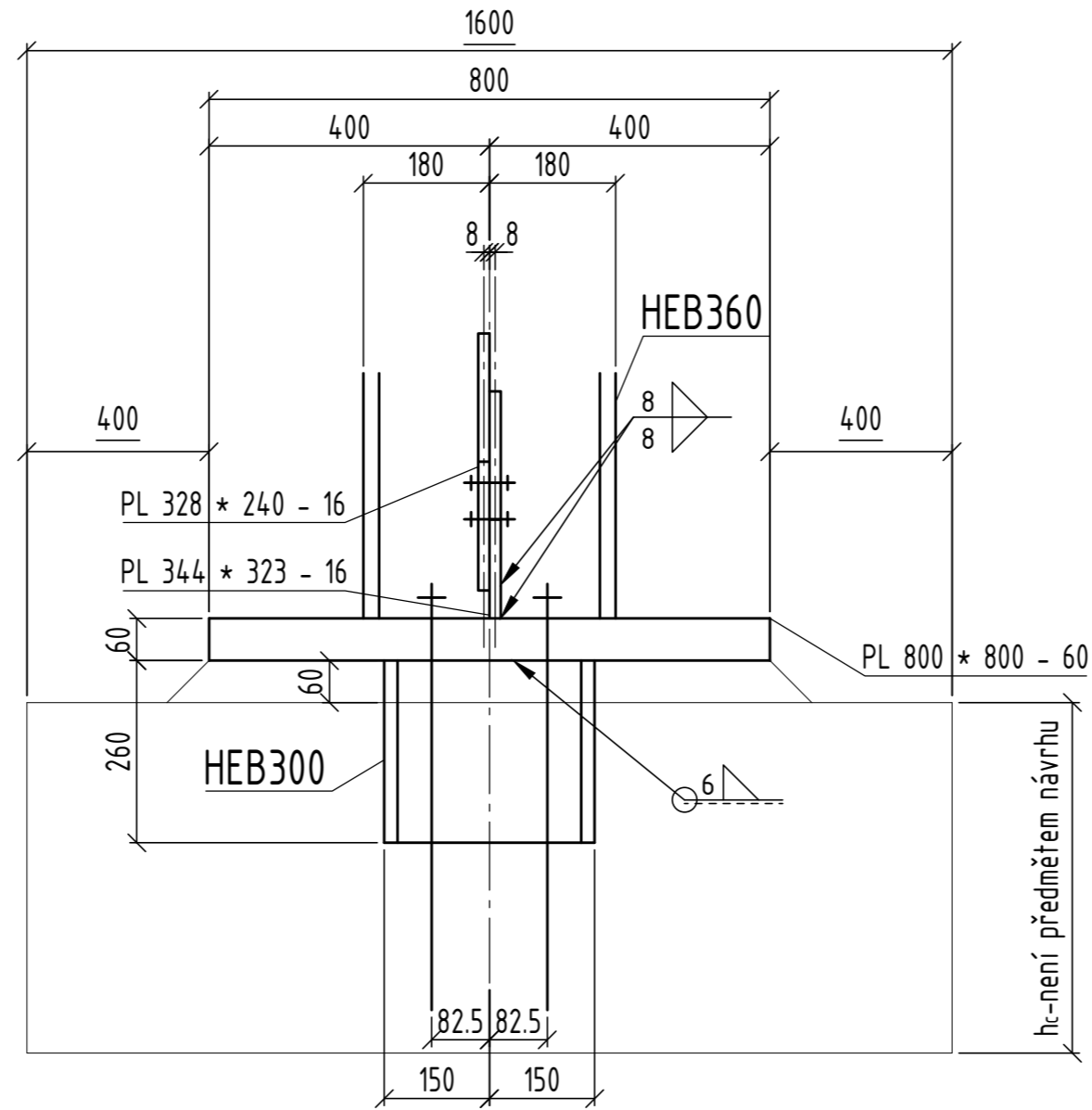
Název:
DISPOZIČNÍ SCHÉMA
 Základní geometrie hlavních nosných konstrukcí

JMÉNO VEDOUCÍHO B.P.	FORMÁT	A0
Ing. BŘETISLAV ŽIDLICKÝ, Ph.D.	MĚŘITKO	1:50
	ČÍSLO VÝKRESU	1

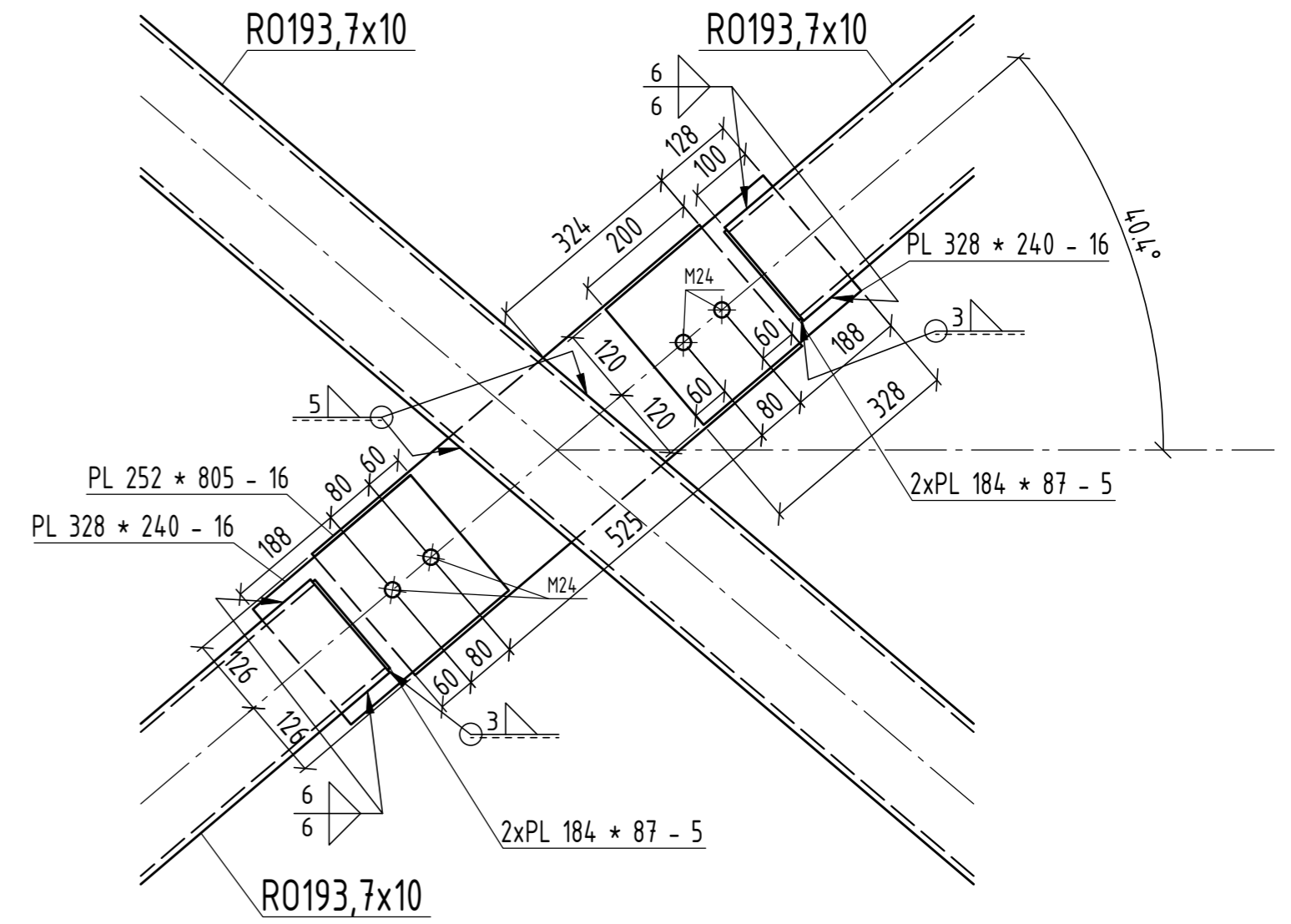
DET1: Kloubová patka, přípoj svislého ztužidla



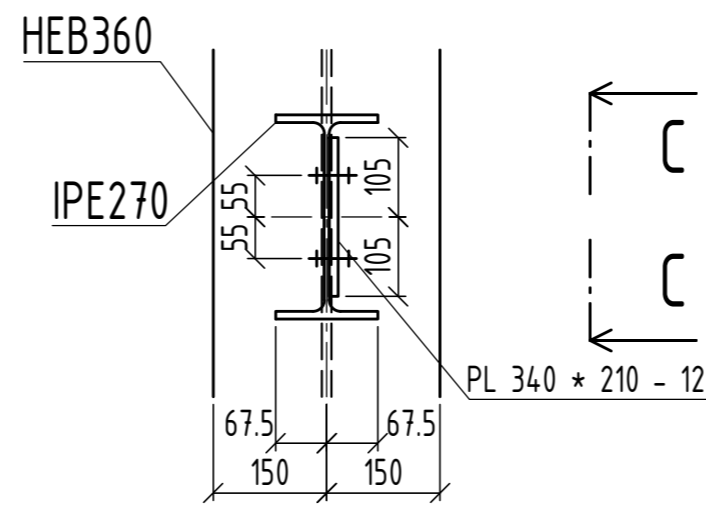
A - A



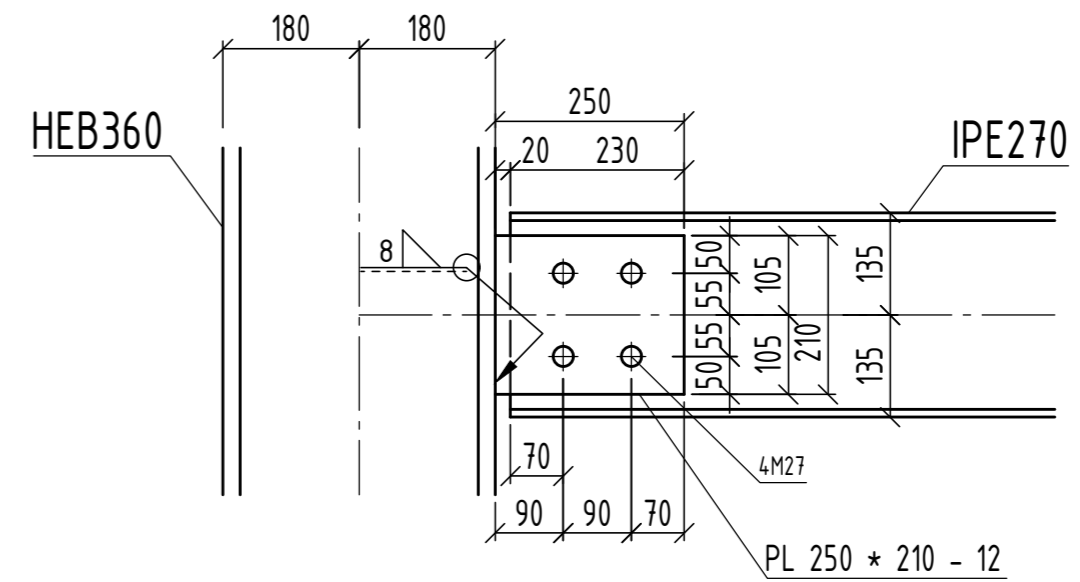
DET3: Přípoj svislých ztužidel




DET2: Přípoj horizontálních prutů IPE



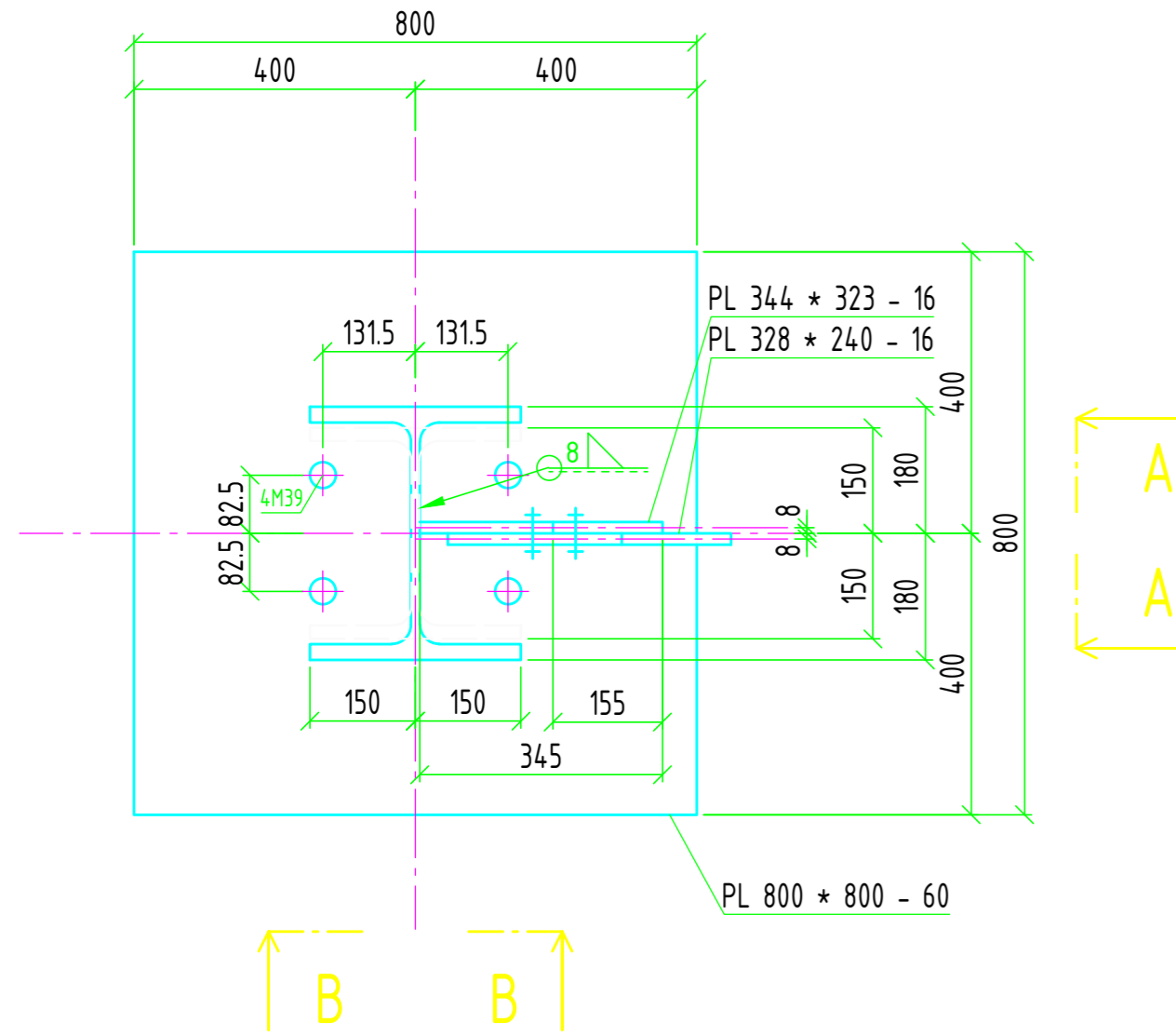
C - C



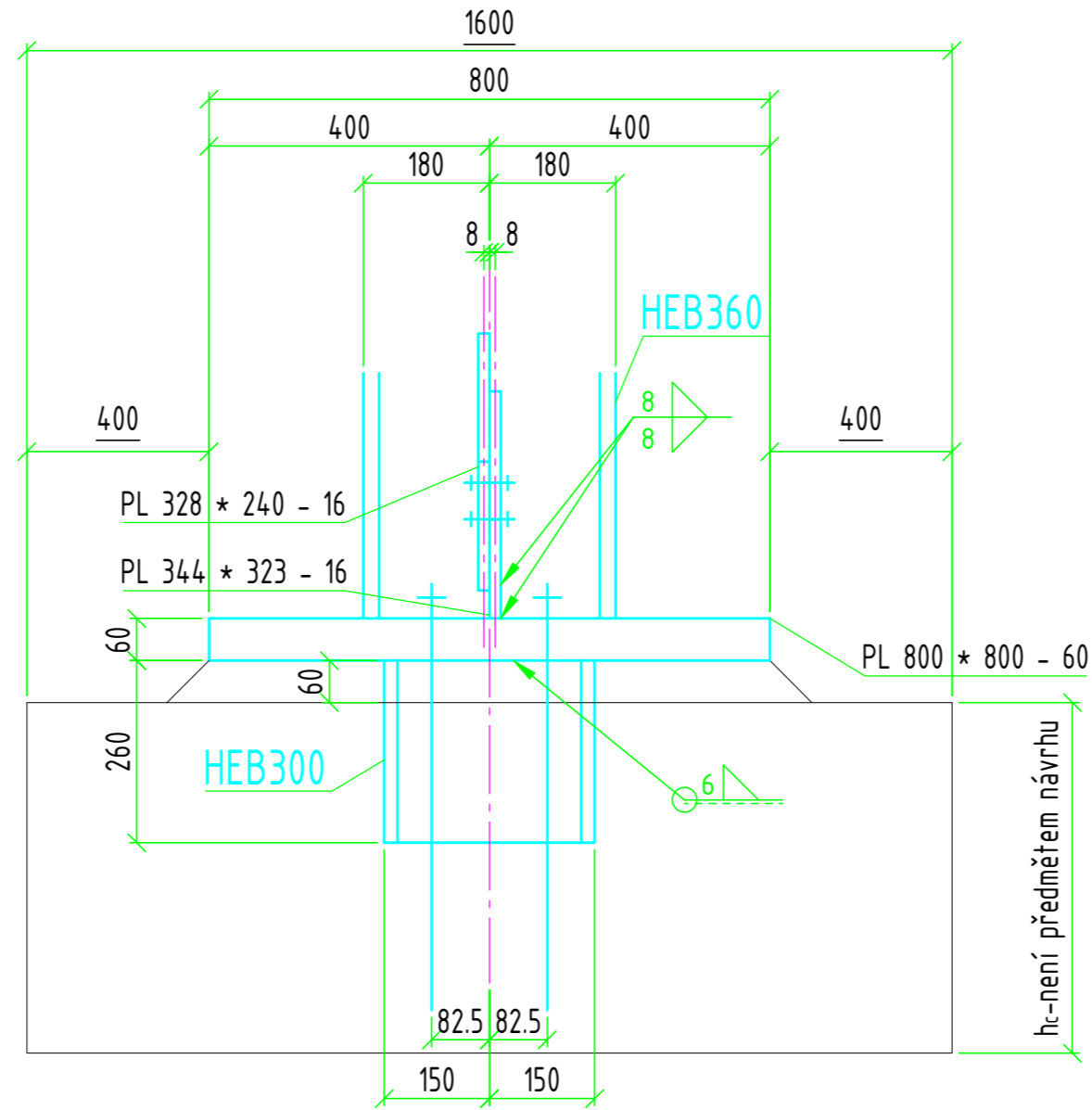
Ocel S235J2
 Šrouby 10.9
 Beton C25/30
 Třída provedení: EXC2
 ±0,000 = 894,00 m.n.m. B.p.v.

SPECIALIZACE	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	
POZEMNÍ STAVBY	K134 ČVUT	Adam Říha	
ROČNÍK	PŘEDMĚT		
4. ROČNÍK, 8. SEMESTR	134BAPC		
Název:	Výkres detailů 1-3		
JMÉNO VEDOUCÍHO B.P.	Ing. BŘETISLAV ŽIDLICKÝ, Ph.D.		FORMÁT A2
			MĚŘÍTKO 1:10
			ČÍSLO VÝKRESU 2

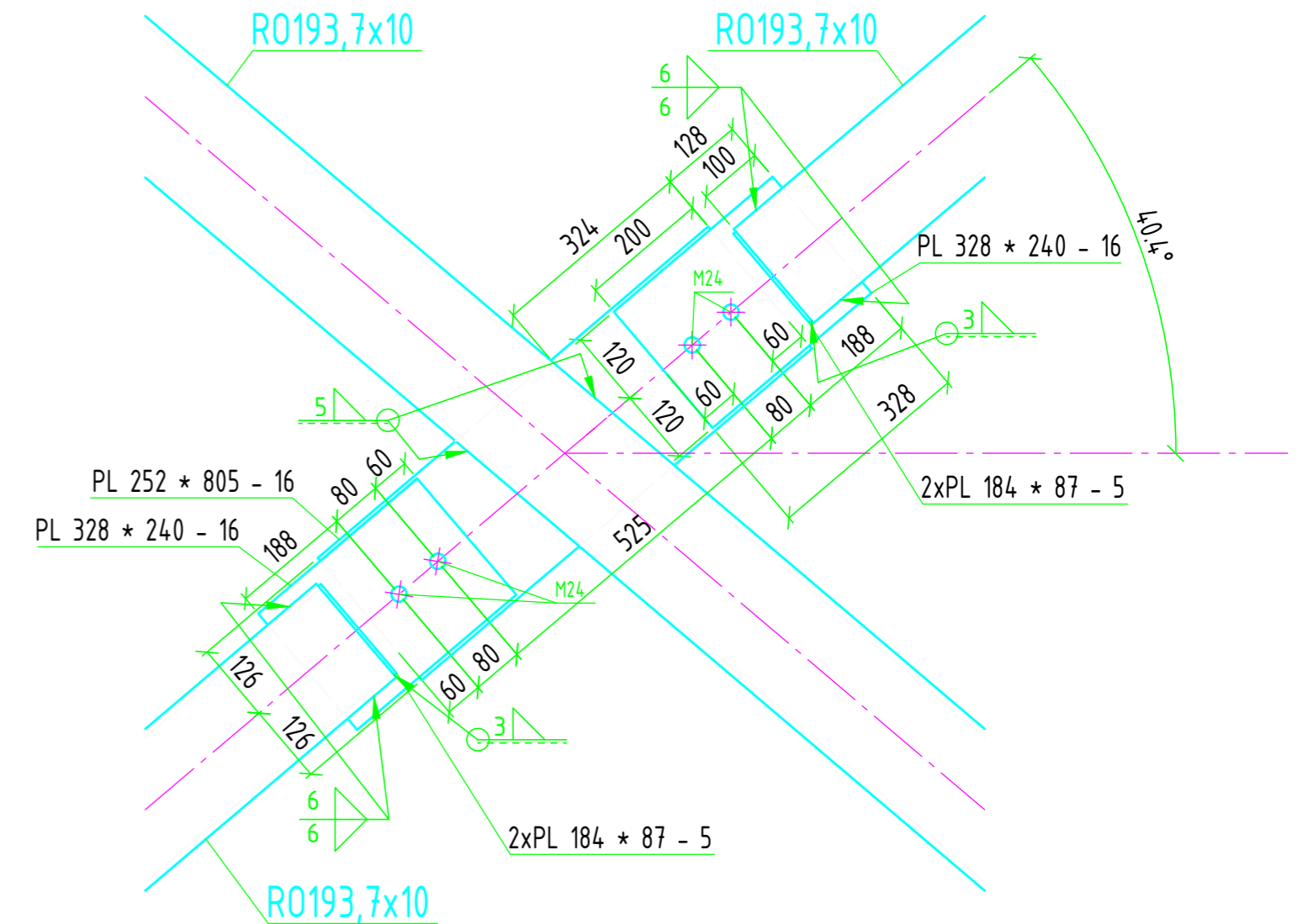
DET1: Kloubová patka, přípoj svislého ztužidla



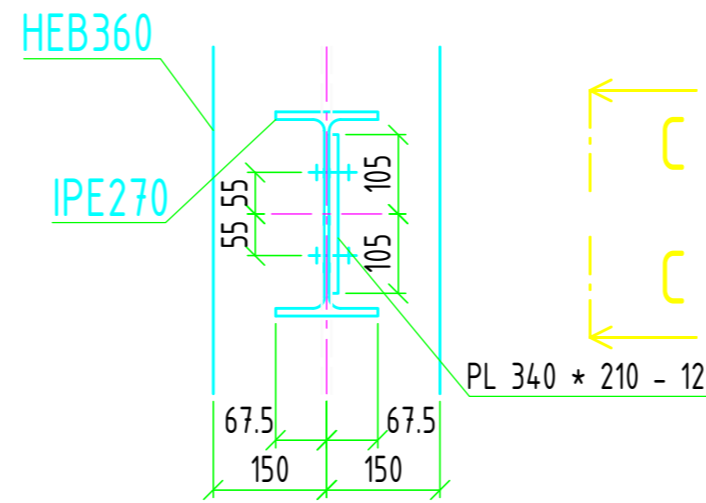
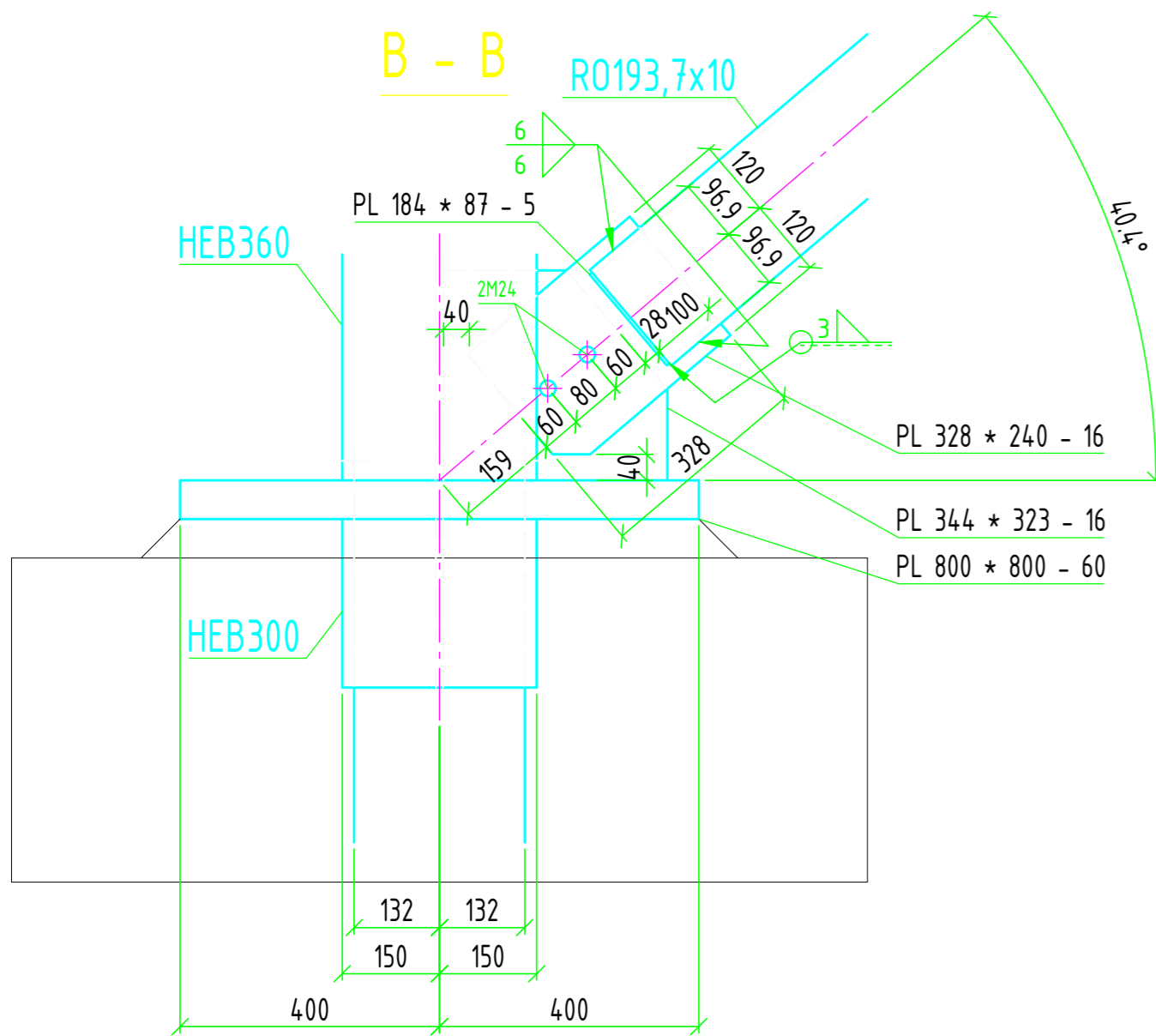
A - A



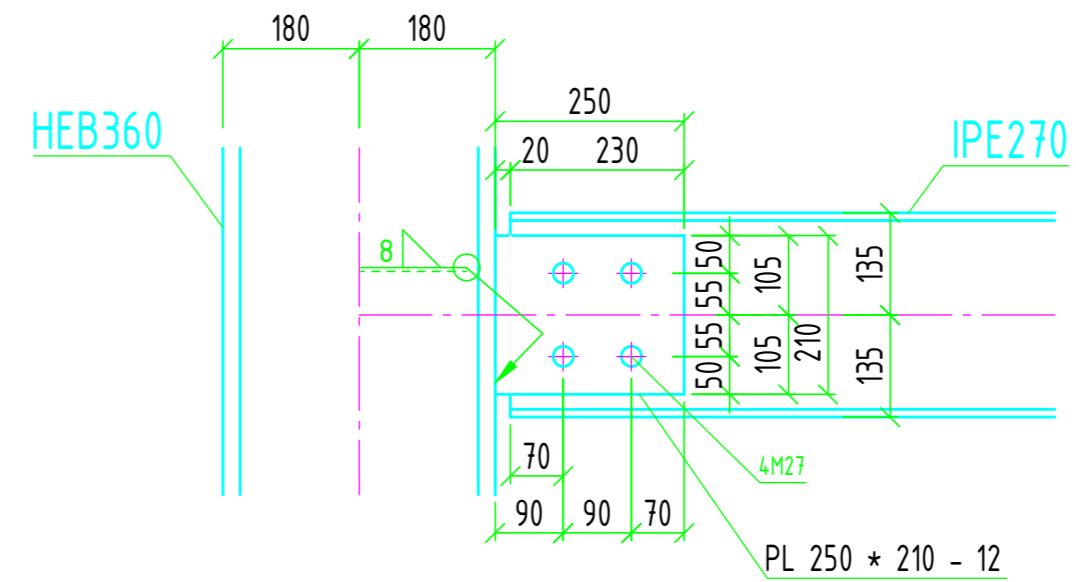
DET3: Přípoj svislých ztužidel



DET2: Přípoj horizontálních prutů IPE



C - C



Ocel S235J2
 Šrouby 10.9
 Beton C25/30
 Třída provedení: EXC2
 ±0,000 = 894,00 m.n.m. B.p.v.

SPECIALIZACE	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA
POZEMNÍ STAVBY	K134 ČVUT	
ROČNÍK	PŘEDMĚT	Adam Říha
4. ROČNÍK, 8. SEMESTR	134BAPC	

Název:
 Ukázka podoby výkresu určeného pro další automatizaci
 Auto. přiřazení odkazů a položek, souvisejících výkresů, rozpisky apod.

JMÉNO VEDOUCÍHO B.P.
 Ing. BŘETISLAV ŽIDLICKÝ, Ph.D.

FORMÁT	A2
MĚŘÍTKO	1:10
ČÍSLO VÝKRESU	3

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

TECHNICKÁ ZPRÁVA

2024

Autor práce:

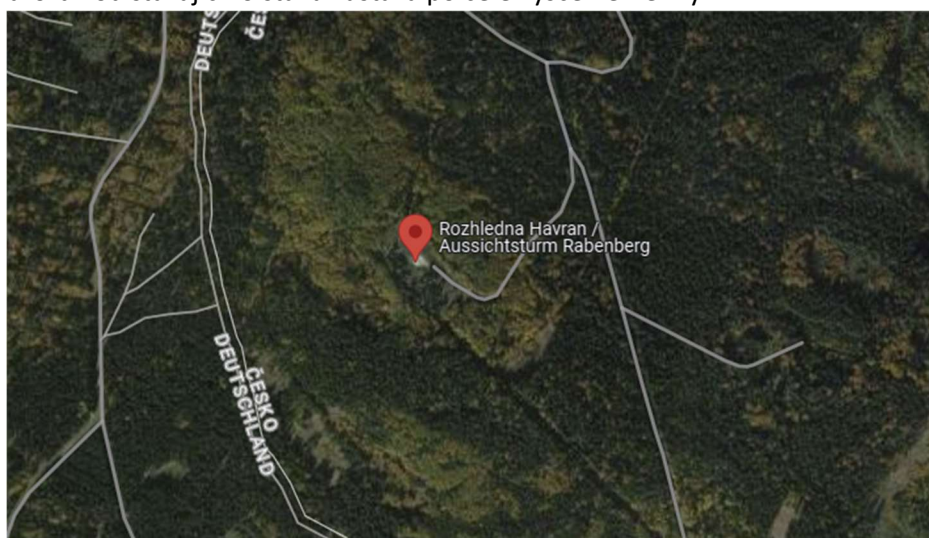
Adam Říha

Vedoucí práce:

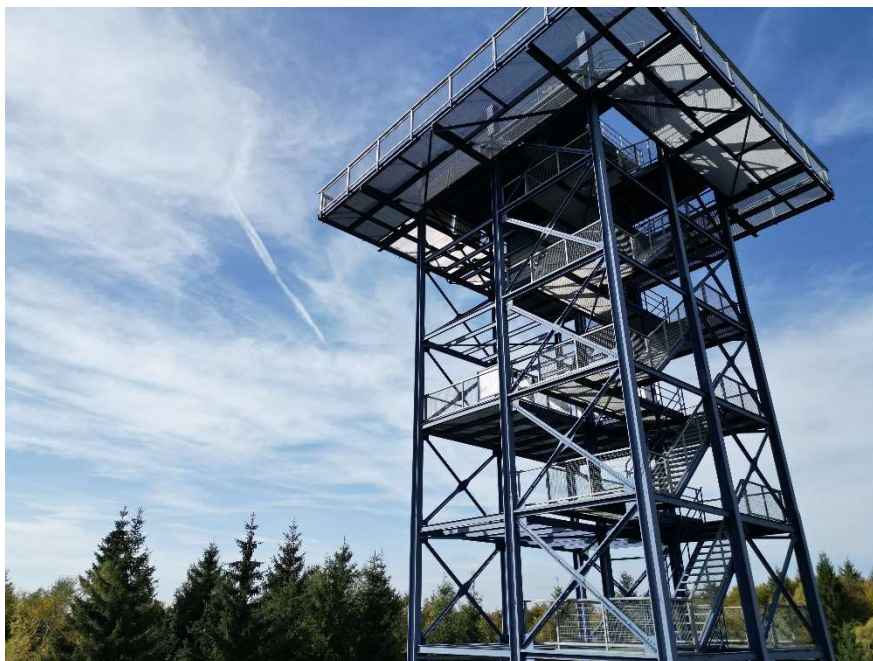
Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.

1. Základní informace

Předmětem práce je návrh hlavní nosné konstrukce modifikované ocelové rozhledny „Havran“. Jedná se o, v porovnání s typickými rozhlednami, relativně masivní konstrukci o 10 podlažích se třemi vyhlídkovými podlažími a vyhlídkovým ochozem. Rozhledna se nachází na české straně hranice mezi Českou republikou a Německem (obr. 1.1) v nadmořské výšce (u paty) přibližně 894 m. Dispozice je typově shodná se stávajícím stavem rozhledny s rozdílem, že například na vrcholu rozhledny není uvažován vysílač nebo že průřez sloupů narozdíl od stávajícího stavu zůstává po celé výšce neměnný.



Obr. 1.1 Lokalita rozhledny



Obr. 1.2 Skutečná stavba – Rozhledna Havran – fotografie pořízeny dronem DJI



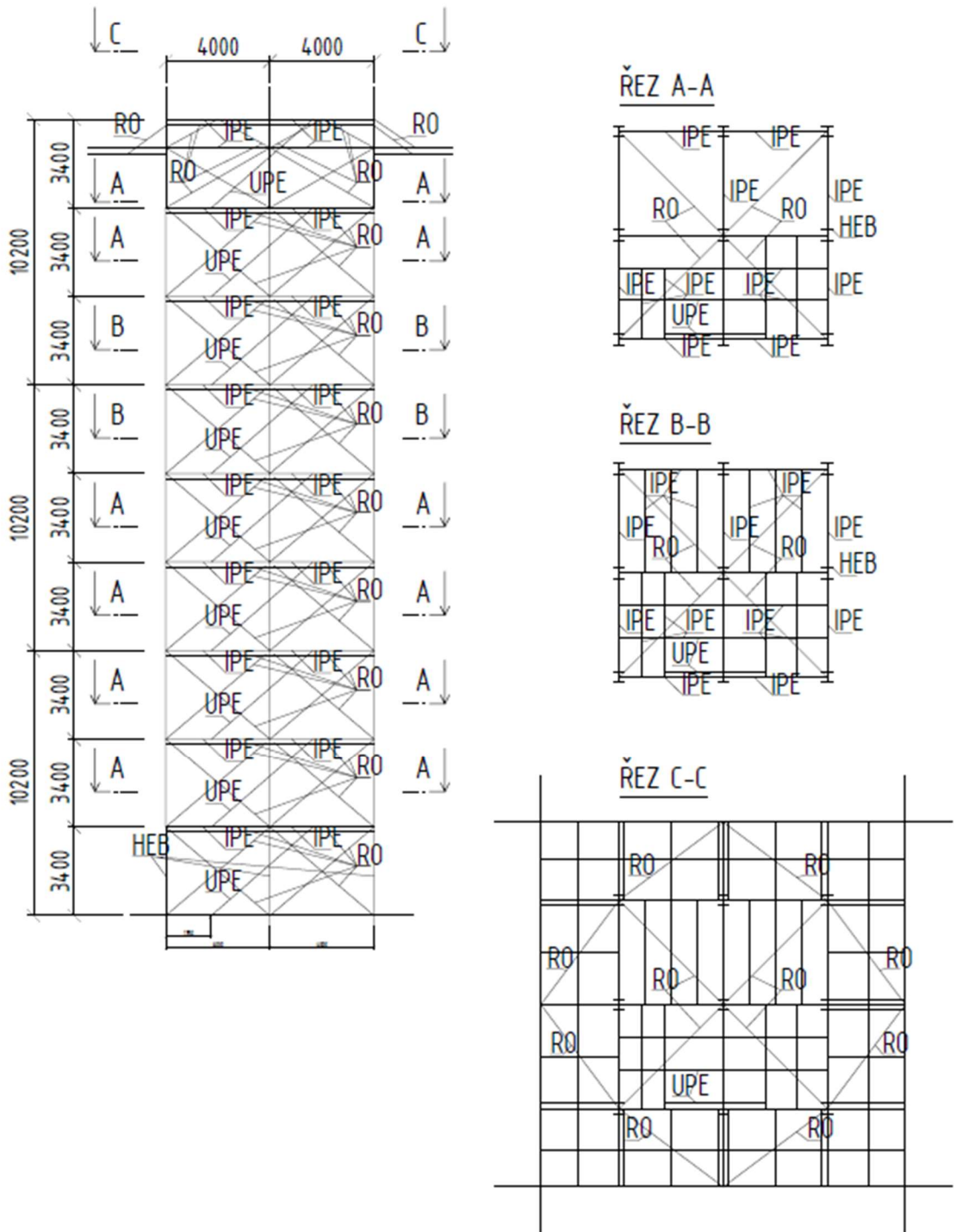
Obr. 1.3, 1.4 Skutečná stavba – Rozhledna Havran – fotografie pořízeny dronem DJI

2. Dispozice konstrukce

Dispozice rozhledny je pravidelná. Sestává z 9 hlavních sloupů po výšce neměnného průřezu, které přenášejí veškeré zatížení jednotlivých podlaží. Jejich osová vzdálenost je v obou směrech 4m. Jednotlivá podlaží jsou pravidelná (s výjimkou vyhlídkových podlaží) s jednotnou konstrukční výškou 3,4m. Vyhlídková podlaží se liší podlahovou plochou, jsou přístupná ve větší míře – tudíž dochází k přidání vodorovných prvků v rámci těchto podlaží.

Hlavní nosné prvky jsou již zmíněné sloupy, nárožníky umístěné v rozích. Nárožníky jsou uvažovány průřezu HEB. Horizontální prvky jsou tvořeny profily IPE o různých rozměrech. Konzoly ochozu jsou opět tvořeny profily HEB. Táhla a ztužidla jsou tvořeny profily o průřezu RO (TR). Schodnice jsou tvořeny profily UPE orientovány zády k sobě. Dimenze jednotlivých prvků jsou pro první iteraci uvažovány shodné anebo alespoň přibližné s aktuálním stavem reálné konstrukce. V rámci výpočtu budou v případech nevyhovění iterativně upraveny dle potřeby.

Prostorová tuhost konstrukce je zajištěna její masivností a roztečí mezi jednotlivými sloupy, jež umožňuje přenos momentových sil. Dispozice navrhovaného stavu je osově znázorněna na obr. 1.5.



Obr. 1.5. Dispozice hlavní nosné konstrukce

3. Materiál a třída provedení

Prvky ocelové konstrukce jsou navrženy z oceli S235J2, šrouby jsou uvažovány jakosti 10.2 a třída betonu pro základové patky C25/30.

EXC je stanovena dle ČSN EN 1993-1-1 a informacích uvedených v ČSN EN 1990.

4. Povrchová úprava, ochrana proti korozi

Konstrukce je opatřena žárovým pozinkováním, odtok srážkové vody a kondenzátu je zajištěn odtokovými vložkami a štěrkovým zásypem patek u kotvení sloupů.

5. Montáž ocelové konstrukce

Montáž bude probíhat dle montážního schématu – není vyhotoven pro účely této BP. Dílce budou dopraveny po pozemní komunikaci, maximální délka dílce je 12 m. V případě nutnosti/nepřístupnosti terénu bude využita pro dopravu helikoptéra (např. od firmy TECHMONT, která tento způsob dopravy zprostředkovává). Za dodržení předepsaných postupů při montáži odpovídá příslušná realizační firma.

6. Normy a literatura

ČSN EN 1993-1-1 Změna A1, *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), 2016.

ČSN EN 1990, *Eurokód: zásady navrhování*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), 2021.

ČSN 73 4130, *Schodiště a šikmé rampy – Základní požadavky*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), 2010.

ČSN EN 1991-1-1, *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*, Český normalizační institut (ČNI), 2004.

ČSN EN 1991-1-4, *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), 2020.

ČSN EN 1993-3-1, *Eurokód 3: navrhování ocelových konstrukcí – Část 3-1: Stožáry a komíny – Stožáry*, Český normalizační institut (ČNI), 2008.

ČSN EN 1993-1-1, *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*, Český normalizační institut (ČNI), 2006.

ČSN EN 1993-1-3, *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily*, Český normalizační institut (ČNI), 2008.

ČSN EN 1993-1-8, *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků*, Český normalizační institut (ČNI), 2006.

ČSN 73 1401, *Navrhování ocelových konstrukcí*, Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, 1998.

7. Použitý software

Autodesk AutoCAD Lt 2022

Dlubal RFEM 5.33

Microsoft Word

Microsoft Excel

Microsoft PowerPoint

DJI Mimo

Adobe Premiere Pro 2024