



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

# ZPRACOVÁNÍ NÁVRHU KONSTRUKCE ACC – VZDUCHOVÝ CHLADIČ HORKÉ PÁRY S VYUŽITÍM METODIKY BIM

DESIGN OF A TECHNOLOGICAL STRUCTURE WITH USE OF BIM METHODOLOGY

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Denisa Brodecká

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Vild, Ph.D.

BRNO 2024



# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav kovových a dřevěných konstrukcí  
Studentka: **Bc. Denisa Brodecká**  
Vedoucí práce: **Ing. Martin Vild, Ph.D.**  
Akademický rok: 2023/24  
Studijní program: N0732A260026 Stavební inženýrství – konstrukce a dopravní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **Zpracování návrhu konstrukce ACC – Vzduchový chladič horké páry s využitím metodiky BIM**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Navrhnete podpurnou ocelovou konstrukci vzduchového chladiče horké páry vč. vyšetření vlastních frekvencí – vlastních tvarů. Součástí práce bude také vytvoření jeho digitálního konstrukčního modelu (DiMS). Tento Digitální model stavby bude sloužit k vytvoření navazující 2D výkresové dokumentace a výkazu materiálu. Výstupem bude také model IFC pro potenciální komunikaci mezi účastníky projektu v rámci Společného datového prostředí (CDE). Součástí návrhu není návrh parovodu, parní komory, trubkových svazků a veškerých technologických potrubí.

Popis procesu:

Horká pára je od turbíny vedena parovodem do parní komory. Do stěny parní komory jsou přivařeny jednotlivé deskové výměníky trubkových svazků. Vzhledem k nutnosti zajištění teplotní dilatace a pohybů jsou deskové výměníky ve 4 bodech kluzně uloženy na podpurnou konstrukci tvaru A. Pevným bodem je sedlo parní komory v krajní vazbě A-konstrukce. Tento bod přenáší jednak vnější zatížení od parovodu a dále reakce od tření při dilatačním pohybu deskových výměníků. Součinitel tření nerez-nerez uvažujte  $\mu = 0,15$ . Pára procházející trubkovými svazky je rovnoměrně ochlazována pomocí dvojice vrtulí, jejichž rotace zajišťuje rovnoměrné proudění vzduchu skrz výměníky, a tedy ochlazování a následnou kondenzaci páry. Nebezpečné otáčky jsou v pásmech 5 Hz a 11-16 Hz. V těchto frekvencích by se neměly nacházet významné vlastní tvary konstrukce, aby konstrukce nerezonovala. Obvodové stěny chrání chladiče před nekontrolovatelným prouděním vzduchu od větru. Jsou oplášťeny trapézovým plechem.

Pozn.: Technologie je vybavena sekundárními potrubími, která byla vyjmuta z rozsahu řešeného projektu.

Zatížení:

A/ Stálé - Vlastní tíha konstrukce, pokrytí, zábradlí

B/ Proměnné

B.1/ Technologie:

1/ Deskové výměníky (trubkové svazky) vč. náplně –  $m = 9,5 \text{ t/1ks}$ , celkem 16 ks

2/ Hmotnost parní komory –  $m = 420 \text{ kg/m}$

3/ Zatížení od parovodu

4/ Hmotnost ventilátorové jednotky (vč. vrtule, motoru a převodovky) –  $m = 7,0 \text{ t}$

B.2/ Užité -  $q = 2,5 \text{ kN/m}^2$  (pochozí plošiny),  $q = 0,75 \text{ kN/m}^2$  (krycí plech kolem vrtule)

B.3/ Sníh - Sněhová oblast II (dle EC)

B.4/ Vítr - Větrová oblast II, kategorie terénu II (dle EC)

B.5/ Kladkostroj - Nosnost drážky – 3t, hmotnost kočky 150 kg

### **Cíle a výstupy diplomové práce:**

Návrh ocelových prvků a statický posudek nosné ocelové konstrukce, inspekce vlastních tvarů pro frekvence blízké frekvencím vrtule ventilátoru. Návrh styčníků včetně kotvení do železobetonových patek (předem zabetonované kotvení). Postupujte dle platných norem (Eurokódů). Nedílnou součástí bude 3D DiMS model zpracovaný v 3D CAD systému s výstupem ve formátu open IFC.

### **Seznam doporučené literatury a podklady:**

ČSN EN 1990, ČSN EN 1991-1-1, ČSN EN 1991-1-3, ČSN EN 1991-1-4, ČSN EN 1993-1-1, ČSN EN 1993-1-4, ČSN EN 1993-1-8

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 3. 2023

L. S.

---

doc. Ing. Milan Šmak, Ph.D.  
vedoucí ústavu

---

Ing. Martin Vild, Ph.D.  
vedoucí práce

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.  
děkan

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem podpůrně ocelové konstrukce vzduchového chladiče horké páry. Součástí této práce je také modální analýza konstrukce a následná inspekce vlastních tvarů pro vlastní frekvence blízké frekvencím ventilátoru, za účelem posouzení rezonance. Práce obsahuje návrh a posouzení prvků ve výpočetním programu, včetně ručních statických posudků vybraných prvků. V této práci jsou rovněž řešeny i vybrané spoje. Pět styčníků řešených pomocí Idea Statica, a z toho pět ručních posudků dílčích přípojů, včetně návrhu a řešení základové patky. Součástí řešení práce je vytvoření digitálního konstrukčního modelu, včetně výkresové dokumentace. K tvorbě DiMS byl použit program Tekla Structures.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Ocelová konstrukce, informační model budovy (BIM), Tekla Structures, IFC, rezonance, modální analýza, jeřábová dráha, základová patka

## ABSTRACT

Diploma thesis deals with the design of load-bearing steel structure for hot vapor air cooler. Part of this diploma thesis is also modal analysis of the construction and subsequent inspection of eigenmodes for eigen frequencies close to frequencies of the ventilator, to assess the resonance. The thesis contains of the design and check of structure elements in the computational software, including hand-done static calculation of chosen elements. Five joints are solved using Idea Statica and five hand-done checks of sub-connections, including design and solution of foundation pad. Next part of the outcome of this thesis is creation of digital construction model, including drawings. The Tekla Structures software was used to create DiMS.

## KEYWORDS

Steel structure, building information modeling (BIM), Tekla Structures, IFC, resonance, modal analysis, crane runway, foundation pad

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BRODECKÁ, Denisa. *Zpracování návrhu konstrukce ACC – Vzduchový chladič horké páry s využitím metodiky BIM*. Brno, 2024. 30 s., 370 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí Ing. Martin Vild, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Zpracování návrhu konstrukce ACC – Vzduchový chladič horké páry s využitím metodiky BIM* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2024

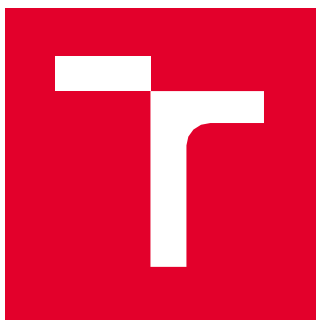
---

Bc. Denisa Brodecká  
autor

## **Poděkování**

V první řadě bych ráda poděkovala Ing. Martinu Vildovi, Ph.D. za ochotu, odborné vedení této diplomové práce a možnost pravidelné konzultace s řadou věcných připomínek. Další mé poděkování patří Ing. Tomáši Hrbáčkovi, a to za poskytnutí cenných rad a připomínek, včetně pomoci při pochopení funkce konstrukce jako celku, i její dílčích částí. Speciální poděkování patří mé rodině a nejbližším, kteří mě celou dobu podporovali a umožnili mi se této práci věnovat. Děkuji také Ing. Kristíne Petrášovej, která mi značně pomohla se stylistickou úpravou této diplomové práce.





# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## I. FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## II. ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

# TECHNICKÁ ZPRÁVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Denisa Brodecká

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Vild, Ph.D.

BRNO 2024



<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>5</b>
1.1	Představení konstrukce..... Chyba! Záložka není definována.	
1.2	Cíl práce..... Chyba! Záložka není definována.	
<b>2</b>	<b>POPIS OBJEKTU .....</b>	<b>5</b>
2.1	Geometrie .....	5
2.2	Použitý materiál.....	5
2.3	Třída následků .....	6
2.4	Princip procesu .....	5
<b>3</b>	<b>PŘEDPOKLADY PRO NÁVRH NOSNÉ KONSTRUKCE.....</b>	<b>7</b>
3.1	Zatěžovací stavy.....	7
3.2	Kombinace zatížení .....	8
<b>4</b>	<b>POPIS KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ.....</b>	<b>8</b>
4.1	Podpůrné konstrukce.....	8
4.2	Konstrukce A .....	9
4.3	Obvodové stěny.....	9
4.4	Podpůrná konstrukce pro parovod .....	9
<b>5</b>	<b>POPIS STATICKÉ ANALÝZY .....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>DOPRAVA A MONTÁŽ .....</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>POVRCHOVÁ ÚPRAVA A ÚDRŽBA KONSTRUKCE.....</b>	<b>10</b>
7.1	Ochrana konstrukce .....	10
7.2	Povrchová úprava svarů .....	10
7.3	Údržba konstrukce .....	11
<b>8</b>	<b>VÝKAZ MATERIÁLŮ.....</b>	<b>11</b>
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>11</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>12</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>13</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>15</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>16</b>
<b>14</b>	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>21</b>



# 1 Úvod

Obsahem této diplomové práce je návrh ocelové podpůrné konstrukce pro chladič horké páry, o výšce 21,330 m, půdorysných rozměrech 15,100 m a 30,130 m. K provedení návrhu konstrukce bude využita metodika BIM, a to pomocí DiMS modelu k vytvoření výkresové dokumentace.

## 1.1 Princip procesu

Do parní komory je pomocí parovodu přivedena horká pára. Na stěny parní komory jsou přivařeny jednotlivé deskové výměníky neboli deskové trubkové svazky. Z důvodu teplotní dilatace a pohybů musí být deskové výměníky kluzně uloženy na nerezové destičky ve čtyřech bodech na podpůrnou konstrukci tvaru A. Přenos vnějšího zatížení od parovodu a reakce od tření při pohybu deskových výměníků je zajištěna pomocí pevného bodu, kterým je sedlo parní komory v krajní vazbě konstrukce „A“.

Pára proudící skrz výměníky je ochlazována pomocí dvojice vrtulí ventilátoru, které zajišťují rovnoměrné proudění vzduchu skrz výměníky, což ochlazuje horkou páru a vede k následné kondenzaci. K zajištění před nekontrolovatelným prouděním větru slouží obvodové stěny, které jsou opláštěny trapézovým plechem TR50/250.

## 2 Popis objektu

### 2.1 Geometrie

Návrh konstrukce byl proveden v závislosti na zadaných parametrech vrtule ventilátoru a rozměrech deskových výměníků, včetně parovodu. Statické schéma je uvedeno v příloze A – Ruční statický výpočet, kapitola 1. Další podrobnější informace o geometrii jsou k nalezení v příloze D – Výkresová dokumentace.

### 2.2 Použitý materiál

Pro založení konstrukce byly navrženy patky betonu třídy C20/25.  
Pro spoje byl použit materiál pevnostní třídy 8.8.

Stanovení přídatného označení (nárazové práce) provedeno dle [8] ČSN EN 1993-1-10 Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-10: Houževnatost materiálu a vlastnosti napříč tloušťkou

Návrh proveden pro nosník lávky ventilátoru IPE 300

$$M_{ed} = 84,96 \text{ kNm}$$

$$W_{y,el} = 5,57 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

$$t_f = t = 10,7 \text{ mm}$$

Maximální normálové napětí:

$$\sigma_{ed} = \frac{M_{ed}}{W_{y,el}} = \frac{84,96 \times 10^3}{(5,57 \times 10^{-4})} = 152,531 \text{ MPa}$$

Největší přípustné tloušťky v závislosti na třech úrovních napětí:

$$\sigma_{ed} = 0,75 \times f_{y(t)}$$

$$\sigma_{ed} = 0,50 \times f_{y(t)}$$

$$\sigma_{ed} = 0,25 \times f_{y(t)}$$

$$f_{y(t)} = f_y - 0,25 \times \frac{t}{t_0} = 235 - 0,25 \times \frac{10,7}{1} = 232,325 \text{ MPa}$$

$$t_0 = 1 \text{ mm}$$

$$\frac{\sigma_{ed}}{f_{y(t)}} = 0,656 \rightarrow \sigma_{ed} = 0,66 \times f_{y(t)}$$

Určení referenční teploty  $T_{ed}$  v potenciálním místě trhliny

$$T_{ed} = T_{md} + \Delta T_r + \Delta T_\sigma + \Delta T_R + \Delta T_\varepsilon + \Delta T_{\varepsilon cf}$$

$$T_{md} = -0,35 \text{ °C} \quad \text{nejnižší teplota vzduchu se specifikovanou dobou návratu, doporučená hodnota pro ČR, viz [9] EN 1991-1-5}$$

$$\Delta T_r = -5 \text{ °C} \quad \text{vliv radiace, doporučená hodnota, viz [9] EN 1991-1-5}$$

$$\Delta T_\sigma = 0 \text{ °C} \quad \text{korekce pro napětí a mez kluzu materiálu, imperfekcí trhliny a pro tvar průřezu prvku, doporučená hodnota}$$

$$\Delta T_R = 0 \text{ °C} \quad \text{požadavek bezpečnosti, je-li třeba, kvůli různé úrovni spolehlivosti pro různá použití, doporučená hodnota}$$

$$\Delta T_\varepsilon = 0 \text{ °C} \quad \text{korekce pro jinou rychlost růstu poměrné deformace než referenční rychlost poměrné deformace, doporučená hodnota}$$

$$\Delta T_{\varepsilon cf} = 0 \text{ °C} \quad \text{korekce pro stupeň tvarování za studena  $\varepsilon_{cf}$ , doporučená hodnota}$$

$$T_{ed} = -40 \text{ °C}$$

Stanovení přídatného označení, viz. "Tabulka 2.1 - Největší přípustné tloušťky části v mm", ve výše zmíněné normě.

$$\sigma_{ed} = 0,66 \times f_{y(t)}$$

$$T_{ed} = -40 \text{ °C}$$

→ S235 JR

## 2.3 Třída následků

Technické požadavky na ocelové konstrukce Provedení dle [9] EN 1993-1-1:2005/A1:2014, Příloha C

1. Třída následků CC2 → střední následky s ohledem na ztráty lidských životů, značné ekonomické/životní prostřední
2. Výrobní kategorie PC1 – svařované dílce vyrobené z výrobků z nižší pevnostní třídy oceli než S355, nesvařované dílce jakékoli třídy oceli
3. Kategorie použitelnosti SC1 – Konstrukce navržené na kvazistatické zatížení, nízkou seismickou aktivitou

→ Výsledná třída provedení EXC2

## 3 Předpoklady pro návrh nosné konstrukce

### 3.1 Zatěžovací stavy

#### 3.1.1 Zatížení stálé

- ZS1 – Vlastní tíha

Vlastní tíha je počítána programem automaticky na základě použitých průřezů a objemové hmotnosti oceli.

- ZS2 – Ostatní stálé zatížení
  - Pororošt 0,348 kN/m<sup>2</sup>
  - Slzičkový plech 0,328 kN/m<sup>2</sup>
  - Krycí plech 0,147 kN/m<sup>2</sup>
- ZS3 – Ostatní stálé – zábradlí 0,196 kN/m

#### 3.1.2 Zatížení proměnné

- ZS4 – Užiténé zatížení
  - Pochozí plošiny 2,5 kN/m<sup>2</sup>
  - Krycí plech kolem vrtule 0,75 kN/m<sup>2</sup>
- ZS5 – Sníh
  - Zatížení na pochozí plechy 0,96 kN/m<sup>2</sup>
  - Návěj z konstrukce „A“ 2,71 kN/m
- ZS6 – Vítr
  - Plošné zatížení na stěny
    - Pro oblast A 2,341 kN/m<sup>2</sup>
    - Pro oblast B 2,007 kN/m<sup>2</sup>
    - Pro oblast C 1,561 kN/m<sup>2</sup>
  - Zatížení na slzičkový plech -1,298 kN/m<sup>2</sup>
    - Pro oblast H 0,624 kN/m<sup>2</sup>
    - Pro oblast I -0,134 kN/m<sup>2</sup>
    - Pro oblast J -0,201 kN/m<sup>2</sup>
  - Límec ventilátoru 3,017 kN/m
  - Zatížení od parovodu
    - V místě sedla parní komory
 

F <sub>x</sub>	± 20 kN
F <sub>y</sub>	± 15 kN
F <sub>z</sub>	-60 kN
    - V místě podepření parovodu
 

F <sub>x</sub>	± 10 kN
F <sub>y</sub>	± 10 kN
F <sub>z</sub>	-70 kN

- ZS7 – Technologie
  - Deskové výměníky
    - Náhradní síla pro 1 výměník 93,195 kN
  - Ventilátorová jednotka 68,672 kN
  - Límeč ventilátoru 1,225 kN/m
  - Kladkostroj
    - Svislá síla 34,785 kN
    - Vodorovná síla 1,739 kN
- ZS8 – Tření od deskových výměníků
  - Třecí síla na 1 destičku 6,99 kN
- ZS9 – Teplota
  - Rovnoměrná složka teploty ochlazení -40 °C
  - Rovnoměrná složka teploty oteplení 30 °C

Veškeré schematické obrázky týkající se stálého i proměnného zatížení jsou k dispozici v Příloze A – Ruční statický výpočet, kapitola 2.

## 3.2 Kombinace zatížení

Kombinace pro mezní stav únosnosti dle [13] ČSN EN 1990, rovnice 6.10:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Kombinace pro mezní stavy použitelnosti dle [13] ČSN EN 1990, rovnice 6.10:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

# 4 Popis konstrukčních prvků

## 4.1 Podpůrné konstrukce

Spodní podpůrná konstrukce je tvořena sloupy profilu HEB 300. Ve výšce 8,35 m se nachází první výšková úroveň, ve které je umístěna revizní lávka. Vstup k revizní lávce je zajištěn pomocí žebříku. Následuje výšková úroveň 10,33 m, ve které je uložena konstrukce „A“, včetně pochozích a krycích plechů. Součástí této výškové úrovně je lávka, na které jsou usazeny vrtule ventilátoru.

Rozteče sloupů jsou v příčném směru 11,30 m a v podélném směru 11,63 m. Sloupy spolu s příčným nosníkem tvoří rám, na který je kloubově připojen podélný nosník. Sloupy jsou vyztuženy v podélném i příčném směru, a to za pomoci kruhových trubek CHS 244,5x10. Kolmo na měkkou osu průřezu jsou sloupy vyztuženy i v polovině výšky, a to z důvodu zkrácení vzpěrné délky sloupu. Nosné sloupy jsou kloubově uloženy. V úrovni 10,33 m jsou uloženy hlavní nosníky, na kterých je uložena konstrukce „A“, a zároveň tvoří hlavní nosní směr pro pochozí rošty.

Příčná vazba je tvořena nosníkem s převislými konci, na kterých je uložené sekundární potrubí, které však nebylo zahrnuto do řešení této diplomové práce.

Ventilátor je osazen na skupinu nosníků IPE 300, které jsou součástí lávky, na které je současně i pochozí rošt typu XSP 340-34/38-3 sloužící k revizi. Dle výrobce musí být splněno maximální rozpětí podpor 1,2 m. Kolem límce ventilátoru jsou vytvořeny nosníky profilu HEB 200 kopírující jeho tvar, na kterých je uložena slzičkový plech typu PLT 6/8. Zároveň na úrovni 10,33 m je zajištěn přístup a plošinu zvenku, a to z obou stran. Okolo výduchu ventilátoru je umístěn krycí plech PL 4 a kopíruje tvar laminátového límce.

Celá konstrukce je zajištěna pomocí ztužidel jak v podélném, tak i v příčném směru v úrovni 8,35 m a 10,33 m. Profil ztužidel CHS závisí od velikosti zatížení, jednotlivé profily ztužidel jsou uvedeny ve výkresech.

## 4.2 Konstrukce A

Jedná se o velmi tuhou svařenou konstrukci ve tvaru A, navrženou z profilu HEB 240, která je ve své rovině ztužena pomocí trubek CHS 114,3x4. Pro zajištění vybočení z roviny slouží vrcholová vaznice HEA 160 a ztužení pomocí trubek CHS 114,3x4 v polovině rozpětí. Zároveň je první a poslední krajní vazba více vyztužena, což brání překlopení konstrukce.

V polovině výšky konstrukce A je v rovině umístěn nosník HEA 160, na kterém je podvěšena jeřábová dráha s nosností 3,2 tuny. Jeřábová dráha přesahuje i vně konstrukce, je pojižděná kladkostrojem a ve vnější části je zajištěna pomocí skupiny ztužidel stejné dimenze jako při ztužení konstrukce „A“.

## 4.3 Obvodové stěny

Jak již bylo zmíněno, obvodové stěny brání nežádoucím účinkům proudění větru. Stěnový systém je po obvodě tvořen sloupky profilu IPE 240. Z důvodu většího namáhání jsou vnější a střední sloup v porovnání se zbytkem sloupů tvořících obvodové stěny jiné v profilu, a to HEB 240.

Stěny jsou opláštěny trapézovým plechem TR50/250, který leží na paždicích. Paždíky jsou rozmístěny ve výšce 2,2 m. V podélném směru je stěna vyztužena vodorovným výztužným nosníkem, který brání nadměrným vodorovným průhybům. Jedná se o příhradovou konstrukci tvořenou svislicemi CHS 139,7x8, horním a dolním pasem HEB 200, diagonály CHS 139,7x8 a stojkami CHS 88,9x5. V příčném směru je tuhost stěny zajištěna soustavou nosníků HEA 240. Rohy stěny jsou zajištěny pomocí vzpěrky průřezu CHS 139,7x6. Ke stěně je také připojen parovod, který je zajištěn skupinou trubek CHS 139,7x6.

## 4.4 Podpůrná konstrukce pro parovod

Podpěření parovodu je zajištěno konstrukcí čtyř sloupů, které jsou vyztužené diagonály CHS 88,9x5 a sloupy HEA 140. Tato konstrukce slouží k přenesení zatížení od parovodu do základu.

# 5 Popis statické analýzy

Výpočet byl proveden ve výpočetním programu studentské verze SCIA Engineer 22.0.32Bit. Software je založen na metodě konečných prvků a k výpočtu byl použit první řád lineární pružné analýzy pro vyhodnocení konstrukce, která byla vymodelována jako prostorový prutový model. Byla provedena lineární a modální analýza. Následně byly pruty posouzeny a optimalizovány dle platných EN.

Další použitý software:

- AutoCAD 2022
- PTC Mathcad Prime 9.0.0.0
- LTBeam N 1.0.3
- Microsoft Word
- Tekla Structures
- Idea Statica 23.1

## 6 Doprava a montáž

Rozměry největšího přepravního dílu nepřesahují standartní rozměry, které jsou legislativně povoleny, a tudíž se nejedná o nadrozměrnou přepravu. Nejdelší přepravovaný prvek je nosník o délce 13,13 m, o hmotnosti zhruba 1 600 kg.

Konstrukce bude kompletizována na staveništi dle montážní dokumentace.

Postup montáže bude probíhat zdola nahoru, a to v několika krocích. Prvním krokem montáže ocelové konstrukce je betonáž základových patek, poté na ně budou osazeny sloupy. Patky byly navrženy jako kloubové pomocí patního plechu a lepených kotev. Pod patním plechem je navržena smyková zarážka průřezu HEB 140, plech bude uložen na vrstvě podlití 50 mm. Následně budou namontovány nosníky a ztužidla dolní konstrukce, krokve, které jsou uloženy ve sklonu 60°, včetně ztužidel. Před montáží ztužidel krokví je zapotřebí spolehlivě podepřít nosníky krokví proti překlopení. Po montáži výše zmíněných prvků bude podvěšena jeřábová dráha na nosník, který je v polovině rozpětí konstrukce „A“. Následně budou osazeny sloupky obvodové stěny, smontována ztužidla obvodové stěny, montáž trapézového plechu, a nakonec osazena technologie.

## 7 Povrchová úprava a údržba konstrukce

### 7.1 Ochrana konstrukce

Jako způsob protikorozní ochrany navrhuji žárové zinkování a to dle [10] ČSN EN ISO 1473-1 Stanovení minimální tloušťky pro žárové zinkování.

1. Odhad stupně korozní agresivity  
CC4 – vysoká, jedná se o mírné pásmo, kde je atmosférické prostředí s vysokým stupněm znečištění, což odpovídá průmyslové oblasti, viz. "Tabulka 1 - Popis typických atmosférických prostředí s ohledem na odhad stupňů korozní agresivity" dle výše zmíněné normy
2. Kategorie životnosti  
Velmi dlouhá (VH)  $\geq 20$  let [10] ČSN EN ISO 1473-1, článek 7.1
3. Způsob nanesení Žárové zinkování ponorem  
Dle "Tabulka 2 - Životnost do první údržby pro vybrané zinkové povlaky v prostředích o různých stupních korozní agresivity".

Dle tabulky ve výše zmíněné normě je navržena minimální tloušťka 85  $\mu\text{m}$ . Tento návrh zajišťuje protikorozní ochranu do první údržby po dobu 20 let.

### 7.2 Povrchová úprava svarů

V blízkosti svarů musí být povrch konstrukce ochráněn tak, aby nezhoršil kvalitu prováděného svaru, a to v minimální vzdálenosti 0,15 m od svařovaného místa.

## 7.3 Údržba konstrukce

V průběhu užívání a celé životnosti konstrukce je za potřeby pravidelně udržovat a kontrolovat konstrukci oprávněnou osobou v pravidelných intervalech, a to minimálně jednou za 5 let.

## 8 Výkaz materiálů

Hmotnost byla určena za pomoci vytvořeného modelu v programu Tekla Structures, výsledná hodnota konstrukce je 119,76 T.

Položka	Průřez	Počet prvků [ks]	Celková hmotnost prvku
1	CHS 76.1x6.0	50	1,4 T
2	CHS 88.9x5	20	0,68 T
3	CHS 88,9x6,3	40	2,21 T
4	CHS 114,3x4	111	4,05 T
5	CHS 139,7x6	40	3,54 T
6	CHS 139,7x8	18	1,53 T
7	CHS 193,7x12,5	4	0,63 T
8	CHS 244,5x10	14	7,57 T
9	HEA 140	8	1,21 T
10	HEA 200	37	5,12 T
11	HEA 240	12	4,84 T
12	HEA 160	27	2,76 T
13	HEA 220	4	0,32 T
14	HEA 240	18	4,3 T
15	HEB 200	79	4,81 T
16	HEB 240	57	34,55 T
17	HEB 260	4	4,29 T
18	HEB 300	6	6,76 T
19	IPE 120	18	0,36 T
20	IPE 140	12	0,34 T
21	IPE 200	74	2,17 T
22	IPE 240	8	2,70 T
23	IPE 300	7	3,37 T
24	IPE 330	4	2,29 T
25	UPE 200	72	7,04 T
26	UPE 220	4	0,70 T
<b>Celkem</b>		738	119,76 T

## 9 Závěr

V této diplomové práci byla navržena ocelová podpůrná konstrukce pro chladič horké páry. Byla provedena modální analýza konstrukce, inspekce vlastních tvarů za účelem posouzení rezonance. K ověření a optimalizaci návrhu konstrukce byl použit výpočetní program, vybrané prvky byly posouzeny ručně. Konstrukce dle návrhu staticky vyhoví. Součástí práce je vyhotovená výkresová dokumentace, která byla vytvořena za pomoci DiMS modelu.

## 10 Seznam použitých zdrojů

- [1] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 1991-1-3, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. 06/2005.
- [2] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 1993-1-8, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků. 12/2006.
- [3] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 1991-1-4, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. 04/2007.
- [4] SVAZ STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE. ČSN EN ISO 14122-2, Bezpečnost strojních zařízení – Trvalé prostředky přístupu ke strojním zařízením – Část 2: Pracovní plošiny a lávky. 05/2017.
- [5] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN 73 1001, Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy. 06/1987.
- [6] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 1993-1-5, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-5: Boulení stěn. 02/2008.
- [7] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 1991-1-5, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou. 05/2005.
- [8] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 1993-1-10, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-10: Houževnatost materiálu a vlastnosti napříč tloušťkou. 12/2006.
- [9] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 1993-1-1, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. 12/2006.
- [10] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN ISO 1473-1, Zinkové povlaky – Směrnice a doporučení pro ochranu ocelových a litinových konstrukcí proti korozi – Část 1: Obecné zásady pro navrhování a odolnost proti korozi. 02/2018.
- [11] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 1993-6, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 6: Jeřábové dráhy. 09/2008.
- [12] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 1992-4, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 4: Navrhování kotvení do betonu. 11/2021.
- [13] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 1990, Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. 03/2004.
- [14] PILGR, Milan. Kovové konstrukce, Navrhování prvků ocelových konstrukcí. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019. ISBN 978-80-7623-018-7.
- [15] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 1998-1, Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení – Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby. 09/2006n. I.
- [16] SCIA ENGINEER. Validation of modal analysis: relative modal masses. Online. SCIA Engineer. © 2023.
- Dostupné z: [https://help.scia.net/17.1/en/sr/dynamic\\_analysis\\_troubleshooting/validation\\_modal\\_analysis\\_modal\\_masses.htm](https://help.scia.net/17.1/en/sr/dynamic_analysis_troubleshooting/validation_modal_analysis_modal_masses.htm). [cit. 2024-01-11].

## 11 Seznam obrázků

Obrázek č. 1 – Půdorys +8,350 m	1
Obrázek č. 2 – Půdorys +10,330 m	1
Obrázek č. 3 – Půdorys podpůrné lávky pro ventilátor	2
Obrázek č. 4 – Podélný směr – stěny	2
Obrázek č. 5 – Podélný směr- „A“	3
Obrázek č. 6 – Náhradní zatížení – pororošt	4
Obrázek č. 7 – Náhradní zatížení – slzičkový plech	4
Obrázek č. 8 – Náhradní zatížení – zábradlí	4
Obrázek č. 9 – Zatížení od parovodu	5
Obrázek č. 10 – Zatížení od ventilátoru	5
Obrázek č. 11 – Zatížení od límce ventilátoru	5
Obrázek č. 12 – Užité zatížení	6
Obrázek č. 13 – Tvarový součinitel zatížení sněhem	7
Obrázek č. 14 – Zatížení sněhem v modelu	7
Obrázek č. 15 – Rozdělení objektu po výšce	9
Obrázek č. 16 – Legenda pro volně stojící stěny	9
Obrázek č. 17 – Legenda pro volně stojící stěny – pro podélní směr	9
Obrázek č. 18 – Schéma zatížení větrem na stěny	10
Obrázek č. 19 – Proudění vzduchu kolem přístřešku	11
Obrázek č. 20 – Legenda výsledného půdorysu	11
Obrázek č. 21 – Zatížení větrem na slzičkový plech	11
Obrázek č. 22 – Legenda pro vícelodní střechy	12
Obrázek č. 23 – Oblasti zatížení větrem na „A“	12
Obrázek č. 24 – Rozdělení tlaku pro válce s kruhovým průřezem	14
Obrázek č. 25 – Směrné hodnoty součinitel koncového efektu	14
Obrázek č. 26 – Zatížení působící na nosník	14
Obrázek č. 27 – Zatížení od tření	15
Obrázek č. 28 – Teploty dle národních map izoterm	16
Obrázek č. 29 – Generované hmoty ze stavu „ostatní stálé“	18
Obrázek č. 30 – Generované hmoty ze stavu „ostatní stálé – zábradlí“	18
Obrázek č. 31 – Generované hmoty ze stavu „užité zatížení“	18
Obrázek č. 32 – Generované hmoty ze stavu „sníh“	18
Obrázek č. 33 – Generované hmoty ze stavu „technologie“	19
Obrázek č. 34 – Jednonosníková kočka Z420	22
Obrázek č. 35 – Výstup z programu LT BEAM	28
Obrázek č. 36 – Průběh momentů ve směru y	29
Obrázek č. 37 – Idealizovaný průběh momentů	29
Obrázek č. 38 – Průběh momentů ve směru z	30
Obrázek č. 39 – Idealizovaný průběh momentů	30
Obrázek č. 40 – Ohyb spodní pásnice mimo oblast konců a nevyužití spojů	31
Obrázek č. 41 – Místa pro určení napětí	32
Obrázek č. 42 – Diagram svislých deformací	33
Obrázek č. 43 – Průřez HEB	35
Obrázek č. 44 – První vlastní tvar „A“	36
Obrázek č. 45 – Vzpěrná délka v „A“	36
Obrázek č. 46 – Výstup z programu LT BEAM	38
Obrázek č. 47 – Průběh momentů ve směru y	39
Obrázek č. 48 – Průběh momentů ve směru z	39
Obrázek č. 49 – Schéma pevného bodu ze zadání	41
Obrázek č. 50 – Relativní deformace ve směru y	42
Obrázek č. 51 – Absolutní deformace ve směru y	42

Obrázek č. 52 – Relativní deformace ve směru z	42
Obrázek č. 53 – Absolutní deformace ve směru z	42
Obrázek č. 54 – Průřez IPE	44
Obrázek č. 55 – Vzpěrné délky lávky	46
Obrázek č. 56 – Výstup z programu LT BEAM	48
Obrázek č. 57 – Průběh momentů ve směru y	49
Obrázek č. 58 – Idealizovaný průběh momentů	49
Obrázek č. 59 – Průběh momentů ve směru z	49
Obrázek č. 60 – Deformace ve směru y	51
Obrázek č. 61 – Deformace ve směru z	51
Obrázek č. 62 – Průřez HEB	53
Obrázek č. 63 – Vzpěrné délky sloupu	55
Obrázek č. 64 – Výstup z programu LT BEAM	57
Obrázek č. 65 – Průběh momentů ve směru y	58
Obrázek č. 66 – Idealizovaný průběh momentů	58
Obrázek č. 67 – Průběh momentů ve směru z	58
Obrázek č. 68 – Idealizovaný průběh momentů	58
Obrázek č. 69 – Deformace sloupu ve směru y	60
Obrázek č. 70 – Deformace sloupu ve směru z	60
Obrázek č. 71 – Geometrie výstužného nosníku	61
Obrázek č. 72 – Průřez CHS	62
Obrázek č. 73 – Průběh momentů ve směru y	63
Obrázek č. 74 – Průběh momentů ve směru z	63
Obrázek č. 75 – Průběh momentů ve směru y	66
Obrázek č. 76 – Průběh momentů ve směru z	66
Obrázek č. 77 – Průřez CHS	69
Obrázek č. 78 – Průběh momentů ve směru y	70
Obrázek č. 79 – Průběh momentů ve směru z	70
Obrázek č. 80 – Průřez HEB	73
Obrázek č. 81 – Zjednodušený průběh momentů	75
Obrázek č. 82 – Idealizovaný průběh momentů	75
Obrázek č. 83 – Průběh momentů ve směru y	77
Obrázek č. 84 – Idealizovaný průběh momentů	77
Obrázek č. 85 – Průběh momentů ve směru z	77
Obrázek č. 86 – Idealizovaný průběh momentů	77
Obrázek č. 87 – Průřez HEB	80
Obrázek č. 88 – Průběh momentů ve směru y	84
Obrázek č. 89 – Idealizovaný průběh momentů	84
Obrázek č. 90 – Průběh momentů ve směru z	84
Obrázek č. 91 – Idealizovaný průběh momentů	84
Obrázek č. 92 – Deformace hp ve směru y	86
Obrázek č. 93 – Deformace hp ve směru z	86
Obrázek č. 94 – Geometrie	87
Obrázek č. 95 – Průřez HEB	88
Obrázek č. 96 – Vzpěrné délky sloupku	90
Obrázek č. 97 – Průběh momentů ve směru y	92
Obrázek č. 98 – Idealizovaný průběh momentů	92
Obrázek č. 99 – Průběh momentů ve směru z	93
Obrázek č. 100 – Idealizovaný průběh momentů	93
Obrázek č. 101 – Deformace sloupku ve směru y	94
Obrázek č. 102 – Deformace sloupku ve směru z	94
Obrázek č. 103 – Kotvení	95
Obrázek č. 104 – Rozměry patního plechu	95
Obrázek č. 105 – Rozměry patky	96

Obrázek č. 106 – Efektivní plocha patky	96
Obrázek č. 107 – Průřez HEB	96
Obrázek č. 108 – Výška smykové zarážky	98
Obrázek č. 109 – Posuzovaná místa	99
Obrázek č. 110 – Plocha pro vytržení skupiny kotev	100
Obrázek č. 111 – Přípoj ztužidel	102
Obrázek č. 112 – Tloušťka plechů	102
Obrázek č. 113 – Geometrie přípoje	102
Obrázek č. 114 – Rozteče šroubů	102
Obrázek č. 115 – Vytržení skupiny šroubů	104
Obrázek č. 116 – Svar diagonály a přípojného plechu	104
Obrázek č. 117 – Svar přípojného plechu s patní deskou a stojinou sloupu	105
Obrázek č. 118 – Tloušťka plechů	106
Obrázek č. 119 – Geometrie přípoje	106
Obrázek č. 120 – Rozteče šroubů	106
Obrázek č. 121 – Vytržení skupiny šroubů	108
Obrázek č. 122 – Svar diagonály a přípojného plechu	108
Obrázek č. 123 – Svar přípojného plechu a horní pásnice sloupu	109
Obrázek č. 124 – Výstup z programu Idea Statica	109
Obrázek č. 125 – Návrh přípoje ztužidla na nosník a sloup	110
Obrázek č. 126 – Vzdálenosti šroubů od osy otáčení	110
Obrázek č. 127 – Rozteče šroubů	111
Obrázek č. 128 – Posuzovaná místa	113
Obrázek č. 129 – Přípoj ztužidla	114
Obrázek č. 130 – Tloušťka plechů	114
Obrázek č. 131 – Geometrie přípoje	114
Obrázek č. 132 – Rozteče šroubů	114
Obrázek č. 133 – Vytržení skupiny šroubů	116
Obrázek č. 134 – Svar diagonály a přípojného plechu	116
Obrázek č. 135 – Svar styčnickového plechu a sloupu s čelní deskou	117
Obrázek č. 136 – Výstup z programu Idea Statica	117
Obrázek č. 137 – Tloušťky plechů	118
Obrázek č. 138 – Rozteče šroubů	118
Obrázek č. 139 – Páčení šroubů	120
Obrázek č. 140 – Výstup z programu Idea Statica	120
Obrázek č. 141 – Výstup z programu Idea Statica	121
Obrázek č. 142 – Výstup z programu Idea Statica	121

## 12 Seznam tabulek

Tabulka č. 1 - Kategorie terénů a jejich parametry	8
Tabulka č. 2 - Tabulka vybraných modálních hmot konstrukce	19
Tabulka č. 3 - Návrh porořostu dle tabulky od výrobce	21

## 13 Seznam použitých zkratek

A	průřezová plocha
A	plná průřezová plocha šroubu
$A_0$	průřezová plocha průřezu o průměru $d_0$
$A_{eff}$	účinná plocha průřezu
$A_{net}$	účinná plocha průřezu
$A_s$	plocha šroubu nebo kotevního šroubu účinná v tahu
$A_w$	návrhová účinná plocha svaru
$a_b$	součinitel pro výpočet únosnosti v otláčení, nejmenší z hodnot: $a_d$ , $f_{ub}/f_u$ a 1
$a_d$	součinitel pro výpočet únosnosti v otláčení pro výpočet ve směru zatížení
a	účinná výška svaru
$B_{P,Rd}$	návrhová smyková únosnost v protlačení hlavy nebo matice šroubu
B	šířka konstrukce (délka povrchu kolmého ke směru větru, pokud není stanoveno jinak) b šířka průřezu
$C_{1/2/3}$	součinitelé závisející na zatížení a podmínkách uložení konců
$C_e$	součinitel expozice
$C_m$	součinitel ekvivalentního konstantního momentu
$C_t$	tepelný součinitel
C	šířka nebo výška části průřezu
$C_{dir}$	součinitel směru
$C_{e(Z)}$	součinitel expozice
$C_{pi}$	součinitel vnitřního tlaku
$C_{pe}$	součinitel vnějšího tlaku
$C_r$	součinitel drsnosti
$C_o$	součinitel orografie
$C_{season}$	součinitel ročního období
d	hloubka konstrukce (délka povrchu rovnoběžného se směrem větru, pokud není stanoveno jinak)

$d$	vnější průměr kruhové trubky $d$ jmenovitý průměr šroubu, průměr čepu, nebo průměr spojovacího prostředku
$d_0$	průměr otvoru pro šroub, nýt nebo čep
$d_0$	velikost otvoru kolmo k působící tahové síle, obvykle průměr otvoru
$d_1$	velikost otvoru rovnoběžně k působící tahové síle, obvykle průměr otvoru
$d_m$	průměrný průměr hlavy šroubu
$e$	výstřednost síly nebo vzdálenost od okraje
$E$	Youngův modul pružnosti
$F$	zatížení
$F_{b,Rd}$	návrhová únosnost šroubu v otláčení
$F_{t,Rd}$	návrhová únosnost šroubu v tahu
$F_{v,Rd}$	návrhová únosnost šroubu ve stříhu
$F_d$	návrhová hodnota zatížení
$F_k$	charakteristická hodnota zatížení
$G$	stálé zatížení
$G$	modul pružnosti ve smyku
$g$	stálé zatížení
$g_k$	charakteristická hodnota stálého zatížení
$G_k$	charakteristická hodnota stálého zatížení
$h$	výška konstrukce
$h$	výška průřezu
$i_y$	poloměr setrvačnosti
$I_v$	intenzita turbulence
$I$	moment setrvačnosti průřezu
$k_1$	součinitel pro výpočet únosnosti v otláčení pro výpočet kolmo na směr zatížení
$k_2$	součinitel
$k_j$	součinitel koncentrace napětí
$k_I$	součinitel turbulence
$k_p$	součinitel

$k_r$	součinitel terénu
$k_y$	součinitel vzpěrné délky
$k_{yy}$	součinitel interakce
$k_z$	součinitel vzpěrné délky
$k_{zz}$	součinitel interakce
$k_w$	součinitel vzpěrné délky
$k_{wt}$	bezrozměrný parametr kroucení
$l_w$	délka svaru
$L$	systemová délka
$L_{cr}$	vzpěrná délka
$m$	Hmotnost
$M_{b,Rd}$	návrhová únosnost v ohybu při klopení
$M_{cr}$	pružný kritický moment při klopení
$M_{c,Rd}$	návrhová únosnost v ohybu k některé hlavní ose průřezu
$M_{pl,Rd}$	návrhová plastická momentová únosnost
$M_{el,Rd}$	návrhová elastická momentová únosnost
$M_{Rk}$	charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu v ohybu
$M_{ed}$	návrhový ohybový moment
$n$	počet příčných vazeb
$N_{b,Rd}$	vzpěrná únosnost
$N_{cr}$	kritická síla
$N_{c,Rd}$	návrhová únosnost průřezu v prostém tlaku
$N_{Ed}$	návrhová hodnota osové síly
$N_{j,Rd}$	návrhová únosnost patky
$N_{pl,Rd}$	návrhová únosnost neoslabeného průřezu
$N_{Rk}$	charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu při působení osové síly
$N_{t,Rd}$	návrhová únosnost v tahu
$p$	rozteč spojovacích prostředků

$q$	proměnné zatížení
$q_b$	referenční (základní) dynamický tlak (pro střední rychlost)
$q_k$	charakteristická hodnota proměnného zatížení
$q_p$	maximální hodnota dynamického tlaku (dynamický tlak při nárazu větru)
$Q$	proměnné zatížení
$Q_k$	charakteristická hodnota proměnného zatížení
$r$	poloměr zaoblení
$s$	zatížení sněhem na střeše
$s_k$	charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi v místě staveniště
$t$	tloušťka
$t_1$	tloušťka stěn průřezu o průměru $d_1$
$t_f$	tloušťka pásnice
$t_0$	tloušťka stěn průřezu o průměru $d_0$
$t_p$	tloušťka patního plechu
$t_w$	tloušťka stojiny u průhyb
$\bar{\delta}_{lim}$	maximální hodnota průhybu
$v_m$	střední rychlost větru
$V_{Ed}$	návrhová smyková síla
$v_{b,0}$	výchozí hodnota základní rychlosti větru
$v_b$	základní rychlost větru
$w$	tlak větru
$W_{pl}$	plastický modul průřezu
$W_{el}$	elastický modul průřezu
$x$	šířka tlačené oblasti
$z_0$	parametr drsnosti terénu
$z_{0,II}$	parametr drsnosti terénu (terén kategorie II)
$z_e$	referenční výška pro zatížení vnějšího povrchu větrem, vnější nebo vnitřní tlak
$z_{min}$	minimální výška

$z_g$	souřadnice působíště zatížení vzhledem ke středu smyku
$\varphi$	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti
$\varphi_{LT}$	hodnota pro výpočet součinitele klopení $\varphi_{LT}$
$\alpha$	sklon střechy měřený od vodorovné roviny
$\alpha$	součinitel imperfekce
$\alpha$	úhel
$\alpha_v$	součinitel pro šrouby
$\alpha_{LT}$	součinitel imperfekce při klopení
$\beta$	součinitel vzpěrné délky
$\beta$	poměr $d_1/d_0$
$\beta_w$	korelační součinitel pro svary závislý na druhu oceli
$\gamma_G$	dílčí součinitel stálého zatížení, v němž jsou uváženy modelové nejistoty a proměnnost rozměrů
$\gamma_{G,j}$	dílčí součinitel j-tého stálého zatížení
$\gamma_M$	globální dílčí součinitel spolehlivosti (materiálu)
$\gamma_{M0}$	dílčí součinitel únosnosti průřezu kterékoliv třídy
$\gamma_{M1}$	dílčí součinitel únosnosti průřezu při posuzování stability prutu
$\gamma_{M2}$	dílčí součinitel únosnosti průřezu při porušení v tahu
$\gamma_Q$	dílčí součinitel proměnného zatížení, v němž jsou uváženy modelové nejistoty a proměnnost rozměrů
$\gamma_{Q,i}$	dílčí součinitel i-tého proměnného zatížení
$\varepsilon$	součinitel závisící na $f_y$
$\zeta_g$	bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku
$\zeta_j$	bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu
$\theta$	úhel
$\lambda$	štíhlost
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost
$\bar{\lambda}_{LT}$	poměrná štíhlost při klopení
$\mu_i$	tvárový součinitel zatížení sněhem
$\mu_{cr}$	bezrozměrný kritický moment

$\pi$	Ludolfovo číslo
$\rho$	měrná hmotnost vzduchu $\square$ normálové napětí
$\tau$	smykové napětí
$\chi$	součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru
$\chi_{LT}$	součinitel klopení
$\psi_0$	součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení
$\psi_f$	parametr nesymetrie průřezu

## 14 Přílohy

- A. Ruční statický výpočet
- B. Výstup z výpočetního programu
- C. Výstup z programu Idea Statica
- D. Výkresová dokumentace