

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

**NÁVRH POŽÁRNÍHO SCHODIŠTĚ
FIRE STAIRCASE DESIGN**

STATICKÝ VÝPOČET

Vypracovala:

Aleksandra Ivanova

Vedoucí práce:

doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš

2020

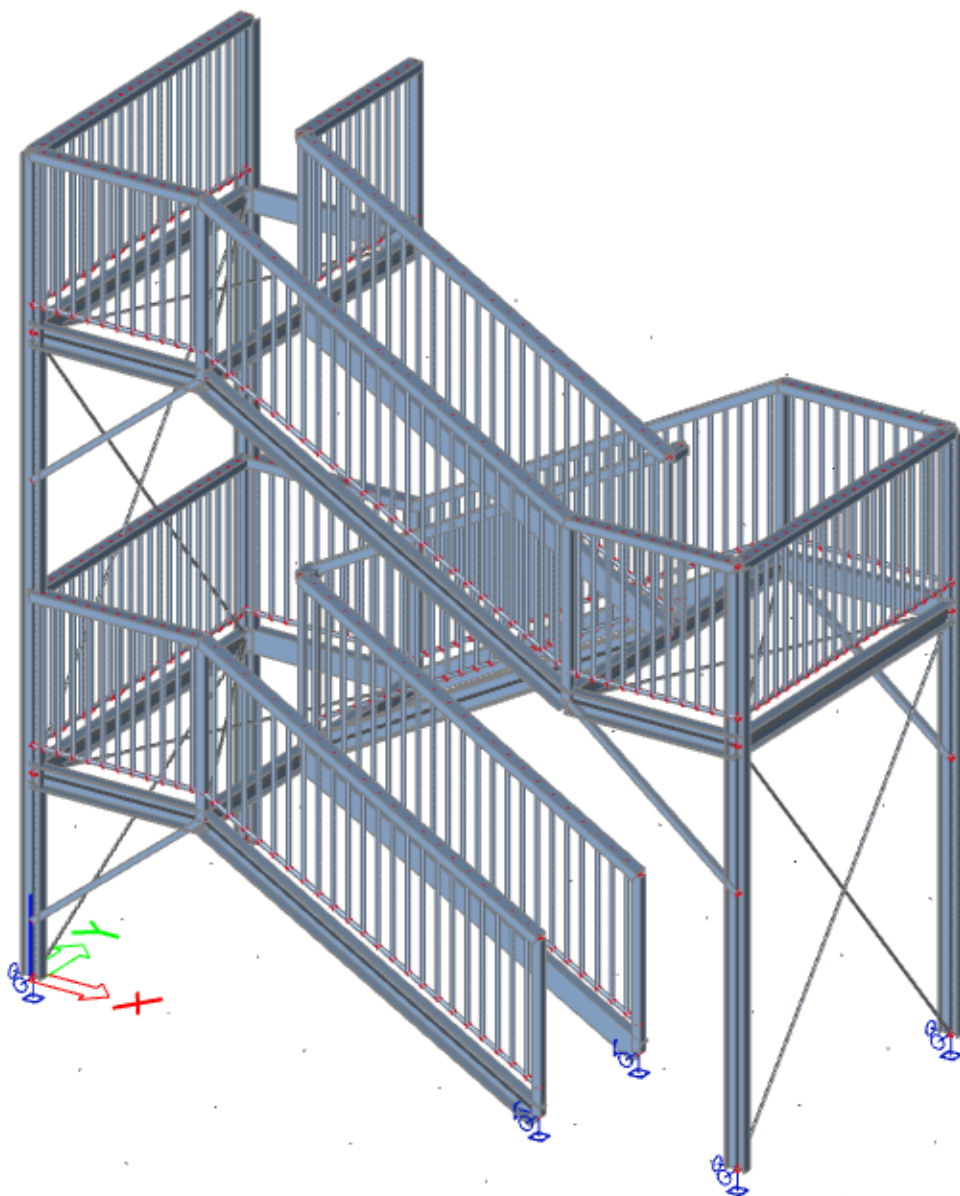
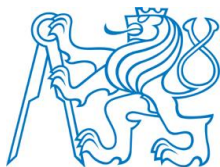


Obsah

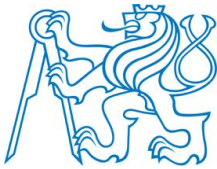
1	Zatížení	5
1.1	Zatížení stálá	5
1.1.1	Vlastní tíha – LC1	5
1.1.2	Ostatní stálá – LC2	5
1.2	Zatížení proměnné	6
1.2.1	Zatížení užité – LC3	6
1.2.2	Zatížení větrem – LC4	7
1.2.2.1	Součinitel konstrukce	9
1.2.2.2	Dynamický tlak větru	9
1.2.2.3	Zatížení větrem na jednotlivé prvky	10
1.2.2.3.1	Sloupy	10
1.2.2.3.2	Schodnice	12
1.2.2.3.3	Nosníky podest	14
1.2.2.3.4	Madlo zábradlí	16
1.2.2.3.5	Sloupky zábradlí	19
1.3	Kombinace zatížení	22
1.3.1	Přehled zatěžovacích stavů	22
1.3.2	Kombinace zatížení pro MSÚ (mezní stav únosnosti)	22
1.3.3	Kombinace zatížení pro MSP (mezní stav použitelnosti)	24
2	Posouzení prvků	26
2.1	Použitý materiál	26
2.2	Posouzení sloupů	27
2.2.1	Sloup č.1	28
2.2.2	Sloup č.2	34
2.2.3	Sloup č.3	40
2.2.4	Sloup č.4	46
2.3	Posouzení schodnic	52
2.3.1	Vnější schodnice č.1-2	53
2.3.2	Vnější schodnice č.3-4-5	56
2.3.3	Vnější schodnice č.6-7-8	59
2.3.4	Vnější schodnice č.9	62
2.3.5	Vnitřní schodnice č.1	63
2.3.6	Vnitřní schodnice č.2	66
2.3.7	Vnitřní schodnice č.3	69
2.4	Posouzení nosníků podest	72
2.4.1	Vnitřní nosník č.1	73
2.4.2	Vnitřní nosník č.2	77



2.4.3	Vnitřní nosník č.3.....	81
2.4.4	Vnější nosník č. 1.....	85
2.4.5	Vnější nosník č. 2.....	90
2.4.6	Vnější nosník č. 3.....	95
2.5	Posouzení vzpěr.....	100
2.6	Posouzení ztužidel.....	102
3	<i>Posouzení detailů.....</i>	103
3.1	Posouzení patky sloupu.....	103
3.2	Posouzení patky schodnice.....	106
3.3	Posouzení přípoje schodnice UPE 160 na sloup IPE 140.....	109
3.4	Posouzení přípoje vnějšího nosníku podesty IPE 140 na sloup IPE 140.....	112
3.5	Posouzení přípoje vnitřního nosníku podesty IPE 140 na schodnice UPE 160.....	114
3.6	Posouzení přípoje schodnice UPE 160 na vnitřní nosník podesty IPE.....	116
3.7	Posouzení přípoje ztužidel.....	119
3.8	Posouzení přípoje vzpěry na schodnice.....	121
4	<i>Závěr.....</i>	123
5	<i>Seznam obrázků a tabulek.....</i>	124
6	<i>Výkresové přílohy.....</i>	128



Obrázek 1 Model konstrukce ve výpočetním programu SCIA Engineer



1 Zatížení

1.1 Zatížení stálá

1.1.1 Vlastní tíha – LC1

Hodnoty vlastní tíhy nosných konstrukčních prvků jsou vygenerovány softwarem SCIA Engineer

1.1.2 Ostatní stálá – LC2

Tabulka 1 Výpočet zatížení zatěžovacího stavu LC2

Konstrukce	Rozměry [mm]	Hmotnost [kg]	Tíha [kN]	Plošné zatížení [kN/m ²]	Zatížení na nosník [kN/m]
Schodišťové stupně MEASTEP XSL. MW 30/10	1100x305	8,9	0,089	0,265	$0,256 \cdot 1,1/2$ = 0,146
Svařovaný rošt SP 34/38 (nosné profily 40/4 mm)	1250x1000			0,443	$0,443 \cdot 1,25/2$ = 0,277



1.2 Zatížení proměnné

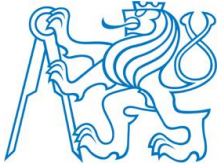
1.2.1 Zatížení užité – LC3

Hodnota užitého zatížení pro kategorii zátěžových ploch C5 (dle ČSN EN 1991-1-1, Tabulka 6.2) je $5,0 \text{ kN/m}^2$

Vodorovné zatížení zábradlí pro kategorii C4 uvažováno $1,0 \text{ kN/m}$ (dle ČSN EN 1991-1-1, Tabulka 6.12)

Tabulka 2 Výpočet užitého zatížení zatěžovacího stavu LC3

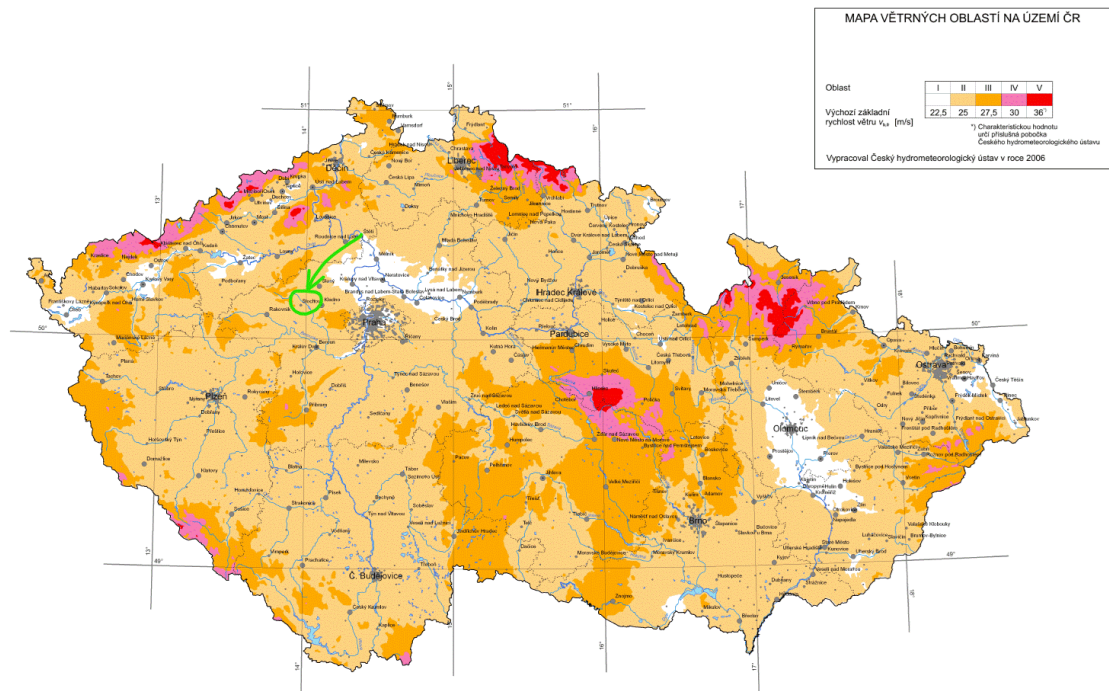
Konstrukce, na kterou působí zatížení	Rozměry [mm]	Užité zatížení [kN/m^2]	Zatížení, přenášené na nosník [kN/m]
Schodišřové stupně	1100x305	5,0	$5,0 * 1,1/2 = 2,75$
Rošt podesty	1250x1000	5,0	$5,0 * 1,25/2 = 3,125$



1.2.2 Zatížení větrem – LC4

Stochov (okres Kladno) – II. větrná oblast

III. kategorie terénu – oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami, nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstský terén, souvislý les)



Obrázek 2 Mapa větrných oblastí na území ČR

Základní rychlost větru (ČSN EN 1991-1-4 ed.2)

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (4.1)$$

kde

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

$$c_{dir} = 1,0$$

$$c_{season} = 1,0$$

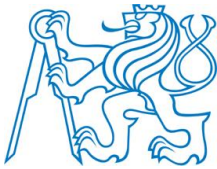
$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25$$

$$v_b = 25 \text{ m/s}$$

výchozí základní rychlost větru

součinitel směru větru

součinitel ročního období



Střední rychlost větru (ČSN EN 1991-1-4 ed.2)

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (4.3)$$

kde

$c_o(z) = 1,0$	součinitel orografie
$v_b = 25 \text{ m/s}$	základní rychlost větru
$c_r(z)$	součinitel drsnosti terénu
$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0)$	pro $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$
$c_r(z) = c_r(z_{\min})$	pro $z \leq z_{\min}$
$z_0 = 0,3 \text{ m}$	parametr drsnosti terénu (Tabulka 3)
$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$	parametr drsnosti terénu kat.II
$z_{\min} = 5 \text{ m}$	minimální výška (Tabulka 3)
$z_{\max} = 200 \text{ m}$	max. výška dle normy se uvažuje 200 m
$h = 5,600 \text{ m}$	výška konstrukce
$z_s = 0,6 \cdot h \geq z_{\min}$	referenční výška konstrukce pro vertikální konstrukce dle ČSN EN 1991-1-4 Obrázek 6.1a

$z_s = 0,6 \cdot 5,6$	
$z_s = 3,34 \text{ m} \leq z_{\min} = 5,0 \text{ m}$	
$z_s = z_{\min} = 5,0 \text{ m}$	
$k_r = 0,19(z_0/z_{0,II})^{0,07}$	součinitel terénu
$k_r = 0,19(0,3/0,05)^{0,07}$	
$k_r = 0,215$	
$c_r(z) = 0,215 \cdot \ln(5/0,3)$	dle (4.4)
$c_r(z) = 0,605$	
$v_m(z) = 0,605 \cdot 1,0 \cdot 25$	dle (4.3)
$v_m(z) = 15,125 \text{ m/s}$	

Tabulka 3 Kategorie terénu a jejich parametry dle ČSN EN 1991-1-4, Tabulka 4.1

Kategorie terénu	z_0 [m]	z_{\min} [m]
0 Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři	0,003	1
I Jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek	0,01	1
II Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenost je větší než 20násobek výšky překážek	0,05	2
III Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstský terén, souvislý les)	0,3	5
IV Oblasti, ve kterých je nejméně 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15 m	1,0	10
POZNÁMKA Kategorie terénu jsou zobrazeny v A.1.		



1.2.2.1 Součinitel konstrukce

Pro pozemní stavby s výškou menší než 15 m lze součinitel konstrukce $c_s c_d$ vzít rovno 1,0 dle ČSN EN 1991-1-4

- $c_s c_d = 1,0$

1.2.2.2 Dynamický tlak větru

Maximální dynamický tlak $q_p(z)$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

kde

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_1}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)}$$

$$v_m(z) = 15,125 \text{ m/s}$$

$$k_1 = 1,0$$

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

$$c_o(z) = 1,0$$

$$c_r(z) = 0,605$$

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

vliv turbulencí
intenzita turbulence

střední rychlost větru
součinitel turbulence (doporučená
hodnota)

měrná hmotnost vzduchu
součinitel ortografie
součinitel drsnosti terénu
parametr drsnosti terénu

Pro celou konstrukci bude použita stejná hodnota dynamického tlaku, a to ve výšce 5 m

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(5/0,3)}$$

$$I_v(z) = 0,355$$

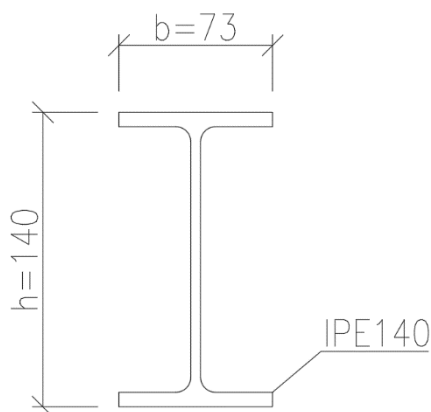
$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,355] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 15,125^2$$

$$q_p(z) = 0,498 \text{ kN/m}^2$$



1.2.2.3 Zatížení větrem na jednotlivé prvky

1.2.2.3.1 Sloupy



Obrázek 3 Průřez sloupu

Síla větru

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

$$A_{ref} = l \cdot b$$

referenční plocha stavebního objektu
nebo jeho části

Přepočet síly na liniové zatížení

$$w_e = F_w / l$$

kde

l

délka prvku

Liniové zatížení od větru

$$w_e = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b$$

pro vítr ve směru "X"

$$w_e = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot h$$

pro vítr ve směru "Y"

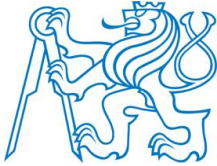
kde

$$c_s c_d = 1,0$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_\lambda$$

$$c_{f,0} = 2,0$$

součinitel konstrukce
součinitel síly nosných prvků s otevřeným
průřezem
doporučená hodnota pro všechny nosné
prvky uvažované bez vlivu proudění
kolem volných konců



$\varphi = 1,0$

$\lambda = \min(l/b; 70)$

Ψ_λ

$q_p(z_e) = 0,498 \text{ kN/m}^2$

$b = 74 \text{ mm}$

$h = 140 \text{ mm}$

$l_1 = 5600 \text{ mm}$

$l_2 = 4100 \text{ mm}$

součinitel plnosti pro zohlednění

propustnosti návětrných ploch

efektivní štíhlost pro $l < 15 \text{ m}$

součinitel koncového efektu

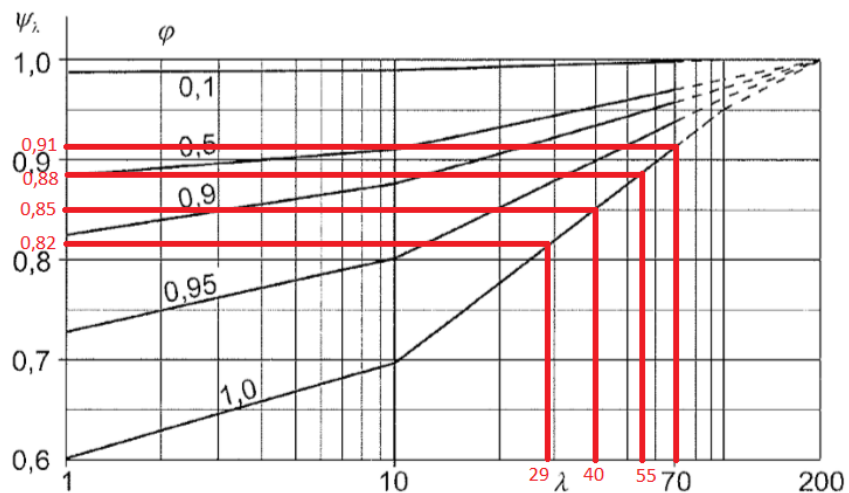
dynamický tlak

šířka profilu prvku

výška profilu prvku

délka delších sloupů

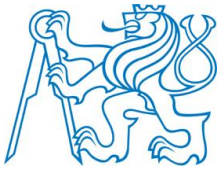
délka kratších sloupů



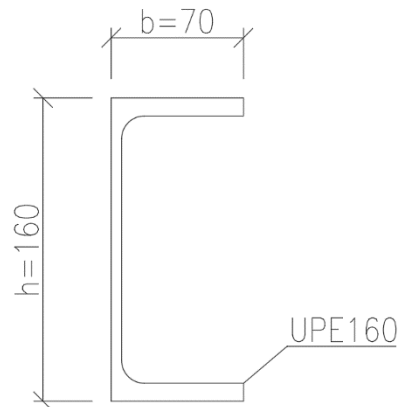
Obrázek 4 Součinitele koncového efektu pro sloupy jako funkce součinitele plnosti φ v závislosti na štíhlosti λ

Tabulka 4 Charakteristické hodnoty liniového zatížení větru na sloupy

Směr větru	Sloup	b [mm]	d [mm]	l [mm]	λ [-]	φ [-]	Ψ_λ [-]	$c_{f,0}$ [-]	c_f [-]	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	w_e [kN/m]
"X"	Krátký	74		4100	55	1,0	0,85	2,0	1,7	0,498	0,063
	Dlouhý	74		5600	70	1,0	0,91	2,0	1,82	0,498	0,067
"Y"	Krátký		140	4100	29	1,0	0,82	2,0	1,64	0,498	0,114
	Dlouhý		140	5600	40	1,0	0,85	2,0	1,7	0,498	0,119



1.2.2.3.2 Schodnice



Obrázek 5 Průřez schodnice

Síla větru

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

$$A_{ref} = l \cdot b$$

referenční plocha stavebního objektu
nebo jeho části

Přepočet síly na liniové zatížení

$$w_e = F_w / l$$

kde

l

délka prvku

Liniové zatížení od větru

$$w_e = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b$$

pro vítr ve směru "X"

$$w_e = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot h$$

pro vítr ve směru "Y"

kde

$$c_s c_d = 1,0$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_\lambda$$

$$c_{f,0} = 2,0$$

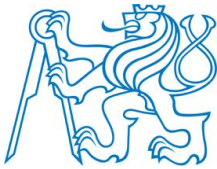
$$\varphi = 1,0$$

součinitel konstrukce

součinitel síly nosných prvků s otevřeným
průřezem

doporučená hodnota pro všechny nosné
prvky uvažované bez vlivu proudění
kolem volných konců

součinitel plnosti pro zohlednění
propustnosti návětrných ploch



$$\lambda = \min(l/b; 70)$$

$$\Psi_\lambda$$

$$q_p(z_e) = 0,498 \text{ kN/m}^2$$

$$b = 70 \text{ mm}$$

$$h = 160 \text{ mm}$$

$$l_1 = 3089 \text{ mm}$$

$$l_2 = 1250 \text{ mm}$$

efektivní štíhlost pro $l < 15 \text{ m}$

součinitel koncového efektu

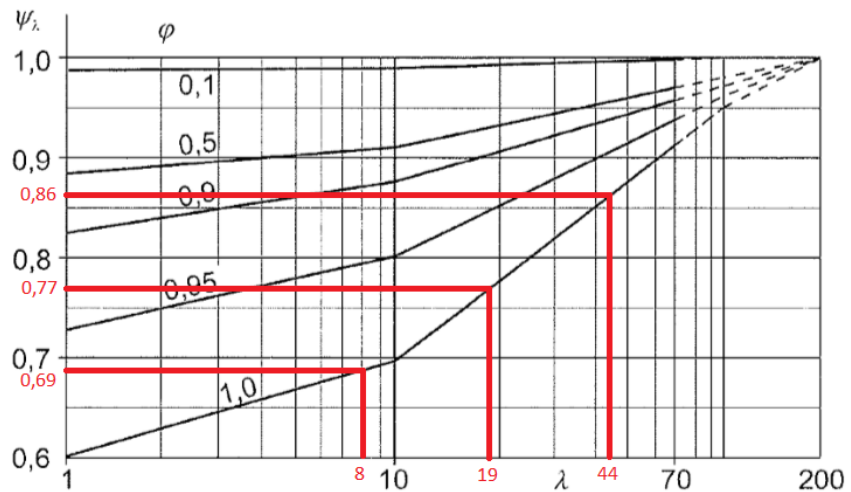
dynamický tlak

šířka profilu prvku

výška profilu prvku

délka šikmé části schodnice

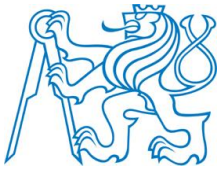
délka vodorovné části schodnice



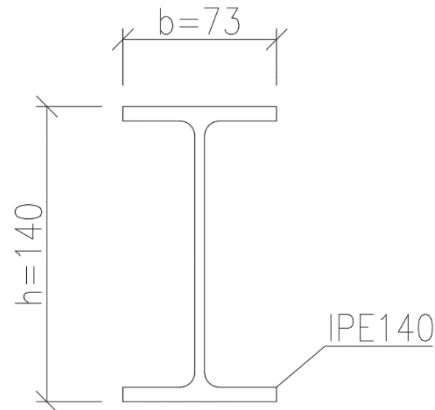
Obrázek 6 Součinitel koncového efektu pro schodnice jako funkce součinitele plnosti φ v závislosti na štíhlosti λ

Tabulka 5 Charakteristické hodnoty liniového zatížení větru na schodnice

Směr větru	Část schodn.	b [mm]	d [mm]	l [mm]	λ [-]	φ [-]	Ψ_λ [-]	$c_{f,0}$ [-]	c_f [-]	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	w_e [kN/m]
"X"	Vodor.	Vítr ve směru "X" nepůsobí na vodorovnou část schodnice									
	Šikmá	70		3089	44	1,0	0,86	2,0	1,72	0,498	0,060
"Y"	Vodor.		160	1250	8	1,0	0,69	2,0	1,38	0,498	0,110
	Šikmá		160	3089	19	1,0	0,77	2,0	1,54	0,498	0,123



1.2.2.3.3 Nosníky podest



Obrázek 7 Průřez nosníku

Síla větru

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

$$A_{ref} = l \cdot b$$

referenční plocha stavebního objektu
nebo jeho části

Přepočítání síly na liniové zatížení

$$w_e = F_w / l$$

kde

l

délka prvku

Liniové zatížení od větru

$$w_e = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot h$$

pro vítr ve směru "X"

S ohledem na polohu nosníků, vítr ve směru "Y" nepůsobí

kde

$$c_s c_d = 1,0$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_\lambda$$

$$c_{f,0} = 2,0$$

$$\varphi = 1,0$$

součinitel konstrukce

součinitel síly nosných prvků s otevřeným
průřezem

doporučená hodnota pro všechny nosné
prvky uvažované bez vlivu proudění
kolem volných konců

součinitel plnosti pro zohlednění
propustnosti návětrných ploch



$$\lambda = \min(l/h; 70)$$

$$\Psi_\lambda$$

$$q_p(z_e) = 0,498 \text{ kN/m}^2$$

$$h = 140 \text{ mm}$$

$$l = 2400 \text{ mm}$$

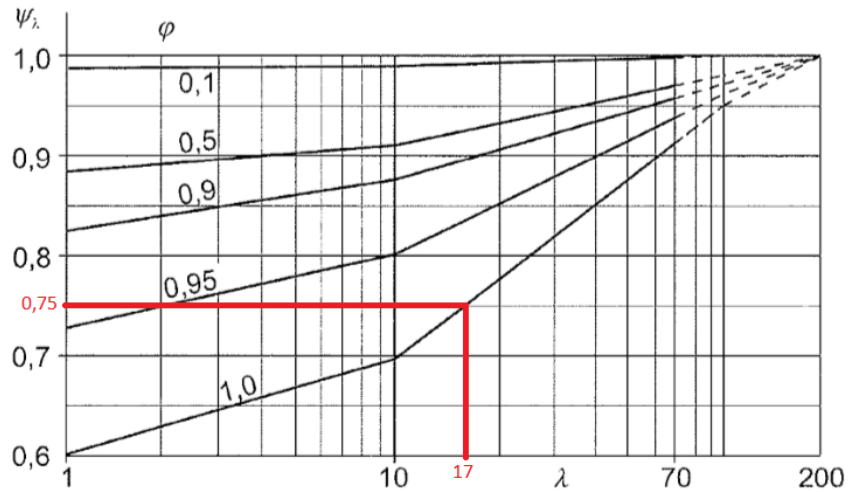
efektivní štíhlost pro $l < 15 \text{ m}$

součinitel koncového efektu

dynamický tlak

výška profilu prvku

délka nosníků



Obrázek 8 Součinitel koncového efektu pro nosníky podest jako funkce součinitele plnosti φ v závislosti na štíhlosti λ

Hodnota liniového zatížení větru na nosníky podest

$$\lambda = \min(2400/140; 70)$$

$$\lambda = 17$$

$$\Psi_\lambda = 0,75$$

$$c_f = 2,0 \cdot 0,75$$

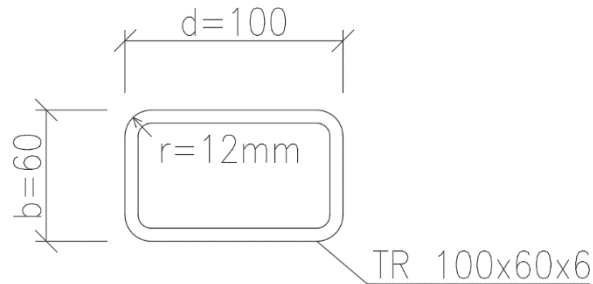
$$c_f = 1,5$$

$$w_e = 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,498 \cdot 0,140$$

$$w_e = \mathbf{0,105 \text{ kN/m}}$$



1.2.2.3.4 Madlo zábradlí



Obrázek 9 Průřez madla

Síla větru

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

$$A_{ref} = l \cdot b$$

referenční plocha stavebního objektu
nebo jeho části

Přepočet síly na liniové zatížení

$$w_e = F_w / l$$

kde

l

délka prvku

Liniové zatížení od větru

$$w_e = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b$$

pro vítr ve směru "X" i "Y"

S ohledem na polohu madla, předpokládám, že je vystaveno účinkům větru pouze svislým lícem

kde

$$c_s c_d = 1,0$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

součinitel konstrukce

součinitel síly pro nosné prvky s
obdélníkovým průřezem

$$c_{f,0}$$

$$d/b = 1,7$$

$$\Psi_r$$

součinitel síly pro průřezy s ostrými rohy

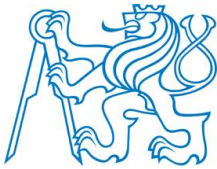
poměr stran profilu

redukční součinitel pro průřezy se
zaoblenými rohy

$$r/b = 0,2$$

$$\Psi_\lambda$$

součinitel koncového efektu



$$\varphi = 1,0$$

$$\lambda = \min(l/b; 70)$$

$$q_p(z_e) = 0,498 \text{ kN/m}^2$$

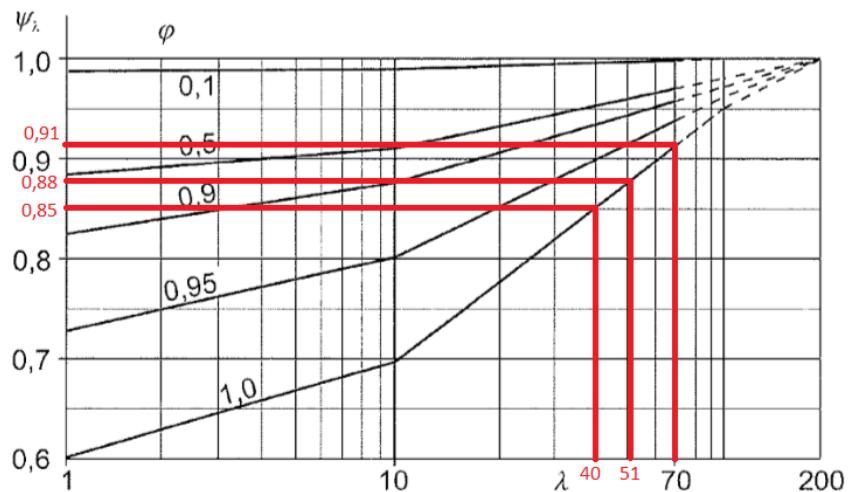
$$b = 60 \text{ mm}$$

$$l_1 = 5589 \text{ mm}$$

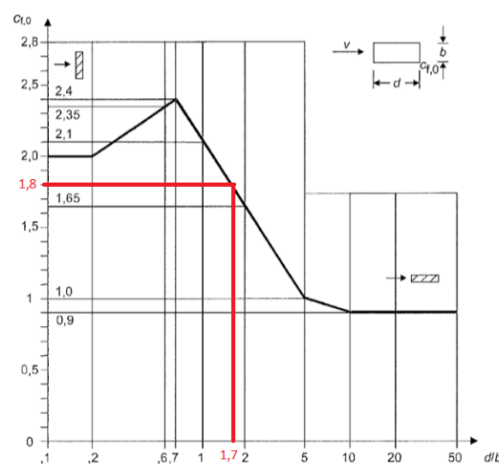
$$l_2 = 3089 \text{ mm}$$

$$l_3 = 2400 \text{ mm}$$

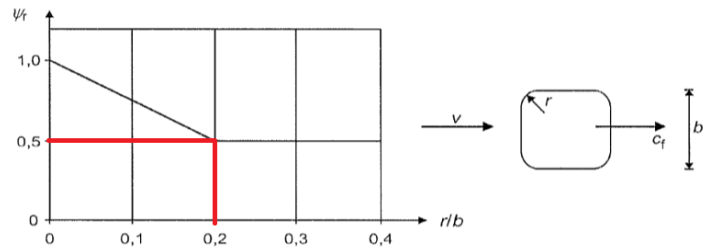
součinitel plnosti pro zohlednění
propustnosti návětrných ploch
efektivní štíhlost pro $l < 15 \text{ m}$
dynamický tlak
výška profilu prvku
délka podélného vnějšího madla
délka podélného vnitřního madla
délka příčného madla



Obrázek 10 Součinitel koncového efektu pro madla jako funkce součinitele plnosti φ v závislosti na štíhlosti λ



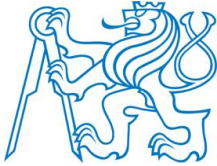
Obrázek 11 Součinitel síly pro profil madla jako funkce poměru stran jeho průřezu



Obrázek 12 Redukční součinitel madla pro průřezy se zaoblenými rohy

Tabulka 6 Charakteristické hodnoty liniového zatížení větru na madlo

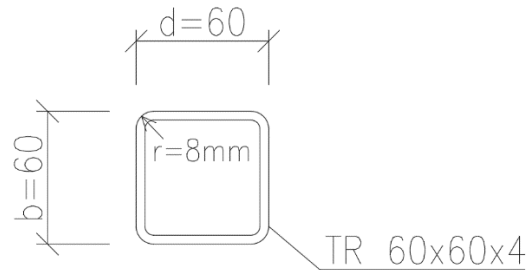
Směr větru	Madlo	b [mm]	l [mm]	λ [-]	φ [-]	Ψ_λ [-]	Ψ_r [-]	$c_{f,0}$ [-]	c_f [-]	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	w_e [kN/m]
"X"	Příčné	60	2400	40	1,0	0,85	0,5	1,8	0,77	0,498	0,023
"Y"	Podél.	60	5589	70	1,0	0,91	0,5	1,8	0,82	0,498	0,025
	Podél.	60	3089	51	1,0	0,88	0,5	1,8	0,80	0,498	0,024



1.2.2.3.5 Sloupky zábradlí

Vzhledem k poloze a rozměrům vnitřních sloupků zábradlí, působení sil větru na tyto sloupky zanedbávám.

Dále výpočet zatížení větrem se týká jen vnějších sloupků zábradlí.



Obrázek 13 Průřez sloupků zábradlí

Síla větru

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

$$A_{ref} = l \cdot b$$

referenční plocha stavebního objektu
nebo jeho části

Přepočet síly na liniové zatížení

$$w_e = F_w / l$$

kde

l

délka prvku

Liniové zatížení od větru

$$w_e = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b$$

pro vítr ve směru "X" i "Y"

kde

$$c_s c_d = 1,0$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

$c_{f,0}$

$$d/b = 1$$

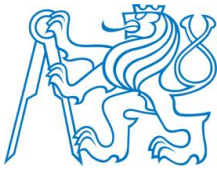
Ψ_r

součinitel konstrukce

součinitel síly pro nosné prvky s
obdélníkovým průřezem

součinitel síly pro průřezy s ostrými rohy
poměr stran profilu

redukční součinitel pro průřezy se
zaoblenými rohy



$$r/b = 0,1$$

$$\Psi_\lambda$$

$$\varphi = 1,0$$

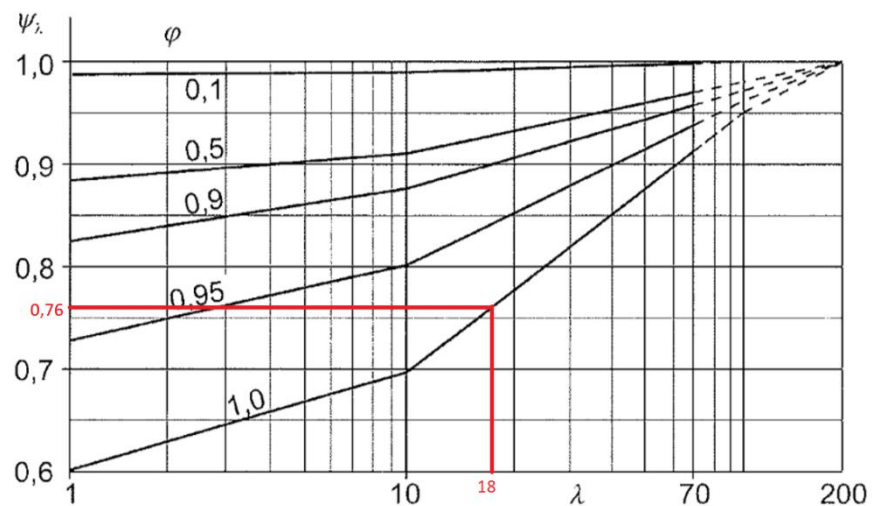
$$\lambda = \min(l/b; 70)$$

$$q_p(z_e) = 0,498 \text{ kN/m}^2$$

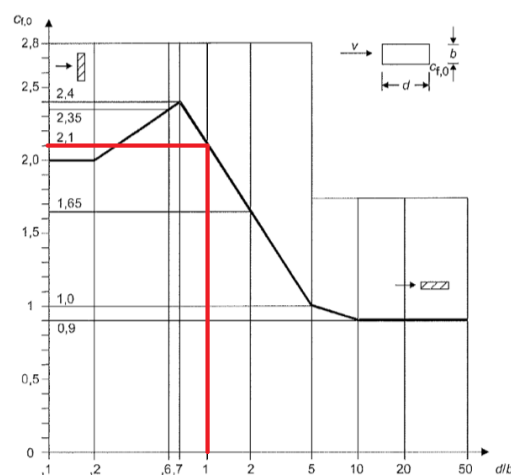
$$b = 60 \text{ mm}$$

$$l = 1100 \text{ mm}$$

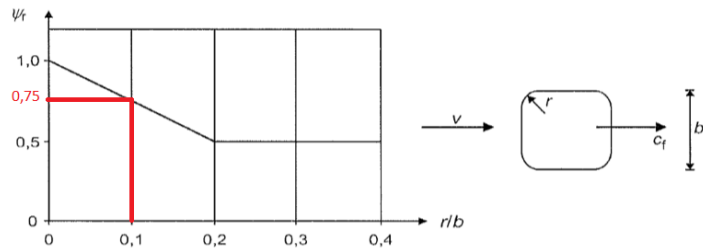
součinitel koncového efektu
součinitel plnosti pro zohlednění
propustnosti návětrných ploch
efektivní štíhlost pro $l < 15 \text{ m}$
dynamický tlak
výška profilu prvku
délka sloupků



Obrázek 14 Součinitel koncového efektu pro sloupky jako funkce součinitele plnosti φ v závislosti na štíhlosti λ



Obrázek 15 Součinitel síly pro profil sloupku jako funkce poměru stran jeho průřezu



Obrázek 16 Redukční součinitel pro průřezy se zaoblenými rohy

Hodnota liniového zatížení větru na sloupky zábradlí

$$\lambda = \min(1100/60; 70)$$

$$\lambda = 18$$

$$\Psi_{\lambda} = 0,76$$

$$c_{f,0} = 2,1$$

$$\Psi_r = 0,75$$

$$c_f = 2,1 \cdot 0,75 \cdot 0,76$$

$$c_f = 1,2$$

$$w_e = 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,498 \cdot 0,060$$

$$w_e = \mathbf{0,036 \text{ kN/m}}$$



1.3 Kombinace zatížení

1.3.1 Přehled zatěžovacích stavů

Stálé zatěžovací stavy:

- LC1 – Vlastní tíha
- LC2 – Ostatní stálé

Proměnné:

- LC3 – Užitné
- LC4a – Vítr “X”
- LC4b – Vítr “Y”
- LC5a – Vítr “-X”
- LC5b – Vítr “-Y”

1.3.2 Kombinace zatížení pro MSÚ (mezní stav únosnosti)

Používám základní kombinace zatížení 6.10 dle ČSN EN 1990

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10)$$

Dílčí součinitele:

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,5$$

Kombinační součinitele:

Užitné – kategorie C: $\psi_0 = 0,7$

Vítr: $\psi_0 = 0,6$



Tabulka 7 Seznam použitých kombinací pro mezní stav únosnosti

Nelineární kombinace

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
<i>*Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze*</i>				
NK_CO1	6.10 jen užité	Únosnost	LC1 - Vlatní tíha	1.35
			LC2 - Ostatní stalé	1.35
			LC3 - Užité	1.50
NK_CO2	6.10 jen vítr "x"	Únosnost	LC1 - Vlatní tíha	1.35
			LC2 - Ostatní stalé	1.35
			LC4a - Vítr "x"	1.50
NK_CO3	6.10 jen vítr "-x"	Únosnost	LC1 - Vlatní tíha	1.35
			LC2 - Ostatní stalé	1.35
			LC5a - Vítr "-x"	1.50
NK_CO4	6.10 jen vítr "y"	Únosnost	LC1 - Vlatní tíha	1.35
			LC2 - Ostatní stalé	1.35
			LC4b - Vítr "y"	1.50
NK_CO5	6.10 jen vítr "-y"	Únosnost	LC1 - Vlatní tíha	1.35
			LC2 - Ostatní stalé	1.35
			LC5b - Vítr "-y"	1.50
NK_CO6	6.10 max provoz a vítr "x"	Únosnost	LC1 - Vlatní tíha	1.35
			LC2 - Ostatní stalé	1.35
			LC3 - Užité	1.50
			LC4a - Vítr "x"	0.90
NK_CO7	6.10 max provoz a vítr "-x"	Únosnost	LC1 - Vlatní tíha	1.35
			LC2 - Ostatní stalé	1.35
			LC3 - Užité	1.50
			LC5a - Vítr "-x"	0.90
NK_CO8	6.10 max provoz a vítr "y"	Únosnost	LC1 - Vlatní tíha	1.35
			LC2 - Ostatní stalé	1.35
			LC3 - Užité	1.50
			LC4b - Vítr "y"	0.90
NK_CO9	6.10 max provoz a vítr "-y"	Únosnost	LC1 - Vlatní tíha	1.35
			LC2 - Ostatní stalé	1.35
			LC3 - Užité	1.50
			LC5b - Vítr "-y"	0.90
NK_CO10	6.10 provoz a max vítr "x"	Únosnost	LC1 - Vlatní tíha	1.35
			LC2 - Ostatní stalé	1.35
			LC3 - Užité	1.05
			LC4a - Vítr "x"	1.50
NK_CO11	6.10 provoz a max vítr "-x"	Únosnost	LC1 - Vlatní tíha	1.35
			LC2 - Ostatní stalé	1.35
			LC3 - Užité	1.05
			LC5a - Vítr "-x"	1.50
NK_CO12	6.10 provoz a max vítr "y"	Únosnost	LC1 - Vlatní tíha	1.35
			LC2 - Ostatní stalé	1.35
			LC3 - Užité	1.05
			LC4b - Vítr "y"	1.50
NK_CO13	6.10 provoz a max vítr "-y"	Únosnost	LC1 - Vlatní tíha	1.35
			LC2 - Ostatní stalé	1.35
			LC3 - Užité	1.05
			LC5b - Vítr "-y"	1.50



1.3.3 Kombinace zatížení pro MSP (mezní stav použitelnosti)

Použiju charakteristickou kombinace zatížení podle ČSN EN 1990

(charakteristická: překročení MSP způsobí významnou poruchu nebo nepřijatelné nevratné přetvoření)

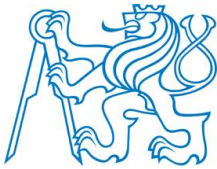
a) charakteristická kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.14b)$$

Kombinační součinitele:

Užitné – kategorie C: $\psi_0 = 0,7$

Vítr: $\psi_0 = 0,6$



Tabulka 8 Seznam použitých kombinací pro mezní stav použitelnosti

Nelineární kombinace

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
NK_CO14	Char. užité	Použitelnost	LC1 - Vlatní tíha LC2 - Ostatní stalé LC3 - Užité	1.00 1.00 1.00
NK_CO15	Char. vítr "x"	Použitelnost	LC1 - Vlatní tíha LC2 - Ostatní stalé LC4a - Vítr "x"	1.00 1.00 1.00
NK_CO16	Char. vítr "-x"	Použitelnost	LC1 - Vlatní tíha LC2 - Ostatní stalé LC5a - Vítr "-x"	1.00 1.00 1.00
NK_CO17	Char. vítr "y"	Použitelnost	LC1 - Vlatní tíha LC2 - Ostatní stalé LC4b - Vítr "y"	1.00 1.00 1.00
NK_CO18	Char. vítr "-y"	Použitelnost	LC1 - Vlatní tíha LC2 - Ostatní stalé LC5b - Vítr "-y"	1.00 1.00 1.00
NK_CO19	Char. provoz a vítr "x"	Použitelnost	LC1 - Vlatní tíha LC2 - Ostatní stalé LC3 - Užité LC4a - Vítr "x"	1.00 1.00 1.00 0.60
NK_CO20	Char. provoz a vítr "-x"	Použitelnost	LC1 - Vlatní tíha LC2 - Ostatní stalé LC3 - Užité LC5a - Vítr "-x"	1.00 1.00 1.00 0.60
NK_CO21	Char. provoz a vítr "y"	Použitelnost	LC1 - Vlatní tíha LC2 - Ostatní stalé LC3 - Užité LC4b - Vítr "y"	1.00 1.00 1.00 0.60
NK_CO22	Char. provoz a vítr "-y"	Použitelnost	LC1 - Vlatní tíha LC2 - Ostatní stalé LC3 - Užité LC5b - Vítr "-y"	1.00 1.00 1.00 0.60
NK_CO23	Char. vítr "x" a provoz	Použitelnost	LC1 - Vlatní tíha LC2 - Ostatní stalé LC3 - Užité LC4a - Vítr "x"	1.00 1.00 0.70 1.00
NK_CO24	Char. vítr "-x" a provoz	Použitelnost	LC1 - Vlatní tíha LC2 - Ostatní stalé LC3 - Užité LC5a - Vítr "-x"	1.00 1.00 0.70 1.00
NK_CO25	Char. vítr "y" a provoz	Použitelnost	LC1 - Vlatní tíha LC2 - Ostatní stalé LC3 - Užité LC4b - Vítr "y"	1.00 1.00 0.70 1.00
NK_CO26	Char. vítr "-y" a provoz	Použitelnost	LC1 - Vlatní tíha LC2 - Ostatní stalé LC3 - Užité LC5b - Vítr "-y"	1.00 1.00 0.70 1.00



2 Posouzení prvků

2.1 Použitý materiál

Ocel S355

$\gamma_{M0} = 1,0$	součinitele spolehlivosti materiálu
$\gamma_{M1} = 1,0$	
$\gamma_{M2} = 1,25$	
$f_{uk} = 510 \text{ MPa}$	charakteristická mez kluzu
$f_{ud} = 510 \text{ MPa}$	návrhová mez kluzu
$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$	charakteristická mez kluzu
$f_{yd} = 355 \text{ MPa}$	návrhová mez kluzu
$\rho_s = 7850 \text{ kg/m}^3$	hustota
$E_s = 210000 \text{ MPa}$	modul pružnosti
$G_s = 80700 \text{ MPa}$	modul pružnosti ve smyku
$\nu = 0,3$	Poissonův součinitel



2.2 Posouzení sloupů

Všechny sloupy jsou tvořeny profily IPE 140

Geometrie profilu IPE 140

$$h = 140 \text{ mm}$$

$$b = 73 \text{ mm}$$

$$t_f = 6,9 \text{ mm}$$

$$t_w = 4,7 \text{ mm}$$

$$r_1 = 7 \text{ mm}$$

$$d = 112,2 \text{ mm}$$

$$A = 1640 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 5,41 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 4,49 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 8,84 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 1,92 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 57,4 \text{ mm}$$

$$i_z = 16,5 \text{ mm}$$

$$I_t = 2,41 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 1,98 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

Křívka vzpěrné pevnosti a

$$\alpha = 0,21$$

Křívka vzpěrné pevnosti b

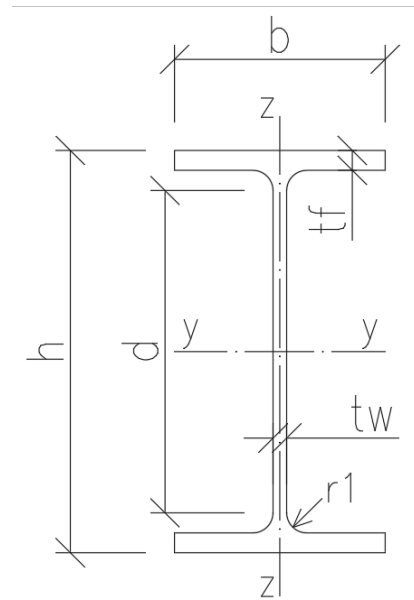
$$\alpha = 0,34$$

pro vybočení kolmo k ose y-y

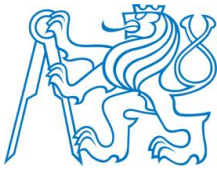
součinitel imperfekce

pro vybočení kolmo k ose z-z

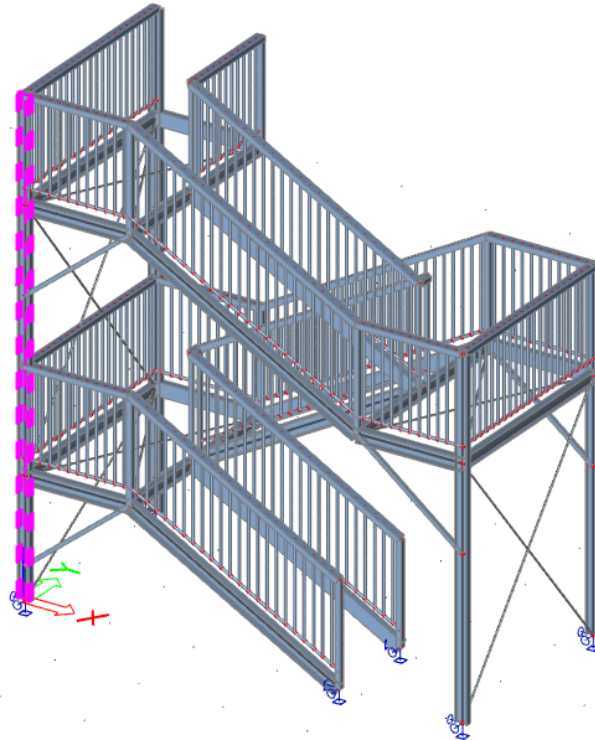
součinitel imperfekce



Obrázek 17 Schéma profilu IPE



2.2.1 Sloup č.1



Obrázek 18 Poloha sloupu č.1 v modelu

Délka prvku

$$l = 5600 \text{ mm}$$

Tabulka 9 Extrémy vnitřních sil na sloupu č.1 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Sloup 1

Třída : obálka NK MSÚ

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Sloup 1	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO9	-52.72	0.14	-10.46	-0.01	0.00	0.00
Sloup 1	CS1 - IPE140	5.600	NK_CO9	1.50	-0.76	-4.88	-0.01	-0.50	-0.98
Sloup 1	CS1 - IPE140	1.570	NK_CO8	-24.28	-1.25	-4.61	-0.01	2.39	0.29
Sloup 1	CS1 - IPE140	4.380	NK_CO9	-4.72	3.11	-9.79	0.02	6.17	-0.63
Sloup 1	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO7	-50.25	0.10	-10.75	-0.01	0.00	0.00
Sloup 1	CS1 - IPE140	4.380	NK_CO7	-12.90	-0.65	12.49	0.02	6.08	-0.60
Sloup 1	CS1 - IPE140	4.380	NK_CO6	-4.67	2.92	-9.79	0.02	6.18	-0.57
Sloup 1	CS1 - IPE140	3.380	NK_CO7	-13.07	-0.65	12.44	0.02	-6.38	0.04
Sloup 1	CS1 - IPE140	2.600	NK_CO9	-28.95	-0.61	-4.66	0.00	-2.41	0.56

⇒ Prvek je namáhán převážně tlakem, smykem a ohybem



Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Tlačená a ohýbaná stojina

$$e = M_{y,Ed}/N_{Ed} -$$

$$e = 121 \text{ mm}$$

$$x = \frac{-e \cdot t_w + \sqrt{(e \cdot t_w)^2 + t_w \cdot W_{pl,y}}}{t_w}$$

$$x = 121 \text{ mm}$$

$$\alpha = (0,5 \cdot d + x)/d$$

$$\alpha = 1,05$$

$$d/t_w = 23,9 < (396 \cdot \varepsilon)/(13 \cdot \alpha - 1) = 25,4$$

⇒ Třída 1

Tlačená pásnice

$$c = (b - 2 \cdot r - t_w)/2$$

$$c = 27 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 3,9 < 9 \cdot \varepsilon = 7,3$$

⇒ Třída 1

Průřez celkově je 1. třídy

Posouzení na prostý tlak

$$N_{Ed} - /N_{c,Rd} \leq 1$$

$$N_{Ed} - = -52,720 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = f_{yd} \cdot A$$

$$N_{c,Rd} = 582,200 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} - /N_{c,Rd} = \mathbf{0,091} \leq \mathbf{1}$$

Prvek na tlak vyhoví

Posouzení na smyk Vz

$$V_{z,Ed}/V_{c,Rd} \leq 1$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_{yd}/\sqrt{3}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

$$A_v = 762 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 156,103 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 12,49 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed}/V_{c,Rd} = \mathbf{0,080} \leq \mathbf{1}$$

Prvek na smyk vyhoví



Posouzení na ohyb M_y

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} = 31,382 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 6,380 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} = 0,203 \leq 1$$

Prvek na ohyb vyhoví

Výsledky stabilitního výpočtu

$$\alpha_{cr} = 16,81$$

součinitel kritického zatížení pro
vybočení kolmo k ose prvku z-z pro
kombinaci zatížení CO9

Tabulka 10 Rozhodující kombinace CO9. Vnitřní síly na sloupu č.1

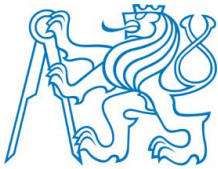
Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Sloup 1

Nelineární kombinace : NK_CO9

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Sloup 1	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO9	-52.72	0.14	-10.46	-0.01	0.00	0.00
Sloup 1	CS1 - IPE140	5.600	NK_CO9	1.50	-0.76	-4.88	-0.01	-0.50	-0.98
Sloup 1	CS1 - IPE140	2.600	NK_CO9	-27.29	-1.19	-4.60	-0.01	-2.43	-0.91
Sloup 1	CS1 - IPE140	4.380	NK_CO9	-4.72	3.11	-9.79	0.02	6.17	-0.63
Sloup 1	CS1 - IPE140	0.380	NK_CO9	-52.66	0.10	-10.46	-0.01	-3.98	0.05
Sloup 1	CS1 - IPE140	3.380	NK_CO9	-15.21	-0.69	12.21	0.02	-6.04	0.08
Sloup 1	CS1 - IPE140	1.570	NK_CO9	-27.46	-1.08	-4.60	-0.01	2.31	0.26
Sloup 1	CS1 - IPE140	2.600	NK_CO9	-28.95	-0.61	-4.66	0.00	-2.41	0.56



Posouzení na vzpěr

$$N_{Ed} - / N_{b,Rd} \leq 1$$

$$N_{cr} = \alpha_{cr} \cdot N_{Ed} -$$

kritická síla

$$N_{cr} = 886,223 \text{ kN}$$

$$\lambda^- = \sqrt{A \cdot f_y / N_{cr}}$$

poměrná štíhlost

$$\lambda^- = 0,811$$

$$\varphi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda^- - 0,2) + \lambda^{-2})$$

$$\varphi = 0,932$$

součinitel vzpěru

$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \lambda^{-2}}}$$

$$\chi = 0,718$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd} \cdot A$$

$$N_{b,Rd} = 417,984 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} - = -52,720 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} - / N_{b,Rd} = 0,126 \leq 1$$

Prvek na vzpěr vyhoví

Klopení

$$L = 2,0 \text{ m}$$

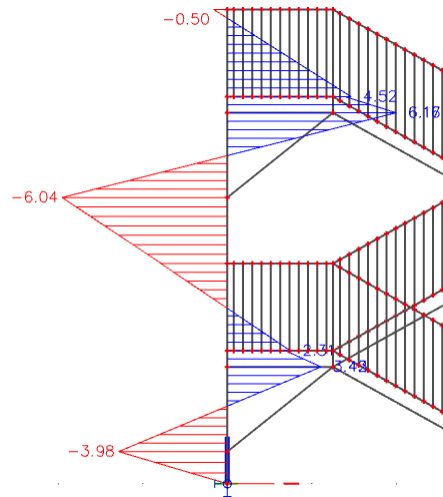
$$k_z = 0,5$$

$$k_w = 1,0$$

vzdálenost podepření proti klopení (od dolní podesty k vzpěře)

součinitel uložení (vetknutí-vetknutí)

součinitel uložení (bezpečně)



Obrázek 19 Průběh momentů na sloupu č.1

$$\Psi = -1/2$$

poměr koncových momentů
bezrozměrný parametr kroucení

$$\kappa_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}}$$

$$\kappa_{\omega t} = 0,726$$

$$C_{1,0} = 2,23$$

$$C_{1,1} = 2,58$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_{\omega t}$$

$$C_1 = 2,48$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2}$$

bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = 6,129$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

kritický moment při klopení

$$M_{cr} = 130,398 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT}^- = \sqrt{W_y \cdot f_y / M_{cr}}$$

$$\lambda_{LT}^- = 0,491$$

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

křivka klopení a

$$\varphi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT}^- - 0,2)) + \lambda_{LT}^{-2}$$

$$\varphi_{LT} = 0,65$$

součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}}$$

$$\chi_{LT} = 0,927$$

Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$
$$0,126 + 0,219 + 0,031 \leq 1$$
$$0,376 \leq 1$$

Prvek na kombinaci tlaku a ohybu vyhoví

Posouzení MSPTabulka 11 Deformace sloupu č.1**Deformace na prutu**

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Sloup 1

Třída : obálka NK MSP

Dílec	dx [m]	Stav	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]	Výslednice [mm]
Sloup 1	4.570	NK_CO22	-0.3	-1.9	-0.7	-3.7	0.7	-2.6	2.1
Sloup 1	0.000	NK_CO17	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.5	0.0
Sloup 1	5.600	NK_CO22	-0.3	-6.4	-0.5	-1.1	-0.6	-7.0	6.4
Sloup 1	2.497	NK_CO25	-0.1	1.6	1.2	2.2	-0.7	-0.2	1.9
Sloup 1	4.879	NK_CO23	-0.2	-1.4	-1.4	-2.4	0.0	-2.3	2.0
Sloup 1	3.046	NK_CO20	-0.2	0.0	2.1	3.4	0.0	-0.4	2.1
Sloup 1	3.380	NK_CO21	-0.2	0.8	1.6	4.0	1.2	-0.1	1.8
Sloup 1	2.085	NK_CO20	-0.1	0.5	1.2	1.5	-1.3	0.7	1.3
Sloup 1	3.880	NK_CO19	-0.2	-0.1	0.1	0.6	2.2	-0.5	0.2
Sloup 1	1.776	NK_CO21	-0.1	0.8	0.7	0.5	-1.0	1.3	1.1

$$\delta = 6,4 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = h/150$$

$$\delta_{lim} = 37 \text{ mm}$$

$$\delta = 6,4 \text{ mm} < \delta_{lim} = 37 \text{ mm}$$

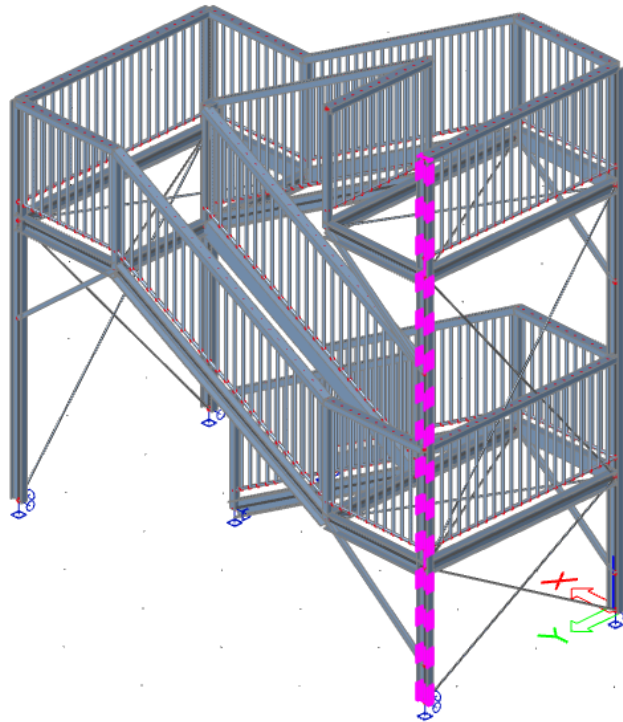
maximální posun

limitní posun

OK



2.2.2 Sloup č.2



Obrázek 20 Poloha sloupu č.2 v modelu

Délka prvku

$$l = 5600 \text{ mm}$$

Tabulka 12 Extrémy vnitřních sil na sloupu č.2 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Sloup 2

Třída : obálka NK MSÚ

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Sloup 2	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO8	-43.48	0.00	-9.42	0.01	0.00	0.00
Sloup 2	CS1 - IPE140	4.570	NK_CO9	1.22	0.33	-1.79	0.00	2.40	-0.24
Sloup 2	CS1 - IPE140	1.380	NK_CO8	-19.33	-1.51	-11.79	0.00	6.20	0.09
Sloup 2	CS1 - IPE140	1.570	NK_CO9	-14.50	0.85	-8.81	0.01	4.09	-0.18
Sloup 2	CS1 - IPE140	1.570	NK_CO6	-18.89	-1.24	-11.84	0.00	3.88	-0.18
Sloup 2	CS1 - IPE140	3.380	NK_CO9	-5.38	0.07	10.07	0.00	-7.33	-0.34
Sloup 2	CS1 - IPE140	3.380	NK_CO6	-5.44	0.11	10.05	0.00	-7.34	-0.37
Sloup 2	CS1 - IPE140	3.380	NK_CO6	-15.77	0.11	-2.74	0.00	-7.34	-0.37
Sloup 2	CS1 - IPE140	2.600	NK_CO8	-16.16	0.07	-3.18	0.00	-4.69	-0.49
Sloup 2	CS1 - IPE140	2.600	NK_CO9	-14.32	0.74	-8.81	0.01	-4.99	0.65

⇒ Prvek je namáhán převážně tlakem, smykem a ohybem



Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Tlačená a ohýbaná stojina

$$e = M_{y,Ed}/N_{Ed} -$$

$$e = 169 \text{ mm}$$

$$x = (-e \cdot t_w + \sqrt{(e \cdot t_w)^2 + t_w \cdot W_{pl,y}})/t_w$$

$$x = 48,7 \text{ mm}$$

$$\alpha = (0,5 \cdot d + x)/d$$

$$\alpha = 0,93$$

$$d/t_w = 23,9 < (396 \cdot \varepsilon)/(13 \cdot \alpha - 1) = 28,9$$

⇒ Třída 1

Tlačená pásnice

$$c = (b - 2 \cdot r - t_w)/2$$

$$c = 27 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 3,9 < 9 \cdot \varepsilon = 7,3$$

⇒ Třída 1

Průřez celkově je 1. třídy

Posouzení na prostý tlak

$$N_{Ed} - /N_{c,Rd} \leq 1$$

$$N_{Ed} - = -43,480 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = f_{yd} \cdot A$$

$$N_{c,Rd} = 582,200 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} - /N_{c,Rd} = 0,075 \leq 1$$

Prvek na tlak vyhoví

Posouzení na smyk Vz

$$V_{z,Ed}/V_{c,Rd} \leq 1$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_{yd}/\sqrt{3}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

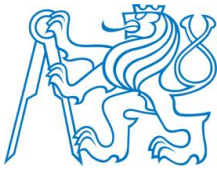
$$A_v = 762 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 156,103 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 11,840 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed}/V_{c,Rd} = 0,076 \leq 1$$

Prvek na smyk vyhoví



Posouzení na ohyb M_y

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$
$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$
$$M_{c,Rd} = 31,382 \text{ kNm}$$
$$M_{y,Ed} = 7,340 \text{ kNm}$$
$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} = 0,234 \leq 1$$

Prvek na ohyb vyhoví

Výsledky stabilitního výpočtu

$$\alpha_{cr} = 16,81$$

součinitel kritického zatížení pro
vybočení kolmo k ose prvku z-z pro
kombinaci zatížení CO9

Tabulka 13 Rozhodující kombinace CO9. Vnitřní síly na sloupu č.2

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Sloup 2
Nelineární kombinace : NK_CO9

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Sloup 2	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO9	-37.91	0.10	-9.19	0.01	0.00	0.00
Sloup 2	CS1 - IPE140	4.570	NK_CO9	1.22	0.33	-1.79	0.00	2.40	-0.24
Sloup 2	CS1 - IPE140	1.570	NK_CO9	-18.72	-1.10	-11.78	0.00	3.83	-0.18
Sloup 2	CS1 - IPE140	1.570	NK_CO9	-14.50	0.85	-8.81	0.01	4.09	-0.18
Sloup 2	CS1 - IPE140	3.380	NK_CO9	-5.38	0.07	10.07	0.00	-7.33	-0.34
Sloup 2	CS1 - IPE140	3.380	NK_CO9	-15.75	0.07	-2.77	0.00	-7.33	-0.33
Sloup 2	CS1 - IPE140	1.380	NK_CO9	-18.75	-1.08	-11.78	0.00	6.07	0.02
Sloup 2	CS1 - IPE140	4.570	NK_CO9	-1.46	0.52	-1.85	0.00	2.39	-0.48
Sloup 2	CS1 - IPE140	2.600	NK_CO9	-14.32	0.74	-8.81	0.01	-4.99	0.65



Posouzení na vzpěr

$$N_{Ed} - / N_{b,Rd} \leq 1$$

$$N_{cr} = \alpha_{cr} \cdot N_{Ed} -$$

kritická síla

$$N_{cr} = 637,267 \text{ kN}$$

$$\lambda^- = \sqrt{A \cdot f_y / N_{cr}}$$

poměrná štíhlost

$$\lambda^- = 0,956$$

$$\varphi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda^- - 0,2) + \lambda^{-2})$$

$$\varphi = 1,085$$

součinitel vzpěru

$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \lambda^{-2}}}$$

$$\chi = 0,625$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd} \cdot A$$

$$N_{b,Rd} = 364,026 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} - = -37,91 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} - / N_{b,Rd} = 0,104 \leq 1$$

Prvek na vzpěr vyhoví

Klopení

$$L = 2,0 \text{ m}$$

$$k_z = 0,5$$

$$k_w = 1,0$$

$$\Psi = -1$$

$$\kappa_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}}$$

$$\kappa_{\omega t} = 0,726$$

$$C_{1,0} = 2,22$$

$$C_{1,1} = 2,39$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_{\omega t}$$

$$C_1 = 2,34$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2}$$

$$\mu_{cr} = 5,784$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$M_{cr} = 123,037 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT}^- = \sqrt{W_y \cdot f_y / M_{cr}}$$

$$\lambda_{LT}^- = 0,505$$

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

$$\varphi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT}^- - 0,2) + \lambda_{LT}^{-2})$$

$$\varphi_{LT} = 0,66$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}}$$

$$\chi_{LT} = 0,923$$

vzdálenost podepření proti klopení (od dolní podesty k vzpěře)

součinitel uložení (vetknutí-vetknutí)

součinitel uložení (bezpečně)

poměr koncových momentů

bezrozměrný parametr kroucení

bezrozměrný kritický moment

kritický moment při klopení

křivka klopení a

součinitel klopení

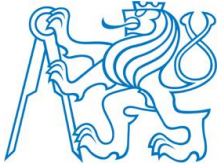
Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu

$$\frac{N_{Ed}^-}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$0,104 + 0,253 + 0,021 \leq 1$$

$$0,378 \leq 1$$

Prvek na kombinaci tlaku a ohybu vyhoví



Posouzení MSP

Tabulka 14 Deformace sloupu č.2

Deformace na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Sloup 2

Třída : obálka NK MSP

Dílec	dx [m]	Stav	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]	Výslednice [mm]
Sloup 2	5.600	NK_CO21	-0.2	-4.6	-14.2	-5.7	3.7	-4.4	14.9
Sloup 2	0.000	NK_CO18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	-0.4	0.0
Sloup 2	5.600	NK_CO22	-0.1	-6.4	-15.8	-6.2	4.1	-4.8	17.1
Sloup 2	3.269	NK_CO25	-0.1	2.1	-2.9	-3.7	2.1	0.0	3.6
Sloup 2	5.600	NK_CO19	-0.2	-5.4	-16.3	-6.2	4.2	-4.6	17.2
Sloup 2	0.380	NK_CO16	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.0
Sloup 2	0.000	NK_CO22	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	-0.4	0.0
Sloup 2	2.085	NK_CO24	-0.1	0.1	-1.8	-2.3	-0.2	0.2	1.8
Sloup 2	4.080	NK_CO19	-0.1	0.1	-9.0	-5.6	5.6	-2.1	9.0
Sloup 2	2.600	NK_CO21	-0.1	1.2	-2.9	-4.9	0.7	2.0	3.2

$$\delta = 17,2 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = h/150$$

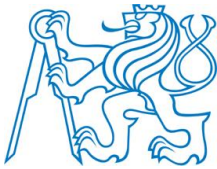
$$\delta_{lim} = 37 \text{ mm}$$

$$\delta = 17,2 \text{ mm} < \delta_{lim} = 37 \text{ mm}$$

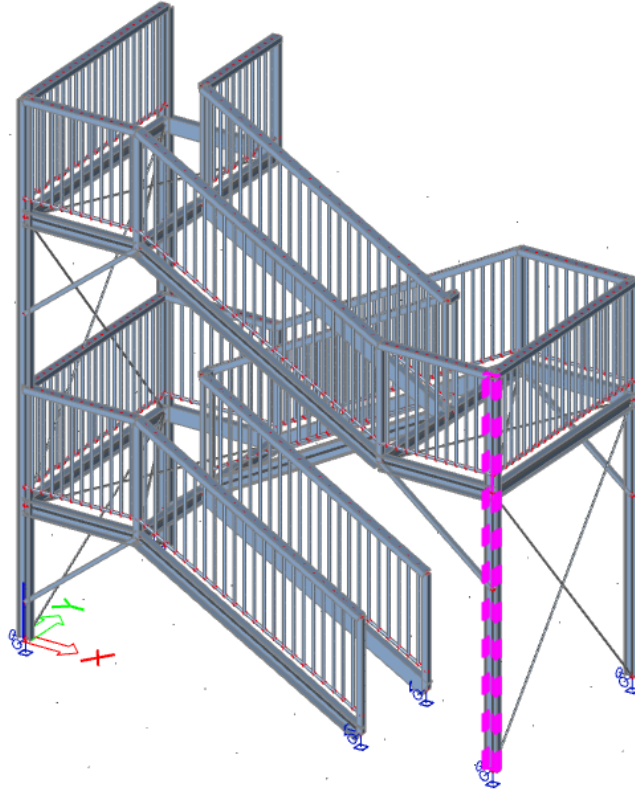
maximální posun

limitní posun

OK



2.2.3 Sloup č.3



Obrázek 21 Poloha sloupu č.3 v modelu

Délka prvku

$$l = 4100 \text{ mm}$$

Tabulka 15 Extrémy vnitřních sil na sloupu č.3 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Sloup 3

Třída : obálka NK MSÚ

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Sloup 3	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO9	-31.80	0.12	4.41	0.01	0.00	0.00
Sloup 3	CS1 - IPE140	4.100	NK_CO9	0.48	-1.45	5.21	-0.01	-0.05	-1.15
Sloup 3	CS1 - IPE140	3.070	NK_CO8	0.24	-1.54	5.20	-0.01	-5.39	0.39
Sloup 3	CS1 - IPE140	2.880	NK_CO9	-3.48	1.55	10.37	-0.01	-7.14	-0.02
Sloup 3	CS1 - IPE140	2.880	NK_CO6	-13.26	0.01	-15.88	-0.01	-7.25	0.04
Sloup 3	CS1 - IPE140	2.880	NK_CO6	-3.43	1.36	10.59	-0.01	-7.25	0.06
Sloup 3	CS1 - IPE140	1.880	NK_CO9	-15.69	-0.07	-15.41	-0.01	8.28	0.07
Sloup 3	CS1 - IPE140	1.880	NK_CO6	-29.64	0.01	4.52	0.01	8.60	0.01
Sloup 3	CS1 - IPE140	4.100	NK_CO7	0.43	-1.45	5.15	-0.01	-0.03	-1.15

⇒ Prvek je namáhán převážně tlakem, smykem a ohybem



Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Tlačená a ohýbaná stojina

$$e = M_{y,Ed}/N_{Ed} -$$

$$e = 270 \text{ mm}$$

$$x = (-e \cdot t_w + \sqrt{(e \cdot t_w)^2 + t_w \cdot W_{pl,y}}) / t_w$$

$$x = 32,8 \text{ mm}$$

$$\alpha = (0,5 \cdot d + x) / d$$

$$\alpha = 0,79$$

$$d/t_w = 23,9 < (396 \cdot \varepsilon) / (13 \cdot \alpha - 1) = 34,6$$

⇒ Třída 1

Tlačená pásnice

$$c = (b - 2 \cdot r - t_w) / 2$$

$$c = 27 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 3,9 < 9 \cdot \varepsilon = 7,3$$

⇒ Třída 1

Průřez celkově je 1. třídy

Posouzení na prostý tlak

$$N_{Ed} - / N_{c,Rd} \leq 1$$

$$N_{Ed} - = -31,800 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = f_{yd} \cdot A$$

$$N_{c,Rd} = 582,200 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} - / N_{c,Rd} = 0,055 \leq 1$$

Prvek na tlak vyhoví

Posouzení na smyk Vz

$$V_{z,Ed} / V_{c,Rd} \leq 1$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_{yd} / \sqrt{3}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

$$A_v = 762 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 156,103 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 15,880 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} / V_{c,Rd} = 0,102 \leq 1$$

Prvek na smyk vyhoví



Posouzení na ohyb M_y

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$
$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$
$$M_{c,Rd} = 31,382 \text{ kNm}$$
$$M_{y,Ed} = 8,600 \text{ kNm}$$
$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} = 0,274 \leq 1$$

Prvek na ohyb vyhoví

Výsledky stabilitního výpočtu

$$\alpha_{cr} = 5,91$$

součinitel kritického zatížení pro
vybočení kolmo k ose prvku z-z pro
kombinaci zatížení CO6

Tabulka 16 Rozhodující kombinace CO6. Vnitřní síly na sloupu č.3

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Sloup 3

Nelineární kombinace : NK_CO6

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Sloup 3	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO6	-29.96	0.01	4.63	0.01	0.00	0.00
Sloup 3	CS1 - IPE140	4.100	NK_CO6	0.47	-1.44	5.26	-0.01	-0.05	-1.14
Sloup 3	CS1 - IPE140	3.070	NK_CO6	0.30	-1.44	5.31	-0.01	-5.49	0.34
Sloup 3	CS1 - IPE140	3.070	NK_CO6	-3.40	1.36	10.58	-0.01	-5.24	0.32
Sloup 3	CS1 - IPE140	2.880	NK_CO6	-13.26	0.01	-15.88	-0.01	-7.25	0.04
Sloup 3	CS1 - IPE140	2.880	NK_CO6	-3.43	1.36	10.59	-0.01	-7.25	0.06
Sloup 3	CS1 - IPE140	1.880	NK_CO6	-13.43	0.01	-15.83	-0.01	8.60	0.03
Sloup 3	CS1 - IPE140	1.880	NK_CO6	-29.64	0.01	4.52	0.01	8.60	0.01



Posouzení na vzpěr

$$N_{Ed} - / N_{b,Rd} \leq 1$$

$$N_{cr} = \alpha_{cr} \cdot N_{Ed} -$$

kritická síla

$$N_{cr} = 177,064 \text{ kN}$$

$$\lambda^- = \sqrt{A \cdot f_y / N_{cr}}$$

poměrná štíhlost

$$\lambda^- = 1,813$$

$$\varphi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda^- - 0,2) + \lambda^{-2})$$

$$\varphi = 2,418$$

součinitel vzpěru

$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \lambda^{-2}}}$$

$$\chi = 0,249$$

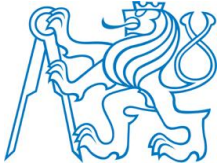
$$N_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd} \cdot A$$

$$N_{b,Rd} = 144,886 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} - = -29,96 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} - / N_{b,Rd} = 0,207 \leq 1$$

Prvek na vzpěr vyhoví

Klopení

$$L = 1,88 \text{ m}$$

$$k_z = 0,7$$

$$k_w = 1,0$$

$$\Psi = 0$$

$$\kappa_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}}$$

$$\kappa_{\omega t} = 0,773$$

$$C_{1,0} = 1,45$$

$$C_{1,1} = 1,59$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_{\omega t}$$

$$C_1 = 1,558$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2}$$

$$\mu_{cr} = 2,813$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$M_{cr} = 63,649 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT}^- = \sqrt{W_y \cdot f_y / M_{cr}}$$

$$\lambda_{LT}^- = 0,702$$

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

$$\varphi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT}^- - 0,2) + \lambda_{LT}^{-2})$$

$$\varphi_{LT} = 0,80$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}}$$

$$\chi_{LT} = 0,847$$

vzdálenost podepření proti klopení (od patky ke vzpěře)

součinitel uložení (kloub-vetknutí)

součinitel uložení (bezpečně)

poměr koncových momentů

bezrozměrný parametr kroucení

bezrozměrný kritický moment

kritický moment při klopení

křivka klopení a

součinitel klopení

Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu

$$\frac{N_{Ed}^-}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$0,207 + 0,324 + 0,036 \leq 1$$

$$0,567 \leq 1$$

Prvek na kombinaci tlaku a ohybu vyhoví



Posouzení MSP

Tabulka 17 Deformace sloupu č.3

Deformace na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Sloup 3

Třída : obálka NK MSP

Dílec	dx [m]	Stav	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]	Výslednice [mm]
Sloup 3	3.070	NK_CO22	-0.1	-0.6	0.0	-0.6	-1.2	0.3	0.6
Sloup 3	0.000	NK_CO17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.0
Sloup 3	4.100	NK_CO26	-0.1	-1.4	-0.1	1.2	0.4	-2.2	1.4
Sloup 3	3.791	NK_CO25	-0.1	1.4	0.5	0.4	0.2	0.0	1.5
Sloup 3	1.504	NK_CO19	-0.1	-0.2	-3.5	-2.6	0.2	-0.1	3.5
Sloup 3	3.585	NK_CO24	-0.1	0.1	1.3	0.0	-0.1	0.2	1.3
Sloup 3	1.880	NK_CO22	-0.1	-0.8	-3.0	-3.8	-1.6	0.0	3.1
Sloup 3	4.100	NK_CO19	-0.1	-0.3	-0.3	1.5	0.5	-2.5	0.4
Sloup 3	2.380	NK_CO20	-0.1	-0.2	-0.9	-2.5	-3.0	0.1	1.0
Sloup 3	0.000	NK_CO19	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	-0.1	0.0
Sloup 3	4.100	NK_CO22	-0.1	-0.9	0.1	1.5	0.4	-2.7	1.0

$$\delta = 3,5 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lim}} = h/150$$

$$\delta_{\text{lim}} = 27 \text{ mm}$$

$$\delta = 3,5 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = 27 \text{ mm}$$

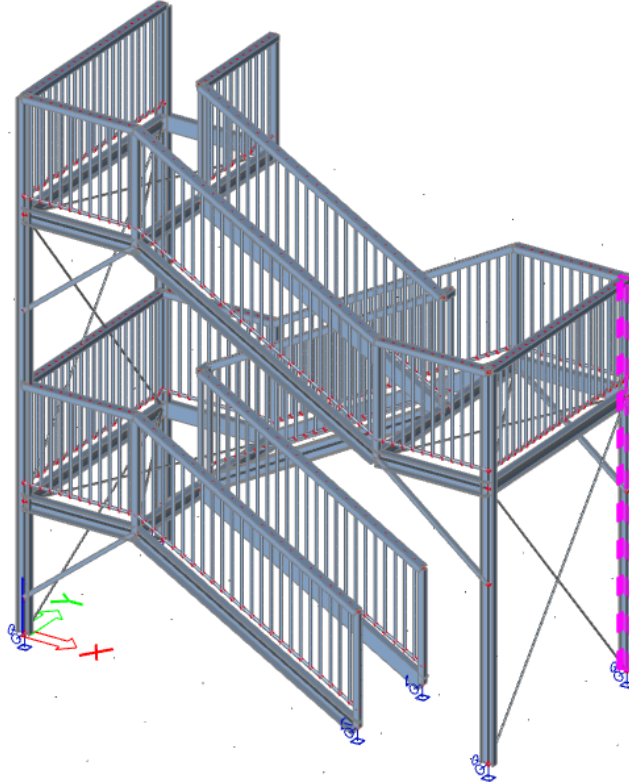
maximální posun

limitní posun

OK



2.2.4 Sloup č.4



Obrázek 22 Poloha sloupu č.4 v modelu

Délka prvku

$$l = 4100 \text{ mm}$$

Tabulka 18 Extrémy vnitřních sil na sloupu č.3 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Sloup 4

Třída : obálka NK MSÚ

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Sloup 4	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO8	-30.19	-0.14	4.85	0.00	0.00	0.00
Sloup 4	CS1 - IPE140	4.100	NK_CO6	0.29	1.59	5.24	0.01	0.04	1.29
Sloup 4	CS1 - IPE140	2.880	NK_CO8	-3.07	-1.39	9.61	0.01	-6.62	0.00
Sloup 4	CS1 - IPE140	3.070	NK_CO9	0.07	1.67	5.08	0.01	-5.20	-0.40
Sloup 4	CS1 - IPE140	2.880	NK_CO6	-11.11	-0.01	-16.57	0.01	-7.16	-0.06
Sloup 4	CS1 - IPE140	2.880	NK_CO6	-3.13	-1.15	10.53	0.01	-7.16	-0.08
Sloup 4	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO9	-27.90	0.10	4.82	0.00	0.00	0.00
Sloup 4	CS1 - IPE140	1.880	NK_CO7	-11.14	-0.01	-15.20	0.01	8.82	-0.04
Sloup 4	CS1 - IPE140	1.880	NK_CO6	-11.28	-0.01	-16.51	0.01	9.38	-0.04
Sloup 4	CS1 - IPE140	4.100	NK_CO8	0.23	1.61	4.87	0.01	0.01	1.30

⇒ Prvek je namáhán převážně tlakem, smykem a ohybem



Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Tlačená a ohýbaná stojina

$$e = M_{y,Ed}/N_{Ed} -$$

$$e = 311 \text{ mm}$$

$$x = (-e \cdot t_w + \sqrt{(e \cdot t_w)^2 + t_w \cdot W_{pl,y}}) / t_w$$

$$x = 28,9 \text{ mm}$$

$$\alpha = (0,5 \cdot d + x) / d$$

$$\alpha = 0,76$$

$$d/t_w = 23,9 < (396 \cdot \varepsilon) / (13 \cdot \alpha - 1) = 36,4$$

⇒ Třída 1

Tlačená pásnice

$$c = (b - 2 \cdot r - t_w) / 2$$

$$c = 27 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 3,9 < 9 \cdot \varepsilon = 7,3$$

⇒ Třída 1

Průřez celkově je 1. třídy

Posouzení na prostý tlak

$$N_{Ed} - / N_{c,Rd} \leq 1$$

$$N_{Ed} - = -30,190 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = f_{yd} \cdot A$$

$$N_{c,Rd} = 582,200 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} - / N_{c,Rd} = 0,052 \leq 1$$

Prvek na tlak vyhoví

Posouzení na smyk Vz

$$V_{z,Ed} / V_{c,Rd} \leq 1$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_{yd} / \sqrt{3}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

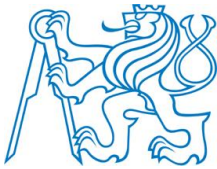
$$A_v = 762 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 156,103 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 16,570 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} / V_{c,Rd} = 0,106 \leq 1$$

Prvek na smyk vyhoví



Posouzení na ohyb M_y

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$
$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$
$$M_{c,Rd} = 31,382 \text{ kNm}$$
$$M_{y,Ed} = 9,380 \text{ kNm}$$
$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} = 0,299 \leq 1$$

Prvek na ohyb vyhoví

Výsledky stabilitního výpočtu

$$\alpha_{cr} = 5,91$$

součinitel kritického zatížení pro
vybočení kolmo k ose prvku z-z pro
kombinaci zatížení CO6

Tabulka 19 Rozhodující kombinace CO6. Vnitřní síly na sloupu č.3

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Sloup 4
Nelineární kombinace : NK_CO6

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Sloup 4	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO6	-28.67	-0.02	5.04	0.00	0.00	0.00
Sloup 4	CS1 - IPE140	4.100	NK_CO6	0.29	1.59	5.24	0.01	0.04	1.29
Sloup 4	CS1 - IPE140	2.880	NK_CO6	-3.13	-1.15	10.53	0.01	-7.16	-0.08
Sloup 4	CS1 - IPE140	2.880	NK_CO6	-11.11	-0.01	-16.57	0.01	-7.16	-0.06
Sloup 4	CS1 - IPE140	1.880	NK_CO6	-11.28	-0.01	-16.51	0.01	9.38	-0.04
Sloup 4	CS1 - IPE140	1.880	NK_CO6	-28.35	-0.01	4.94	0.00	9.38	-0.03
Sloup 4	CS1 - IPE140	3.070	NK_CO6	0.11	1.59	5.30	0.01	-5.39	-0.35



Posouzení na vzpěr

$$N_{Ed} - / N_{b,Rd} \leq 1$$

$$N_{cr} = \alpha_{cr} \cdot N_{Ed} -$$

kritická síla

$$N_{cr} = 169,440 \text{ kN}$$

$$\lambda^- = \sqrt{A \cdot f_y / N_{cr}}$$

poměrná štíhlost

$$\lambda^- = 1,854$$

$$\varphi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda^- - 0,2) + \lambda^{-2})$$

$$\varphi = 2,499$$

součinitel vzpěru

$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \lambda^{-2}}}$$

$$\chi = 0,240$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd} \cdot A$$

$$N_{b,Rd} = 139,438 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} - = -28,670 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} - / N_{b,Rd} = 0,206 \leq 1$$

Prvek na vzpěr vyhoví

Klopení

$$L = 1,88 \text{ m}$$

$$k_z = 0,7$$

$$k_w = 1,0$$

$$\Psi = 0$$

$$\kappa_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}}$$

$$\kappa_{\omega t} = 0,773$$

$$C_{1,0} = 1,45$$

$$C_{1,1} = 1,59$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_{\omega t}$$

$$C_1 = 1,558$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2}$$

$$\mu_{cr} = 2,813$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$M_{cr} = 63,649 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT}^- = \sqrt{W_y \cdot f_y / M_{cr}}$$

$$\lambda_{LT}^- = 0,702$$

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

$$\varphi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT}^- - 0,2) + \lambda_{LT}^{-2})$$

$$\varphi_{LT} = 0,80$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}}$$

$$\chi_{LT} = 0,847$$

vzdálenost podepření proti klopení (od patky ke vzpěře)

součinitel uložení (kloub-vetknutí)

součinitel uložení (bezpečně)

poměr koncových momentů

bezrozměrný parametr kroucení

bezrozměrný kritický moment

kritický moment při klopení

křivka klopení a

součinitel klopení

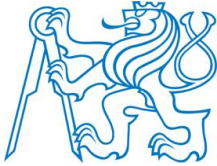
Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu

$$\frac{N_{Ed}^-}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$0,206 + 0,353 + 0,041 \leq 1$$

$$0,600 \leq 1$$

Prvek na kombinaci tlaku a ohybu vyhoví



Posouzení MSP

Tabulka 20 Deformace sloupu č.4

Deformace na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Sloup 4

Třída : obálka NK MSP

Dílec	d_x [m]	Stav	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]	f_{ix} [mrad]	f_{iy} [mrad]	f_{iz} [mrad]	Výslednice [mm]
Sloup 4	3.070	NK_CO21	-0.1	0.5	-2.7	-1.8	-0.9	-0.6	2.8
Sloup 4	0.000	NK_CO18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	-1.1	0.0
Sloup 4	3.791	NK_CO26	-0.1	-1.5	-2.3	-2.1	0.6	-0.1	2.8
Sloup 4	1.692	NK_CO25	-0.1	1.2	-3.9	0.6	0.1	0.0	4.0
Sloup 4	1.692	NK_CO19	-0.1	0.1	-5.3	1.3	0.2	-0.1	5.3
Sloup 4	0.000	NK_CO16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0
Sloup 4	4.100	NK_CO21	-0.1	0.8	-2.9	-4.1	0.7	3.0	3.0
Sloup 4	1.880	NK_CO22	-0.1	-0.5	-5.0	1.8	-0.8	0.0	5.1
Sloup 4	2.480	NK_CO21	-0.1	0.8	-3.8	-0.3	-2.4	-0.3	3.9
Sloup 4	0.000	NK_CO19	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.1	0.0
Sloup 4	3.276	NK_CO22	-0.1	-1.0	-2.7	-2.0	-0.2	-1.1	2.9

$$\delta = 5,3 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = h/150$$

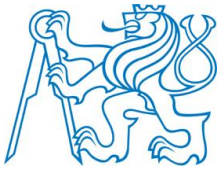
$$\delta_{lim} = 27 \text{ mm}$$

$$\delta = 5,3 \text{ mm} < \delta_{lim} = 27 \text{ mm}$$

maximální posun

limitní posun

OK



2.3 Posouzení schodnic

Všechny schodnice jsou tvořeny profily UPE 160

Geometrie profilu UPE 160

$$h = 160 \text{ mm}$$

$$b = 70 \text{ mm}$$

$$t_f = 9,5 \text{ mm}$$

$$t_w = 5,5 \text{ mm}$$

$$r_1 = 12 \text{ mm}$$

$$d = 117 \text{ mm}$$

$$A = 2170 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 9,11 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 1,07 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 1,32 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 4,15 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 64,8 \text{ mm}$$

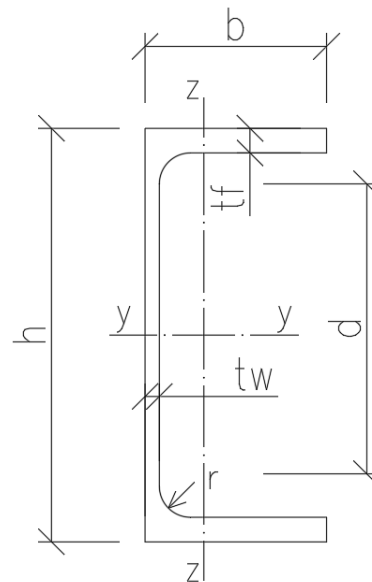
$$i_z = 22,2 \text{ mm}$$

$$I_t = 5,20 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 3,96 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

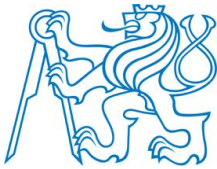
Křívka vzpěrné pevnosti c

$$\alpha = 0,49$$

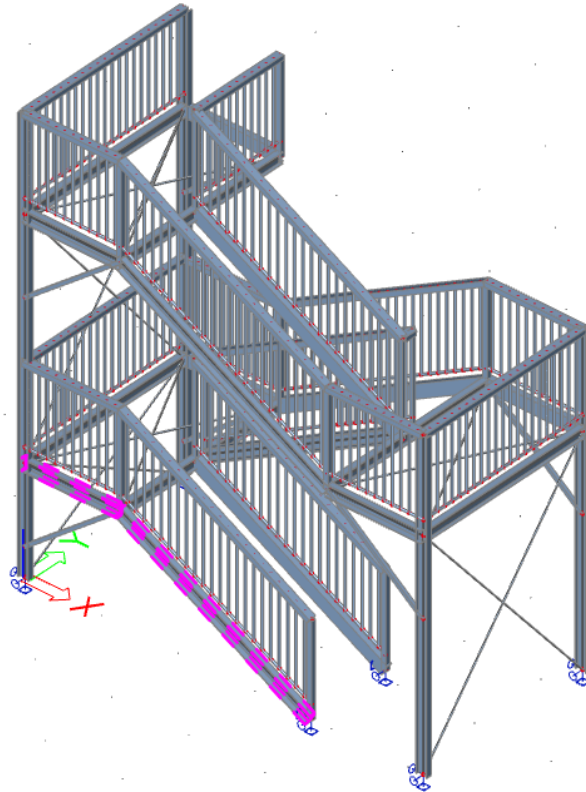


Obrázek 23 Schéma profilu UPE

pro vybočení kolmo k ose y-y, z-z
součinitel imperfekce



2.3.1 Vnější schodnice č.1-2



Obrázek 24 Poloha vnější schodnice č.1-2 v modelu

Délka prvku

$$l = 4092 \text{ mm}$$

Tabulka 21 Extrémy vnitřních sil na vnější schodnice č.1-2 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
 Výběr : Vnější schodnice 1, Vnější schodnice 2
 Třída : obálka NK MSÚ

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Vnější schodnice 1	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO6	-6.47	-0.14	4.71	0.01	-0.22	0.28
Vnější schodnice 2	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO7	15.05	-0.42	0.79	-0.02	-0.81	0.53
Vnější schodnice 2	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO9	14.08	-0.48	0.80	-0.03	-0.83	0.52
Vnější schodnice 1	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO4	-1.64	0.34	0.49	0.00	0.00	-0.24
Vnější schodnice 1	CS2 - UPE160	2.842	NK_CO7	-0.32	-0.13	-5.24	0.01	-0.82	-0.11
Vnější schodnice 1	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO9	-5.81	-0.35	4.72	0.01	-0.16	0.42
Vnější schodnice 2	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO6	12.60	-0.41	0.83	-0.03	-0.86	0.51
Vnější schodnice 1	CS2 - UPE160	2.842	NK_CO6	-0.89	-0.14	-5.16	0.01	-0.86	-0.12
Vnější schodnice 1	CS2 - UPE160	1.421	NK_CO7	-3.05	-0.13	-0.26	0.01	3.08	0.07

⇒ Prvek je namáhán převážně tahem, smykem a ohybem



Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Ohýbaná stojina

$$d/t_w = 21,273 < 72 \cdot \varepsilon = 59$$

⇒ Třída 1

Tlačená pásnice

$$c = b - r - t_w$$

$$c = 52,5 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 5,5 < 9 \cdot \varepsilon = 7,3$$

⇒ Třída 1

Průřez celkově je 1. třídy

Posouzení na tah

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} \leq 1$$

$$N_{Ed} = 15,050 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = f_{yd} \cdot A$$

$$N_{t,Rd} = 770,350 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = \mathbf{0,020} \leq 1$$

Prvek na tah vyhoví

Posouzení na smyk Vz

$$V_{z,Ed}/V_{c,Rd} \leq 1$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_{yd}/\sqrt{3}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$$

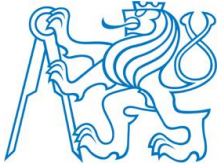
$$A_v = 1006 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 206,240 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 5,24 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed}/V_{c,Rd} = \mathbf{0,025} \leq 1$$

Prvek na smyk vyhoví

Posouzení na ohyb M_y

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} = 46,86 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 3,080 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} = 0,066 \leq 1$$

Prvek na ohyb vyhoví

Kroucení a klopení brání stupně mezi schodnicemi

Posouzení MSP

Tabulka 22 Deformace vnější schodnice č.1-2

Deformace na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vnější schodnice 1, Vnější schodnice 2

Třída : obálka NK MSP

Dílec	dx [m]	Stav	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]	Výslednice [mm]
Vnější schodnice 1	2.842	NK_CO21	0.0	1.1	-0.8	-4.7	-0.6	0.5	1.4
Vnější schodnice 2	1.250	NK_CO20	0.4	0.1	-0.1	0.5	-0.4	-0.9	0.4
Vnější schodnice 2	1.250	NK_CO17	0.1	-0.6	0.0	0.4	-0.1	-0.1	0.6
Vnější schodnice 1	2.842	NK_CO22	0.0	2.1	-0.8	-5.3	-0.6	0.7	2.2
Vnější schodnice 1	1.705	NK_CO20	0.0	0.8	-1.3	-2.9	0.0	0.7	1.5
Vnější schodnice 1	0.000	NK_CO16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
Vnější schodnice 2	1.250	NK_CO25	0.3	-0.6	-0.1	0.8	-0.3	-0.6	0.6
Vnější schodnice 1	2.557	NK_CO20	0.0	1.4	-1.0	-4.4	-0.6	0.7	1.7
Vnější schodnice 1	0.000	NK_CO20	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0
Vnější schodnice 2	0.000	NK_CO19	0.4	1.7	-0.7	-4.9	-0.6	-2.0	1.8
Vnější schodnice 1	1.705	NK_CO22	0.0	1.1	-1.3	-3.2	0.0	0.9	1.7

$$\delta = 2,2 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = 1/300$$

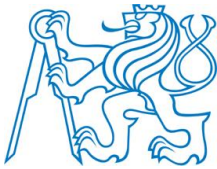
$$\delta_{lim} = 13,6 \text{ mm}$$

$$\delta = 2,2 \text{ mm} < \delta_{lim} = 13,6 \text{ mm}$$

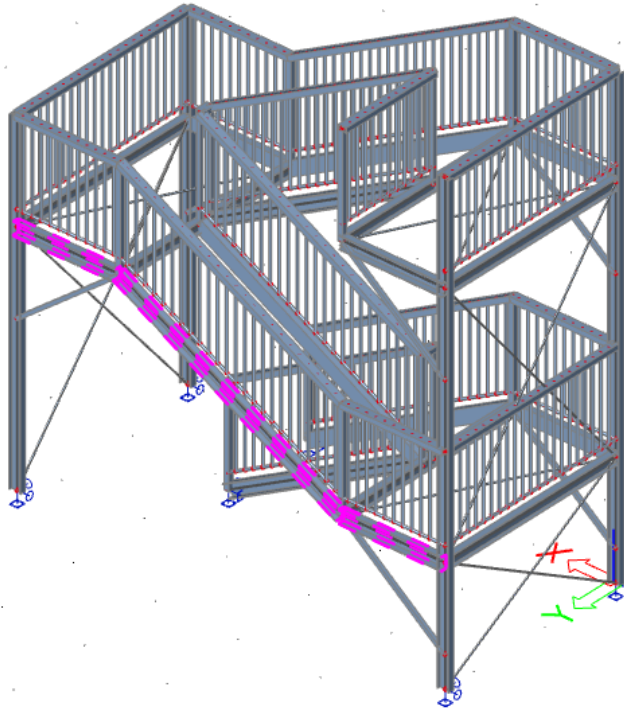
maximální průhyb

limitní průhyb

OK



2.3.2 Vnější schodnice č.3-4-5



Obrázek 25 Poloha vnější schodnice č.3-4-5 v modelu

Délka prvku

$$l = 5589 \text{ mm}$$

Tabulka 23 Extrémy vnitřních sil na vnější schodnice č.3-4-5 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vnější schodnice 3..Vnější schodnice 5
Třída : obálka NK MSÚ

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Vnější schodnice 4	CS2 - UPE160	3.089	NK_CO3	-1.04	0.01	0.60	0.00	-0.12	0.02
Vnější schodnice 3	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO6	27.14	0.56	-1.51	-0.03	0.00	0.00
Vnější schodnice 5	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO8	21.53	-0.53	1.01	0.02	-1.44	0.58
Vnější schodnice 3	CS2 - UPE160	1.250	NK_CO8	25.38	0.63	-1.41	-0.03	-1.93	0.71
Vnější schodnice 4	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO6	7.62	0.05	-5.49	0.01	-1.72	-0.09
Vnější schodnice 4	CS2 - UPE160	3.089	NK_CO8	0.99	0.23	5.59	0.00	-1.43	0.08
Vnější schodnice 3	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO9	25.67	0.59	-1.44	-0.03	0.00	0.00
Vnější schodnice 4	CS2 - UPE160	1.544	NK_CO6	4.65	0.05	-0.05	0.01	-6.01	-0.01
Vnější schodnice 4	CS2 - UPE160	1.235	NK_CO12	3.72	-0.01	-0.60	0.00	-4.30	-0.22

⇒ Prvek je namáhán převážně tahem, smykem a ohybem



Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Ohýbaná stojina

$$d/t_w = 21,273 < 72 \cdot \varepsilon = 59$$

⇒ Třída 1

Tlačená pásnice

$$c = b - r - t_w$$

$$c = 52,5 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 5,5 < 9 \cdot \varepsilon = 7,3$$

⇒ Třída 1

Průřez celkově je 1. třídy

Posouzení na tah

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} \leq 1$$

$$N_{Ed} = 27,140 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = f_{yd} \cdot A$$

$$N_{t,Rd} = 770,350 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0,035 \leq 1$$

Prvek na tah vyhoví

Posouzení na smyk Vz

$$V_{z,Ed}/V_{c,Rd} \leq 1$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_{yd}/\sqrt{3}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$$

$$A_v = 1006 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 206,240 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 5,59 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed}/V_{c,Rd} = 0,027 \leq 1$$

Prvek na smyk vyhoví



Posouzení na ohyb M_y

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$
$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$
$$M_{c,Rd} = 46,86 \text{ kNm}$$
$$M_{y,Ed} = 6,010 \text{ kNm}$$
$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} = \mathbf{0,128} \leq 1$$

Prvek na ohyb vyhoví

Kroucení a klopení brání stupně mezi schodnicemi

Posouzení MSP

Tabulka 24 Deformace vnější schodnice č.3-4-5

Deformace na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vnější schodnice 3..Vnější schodnice 5
Třída : obálka NK MSP

Dílec	dx [m]	Stav	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]	Výslednice [mm]
Vnější schodnice 3	0.000	NK_CO19	-3.1	-0.2	0.1	-0.4	-2.9	0.6	3.1
Vnější schodnice 4	0.000	NK_CO16	0.1	0.4	0.6	0.9	-0.3	-0.1	0.7
Vnější schodnice 4	3.089	NK_CO22	-0.8	-2.1	4.5	2.2	2.5	-0.5	5.0
Vnější schodnice 3	1.250	NK_CO25	-2.1	2.3	2.8	3.3	-1.8	1.7	4.2
Vnější schodnice 5	1.250	NK_CO18	-0.6	-0.5	0.0	-0.4	0.7	0.4	0.8
Vnější schodnice 4	1.544	NK_CO19	-0.9	-0.2	7.0	4.1	0.0	-1.0	7.0
Vnější schodnice 5	0.000	NK_CO18	-0.7	-1.0	0.8	-0.7	0.4	0.3	1.4
Vnější schodnice 4	0.000	NK_CO20	-0.6	1.5	4.4	5.9	-2.4	-0.8	4.7
Vnější schodnice 5	1.250	NK_CO19	-3.0	0.0	0.1	0.2	3.0	1.7	3.0
Vnější schodnice 4	2.780	NK_CO25	-0.5	0.0	3.8	3.2	1.7	-1.4	3.9
Vnější schodnice 3	1.250	NK_CO20	-2.7	1.5	3.5	5.5	-2.4	2.2	4.7

$$\delta = 7,0 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = 1/300$$

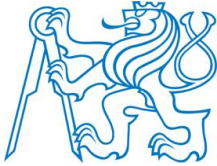
$$\delta_{lim} = 18,6 \text{ mm}$$

$$\delta = \mathbf{7,0 \text{ mm}} < \delta_{lim} = \mathbf{18,6 \text{ mm}}$$

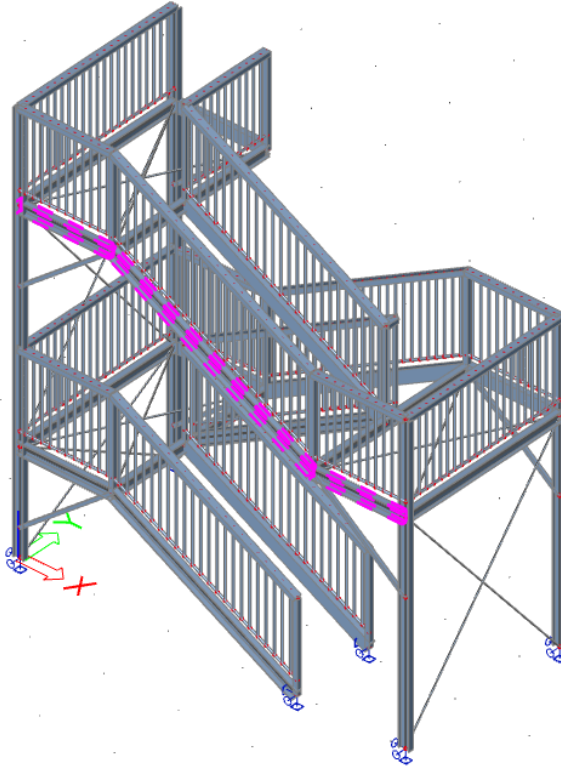
maximální průhyb

limitní průhyb

OK



2.3.3 Vnější schodnice č.6-7-8



Obrázek 26 Poloha vnější schodnice č.6-7-8 v modelu

Délka prvku

$$l = 5589 \text{ mm}$$

Tabulka 25 Extrémy vnitřních sil na vnější schodnice č.6-7-8 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vnější schodnice 6..Vnější schodnice 8
Třída : obálka NK MSÚ

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Vnější schodnice 7	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO4	0.00	0.27	0.17	0.00	1.03	-0.01
Vnější schodnice 6	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO6	26.43	0.51	3.36	0.03	0.00	0.00
Vnější schodnice 8	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO9	21.56	-0.42	0.16	-0.04	-0.03	0.45
Vnější schodnice 6	CS2 - UPE160	1.250	NK_CO9	25.83	0.59	3.11	0.03	4.06	0.66
Vnější schodnice 7	CS2 - UPE160	3.089	NK_CO7	8.53	-0.08	-6.99	0.01	-0.51	-0.19
Vnější schodnice 7	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO6	3.05	-0.08	4.09	0.01	4.02	0.05
Vnější schodnice 8	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO6	20.86	-0.34	0.06	-0.05	0.10	0.43
Vnější schodnice 6	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO9	25.83	0.47	3.39	0.03	0.00	0.00
Vnější schodnice 7	CS2 - UPE160	3.089	NK_CO11	6.11	-0.06	-5.30	0.01	-0.61	-0.14
Vnější schodnice 7	CS2 - UPE160	1.235	NK_CO8	4.74	-0.04	-0.44	0.01	6.44	0.07
Vnější schodnice 7	CS2 - UPE160	1.853	NK_CO13	5.69	-0.01	-1.69	0.01	4.19	-0.27

⇒ Prvek je namáhán převážně tahem, smykem a ohybem



Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Ohýbaná stojina

$$d/t_w = 21,273 < 72 \cdot \varepsilon = 59$$

⇒ Třída 1

Tlačená pásnice

$$c = b - r - t_w$$

$$c = 52,5 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 5,5 < 9 \cdot \varepsilon = 7,3$$

⇒ Třída 1

Průřez celkově je 1. třídy

Posouzení na tah

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} \leq 1$$

$$N_{Ed} = 26,430 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = f_{yd} \cdot A$$

$$N_{t,Rd} = 770,350 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = \mathbf{0,034} \leq 1$$

Prvek na tah vyhoví

Posouzení na smyk Vz

$$V_{z,Ed}/V_{c,Rd} \leq 1$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_{yd}/\sqrt{3}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$$

$$A_v = 1006 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 206,240 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 6,999 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed}/V_{c,Rd} = \mathbf{0,034} \leq 1$$

Prvek na smyk vyhoví



Posouzení na ohyb M_y

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$
$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$
$$M_{c,Rd} = 46,86 \text{ kNm}$$
$$M_{y,Ed} = 6,44 \text{ kNm}$$
$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} = 0,137 \leq 1$$

Prvek na ohyb vyhoví

Kroucení a klopení brání stupně mezi schodnicemi

Posouzení MSP

Tabulka 26 Deformace vnější schodnice č.6-7-8

Deformace na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vnější schodnice 6..Vnější schodnice 8
Třída : obálka NK MSP

Dílec	dx [m]	Stav	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]	Výslednice [mm]
Vnější schodnice 7	0.000	NK_CO19	-2.6	-1.2	-3.5	-4.8	2.7	2.4	4.5
Vnější schodnice 6	1.250	NK_CO24	0.9	-1.3	-3.3	-4.5	2.0	-0.5	3.6
Vnější schodnice 6	1.250	NK_CO25	0.2	-2.3	-3.3	-2.9	2.0	-0.5	4.0
Vnější schodnice 8	0.000	NK_CO22	-0.6	6.5	-3.4	-11.1	-2.5	-4.5	7.3
Vnější schodnice 7	1.235	NK_CO20	-1.6	1.4	-5.8	-7.8	0.1	2.4	6.2
Vnější schodnice 6	0.000	NK_CO16	0.8	0.1	0.0	0.0	0.7	-0.4	0.8
Vnější schodnice 7	3.089	NK_CO19	-2.5	5.6	-2.5	-12.1	-2.6	1.6	6.7
Vnější schodnice 6	0.000	NK_CO21	0.1	-0.6	-0.1	0.2	3.6	-1.7	0.6
Vnější schodnice 8	1.250	NK_CO19	-0.9	0.7	-0.2	-2.1	-2.6	-3.7	1.2
Vnější schodnice 6	0.000	NK_CO20	0.5	0.2	-0.1	0.2	3.6	-1.7	0.5
Vnější schodnice 7	0.309	NK_CO22	-2.2	0.2	-4.4	-6.3	2.2	2.8	5.0

$$\delta = 7,3 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = 1/300$$

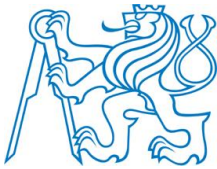
$$\delta_{lim} = 18,6 \text{ mm}$$

$$\delta = 7,3 \text{ mm} < \delta_{lim} = 18,6 \text{ mm}$$

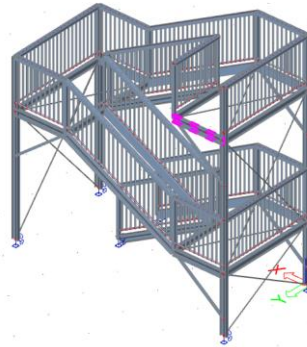
maximální průhyb

limitní průhyb

OK



2.3.4 Vnější schodnice č.9



Obrázek 27 Poloha vnější schodnice č. 9 v modelu

Délka prvku

$$l = 1250 \text{ mm}$$

Tabulka 27 Extrémy vnitřních sil na vnější schodnice č.9 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vnější schodnice 9
Třída : obálka NK MSÚ

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Vnější schodnice 9	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO2	1.29	0.00	-0.14	-0.01	0.00	0.00
Vnější schodnice 9	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO7	11.93	0.00	-0.14	-0.01	0.00	0.00
Vnější schodnice 9	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO4	1.44	-0.10	-0.14	0.00	0.00	0.00
Vnější schodnice 9	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO5	1.44	0.10	-0.14	0.00	0.00	0.00
Vnější schodnice 9	CS2 - UPE160	1.250	NK_CO2	1.29	0.00	0.14	-0.01	0.00	0.00
Vnější schodnice 9	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO6	11.54	0.00	-0.14	-0.01	0.00	0.00
Vnější schodnice 9	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO3	1.93	0.00	-0.14	0.00	0.00	0.00
Vnější schodnice 9	CS2 - UPE160	0.625	NK_CO1	11.73	0.00	0.00	-0.01	-0.04	0.00
Vnější schodnice 9	CS2 - UPE160	1.250	NK_CO6	11.54	0.00	0.14	-0.01	0.00	0.00
Vnější schodnice 9	CS2 - UPE160	0.625	NK_CO4	1.44	0.00	0.00	0.00	-0.04	-0.03
Vnější schodnice 9	CS2 - UPE160	0.625	NK_CO5	1.44	0.00	0.00	0.00	-0.04	0.03

⇒ Prvek je namáhán převážně tahem

Posouzení na tah

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} \leq 1$$

$$N_{Ed} = 11,930 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = f_{yd} \cdot A$$

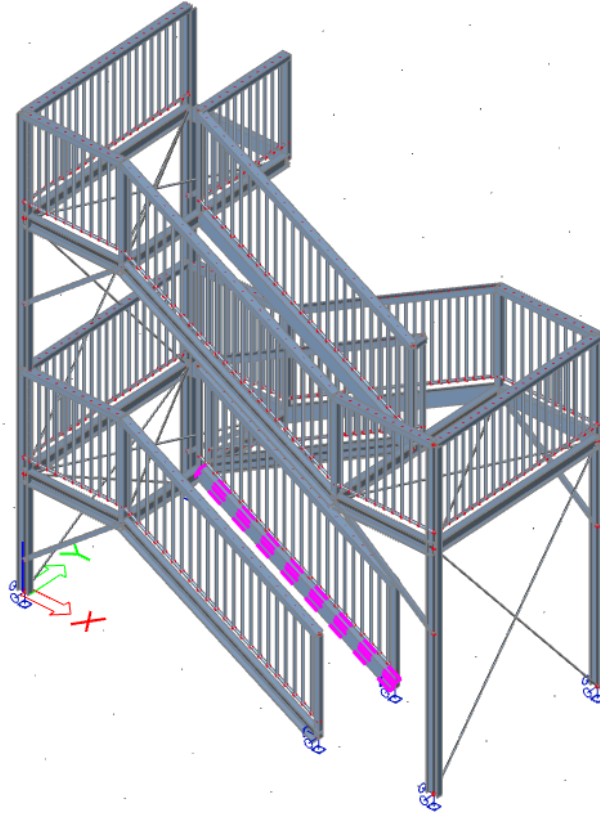
$$N_{t,Rd} = 770,350 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0,015 \leq 1$$

Prvek na tah vyhoví



2.3.5 Vnitřní schodnice č.1



Obrázek 28 Poloha vnitřní schodnice č. 1 v modelu

Délka prvku

$$l = 3089 \text{ mm}$$

Tabulka 28 Extrémy vnitřních sil na vnitřní schodnice č.1 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vnitřní schodnice 1
Třída : obálka NK MSÚ

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Vnitřní schodnice 1	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO6	-7.06	0.08	-5.40	0.00	1.32	-0.22
Vnitřní schodnice 1	CS2 - UPE160	2.842	NK_CO3	1.25	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00
Vnitřní schodnice 1	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO4	-0.60	-0.35	-0.54	0.00	0.14	0.25
Vnitřní schodnice 1	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO13	-4.88	0.41	-3.95	0.00	0.94	-0.42
Vnitřní schodnice 1	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO7	-4.91	0.07	-5.43	0.00	1.28	-0.19
Vnitřní schodnice 1	CS2 - UPE160	2.842	NK_CO7	0.55	0.07	4.52	0.00	0.00	0.00
Vnitřní schodnice 1	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO2	-2.78	0.02	-0.52	0.00	0.16	-0.05
Vnitřní schodnice 1	CS2 - UPE160	1.421	NK_CO7	-2.18	0.07	-0.45	0.00	-2.89	-0.10

⇒ Prvek je namáhán převážně tlakem a ohybem



Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Ohýbaná stojina

$$d/t_w = 21,273 < 72 \cdot \varepsilon = 59$$

⇒ Třída 1

Tlačená pásnice

$$c = b - r - t_w$$

$$c = 52,5 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 5,5 < 9 \cdot \varepsilon = 7,3$$

⇒ Třída 1

Průřez celkově je 1. třídy

Posouzení na vzpěr

$$L_{cr} = 3089 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka je délka prvku (kloubové uložení)

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 76,41$$

$$\lambda_z^- = \frac{L_{cr}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$$

poměrná štíhlost

$$\lambda_z^- = 1,821$$

$$\varphi_z = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda_z^- - 0,2) + \lambda_z^{-2})$$

$$\varphi_z = 2,555$$

$$\chi_z = \frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_z^{-2}}}$$

součinitel vzpěru

$$\chi = 0,230$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd} \cdot A$$

$$N_{b,Rd} = 177,18 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -7,06 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,039 \leq 1$$

Prvek na vzpěr vyhoví

Posouzení na ohyb M_y

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} = 46,86 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 2,89 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} = 0,062 \leq 1$$

Prvek na ohyb vyhoví

Kroucení a klopení brání stupně mezi schodnicemi

Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$0,101 \leq 1$$

Prvek na kombinace tlaku a ohybu vyhoví

Posouzení MSP

Tabulka 29 Deformace vnitřní schodnice č.1

Deformace na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vnitřní schodnice 1

Třída : obálka NK MSP

Dílec	dx [m]	Stav	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]	Výslednice [mm]
Vnitřní schodnice 1	2.842	NK_CO19	0.0	-1.7	5.0	0.8	-0.8	-0.9	5.3
Vnitřní schodnice 1	2.842	NK_CO16	0.0	-0.1	1.1	0.2	-0.3	0.0	1.1
Vnitřní schodnice 1	2.842	NK_CO22	0.0	-2.1	5.1	0.8	-0.8	-0.9	5.5
Vnitřní schodnice 1	2.557	NK_CO17	0.0	0.5	0.9	0.1	-0.2	0.0	1.0
Vnitřní schodnice 1	0.000	NK_CO20	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.6	0.0	0.0
Vnitřní schodnice 1	2.842	NK_CO20	0.0	-1.6	5.3	0.9	-0.9	-0.8	5.5
Vnitřní schodnice 1	0.284	NK_CO20	0.0	0.0	0.8	0.1	-2.7	-0.2	0.8
Vnitřní schodnice 1	2.842	NK_CO15	0.0	-0.4	0.7	0.0	-0.1	-0.2	0.8
Vnitřní schodnice 1	2.273	NK_CO22	0.0	-1.5	4.6	0.6	-1.1	-0.9	4.9
Vnitřní schodnice 1	0.852	NK_CO17	0.0	0.2	0.3	0.0	-0.4	0.3	0.4

$$\delta = 5,5 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = l/300$$

$$\delta_{lim} = 10,3 \text{ mm}$$

$$\delta = 5,5 \text{ mm} < \delta_{lim} = 10,3 \text{ mm}$$

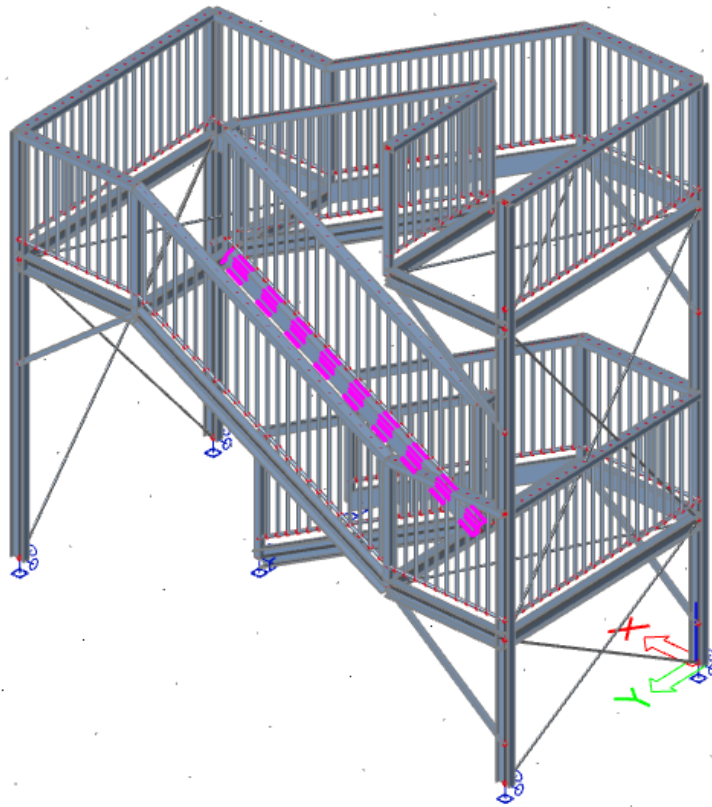
maximální průhyb

limitní průhyb

OK



2.3.6 Vnitřní schodnice č.2



Obrázek 29 Poloha vnitřní schodnice č. 2 v modelu

Délka prvku

$$l = 3089 \text{ mm}$$

Tabulka 30 Extrémy vnitřních sil na vnitřní schodnice č.2 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
 Výběr : Vnitřní schodnice 2
 Třída : obálka NK MSÚ

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Vnitřní schodnice 2	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO11	-1.71	0.00	-3.93	0.00	0.00	0.00
Vnitřní schodnice 2	CS2 - UPE160	3.089	NK_CO6	6.03	0.00	5.44	-0.01	0.00	0.00
Vnitřní schodnice 2	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO5	0.95	-0.29	-0.54	0.00	0.00	0.00
Vnitřní schodnice 2	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO4	0.16	0.29	-0.54	0.00	0.00	0.00
Vnitřní schodnice 2	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO6	0.09	0.00	-5.44	-0.01	0.00	0.00
Vnitřní schodnice 2	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO3	-0.81	0.00	-0.51	0.00	0.00	0.00
Vnitřní schodnice 2	CS2 - UPE160	1.544	NK_CO6	3.06	0.00	0.00	-0.01	-4.21	0.00
Vnitřní schodnice 2	CS2 - UPE160	1.544	NK_CO5	1.25	0.00	0.00	0.00	-0.42	-0.22
Vnitřní schodnice 2	CS2 - UPE160	1.544	NK_CO4	0.46	0.00	0.00	0.00	-0.42	0.22

⇒ Prvek je namáhán převážně tahem a ohybem



Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Ohýbaná stojina

$$d/t_w = 21,273 < 72 \cdot \varepsilon = 59$$

⇒ Třída 1

Tlačená pásnice

$$c = b - r - t_w$$

$$c = 52,5 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 5,5 < 9 \cdot \varepsilon = 7,3$$

⇒ Třída 1

Průřez celkově je 1. třídy

Posouzení na tah

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} \leq 1$$

$$N_{Ed} = 6,030 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = f_{yd} \cdot A$$

$$N_{t,Rd} = 770,350 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = \mathbf{0,008} \leq 1$$

Prvek na tah vyhoví

Posouzení na ohyb M_y

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} = 46,86 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 4,21 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} = \mathbf{0,090} \leq 1$$

Prvek na ohyb vyhoví

Kroucení a klopení brání stupně mezi schodnicemi



Posouzení MSP

Tabulka 31 Deformace vnitřní schodnice č.2

Deformace na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vnitřní schodnice 2
Třída : obálka NK MSP

Dílce	dx [m]	Stav	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]	Výslednice [mm]
Vnitřní schodnice 2	0.618	NK_CO20	-4.4	0.9	4.7	-1.2	-2.5	-1.0	6.5
Vnitřní schodnice 2	3.089	NK_CO15	-0.5	0.2	1.7	0.3	-0.2	-0.1	1.8
Vnitřní schodnice 2	3.089	NK_CO25	-3.2	-2.3	5.4	0.2	0.1	-0.2	6.7
Vnitřní schodnice 2	0.000	NK_CO22	-4.2	2.1	3.0	-1.9	-2.9	-0.5	5.5
Vnitřní schodnice 2	0.000	NK_CO15	-0.5	0.4	0.5	-0.7	-0.6	-0.1	0.8
Vnitřní schodnice 2	2.780	NK_CO19	-4.1	-0.9	7.5	0.3	0.0	-0.9	8.6
Vnitřní schodnice 2	0.000	NK_CO19	-4.1	1.7	3.0	-2.0	-3.0	-0.9	5.3
Vnitřní schodnice 2	3.089	NK_CO19	-4.1	-1.2	7.5	0.5	0.1	-0.9	8.6
Vnitřní schodnice 2	3.089	NK_CO20	-4.3	-1.5	7.0	0.3	0.2	-1.0	8.4
Vnitřní schodnice 2	0.000	NK_CO25	-3.2	0.4	2.3	-1.3	-2.1	-1.6	4.0
Vnitřní schodnice 2	0.000	NK_CO18	-0.7	1.0	0.5	-0.5	-0.4	0.7	1.3

$$\delta = 8,6 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = 1/300$$

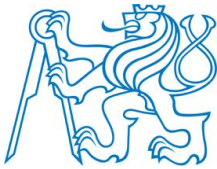
$$\delta_{lim} = 10,3 \text{ mm}$$

$$\delta = 8,6 \text{ mm} < \delta_{lim} = 10,3 \text{ mm}$$

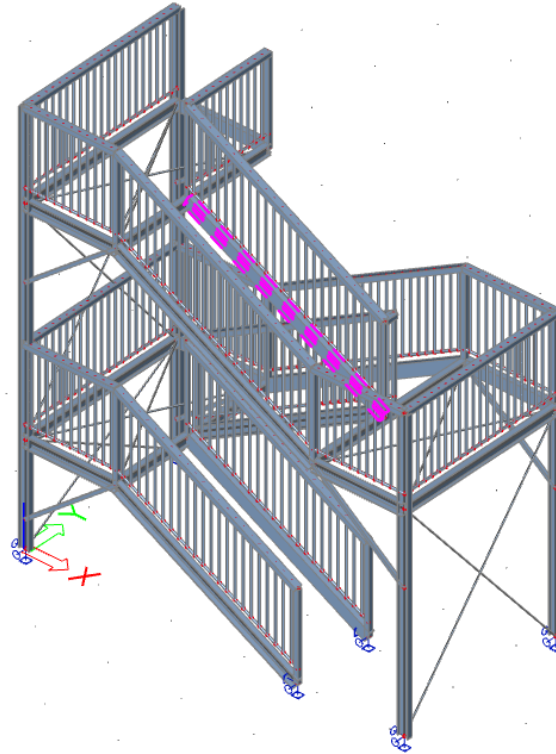
maximální průhyb

limitní průhyb

OK



2.3.7 Vnitřní schodnice č.3



Obrázek 30 Poloha vnitřní schodnice č. 3 v modelu

Délka prvku

$$l = 3089 \text{ mm}$$

Tabulka 32 Extrémy vnitřních sil na vnitřní schodnice č.3 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, System : Hlavní
 Výběr : Vnitřní schodnice 3
 Třída : obálka NK MSÚ

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Vnitřní schodnice 3	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO6	-5.65	0.00	-5.37	0.00	0.00	0.00
Vnitřní schodnice 3	CS2 - UPE160	3.089	NK_CO7	1.29	0.00	5.41	0.00	0.00	0.00
Vnitřní schodnice 3	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO4	-0.42	-0.28	-0.54	0.00	0.00	0.00
Vnitřní schodnice 3	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO5	-1.11	0.28	-0.54	0.00	0.00	0.00
Vnitřní schodnice 3	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO7	-4.64	0.00	-5.41	0.00	0.00	0.00
Vnitřní schodnice 3	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO3	0.08	0.00	-0.57	0.00	0.00	0.00
Vnitřní schodnice 3	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO10	-4.68	0.00	-3.90	0.00	0.00	0.00
Vnitřní schodnice 3	CS2 - UPE160	1.544	NK_CO7	-1.68	0.00	0.00	0.00	-4.17	0.00
Vnitřní schodnice 3	CS2 - UPE160	0.000	NK_CO9	-5.36	0.17	-5.39	0.00	0.00	0.00
Vnitřní schodnice 3	CS2 - UPE160	1.544	NK_CO4	-0.12	0.00	0.00	0.00	-0.41	-0.22
Vnitřní schodnice 3	CS2 - UPE160	1.544	NK_CO5	-0.81	0.00	0.00	0.00	-0.41	0.22

⇒ Prvek je namáhán převážně tlakem a ohybem



Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Ohýbaná stojina

$$d/t_w = 21,273 < 72 \cdot \varepsilon = 59$$

⇒ Třída 1

Tlačená pásnice

$$c = b - r - t_w$$

$$c = 52,5 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 5,5 < 9 \cdot \varepsilon = 7,3$$

⇒ Třída 1

Průřez celkově je 1. třídy

Posouzení na vzpěr

$$L_{cr} = 3089 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka je délka prvku (kloubové uložení)

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 76,41$$

$$\lambda_z^- = \frac{L_{cr}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$$

poměrná štíhlost

$$\lambda_z^- = 1,821$$

$$\varphi_z = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda_z^- - 0,2) + \lambda_z^{-2})$$

$$\varphi_z = 2,555$$

součinitel vzpěru

$$\chi_z = \frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_z^{-2}}}$$

$$\chi = 0,230$$

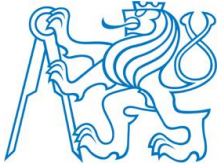
$$N_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd} \cdot A$$

$$N_{b,Rd} = 177,18 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -5,65 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,032 \leq 1$$

Prvek na vzpěr vyhoví

Posouzení na ohyb M_y

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} = 46,86 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 4,17 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} = 0,089 \leq 1$$

Prvek na ohyb vyhoví

Kroucení a klopení brání stupně mezi schodnicemi

Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$0,121 \leq 1$$

Prvek na kombinace tlaku a ohybu vyhoví

Posouzení MSP

Tabulka 33 Deformace vnitřní schodnice č. 3

Deformace na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vnitřní schodnice 3

Třída : obálka NK MSP

Dílec	dx [m]	Stav	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]	Výslednice [mm]
Vnitřní schodnice 3	2.780	NK_CO19	-4.2	-4.9	6.4	-0.1	2.0	-2.2	9.1
Vnitřní schodnice 3	3.089	NK_CO16	-0.2	-0.7	1.3	0.0	0.2	-0.4	1.5
Vnitřní schodnice 3	3.089	NK_CO22	-4.0	-6.5	5.8	-0.2	2.0	-1.9	9.6
Vnitřní schodnice 3	0.000	NK_CO25	-2.9	2.3	5.7	0.0	-0.6	-0.8	6.7
Vnitřní schodnice 3	3.089	NK_CO17	-0.6	0.6	1.1	0.0	0.2	-0.9	1.4
Vnitřní schodnice 3	1.235	NK_CO22	-4.0	-2.5	8.2	0.0	0.1	-2.4	9.5
Vnitřní schodnice 3	0.000	NK_CO16	-0.2	0.4	1.3	-0.2	-0.2	-0.4	1.4
Vnitřní schodnice 3	0.000	NK_CO23	-3.5	0.7	5.6	0.3	-0.7	-1.7	6.6
Vnitřní schodnice 3	0.000	NK_CO22	-4.0	0.7	7.5	0.1	-1.0	-2.7	8.5
Vnitřní schodnice 3	3.089	NK_CO21	-3.9	-4.4	5.5	-0.2	2.1	-2.5	8.0
Vnitřní schodnice 3	0.000	NK_CO17	-0.6	1.3	1.3	0.0	-0.1	0.5	1.9

$$\delta = 9,6 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = l/300$$

$$\delta_{lim} = 10,3 \text{ mm}$$

$$\delta = 9,6 \text{ mm} < \delta_{lim} = 10,3 \text{ mm}$$

maximální průhyb

limitní průhyb

OK



2.4 Posouzení nosníků podest

Všechny nosníky jsou tvořeny profily IPE 140

Geometrie profilu IPE 140

$$h = 140 \text{ mm}$$

$$b = 73 \text{ mm}$$

$$t_f = 6,9 \text{ mm}$$

$$t_w = 4,7 \text{ mm}$$

$$r_1 = 7 \text{ mm}$$

$$d = 112,2 \text{ mm}$$

$$A = 1640 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 5,41 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 4,49 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 8,84 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 1,92 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 57,4 \text{ mm}$$

$$i_z = 16,5 \text{ mm}$$

$$I_t = 2,41 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 1,98 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

Křívka vzpěrné pevnosti a

$$\alpha = 0,21$$

Křívka vzpěrné pevnosti b

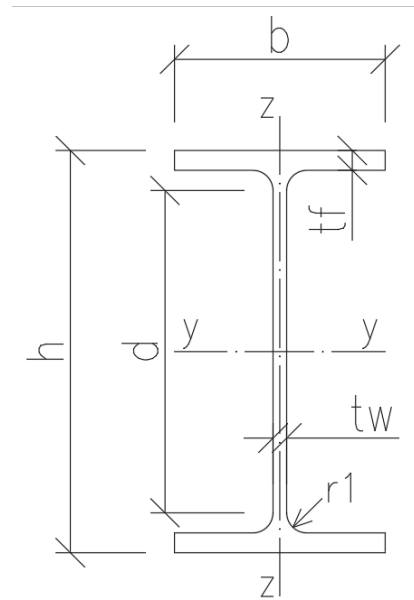
$$\alpha = 0,34$$

pro vybočení kolmo k ose y-y

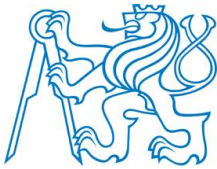
součinitel imperfekce

pro vybočení kolmo k ose z-z

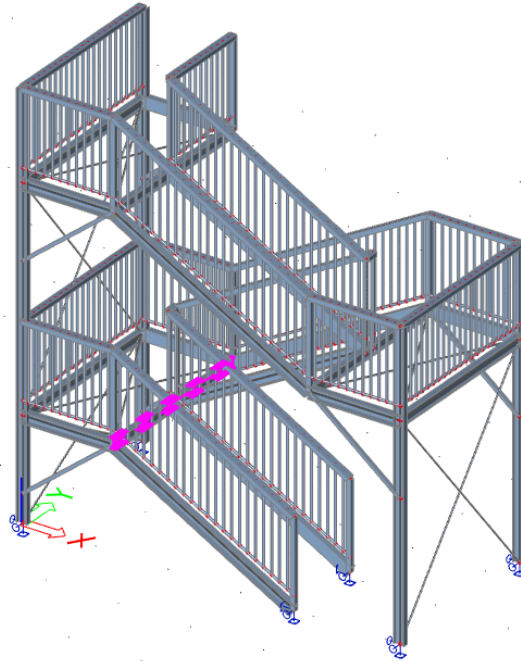
součinitel imperfekce



Obrázek 31 Schéma profilu IPE



2.4.1 Vnitřní nosník č.1



Obrázek 32 Poloha vnitřního nosníku č.1 v modelu

Délka prvku

$$l = 2400 \text{ mm}$$

Tabulka 34 Extrémy vnitřních sil na vnitřním nosníku č.1 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vnitřní nosník 1

Třída : obálka NK MSÚ

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Vnitřní nosník 1	CS1 - IPE140	1.278	NK_CO4	-0.98	0.12	-0.88	0.00	1.33	-0.14
Vnitřní nosník 1	CS1 - IPE140	1.278	NK_CO9	1.20	0.75	-3.46	0.00	7.18	-0.84
Vnitřní nosník 1	CS1 - IPE140	1.123	NK_CO6	0.84	-1.10	2.90	0.00	6.55	-1.18
Vnitřní nosník 1	CS1 - IPE140	1.123	NK_CO10	0.39	2.92	1.59	0.00	4.40	-1.01
Vnitřní nosník 1	CS1 - IPE140	2.400	NK_CO7	0.83	0.84	-9.93	0.00	0.00	0.00
Vnitřní nosník 1	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO7	0.90	-0.96	9.70	0.00	0.00	0.00
Vnitřní nosník 1	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO6	0.84	-0.99	8.78	0.00	0.00	0.00
Vnitřní nosník 1	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO3	-0.06	-0.16	2.02	0.00	0.00	0.00
Vnitřní nosník 1	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO2	-0.16	-0.21	0.48	0.00	0.00	0.00
Vnitřní nosník 1	CS1 - IPE140	1.278	NK_CO7	0.74	1.36	1.29	0.00	7.85	-0.87
Vnitřní nosník 1	CS1 - IPE140	1.123	NK_CO6	0.66	2.87	2.16	0.00	6.55	-1.25
Vnitřní nosník 1	CS1 - IPE140	2.175	NK_CO2	-0.21	0.00	-0.37	0.00	0.10	0.00

⇒ Prvek je namáhán převážně smykem a ohybem



Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Ohýbaná stojina

$$d/t_w = 23,87 < 72 \cdot \varepsilon = 59$$

⇒ Třída 1

Tlačená pásnice

$$c = (b - 2 \cdot r - t_w)/2$$

$$c = 27 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 3,9 < 9 \cdot \varepsilon = 7,3$$

⇒ Třída 1

Průřez celkově je 1. třídy

Posouzení na smyk Vz

$$V_{z,Ed}/V_{c,Rd} \leq 1$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_{yd}/\sqrt{3}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

$$A_v = 762 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 156,103 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 9,93 \text{ kN}$$

$$\mathbf{V_{z,Ed}/V_{c,Rd} = 0,064 \leq 1}$$

Prvek na smyk vyhoví

Posouzení na ohyb My

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$

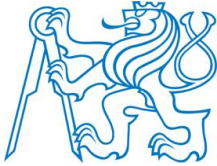
$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} = 31,382 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 7,85 \text{ kNm}$$

$$\mathbf{M_{y,Ed}/M_{c,Rd} = 0,250 \leq 1}$$

Prvek na ohyb vyhoví

Posouzení na klopení

$$L = 1,1 \text{ m}$$

vzdálenost podepření proti klopení
(mezi schodnice)

$$k_z = k_w = 1,0$$

součinitele uložení

$$\Psi = 0$$

poměr koncových momentů

bezrozměrný parametr kroucení

$$\kappa_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}}$$

$$\kappa_{\omega t} = 1,320$$

$$C_1 = (0,310 + 0,428 \cdot \Psi + 0,262 \cdot \Psi^2)^{-0,5}$$

$$C_1 = 1,796$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2}$$

bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = 2,464$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

kritický moment při klopení

$$M_{cr} = 95,298 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT}^- = \sqrt{W_y \cdot f_y / M_{cr}}$$

$$\lambda_{LT}^- = 0,574$$

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

křivka klopení a

$$\varphi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT}^- - 0,2) + \lambda_{LT}^{-2})$$

$$\varphi_{LT} = 0,704$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}}$$

součinitel klopení

$$\chi_{LT} = 0,900$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

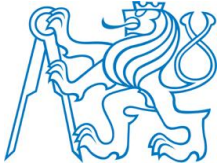
moment únosnosti na klopení

$$M_{b,Rd} = 28,24 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 7,85 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{b,Rd} = 0,278 \leq 1$$

Prvek na klopení vyhoví



Posouzení MSP

Tabulka 35 Deformace vnitřního nosníku č.1

Deformace na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vnitřní nosník 1

Třída : obálka NK MSP

Dílec	dx [m]	Stav	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]	Výslednice [mm]
Vnitřní nosník 1	0.000	NK_CO22	-2.1	0.4	-0.7	0.6	4.3	3.4	2.2
Vnitřní nosník 1	0.000	NK_CO17	0.5	0.1	-0.1	0.1	0.8	0.6	0.5
Vnitřní nosník 1	2.400	NK_CO19	-1.7	-3.1	-3.6	2.5	-1.7	-5.7	5.0
Vnitřní nosník 1	1.010	NK_CO20	-1.6	2.6	-4.4	1.4	2.0	-0.1	5.3
Vnitřní nosník 1	1.390	NK_CO20	-1.6	2.1	-4.8	1.7	0.3	-2.6	5.5
Vnitřní nosník 1	0.000	NK_CO15	-0.4	0.0	-0.1	0.1	0.5	0.6	0.4
Vnitřní nosník 1	2.400	NK_CO20	-1.5	-2.6	-3.4	2.4	-2.2	-5.6	4.5
Vnitřní nosník 1	0.000	NK_CO20	-1.6	0.4	-0.7	0.6	4.4	3.3	1.7
Vnitřní nosník 1	0.000	NK_CO19	-1.7	0.4	-0.7	0.6	4.1	3.4	1.8

$$\delta = 4,8 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = l/200$$

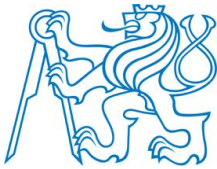
$$\delta_{lim} = 12 \text{ mm}$$

$$\delta = 4,8 \text{ mm} < \delta_{lim} = 12 \text{ mm}$$

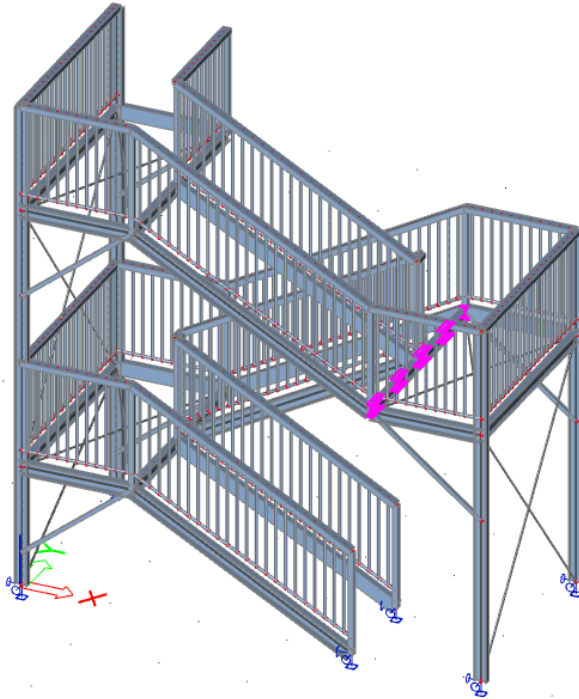
maximální průhyb

limitní průhyb

OK



2.4.2 Vnitřní nosník č.2



Obrázek 33 Poloha vnitřního nosníku č. 2 v modelu

Délka prvku

$$l = 2400 \text{ mm}$$

Tabulka 36 Extrémy vnitřních sil na vnitřním nosníku č.2 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vnitřní nosník 2

Třída : obálka NK MSÚ

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
Vnitřní nosník 2	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO5	-1.25	-0.03	2.40	0.00	0.00	0.00
Vnitřní nosník 2	CS1 - IPE140	1.278	NK_CO9	1.73	0.63	-9.11	0.00	13.53	-0.71
Vnitřní nosník 2	CS1 - IPE140	1.278	NK_CO6	1.42	-2.40	-1.81	0.00	13.80	-0.64
Vnitřní nosník 2	CS1 - IPE140	1.278	NK_CO6	1.67	0.73	-9.36	0.00	13.80	-0.76
Vnitřní nosník 2	CS1 - IPE140	2.400	NK_CO6	1.67	0.62	-15.23	0.00	0.00	0.00
Vnitřní nosník 2	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO6	1.35	-0.16	15.42	0.00	0.00	0.00
Vnitřní nosník 2	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO7	1.36	-0.25	14.79	0.00	0.00	0.00
Vnitřní nosník 2	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO3	-0.12	-0.11	1.66	0.00	0.00	0.00
Vnitřní nosník 2	CS1 - IPE140	1.123	NK_CO6	1.35	-0.26	9.55	0.00	14.01	-0.24
Vnitřní nosník 2	CS1 - IPE140	1.278	NK_CO3	-0.13	0.30	-0.04	0.00	1.52	0.01

⇒ Prvek je namáhán převážně smykem a ohybem



Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Ohýbaná stojina

$$d/t_w = 23,87 < 72 \cdot \varepsilon = 59$$

⇒ Třída 1

Tlačená pásnice

$$c = (b - 2 \cdot r - t_w)/2$$

$$c = 27 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 3,9 < 9 \cdot \varepsilon = 7,3$$

⇒ Třída 1

Průřez celkově je 1. třídy

Posouzení na smyk Vz

$$V_{z,Ed}/V_{c,Rd} \leq 1$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_{yd}/\sqrt{3}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

$$A_v = 762 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 156,103 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 15,42 \text{ kN}$$

$$\mathbf{V_{z,Ed}/V_{c,Rd} = 0,099 \leq 1}$$

Prvek na smyk vyhoví

Posouzení na ohyb My

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} = 31,382 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 14,01 \text{ kNm}$$

$$\mathbf{M_{y,Ed}/M_{c,Rd} = 0,446 \leq 1}$$

Prvek na ohyb vyhoví

Posouzení na klopení

$$L = 1,1 \text{ m}$$

vzdálenost podepření proti klopení
(mezi schodnice)

$$k_z = k_w = 1,0$$

součinitele uložení

$$\Psi = 0$$

poměr koncových momentů

bezrozměrný parametr kroucení

$$\kappa_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}}$$

$$\kappa_{\omega t} = 1,320$$

$$C_1 = (0,310 + 0,428 \cdot \Psi + 0,262 \cdot \Psi^2)^{-0,5}$$

$$C_1 = 1,796$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2}$$

bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = 2,464$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

kritický moment při klopení

$$M_{cr} = 95,298 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT}^- = \sqrt{W_y \cdot f_y / M_{cr}}$$

$$\lambda_{LT}^- = 0,574$$

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

křivka klopení a

$$\varphi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT}^- - 0,2) + \lambda_{LT}^{-2})$$

$$\varphi_{LT} = 0,704$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}}$$

součinitel klopení

$$\chi_{LT} = 0,900$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

moment únosnosti na klopení

$$M_{b,Rd} = 28,24 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 14,01 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{b,Rd} = 0,496 \leq 1$$

Prvek na klopení vyhoví



Posouzení MSP

Tabulka 37 Deformace vnitřního nosníku č. 2

Deformace na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vnitřní nosník 2
Třída : obálka NK MSP

Dílec	dx [m]	Stav	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]	Výslednice [mm]
Vnitřní nosník 2	2.400	NK_CO18	-1.0	-0.6	-0.6	-0.4	-1.1	-0.7	1.3
Vnitřní nosník 2	2.400	NK_CO25	2.3	-2.1	-2.8	-1.8	-4.3	-2.7	4.2
Vnitřní nosník 2	2.400	NK_CO19	1.2	-3.1	-3.6	-2.5	-5.9	-3.6	4.9
Vnitřní nosník 2	0.337	NK_CO24	1.3	0.9	-4.5	-1.9	3.3	0.0	4.8
Vnitřní nosník 2	1.200	NK_CO19	1.2	-0.1	-8.6	-2.5	-0.3	-0.3	8.7
Vnitřní nosník 2	2.400	NK_CO16	0.4	-0.2	-0.5	-0.3	-0.8	-0.6	0.7
Vnitřní nosník 2	0.000	NK_CO19	1.2	-0.6	-4.3	-2.7	5.4	0.7	4.5
Vnitřní nosník 2	0.000	NK_CO23	0.7	-1.0	-3.3	-2.1	4.2	0.8	3.5

$$\delta = 8,6 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = 1/200$$

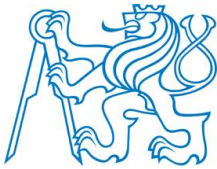
$$\delta_{lim} = 12 \text{ mm}$$

$$\delta = 8,6 \text{ mm} < \delta_{lim} = 12 \text{ mm}$$

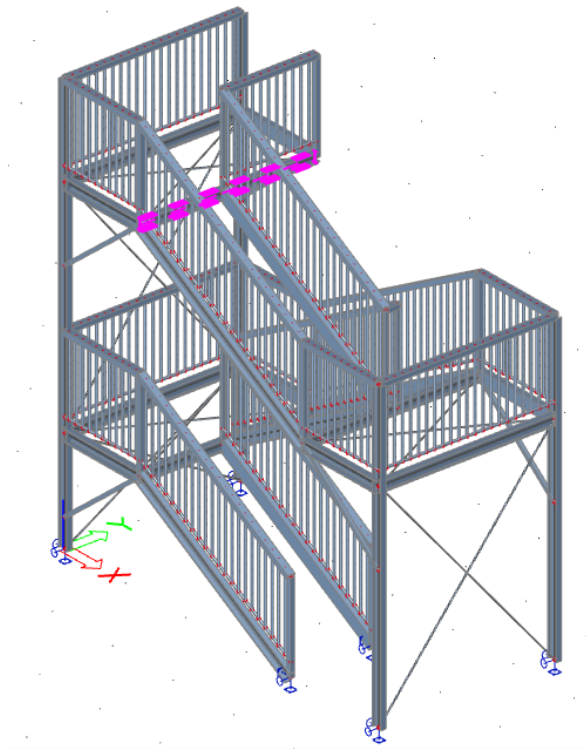
maximální průhyb

limitní průhyb

OK



2.4.3 Vnitřní nosník č.3



Obrázek 34 Poloha vnitřního nosníku č. 3 v modelu

Délka prvku

$$l = 2400 \text{ mm}$$

Tabulka 38 Extrémy vnitřních sil na vnitřním nosníku č.3 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vnitřní nosník 3
Třída : obálka NK MSÚ

Dílce	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Vnitřní nosník 3	CS1 - IPE140	1.123	NK_CO4	-1.00	0.14	-0.50	0.00	1.08	-0.19
Vnitřní nosník 3	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO9	1.51	-1.16	7.63	0.00	0.00	0.00
Vnitřní nosník 3	CS1 - IPE140	1.123	NK_CO6	1.22	-1.26	1.64	0.00	5.14	-1.35
Vnitřní nosník 3	CS1 - IPE140	1.123	NK_CO6	0.05	1.11	-0.68	0.00	5.14	-1.34
Vnitřní nosník 3	CS1 - IPE140	2.400	NK_CO7	0.12	0.89	-7.61	0.00	0.00	0.00
Vnitřní nosník 3	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO7	1.28	-0.99	7.79	0.00	0.00	0.00
Vnitřní nosník 3	CS1 - IPE140	1.123	NK_CO3	-0.20	-0.01	-0.65	0.00	1.27	-0.11
Vnitřní nosník 3	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO4	-0.67	-0.16	1.27	0.00	0.00	0.00
Vnitřní nosník 3	CS1 - IPE140	1.123	NK_CO7	0.12	0.77	-0.92	0.00	5.45	-1.06
Vnitřní nosník 3	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO10	0.75	-0.97	5.49	0.00	0.00	0.00

⇒ Prvek je namáhán převážně smykem a ohybem



Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Ohýbaná stojina

$$d/t_w = 23,87 < 72 \cdot \varepsilon = 59$$

⇒ Třída 1

Tlačená pásnice

$$c = (b - 2 \cdot r - t_w)/2$$

$$c = 27 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 3,9 < 9 \cdot \varepsilon = 7,3$$

⇒ Třída 1

Průřez celkově je 1. třídy

Posouzení na smyk Vz

$$V_{z,Ed}/V_{c,Rd} \leq 1$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_{yd}/\sqrt{3}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

$$A_v = 762 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 156,103 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 7,79 \text{ kN}$$

$$\mathbf{V_{z,Ed}/V_{c,Rd} = 0,050 \leq 1}$$

Prvek na smyk vyhoví

Posouzení na ohyb My

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} = 31,382 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 5,45 \text{ kNm}$$

$$\mathbf{M_{y,Ed}/M_{c,Rd} = 0,174 \leq 1}$$

Prvek na ohyb vyhoví

Posouzení na klopení

$$L = 1,1 \text{ m}$$

vzdálenost podepření proti klopení
(mezi schodnice)

$$k_z = k_w = 1,0$$

součinitele uložení

$$\Psi = 0$$

poměr koncových momentů

bezrozměrný parametr kroucení

$$\kappa_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}}$$

$$\kappa_{\omega t} = 1,320$$

$$C_1 = (0,310 + 0,428 \cdot \Psi + 0,262 \cdot \Psi^2)^{-0,5}$$

$$C_1 = 1,796$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2}$$

bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = 2,464$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

kritický moment při klopení

$$M_{cr} = 95,298 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT}^- = \sqrt{W_y \cdot f_y / M_{cr}}$$

$$\lambda_{LT}^- = 0,574$$

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

křivka klopení a

$$\varphi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT}^- - 0,2) + \lambda_{LT}^{-2})$$

$$\varphi_{LT} = 0,704$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}}$$

součinitel klopení

$$\chi_{LT} = 0,900$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

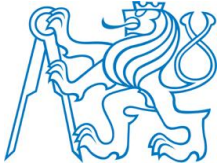
moment únosnosti na klopení

$$M_{b,Rd} = 28,24 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 5,45 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{b,Rd} = 0,193 \leq 1$$

Prvek na klopení vyhoví

Posouzení MSP

Tabulka 39 Deformace vnitřního nosníku č. 3

Deformace na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vnitřní nosník 3

Třída : obálka NK MSP

Díléc	dx [m]	Stav	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]	Výslednice [mm]
Vnitřní nosník 3	0.000	NK_CO22	-6.5	-0.6	-3.4	2.5	3.9	1.8	7.3
Vnitřní nosník 3	0.000	NK_CO17	0.6	0.0	-0.6	0.4	0.8	0.3	0.9
Vnitřní nosník 3	2.400	NK_CO19	-5.6	-10.7	-7.3	0.9	-0.7	-9.7	14.1
Vnitřní nosník 3	0.449	NK_CO16	-0.7	0.6	-0.8	-0.1	0.7	0.0	1.3
Vnitřní nosník 3	1.761	NK_CO19	-5.6	-4.8	-7.6	1.3	0.1	-8.2	10.6
Vnitřní nosník 3	0.000	NK_CO16	-0.7	0.6	-0.5	0.4	0.8	0.1	1.0
Vnitřní nosník 3	2.400	NK_CO16	-0.7	-1.0	-1.1	-2.1	-0.3	-1.4	1.6
Vnitřní nosník 3	0.000	NK_CO19	-5.6	-1.0	-3.4	2.5	3.9	1.9	6.7
Vnitřní nosník 3	2.400	NK_CO20	-5.3	-8.9	-6.5	0.8	-1.0	-8.3	12.2
Vnitřní nosník 3	0.000	NK_CO23	-4.5	-1.2	-2.7	1.9	3.1	1.9	5.3

$$\delta = 7,6 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = l/200$$

$$\delta_{lim} = 12 \text{ mm}$$

$$\delta = 7,6 \text{ mm} < \delta_{lim} = 12 \text{ mm}$$

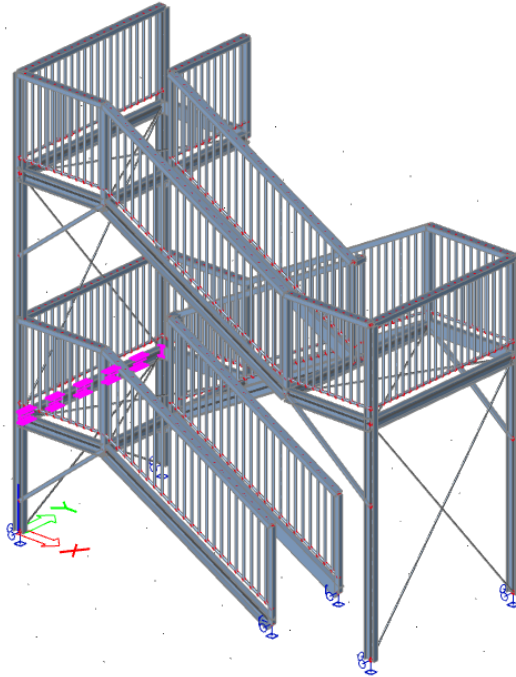
maximální průhyb

limitní průhyb

OK



2.4.4 Vnější nosník č. 1



Obrázek 35 Poloha vnějšího nosníku č. 1 v modelu

Délka prvku

$$l = 2400 \text{ mm}$$

Tabulka 40 Extrémy vnitřních sil na vnějším nosníku č.1 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vnější nosník 1

Třída : obálka NK MSÚ

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Vnější nosník 1	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO4	-4.21	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 1	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO3	-0.12	-0.19	0.65	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 1	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO2	-0.24	0.19	0.65	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 1	CS1 - IPE140	2.400	NK_CO1	-1.01	0.00	-6.28	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 1	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO1	-1.01	0.00	6.28	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 1	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO6	-1.01	0.11	6.28	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 1	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO5	-3.57	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 1	CS1 - IPE140	1.200	NK_CO1	-1.01	0.00	0.00	0.00	3.77	0.00
Vnější nosník 1	CS1 - IPE140	1.200	NK_CO3	-0.12	0.00	0.00	0.00	0.39	-0.11
Vnější nosník 1	CS1 - IPE140	1.200	NK_CO2	-0.24	0.00	0.00	0.00	0.39	0.11

⇒ Prvek je namáhán převážně tlakem, smykem a ohybem



Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Ohýbaná stojina

$$d/t_w = 23,87 < 72 \cdot \varepsilon = 59$$

⇒ Třída 1

Tlačená pásnice

$$c = (b - 2 \cdot r - t_w)/2$$

$$c = 27 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 3,9 < 9 \cdot \varepsilon = 7,3$$

⇒ Třída 1

Průřez celkově je 1. třídy

Posouzení na smyk Vz

$$V_{z,Ed}/V_{c,Rd} \leq 1$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_{yd}/\sqrt{3}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

$$A_v = 762 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 156,103 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 6,28 \text{ kN}$$

$$\mathbf{V_{z,Ed}/V_{c,Rd} = 0,040 \leq 1}$$

Prvek na smyk vyhoví

Posouzení na ohyb My

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} = 31,382 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 3,77 \text{ kNm}$$

$$\mathbf{M_{y,Ed}/M_{c,Rd} = 0,120 \leq 1}$$

Prvek na ohyb vyhoví



Posouzení na vzpěr

$$L_{cr} = 2400 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka je délka prvku (kloubové uložení)

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 76,41$$

$$\lambda_z^- = \frac{L_{cr}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$$

poměrná štíhlost

$$\lambda_z^- = 1,904$$

$$\varphi_z = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda_z^- - 0,2) + \lambda_z^{-2})$$

$$\varphi_z = 2,602$$

$$\chi_z = \frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_z^{-2}}}$$

součinitel vzpěru

$$\chi = 0,217$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd} \cdot A$$

$$N_{b,Rd} = 126,166 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -4,21 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,033 \leq 1$$

Prvek na vzpěr vyhoví

Posouzení na klopení

$$L = 2,4 \text{ m}$$

$$k_z = k_w = 1,0$$

$$\Psi = 0$$

$$\kappa_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}}$$

$$\kappa_{\omega t} = 0,605$$

$$C_1 = (0,310 + 0,428 \cdot \Psi + 0,262 \cdot \Psi^2)^{-0,5}$$

$$C_1 = 1,796$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2}$$

$$\mu_{cr} = 1,227$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$M_{cr} = 21,750 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT}^- = \sqrt{W_y \cdot f_y / M_{cr}}$$

$$\lambda_{LT}^- = 1,201$$

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

$$\varphi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT}^- - 0,2) + \lambda_{LT}^{-2})$$

$$\varphi_{LT} = 1,327$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}}$$

$$\chi_{LT} = 0,529$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd} = 16,609 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 3,77 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{b,Rd} = 0,227 \leq 1$$

Prvek na klopení vyhoví

Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$0,260 \leq 1$$

Prvek na kombinaci tlaku a ohybu vyhoví

vzdálenost podepření proti klopení (je rovna délce nosníku)

součinitele uložení

poměr koncových momentů

bezrozměrný parametr kroucení

bezrozměrný kritický moment

kritický moment při klopení

křivka klopení a

součinitel klopení

moment únosnosti na klopení

Posouzení MSP

Tabulka 41 Deformace vnějšího nosníku č. 1

Deformace na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vnější nosník 1

Třída : obálka NK MSP

Dílec	dx [m]	Stav	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]	Výslednice [mm]
Vnější nosník 1	2.400	NK_CO26	-0.6	-2.2	-0.1	1.0	-1.3	-1.1	2.3
Vnější nosník 1	0.000	NK_CO17	0.6	0.1	0.0	-0.1	0.2	-0.2	0.6
Vnější nosník 1	2.400	NK_CO19	0.0	-3.0	-0.1	1.3	-1.8	-1.0	3.0
Vnější nosník 1	0.960	NK_CO16	0.0	0.5	-0.2	-0.1	0.1	0.1	0.5
Vnější nosník 1	1.200	NK_CO21	0.4	-1.2	-1.5	0.4	0.0	-1.3	1.9
Vnější nosník 1	2.400	NK_CO18	-0.5	-0.6	0.0	0.3	-0.2	-0.3	0.8
Vnější nosník 1	0.000	NK_CO20	-0.1	0.4	-0.1	-0.5	1.8	-0.9	0.4
Vnější nosník 1	2.400	NK_CO22	-0.4	-2.9	-0.1	1.2	-1.8	-1.4	2.9
Vnější nosník 1	0.000	NK_CO21	0.4	0.4	-0.1	-0.4	1.8	-1.3	0.5
Vnější nosník 1	0.000	NK_CO19	0.0	0.4	-0.1	-0.3	1.8	-1.8	0.4
Vnější nosník 1	0.000	NK_CO16	0.0	0.1	0.0	-0.2	0.2	0.5	0.1

$$\delta = 1,5 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = 1/200$$

$$\delta_{lim} = 12 \text{ mm}$$

$$\delta = 1,5 \text{ mm} < \delta_{lim} = 12 \text{ mm}$$

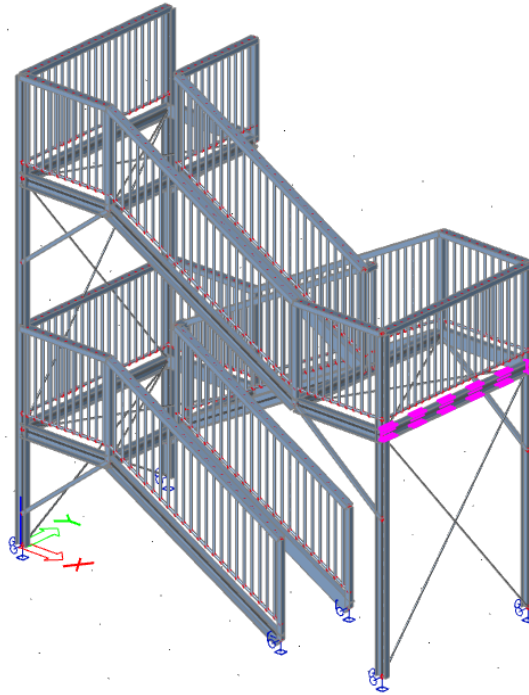
maximální průhyb

limitní průhyb

OK



2.4.5 Vnější nosník č. 2



Obrázek 36 Poloha vnějšího nosníku č. 2 v modelu

Délka prvku

$$l = 2400 \text{ mm}$$

Tabulka 42 Extrémy vnitřních sil na vnějším nosníku č.2 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vnější nosník 2
Třída : obálka NK MSÚ

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Vnější nosník 2	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO5	-2.31	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 2	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO7	0.41	-0.11	6.28	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 2	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO3	-0.04	-0.19	0.65	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 2	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO2	0.01	0.19	0.65	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 2	CS1 - IPE140	2.400	NK_CO1	0.40	0.00	-6.28	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 2	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO1	0.40	0.00	6.28	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 2	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO9	-0.64	0.00	6.28	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 2	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO4	-1.96	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 2	CS1 - IPE140	1.200	NK_CO1	0.40	0.00	0.00	0.00	3.77	0.00
Vnější nosník 2	CS1 - IPE140	1.200	NK_CO3	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.39	-0.11
Vnější nosník 2	CS1 - IPE140	1.200	NK_CO2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.39	0.11

⇒ Prvek je namáhán převážně tlakem, smykem a ohybem



Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Ohýbaná stojina

$$d/t_w = 23,87 < 72 \cdot \varepsilon = 59$$

⇒ Třída 1

Tlačená pásnice

$$c = (b - 2 \cdot r - t_w)/2$$

$$c = 27 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 3,9 < 9 \cdot \varepsilon = 7,3$$

⇒ Třída 1

Průřez celkově je 1. třídy

Posouzení na smyk Vz

$$V_{z,Ed}/V_{c,Rd} \leq 1$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_{yd}/\sqrt{3}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

$$A_v = 762 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 156,103 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 6,28 \text{ kN}$$

$$\mathbf{V_{z,Ed}/V_{c,Rd} = 0,040 \leq 1}$$

Prvek na smyk vyhoví

Posouzení na ohyb My

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$

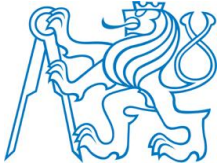
$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} = 31,382 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 3,77 \text{ kNm}$$

$$\mathbf{M_{y,Ed}/M_{c,Rd} = 0,120 \leq 1}$$

Prvek na ohyb vyhoví



Posouzení na vzpěr

$$L_{cr} = 2400 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka je délka prvku (kloubové uložení)

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 76,41$$

$$\lambda_z^- = \frac{L_{cr}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$$

poměrná štíhlost

$$\lambda_z^- = 1,904$$

$$\varphi_z = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda_z^- - 0,2) + \lambda_z^{-2})$$

$$\varphi_z = 2,602$$

$$\chi_z = \frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_z^{-2}}}$$

součinitel vzpěru

$$\chi = 0,217$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd} \cdot A$$

$$N_{b,Rd} = 126,166 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -2,31 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,018 \leq 1$$

Prvek na vzpěr vyhoví

Posouzení na klopení

$$L = 2,4 \text{ m}$$

$$k_z = k_w = 1,0$$

$$\Psi = 0$$

$$\kappa_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}}$$

$$\kappa_{\omega t} = 0,605$$

$$C_1 = (0,310 + 0,428 \cdot \Psi + 0,262 \cdot \Psi^2)^{-0,5}$$

$$C_1 = 1,796$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2}$$

$$\mu_{cr} = 1,227$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$M_{cr} = 21,750 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT}^- = \sqrt{W_y \cdot f_y / M_{cr}}$$

$$\lambda_{LT}^- = 1,201$$

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

$$\varphi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT}^- - 0,2) + \lambda_{LT}^{-2})$$

$$\varphi_{LT} = 1,327$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}}$$

$$\chi_{LT} = 0,529$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd} = 16,609 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 3,77 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{b,Rd} = 0,227 \leq 1$$

Prvek na klopení vyhoví

Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$0,245 \leq 1$$

Prvek na kombinaci tlaku a ohybu vyhoví

vzdálenost podepření proti klopení (je rovna délce nosníku)

součinitele uložení

poměr koncových momentů

bezrozměrný parametr kroucení

bezrozměrný kritický moment

kritický moment při klopení

křivka klopení a

součinitel klopení

moment únosnosti na klopení



Posouzení MSP

Tabulka 43 Deformace vnějšího nosníku č. 2

Deformace na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vnější nosník 2

Třída : obálka NK MSP

Dílec	dx [m]	Stav	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]	Výslednice [mm]
Vnější nosník 2	2.400	NK_CO26	-0.9	-2.2	-0.1	-1.0	-1.3	-0.8	2.4
Vnější nosník 2	0.000	NK_CO25	0.9	0.2	-0.1	-1.5	1.3	-1.0	0.9
Vnější nosník 2	2.400	NK_CO19	-0.2	-3.1	-0.1	-1.4	-1.8	-0.7	3.1
Vnější nosník 2	0.720	NK_CO16	-0.1	0.9	-0.2	-0.4	0.1	0.0	0.9
Vnější nosník 2	1.200	NK_CO21	0.6	-1.4	-1.5	-1.8	0.0	-1.2	2.2
Vnější nosník 2	2.400	NK_CO16	-0.1	-0.2	0.0	-0.3	-0.2	-1.1	0.2
Vnější nosník 2	0.000	NK_CO20	-0.2	0.5	-0.1	-2.0	1.8	-1.0	0.5
Vnější nosník 2	2.400	NK_CO18	-0.9	-0.6	0.0	-0.1	-0.2	-0.1	1.0
Vnější nosník 2	2.400	NK_CO22	-0.7	-2.9	-0.1	-1.4	-1.8	-1.1	3.0
Vnější nosník 2	0.000	NK_CO21	0.6	0.1	-0.1	-2.0	1.8	-1.2	0.6
Vnější nosník 2	2.400	NK_CO24	-0.1	-1.9	-0.1	-1.2	-1.3	-1.8	1.9
Vnější nosník 2	2.400	NK_CO15	-0.1	-0.9	0.0	-0.2	-0.2	0.7	0.9

$$\delta = 1,5 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = 1/200$$

$$\delta_{lim} = 12 \text{ mm}$$

$$\delta = 1,5 \text{ mm} < \delta_{lim} = 12 \text{ mm}$$

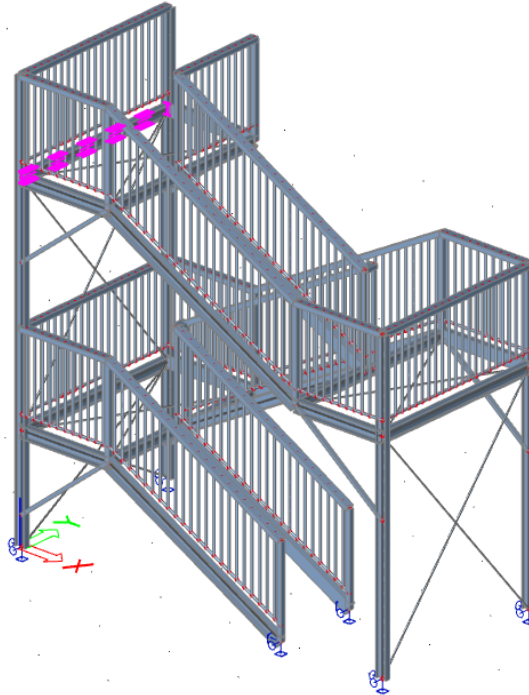
maximální průhyb

limitní průhyb

OK



2.4.6 Vnější nosník č. 3



Obrázek 37 Poloha vnějšího nosníku č. 3 v modelu

Délka prvku

$$l = 2400 \text{ mm}$$

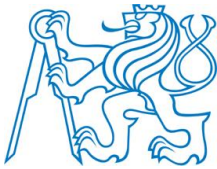
Tabulka 44 Extrémy vnitřních sil na vnějším nosníku č. 3 z obálky MSÚ

Vnitřní síly na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vnější nosník 3
Třída : obálka NK MSÚ

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Vnější nosník 3	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO4	-1.57	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 3	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO8	0.31	0.00	6.28	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 3	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO3	-0.02	-0.19	0.65	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 3	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO2	-0.10	0.19	0.65	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 3	CS1 - IPE140	2.400	NK_CO1	-0.05	0.00	-6.28	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 3	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO1	-0.05	0.00	6.28	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 3	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO6	-0.06	0.11	6.28	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 3	CS1 - IPE140	0.000	NK_CO5	-1.15	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00
Vnější nosník 3	CS1 - IPE140	1.200	NK_CO1	-0.05	0.00	0.00	0.00	3.77	0.00
Vnější nosník 3	CS1 - IPE140	1.200	NK_CO3	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.39	-0.11
Vnější nosník 3	CS1 - IPE140	1.200	NK_CO2	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.39	0.11

⇒ Prvek je namáhán převážně tlakem, smykem a ohybem



Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Ohýbaná stojina

$$d/t_w = 23,87 < 72 \cdot \varepsilon = 59$$

⇒ Třída 1

Tlačená pásnice

$$c = (b - 2 \cdot r - t_w)/2$$

$$c = 27 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 3,9 < 9 \cdot \varepsilon = 7,3$$

⇒ Třída 1

Průřez celkově je 1. třídy

Posouzení na smyk Vz

$$V_{z,Ed}/V_{c,Rd} \leq 1$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_{yd}/\sqrt{3}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

$$A_v = 762 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 156,103 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 6,28 \text{ kN}$$

$$\mathbf{V_{z,Ed}/V_{c,Rd} = 0,040 \leq 1}$$

Prvek na smyk vyhoví

Posouzení na ohyb My

$$M_{y,Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} = 31,382 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 3,77 \text{ kNm}$$

$$\mathbf{M_{y,Ed}/M_{c,Rd} = 0,120 \leq 1}$$

Prvek na ohyb vyhoví



Posouzení na vzpěr

$$L_{cr} = 2400 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka je délka prvku (kloubové uložení)

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 76,41$$

$$\lambda_z^- = \frac{L_{cr}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$$

poměrná štíhlost

$$\lambda_z^- = 1,904$$

$$\varphi_z = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda_z^- - 0,2) + \lambda_z^{-2})$$

$$\varphi_z = 2,602$$

$$\chi_z = \frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_z^{-2}}}$$

součinitel vzpěru

$$\chi = 0,217$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd} \cdot A$$

$$N_{b,Rd} = 126,166 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -1,57 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,012 \leq 1$$

Prvek na vzpěr vyhoví

Posouzení na klopení

$$L = 2,4 \text{ m}$$

$$k_z = k_w = 1,0$$

$$\Psi = 0$$

$$\kappa_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}}$$

$$\kappa_{\omega t} = 0,605$$

$$C_1 = (0,310 + 0,428 \cdot \Psi + 0,262 \cdot \Psi^2)^{-0,5}$$

$$C_1 = 1,796$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2}$$

$$\mu_{cr} = 1,227$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$M_{cr} = 21,750 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT}^- = \sqrt{W_y \cdot f_y / M_{cr}}$$

$$\lambda_{LT}^- = 1,201$$

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

$$\varphi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT}^- - 0,2) + \lambda_{LT}^{-2})$$

$$\varphi_{LT} = 1,327$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}}$$

$$\chi_{LT} = 0,529$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd} = 16,609 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 3,77 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{b,Rd} = 0,227 \leq 1$$

Prvek na klopení vyhovíPosouzení na kombinaci tlaku a ohybu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$0,240 \leq 1$$

Prvek na kombinaci tlaku a ohybu vyhoví

vzdálenost podepření proti klopení (je rovna délce nosníku)

součinitele uložení

poměr koncových momentů

bezrozměrný parametr kroucení

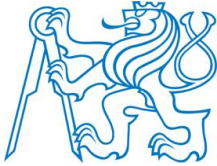
bezrozměrný kritický moment

kritický moment při klopení

křivka klopení a

součinitel klopení

moment únosnosti na klopení



Posouzení MSP

Tabulka 45 Deformace vnějšího nosníku č. 3

Deformace na prutu

Nelineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vnější nosník 3

Třída : obálka NK MSP

Dílec	dx [m]	Stav	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]	Výslednice [mm]
Vnější nosník 3	2.400	NK_CO26	-1.7	-8.5	-0.1	4.3	-1.3	-3.3	8.7
Vnější nosník 3	0.000	NK_CO17	1.3	0.0	0.0	0.2	0.2	-0.6	1.3
Vnější nosník 3	2.400	NK_CO19	-0.7	-10.7	-0.2	5.4	-1.8	-3.7	10.7
Vnější nosník 3	0.000	NK_CO16	0.1	0.6	0.0	0.1	0.2	0.0	0.6
Vnější nosník 3	1.200	NK_CO22	-1.5	-5.4	-1.6	3.3	0.0	-4.0	5.9
Vnější nosník 3	2.400	NK_CO18	-1.1	-3.4	0.0	1.8	-0.2	-1.2	3.6
Vnější nosník 3	2.400	NK_CO22	-1.5	-10.3	-0.2	5.3	-1.8	-4.0	10.4
Vnější nosník 3	0.000	NK_CO21	0.0	-0.4	-0.2	1.2	1.8	-3.7	0.4
Vnější nosník 3	0.000	NK_CO19	-0.7	-0.9	-0.2	1.3	1.8	-4.4	1.2

$$\delta = 1,6 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = 1/200$$

$$\delta_{lim} = 12 \text{ mm}$$

$$\delta = 1,6 \text{ mm} < \delta_{lim} = 12 \text{ mm}$$

maximální průhyb

limitní průhyb

OK



2.5 Posouzení vzpěr

Všechny vzpěry jsou tvořeny čtvercovými trubky o rozměrech 40x40x2 mm, působí na ně jenom tlak, proto posoudím je na maximální tlakovou sílu.

Geometrie průřezu TR 40x40x2 mm

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

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

$$t = 2 \text{ mm}$$

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

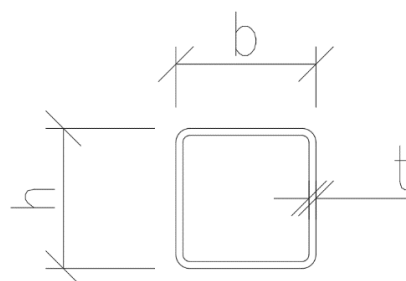
$$r_1 = 2 \text{ mm}$$

$$A = 294 \text{ mm}^2$$

$$i_y = i_z = 15 \text{ mm}$$

Křivka vzpěrné pevnosti c

$$\alpha = 0,49$$



Obrázek 38 Schéma profilu TR 40x40x2

pro vybočení kolmo k ose y-y,z-z

součinitel imperfekce

Zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

$$\varepsilon = 0,814$$

Tlačená stojina

$$d = h - 2r_1 - 2t$$

$$d = 32 \text{ mm}$$

$$d/t = 16 < 33 \cdot \varepsilon = 27$$

⇒ Třída 1

Průřez je 1. třídy



Posouzení na vzpěr

$$L_{cr} = 1601 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka je délka prvku (kloubové uložení)

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 76,41$$

$$\lambda_z^- = \frac{L_{cr}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$$

poměrná štíhlost

$$\lambda_z^- = 1,397$$

$$\varphi_z = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda_z^- - 0,2) + \lambda_z^{-2})$$

$$\varphi_z = 1,769$$

$$\chi_z = \frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_z^{-2}}}$$

součinitel vzpěru

$$\chi = 0,35$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd} \cdot A$$

$$N_{b,Rd} = 36,530 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -27,41 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,75 \leq 1$$

Maximální tlaková síla z obálky MSÚ

Prvek na vzpěr vyhoví



2.6 Posouzení ztužidel

Všechna ztužidla jsou tvořena plnými kruhovými profily o průměru 12 mm, působí jen v tahu, proto posoudím je na maximální tahovou sílu.

Posouzení na tah

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} \leq 1$$

$$N_{Ed} = 5,90 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = f_{yd} \cdot A$$

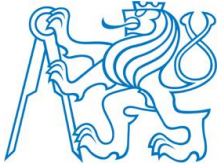
$$N_{t,Rd} = 355 \cdot \frac{\pi \cdot 12^2}{4} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{t,Rd} = 40,150 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0,147 \leq 1$$

Maximální tahová síla z obálky MSÚ

Prvek na tah vyhoví



3 Posouzení detailů

3.1 Posouzení patky sloupu

Tento spoj je podrobně rozkreslen na detailu 1

Maximální reakce v patě sloupu (tah se nevyskytuje v žádné kombinaci)

$$R_{z,Ed} = 52,68 \text{ kN}$$

$$R_{y,Ed} = -5,18 \text{ kN}$$

$$R_{x,Ed} = 11 \text{ kN}$$

$$R_{V,Ed} = \sqrt{R_{x,Ed}^2 + R_{y,Ed}^2}$$

$$R_{V,Ed} = 12,159 \text{ kN}$$

Maximální vodorovná síla

Materiál a rozměry betonového základu

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

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

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

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

Beton C20/25

Rozměry patky

Materiál a rozměry patního plechu

$$f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

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

$$a_0 = 240 \text{ mm}$$

$$b_0 = 180 \text{ mm}$$

Ocel S355

Rozměry patního plechu

Únosnost betonového základu

$$a_1 = \min(3a_0; a_0 + h; a_c)$$

$$b_1 = \min(3b_0; b_0 + h; b_c)$$

$$a_1 = 500 \text{ mm}$$

$$b_1 = 500 \text{ mm}$$

$$A_{c0} = a_0 \cdot b_0$$

$$A_{c0} = 43200 \text{ mm}^2$$

$$A_{c1} = a_c \cdot b_c$$

$$A_{c1} = 250000 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{Rdu} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \sqrt{A_{c1}/A_{c0}}$$

$$f_{Rdu} = 32,075 \text{ MPa}$$

$$\beta_j = 2/3$$

$$f_{jd} = \beta_j \cdot f_{Rdu}$$

Započitatelné rozměry patky

Zatížená plocha

Největší návrhová roznášecí plocha

Součinitel materiálu

Návrhová pevnost betonu v uložení

Součinitel podlití

Návrhová pevnost betonu pod patkou



$$f_{jd} = 21,383 \text{ MPa}$$

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_{yd}}{3f_{jd}}}$$

Účinná šířka patní desky

$$c = 47 \text{ mm}$$

$$A_{\text{eff}} = 36879 \text{ mm}^2$$

Stanoveno v AutoCAD

$$N_{Rd} = f_{jd} \cdot A_{\text{eff}}$$

Únosnost v tlaku

$$N_{Rd} = 788,596 \text{ kN}$$

Posouzení patky

$$N_{\text{max,ed}}/N_{Rd} = R_{z,Ed}/N_{Rd} \leq 1$$

$$0,067 \leq 1$$

OK

Patka vyhoví

Únosnost kotevních šroubů 4xM16 8.8

$$\alpha_v = 0,6$$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

Mezní pevnost šroubu v tahu

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

Plocha v oblasti závitu

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd,s} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$$

Únosnost ve stříhu (1 stříhová rovina)

$$F_{v,Rd,s} = 60,288 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

Mez pevnosti spojovaného prvku

$$\alpha_b = \min(e_1/3d_0; f_{ub}/f_u; 1)$$

$$\alpha_b = 0,926$$

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

Průměr šroubu

$$F_{b,Rd,s} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd,s} = 302,222 \text{ kN}$$

Smyk se přenáší šrouby. Rozhoduje únosnost ve stříhu

Posouzení šroubů

$$R_{V,Ed}/4F_{v,Rd,s} \leq 1$$

$$0,050 \leq 1$$

OK

Šrouby vyhoví



Návrh a posouzení svaru sloupu a patního plechu

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

$$L_w = 112 \text{ mm}$$

$$\tau_{||} = \frac{R_{V,Ed}}{2a_w L_w}$$

$$\tau_{||} = 13,570 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 0$$

$$\sigma_{\perp} = 0 < 0,9f_u / \gamma_{M2} = 367,2 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0,9$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} = 23,5 \text{ MPa}$$

$$23,5 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 453,3 \text{ MPa}$$

Účinná tloušťka svaru

Konzervativně je uvažován přenos posouvající síly pouze svarem na stojíne sloupu

Smykové napětí rovnoběžné s osou svaru

Smykové napětí kolmé k ose svaru

OK

Korelační součinitel

Srovnávací napětí

OK

Svar vyhoví



3.2 Posouzení patky schodnice

Tento spoj je podrobně rozkreslen na detailu 2

Maximální reakce v patě schodnice (tah se nevyskytuje v žádné kombinaci)

$$R_{z,Ed} = 7,87 \text{ kN}$$

$$R_{y,Ed} = 3,21 \text{ kN}$$

$$R_{x,Ed} = -3,97 \text{ kN}$$

$$R_{V,Ed} = \sqrt{R_{x,Ed}^2 + R_{y,Ed}^2}$$

$$R_{V,Ed} = 5,105 \text{ kN}$$

Maximální vodorovná síla

Materiál a rozměry betonového základu

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

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

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

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

Beton C20/25

Rozměry patky

Materiál a rozměry patního plechu

$$f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

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

$$a_0 = 500 \text{ mm}$$

$$b_0 = 180 \text{ mm}$$

Ocel S355

Rozměry patního plechu

Únosnost betonového základu

$$a_1 = \min(3a_0; a_0 + h; a_c)$$

$$b_1 = \min(3b_0; b_0 + h; b_c)$$

$$a_1 = 800 \text{ mm}$$

$$b_1 = 500 \text{ mm}$$

$$A_{c0} = a_0 \cdot b_0$$

$$A_{c0} = 90000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c1} = a_c \cdot b_c$$

$$A_{c1} = 400000 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{Rdu} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \sqrt{A_{c1}/A_{c0}}$$

$$f_{Rdu} = 28,109 \text{ MPa}$$

$$\beta_j = 2/3$$

$$f_{jd} = \beta_j \cdot f_{Rdu}$$

$$f_{jd} = 18,739 \text{ MPa}$$

Započitatelné rozměry patky

Zatížená plocha

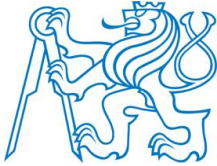
Největší návrhová roznášecí plocha

Součinitel materiálu

Návrhová pevnost betonu v uložení

Součinitel podlití

Návrhová pevnost betonu pod patkou



$$c = t_p \sqrt{\frac{f_{yd}}{3f_{jd}}}$$

Účinná šířka patní desky

$$c = 50 \text{ mm}$$

$$A_{\text{eff}} = 60731 \text{ mm}^2$$

Stanoveno v AutoCAD

$$N_{\text{Rd}} = f_{jd} \cdot A_{\text{eff}}$$

Únosnost v tlaku

$$N_{\text{Rd}} = 1138,064 \text{ kN}$$

Posouzení patky

$$N_{\text{max,ed}}/N_{\text{Rd}} = R_{z,\text{Ed}}/N_{\text{Rd}} \leq 1$$

$$0,007 \leq 1$$

OK

Patka vyhoví

Únosnost kotevních šroubů 5xM16 8.8

$$\alpha_v = 0,6$$

$$f_{\text{ub}} = 800 \text{ MPa}$$

Mezní pevnost šroubu v tahu

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

Plocha v oblasti závitu

$$\gamma_{\text{M2}} = 1,25$$

$$F_{\text{v,Rd,s}} = \alpha_v \cdot f_{\text{ub}} \cdot A_s / \gamma_{\text{M2}}$$

Únosnost ve stříhu (1 stříhová rovina)

$$F_{\text{v,Rd,s}} = 60,288 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

Mez pevnosti spojovaného prvku

$$\alpha_b = \min(e_1/3d_0; f_{\text{ub}}/f_u; 1)$$

$$\alpha_b = 0,926$$

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

Průměr šroubu

$$F_{\text{b,Rd,s}} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p / \gamma_{\text{M2}}$$

Únosnost v otlacení

$$F_{\text{b,Rd,s}} = 302,222 \text{ kN}$$

Smyk se přenáší šrouby. Rozhoduje únosnost ve stříhu

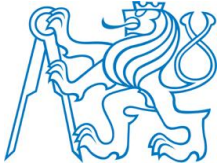
Posouzení šroubů

$$R_{\text{V,Ed}}/5F_{\text{v,Rd,s}} \leq 1$$

$$0,012 \leq 1$$

OK

Šrouby vyhoví



Návrh a posouzení svaru schodnice a patního plechu

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

$$L_w = 290 \text{ mm}$$

$$\tau_{||} = \frac{R_{V,Ed}}{2a_w L_w}$$

$$\tau_{||} = 2,201 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 0$$

$$\sigma_{\perp} = 0 < 0,9f_u/\gamma_{M2} = 367,2 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0,9$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} = 3,812 \text{ MPa}$$

$$3,812 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 453,3 \text{ MPa}$$

Účinná tloušťka svaru

Konzervativně je uvažován přenos posouvající síly pouze svarem na stojíne schodnice

Smykové napětí rovnoběžné s osou svaru

Smykové napětí kolmé k ose svaru

OK

Korelační součinitel

Srovnávací napětí

OK

Svar vyhoví



3.3 Posouzení přípoje schodnice UPE 160 na sloup IPE 140

Schodnice UPE 160 je kloubově připojena na sloup pomocí tzv. spoje na žiletku. Je navržen připojovací plech tloušťky 8 mm, který je přivařen koutovým svarem k pásnici sloupu IPE 140 podélně. Pomocí dvou šroubů M16 pevnostní třídy 8.8 přes připojovací plech je připojena schodnice UPE 160.

Tento spoj je podrobně rozkreslen na detailu 3.

$$V_{z,Ed} = 1,724 \text{ kN}$$

Maximální koncová vnitřní síla na schodnice UPE 160 z obálky MSÚ

Posouzení šroubů 2xM16 8.8

$$F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$$

Únosnost ve stříhu (1 stříhová rovina)

$$\alpha_v = 0,6$$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

Mezní pevnost šroubu v tahu

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

Plocha v oblasti závitů

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = 60,288 \text{ kN}$$

Únosnost ve stříhu (1 stříhová rovina)

$$V_{Ed} = 1,724 \text{ kN} < 2F_{v,Rd} = 120,376 \text{ kN}$$

Šrouby ve stříhu vyhoví

$$F_{b,Rd,p} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$$

Únosnost v otláčení plechu

$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = \min(2,8 \cdot 40/18 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min(e_1/3d_0; f_{ub}/f_u; 1)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{30}{3 \cdot 18}; \frac{800}{510}; 1\right)$$

$$\alpha_b = 0,556$$

$$t_p = 8 \text{ mm}$$

Tloušťka plechu

$$F_{b,Rd,p} = 2,5 \cdot 0,556 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 8 \cdot 10^{-3} / 1,25$$

$$F_{b,Rd,p} = 72,591 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení plechu

$$F_{b,Rd,w} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_w / \gamma_{M2}$$

Únosnost v otláčení stěny UPE 160

$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = \min(2,8 \cdot 40/18 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min(e_1/3d_0; f_{ub}/f_u; 1)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{50}{3 \cdot 18}; \frac{800}{510}; 1\right)$$



$$\alpha_b = 0,926$$

$$t_w = 5,5 \text{ mm}$$

Tloušťka stěny UPE 160

$$F_{b,Rd,w} = 2,5 \cdot 0,926 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 5,5 \cdot 10^{-3} / 1,25$$

$$F_{b,Rd,w} = 83,118 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení stěny UPE 160

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 1,724 \cdot 50 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{Ed} = 0,086 \text{ kNm}$$

$$F_{h,Ed} = M_{Ed} / p = 0,086 / 50 \cdot 10^3$$

$$F_{h,Ed} = 1,724 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = V_{Ed} / 2$$

$$F_{v,Ed} = 0,862 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{F_{h,Ed}^2 + F_{v,Ed}^2}$$

$$F_{Ed} = 1,927 \text{ kN} < F_{b,Rd,p} = 72,591 \text{ kN}$$

Šrouby v otláčení vyhoví

Posouzení koutového svaru

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

Účinná tloušťka svaru

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 0,086 \text{ kNm}$$

$$\sigma_w = M_{Ed} / W_w = \frac{0,086 \cdot 10^6}{\frac{2}{6} \cdot 4 \cdot 110^2}$$

$$\sigma_w = 5,331 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 3,770 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{1,724 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 110}$$

$$\tau_{\parallel} = 1,959 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 3,770 < 0,9f_u / \gamma_{M2} = 367,2 \text{ MPa}$$

OK

$$\beta_w = 0,9$$

Korelační součinitel

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 8,268 \text{ MPa}$$

Srovnávací napětí

$$8,268 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 453,3 \text{ MPa}$$

OK

Svar vyhoví

Posouzení desky ve smyku

$$A_{nt} = 8 \cdot (40 - 18/2)$$

$$A_{nt} = 248 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 8 \cdot (30 + 50 - 18 - 18/2)$$



$$A_{nv} = 424 \text{ mm}^2$$
$$V_{pl,Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$
$$V_{pl,Rd} = \frac{0,5 \cdot 248 \cdot 510}{1,25} + \frac{424 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1}$$
$$V_{pl,Rd} = 137,495 \text{ kN}$$
$$V_{Ed} = 1,724 < V_{pl,Rd} = 137,495 \text{ kN}$$

Deska ve smyku vyhoví

Posouzení stěny UPE 160 ve smyku

$$A_{nt} = 5,5 \cdot (40 - 18/2)$$
$$A_{nt} = 170,5 \text{ mm}^2$$
$$A_{nv} = 5,5 \cdot (25 + 30 + 50 - 18 - 18/2)$$
$$A_{nv} = 429 \text{ mm}^2$$
$$V_{pl,Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$
$$V_{pl,Rd} = \frac{0,5 \cdot 170,5 \cdot 510}{1,25} + \frac{429 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1}$$
$$V_{pl,Rd} = 122,710 \text{ kN}$$
$$V_{Ed} = 1,64 < V_{pl,Rd} = 122,710 \text{ kN}$$

Stojina UPE 160 ve smyku vyhoví



3.4 Posouzení přípoje vnějšího nosníku podesty IPE 140 na sloup

IPE 140

Nosník IPE 140 je kloubově připojen na sloup pomocí čelní desky. Čelní deska je plech tloušťky 8 mm, ke kterému je přivařen koutovým svarem nosník IPE 140. Pomocí čtyř šroubů M16 pevnostní třídy 8.8 čelní deska je připojena na stojinu sloupu IPE 140.

Tento spoj je podrobně rozkreslen na detailu 3.

$$V_{z,Ed} = 6,28 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,19 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{z,Ed}^2 + V_{y,Ed}^2} = 6,283 \text{ kN}$$

Koncové vnitřní síly na nosníku z obálky MSÚ

Maximální koncová vnitřní síla na nosníku IPE 140

Posouzení šroubů 4xM16 8.8

$$F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$$

$$\alpha_v = 0,6$$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = 60,288 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 6,283 \text{ kN} < 2F_{v,Rd} = 120,376 \text{ kN}$$

Únosnost ve stříhu (1 stříhová rovina)

Mezní pevnost šroubu v tahu

Plocha v oblasti závitů

Únosnost ve stříhu (1 stříhová rovina)

Šrouby ve stříhu vyhoví

$$F_{b,Rd,p} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$$

$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = \min(2,8 \cdot 30/18 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min(e_1/3d_0; f_{ub}/f_u; 1)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{40}{3 \cdot 18}; \frac{800}{510}; 1\right)$$

$$\alpha_b = 0,74$$

$$t_p = 8 \text{ mm}$$

$$F_{b,Rd,p} = 2,5 \cdot 0,74 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 8 \cdot 10^{-3} / 1,25$$

$$F_{b,Rd,p} = 96,614 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení plechu

Tloušťka plechu

Únosnost v otláčení plechu

$$F_{b,Rd,w} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_w / \gamma_{M2}$$

$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = \min(2,8 \cdot 30/18 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min(e_1/3d_0; f_{ub}/f_u; 1)$$

Únosnost v otláčení stěny IPE 140



$$\alpha_b = \min\left(\frac{40}{3 \cdot 18}; \frac{800}{510}; 1\right)$$

$$\alpha_b = 0,74$$

$$t_w = 4,7 \text{ mm}$$

Tloušťka stěny IPE 140

$$F_{b,Rd,w} = 2,5 \cdot 0,74 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 4,7 \cdot 10^{-3} / 1,25$$

$$F_{b,Rd,w} = 56,760 \text{ kN}$$

Únosnost v otlacení stěny IPE 140

$$V_{Ed} = 6,283 \text{ kN} < 4F_{b,Rd,p} = 227,044 \text{ kN}$$

Šrouby v otlacení vyhoví

Posouzení koutového svaru

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

$$L_w = 112 \text{ mm}$$

Účinná tloušťka svaru

Konzervativně je uvažován přenos

posouvající síly pouze svarem na stojíne

nosníku

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 0$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{6,283 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 112}$$

$$\tau_{\parallel} = 7,012 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 0 < 0,9f_u / \gamma_{M2} = 367,2 \text{ MPa}$$

OK

$$\beta_w = 0,9$$

Korelační součinitel

Srovnávací napětí

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 12,145 \text{ MPa}$$

$$12,145 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 453,3 \text{ MPa}$$

OK

Svar vyhoví



3.5 Posouzení přípoje vnitřního nosníku podesty IPE 140 na schodnice UPE 160

Nosník IPE 140 je kloubově připojen na schodnice pomocí čelní desky. Čelní deska je plech tloušťky 8 mm, ke kterému je přivařen koutovým svarem nosník IPE 140 podélně. Pomocí čtyř šroubů M16 pevnostní třídy 8.8 čelní deska je připojena na vnější líc stojiny schodnice UPE 160.

Tento spoj je podrobně rozkreslen na detailu 5.

$$V_{z,Ed} = 9,7 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = -1,10 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{z,Ed}^2 + V_{y,Ed}^2} = 9,762 \text{ kN}$$

Koncové vnitřní síly na nosníku z obálky MSÚ

Maximální koncová vnitřní síla na nosníku IPE 140

Posouzení šroubů 4xM16 8.8

$$F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$$

$$\alpha_v = 0,6$$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = 60,288 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 9,762 \text{ kN} < 2F_{v,Rd} = 120,376 \text{ kN}$$

Únosnost ve stříhu (1 stříhová rovina)

Mezní pevnost šroubu v tahu

Plocha v oblasti závitů

Únosnost ve stříhu (1 stříhová rovina)

Šrouby ve stříhu vyhoví

$$F_{b,Rd,p} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$$

$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = \min(2,8 \cdot 30/18 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min(e_1/3d_0; f_{ub}/f_u; 1)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{40}{3 \cdot 18}; \frac{800}{510}; 1\right)$$

$$\alpha_b = 0,74$$

$$t_p = 8 \text{ mm}$$

$$F_{b,Rd,p} = 2,5 \cdot 0,74 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 8 \cdot 10^{-3} / 1,25$$

$$F_{b,Rd,p} = 96,614 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení plechu

Tloušťka plechu

Únosnost v otláčení plechu

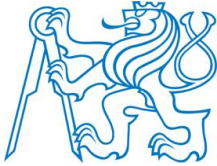
$$F_{b,Rd,w} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_w / \gamma_{M2}$$

$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = \min(2,8 \cdot 30/18 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

Únosnost v otláčení stěny UPE 160



$$\alpha_b = \min(e_1/3d_0; f_{ub}/f_u; 1)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{40}{3 \cdot 18}; \frac{800}{510}; 1\right)$$

$$\alpha_b = 0,74$$

$$t_w = 5,5 \text{ mm}$$

Tloušťka stěny UPE 160

$$F_{b,Rd,w} = 2,5 \cdot 0,74 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 5,5 \cdot 10^{-3} / 1,25$$

$$F_{b,Rd,w} = 66,422 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení stěny IPE 140

$$V_{Ed} = 9,762 \text{ kN} < 4F_{b,Rd,p} = 265,690 \text{ kN}$$

Šrouby v otláčení vyhoví

Posouzení koutového svaru

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

$$L_w = 112 \text{ mm}$$

Účinná tloušťka svaru

Konzervativně je uvažován přenos

posouvající síly pouze svarem na stojíne nosníku

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 0$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{9,762 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 112}$$

$$\tau_{\parallel} = 10,895 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 0 < 0,9f_u/\gamma_{M2} = 367,2 \text{ MPa}$$

OK

$$\beta_w = 0,9$$

Korelační součinitel

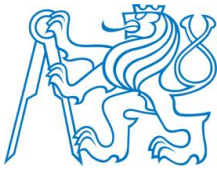
Srovnávací napětí

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 18,871 \text{ MPa}$$

$$18,871 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 453,3 \text{ MPa}$$

OK

Svar vyhoví



3.6 Posouzení přípoje schodnice UPE 160 na vnitřní nosník podesty

IPE

Schodnice UPE 160 je kloubově připojena na nosník pomocí tzv. spoje na žiletku. Je navržen připojovací plech tloušťky 8 mm, který je přivařen koutovým svarem k stojině nosníku IPE 140 příčně. Pomocí dvou šroubů M16 pevnostní třídy 8.8 přes připojovací plech je připojena schodnice UPE 160.

Tento spoj je podrobně rozkreslen na detailu 4.

Koncové vnitřní síly
schodnice z obálky MSÚ

$$V_{z,Ed} = 5,41 \text{ kN}$$

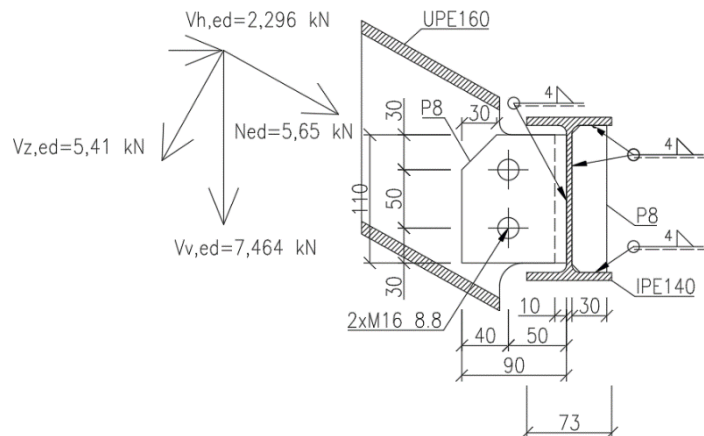
$$N_{Ed} = 5,65 \text{ kN}$$

Maximální svislá síla:

$$V_{V,Ed} = 7,464 \text{ kN}$$

Maximální vodorovná
síla:

$$V_{H,Ed} = 2,296 \text{ kN}$$



Obrázek 39 Schéma přípoje schodnice na nosník

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{z,Ed}^2 + N_{Ed}^2} = 7,822 \text{ kN}$$

Maximální síla na schodnice UPE 160

Posouzení šroubů 2xM16 8.8

$$F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$$

$$\alpha_v = 0,6$$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = 60,288 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 7,822 \text{ kN} < 2F_{v,Rd} = 120,376 \text{ kN}$$

Únosnost ve stříhu (1 stříhová rovina)

Mezní pevnost šroubu v tahu

Plocha v oblasti závitu

Únosnost ve stříhu (1 stříhová rovina)

Šrouby ve stříhu vyhoví



$$F_{b,Rd,p} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2} \quad \text{Únosnost v otláčení plechu}$$

$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = \min(2,8 \cdot 40/18 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min(e_1/3d_0; f_{ub}/f_u; 1)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{30}{3 \cdot 18}; \frac{800}{510}; 1\right)$$

$$\alpha_b = 0,556$$

$$t_p = 8 \text{ mm} \quad \text{Tloušťka plechu}$$

$$F_{b,Rd,p} = 2,5 \cdot 0,556 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 8 \cdot 10^{-3} / 1,25$$

$$F_{b,Rd,p} = 72,591 \text{ kN} \quad \text{Únosnost v otláčení plechu}$$

$$F_{b,Rd,w} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_w / \gamma_{M2} \quad \text{Únosnost v otláčení stěny UPE 160}$$

$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = \min(2,8 \cdot 30/18 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min(e_1/3d_0; f_{ub}/f_u; 1)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{50}{3 \cdot 18}; \frac{800}{510}; 1\right)$$

$$\alpha_b = 0,926$$

$$t_w = 5,5 \text{ mm} \quad \text{Tloušťka stěny UPE 160}$$

$$F_{b,Rd,w} = 2,5 \cdot 0,926 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 5,5 \cdot 10^{-3} / 1,25$$

$$F_{b,Rd,w} = 83,118 \text{ kN} \quad \text{Únosnost v otláčení stěny UPE 160}$$

$$V_{Ed} = 7,822 \text{ kN} < 2F_{b,Rd,p} = 145,182 \text{ kN}$$

Šrouby vyhoví

Posouzení koutového svaru

$$a_w = 4 \text{ mm} \quad \text{Účinná tloušťka svaru}$$

$$M_{Ed} = V_{v,Ed} \cdot e = 7,464 \cdot 50 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{Ed} = 0,373 \text{ kNm}$$

$$\sigma_w = M_{Ed} / W_w = \frac{0,373 \cdot 10^6}{\frac{2}{6} \cdot 4 \cdot 110^2}$$

$$\sigma_w = 23,120 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 16,348 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{v,Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{7,464 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 110}$$

$$\tau_{\parallel} = 8,482 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 16,348 < 0,9f_u / \gamma_{M2} = 367,2 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$



$$\beta_w = 0,9$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 32,431 \text{ MPa}$$

$$32,431 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 453,3 \text{ MPa}$$

Korelační součinitel

Srovnávací napětí

OK

Svar vyhoví

Posouzení desky ve smyku

$$A_{nt} = 8 \cdot (40 - 18/2)$$

$$A_{nt} = 248 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 8 \cdot (30 + 50 - 18 - 18/2)$$

$$A_{nv} = 424 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,5 \cdot 248 \cdot 510}{1,25} + \frac{424 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1}$$

$$V_{pl,Rd} = 137,495 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 7,822 < V_{pl,Rd} = 137,495 \text{ kN}$$

Deska ve smyku vyhoví

Posouzení stěny UPE 160 ve smyku

$$A_{nt} = 5,5 \cdot (40 - 18/2)$$

$$A_{nt} = 170,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 5,5 \cdot (30 + 50 - 18 - 18/2)$$

$$A_{nv} = 291,5 \text{ mm}^2$$

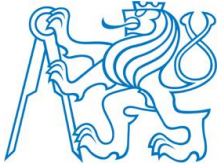
$$V_{pl,Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,5 \cdot 170,5 \cdot 510}{1,25} + \frac{291,5 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1}$$

$$V_{pl,Rd} = 94,527 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 7,822 \text{ kN} < V_{pl,Rd} = 94,527 \text{ kN}$$

Stojina UPE 160 ve smyku vyhoví



3.7 Posouzení přípoje ztužidel

Všechna ztužidla jsou připojena stejně: kloubově pomocí přivařeného k táhlu (táhlo je kruhová tyč o průměru 12 mm) plechu tloušťky 6 mm, který je pomocí dvou šroubů M12 8.8 připojen k styčnickovému plechu tloušťky 6 mm.

Tyto spoje jsou podrobně rozkresleny na detailu 1, 3 a 5.

$$N_{Ed} = 5,90 \text{ kN}$$

Maximální síla v nejméně namáhaném táhle

Posouzení šroubů 2xM12 8.8

$$F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$$

Únosnost ve stříhu (1 stříhová rovina)

$$\alpha_v = 0,6$$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

Mezní pevnost šroubu v tahu

$$A_s = 84 \text{ mm}^2$$

Plocha v oblasti závitu

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = 32,256 \text{ kN}$$

Únosnost ve stříhu (1 stříhová rovina)

$$N_{Ed} = 5,90 \text{ kN} < 2F_{v,Rd} = 64,512 \text{ kN}$$

Šrouby vyhoví

$$F_{b,Rd,p} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$$

Únosnost v otláčení plechu

$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = \min(2,8 \cdot 30/13 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min(e_1/3d_0; f_{ub}/f_u; 1)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{30}{3 \cdot 13}; \frac{800}{510}; 1\right)$$

$$\alpha_b = 0,769$$

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

Tloušťka plechu

$$F_{b,Rd,p} = 2,5 \cdot 0,769 \cdot 510 \cdot 12 \cdot 6 \cdot 10^{-3} / 1,25$$

$$F_{b,Rd,p} = 56,475 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení plechu

$$F_{b,Rd,w} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_w / \gamma_{M2}$$

Únosnost v otláčení styč. plechu

$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = \min(2,8 \cdot 30/13 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min(e_1/3d_0; f_{ub}/f_u; 1)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{50}{3 \cdot 13}; \frac{800}{510}; 1\right)$$

$$\alpha_b = 1$$

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

Tloušťka styč. plechu

$$F_{b,Rd,w} = 2,5 \cdot 1 \cdot 510 \cdot 12 \cdot 6 \cdot 10^{-3} / 1,25$$

$$F_{b,Rd,w} = 73,44 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení styč. plechu



$$N_{Ed} = 5,90 \text{ kN} < 2F_{b,Rd,p} = 112,95 \text{ kN}$$

Šrouby vyhoví

Posouzení koutového svaru plechu a táhla

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$L_w = 30 \text{ mm}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 0$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot a \cdot l} = \frac{5,90 \cdot 10^3}{4 \cdot 3 \cdot 30}$$

$$\tau_{\parallel} = 16,389 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 0 < 0,9f_u/\gamma_{M2} = 367,2 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0,9$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 28,386 \text{ MPa}$$

$$28,386 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 453,3 \text{ MPa}$$

Účinná tloušťka svaru

OK

Korelační součinitel
Srovnávací napětí

OK

Svar vyhoví

Posouzení plechů ve smyku

$$A_{nt} = 6 \cdot (30 - 13/2)$$

$$A_{nt} = 141 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 6 \cdot (30 + 50 - 13 - 13/2)$$

$$A_{nv} = 363 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,5 \cdot 141 \cdot 510}{1,25} + \frac{363 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1}$$

$$V_{pl,Rd} = 103,164 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 5,90 \text{ kN} < V_{pl,Rd} = 103,164 \text{ kN}$$

Plech ve smyku vyhoví



3.8 Posouzení přípoje vzpěry na schodnice

Vzpěra je kloubově připojena na schodnice UPE 160 pomocí čelní desky tloušťky 8 mm, která je připojena na pásnici UPE 160 pomocí dvou šroubů M16 pevnostní třídy 8.8. Tento spoj je podrobně rozkreslen na detailu 5.

Koncová vnitřní síla vzpěry
z obálky MSÚ

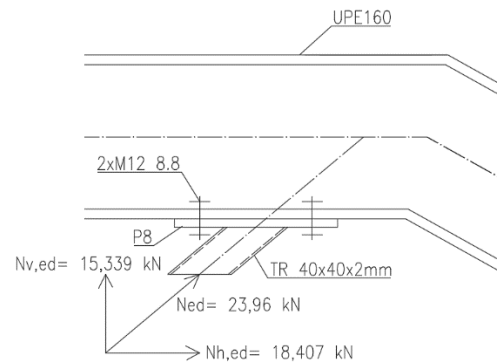
$$N_{Ed} = 23,96 \text{ kN}$$

Maximální svislá síla:

$$N_{V,Ed} = 15,339 \text{ kN}$$

Maximální vodorovná síla:

$$N_{H,Ed} = 18,407 \text{ kN}$$



Obrázek 40 Schéma přípoje vzpěry na schodnici

Posouzení šroubů 2xM12 8.8

$$F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$$

$$\alpha_v = 0,6$$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$A_s = 84 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = 32,256 \text{ kN}$$

$$N_{H,Ed} = 18,407 \text{ kN} < 2F_{v,Rd} = 64,512 \text{ kN}$$

Únosnost ve stříhu (1 stříhová rovina)

Mezní pevnost šroubu v tahu

Plocha v oblasti závitu

Únosnost ve stříhu (1 stříhová rovina)

Šrouby ve stihu vyhoví

$$F_{b,Rd,p} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$$

$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = \min(2,8 \cdot 30/13 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min(e_1/3d_0; f_{ub}/f_u; 1)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{25}{3 \cdot 13}; \frac{800}{510}; 1\right)$$

$$\alpha_b = 0,641$$

$$t_p = 8 \text{ mm}$$

$$F_{b,Rd,p} = 2,5 \cdot 0,641 \cdot 510 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 10^{-3} / 1,25$$

$$F_{b,Rd,p} = 62,767 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení plechu

Tloušťka plechu

Únosnost v otláčení plechu

$$F_{b,Rd,w} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_w / \gamma_{M2}$$

$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 2,5)$$

Únosnost v otláčení pásnice



$$k_1 = \min(2,8 \cdot 30/13 - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min(e_1/3d_0; f_{ub}/f_u; 1)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{110}{3 \cdot 13}; \frac{800}{510}; 1\right)$$

$$\alpha_b = 1$$

$$t_w = 9,5 \text{ mm}$$

Tloušťka pásnice

$$F_{b,Rd,w} = 2,5 \cdot 1 \cdot 510 \cdot 12 \cdot 9,5 \cdot 10^{-3} / 1,25$$

$$F_{b,Rd,w} = 116,28 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení styč. plechu

$$N_{H,Ed} = 18,407 \text{ kN} < 2F_{b,Rd,p} = 125,533 \text{ kN}$$

Vyhoví

Posouzení koutového svaru plechu a vzpěry

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

Účinná tloušťka svaru

$$L_w = 30 \text{ mm}$$

Je uvažován přenos vodorovné síly
pouze svarem na stojíne TR 40x40x2

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 0$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{H,Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{18,407 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 30}$$

$$\tau_{\parallel} = 102,261 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 0 < 0,9f_u/\gamma_{M2} = 367,2 \text{ MPa}$$

OK

$$\beta_w = 0,9$$

Korelační součinitel

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 177,121 \text{ MPa}$$

Srovnávací napětí

$$177,121 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 453,3 \text{ MPa}$$

OK

Svar vyhoví

Posouzení plechu ve smyku

$$A_{nt} = 8 \cdot (30 - 13/2)$$

$$A_{nt} = 188 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 8 \cdot (25 + 110 - 13 - 13/2)$$

$$A_{nv} = 924 \text{ mm}^2$$

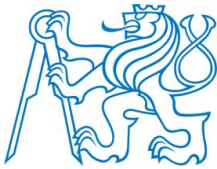
$$V_{pl,Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,5 \cdot 188 \cdot 510}{1,25} + \frac{924 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1}$$

$$V_{pl,Rd} = 227,734 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 18,407 \text{ kN} < V_{pl,Rd} = 227,734 \text{ kN}$$

Plech ve smyku vyhoví



4 Závěr

V této bakalářské práci jsem se zaměřila na návrh a vytvoření 3D modelu konstrukce požárního schodiště a následné posouzení všech nosných prvků a vybraných detailů.

Konstrukce je zatížena stálým zatížením od vlastní tíhy nosné konstrukce a zábradlí, zatížením od ocelových stupňů a roštů. Jako proměnné zatížení se uvažuje užitné zatížení a zatížení větrem. Celková hmotnost konstrukce je 1,8195 tun.

Nejprve konstrukce byla vytvořena jako prostorový prutový model ve výpočetním programu SCIA Engineer. Zatěžovací stavy byly vytvořeny podle platných evropských norem ČSN EN 1990 a ČSN EN 1991. Z vytvořeného modelu pomocí nelineárního výpočtu byly získány vnitřní síly. Pro získání kritické síly na sloupech byl použit také stabilitní výpočet. Všechny nosné prvky byly posouzeny na mezní stav únosnosti. U vodorovných prvků byly posouzeny také svislé průhyby. U sloupů bylo posouzeno vodorovné posunutí vrcholu. Na závěr byly posouzeny vybrané spoje a uložení sloupů a schodnice na betonové patky.

Z dosažených výsledků bylo stanoveno, že jednotlivé prvky jsou dostatečně únosné, aby přenesly veškerá zatížení, která na ně působí. Některé prvky jsou předdimenzované, ale takové profily byly použity z konstrukčních důvodů. Volba profilu schodnice byla ovlivněna tím, že se na ni šroubově připojí prefabrikované stupně, a volba profilu vnitřního nosníku podest je ovlivněna připojem schodnic většího profilu na tento nosník.

Přínosem této práce je, že jsem se líp naučila pracovat s modelováním konstrukce v programu SCIA Engineer a získala jsem nové zkušenosti z navrhování detailů.



5 Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků:

Obrázek 1 Model konstrukce ve výpočetním programu SCIA Engineer	4
Obrázek 2 Mapa větrných oblastí na území ČR.....	7
Obrázek 3 Průřez sloupu.....	10
Obrázek 4 Součinitele koncového efektu pro sloupy jako funkce součinitele plnosti φ v závislosti na štíhlosti λ	11
Obrázek 5 Průřez schodnice	12
Obrázek 6 Součinitel koncového efektu pro schodnice jako funkce součinitele plnosti φ v závislosti na štíhlosti λ	13
Obrázek 7 Průřez nosníku.....	14
Obrázek 8 Součinitel koncového efektu pro nosníky podest jako funkce součinitele plnosti φ v závislosti na štíhlosti λ	15
Obrázek 9 Průřez madla	16
Obrázek 10 Součinitel koncového efektu pro madla jako funkce součinitele plnosti φ v závislosti na štíhlosti λ	17
Obrázek 11 Součinitel síly pro profil madla jako funkce poměru stran jeho průřezu.....	17
Obrázek 12 Redukční součinitel madla pro průřezy se zaoblenými rohy	18
Obrázek 13 Průřez sloupků zábradlí.....	19
Obrázek 14 Součinitel koncového efektu pro sloupky jako funkce součinitele plnosti φ v závislosti na štíhlosti λ	20
Obrázek 15 Součinitel síly pro profil sloupku jako funkce poměru stran jeho průřezu	20
Obrázek 16 Redukční součinitel pro průřezy se zaoblenými rohy	21
Obrázek 17 Schéma profilu IPE.....	27
Obrázek 18 Poloha sloupu č.1 v modelu	28
Obrázek 19 Průběh momentů na sloupu č.1.....	32
Obrázek 20 Poloha sloupu č.2 v modelu	34
Obrázek 21 Poloha sloupu č.3 v modelu	40



Obrázek 22 Poloha sloupu č.4 v modelu	46
Obrázek 23 Schéma profilu UPE	52
Obrázek 24 Poloha vnější schodnice č.1-2 v modelu	53
Obrázek 25 Poloha vnější schodnice č.3-4-5 v modelu	56
Obrázek 26 Poloha vnější schodnice č.6-7-8 v modelu	59
Obrázek 27 Poloha vnější schodnice č. 9 v modelu.....	62
Obrázek 28 Poloha vnitřní schodnice č. 1 v modelu	63
Obrázek 29 Poloha vnitřní schodnice č. 2 v modelu	66
Obrázek 30 Poloha vnitřní schodnice č. 3 v modelu	69
Obrázek 31 Schéma profilu IPE.....	72
Obrázek 32 Poloha vnitřního nosníku č.1 v modelu.....	73
Obrázek 33 Poloha vnitřního nosníku č. 2 v modelu.....	77
Obrázek 34 Poloha vnitřního nosníku č. 3 v modelu.....	81
Obrázek 35 Poloha vnějšího nosníku č. 1 v modelu	85
Obrázek 36 Poloha vnějšího nosníku č. 2 v modelu	90
Obrázek 37 Poloha vnějšího nosníku č. 3 v modelu	95
Obrázek 38 Schéma profilu TR 40x40x2	100
Obrázek 39 Schéma přípoje schodnice na nosník	116
Obrázek 40 Schéma přípoje vzpěry na schodnici	121



Seznam tabulek:

Tabulka 1 Výpočet zatížení zatěžovacího stavu LC2.....	5
Tabulka 2 Výpočet užitečného zatížení zatěžovacího stavu LC3.....	6
Tabulka 3 Kategorie terénu a jejich parametry dle ČSN EN 1991-1-4, Tabulka 4.1.....	8
Tabulka 4 Charakteristické hodnoty liniového zatížení větru na sloupy.....	11
Tabulka 5 Charakteristické hodnoty liniového zatížení větru na schodnice.....	13
Tabulka 6 Charakteristické hodnoty liniového zatížení větru na madlo.....	18
Tabulka 7 Seznam použitých kombinací pro mezní stav únosnosti.....	23
Tabulka 8 Seznam použitých kombinací pro mezní stav použitelnosti.....	25
Tabulka 9 Extrémy vnitřních sil na sloupu č.1 z obálky MSÚ.....	28
Tabulka 10 Rozhodující kombinace CO9. Vnitřní síly na sloupu č.1.....	30
Tabulka 11 Deformace sloupu č.1.....	33
Tabulka 12 Extrémy vnitřních sil na sloupu č.2 z obálky MSÚ.....	34
Tabulka 13 Rozhodující kombinace CO9. Vnitřní síly na sloupu č.2.....	36
Tabulka 14 Deformace sloupu č.2.....	39
Tabulka 15 Extrémy vnitřních sil na sloupu č.3 z obálky MSÚ.....	40
Tabulka 16 Rozhodující kombinace CO6. Vnitřní síly na sloupu č.3.....	42
Tabulka 17 Deformace sloupu č.3.....	45
Tabulka 18 Extrémy vnitřních sil na sloupu č.3 z obálky MSÚ.....	46
Tabulka 19 Rozhodující kombinace CO6. Vnitřní síly na sloupu č.3.....	48
Tabulka 20 Deformace sloupu č.4.....	51
Tabulka 21 Extrémy vnitřních sil na vnější schodnice č.1-2 z obálky MSÚ.....	53
Tabulka 22 Deformace vnější schodnice č.1-2.....	55
Tabulka 23 Extrémy vnitřních sil na vnější schodnice č.3-4-5 z obálky MSÚ.....	56
Tabulka 24 Deformace vnější schodnice č.3-4-5.....	58
Tabulka 25 Extrémy vnitřních sil na vnější schodnice č.6-7-8 z obálky MSÚ.....	59
Tabulka 26 Deformace vnější schodnice č.6-7-8.....	61
Tabulka 27 Extrémy vnitřních sil na vnější schodnice č.9 z obálky MSÚ.....	62
Tabulka 28 Extrémy vnitřních sil na vnitřní schodnice č.1 z obálky MSÚ.....	63



Tabulka 29 Deformace vnitřní schodnice č.1	65
Tabulka 30 Extrémy vnitřních sil na vnitřní schodnice č.2 z obálky MSÚ.....	66
Tabulka 31 Deformace vnitřní schodnice č.2	68
Tabulka 32 Extrémy vnitřních sil na vnitřní schodnice č.3 z obálky MSÚ.....	69
Tabulka 33 Deformace vnitřní schodnice č. 3	71
Tabulka 34 Extrémy vnitřních sil na vnitřním nosníku č.1 z obálky MSÚ	73
Tabulka 35 Deformace vnitřního nosníku č.1.....	76
Tabulka 36 Extrémy vnitřních sil na vnitřním nosníku č.2 z obálky MSÚ	77
Tabulka 37 Deformace vnitřního nosníku č. 2.....	80
Tabulka 38 Extrémy vnitřních sil na vnitřním nosníku č.3 z obálky MSÚ	81
Tabulka 39 Deformace vnitřního nosníku č. 3.....	84
Tabulka 40 Extrémy vnitřních sil na vnějším nosníku č.1 z obálky MSÚ	85
Tabulka 41 Deformace vnějšího nosníku č. 1.....	89
Tabulka 42 Extrémy vnitřních sil na vnějším nosníku č.2 z obálky MSÚ	90
Tabulka 43 Deformace vnějšího nosníku č. 2	94
Tabulka 44 Extrémy vnitřních sil na vnějším nosníku č. 3 z obálky MSÚ	95
Tabulka 45 Deformace vnějšího nosníku č. 3	99



6 Výkresové přílohy

1. DISPOZICE
2. DETAIL 1, DETAIL 2
3. DETAIL 3, DETAIL 6
4. DETAIL 4
5. DETAIL 5