

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



DIPLOMOVÁ PRÁCE

TROJLODNÍ PRŮMYSLOVÁ
HALA S JEŘÁBY

Zpracoval: Bc. Václav Klásek

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Klásek Jméno: Václav Osobní číslo: 458759
Zadávající katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí
Studijní program: Konstrukce pozemních staveb
Studijní obor: Stavební inženýrství

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Trojlodní průmyslová hala s jeřáby

Název diplomové práce anglicky: Three-bay industrial hall with overhead cranes

Pokyny pro vypracování:

Návrh hlavních prvků ocelové konstrukce průmyslové haly a vybraných detailů. T.Z. Výkresová dokumentace (dispozice a navržené detaily).

Seznam doporučené literatury:

Platné normy ČSN EN, M. Pilgr: Výpočet jeřábové dráhy, VUT, 2012.

Jméno vedoucího diplomové práce: Michal Jandera

Datum zadání diplomové práce: 21.9.2020 Termín odevzdání diplomové práce: 3.1.2021
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

.....
Podpis vedoucího práce

.....
Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokooškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

.....
Datum převzetí zadání

.....
Podpis studenta(ky)

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně při odborném dozoru vedoucího diplomové práce doc. Ing. Michala Jandery, Ph.D. a veškeré použité podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne 03.01.2021

Bc. Václav Klásek

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych velice poděkoval doc. Ing. Michalu Janderovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a nadstandardní vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce.

ANOTACE

Diplomová práce obsahuje návrh nosné ocelové konstrukce trojlodní průmyslové haly. V každé lodi haly je navrhnut mostový jeřáb s nosností 20 tun. Jednotlivé trakty haly jsou totožného rozpětí 22,5 m a délky 64 m. V rámci hlavní části práce je zpracován statický výpočet, půdorys, řezy a detaily ocelové konstrukce. Vedlejší část obsahuje stavebně konstrukční řešení navazujících konstrukcí, tj. detaily napojení základových a kompletačních konstrukcí. Doplnková část je rozsahu 10 % diplomové práce.

KLÍČOVÁ SLOVA

mostový jeřáb, průmyslová hala, jeřábová hala, ocelová hala, jeřábový nosník, rámová konstrukce

ANNOTATION

The Master's Thesis contains a design of a load-bearing steel structure of a three-bay industrial hall. In every bay is designed an overhead crane with a load capacity of 20 tons. The individual tracts of the hall have an identical span of 22,5 m and a length of 64 m. The main part of the work contains a static calculation, floor plan, sections and details of the steel structure. The secondary part contains the structural design solution of the following constructions, i.e. details of the connection of the foundation and assembly structures. This additional part forms 10 % of the Master's Thesis.

KEYWORDS

overhead crane, industrial hall, crane hall, steel structure, crane beam, frame construction

STATICKÝ VÝPOČET

TROJLODNÍ PRŮMYSLOVÁ HALA S JEŘÁBY

1. VSTUPNÍ ÚDAJE

1.1 POŽADOVANÉ PARAMETRY JD - ZADÁNÍ

Nosnost: $Q := 20000 \text{ kg}$

Rozvor kol: $a := 4.4 \text{ m}$

Rozpětí jeřábu: $L := 21 \text{ m}$

Hmotnost jeřábu (bez kočky): $G_C := 18000 \text{ kg}$

Hmotnost kočky: $G_K := 2000 \text{ kg}$

Dojezdová vzdálenost kladkostroje: $T_1 := 1.15 \text{ m}$

Rychlost zdvihu: $v_h := 0.166 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Vedení pomocí nákolků (pohon jednotlivých kol); kombinace kol IFF

Dílenský jeřáb; kategorie zvedacích zařízení HC3

Kategorie S3

2. ZATÍŽENÍ JEŘÁBOVÉ DRÁHY

2.1 STÁLÁ ZATÍŽENÍ

[ČSN EN 1991-1-1; ČSN EN 1990]

2.1.1 Vlastní tíha jeřábu včetně kočky

$$g_{k;J} := (G_C + G_K) \cdot g = 196.133 \text{ kN}$$

2.1.2 Vlastní tíha jeřábové dráhy (odhad)

- kolejnice JKL 100

$$g_{kolej} := 0.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- vlastní tíha nosníku jeřábové dráhy (odhad HEA 600)

$$g_{nosJD} := 1.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- vlastní tíha vodorovného nosníku a lávky (odhad)

$$g_{nosH} := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

STÁLÉ ZATÍŽENÍ CELKEM:

$$g_{k;D} := g_{kolej} + g_{nosJD} + g_{nosH} = 2.48 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Součinitele zatížení:

- nepříznivé $\gamma_{G;sup} := 1.35$

- příznivé $\gamma_{G;inf} := 1.00$

2.2 PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ

[ČSN EN 1991-3; ČSN EN 1990]

2.2.1 Zatížení jeřáby

2.2.1.1 Charakteristické hodnoty zatížení

a) Tíha jeřábu

- Vstupní údaje:

- rozpětí jeřábu $s := L = 21 \text{ m}$

- tíha jeřábu s kočkou $Q_c := g_{k,J} = 196.133 \text{ kN}$

- tíha kočky $Q_l := G_K \cdot g = 19.613 \text{ kN}$

- vodorovný dojezd háku $c := T_1 = 1.15 \text{ m}$

- počet dvojic kol $n := 2$

Svislé síly od kol zatíženého jeřábu způsobené jeho vlastní tíhou:

$$Q_{C;r;max} := \frac{1}{n} \left(\frac{Q_c - Q_l}{2} + \frac{Q_l \cdot (s - c)}{s} \right) = 53.4 \text{ kN}$$

$$Q_{C;r;ImaxI} := \frac{1}{n} \left(\frac{Q_c - Q_l}{2} + \frac{Q_l \cdot c}{s} \right) = 44.667 \text{ kN}$$

Svislé síly od kol nezatíženého jeřábu:

$$Q_{C;r;min} := Q_{C;r;ImaxI} = 44.667 \text{ kN}$$

$$Q_{C;r;IminI} := Q_{C;r;max} = 53.4 \text{ kN}$$

b) Zatížení kladkostroje

- Vstupní údaje:

- zatížení kladkostroje: $Q_h := Q \cdot g = 196.133 \text{ kN}$

Svislé síly od kol zatíženého jeřábu způsobené zatížením kladkostroje:

$$Q_{H;r;max} := \frac{1}{n} \frac{Q_h \cdot (s - c)}{s} = 92.696 \text{ kN}$$

$$Q_{H;r;I_{maxI}} := \frac{1}{n} \frac{Q_h \cdot c}{s} = 5.37 \text{ kN}$$

c) Zrychlení mostu jeřábu

- Vstupní údaje:

- součinitel tření ocel/ocel $\mu := 0.2$

- počet pohonů jednotlivých kol $m_w := 2$

- minimální svislé zatížení od kola nezatíženého jeřábu $Q_{C;r;min} = 44.667 \text{ kN}$

- počet větví jeřábové dráhy $n_r := 2$

- rozvor kol $b := a = 4.4 \text{ m}$

- podíl vzdálenosti těžiště jeřábu od osy jeřábové kolejnice a rozpětí jeřábu ξ_i

- součet maximálních svislých zatížení od kol zatíženého jeřábu na obou větvích jeřábové dráhy

$$\Sigma Q_{r;max} := n \cdot (Q_{C;r;max} + Q_{H;r;max}) = 292.191 \text{ kN}$$

- součet svislých zatížení od kol zatíženého jeřábu na obou větvích JD $\Sigma Q_r := Q_c + Q_h = 392.266 \text{ kN}$

$$\xi_1 := \frac{\Sigma Q_{r;max}}{\Sigma Q_r} = 0.745$$

$$\xi_2 := 1 - \xi_1 = 0.255$$

- vychýlení těžiště zatíženého jeřábu od poloviny jeho rozpětí $l_s := (\xi_1 - 0.5) \cdot s = 5.143 \text{ m}$

Hnací síla:

$$K := \mu \cdot m_w \cdot Q_{C;r;min} = 17.867 \text{ kN}$$

- statický moment hnací síly vzhledem k těžišti jeřábu $M := K \cdot l_s = 91.88 \text{ m} \cdot \text{kN}$

Hnací síla:

$$K := \mu \cdot m_w \cdot Q_{C,r,min} = 17.867 \text{ kN}$$

Síly v podélném směru:

$$H_{L,i} := \frac{K}{n_r} = 8.933 \text{ kN}$$

$$H_{L,1} := H_{L,i} = 8.933 \text{ kN}$$

$$H_{L,2} := H_{L,i} = 8.933 \text{ kN}$$

Síly v příčném směru:

$$H_{T,1} := \xi_1 \cdot \frac{M}{b} = 15.554 \text{ kN}$$

$$H_{T,2} := \xi_2 \cdot \frac{M}{b} = 5.327 \text{ kN}$$

d) Příčnání mostu jeřábu

- Vstupní údaje:

- vedení kol nezávislé; IFF

- součinitel reakcí při příčnání (ČSN EN1991-3; odst. 2.11): $f := 0.3$

- vzdálenost j-té dvojice kol od vodících prostředků: e_j

vodícími prostředky jsou nákolky $\implies e_1 := 0 \text{ m}$ $e_2 := b = 4.4 \text{ m}$

$$\Sigma e_j := \frac{e_1^2 + e_2^2}{e_1 + e_2} = ?$$

- počet spojených dvojic kol $m := 0$

- vzdálenost mezi okamžitým středem otáčení a vodícími prostředky

$$h := \frac{m \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot l^2 + \Sigma e_j^2}{\Sigma e_j}$$

$$m = 0 \implies h := \frac{\Sigma e_j^2}{\Sigma e_j} = ?$$

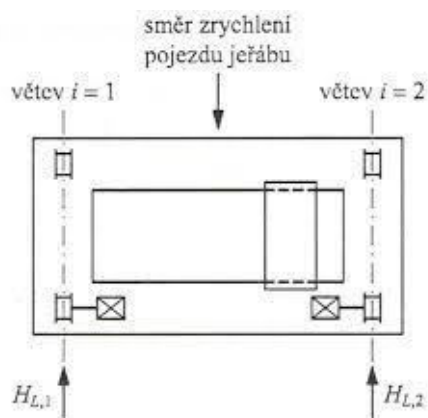
- součinitel síly (od kola)

$$\lambda_{S,i;j;k}$$

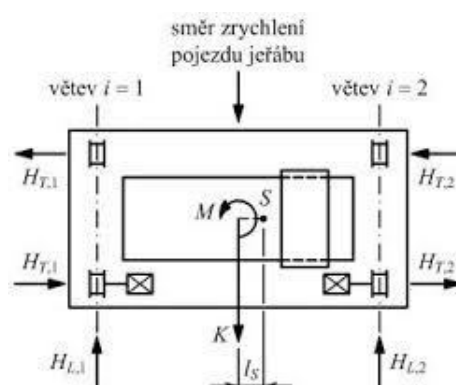
- index ivětev jeřabové dráhy

- index jdvojice kol

- index ksměr síly (L=podélná; T=příčná)



Obr.1: Schéma uspořádání podél. vod. sil od rozjezdu/ brždění jeřábu



Obr.2: Schéma uspořádání příčných vod. sil od rozjezdu/ brždění jeřábu

$$\lambda_{S;1;1;T} := \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = 0.128$$

$$\lambda_{S;2;1;T} := \frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = 0.372$$

Nenulové složky sil od kol:

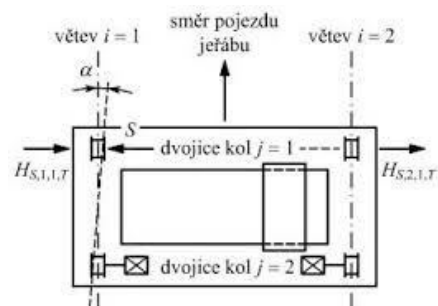
$$H_{S;1;1;T} := f \cdot \lambda_{S;1;1;T} \cdot \Sigma Q_r = 15.011 \text{ kN}$$

$$H_{S;2;1;T} := f \cdot \lambda_{S;2;1;T} \cdot \Sigma Q_r = 43.829 \text{ kN}$$

- součinitel síly (od vodícího prostředku): $\lambda_S := 1 - \frac{\Sigma e_j}{n \cdot h} = 0.5$

Síla od vodícího prostředku způsobená přičením jeřábu:

$$S := f \cdot \lambda_S \cdot \Sigma Q_r = 58.84 \text{ kN}$$



Obr.3: Schéma uspořádání příčných vod. sil od přičení jeřábu

e) Zrychlení kočky

- Vstupní údaje:

- tíha kočky:

$$Q_l := G_K \cdot g = 19.613 \text{ kN}$$

- počet dvojic kol:

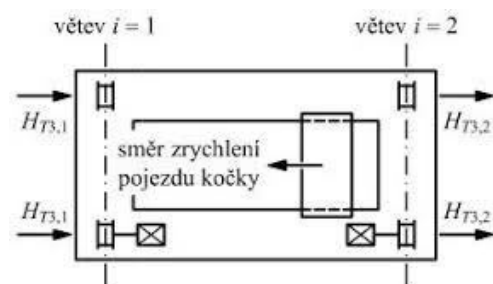
$$n := 2$$

- zatížení kladkostroje:

$$Q_h := Q \cdot g = 196.133 \text{ kN}$$

Příčné vodorovné síly způsobené rozjezdem nebo brzděním kočky:

$$H_{T3;i} := \frac{0.1}{2 \cdot n} \cdot (Q_h + Q_l) = 5.394 \text{ kN}$$



Obr.4: Schéma uspořádání příčných vod. sil od rozjezdu/ brzdění kočky jeřábu

2.2.1.2 Dynamické součinitele zatížení φ_i

Dynamický součinitel	Použití pro:	Druh zatížení
ϕ_1	Vlastní tíha jeřábu	Svislá
ϕ_2	Zatížení kladkostroje	
ϕ_3		
ϕ_4	Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	
ϕ_5	Hnací síly	Vodorovná
ϕ_6	Zkušební zatížení	
ϕ_7	Síly na nárazníky	

Obr.5: Přehled dynamických součinitelů z hlediska použití

a) Součinitel φ_1 :

- uvažovaný účinek: Buzení vibrací k-ce jeřábu při zvednutí zatížení kladkostroje ze země.

$$\varphi_1 := 1.1 \quad - \text{horní hodnota rázového zatížení (ČSN EN 1991-3; tab. 2.4)}$$

b) Součinitel φ_2 :

- uvažovaný účinek: Dynamické účinky zatížení kladkostroje při zvedání ze země k jeřábu.

- Vstupní údaje:

- kategorie zvedacích zařízení: HC3

- součinitel dle zdvihové třídy (ČSN EN 1991-3; tab. 2.5) $\varphi_{2,min} := 1.15$

- součinitel dle zdvihové třídy (ČSN EN 1991-3; tab. 2.5) $\beta_2 := 0.51$

- rychlost zdvihu kladkostroje $v_h := 0.166 \frac{m}{s}$

$$\varphi_2 := \varphi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_h = 1.235$$

c) Součinitel φ_4 :

- uvažovaný účinek: Dynamické účinky vznikající při pojezdu na jeřábových drahách.

$$\varphi_4 := 1.0 \quad - \text{za předpokladu, že jsou dodrženy tolerance kolejnicové dráhy dle ČSN EN 1090-2+A1}$$

d) Součinitel φ_5 :

- uvažovaný účinek: Dynamické účinky vyvolané hnacími silami.

$\varphi_5 := 1.5$ - hnací síly se mění pozvolna (hodnota součinitele viz ČSN EN 1991-3; tab. 2.6)

2.3 MIMOŘÁDNÁ ZATÍŽENÍ

2.3.1 Zatížení na nárazníky

2.3.1.1 Charakteristické hodnoty zatížení

- Vstupní údaje:

- rychlost podélného pojezdu
(uvažovaná) $v_c := 1.333 \frac{m}{s}$

- 70 % rychlosti podélného pojezdu $v_1 := 0.7 \cdot v_c = 0.933 \frac{m}{s}$

- hmotnost jeřábu a břemene v kg $m_c := Q + G_C + G_K = (4 \cdot 10^4) \text{ kg}$

- počet větví JD $n_r = 2$

- konstanta tuhosti nárazníku v N/m $S_B := \text{?}$

Síla na nárazníky: $H_{B;1} := \frac{v_1 \cdot \sqrt{m_c \cdot S_B}}{n_r} = ?$

Kinetická energie mostového jeřábu:

$$E_k := \frac{1}{2} \cdot m_c \cdot v_c^2 = (3.554 \cdot 10^4) \text{ J}$$

Kinetická energie na 1 nárazník:

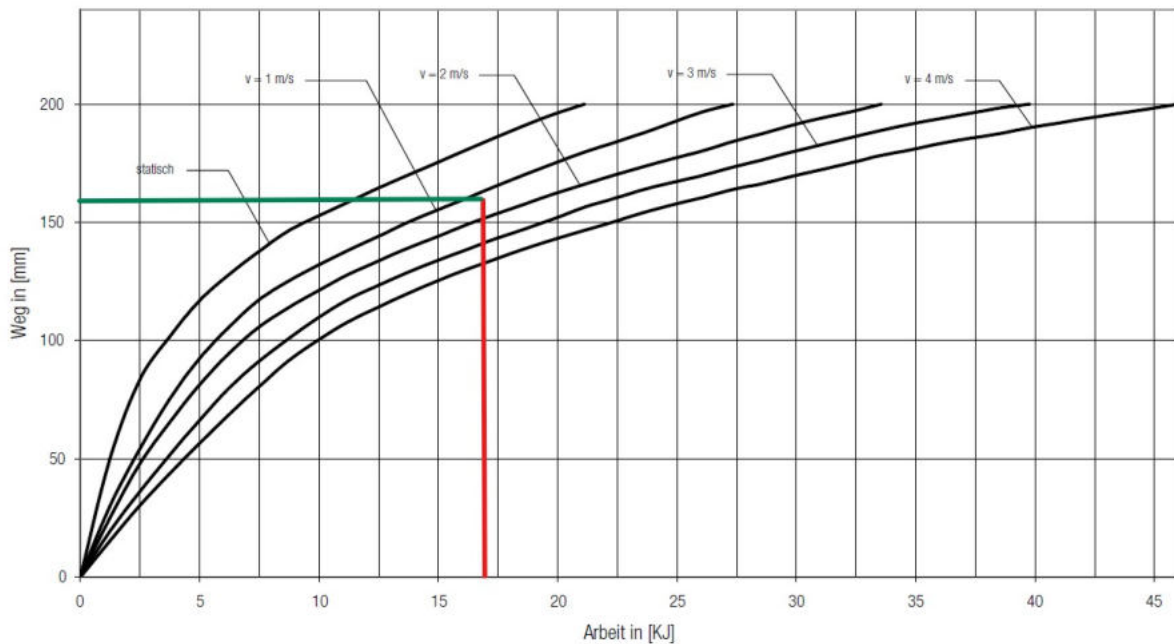
$$E_{k;náraz.} := \frac{E_k}{2} = (1.777 \cdot 10^4) \text{ J}$$

Výběr nárazníku:

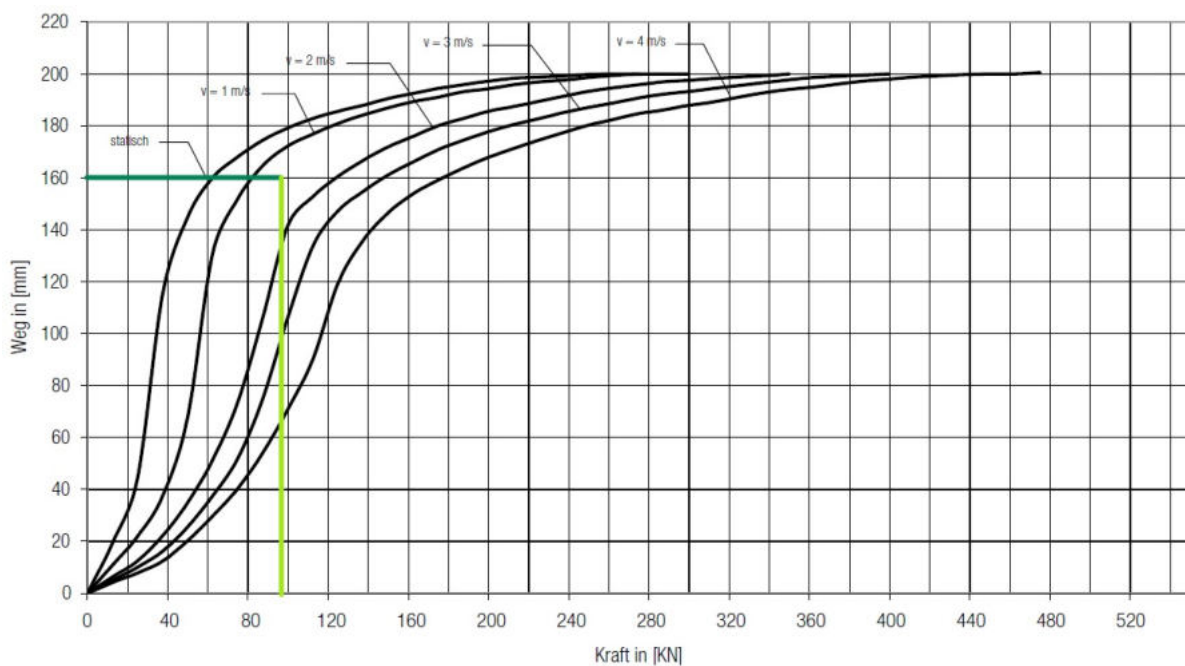
- polyuretanový nárazník Conductix 0180 - 250x250

Stlačitelnost zjištěná z grafu výrobce $\Delta l := 160 \text{ mm}$

Přenesená síla nárazníkem dle grafu výrobce $F_{náraz.} := 96 \text{ kN}$



Obr.6: Graf - délka stlačení nárazníku v závislosti na rychlosti a kinetické energii mostového jeřábu



Obr.7: Graf - přenesená síla nárazníkem v závislosti na rychlosti mostového jeřábu a stlačení nárazníku

Konstanta tuhosti nárazníku:
$$S_B := \frac{F_{\text{náraz}}}{\Delta l} = (6 \cdot 10^5) \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Síla na nárazníky:
$$H_{B;1} := \frac{v_1 \cdot \sqrt{m_c \cdot S_B}}{n_r} = 72.278 \text{ kN}$$

2.3.1.2 Dynamické součinitele φ_i

a) Součinitel φ_7 :

- uvažovaný účinek: Dynamický pružný účinek nárazu na nárazníky.

$$\varphi_7 = 1,25 + 0,7 * (\xi_b - 0,5) \quad \blacksquare \wedge \blacksquare \quad > 1,25$$

Vzhledem k nelineárnímu chování nárazníku a nedostatku podkladů výrobce je uvažován maximální dynamický součinitel (viz ČSN EN 13001-2; odst. 4.2.4.4).

$$\varphi_7 := 1.6$$

2.4 ZKUŠEBNÍ ZATÍŽENÍ

2.4.1 Dynamické zkušební zatížení

Zkušební zatížení pohybující se po dráze pomocí pohonů. Zatížení vytvořené pomocí břemena reprezentující nejméně 110 % jmenovitého zatížení kladkostroje.

- Vstupní údaje:

- dynamický součinitel $\varphi_2 = 1.235$

- jmenovité zatížení kladkostroje $Q_h = 196.133 \text{ kN}$

Dynamický součinitel pro zkušební zatížení při použití pohonů:

$$\varphi_{6;D} := 0.5 \cdot (1 + \varphi_2) = 1.117$$

Minimální hmotnost břemena pro splnění 110 % jmenovitého zatížení kladkostroje:

$$Q_{zk;min;a} := \frac{Q_h \cdot 1.1}{g} = (2.2 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

2.4.2 Statické zkušební zatížení

Zkouška prováděna bez použití pohonů. Zatížení vytvořené pomocí břemena reprezentující nejméně 125 % jmenovitého zatížení kladkostroje.

- Vstupní údaje:

- jmenovité zatížení kladkostroje: $Q_h = 196.133 \text{ kN}$

Dynamický součinitel pro zkušební zatížení bez použití pohonů:

$$\varphi_{6;S} := 1.0$$

Minimální hmotnost břemena pro splnění 110 % jmenovitého zatížení kladkostroje:

$$Q_{zk;min;b} := \frac{Q_h \cdot 1.25}{g} = (2.5 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

2.5 ÚNAVOVÉ ZATÍŽENÍ

2.5.1 Únavové zatížení jeřáby

2.5.1.1 Charakteristické hodnoty únavového zatížení

Pro standartní provozní podmínky lze vyjádřit formou ekvivalentního únavového zatížení Q_e , které je považováno pro všechny polohy jeřábu jako konstantní. Zahrnuje účinky průběhů zatěžování a poměr absolutního počtu zatěžovacích cyklů k referenční hodnotě $N_c = 2,0 \cdot 10^6$ cyklů.

- Vstupní údaje:

- kategorie	S3
- dynamický součinitel	$\varphi_1 = 1.1$
- dynamický součinitel	$\varphi_2 = 1.235$
- dynamický součinitel pro ekvivalentní poškození rázem	φ_{fat}
- součinitel ekvivalentního poškození	λ
- způsobené rozkmitem normálového napětí pro kategorii S3	$\lambda_\sigma := 0.397$
- způsobené rozkmitem smykového napětí pro kategorii S3	$\lambda_\tau := 0.575$
- svislé síly od kol jeřábu	$Q_{r;max}$
- svislé síly od kol zatíženého jeřábu způsobené jeho vlastní tíhou	$Q_{C;r;max} = 53.4 \text{ kN}$
- svislé síly od kol zatíženého jeřábu způsobené zatížením kladkostroje	$Q_{H;r;max} = 92.696 \text{ kN}$

Dynamický součinitel pro ekvivalentní poškození rázem:

$$\varphi_{fat;1} := \frac{1 + \varphi_1}{2} = 1.05 \qquad \varphi_{fat;2} := \frac{1 + \varphi_2}{2} = 1.117$$

Ekvivalentní únavové zatížení jedním kolem způsobené rozkmitem normálového napětí:

$$Q_{e;\sigma} := \varphi_{fat;1} \cdot \lambda_{\sigma} \cdot Q_{C;r;max} + \varphi_{fat;2} \cdot \lambda_{\sigma} \cdot Q_{H;r;max} = 63.378 \text{ kN}$$

Ekvivalentní únavové zatížení jedním kolem způsobené rozkmitem smykového napětí:

$$Q_{e;\tau} := \varphi_{fat;1} \cdot \lambda_{\tau} \cdot Q_{C;r;max} + \varphi_{fat;2} \cdot \lambda_{\tau} \cdot Q_{H;r;max} = 91.794 \text{ kN}$$

Při posouzení na lokální účinky od kolového zatížení je zapotřebí uvážit, že počet cyklů napětí je 2násobný oproti počtu pracovních cyklů jeřábu. Příslušné ekvivalentní únavové zatížení se získá s použitím součinitele poškození λ_{loc} pro kategorii únavových účinků o jednu třídu vyšší tj. kategorie S4.

$$\lambda_{\sigma;loc} := 0.500$$

$$\lambda_{\tau;loc} := 0.660$$

Výsledné ekvivalentní únavové zatížení:

$$Q_{e;\sigma;loc} := \varphi_{fat;1} \cdot \lambda_{\sigma;loc} \cdot Q_{C;r;max} + \varphi_{fat;2} \cdot \lambda_{\sigma;loc} \cdot Q_{H;r;max} = 79.821 \text{ kN}$$

$$Q_{e;\tau;loc} := \varphi_{fat;1} \cdot \lambda_{\tau;loc} \cdot Q_{C;r;max} + \varphi_{fat;2} \cdot \lambda_{\tau;loc} \cdot Q_{H;r;max} = 105.364 \text{ kN}$$

Dílicí součinitel únavového zatížení (ČSN EN 1993-6) - doporučená hodnota:

$$\gamma_{Ff} := 1.0$$

2.6 KOMBINACE ZATÍŽENÍ JD

Tabulka A.1 – Doporučené hodnoty dílčích součinitelů zatížení γ

Zatížení	Značka	Situace	
		P/T	A
Stálá zatížení od jeřábů			
- nepříznivá	γ_G^{sup}	1,35	1,00
- příznivá	γ_G^{inf}	1,00	1,00
Proměnná zatížení od jeřábu			
- nepříznivá	γ_Q^{sup}	1,35	1,00
- příznivá:	γ_Q^{inf}		
- s jeřábem		1,00	1,00
- bez jeřábu		0,00	0,00
Ostatní proměnná zatížení	γ_Q		
- nepříznivá		1,50	1,00
- příznivá		0,00	0,00
Mimořádná	γ_A	-	1,00

P - trvalá situace T - dočasná situace A - mimořádná situace

Obr.8: Tabulka dílčích součinitelů zatížení

2.6.1 Zatěžovací stavy JD

- ZS01 - vlastní tíha dráhy
- ZS02 - vlastní tíha - ostatní
- ZS03 - svislé zatížení koly mostového jeřábu pro skupinu zatížení č. 1
- vyvolání maximálního ohybového momentu
- ZS04 - svislé zatížení koly mostového jeřábu pro skupinu zatížení č. 1
- vyvolání maximální posouvající síly
- ZS05 - svislé zatížení koly mostového jeřábu pro skupinu zatížení č. 5
- vyvolání maximálního ohybového momentu
- ZS06 - svislé zatížení koly mostového jeřábu pro skupinu zatížení č. 5
- vyvolání maximální posouvající síly
- ZS07 - svislé zatížení koly mostového jeřábu pro skupinu zatížení č. 6
- vyvolání maximálního ohybového momentu
- ZS08 - svislé zatížení koly mostového jeřábu pro skupinu zatížení č. 6
- vyvolání maximální posouvající síly
- ZS09 - vodorovné zatížení od zrychlení mostu jeřábu - skupina zatížení č. 1; 8D a 8S

- ZS10 - vodorovné zatížení od příčeni mostu jeřábu - skupina zatížení č. 5
- ZS11 - vodorovné zatížení od zrychlení kočky - skupina zatížení č. 6
- ZS12 - svislé zatížení koly mostového jeřábu pro skupinu zatížení č. 9
- ZS13 - vodorovné zatížení od zastavení nárazníky - skupina zatížení č. 9
- ZS14 - zkušební dynamické svislé zatížení koly mostového jeřábu pro skupinu zatížení č. 8D - vyvolání maximálního ohybového momentu
- ZS15 - zkušební dynamické svislé zatížení koly mostového jeřábu pro skupinu zatížení č. 8D - vyvolání maximální posouvající síly
- ZS16 - zkušební statické svislé zatížení koly mostového jeřábu pro skupinu zatížení č. 8S - vyvolání maximálního ohybového momentu
- ZS17 - zkušební statické svislé zatížení koly mostového jeřábu pro skupinu zatížení č. 8S - vyvolání maximální posouvající síly

2.6.2 Skupiny zatežovacích stavů

- SZ1 = ZS03 + ZS04 - výběrová
- SZ5 = ZS05 + ZS06 - výběrová
- SZ6 = ZS07 + ZS08 - výběrová
- SZ8D = ZS14 + ZS15 - výběrová
- SZ8S = ZS16 + ZS17 - výběrová

2.6.3 Klíč kombinací zatěžovacích stavů JD

- 1) ZS01 + ZS02 + SZ1 + ZS09
- 2) ZS01 + ZS02 + SZ5 + ZS10
- 3) ZS01 + ZS02 + SZ6 + ZS11
- 4) ZS01 + ZS02 + ZS12 + ZS13
- 5) ZS01 + ZS02 + SZ8D + ZS09
- 6) ZS01 + ZS02 + SZ8S

2.6.4 Výsledné kombinace

- 1) $\gamma_G * (ZS01 + ZS02) + \gamma_{Q;sup} * (SZ1 + ZS09)$
- 2) $\gamma_G * (ZS01 + ZS02) + \gamma_{Q;sup} * (SZ5 + ZS10)$
- 3) $\gamma_G * (ZS01 + ZS02) + \gamma_{Q;sup} * (SZ6 + ZS11)$
- 4) $\gamma_G * (ZS01 + ZS02) + \gamma_{Q;sup} * (ZS12 + ZS13)$
- 5) $\gamma_G * (ZS01 + ZS02) + \gamma_{Q;sup} * (SZ8D + ZS09)$
- 6) $\gamma_G * (ZS01 + ZS02) + \gamma_{Q;sup} * SZ8S$

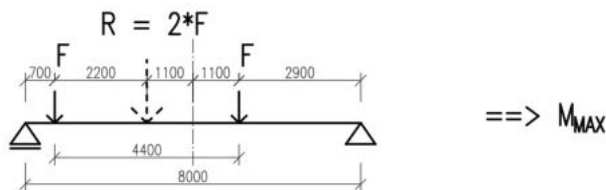
3. VNITŘNÍ SÍLY JEŘÁBOVÉ DRÁHY

3.1 VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL OD SVISLÝCH ZATÍŽENÍ

3.1.1 Vnitřní síly od působení jeřábu

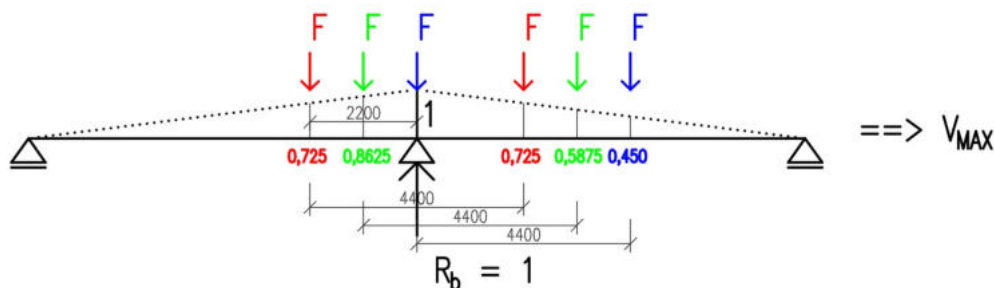
Jeřáb působí na jeřábovou dráhu v podobě pohyblivého zatížení.

Stanovení maximálního ohybového momentu od dvojice stejně velkých pohyblivých sil se vzdáleností rovnající se vzdálenosti kol, tj. 4,4 m. Ke stanovení maximálního ohybového momentu bylo využito břemenového kritéria.



Obr.9: Schéma břemenového kritéria

Ke stanovení maximální podporové reakce bylo využito příčinkové čáry reakce střední podpory. Vzhledem ke stejné délce sousedních nosníků a velikostí působících sil od kol jeřábu je možné maximální reakce dosáhnout umístěním působících sil v intervalu 1/2 rozpětí kol od střední podpory až po umístění jednoho kola přímo nad podporu a druhé do vzdálenosti totožné s osovou vzdáleností kol od podpory.



Obr.10: Stanovení maximální podporové reakce pomocí příčinkové čáry

3.1.1.1 Účinky svislých tlaků kol ve skupině zatížení č. 1

- Vstupní údaje:

- maximální svislé zatížení od kola jeřábu způsobené jeho vlastní tíhou

$$Q_{C;r,max} = 53.4 \text{ kN}$$

- maximální svislé zatížení od kola jeřábu způsobené zat. kladkostroje

$$Q_{H;r,max} = 92.696 \text{ kN}$$

- dynamické součinitele vyjadřující dyn. účinky jeřábu při zvedání břemene ze země k jeřábu

$$\varphi_1 = 1.1$$

$$\varphi_2 = 1.235$$

- dílčí součinitel proměnného zatížení $\gamma_{Q;sup} := 1.35$

Návrhové hodnoty maximálních svislých sil namáhajících nosník jeřábové dráhy pro skupinu zatížení č. 1:

$$F_1 := \gamma_{Q;sup} \cdot (\varphi_1 \cdot Q_{C;r;max} + \varphi_2 \cdot Q_{H;r;max}) = 233.804 \text{ kN}$$

3.1.1.2 Účinky svislých tlaků kol ve skupině zatížení č. 5

- Vstupní údaje:

- maximální svislé zatížení od kola jeřábu způsobené jeho vlastní tíhou $Q_{C;r;max} = 53.4 \text{ kN}$

- maximální svislé zatížení od kola jeřábu způsobené zat. kladkostroje $Q_{H;r;max} = 92.696 \text{ kN}$

- dynamické součinitele vyjadřující dyn. účinky jeřábu při zvedání břemene ze země k jeřábu $\varphi_4 = 1$

- dílčí součinitel proměnného zatížení $\gamma_{Q;sup} := 1.35$

Návrhové hodnoty maximálních svislých sil namáhajících nosník jeřábové dráhy pro skupinu zatížení č. 5:

$$F_5 := \gamma_{Q;sup} \cdot (\varphi_4 \cdot Q_{C;r;max} + \varphi_4 \cdot Q_{H;r;max}) = 197.229 \text{ kN}$$

3.1.1.3 Účinky svislých tlaků kol ve skupině zatížení č. 6

- Vstupní údaje:

- maximální svislé zatížení od kola jeřábu způsobené jeho vlastní tíhou $Q_{C;r;max} = 53.4 \text{ kN}$

- maximální svislé zatížení od kola jeřábu způsobené zat. kladkostroje $Q_{H;r;max} = 92.696 \text{ kN}$

- dynamické součinitele vyjadřující dyn. účinky jeřábu při zvedání břemene ze země k jeřábu $\varphi_4 = 1$

- dílčí součinitel proměnného zatížení $\gamma_{Q;sup} := 1.35$

Návrhové hodnoty maximálních svislých sil namáhajících nosník jeřabové dráhy pro skupinu zatížení č. 6:

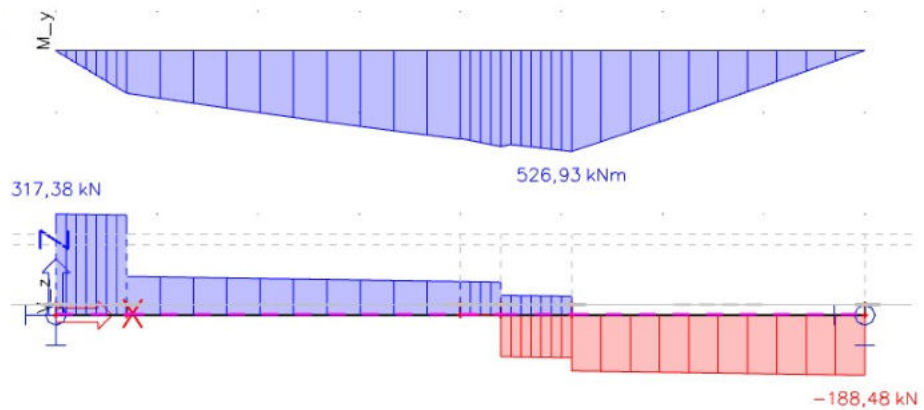
$$F_6 := \gamma_{Q;sup} \cdot (\varphi_4 \cdot Q_{C;r;max} + \varphi_4 \cdot Q_{H;r;max}) = 197.229 \text{ kN}$$

3.1.1.4 Výsledné vnitřní síly dle skupin zatížení včetně vlastní tíhy JD

- skupina č. 1 $V_{Ed;z;1} := 317.38 \text{ kN}$ $M_{Ed;y;1} := 526.93 \text{ kN}\cdot\text{m}$

1D vnitřní síly

Hodnoty: V_z , M_y
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ 1 - SKUPINA 1
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: B72

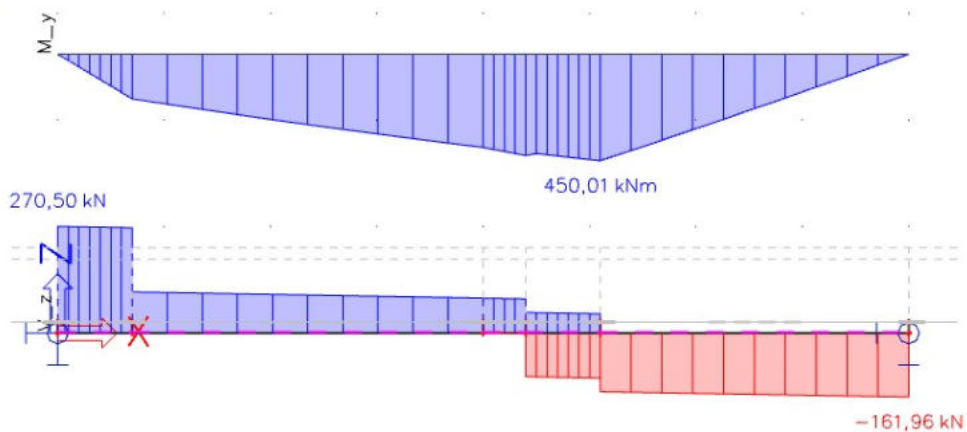


Obr.11: Průběh vnitřních sil pro skupinu zatížení č.1

- skupina č. 5 $V_{Ed;z;5} := 270.50 \text{ kN}$ $M_{Ed;y;5} := 450.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$

1D vnitřní síly

Hodnoty: V_z , M_y
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ 2 - SKUPINA 5
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: B72



Obr.12: Průběh vnitřních sil pro skupinu zatížení č.5

- skupina č. 6

$$V_{Ed;z;6} := 270.50 \text{ kN}$$

$$M_{Ed;y;6} := 450.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

1D vnitřní síly

Hodnoty: V_z , M_y

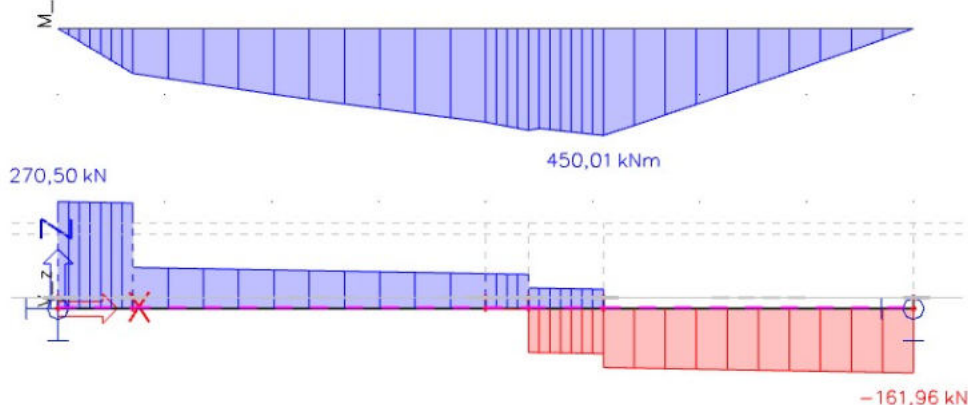
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ 3 - SKUPINA 6

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: B72



Obr.13: Průběh vnitřních sil pro skupinu zatížení č.6

3.2 VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL OD VODOROVNÝCH ZATÍŽENÍ

Vzhledem k ukotvení jeřábové kolejnice na nosnou k-ci dráhy přes horní pásnici vzniká působením sil od jeřábového mostu namáhání dráhy kroutícími a ohybovými momenty. Při modelování působení sil na jeřábovou dráhu je nutné využít přenosu zatížení pomocí tuhých ramen. Tyto ramena vnitřních sil jsou v modelu modelována pomocí svislých a ohybově velmi tuhých prvků tak, aby nedocházelo ke zdatelnému zkreslení deformací a vnitřních sil jeřábové dráhy.

- Vstupní údaje:

- výška nosníku JD (odhad HEA 600)

$$h_{JD} := 600 \text{ mm}$$

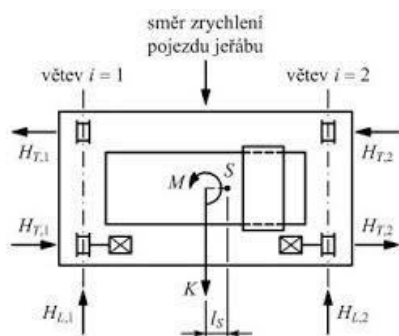
- výška kolejnice JKL 100

$$h_{kolej} := 105 \text{ mm}$$

Rameno působících sil:

$$z := \frac{h_{JD}}{2} + h_{kolej} = 0.405 \text{ m}$$

3.2.1 Od zrychlení mostu jeřábu (skupina č.1)



Zdoj: pilgr str. 26 -
Uspořádání vodorovných sil
od zrychlení/brždění jeřábu

Obr.14: Uspořádání vodorovných sil od zrychlení/brždění jeřábu

- Vstupní údaje:

- síla v podélném směru

$$H_{L,i} = 8.933 \text{ kN}$$

- síly v příčném směru

$$H_{T,1} = 15.554 \text{ kN}$$

$$H_{T,2} = 5.327 \text{ kN}$$

- dynamické součinitele vyjadřující dyn. účinky jeřábu vyvolané hnacími silami:

$$\varphi_5 = 1.5$$

- dílčí součinitel proměnného zatížení

$$\gamma_{Q;sup} := 1.35$$

Podélná návrhová síla způsobená zrychlením jeřábu (skupina zatížení č. 1):

$$F_{L;i;d} := \gamma_{Q;sup} \cdot \varphi_5 \cdot H_{L,i} = 18.09 \text{ kN}$$

Příčná návrhová maximální síla způsobená zrychlením jeřábu (skupina zatížení č. 1):

$$F_{T;4;d} := \gamma_{Q;sup} \cdot \varphi_5 \cdot H_{T,1} = 31.498 \text{ kN}$$

Výsledné vnitřní síly od vodorovného zatížení skupiny č. 1:

$$N_{Ed,1} := 18.09 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,y;1} := 15.75 \text{ kN}$$

$$M_{Ed;x;1} := 3.84 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Ed;z;1} := 63.02 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_z , M_x , V_y , N

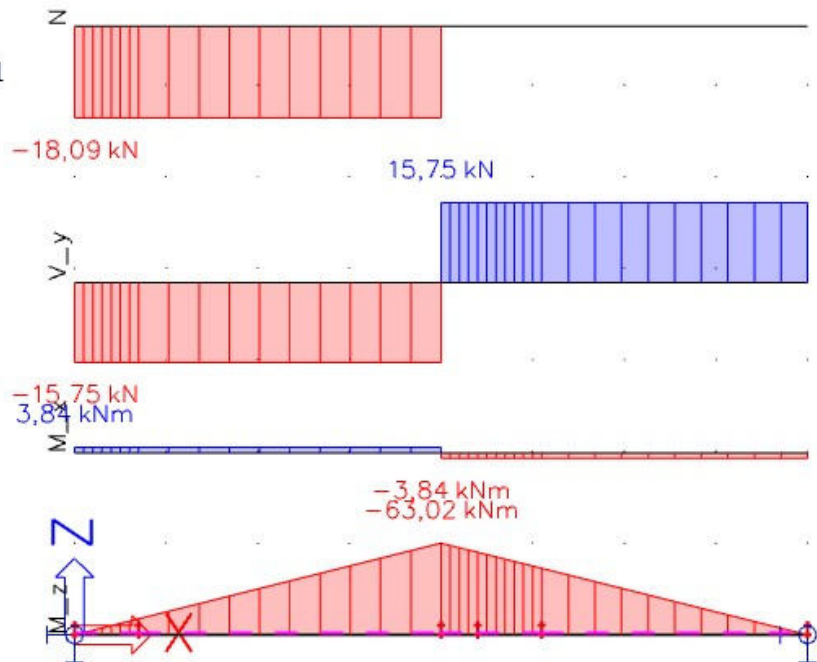
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ 1 - SKUPINA 1

Souřadný systém: Hlavní

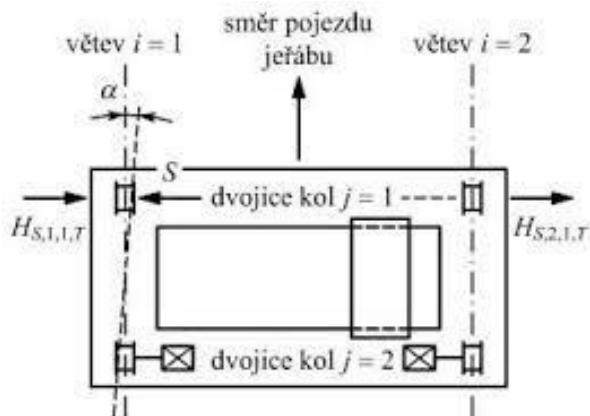
Extrém 1D: Globální

Výběr: B72



Obr.15: Průběh vnitřních sil od vodorovného zatížení skupiny č. 1

3.2.2 Od příčeni mostu jeřábu (skupina č. 5)



Zdroj: pilgr str. 30 -
Uspořádání vodorovných sil
od příčeni mostu jeřábu

Obr.16: Uspořádání vodorovných sil od příčeni mostu jeřábu

- Vstupní údaje:

- síly v příčném směru

$$H_{S;1;1;T} = 15.011 \text{ kN}$$

$$H_{S;2;1;T} = 43.829 \text{ kN}$$

- dílčí součinitel proměnného zatížení

$$\gamma_{Q;sup} = 1.35$$

Příčná návrhová maximální síla způsobená příčeni jeřábu (skupina zatížení č. 5):

$$F_{T;5;d} := \gamma_{Q;sup} \cdot H_{S;2;1;T} = 59.169 \text{ kN}$$

Výsledné vnitřní síly od vodorovného zatížení skupiny č. 5:

$$N_{Ed;5} := 0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed;y;5} := 27.84 \text{ kN}$$

$$M_{Ed;x;5} := 6.78 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Ed;z;5} := 111.35 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_z, M_x, V_y, N

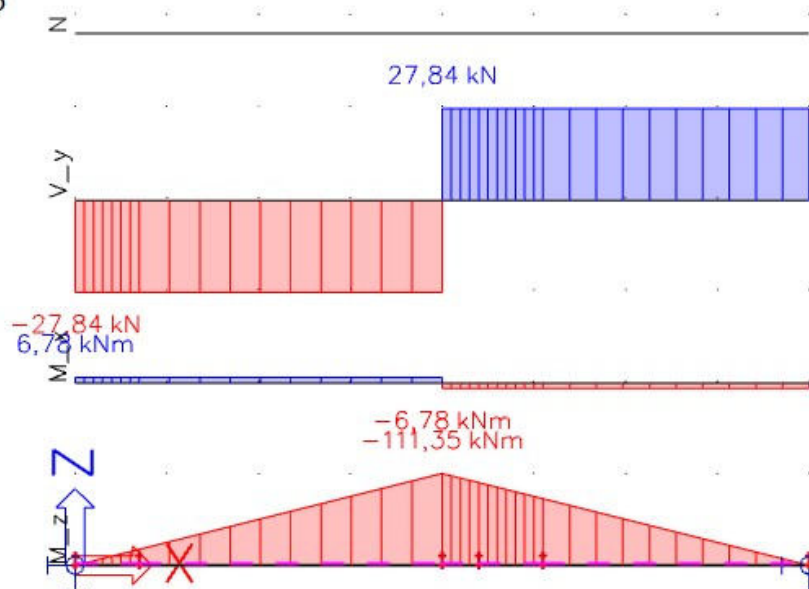
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ 2 - SKUPINA 5

Souřadný systém: Hlavní

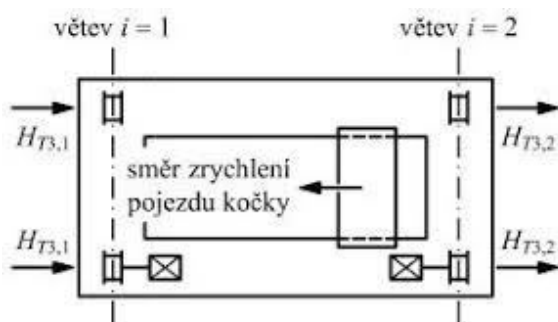
Extrém 1D: Globální

Výběr: B72



Obr.17: Průběh vnitřních sil od vodorovného zatížení skupiny č. 5

3.2.3 Od zrychlení kočky (skupina č. 6)



Zdroj: pilgr str. 31 -
Uspořádání vodorovných sil
od rozjezdu/brždění kočky

Obr.18: Uspořádání vodorovných sil od rozjezdu/brždění kočky

- Vstupní údaje:

- síly v příčném směru

$$H_{T3,i} = 5.394 \text{ kN}$$

- dílčí součinitel proměnného zatížení

$$\gamma_{Q;sup} := 1.35$$

Příčná návrhová maximální síla způsobená zrychlením kočky (skupina zatížení č. 6):

$$F_{T;6;d} := \gamma_{Q;sup} \cdot H_{T3;i} = 7.281 \text{ kN}$$

Výsledné vnitřní síly od vodorovného zatížení skupiny č. 6:

$$N_{Ed;6} := 0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed;y;6} := 3.33 \text{ kN}$$

$$M_{Ed;x;6} := 0.81 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Ed;z;6} := 13.34 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_z, M_x, V_y, N

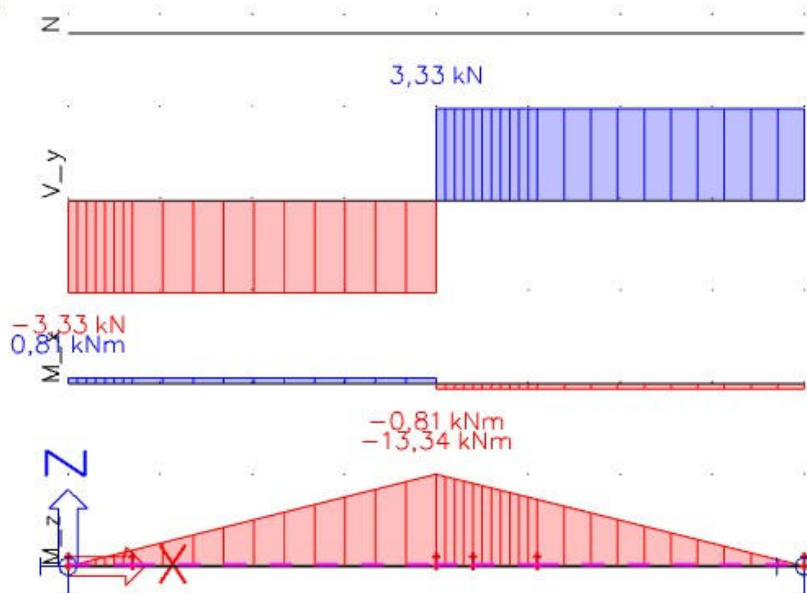
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ 3 - SKUPINA 6

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: B72



Obr.19: Průběh vnitřních sil od vodorovného zatížení skupiny č. 6

3.3 VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL MIMOŘÁDNÝCH ZATÍŽENÍ

3.3.1. Účinky svislých tlaků kol ve skupině zatížení č. 9

- Vstupní údaje:

- maximální svislé zatížení od kola jeřábu způsobené jeho vlastní tíhou $Q_{C;r;max} = 53.4 \text{ kN}$

- maximální svislé zatížení od kola jeřábu způsobené zat. kladkostroje $Q_{H;r;max} = 92.696 \text{ kN}$

- dílčí součinitel proměnného zatížení $\gamma_{Q;sup} := 1.35$

Návrhové hodnoty maximálních svislých sil namáhajících nosník jeřábové dráhy pro skupinu zatížení č. 9:

$$F_9 := \gamma_{Q;sup} \cdot (Q_{C;r;max} + Q_{H;r;max}) = 197.229 \text{ kN}$$

3.3.2 Vodorovné zatížení - od působení sil na nárazníky (skupina č.9)

- Vstupní údaje:

- síla na nárazník $H_{B;1} = 72.278 \text{ kN}$

- dynamický součinitel $\varphi_7 = 1.6$

Podélná návrhová maximální síla způsobená nárazem do nárazníku (skupina zatížení č. 9):

$$F_{B;1;d} := \varphi_7 \cdot H_{B;1} = 115.644 \text{ kN}$$

3.3.3 Výsledné vnitřní síly pro skupinu zatížení č. 9:

$$N_{Ed;9} := 0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed;y;9} := 0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed;z;9} := 97.81 \text{ kN}$$

$$M_{Ed;x;9} := 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Ed;y;9} := 321.70 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Ed;z;9} := 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

1D vnitřní síly

Hodnoty: V_z , M_y

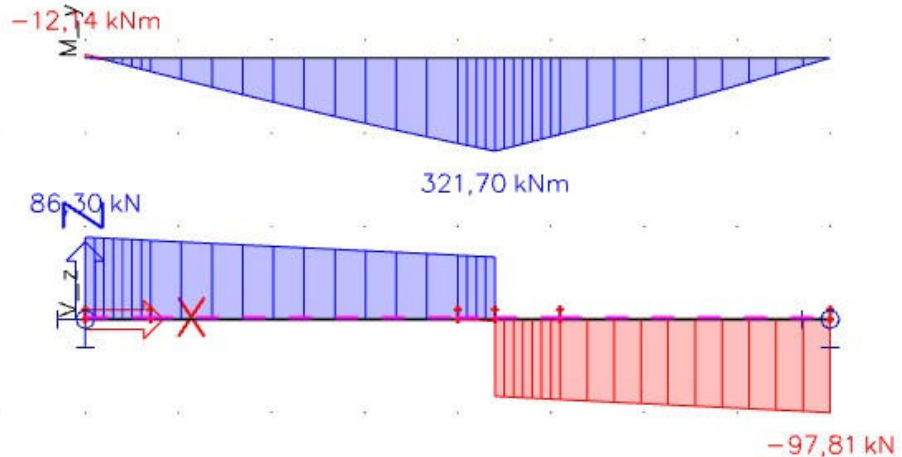
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ 4 - SKUPINA 9

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: B72



Obr.20: Průběh vnitřních sil od vodorovného zatížení skupiny č. 9

3.4 VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL OD ZKUŠEBNÍCH ZATÍŽENÍ

3.4.1 Dynamické zkušební zatížení (skupina č. 8D)

- Vstupní údaje:

- dynamický součinitel pro zkušební zatížení při použití pohonů $\varphi_{6;D} = 1.117$
- dílčí součinitel zatížení (mimořádná situace) $\gamma_{Q;sup;A} := 1.0$

Svislé síly od kol zatíženého jeřábu způsobené zkušebními zatíženími (hmotnost kladkostroje s navýšením o 10%):

$$Q_{H;r;max;110} := Q_{H;r;max} \cdot 1.1 = 101.966 \text{ kN}$$

Návrhové hodnoty maximálních svislých sil namáhajících nosník jeřabové dráhy pro skupinu zatížení č. 11:

$$F_{11} := \gamma_{Q;sup;A} \cdot \varphi_{6;D} \cdot Q_{H;r;max;110} = 113.929 \text{ kN}$$

3.4.1.1 Výsledné vnitřní síly (skupina č. 8D)

$$N_{Ed;8D} := 13.4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed;y;8D} := 11.67 \text{ kN}$$

$$V_{Ed;z;8D} := 76.72 \text{ kN}$$

$$M_{Ed;x;8D} := 2.84 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Ed;y;8D} := 258.75 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Ed;z;8D} := 46.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

1D vnitřní síly

Hodnoty: V_z , M_y , N , V_y , M_x , M_z

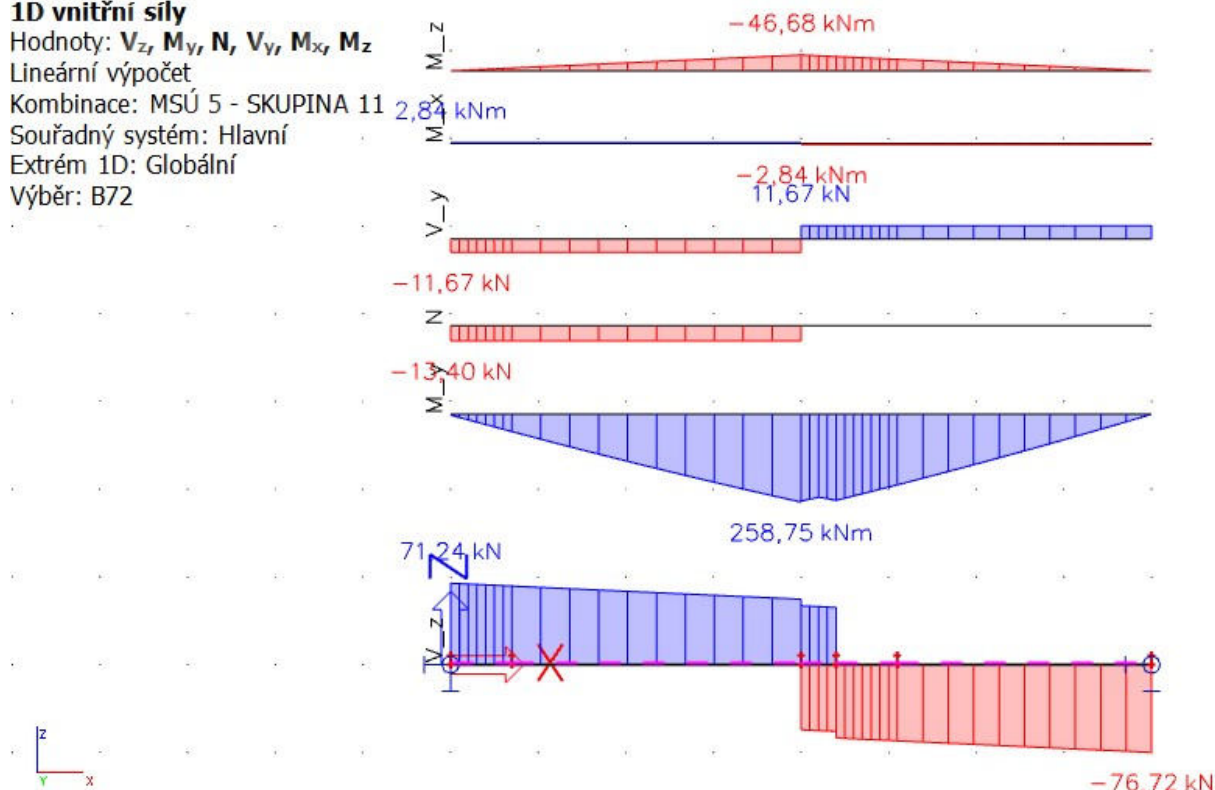
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ 5 - SKUPINA 11

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: B72



Obr.21: Průběh vnitřních sil od vodorovného zatížení skupiny č. 8D

3.4.2 Statické zkušební zatížení (skupina č. 8S)

- Vstupní údaje:

- statický součinitel pro zkušební zatížení při použití pohonů $\varphi_{6;S} = 1$
- dílčí součinitel zatížení (mimořádná situace) $\gamma_{Q;sup;A} := 1.0$

Svislé síly od kol zatíženého jeřábu způsobené zkušebním zatížením (hmotnost kladkostroje s navýšením o 25%):

$$Q_{H;r;max;125} := Q_{H;r;max} \cdot 1.25 = 115.87 \text{ kN}$$

Návrhové hodnoty maximálních svislých sil namáhajících nosník jeřábové dráhy pro skupinu zatížení č. 12:

$$F_{12} := \gamma_{Q;sup;A} \cdot \varphi_{6;S} \cdot Q_{H;r;max;125} = 115.87 \text{ kN}$$

3.4.2.1 Výsledné vnitřní síly (skupina č. 8S)

$$\begin{array}{lll}
 N_{Ed;8S} := 0 \text{ kN} & V_{Ed;y;8S} := 0 \text{ kN} & V_{Ed;z;8S} := 77.78 \text{ kN} \\
 M_{Ed;x;8S} := 0 \text{ kN}\cdot\text{m} & M_{Ed;y;8S} := 260.07 \text{ kN}\cdot\text{m} & M_{Ed;z;8S} := 0 \text{ kN}\cdot\text{m}
 \end{array}$$

1D vnitřní síly

Hodnoty: V_z , M_y

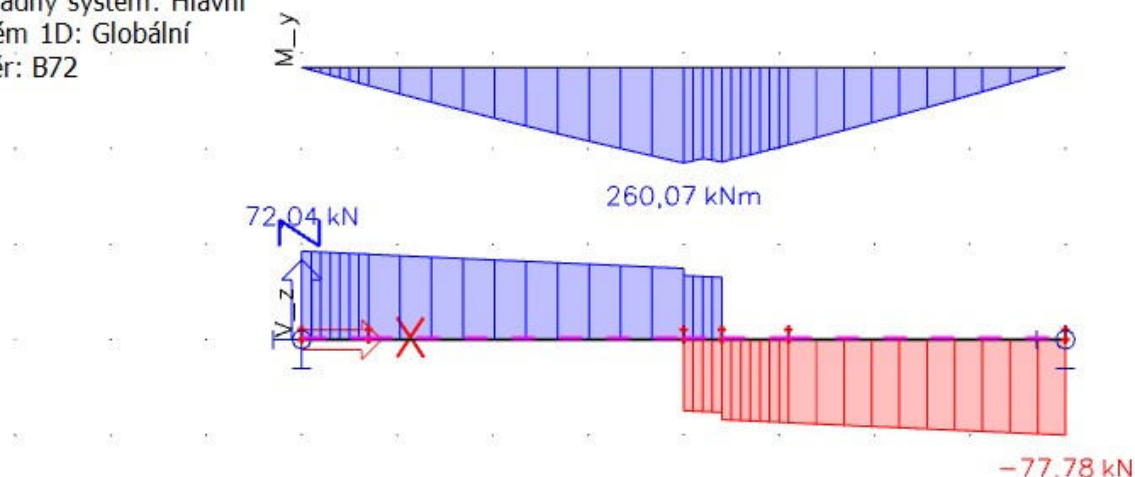
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ 6 - SKUPINA 12

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: B72



Obr.22: Průběh vnitřních sil od vodorovného zatížení skupiny č. 8S

3.5 MAXIMÁLNÍ VNITŘNÍ SÍLY Z VÝPOČETNÍHO MODELU (SCIA ENGINEER 19.1) DLE ZATĚŽOVACÍCH SKUPIN

3.5.1. Pro skupinu zatížení č. 1

$$\begin{array}{lll}
 N_{Ed;1} = 18.09 \text{ kN} & V_{Ed;y;1} = 15.75 \text{ kN} & V_{Ed;z;1} = 317.38 \text{ kN} \\
 M_{Ed;x;1} = 3.84 \text{ m}\cdot\text{kN} & M_{Ed;y;1} = 526.93 \text{ m}\cdot\text{kN} & M_{Ed;z;1} = 63.02 \text{ m}\cdot\text{kN}
 \end{array}$$

3.5.2. Pro skupinu zatížení č. 5

$$\begin{array}{lll}
 N_{Ed;5} = 0 \text{ kN} & V_{Ed;y;5} = 27.84 \text{ kN} & V_{Ed;z;5} = 270.5 \text{ kN} \\
 M_{Ed;x;5} = 6.78 \text{ m}\cdot\text{kN} & M_{Ed;y;5} = 450.01 \text{ m}\cdot\text{kN} & M_{Ed;z;5} = 111.35 \text{ m}\cdot\text{kN}
 \end{array}$$

3.5.3. Pro skupinu zatížení č. 6

$$\begin{array}{lll}
 N_{Ed;6} = 0 \text{ kN} & V_{Ed;y;6} = 3.33 \text{ kN} & V_{Ed;z;6} = 270.5 \text{ kN} \\
 M_{Ed;x;6} = 0.81 \text{ m}\cdot\text{kN} & M_{Ed;y;6} = 450.01 \text{ m}\cdot\text{kN} & M_{Ed;z;6} = 13.34 \text{ m}\cdot\text{kN}
 \end{array}$$

3.5.4. Pro skupinu zatížení č. 9

$$N_{Ed;9} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed;y;9} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed;z;9} = 97.81 \text{ kN}$$

$$M_{Ed;x;9} = 0 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$M_{Ed;y;9} = 321.7 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$M_{Ed;z;9} = 0 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

3.5.5. Pro skupinu zatížení č. 8D

$$N_{Ed;8D} = 13.4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed;y;8D} = 11.67 \text{ kN}$$

$$V_{Ed;z;8D} = 76.72 \text{ kN}$$

$$M_{Ed;x;8D} = 2.84 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed;y;8D} = 258.75 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed;z;8D} = 46.68 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

3.5.6. Pro skupinu zatížení č. 8S

$$N_{Ed;8S} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed;y;8S} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed;z;8S} = 77.78 \text{ kN}$$

$$M_{Ed;x;8S} = 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed;y;8S} = 260.07 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

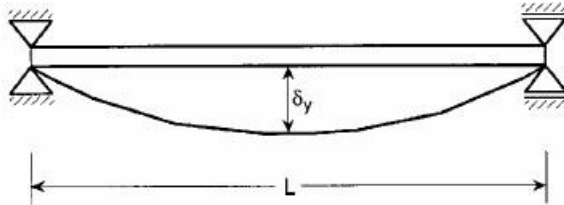
$$M_{Ed;z;8S} = 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4. POSOUZENÍ JEŘÁBOVÉ DRÁHY

4.1 MSP

4.1.1 Limitní hodnoty vodorovných deformací

- a) Maximální vodorovný průhyb nosníku jeřábové dráhy



Zdroj: ČSN EN 1993-6

Obr.23: Vodorovný průhyb nosníku jeřábové dráhy

- Vstupní údaje:

- vzdálenost podpěr (sloupů) nosníku dráhy $L := 8 \text{ m}$

$$\delta_{y;1;max} := \frac{L}{600} = 13.333 \text{ mm}$$

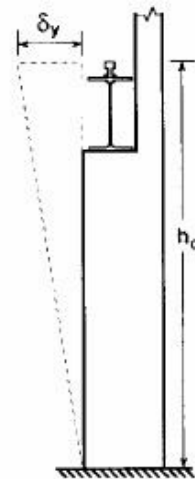
- b) Maximální vodorovný posuv rámu

- Vstupní údaje:

- výška měřená od vrchu kolejnice k patě sloupu

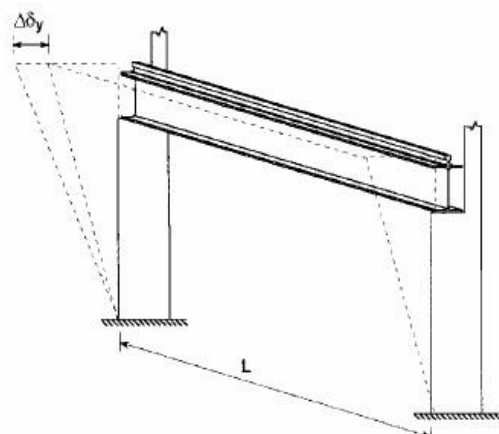
$$h_c := 8.705 \text{ m}$$

$$\delta_{y;2;max} := \frac{h_c}{400} = 21.763 \text{ mm}$$



Obr.24: Vodorovný posuv rámu

- c) Maximální vodorovný rozdíl mezi posuvy sousedních rámců podepírající nosníky jeřábové dráhy uvnitř budovy



Zdroj: ČSN EN 1993-6

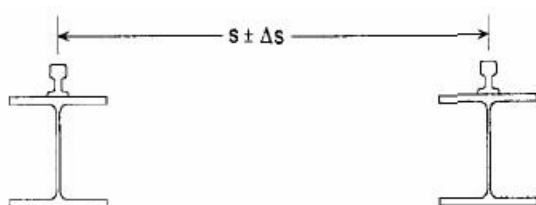
Obr.25: Vodorovný rozdíl mezi posuvy sousedních rámců

- Vstupní údaje:

- vzdálenost podpěr (sloupů) nosníku dráhy $L := 8 \text{ m}$

$$\Delta\delta_{y,max} := \frac{L}{600} = 13.333 \text{ mm}$$

- d) Změna vzdálenosti mezi osami včetně vlivu teplotních změn



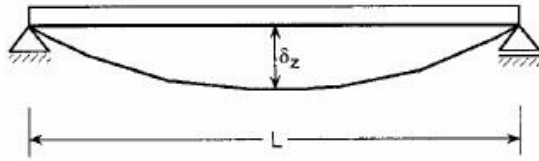
Obr.26: Změna vzdálenosti os kolejnic JD včetně vlivu teplotních změn

$$\Delta s_{,max} := 10 \text{ mm}$$

(viz ČSN EN 1993-6; TAB 7.1 - V případě dohody s dodavatelem a objednatelem jeřábu povoleny větší průhyby.)

4.1.2 Limitní hodnoty svislých deformací

- a) Maximální svislý průhyb nosníku jeřábové dráhy



Obr.27: Svislý průhyb nosníku jeřábové dráhy

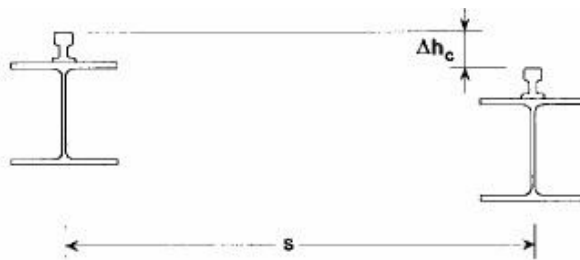
- Vstupní údaje:

- vzdálenost podpěr (sloupů) nosníku dráhy $L := 8 \text{ m}$

$$\delta_{z,max1} := \frac{L}{600} = 13.333 \text{ mm} \quad \square \wedge \square \quad \delta_{z,max2} := 25 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \delta_{z,max} := \delta_{z,max1} = 13.333 \text{ mm}$$

- b) Maximální rozdíl svislých průhybů dvou nosníků tvořících jeřábovou dráhu



Zdroj: ČSN EN 1993-6

Obr.28: Rozdíl svislých průhybů nosníků tvořících JD

- Vstupní údaje:

- vzdálenost os kolejnic $s := 21 \text{ m}$

$$\Delta h_{c,max} := \frac{s}{600} = 35 \text{ mm}$$

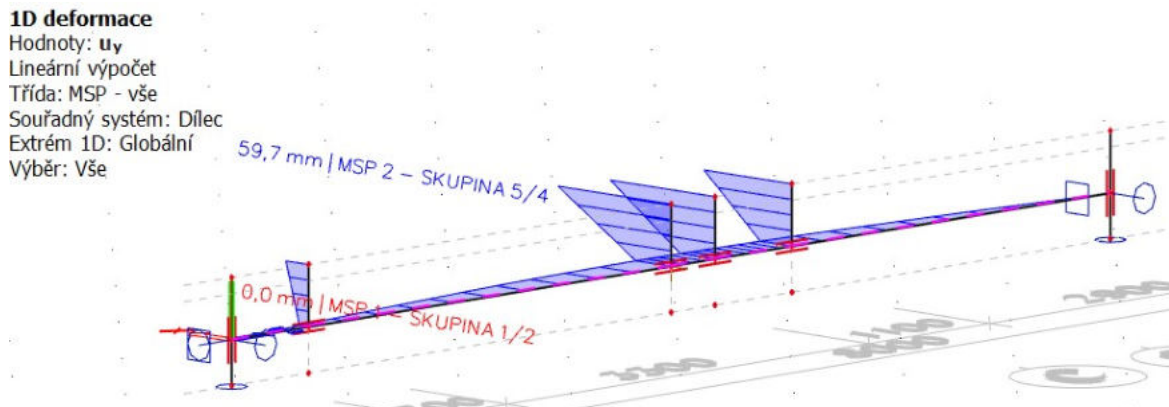
Jelikož maximální dovolený svislý průhyb nosníku JD $\delta_{z,max} = 13.333 \text{ mm}$ je tato podmínka automaticky splněna.

4.1.3 Posouzení MSP

4.1.3.1 Vodorovné deformace

a) Maximální vodorovný průhyb nosníku jeřábové dráhy

Vodorovná deformace nosníku dráhy (HEA 600) :



Obr.29: Vodorovná deformace nosníku JD - skupina zatížení č. 5

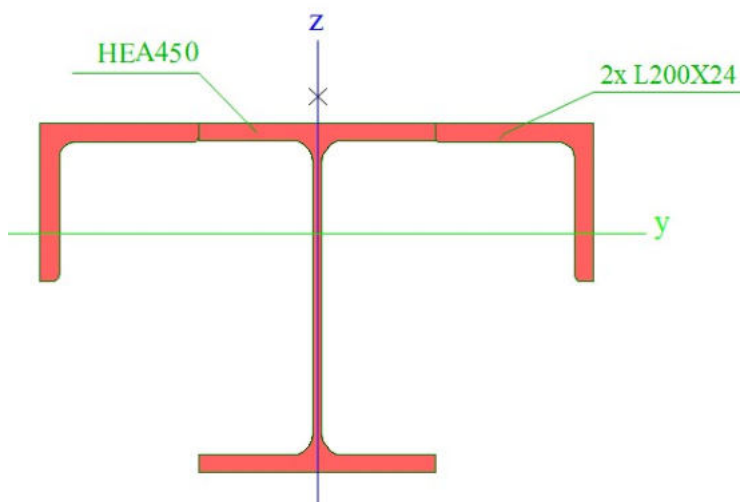
Rozhodujícím zatížením pro maximální vodorovný průhyb nosníku v úrovni vrcholu kolejnice je skupina zatížení č. 5.

$$\delta_{y;1} := 59.7 \text{ mm} > \delta_{y;1;max} = 13.333 \text{ mm}$$

==> **NEVYHOVUJE** - NUTNO ZMĚNIT PRŮŘEZ NOSNÍKU

Po vícenásobné optimalizaci průřezu vybrán nosník jeřábové dráhy z HEA 450 s přivařenými rovnoramennými L profily 200x24 mm z každé strany horní pásnice:

Nákres nového průřezu:

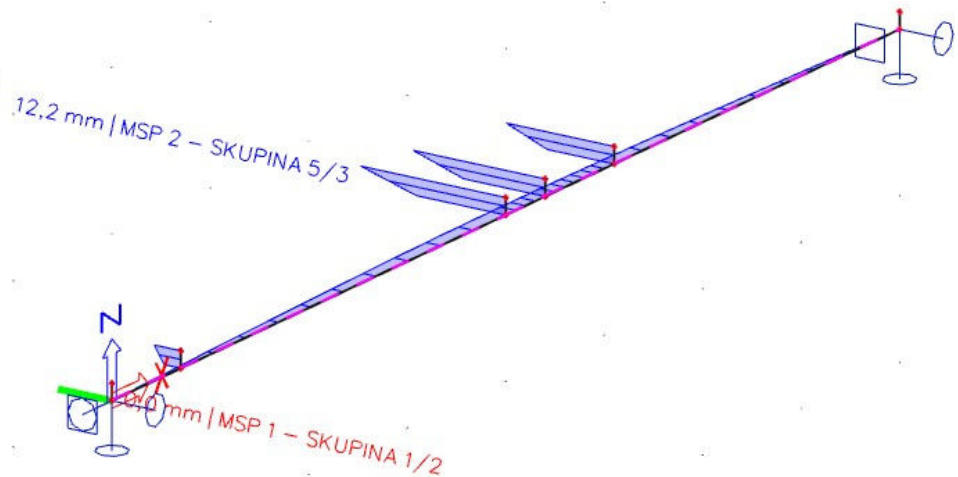


Obr.30: Výsledný průřez JD

Vodorovná deformace nového nosníku dráhy (HEA 450 + 2 x L 200x24) :

1D deformace

Hodnoty: u_y
 Lineární výpočet
 Třída: MSP - vše
 Souřadný systém: Dílec
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše



Obr.31: Vodorovná deformace nosníku JD - skupina zatížení č. 5

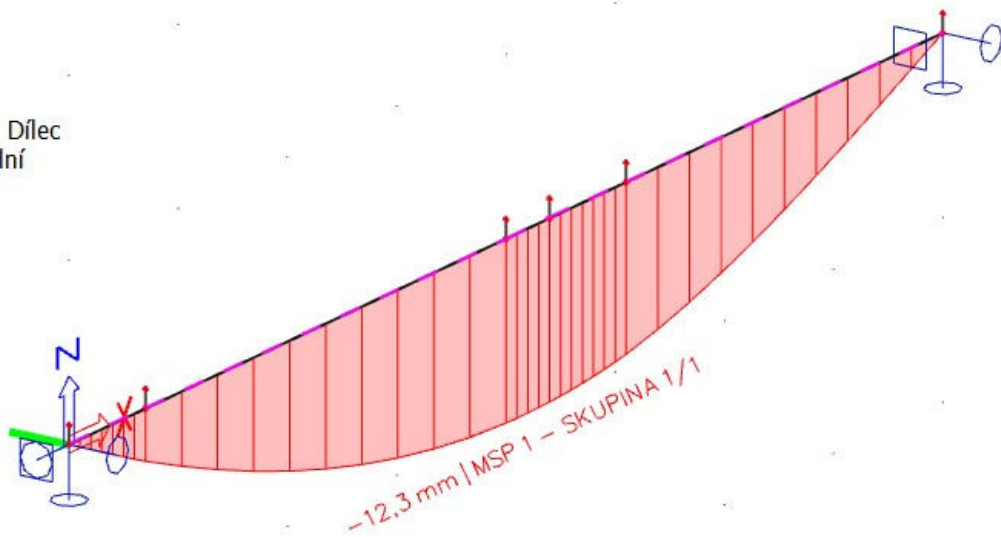
$$\delta_{y;1} := 12.2 \text{ mm} \quad \leq \quad \delta_{y;1,max} = 13.333 \text{ mm} \quad ==> \quad \text{VYHOVUJE}$$

4.1.3.2 Svislé deformace

a) Maximální svislý průhyb nosníku jeřábové dráhy

1D deformace

Hodnoty: u_z
 Lineární výpočet
 Třída: MSP - vše
 Souřadný systém: Dílec
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: B72



Obr.32: Svislá deformace nosníku JD - skupina zatížení č. 1

Rozhodujícím zatížením pro maximální svislý průhyb nosníku je skupina zatížení č. 1.

$$\delta_z := 12.3 \text{ mm} \quad > \quad \delta_{z,max} = 13.333 \text{ mm} \quad ==> \quad \text{VYHOVUJE}$$

4.2 MSÚ

Návrhové hodnoty zatížení						
Modře vyznačena maxima	Skupina zatížení					
Druh vnitřní síly / jednotka	1	5	6	8D	8S	9
N_{Ed} / kN	18,09	0	0	13,4	0	0
V_y / kN	15,75	27,84	3,33	11,67	0	0
V_z / kN	317,38	270,5	270,5	76,72	77,78	97,81
M_x / kNm	3,84	6,78	0,81	2,84	0	0
M_y / kNm	526,93	450,01	450,01	258,75	260,07	321,7
M_z / kNm	63,02	111,35	13,34	46,68	0	0
Směr rozhodujícího zatížení	svislý	vodorovný				

Obr.33: Výsledné vnitřní síly nosníku JD dle jednotlivých skupin zatížení

4.2.1 Posouzení rozhodujících průřezů hlavního nosníku jeřabové dráhy pro kombinaci zatížení s maximálními svislými tlaky kol

- Vstupní údaje:

- vnitřní síly skupiny zatížení č. 1:

$$N_{Ed;1} = 18.09 \text{ kN}$$

$$V_{Ed;y;1} = 15.75 \text{ kN}$$

$$V_{Ed;z;1} = 317.38 \text{ kN}$$

$$M_{Ed;x;1} = 3.84 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$M_{Ed;y;1} = 526.93 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$M_{Ed;z;1} = 63.02 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

- průřezové charakteristiky:

- plocha průřezu: $A := 0.035933 \text{ m}^2$
- smyková plocha průřezu $A_{vz} := 0.0085595 \text{ m}^2$
- elastický modul průřezu k ose y-y $W_{el;y} := 0.0031141 \text{ m}^3$
- elastický modul průřezu k ose z-z $W_{el;z} := 0.0048636 \text{ m}^3$
- plastický modul průřezu k ose y-y $W_{pl;y} := 0.0044683 \text{ m}^3$
- plastický modul průřezu k ose z-z $W_{pl;z} := 0.0062497 \text{ m}^3$
- moment setrvačnosti průřezu k ose y-y $I_y := 0.0009389 \text{ m}^4$
- moment setrvačnosti průřezu k ose z-z $I_z := 0.0017022 \text{ m}^4$
- moment tuhosti v prostém kroucení $I_t := 5.53 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$
- výsečový moment setrvačnosti $I_\omega := 16.891 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$
- souřadnice středu smyku vzhledem k těžišti ve směru z $z_s := 173 \text{ mm}$
- souřadnice středu smyku vzhledem k těžišti ve směru y $y_s := 0 \text{ mm}$
- souřadnice těžiště od spodní hrany ve směru z $z_t := 302 \text{ mm}$
- výška průřezu $h := 440 \text{ mm}$

Klasifikace průřezu pro ocel S235:

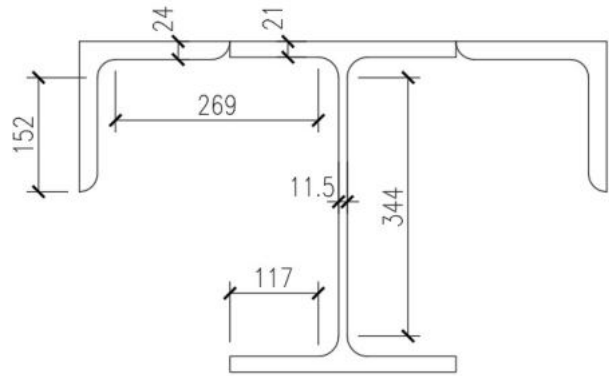
$$f_y := 235 \quad \varepsilon := \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

- pásnice

$$t_f := 24 \text{ mm} \quad c_f := 269 \text{ mm}$$

- stojina

$$t_s := 11.5 \text{ mm} \quad c_s := 344 \text{ mm}$$



Obr.34: Průřez nosníku JD

- přechínající svislá část stojiny

$$t_{fs} := 24 \text{ mm} \quad c_{fs} := 152 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = 11.208 \quad \leq \quad 33 \cdot \varepsilon = 33 \quad \Rightarrow \quad \text{TR 1}$$

$$\frac{c_s}{t_s} = 29.913 \quad \leq \quad 72 \cdot \varepsilon = 72 \quad \Rightarrow \quad \text{TR 1}$$

$$\frac{c_{fs}}{t_{fs}} = 6.333 \quad \leq \quad 9 \cdot \varepsilon = 9 \quad \Rightarrow \quad \text{TR 1}$$

Průřez spadá do třídy průřezu 1. Průřez bude posuzován s využitím plastické oblasti chování materiálu.

- dílčí součinitele spolehlivosti materiálu:

$$\gamma_{M0} := 1.00$$

$$\gamma_{M1} := 1.00$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

- materiálové vlastnosti (ocel S235):

- mez kluzu
- mez pevnosti
- modul pružnosti v tahu a tlaku
- modul pružnosti ve smyku

$$f_y := 235 \text{ MPa}$$

$$f_u := 360 \text{ MPa}$$

$$E := 210 \text{ GPa}$$

$$G := 81 \text{ GPa}$$

4.2.1.1 Posouzení na interakci kroucení, klopení a osového tlaku:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed;y} + \Delta M_{Ed;y}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y;Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{Ed;z} + \Delta M_{Ed;z}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z;Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_w \cdot k_{zw} \cdot k_a \cdot T_{w;Ed}}{\frac{T_{w;Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{Ed;y} + \Delta M_{Ed;y}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y;Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{Ed;z} + \Delta M_{Ed;z}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z;Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_w \cdot k_{zw} \cdot k_a \cdot T_{w;Ed}}{\frac{T_{w;Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

4.2.1.1.1 Kroucení

- rameno působení vodorovných sil (od hlavy kolejnice k težišti průřezu JD):

- vzdálenost těžiště od horních vláken průřezu: $z_h := h - z_t = 138 \text{ mm}$

$$e := 105 \text{ mm} + z_h = 243 \text{ mm}$$

- souřadnice působišť zatížení vzhledem ke středu smyku (vzhledem k nesymetrii průřezu není totožná s e):

$$z_g := e - z_s = 0.07 \text{ m}$$

- parametr tuhosti prutu při kroucení:

$$K_t := L \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_w}} = 2.843$$

- koeficienty pro typ zatížení a okrajové podmínky:

prosté podepření (volná deplanace;
obecné kroutící zatížení =>>

$$\alpha := 3.7 \quad \beta := 1.08$$

- rozdělovací parametr

$$\kappa := \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K_t}\right)^2} = 0.361$$

- bimoment vázaného kroucení pro skupinu zatížení č. 1:

$$B_{Ed;1} := M_{Ed;z;1} \cdot e \cdot (1 - \kappa) = 9.793 \text{ kN} \cdot \text{m}^2 \quad T_{w;Ed;1} := B_{Ed;1}$$

- bimoment vázaného kroucení pro skupinu zatížení č. 5:

$$B_{Ed;5} := M_{Ed;z;5} \cdot e \cdot (1 - \kappa) = 17.304 \text{ kN} \cdot \text{m}^2 \quad T_{w;Ed;5} := B_{Ed;5}$$

4.2.1.1.2 Klopení

- součinitel vzpěrné délky (není bráněno deplanaci): $k_w := 1.0$

- bezrozměrný parametr kroucení:

$$k_{wt} := \frac{\pi}{k_w \cdot \frac{L}{1 \text{ m}}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 11.094$$

- součinitel vzpěrné délky (kloubové uložení obou konců):

$$k_z := 1.0$$

- bezrozměrný parametr působivosti zatížení vzhledem ke středu smyku:

$$\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 0.777$$

- bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu:

$$\zeta_j := \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = ?$$

- nesymetrický průřez >> parametr uvažován zjednodušeně 0; výchozí hodnoty pro pokračování výpočtu stanoveny modelem v softwaru LTBeamN 1.0.3

$$\zeta_j := 0$$

- součinitelé závislé na zatížení a podmínkách uložení konců (tab. NB.3.1 a NB.3.2; ČSN EN 1993-1-1):

$$C_{1;0} := 1.13$$

$$C_{1;1} := 1.13$$

$$C_2 := 0.46$$

$$C_3 := 0.53$$

$$C_1 := C_{1;0} + (C_{1;1} - C_{1;0}) \cdot k_{wt} = 1.13$$

- bezrozměrný kritický moment:

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \cdot \left(\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right) = 12.189$$

- kritický moment:

$$M_{y;cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = (6.057 \cdot 10^4) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- kritický moment spočítaný pomocí softwaru LTBeamN: - viz Příloha 01

$$M_{y;cr} := 9247.6 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Kritický moment spočítaný pomocí softwaru je přesnější a bude použit k následujícím výpočtům.

- poměrná štíhlost

$$\lambda_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{y;cr}}} = 0.337$$

- součinitel imperfekce při klopení

$$\frac{h}{b} > 2 \quad ==> \quad \alpha_{LT} := 0.76 \quad (\text{křivka klopení d; tab. 6.3; ČSN EN 1993-1-1})$$

- doporučené hodnoty parametrů (NP16)

$$\lambda_{LT,0} := 0.4 \quad ==> \quad \phi_{LT} := 0.5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2) = 0.537$$

$$\beta := 0.75$$

- součinitel klopení dle ČSN EN 1993-1-1

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = 1.012 \quad \blacksquare \wedge \quad \chi_{LT} \leq 1.0 \quad \blacksquare \wedge \quad \chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = 8.807$$

$$==> \quad \chi_{LT} := 1.0$$

4.2.1.1.3 Chybějící neznámé pro výpočet interace klopení a kroucení

$$b := 0.3 \text{ m} \quad h := 0.44 \text{ m}$$

$$\omega_{max} := \frac{b \cdot h}{4} = 0.033 \text{ m}^2$$

$$B_{Rk} := \frac{I_{\omega}}{\omega_{max}} \cdot f_y = 120.284 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

$$T_{w;Rk} := B_{Rk}$$

$$k_{w;1} := 0.7 - \frac{0.2 \cdot B_{Ed;1}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.684$$

$$k_{w;5} := 0.7 - \frac{0.2 \cdot B_{Ed;5}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.671$$

$$k_{zw;1} := 1 - \frac{M_{Ed;z;1}}{W_{el;z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = 0.945$$

$$k_{zw;5} := 1 - \frac{M_{Ed;z;5}}{W_{el;z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = 0.903$$

$$k_{a;1} := \frac{1}{1 - \frac{M_{Ed;y;1}}{M_{y;cr}}} = 1.06$$

$$k_{a;5} := \frac{1}{1 - \frac{M_{Ed;y;5}}{M_{y;cr}}} = 1.051$$

$$M_{y;Rk} := W_{pl;y} \cdot f_y = (1.05 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z;Rk} := W_{pl;z} \cdot f_y = (1.469 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$C_{my} := 1.00 \quad (\text{ČSN EN 1993-1-1; Tab. B.3})$$

$$C_{mz} := 1.00$$

4.2.1.1.4 Osový tlak

- charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu při působení osově síly $N_{pl;Rk}$:

$$N_{Rk} := A \cdot f_y = (8.444 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

- pružná kritická síla pro příslušný způsob vybočení:

$$N_{cr} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} \quad ==>>$$

$$N_{cr;y} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2} = (3.041 \cdot 10^4) \text{ kN}$$

$$L_{cr} := L = 8 \text{ m}$$

$$N_{cr;z} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} = (5.513 \cdot 10^4) \text{ kN}$$

- poměrná štíhlost:

$$\lambda := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad ==>>$$

$$\lambda_y := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr;y}}} = 0.527 \quad \lambda_z := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr;z}}} = 0.391$$

- křivka vzpěrné pevnosti:

$$\begin{array}{l} \text{Vybočení kolmo k oce y-y} \\ \text{Vybočení kolmo k oce z-z} \end{array} \quad ==>>$$

$$\begin{array}{l} \text{a} \\ \text{b} \end{array} \quad ==> \quad \begin{array}{l} \alpha_y := 0.21 \\ \alpha_z := 0.34 \end{array}$$

$$\phi := 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2) \quad ==>>$$

$$\phi_y := 0.5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2) = 0.673$$

$$\phi_z := 0.5 \cdot (1 + \alpha_z \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2) = 0.609$$

- součinitel klopení dle ČSN EN 1993-1-1

$$\chi := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \quad \Rightarrow \quad \chi_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.916$$

$$\chi_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.929$$

4.2.1.1.5 Součinitele interakce

Použita alternativní metoda 2 - dle ČSN EN 1993-1-1 - plastický návrh

- pro skupinu zatížení č. 1

$$k_{yy;1} := C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed;1}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 1.001 \quad \wedge \leq \quad C_{my} \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed;1}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 1.002$$

==> VYHOVUJE

$$k_{zz;1} := C_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \lambda_z - 0.6) \cdot \frac{N_{Ed;1}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 1 \quad \wedge \leq \quad C_{mz} \cdot \left(1 + 1.4 \cdot \frac{N_{Ed;1}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 1.003$$

==> VYHOVUJE

$$k_{yz;1} := 0.6 \cdot k_{zz;1} = 0.6$$

$$k_{zy;1} := 0.6 \cdot k_{yy;1} = 0.6$$

- pro skupinu zatížení č. 5

$$k_{yy;5} := C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed;5}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 1 \quad \wedge \leq \quad C_{my} \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed;5}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 1$$

==> VYHOVUJE

$$k_{zz;5} := C_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \lambda_z - 0.6) \cdot \frac{N_{Ed;5}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 1 \quad \wedge \leq \quad C_{mz} \cdot \left(1 + 1.4 \cdot \frac{N_{Ed;5}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 1$$

==> VYHOVUJE

$$k_{yz;5} := 0.6 \cdot k_{zz;5} = 0.6$$

$$k_{zy;5} := 0.6 \cdot k_{yy;5} = 0.6$$

4.2.1.1.6 Ostatní neznámé parametry a dosazení do původní rovnice

- momenty v důsledku posunu těžišťové osy (pouze pro třídu průřezu 4 - ostatní nulové)

$$\Rightarrow \Delta M_{Ed;y;1} := 0 \quad \Delta M_{Ed;z;1} := 0 \quad \Delta M_{Ed;y;5} := 0 \quad \Delta M_{Ed;z;5} := 0$$

4.2.1.1.7 Posouzení na interakci kroucení, klopení a osového tlaku - dosazení do původního vzorce - skupina zatížení č. 1:

$$\frac{N_{Ed;1}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy;1} \cdot \frac{M_{Ed;y;1} + \Delta M_{Ed;y;1}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y;Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz;1} \cdot \frac{M_{Ed;z;1} + \Delta M_{Ed;z;1}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z;Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{w;1} \cdot k_{zw;1} \cdot k_{a;1} \cdot T_{w;Ed;1}}{\frac{T_{w;Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.586$$

$$\leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed;1}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy;1} \cdot \frac{M_{Ed;y;1} + \Delta M_{Ed;y;1}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y;Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz;1} \cdot \frac{M_{Ed;z;1} + \Delta M_{Ed;z;1}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z;Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{w;1} \cdot k_{zw;1} \cdot k_{a;1} \cdot T_{w;Ed;1}}{\frac{T_{w;Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.402$$

$$\leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4.2.1.1.8 Posouzení na interakci kroucení, klopení a osového tlaku - dosazení do původního vzorce - skupina zatížení č. 5:

$$\frac{N_{Ed;5}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy;5} \cdot \frac{M_{Ed;y;5} + \Delta M_{Ed;y;5}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y;Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz;5} \cdot \frac{M_{Ed;z;5} + \Delta M_{Ed;z;5}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z;Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{w;5} \cdot k_{zw;5} \cdot k_{a;5} \cdot T_{w;Ed;5}}{\frac{T_{w;Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.566$$

$$\leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed;5}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy;5} \cdot \frac{M_{Ed;y;5} + \Delta M_{Ed;y;5}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y;Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz;5} \cdot \frac{M_{Ed;z;5} + \Delta M_{Ed;z;5}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z;Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{w;5} \cdot k_{zw;5} \cdot k_{a;5} \cdot T_{w;Ed;5}}{\frac{T_{w;Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.425$$

$$\leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4.2.1.2 Posouzení ve smyku:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c;Rd}} \leq 1.0$$

- poměr výšky/tloušťce stojiny HEA 600:

- výška stojiny $c_s = 344 \text{ mm}$
- tloušťka stojiny $t_s = 11.5 \text{ mm}$
- šířka pásnice $b_{f;HEA} := 300 \text{ mm}$
- tloušťka pásnice $t_f = 24 \text{ mm}$
- plocha stojiny $A_w := A_{vz} = 0.009 \text{ m}^2$

- ocel S235:

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 1$$

- doporučená hodnota parametru pro ocel do třídy S460 dle NP4 (NA.2.4.) $\Rightarrow \eta := 1.20$

$$\Rightarrow \frac{c_s}{t_s} = 29.913 \quad \leq \quad 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 60 \quad \Rightarrow \text{není třeba posuzovat boulení stěny}$$

- poměr výšky/tloušťce stojiny profilu L200X24:

- výška stojiny $c_{fs} = 152 \text{ mm}$
- tloušťka stojiny $t_{fs} = 24 \text{ mm}$
- šířka pásnice $b_{f;L} := 200 \text{ mm}$
- tloušťka pásnice $t_{fs} = 24 \text{ mm}$

$$\Rightarrow \frac{c_{fs}}{t_{fs}} = 6.333 \quad \leq \quad 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 60 \quad \Rightarrow \text{není třeba posuzovat boulení stěny}$$

- smyková únosnost stojiny:

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y} \leq 1.0 \quad \tau_{Ed} := \frac{V_{Ed;z;1}}{A_w} = 37.079 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{Ed}}{(\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1})} = 0.273 \quad \leq \quad 1.0$$

\Rightarrow VYHOVUJE

Jedná se o malý smyk \Rightarrow interakci smyku s ohybem není potřeba uvažovat

4.2.1.3 Posouzení stojiny pod kolovým zatížením při interakci napětí

- šířka paty; šířka vrcholu a výška kolejnice JKL 100:

$$b_{fr} := 170 \text{ mm} \quad b_{r,v} := 100 \text{ mm} \quad h_r := 105 \text{ mm}$$

- tloušťka pásnice a stojiny HEA 450; šířka horní pásnice dráhy:

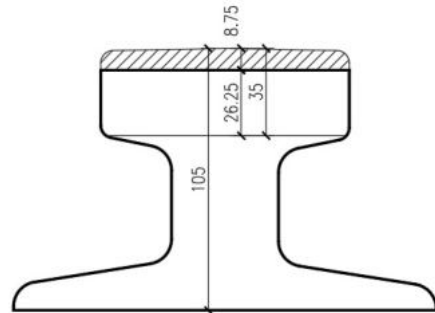
$$t_f = 24 \text{ mm} \quad t_s = 11.5 \text{ mm} \quad b := 700 \text{ mm}$$

- účinná roznášecí šířka (počítáno s opotřebením kolejnice v rozsahu 25 %):

$$b_{eff} := b_{fr} + 0.75 \cdot h_r + t_f = 0.273 \text{ m}$$

- účinná roznášecí délka: (kolejnice uložena na pružné elastomerové podložce tloušťky minimalně 6 mm)

$$l_{eff} := 4.25 \cdot \left(\frac{(I_r + I_{f;eff})}{t_w} \right)^{\frac{1}{3}}$$



Obr.35: Opotřebení kolejnice JKL100 v rozsahu 25%

- moment setrvačnosti kolejnice k její vodorovné těžišťové ose:

$$I_x := 1037.6 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

- moment setrvačnosti kolejnice k její vodorovné těžišťové ose po redukci 25%:

$$I_r := 820.07 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

- moment setrvačnosti pásnice o účinné šířce k její vodorovné těžišťové ose:

$$I_{f;eff} := \frac{1}{12} \cdot b_{eff} \cdot t_f^3 = (3.142 \cdot 10^{-7}) \text{ m}^4$$

Účinná roznášecí délka pásnice po dosažení:

$$l_{eff} := 4.25 \cdot \left(\frac{(I_r + I_{f;eff})}{t_s} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.384 \text{ m}$$

Lokální svislé tlakové napětí vyvozené kolovým zatížením o maximální hodnotě (skupina zatížení č. 1):

$$\sigma_{oz;Ed} := \frac{F_1}{l_{eff} \cdot t_s} = 52.877 \text{ MPa} \quad \leq \quad \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ MPa}$$

==> VYHOVUJE

Lokální smykové napětí vyvozené kolovým zatížením o maximální hodnotě (skupina zatížení č. 1):

- může se uvažovat rovna 20 % $\sigma_{oz;Ed}$ (ČSN EN 1993-6; odst. 5.7.2)

$$\tau_{oz;Ed} := 0.2 \cdot \sigma_{oz;Ed} = 10.575 \text{ MPa} \quad \leq \quad \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 135.677 \text{ MPa}$$

==> VYHOVUJE

Lokální ohybová napětí ve stojně v důsledku excentricity kolových zatížení:

$$\sigma_{T;Ed} := \frac{6 \cdot T_{Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot \tanh(\eta) \quad \eta := \left(\frac{0.75 \cdot a \cdot t_s^3}{I_{t,f}} \cdot \frac{\sinh^2 \left(\pi \cdot \frac{h_w}{a} \right)}{\sinh \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{h_w}{a} \right) - 2 \cdot \pi \cdot \frac{h_w}{a}} \right)^{0.5}$$

- celková světlá výška stojny mezi pásnicemi $h_w := 392 \text{ mm}$

- vzdálenost příčných výztuh stojny
- předpoklad cca 1/3 délky $a := 2700 \text{ mm}$

- moment tuhosti v prostém kroucení pásnice

$$I_{t,f} := \frac{1}{3} \cdot (b - 0.63 \cdot t_f) \cdot t_f^3 = (3.156 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^4$$

- excentricita kolového zatížení - doporučení 25 % šířky vrcholu kolejnice (ČSN EN 1991-3; odst. 2.5.2.1 - NP2)

$$e := 0.25 \cdot b_{r,v} = 0.025 \text{ m}$$

- návrhová hodnota maximální svislé síly namáhající nosník jeřábové dráhy pro skupinu zatížení č. 1 $F_1 = 233.804 \text{ kN}$

- kroutící moment způsobený příčnou excentricitou kolového zatížení:

$$T_{Ed} := F_1 \cdot e = 5.845 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\eta := \left(\frac{0.75 \cdot a \cdot t_s^3}{I_{t,f}} \cdot \frac{\sinh^2 \left(\pi \cdot \frac{h_w}{a} \right)}{\sinh \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{h_w}{a} \right) - 2 \cdot \pi \cdot \frac{h_w}{a}} \right)^{0.5}, \text{ kde } \pi \cdot \frac{h_w}{a} = 0.456$$

$$\sinh^2 \left(\pi \cdot \frac{h_w}{a} \right) = x := 0.449 \quad \sinh \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{h_w}{a} \right) = y := 1.613$$

$$\Rightarrow \eta := \left(\frac{0.75 \cdot a \cdot t_s^3}{I_{t,f}} \cdot \frac{x}{y - 2 \cdot \pi \cdot \frac{h_w}{a}} \right)^{0.5} = 0.791 \quad \tanh(\eta) := 0.8494$$

Lokální ohybová napětí ve stojně v důsledku excentricity kolových zatížení - po dosazení:

$$\sigma_{T;Ed} := \frac{6 \cdot T_{Ed}}{a \cdot t_s^2} \cdot \eta \cdot \tanh(\eta) = 65.967 \text{ MPa}$$

Lokální napětí vyvozená maximálním kolovým zatížením (skupina zatížení č. 1):

- svislé tlakové napětí vyvozené kolovým zatížením $\sigma_{oz;Ed} = 52.877 \text{ MPa}$
- smykové napětí vyvozené kolovým zatížením $\tau_{oaz;Ed} = 10.575 \text{ MPa}$
- ohybové napětí ve stojně v důsledku excentricity zatížení kol $\sigma_{T;Ed} = 65.967 \text{ MPa}$

Posouzení interakce normálového a smykového napětí:

$$\sqrt{\sigma_{oz;Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{oaz;Ed}^2} = 55.96 \text{ MPa} \quad \leq \quad \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ MPa}$$

⇒ VYHOVUJE

4.2.1.4 Interakce lokálního boulení a ohybového momentu

4.2.1.4.1 Lokální boulení

Posouzení ztráty stability stojiny lokálním boulením při zatížení návrhovou silou skupiny zatížení č. 1.

Návrhová únosnost v lokálním boulení:

$$F_{Rd} := \frac{f_y \cdot l_{eff} \cdot t_s}{\gamma_{M1}}, \text{ kde}$$

- účinná roznášecí délka $l_{eff} = 0.384 \text{ m}$

- roznášecí délka na pásnici s_s

- účinná zatížená délka stojiny l_y

$$l_y := s_s + 2 \cdot t_f \cdot \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2}\right)$$

- bezrozměrné parametry

$$m_1 := \frac{b}{t_s} = 60.87 \quad m_2 := 0$$

Bezrozměrný parametr m_2 lze stanovit dle normy s ohledem na velikost poměrné štíhlosti. Parametr uvažován konzervativně hodnotou 0.

Roznášecí délka na pásnici získaná pomocí účinné roznášecí délky pásnice:

$$s_s := l_{eff} - 2 \cdot t_f = 0.336 \text{ m}$$

Účinná zatížená délka - po dosazení:

$$l_y := s_s + 2 \cdot t_f \cdot \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2}\right) = 0.759 \text{ m}$$

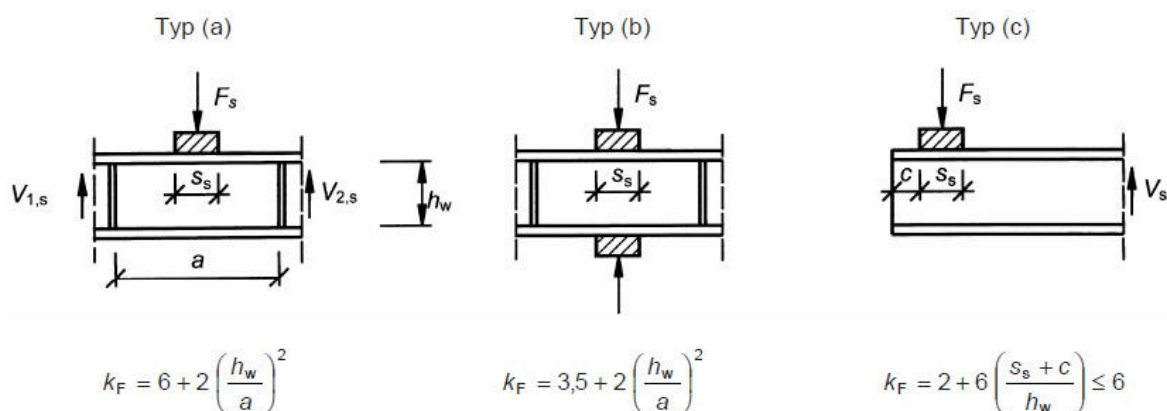
Součinitel lokálního boulení:

$$\chi_F := \frac{0.5}{\lambda_F}, \text{ kde}$$

$$\lambda_F := \sqrt{\frac{l_y \cdot t_s \cdot f_y}{F_{cr}}}; \quad F_{cr} := 0.9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{h_w} = ?$$

- stanovení součinitele k_F - pro stojinu bez podélné výztuhy (typ a)

Stanoveno dle ČSN EN 1993-1-5 - OBRÁZEK 6.1) - ZDROJ



Obrázek 6.1 – Součinitele boulení pro různé typy zavedení zatížení

Obr.36: Součinitele boulení pro různé typy zavedení zatížení

$$k_F := 6 + 2 \cdot \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 6.042$$

Kritická síla při lokálním boulení:

$$\Rightarrow F_{cr} := 0.9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_s^3}{h_w} = (4.431 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$\Rightarrow \lambda_F := \sqrt{\frac{l_y \cdot t_s \cdot f_y}{F_{cr}}} = 0.68$$

Součinitel lokálního boulení - po dosazení:

$$\chi_F := \frac{0.5}{\lambda_F} = 0.735 \quad \square \leq 1$$

Účinná délka - po dosazení:

$$L_{eff} := \chi_F \cdot l_y = 0.558 \text{ m}$$

Návrhová únosnost v lokálním boulení - po dosazení:

$$F_{Rd} := \frac{f_y \cdot L_{eff} \cdot t_s}{\gamma_{M1}} = (1.507 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$F_{Ed} := F_1 = 233.804 \text{ kN} \quad \square \leq \square \quad F_{Rd} = (1.507 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

==> VYHOVUJE

4.2.1.4.2 Interakce lokálního boulení a ohybového momentu

Rozhodující skupinou zatížení je skupina č. 1.

$$M_{Ed} := M_{Ed,y;1} = 526.93 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pl;Rd} := W_{pl;y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = (1.05 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} + 0.8 \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{pl;Rd}} = 0.557 \quad \leq 1.4 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4.3 MSÚ FAT

Dílčí součinitel únavové pevnosti:

Tabulka 3.1 – Doporučené hodnoty dílčích součinitelů únavové pevnosti γ_{Mf}

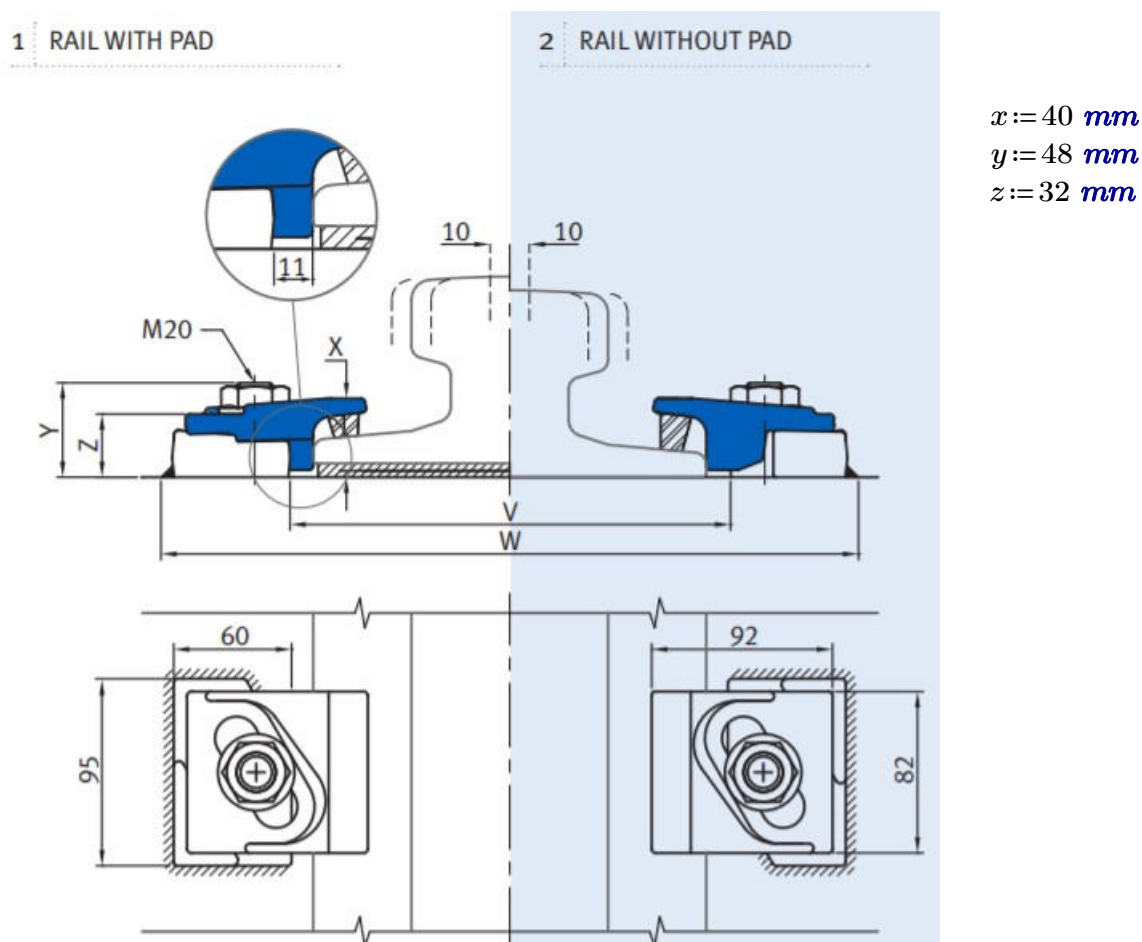
Metoda hodnocení	Důsledky porušení	
	mírné	závažné
Přípustná poškození	1,00	1,15
Bezpečná životnost	1,15	1,35

Obr.37: Doporučené hodnoty dílčích součinitelů únavové pevnosti

Důsledky porušení lze uvažovat za závažné. Použitou metodou hodnocení je zvolena bezpečná životnost.

$$\Rightarrow \gamma_{Mf} := 1.35$$

Přichycení kolejnice pomocí přichytek Gantrail 9120/20/40



Obr.38: Schéma varné přichytky kolejnice Gantrail 9120/20/40 - ČEVAS

Tloušťka varného prvku v rozsahu 20 - 30 mm. Délka ve směru JD rovna 95 mm.
Posuzované konstrukční detaily a jejich kategorie:

- Pásnice JD tj. válcované průřezy s válcovanými hranami (Tab. 8.1 - konstrukční detail č. 2)
 - kategorie detailu 160
- Přichytka kolejnice na pásnici ,tj. krycí pásnice válcovaných a svařovaných nosníků (Tab. 8.5 - konstrukční detail č. 1)
 - kategorie detailu 63

4.3.1 Posouzení pásnice pro rozkmit normálového napětí od ohybového momentu

Referenční únavová pevnost:

$$\Delta\sigma_{C;1} := 160 \text{ MPa}$$

Břemeno představující konstantní rozkmit proměnlivého zatížení v ekvivalentním návrhovém spektru:

$$F_M := Q_{e;\sigma;loc} = 79.821 \text{ kN}$$

- rozvor kol jeřábového mostu [m]: $a := 4.4 \text{ m}$

- rozpětí nosníku jeřábové dráhy [m]: $L := 8 \text{ m}$

- vzdálenosti krajních vláken od těžištové osy: $z_h = 0.138 \text{ m}$

$$z_d := h - z_h = 0.302 \text{ m}$$

Rozkmit ekvivalentního ohybového momentu ΔM_{E2}
(zatěžovací stav pro maximální ohybový moment):

$$R_{b;z} := \frac{F_M \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{3 \cdot a}{4}\right) + F_M \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{a}{4}\right)}{L} = 57.87 \text{ kN}$$

$$R_{a;z} := -R_{b;z} + 2 \cdot F_M = 101.772 \text{ kN}$$

$$\Delta V_{E2} := R_{a;z} = 101.772 \text{ kN}$$

$$\Delta M_{E2} := R_{b;z} \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{a}{4}\right) = 167.823 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého napětí v dolní pásnici:

- modul průřezu pro dolní vlákna nosníku:

$$W_{el;y;d} := \frac{I_y}{z_d} = 0.003 \text{ m}^3$$

$$\Delta \sigma_{E2;1} := \frac{\Delta M_{E2}}{W_{el;y;d}} = 53.981 \text{ MPa}$$

Výpočet únavového poškození:

$$D_{\sigma;1} := \gamma_{Ff}^3 \cdot \Delta \sigma_{E2;1}^3 \cdot \left(\frac{\gamma_{Mf}}{\Delta \sigma_{C;1}}\right)^3 = 0.094 \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4.3.2 Posouzení přichytu kolejnice k pásnici pro rozkmit normálového napětí od ohybového momentu

Referenční únavová pevnost:

$$\Delta\sigma_{C;2} := 63 \text{ MPa}$$

Břemeno představující konstantní rozkmit proměnlivého zatížení v ekvivalentním návrhovém spektru:

$$F_M := Q_{e,\sigma} = 63.378 \text{ kN}$$

Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého napětí v horní pásnici:

- modul průřezu pro horní vlákna nosníku:

$$W_{el;y,h} := \frac{I_y}{z_h} = 0.007 \text{ m}^3$$

$$\Delta\sigma_{E2;2} := \frac{\Delta M_{E2}}{W_{el;y,h}} = 24.667 \text{ MPa}$$

Výpočet únavového poškození:

$$D_{\sigma;2} := \gamma_{Ff}^3 \cdot \Delta\sigma_{E2;2}^3 \cdot \left(\frac{\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_{C;2}} \right)^3 = 0.148 \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

5. ZATÍŽENÍ HALY

5.1 ZATÍŽENÍ KLIMATICKÝMI VLIVY

5.1.1 Zatížení sněhem (ČSN EN 1991-1-3)

Doporučené hodnoty součinitelů dle oblasti stavby tj. ostatní členské státy CEN pro staveniště v nadmořské výšce < 1000 m:

$$\psi_{0;s} := 0.5$$

$$\psi_{1;s} := 0.2$$

$$\psi_{2;s} := 0.0$$

Tvar střechy :

sedlová

Sklon střechy :

$$12 \% ==> 7^\circ ==> \alpha := 7$$

Sněhová oblast I. (lokalita Praha)

====>

$$s_k := 0.7 \frac{kN}{m^2}$$

Tvarový součinitel zatížení sněhem:

$$==> \mu_1 := 0.8$$

$$\mu_2 := 0.8 + 0.8 \cdot \frac{\alpha}{30} = 0.987$$

Součinitel expozice - typ krajiny > normální

$$C_e := 1.0$$

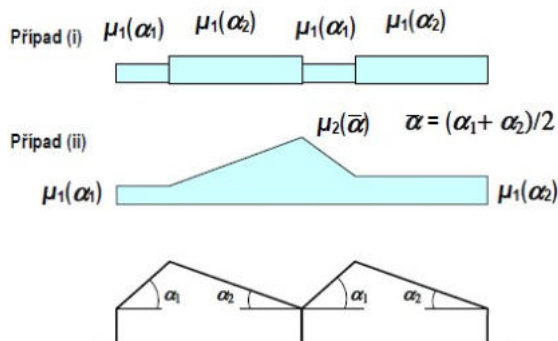
Tepelný součinitel

$$C_t := 1.0$$

Zatížení sněhem pro trvalé/dočasné návrhové situace:

$$s_1 := \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0.56 \frac{kN}{m^2}$$

$$s_2 := \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0.691 \frac{kN}{m^2}$$



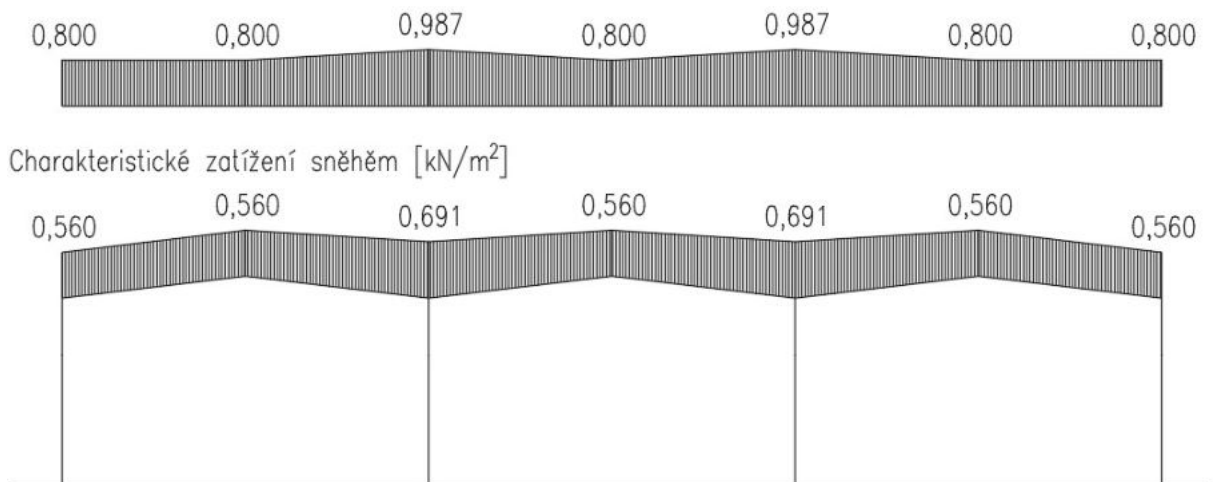
Obr.39: Tvarové součinitele zatížení sněhem pro střechy vícelodních budov

Výsledné zatížení nenavátým sněhem:

Vzhledem ke stejným sklonům střešních rovin je tvarový součinitel na celé střeše roven 0,8 a výsledné zatížení je $0,56 \frac{kN}{m^2}$.

Výsledné zatížení navátým sněhem:

Tvarový součinitel zatížení sněhem [-]



Obr.40: Výsledný průběh zatížení sněhem na trojlodní halu

5.1.2 Zatížení větrem (ČSN EN 1991-1-4)

Větrná oblast II. (lokalita Praha) ==> $v_{b;0} := 25 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$

Součinitel směru větru - doporučená hodnota: $c_{dir} := 1.0$

Součinitel ročního období - doporučená hodnota: $c_{season} := 1.0$

Základní rychlost větru: $v_b := v_{b;0} \cdot c_{dir} \cdot c_{season} = 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Hustota vzduchu: $\rho := 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Základní tlak větru: $q_b := 0.5 \cdot \rho \cdot v_b^2$ $q_b := 390.625 \text{ Pa}$

Kategorie terénu III ==> $z_{min} := 5 \text{ m}$

$z_{0;III} := 0.05 \text{ m}$

$z_0 := 0.3 \text{ m}$

Součinitel terénu: $k_r := 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0;III}} \right)^{0.07} = 0.215$

Výška objektu:

$$z := 12.85 \text{ m}$$
$$c_{r;z} := k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0.809$$

Součinitel drsnosti:

$$c_{0;z} := 1.0$$

Střední rychlost větru:

$$v_{m;z} := c_{r;z} \cdot c_{0;z} \cdot v_b = 20.232 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Součinitel turbulence
(doporučená hodnota):

$$k_l := 1.0$$

Intenzita turbulence ve výšce:

$$l_{v;z} := \frac{k_l}{c_{0;z} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = 0.266$$

Maximální dynamický tlak:

$$q_{p;z} := \left(1 + 7 \cdot l_{v;z}\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{m;z}^2 = 0.732 \text{ kPa}$$

Součinitel expozice:

$$c_{e;z} := \frac{q_{p;z}}{q_b} = 1.875$$

Charakteristický maximální dynamický tlak

$$q_{p;z} := c_{e;z} \cdot q_b = 732.471 \text{ Pa}$$

Součinitel vnějšího aerodynamického tlaku

$$A > 10 \text{ m}^2 \implies c_{pe} = c_{pe;10}$$

5.1.2.1 Zatížení svislých konstrukcí

Součinitele vnějších tlaků pro svislé plochy:

Oblast	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Obr.41: Výběr součinitelů vnějších tlaků pro svislé plochy

$$c_{pe;10;A} := -1.2 \quad c_{pe;10;B} := -0.8 \quad c_{pe;10;C} := -0.5 \quad c_{pe;10;D} := 0.8 \quad c_{pe;10;E} := -0.7$$

Tlak/sání větru na svislé plochy: (tlak +; sání -)

$$w_{e;A} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;A} = -0.879 \text{ kPa}$$

$$w_{e;B} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;B} = -0.586 \text{ kPa}$$

$$w_{e;C} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;C} = -0.366 \text{ kPa}$$

$$w_{e;D} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;D} = 0.586 \text{ kPa}$$

$$w_{e;E} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;E} = -0.513 \text{ kPa}$$

Výška budovy v okapu a ve štítu:

$$h_1 := 11.500 \text{ m}$$

$$h_2 := 12.850 \text{ m}$$

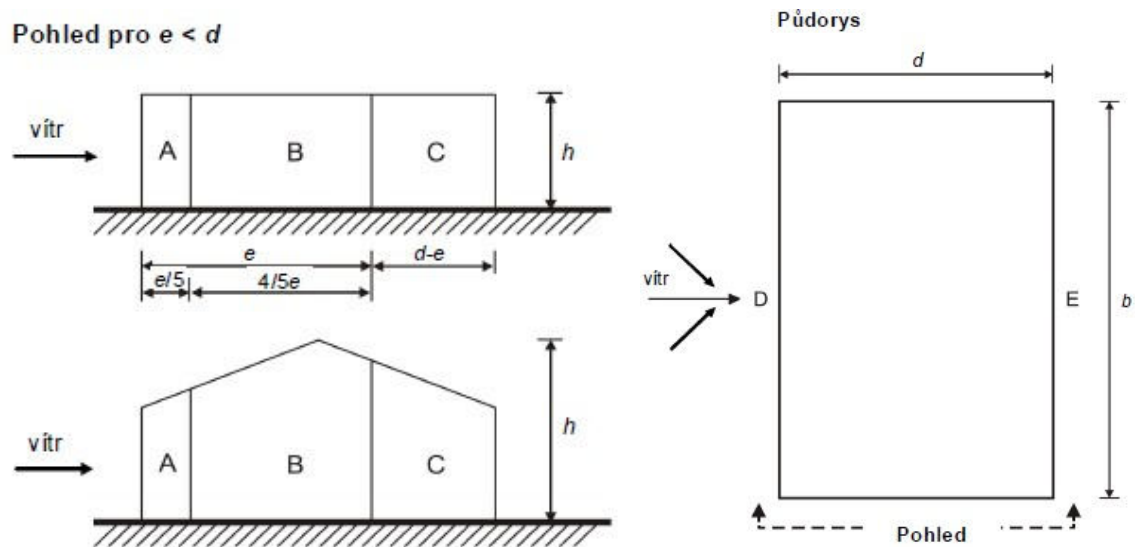
$$e_1 := 2 \cdot h_1 = 23 \text{ m}$$

$$e_2 := 2 \cdot h_2 = 25.7 \text{ m}$$

==>

$$e < d$$

Pohled pro $e < d$



Obr.42: Dop. hodnoty souč. vnější tlaku pro svislé stěny pozemních staveb s pravouhlejším půdorysem

Směr působení větru kolmo na hřeben:

$$d := 3 \cdot 22.5 \text{ m} = 67.5 \text{ m}$$

$$\frac{e_1}{5} = 4.6 \text{ m}$$

$$\frac{4 \cdot e_1}{5} = 18.4 \text{ m}$$

$$d - e_1 = 44.5 \text{ m}$$

Směr působení větru v ose hal:

$$d := 64.0 \text{ m}$$

$$\frac{e_2}{5} = 5.14 \text{ m}$$

$$\frac{4 \cdot e_2}{5} = 20.56 \text{ m}$$

$$d - e_2 = 38.3 \text{ m}$$

5.1.2.2 Zatížení střešních konstrukcí

Součinitele vnějších tlaků pro střešní rovinu - směr kolmo na hřeben:

- první polovina lodě haly ==> tabulka součinitelů c_{pe} pro pultové střechy

Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru $\theta = 0^\circ$						Oblast pro směr větru $\theta = 180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+0,2							
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	
	+0,7		+0,7		+0,4							
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6							
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

Obr.43: Výběr součinitelů vnějších tlaků pro střešní rovinu - pultové střechy

$$c_{pe;10;min;F;pult} := -1.6$$

$$c_{pe;10;min;G;pult} := -1.2$$

$$c_{pe;10;min;H;pult} := -0.6$$

$$c_{pe;10;max;F;pult} := 0.1$$

$$c_{pe;10;max;G;pult} := 0.1$$

$$c_{pe;10;max;H;pult} := 0.1$$

- od druhé poloviny první lodě haly až na konec haly ==> tabulka součinitelů c_{pe} pro sedlové střechy, kde $\alpha := -7^\circ$

Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	+0,0		+0,0		+0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

Obr.44: Výběr součinitelů vnějších tlaků pro střešní rovinu - sedlové střechy

$$c_{pe;10;F;sedlo} := -2.4 \quad c_{pe;10;H;sedlo} := -0.9 \quad c_{pe;10;min;I;sedlo} := -0.6 \quad c_{pe;10;min;J;sedlo} := -0.7$$

$$c_{pe;10;G;sedlo} := -1.3 \quad c_{pe;10;max;I;sedlo} := 0.2 \quad c_{pe;10;max;J;sedlo} := 0.2$$

Tlak větru na rovinu střechy - směr kolmo na hřeben:

- pultová část

$$w_{e;min;F;pult} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;min;F;pult} = -1.172 \text{ kPa}$$

$$w_{e;max;F;pult} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;max;F;pult} = 0.073 \text{ kPa}$$

$$w_{e;min;G;pult} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;min;G;pult} = -0.879 \text{ kPa}$$

$$w_{e;max;G;pult} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;max;G;pult} = 0.073 \text{ kPa}$$

$$w_{e;min;H;pult} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;min;H;pult} = -0.439 \text{ kPa}$$

$$w_{e;max;H;pult} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;max;H;pult} = 0.073 \text{ kPa}$$

- sedlová část

$$w_{e;F;sedlo} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;F;sedlo} = -1.758 \text{ kPa}$$

$$w_{e;G;sedlo} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;G;sedlo} = -0.952 \text{ kPa}$$

$$w_{e;H;sedlo} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;H;sedlo} = -0.659 \text{ kPa}$$

$$w_{e;min;I;sedlo} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;min;I;sedlo} = -0.439 \text{ kPa}$$

$$w_{e;max;I;sedlo} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;max;I;sedlo} = 0.146 \text{ kPa}$$

$$w_{e;min;J;sedlo} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;min;J;sedlo} = -0.513 \text{ kPa}$$

$$w_{e;max;J;sedlo} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;max;J;sedlo} = 0.146 \text{ kPa}$$

Součinitele vnějších tlaků pro střešní rovinu - směr rovnoběžný s hřebenem:

Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Obr.45: Výběr součinitelů vnějších tlaků pro střešní rovinu - směr rovnoběžně s hřebenem

$$c_{pe;10;F} := -1.6$$

$$c_{pe;10;G} := -1.3$$

$$c_{pe;10;H} := -0.7$$

$$c_{pe;10;I} := -0.6$$

Tlak větru na rovinu střechy - směr rovnoběžný s hřebenem:

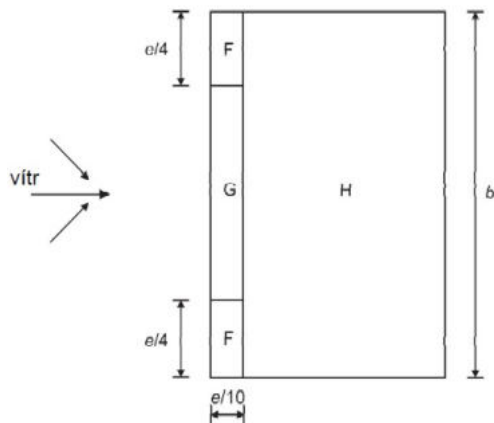
$$w_{e;F} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;F} = -1.172 \text{ kPa}$$

$$w_{e;H} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;H} = -0.513 \text{ kPa}$$

$$w_{e;G} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;G} = -0.952 \text{ kPa}$$

$$w_{e;I} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;I} = -0.439 \text{ kPa}$$

Oblasti větru pultové střechy:



$$h := 11.5 \text{ m}$$

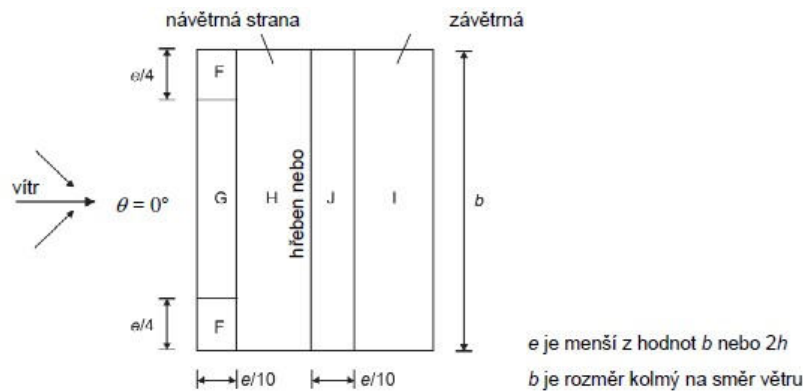
$$e := 2 \cdot h = 23 \text{ m}$$

$$\frac{e}{4} = 5.75 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = 2.3 \text{ m}$$

Obr.46: Legenda větrných oblastí pro pultové střechy

Oblasti větru sedlové střechy:



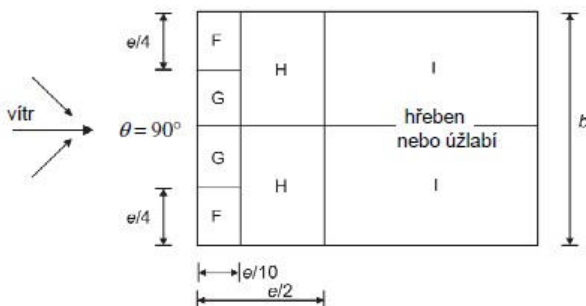
$$h := 11.5 \text{ m}$$

$$e := 2 \cdot h = 23 \text{ m}$$

$$\frac{e}{4} = 5.75 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = 2.3 \text{ m}$$

b) Směr větru $\theta = 0^\circ$



$$h := 12.85 \text{ m}$$

$$e := 2 \cdot h = 25.7 \text{ m}$$

$$\frac{e}{2} = 12.85 \text{ m}$$

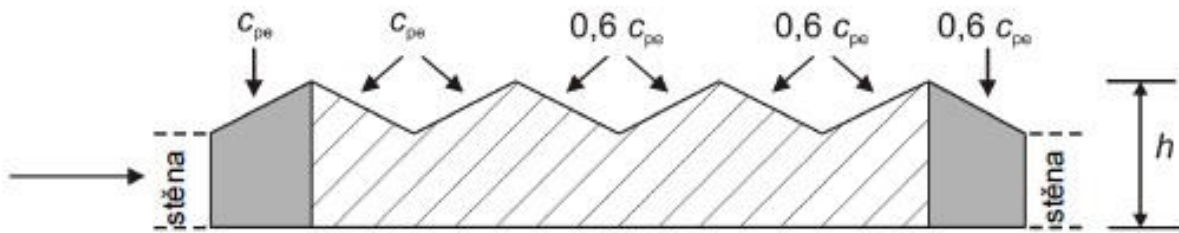
$$\frac{e}{4} = 6.425 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = 2.57 \text{ m}$$

c) Směr větru $\theta = 90^\circ$

Obr.47: Legenda větrných oblastí pro sedlové střechy

Působení větru na vícelodní haly - redukce působení větru ve směru kolmém na osy hal:



Obr.48: Působení větru na vícelodní střechy

Oblasti F/G/J se uvažují pouze pro návětrnou stranu tj. redukce se týká pouze oblastí H a I:

$$w_{e;H;sedlo} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;H;sedlo} = -0.659 \text{ kPa}$$

$$w_{e;min;I;sedlo} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;min;I;sedlo} = -0.439 \text{ kPa}$$

$$w_{e;max;I;sedlo} := q_{p;z} \cdot c_{pe;10;max;I;sedlo} = 0.146 \text{ kPa}$$

Redukované zatížení větrem v oblastech H a I:

$$0.6 \cdot w_{e;H;sedlo} = -0.396 \text{ kPa}$$

$$0.6 \cdot w_{e;min;I;sedlo} = -0.264 \text{ kPa}$$

$$0.6 \cdot w_{e;max;I;sedlo} = 0.088 \text{ kPa}$$

Minimální výsledná vodorovná síla od zatížení větrem:

- minimální součinitel drsnosti = 0,05

- plocha základny vícelodní střechy $A_{Shead} := 67.5 \text{ m} \cdot 64 \text{ m} = (4.32 \cdot 10^3) \text{ m}^2$

- maximální dynamický tlak $q_{p;z} = 0.732 \text{ kPa}$

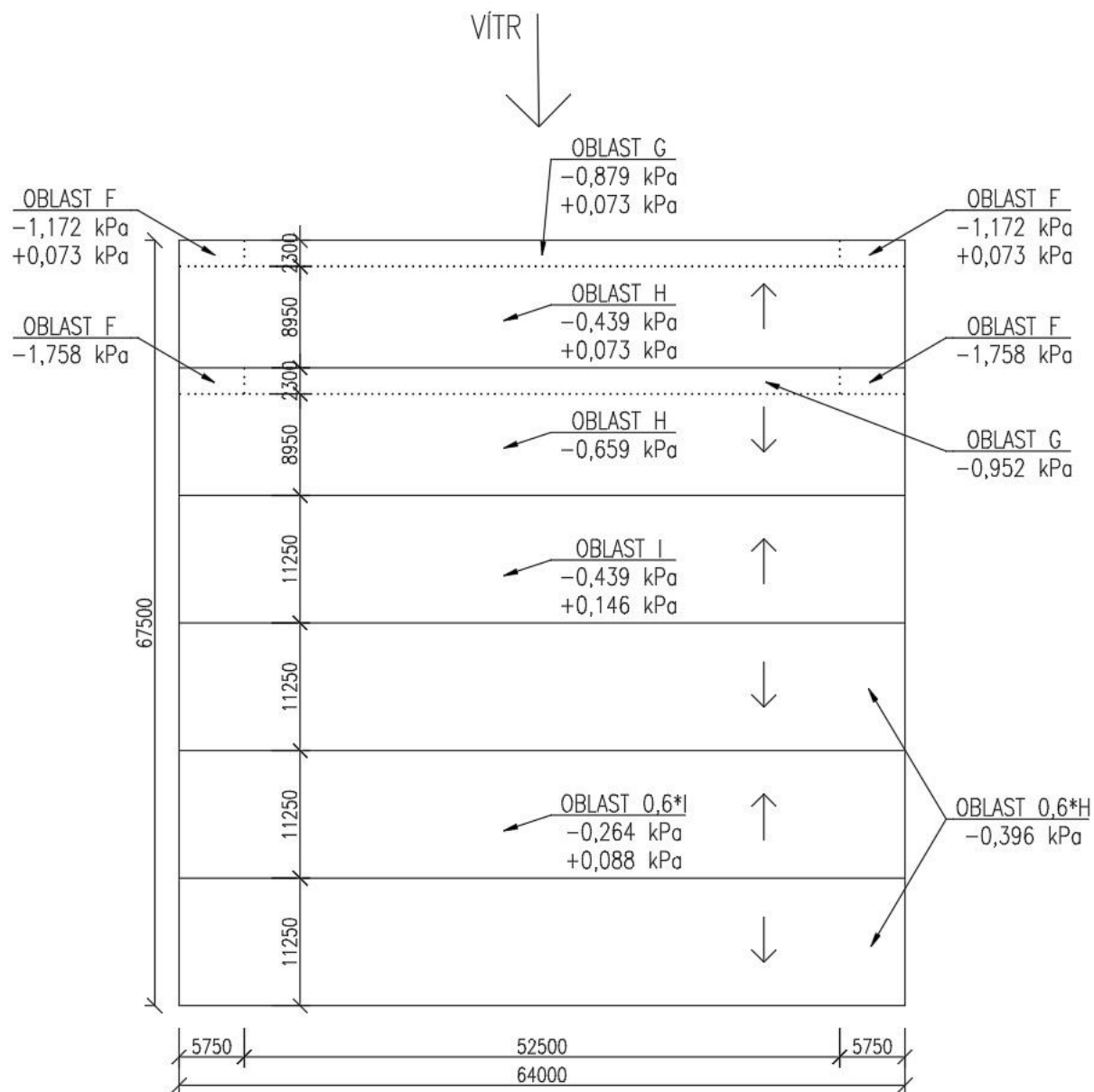
$$H_{min} := 0.05 \cdot q_{p;z} \cdot A_{Shead} = 158.214 \text{ kN}$$

Výsledná minimální vodorovná síla:

$$H_{Ed} := 755.11 \text{ kN} \quad (\text{ZS8 - vítr kolmo na hřeben})$$

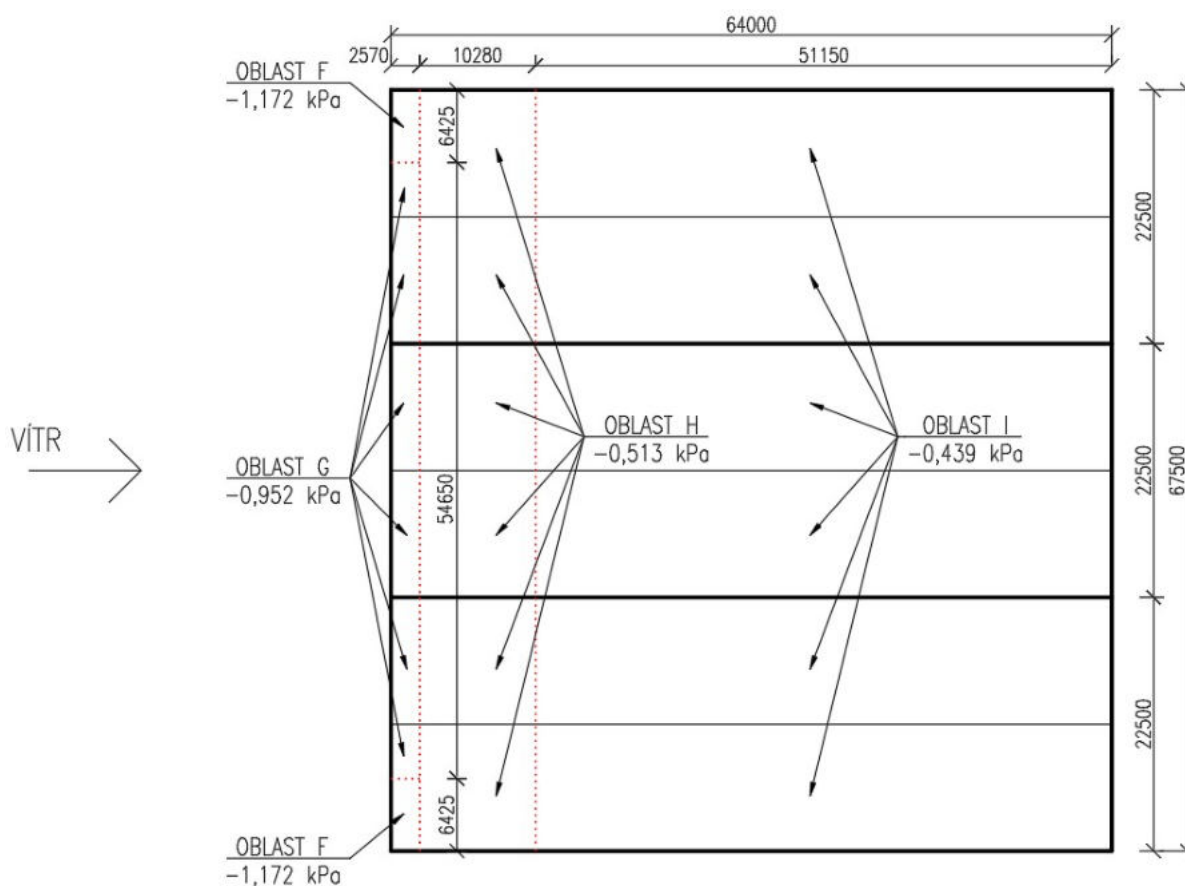
$$\frac{H_{min}}{H_{Ed}} = 0.21 \quad \square \leq 1.00 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Výsledné zatížení větrem - směr kolmo na hřeben:



Obr.49: Výsledné oblasti zatížení větrem - příčný směr

Výsledné zatížení větrem - směr rovnoběžný s hřebenem:



Obr.50: Výsledné oblasti zatížení větrem - podélný směr

5.1.3 Zatížení teplotou

Ve výpočetním modelu jsou uvažovány změny rovnoměrné složky teploty.

Rovnoměrné složky teploty:

$$\Delta T_{N;1} := 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{N;2} := -15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

5.1.4 Zatížení kompletačních konstrukcí klimatickými vlivy

5.1.4.1 Stěnové panely

- dílčí součinitel užitečného zatížení $\gamma_Q := 1.5$

- rozpětí sloupů $L = 8 \text{ m}$

- maximální charakteristické zatížení stěny vlivem větru - sání $w_{e;A} = -0.879 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

- maximální charakteristické zatížení stěny vlivem větru - tlak $w_{e;D} = 0.586 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

- návrhové zatížení stěnového panelu - sání $f_{d,sání} := w_{e,A} \cdot \gamma_Q = -1.318 \frac{kN}{m^2}$

- návrhové zatížení stěnového panelu - tlak $f_{d,tlak} := w_{e,D} \cdot \gamma_Q = 0.879 \frac{kN}{m^2}$

Výběr střešního panelu: Kingspan KS 1000AWP; tloušťka 150 mm; vertikální montáž; odstín RAL 9006; plech vnější/vnitřní 0,6/0,4 mm, profilace M/Q, S280GD; kotvení ve skrytém spoji.

Únosnost stěnového panelu Kingspan KS 1000AWP 150:

TLAK										
systém	barevná skupina	charakteristické proměnné zatížení								
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	[kN/m ²]
prostý nosník ▲ — ▲	I., II., III.	40	46	62	76	88	99	108	118	Význam hodnot v tabulce: AA min. šířka krajní podpory [mm] X,XX max. rozpon [m] BB min. šířka střední podpory [mm] Příklady začlenění odstínu do skupiny: I. barevná skupina RAL 1015, 7035, 9002, 9010 II. barevná skupina RAL 9006, 9007 III. barevná skupina RAL 8004, 3009, 5010, 6020, 7016, 3000 Připustná deformace: - pro krátkodobé zatížení L/200 - pro dlouhodobé zatížení L/100 kde L je vzdálenost mezi podporami
		13,36	10,58	8,64	7,48	6,69	6,11	5,66	5,29	
		40	40	40	51	63	74	85	95	
spojitý nosník o 2 polích ▲ — ▲ — ▲	I.	60	60	75	101	126	149	170	189	
		9,27	7,14	6,19	5,62	5,22	4,93	4,67	4,45	
	II.	40	40	40	51	63	74	85	95	
		9,27	7,14	6,19	5,62	5,22	4,93	4,67	4,45	
	III.	60	60	75	101	126	149	170	189	
		9,27	7,14	6,19	5,62	5,22	4,93	4,67	4,45	
spojitý nosník o 3 polích ▲ — ▲ — ▲ — ▲	I.	40	40	48	60	71	81	91	100	
		12,13	8,71	7,20	6,30	5,70	5,26	4,91	4,64	
	II.	60	67	95	120	142	162	182	200	
		12,13	8,71	7,20	6,30	5,70	5,26	4,91	4,64	
	III.	40	40	48	60	71	81	91	100	
		12,13	8,71	7,20	6,30	5,70	5,26	4,91	4,64	
III.	60	67	95	120	142	162	182	200		
	12,13	8,71	7,20	6,30	5,70	5,26	4,91	4,64		

SÁNÍ										
systém	barevná skupina	charakteristické proměnné zatížení								
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	[kN/m ²]
prostý nosník ▲ — ▲	I., II., III.	11,64	7,64	5,10	3,82	3,06	2,55	2,19	1,91	Význam hodnot v tabulce: X,XX max. rozpon [m] Příklady začlenění odstínu do skupiny: I. barevná skupina RAL 1015, 7035, 9002, 9010 II. barevná skupina RAL 9006, 9007 III. barevná skupina RAL 8004, 3009, 5010, 6020, 7016, 3000 Připustná deformace: - pro krátkodobé zatížení L/200 - pro dlouhodobé zatížení L/100 kde L je vzdálenost mezi podporami
		11,64	7,64	5,10	3,82	3,06	2,55	2,19	1,91	
		11,64	7,64	5,10	3,82	3,06	2,55	2,19	1,91	
spojitý nosník o 2 polích ▲ — ▲ — ▲	I.	11,34	5,36	3,53	2,69	2,21	1,89	1,66	1,48	
		10,92	4,96	3,23	2,47	2,04	1,75	1,55	1,39	
	II.	10,21	4,28	2,65	2,11	1,80	1,57	1,40	1,27	
		10,21	4,28	2,65	2,11	1,80	1,57	1,40	1,27	
	III.	11,64	6,62	4,32	3,19	2,34	1,84	1,54	1,34	
		11,64	6,62	4,32	3,19	2,34	1,84	1,54	1,34	
spojitý nosník o 3 polích ▲ — ▲ — ▲ — ▲	I.	11,64	6,62	4,32	3,19	2,34	1,84	1,54	1,34	
		11,64	6,62	4,32	3,19	2,34	1,84	1,54	1,34	
	II.	11,64	6,47	4,17	3,05	2,34	1,84	1,54	1,34	
		11,64	6,47	4,17	3,05	2,34	1,84	1,54	1,34	
	III.	11,64	6,22	3,92	2,83	2,22	1,84	1,54	1,34	
		11,64	6,22	3,92	2,83	2,22	1,84	1,54	1,34	

Obr.51: Tabulky únosnosti stěnového panelu Kingspan KS 1000AWP 150

Montáž panelů bude provedena na vodorovný rošt z C profilů v osové vzdálenosti 2m. Panel působí jako spojitý nosník o 4 polích tj. výběr je proveden pomocí tabulkové únosnosti spojitého nosníku o 3 polích. $\implies l := 2 \text{ m}$

Odstín RAL 9006

==>

II. barevná skupina

Maximální vzdálenost podpor při charakteristickém proměnném zatížení $1,00 \text{ kN/m}^2$ vlivem sání větru:

$$l_{max} := 3.05 \text{ m}$$

Minimální šířka krajní a střední podpory panelu (pásnice C profilu):

$$b_{min;kraj} := 48 \text{ mm}$$

$$b_{min;střed} := 95 \text{ mm}$$

Posouzení únosnosti panelu:

$$\frac{l}{l_{max}} = 0.656 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Zatěžovací šířka:

$$Z\check{S} := l = 2 \text{ m}$$

Zatěžovací délka tj. vzdálenost vazeb :

$$ZL := L = 8 \text{ m}$$

Výběr profilu: C 350×60×3.00; S350.

Dovolené návrhové zatížení dle tabulek únosnosti výrobce Satjam pro rozpětí 8,4 m:

$$f_{Rd} := 1.51 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Maximální návrhové zatížení vlivem větru:

$$f_{Ed,max} := -f_{d;sání} = 1.318 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Posouzení C profilu:

$$\frac{f_{Ed,max}}{f_{Rd}} = 0.873 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Maximální tlakové zatížení vlivem větru:

$$f_{Ed,max;tlak} := f_{d;tlak} = 0.879 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Požadovaná šířka tlačené pásnice pro panel Kingspan KS 1000AWP 150 při maximálním dovoleném tlakovém zatížení:

$$b_{min} := 2 \cdot b_{min;kraj} = 96 \text{ mm}$$

Maximální dovolené tlakové proměnné zatížení panelu na m^2 plochy vlivem tlaku větru:

$$f_{d,max;tlak;panel} := 0.75 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \gamma_Q = 1.125 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Využití únosnosti panelu vlivem tlaku větru:

$$využití_{tlak} := \frac{l}{l_{max}} \cdot \frac{f_{Ed,max;tlak}}{f_{d,max;tlak;panel}} = 0.512$$

Potřebná šířka podpory panelu při uvážení redukce dle využití únosnosti panelu:

$$b_{dov} := b_{min} \cdot využití_{tlak} = 49.184 \text{ mm}$$

Šířka pásnice C profilu 350×60×3.00:

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

Posouzení šířky pásnice:

$$\frac{b_{dov}}{b} = 0.82 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Výsledný návrh:

Vodorovný C profil 350x60x3.00; S350GD. Rozteč 2 m.

5.1.4.2 Střešní panely

- rozpětí vazby

$$L = 8 \text{ m}$$

- charakteristické užité zatížení střechy - kategorie H (ČSN EN 1991-1-1; NA 2.9)

$$q_k := 0.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Předpoklad - zatížení působící na ploše 10 m^2 .

- maximální charakteristické zatížení sněhem pro trvalé/dočasné návrhové situace pro okraj/hřeben a úžlabí střechy:

$$s_1 = 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad s_2 = 0.691 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- maximální charakteristické zatížení střechy vlivem sání větru:

$$w_{max;sání} := w_{e;F} = -1.172 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- návrhové zatížení panelu - vítr sání

$$f_{d;sání} := w_{e;F} \cdot \gamma_Q = -1.758 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- maximální charakteristické zatížení střechy vlivem tlaku větru:

$$w_{max;tlak} := w_{e,max;J;sedlo} = 0.146 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- návrhové zatížení panelu - vítr tlak

$$f_{d;tlak} := w_{e,max;J;sedlo} \cdot \gamma_Q = 0.22 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Hodnoty součinitelů ψ :

Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kategorie užitečných zatížení pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-1)			
Kategorie A: obytné plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: kancelářské plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: obchodní plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie E: skladovací plochy	1,0	0,9	0,8
Kategorie F: dopravní plochy tíha vozidla ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: dopravní plochy 30 kN < tíha vozidla ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H: střechy	0	0	0
Zatížení sněhem (viz EN 1991-1-3)*)			
Finsko, Island, Norsko, Švédsko	0,7	0,5	0,2
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H > 1\,000$ m n.m.	0,7	0,5	0,2
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H \leq 1\,000$ m n.m.	0,5	0,2	0
Zatížení větrem (viz EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Teplota (ne od požáru) pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0

Obr.52: Hodnoty kombinačních součinitelů

Rozhodující kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti střešních panelů:

- 1) stálé zatížení + užité zatížení + ψ_0 * sníh + ψ_0 * vítr - maximální tlak
- 2) minimální stálé zatížení + vítr - maximální sání

Dílčí a kombinační součinitele zatížení:

- dílčí součinitel stálého nepříznivého zatížení $\gamma_{G;sup} := 1.35$
- dílčí součinitel stálého příznivého zatížení $\gamma_{G;inf} := 1.00$
- dílčí součinitel proměnného nepříznivého zatížení $\gamma_{Q;sup} := 1.50$
- dílčí součinitel proměnného příznivého zatížení $\gamma_{Q;inf} := 0.00$
- kombinační součinitel pro zatížení sněhem $\psi_{0;1} := 0.5$
- kombinační součinitel pro zatížení větrem $\psi_{0;2} := 0.6$

Kombinace č. 1 - charakteristické proměnné zatížení pro výběr panelu tj. bez stálého zatížení:

$$f_{Q;tlak;k} := q_k + \psi_{0;1} \cdot s_2 + \psi_{0;2} \cdot w_{max;tlak} = 1.183 \frac{kN}{m^2}$$

Kombinace č. 2 - charakteristické proměnné zatížení pro výběr panelu tj. bez stálého zatížení:

$$f_{Q;sání;k} := w_{max;sání} = -1.172 \frac{kN}{m^2}$$

Výběr střešního panelu: Kingspan KS1000 RW 160; exteriérový plech 0,5 mm, S320GD profilace „trapéz“; interiérový plech 0,4 mm, S280GD profilace Q „minibox“; odstín RAL 9006

Vlastní tíha panelu: $g_{panel,k} := 0.14 \frac{kN}{m^2}$

Odstín RAL 9006 ==> II. barevná skupina

Únosnost panelu Kingspan KS1000 RW 160 vlivem tlaku:

statický systém	barevná skupina	charakteristické proměnné zatížení sněhem [kN/m ²]																			
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00
prostý nosník	I, II, III (f)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
		9,05	7,75	6,58	5,55	4,78	4,16	3,64	3,21	2,82	2,49	2,20	1,95	1,75	1,58	1,44	1,33	1,24	1,16	1,09	1,03
spojitý nosník o 2 polích	I, II, III (f)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
		7,80	5,51	4,35	3,64	3,16	2,80	2,53	2,32	2,15	2,00	1,88	1,78	1,69	1,58	1,44	1,33	1,24	1,16	1,09	1,03
spojitý nosník o 3 polích	I, II, III (f)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
		8,75	6,14	4,81	4,00	3,45	3,06	2,76	2,52	2,33	2,18	2,04	1,93	1,75	1,58	1,44	1,33	1,24	1,16	1,09	1,03

Obr.53: Tabulky únosnosti střešního panelu Kingspan KS1000 RW 160 vlivem tlaku větru

Únosnost panelu Kingspan KS1000 RW 160 vlivem sání:

statický systém	barevná skupina	charakteristické proměnné zatížení, SÁNÍ větru [kN/m ²]																			
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00
prostý nosník	I (f)	9,50	9,50	7,58	6,46	5,72	5,19	4,79	4,47	4,21	3,99	3,80	3,63	3,49	3,36	3,25	3,15	3,05	2,96	2,89	2,82
	II (f)	9,50	9,50	7,58	6,46	5,72	5,19	4,79	4,47	4,21	3,99	3,80	3,63	3,49	3,36	3,25	3,15	3,05	2,96	2,89	2,82
	III (f)	9,50	8,59	7,51	6,46	5,72	5,19	4,79	4,47	4,21	3,99	3,80	3,63	3,49	3,36	3,25	3,15	3,05	2,96	2,89	2,82
spojitý nosník o 2 polích	I (f)	10,83	7,85	5,29	4,10	3,41	2,95	2,62	2,36	2,16	2,00	1,86	1,75	1,65	1,56	1,48	1,42	1,36	1,30	1,25	1,21
	II (f)	10,83	7,27	4,89	3,80	3,18	2,76	2,46	2,24	2,05	1,90	1,78	1,67	1,58	1,50	1,43	1,37	1,31	1,26	1,21	1,17
	III (f)	10,83	6,34	4,28	3,37	2,85	2,50	2,25	2,06	1,90	1,77	1,66	1,57	1,49	1,42	1,36	1,30	1,25	1,20	1,16	1,12
spojitý nosník o 3 polích	I (f)	13,99	9,30	6,20	4,73	3,86	3,29	2,89	2,58	2,35	2,16	2,00	1,87	1,76	1,67	1,58	1,51	1,45	1,39	1,34	1,29
	II (f)	14,00	8,90	5,90	4,49	3,67	3,13	2,75	2,46	2,24	2,07	1,92	1,80	1,70	1,61	1,53	1,46	1,40	1,35	1,30	1,25
	III (f)	14,00	8,27	5,44	4,13	3,38	2,89	2,54	2,29	2,10	1,94	1,81	1,70	1,61	1,53	1,46	1,40	1,34	1,29	1,24	1,20

Obr.54: Tabulky únosnosti střešního panelu Kingspan KS1000 RW 160 vlivem sání větru

Maximální vzdálenost podpor při charakteristickém proměnném zatížení 1,25 kN/m² vlivem tlaku na střešní plášť:

$$l_{max} := 3.45 \text{ m}$$

Montáž panelů bude provedena na vaznice tvořené Z profily v osové vzdálenosti 3 m. Panel působí jako sponitý nosník o 8 polích tj. výběr je proveden pomocí tabulkové únosnosti spojitého nosníku o 5 polích. ==> $l := 3 \text{ m}$

Minimální šířka krajní a střední podpory panelu (pásnice C profilu):

$$b_{min,kraj} := 40 \text{ mm}$$

$$b_{min,střed} := 60 \text{ mm}$$

Posouzení únosnosti panelu:

$$\frac{l}{l_{max}} = 0.87 \quad \blacksquare \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Návrhové proměnné zatížení vaznice vlivem tlaku na střešní plášť tj. kombinace č. 1 (bez vlastní tíhy vaznice):

$$f_{tlak;d} := g_{panel;k} \cdot \gamma_{G;sup} + q_k \cdot \gamma_{Q;sup} + \psi_{0;1} \cdot s_2 \cdot \gamma_{Q;sup} + \psi_{0;2} \cdot w_{max;tlak} \cdot \gamma_{Q;sup} = 1.964 \frac{kN}{m^2}$$

Návrhové proměnné zatížení vaznice vlivem sání tj. kombinace č. 2 (bez vlastní tíhy vaznice):

$$f_{sání;d} := g_{panel;k} \cdot \gamma_{G;inf} + w_{max;sání} \cdot \gamma_{Q;sup} = -1.618 \frac{kN}{m^2}$$

Výběr profilu: Profil Z 300×75/65×2.50; S350 splňující požadovanou minimální šířku pásnice. Krajiní pole zasílená druhým profilem.

Dovolené návrhové zatížení dle tabulek únosnosti výrobce Satjam pro rozpětí 8,4 m (spojitý nosník o pěti polích):

$$f_{Rd} := 2.05 \frac{kN}{m^2}$$

Maximální návrhové zatížení vlivem větru:

$$f_{Ed,max} := f_{tlak;d} = 1.964 \frac{kN}{m^2}$$

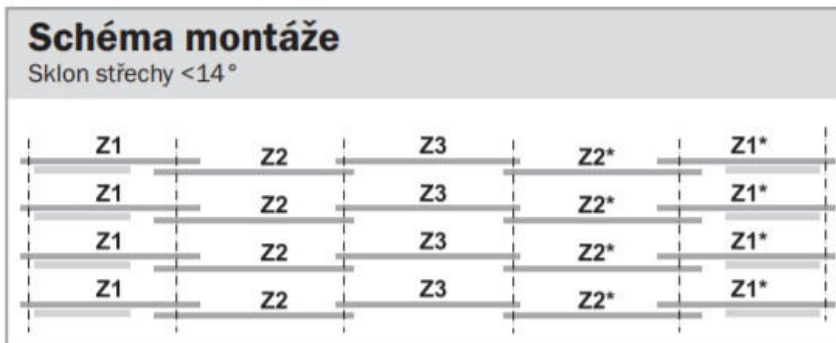
Posouzení Z profilu:

$$\frac{f_{Ed,max}}{f_{Rd}} = 0.958 \quad \blacksquare \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Výsledný návrh:

Vaznice profil Z 300×75/65×2.50; S350 montována jako spojitý nosník. Krajiní pole vyztužena přiložením druhého nosníku a jejich následným spojením. Rozteč vaznic 3 m.

Schéma vytvoření spojitě vaznice spojením jednotlivých Z profilů:



Obr.55: Schéma vytvoření spojitě vaznice ze Z profilů Satjam

Pole Z1 - horní pásnice široká (75 mm) vyztužená obráceným Z profilem délky 0,8 násobku rozpětí pole tj. 6,4 m - začátek 50 mm od osy štítové příčle; přesah 960 mm

Pole Z2 - horní pásnice úzká (65 mm); přesah směrem k Z1 - 1200 mm; přesah směrem k Z3 - 800 mm

Pole Z3 - horní pásnice široká; oboustranný přesah 800 mm

Alt. pole Z4 - horní pásnice úzká; oboustranný přesah 800 mm

Ostatní pole stejná symetricky od středu haly (4. pole) s prohozením úzké a široké pásnice.

5.2 ZATÍŽENÍ JEŘÁBOVOU DRÁHOU (od dominantních skupin zatížení)

5.2.1 Od skupiny zatížení č.1

Účinky svislých tlaků kol skupiny zatížení č. 1:

- pro první větev dráhy:

$$F_{1;1;k} := \varphi_1 \cdot Q_{C;r;max} + \varphi_2 \cdot Q_{H;r;max} = 173.188 \text{ kN}$$

- pro druhou větev dráhy:

$$F_{1;2;k} := \varphi_1 \cdot Q_{C;r;ImaxI} + \varphi_2 \cdot Q_{H;r;ImaxI} = 55.764 \text{ kN}$$

- maximální svislé zatížení sloupu 1. větví jedné jeřábové dráhy:

$$F_{1;max1;sloup;k} := F_{1;1;k} + \frac{F_{1;1;k}}{L} \cdot (L - a) = 251.122 \text{ kN}$$

, kde: - rozpětí nosníku JD: $L = 8 \text{ m}$
- rozvor kol JD: $a = 4.4 \text{ m}$

- minimální svislé zatížení sloupu 2. větví jedné jeřábové dráhy:

$$F_{1;min2;sloup;k} := F_{1;2;k} + \frac{F_{1;2;k}}{L} \cdot (L - a) = 80.858 \text{ kN}$$

Vodorovná příčná charakteristická síla působící na sloup, vzniklá rozjezdem jeřábu:

$$F_{1;1;H90;k} := \varphi_5 \cdot H_{T;1} = 23.332 \text{ kN}$$

$$F_{1;2;H90;k} := \varphi_5 \cdot H_{T;2} = 7.991 \text{ kN}$$

Vodorovná podélná charakteristická síla působící na sloup, vznikající zrychlením/bržděním jeřábu:

$$F_{1;H0;k} := \varphi_5 \cdot H_{L;i} = 13.4 \text{ kN}$$

5.2.2 Od skupiny zatížení č.5

Účinky svislých tlaků kol skupiny zatížení č. 5:

- pro první větev dráhy:

$$F_{5;1;k} := \varphi_4 \cdot Q_{C;r;max} + \varphi_4 \cdot Q_{H;r;max} = 146.096 \text{ kN}$$

- pro druhou větev dráhy:

$$F_{5;2;k} := \varphi_4 \cdot Q_{C;r;ImaxI} + \varphi_4 \cdot Q_{H;r;ImaxI} = 50.037 \text{ kN}$$

- maximální svislé zatížení sloupu 1. větví jedné jeřábové dráhy:

$$F_{5;max;sloup;k} := F_{5;1;k} + \frac{F_{5;1;k}}{L} \cdot (L - a) = 211.839 \text{ kN}$$

, kde: - rozpětí nosníku JD: $L = 8 \text{ m}$
 - rozvor kol JD: $a = 4.4 \text{ m}$

- minimální svislé zatížení sloupu 2. větví jedné jeřábové dráhy:

$$F_{5;min;sloup;k} := F_{5;2;k} + \frac{F_{5;2;k}}{L} \cdot (L - a) = 72.554 \text{ kN}$$

Vodorovná příčná charakteristická síla působící na sloup, vzniklá přičením jeřábu:

$$F_{5;1;H90;k} := H_{S;1;1;T} = 15.011 \text{ kN}$$

$$F_{5;2;H90;k} := H_{S;2;1;T} = 43.829 \text{ kN}$$

5.2 IMPERFEKCE

5.2.1 Celkové počáteční naklonění konstrukce

- základní hodnota: $\Phi_0 := \frac{1}{200} \cdot m$

- výška sloupu: $h := 11.5 \text{ m}$

- redukční součinitel v závislosti na výšce sloupu:

$$\alpha_h := \frac{2}{\sqrt{h \cdot m^{-1}}} = 0.59 \quad \|\wedge\| \quad \frac{2}{3} \quad \|\leq\| \quad \alpha_h \quad \|\leq\| \quad 1.00$$

$$\implies \alpha_h := \frac{2}{3}$$

- počet sloupů v řadě:

$$m := 4$$

- redukční součinitel v závislosti na počtu sloupů v řadě:

$$\alpha_m := \sqrt{0.5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 0.791$$

Celkové počáteční naklonění konstrukce:

$$\Phi := \Phi_0 \cdot \alpha_n \cdot \alpha_m = 2.635 \text{ mm}$$

Náklon rámové konstrukce je zohledněn v modelu vytvořeném pomocí softwaru SCIA Engineer 19.1, při výpočtu nelineárních kombinací.

6. KOMBINACE ZATÍŽENÍ HALY

6.1 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Zatěžovací stav		KOMBINACE ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ																				
		Kombinace																				
		CO1	CO2	CO3	CO4	CO5	CO6	CO7	CO8	CO9	CO10	CO11	CO12	CO13	CO14	CO15	CO16	CO17	CO18	CO19	CO20	CO21
		<i>Dílčí součinitele zatížení</i>																				
		<i>Kombinační součinitel zatížení</i>																				
ZS1	Vlastní tíha nosné k-ce haly	1,00	1,00	1,35	1,35	1,35	1,00	1,00	1,00	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
ZS2	Vlastní tíha opláštění; pazdůlků a vaznic	1,00	1,00	1,35	1,35	1,35	1,00	1,00	1,00	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
ZS3	Užitné zatížení - kategorie H (plocha působení do 10 m ²)			1,50	1,50	1,50	1,50			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZS4	Sníh			0,50	0,50	0,50	0,50			1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
ZS5	Vítr kolmo na hřeben - minimum všech oblastí																					
ZS6	Vítr kolmo na hřeben - minimum oblasti F;G;H + maximum I;J																					
ZS7	Vítr kolmo na hřeben - maximum všech oblastí																					
ZS8	Vítr kolmo na hřeben - maximum oblasti F;G;H + minimum I;J																					
ZS9	Vítr rovnoběžně s hřebenem (sání)																					
ZS10	Jeřáb krajní - skupina zatížení č. 1																					
ZS11	Jeřáb krajní + prostřední - skupina zatížení č. 1																					
ZS12	Jeřáb krajní - skupina zatížení č. 5																					
ZS13	Jeřáb prostřední - skupina zatížení č. 5																					
ZS14	Jeřáb krajní - skupina zatížení č. 9																					
ZS15	Jeřáb prostřední - skupina zatížení č. 9																					

Obr.56: Tabulka kombinací MSÚ

U všech kombinací je v modelu konstrukce uvažováno teplotní zatížení. Teplotní zatížení způsobené změnou rovnoměrné složky teploty $\Delta T_{N;1} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ je u kombinací značeno dodatkem MSÚ, případně MSP a $\Delta T_{N;2} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ značené dodatkem MSÚ2, příp. MSP2.

Příklad značení: NK CO12 - MSÚ2

(nelineární kombinace CO12 se změnou rovnoměrné složky teploty $\Delta T_{N;2}$)

6.2 **MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI**

Kombinace MSP jsou totožné s kombinacemi pro MSÚ se změnou dílčích součinitelů zatížení, které jsou v tomto případě rovny hodnotě 1,00.

7. MSP - HALA

7.1 **POSOUZENÍ SPLNĚNÍ MAXIMÁLNÍCH DEFORMACÍ NOSNÉ KONSTRUKCE PRO SPLNĚNÍ POŽADAVKŮ JEŘÁBOVÉ DRÁHY (viz kapitola 4.1)**

7.1.1 Vodorovný příčný posuv rámu v úrovni podepření jeřábu

Maximální vodorovný posuv rámu v úrovni podepření jeřábu:

$$\delta_{y;2;max} = 21.763 \text{ mm}$$

Vypočtená hodnota vodorovného posuvu rámu v úrovni podepření jeřábu (nelineární kombinace NK_CO13):

$$\delta_{y;2;Ed} := 18.5 \text{ mm}$$

1D deformace

Hodnoty: u_x

Nelineární výpočet

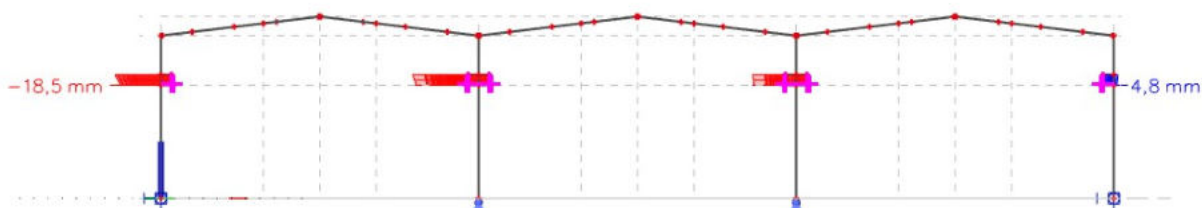
Nelineární kombinace: NK_CO13 -

MSP

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Globální

Výběr: B196..B249, B322..B375



Obr.57: Výsledná vodorovná deformace v místě vrcholu kolejnice JD

$$\frac{\delta_{y;2;Ed}}{\delta_{y;2;max}} = 0.85 \quad \square \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

7.1.2 Vodohorový rozdíl mezi příčnými posuvy sousedních rámců podepírající nosníky jeřabové dráhy uvnitř budovy

Výsledné posuvy rámových vazeb v úrovni vrcholu kolejnice jeřabové dráhy zobrazených po jednotlivých traktech:

1. Trakt

1D deformace

Hodnoty: u_x

Nelineární výpočet

Nelineární kombinace: NK_CO13 -

MSP

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Dílec

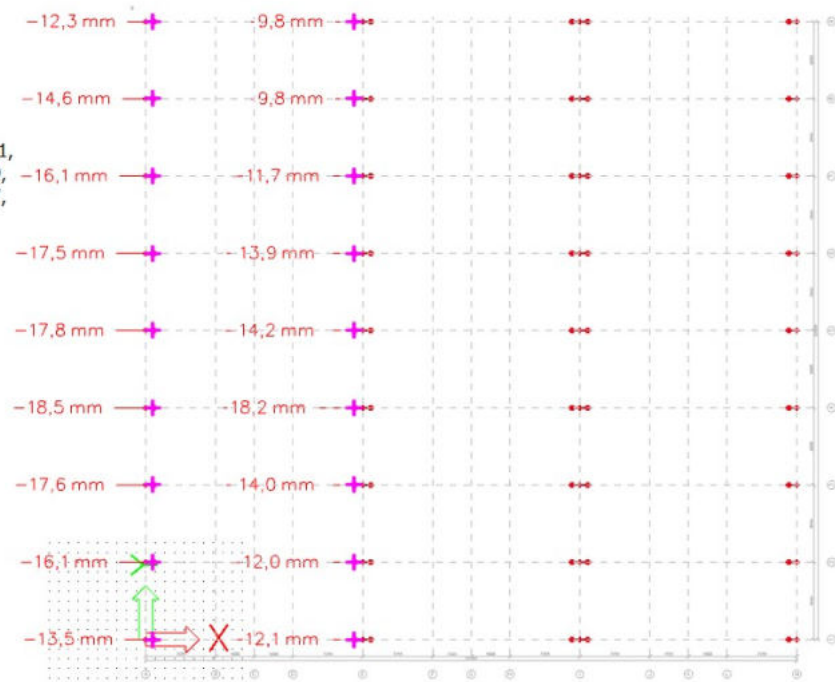
Výběr: B198, B199, B205, B206, B211,

B212, B217, B218, B223, B224, B229,

B230, B235, B236, B241, B242, B247,

...

Vybrané řezy: Zadané řezy



Obr.58: Výsledné posuvy rámových vazeb v úrovni kolejnice JD - 1. trakt

2. Trakt

1D deformace

Hodnoty: u_x

Nelineární výpočet

Nelineární kombinace: NK_CO13 -

MSP

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Dílec

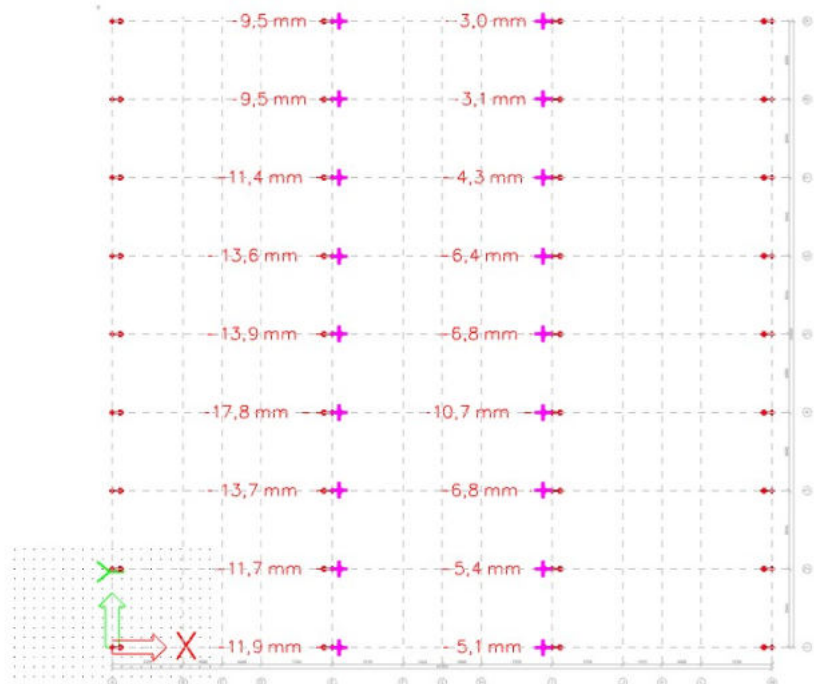
Výběr: B197, B200, B204, B207, B210,

B213, B216, B219, B222, B225, B228,

B231, B234, B237, B240, B243, B246,

...

Vybrané řezy: Zadané řezy



Obr.59: Výsledné posuvy rámových vazeb v úrovni kolejnice JD - 2. trakt

3. Trakt

1D deformace

Hodnoty: u_x

Nelineární výpočet

Nelineární kombinace: NK_CO13 -

MSP

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Dílec

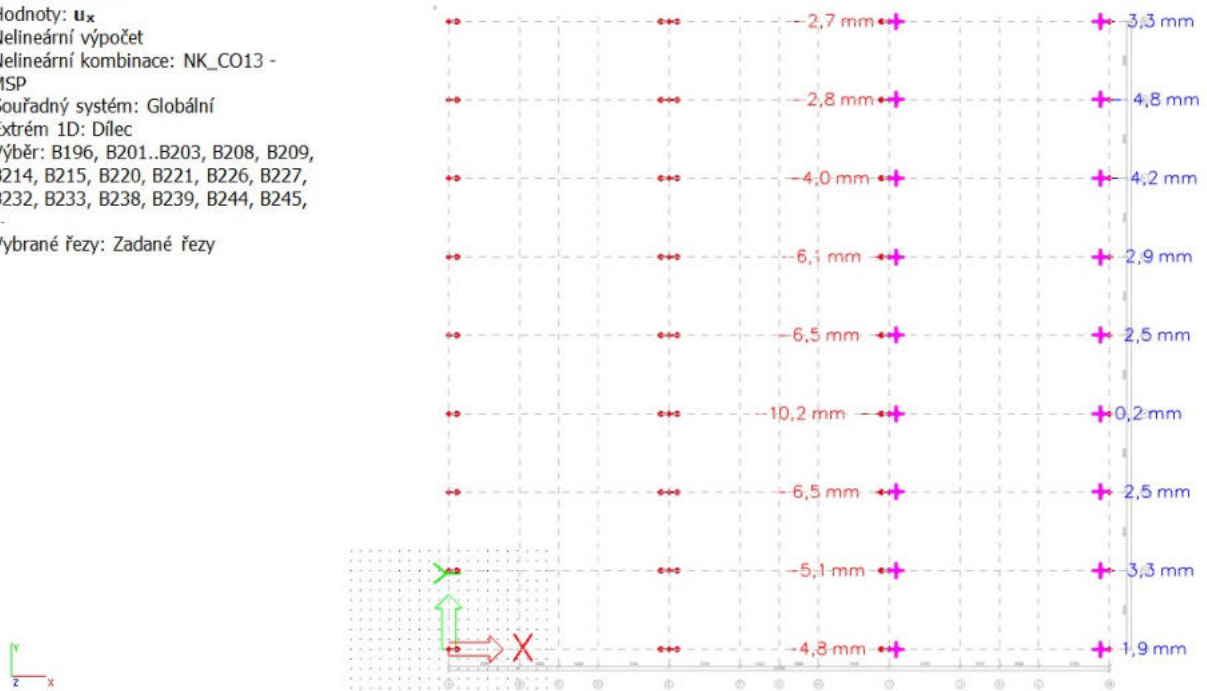
Výběr: B196, B201..B203, B208, B209,

B214, B215, B220, B221, B226, B227,

B232, B233, B238, B239, B244, B245,

...

Vybrané řezy: Zadané řezy



Obr.60: Výsledné posuvy rámových vazeb v úrovni kolejnice JD - 3. trakt

Výsledné rozdíly posuvu sousedních rámových vazeb v úrovni vrcholu kolejnice jeřábové dráhy s určením maximálního rozdílu:

Strana	Číslo traktu (zleva)												
	1		Vzdálenost od předchozí vazby		2		Vzdálenost od předchozí vazby		3		Vzdálenost od předchozí vazby		
	Levá	Pravá	Levá	Pravá	Levá	Pravá	Levá	Pravá	Levá	Pravá	Levá	Pravá	
Číslo rámové vazby (od spodu)	1	-12,3	-9,8			-9,5	-3,0			-2,7	3,3		
	2	-14,6	-9,8	2,3	0,0	-9,5	-3,1	0,0	0,1	-2,8	4,8	0,1	1,5
	3	-16,1	-11,7	1,5	1,9	-11,4	-4,3	1,9	1,2	-4,0	4,2	1,2	0,6
	4	-17,5	-13,9	1,4	2,2	-13,6	-6,4	2,2	2,1	-6,1	2,9	2,1	1,3
	5	-17,8	-14,2	0,3	0,3	-13,9	-6,8	0,3	0,4	-6,5	2,5	0,4	0,4
	6	-18,5	-18,2	0,7	4,0	-17,8	-10,7	3,9	3,9	-10,2	0,2	3,7	2,3
	7	-17,6	-14,0	0,9	4,2	-13,7	-6,8	4,1	3,9	-6,5	2,5	3,7	2,3
	8	-16,1	-12,0	1,5	2,0	-11,7	-5,4	2,0	1,4	-5,1	3,3	1,4	0,8
	9	-13,5	-12,1	2,6	0,1	-11,9	-5,1	0,2	0,3	-4,8	1,9	0,3	1,4
Maximální hodnota v traktu [mm]			2,6	4,2			4,1	3,9			3,7	2,3	

Obr.61: Porovnání výsledných posuvů rámců v úrovni hlavy kolejnice, stanovení maximální hodnoty posuvu

Maximální vodorovný rozdíl mezi posuvy sousedních rámců:

$$\Delta\delta_{y,max} = 13.333 \text{ mm}$$

Vypočtená hodnota maximálního vodorovného rozdílu posuvu sousedních rámců (nelineární kombinace NK_CO13 - 1. a 2. rámová vazba; 1. trakt):

$$\Delta\delta_{y;Ed} := 4.2 \text{ mm}$$

Posouzení maximálního vodorovného rozdílu posuvu sousedních rámců:

$$\frac{\Delta\delta_{y;Ed}}{\Delta\delta_{y,max}} = 0.315 \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

7.1.3 Změna vzdálenosti mezi osami jeřábových nosníků včetně vlivu teplotních změn

Výsledná změna osové vzdálenosti v jednotlivých rámových vazbách v úrovni vrcholu koleinice jeřábové dráhy s určením maximálního rozdílu:

Strana	Číslo traktu (zleva)										
	1		Absolutní hodnota	2		Absolutní hodnota	3		Absolutní hodnota		
	Levá	Pravá		Levá	Pravá		Levá	Pravá			
Číslo rámové vazby (od spodu)	1	-12,3	-9,8	2,5	-9,5	-3,0	6,5	-2,7	3,3	6,0	
	2	-14,6	-9,8	4,8	-9,5	-3,1	6,4	-2,8	4,8	7,6	
	3	-16,1	-11,7	4,4	-11,4	-4,3	7,1	-4,0	4,2	8,2	
	4	-17,5	-13,9	3,6	-13,6	-6,4	7,2	-6,1	2,9	9,0	
	5	-17,8	-14,2	3,6	-13,9	-6,8	7,1	-6,5	2,5	9,0	
	6	-18,5	-18,2	0,3	-17,8	-10,7	7,1	-10,2	0,2	10,4	
	7	-17,6	-14,0	3,6	-13,7	-6,8	6,9	-6,5	2,5	9,0	
	8	-16,1	-12,0	4,1	-11,7	-5,4	6,3	-5,1	3,3	8,4	
	9	-13,5	-12,1	1,4	-11,9	-5,1	6,8	-4,8	1,9	6,7	
Maximální hodnota v traktu [mm]				4,8				7,2			

Obr.62: Výsledné změny vzdálenosti mezi osami jeřábových nosníků

Maximální dovolená změna vzdálenosti mezi osami včetně vlivu teplotních změn:

$$\Delta s_{,max} = 10 \text{ mm}$$

Maximální vypočtená změna vzdálenosti os větví jeřábové dráhy se zahrnutím vlivu teplotních změn (4. rámová vazba; 3. trakt - (nelineární kombinace NK_CO13):

$$\Delta s_{,Ed} := 10.4 \text{ mm}$$

$$\frac{\Delta s_{,Ed}}{\Delta s_{,max}} = 1.04 \geq 1.0 \quad \Rightarrow \text{NEVYHOVUJE}$$

Dle normy ČSN EN 1993-6 je možné v případě překročení dané deformace dohodnout s dodavatelem a investorem jeřábové dráhy navýšení limitní hodnoty průhybu. Vzhledem k ekonomickému hledisku a velikosti překročení mezní deformace bude provedena dohoda s dodavatelem a objednavatelem jeřábové dráhy o navýšení limitní hodnoty deformace na 11 mm.

$$\Rightarrow \Delta s_{,max2} := 11 \text{ mm}$$

$$\frac{\Delta s_{,Ed}}{\Delta s_{,max2}} = 0.945 \geq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8. MSÚ - HALA

8.1 RÁMOVÝ SLOUP - krajní; pro vnitřní vazbu

8.1.1 Průřez sloupu; charakteristiky

- předpokládaný průřez HEA 800

• plocha průřezu	$A_{HEA800} := 0.0286 \text{ m}^2$
• smyková plocha průřezu ve směru osy y	$A_{vy;HEA800} := 0.01648 \text{ m}^2$
• smyková plocha průřezu ve směru osy z	$A_{vz;HEA800} := 0.01202 \text{ m}^2$
• elastický modul průřezu k ose y-y	$W_{el;y;HEA800} := 0.00768 \text{ m}^3$
• elastický modul průřezu k ose z-z	$W_{el;z;HEA800} := 0.000843 \text{ m}^3$
• plastický modul průřezu k ose y-y	$W_{pl;y;HEA800} := 0.008708 \text{ m}^3$
• plastický modul průřezu k ose z-z	$W_{pl;z;HEA800} := 0.0013125 \text{ m}^3$
• moment setrvačnosti průřezu k ose y-y	$I_{y;HEA800} := 0.00303 \text{ m}^4$
• moment setrvačnosti průřezu k ose z-z	$I_{z;HEA800} := 0.000126 \text{ m}^4$
• moment tuhosti v prostém kroucení	$I_t;HEA800 := 5.97 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$
• výsečový moment setrvačnosti	$I_{\omega;HEA800} := 18.29 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$
• výška průřezu	$h_{HEA800} := 790 \text{ mm}$
• šířka průřezu	$b_{HEA800} := 300 \text{ mm}$
• tloušťka stojiny	$t_w;HEA800 := 15 \text{ mm}$
• tloušťka pásnice	$t_f;HEA800 := 28 \text{ mm}$
• poloměr zaoblení pásnice/stojina	$r_{HEA800} := 30 \text{ mm}$

8.1.2 Vnitřní síly (rozhodující nelineární kombinace NK-CO12 MSÚ)

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

Nelineární výpočet

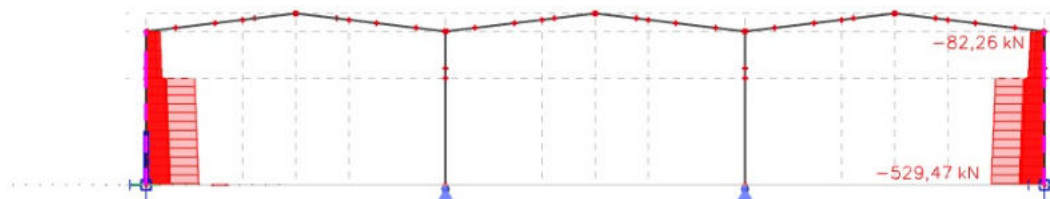
Nelineární kombinace: NK_CO12 -

MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1..B9, B29..B37



Obr.63: Výsledné normálové síly pro návrh krajního sloupu rámové vazby

1D vnitřní sílyHodnoty: V_y

Nelineární výpočet

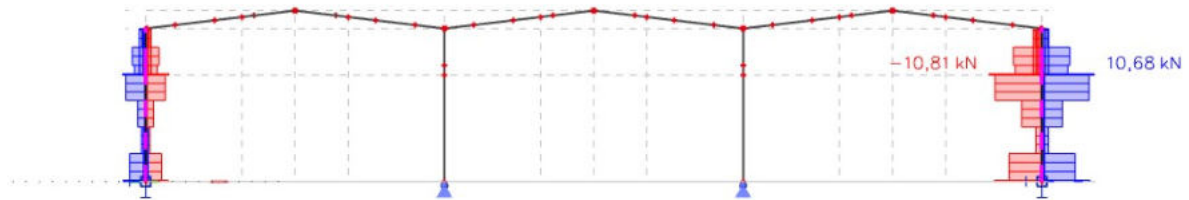
Nelineární kombinace: NK_CO12 -

MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1..B9, B29..B37



Obr.64: Výsledné posouvající síly pro návrh krajního sloupu rámové vazby - směr y-y

Posouvající síly ve směru y-y vykresleny v rovině obrazovky.

1D vnitřní sílyHodnoty: V_z

Nelineární výpočet

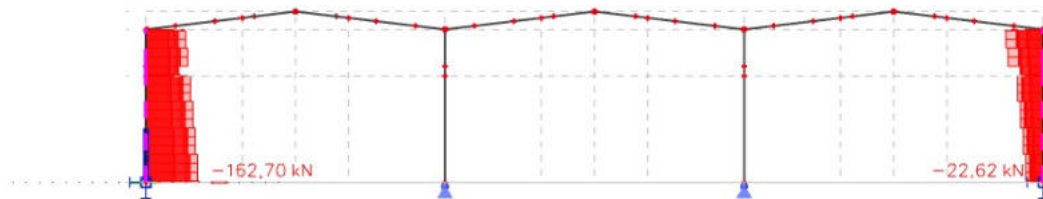
Nelineární kombinace: NK_CO12 -

MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1..B9, B29..B37



Obr.65: Výsledné posouvající síly pro návrh krajního sloupu rámové vazby - směr z-z

1D vnitřní sílyHodnoty: M_x

Nelineární výpočet

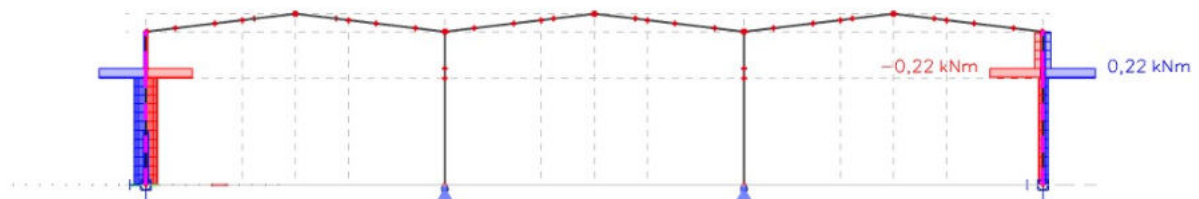
Nelineární kombinace: NK_CO12 -

MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1..B9, B29..B37



Obr.66: Výsledné kroučící momenty pro návrh krajního sloupu rámové vazby

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_y

Nelineární výpočet

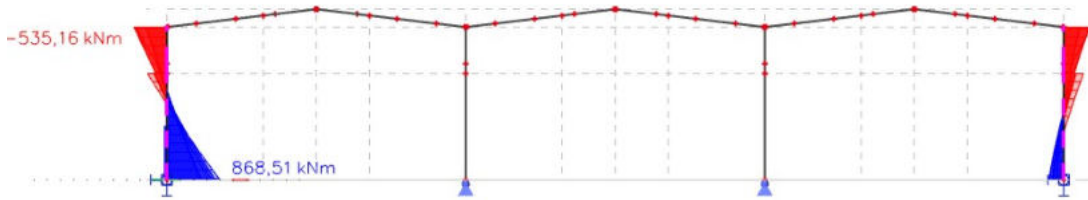
Nelineární kombinace: NK_CO12 -

MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1..B9, B29..B37



Obr.67: Výsledné ohybové momenty kolem osy y-y pro návrh krajního sloupu rámové vazby

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_z

Nelineární výpočet

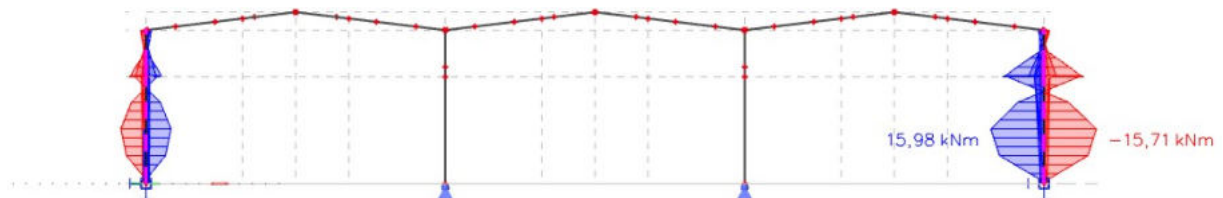
Nelineární kombinace: NK_CO12 -

MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1..B9, B29..B37



Obr.68: Výsledné ohybové momenty kolem osy z-z pro návrh krajního sloupu rámové vazby

Ohybové momenty kolem osy z-z vykresleny v rovině obrazovky.

$$N_{Ed;1} := 529.47 \text{ kN}$$

$$V_{y;Ed;1} := 10.81 \text{ kN}$$

$$V_{z;Ed;1} := 162.70 \text{ kN}$$

$$M_{x;Ed;1} := 0.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y;Ed;1} := 868.51 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z;Ed;1} := 15.98 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

8.1.3 Klasifikace průřezu

- ocel S235

$$f_y := 235 \text{ MPa} \quad \epsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 1$$

- pásnice - tlačená část

$$t_{f;HEA800} = 28 \text{ mm} \quad c_f := \frac{b_{HEA800} - t_{w;HEA800} - 2 \cdot r_{HEA800}}{2} = 112.5 \text{ mm}$$

- stojina - tlačená a ohýbaná část ($\alpha > 0,5$)

$$x := \frac{N_{Ed;1}}{t_{w;HEA800} \cdot f_y} = 150.204 \text{ mm}$$

$$\alpha := \frac{0.5 \cdot (h_{HEA800} - 2 \cdot (t_{f;HEA800} + r_{HEA800})) + x}{h_{HEA800}} = 0.617$$

$$t_{w;HEA800} = 15 \text{ mm} \quad c_w := h_{HEA800} - 2 \cdot (t_{f;HEA800} + r_{HEA800}) = 674 \text{ mm}$$

- klasifikace tlačené přečnívající části

$$\frac{c_f}{t_{f;HEA800}} = 4.018 \quad \square \leq \square \quad 9 \cdot \varepsilon = 9 \quad ==> \quad \text{TR 1}$$

- klasifikace tlačené a ohýbané vnitřní části

$$\frac{c_w}{t_{w;HEA800}} = 44.933 \quad \square \leq \square \quad \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 56.432 \quad ==> \quad \text{TR 1}$$

Průřez spadá do třídy průřezu 1. Průřez bude posuzován s využitím plastické oblasti chování materiálu.

8.1.4 Posouzení únosnosti krajního sloupu vnitřní vazby

Návrhová únosnost průřezu v prostém tlaku:

$$N_{c;Rd} := \frac{A_{HEA800} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = (6.721 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Návrhová únosnost průřezu ohybem kolem osy y-y:

$$M_{pl;y;Rd} := \frac{W_{pl;y;HEA800} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = (2.046 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Návrhová únosnost průřezu ohybem kolem osy z-z:

$$M_{pl;z;Rd} := \frac{W_{pl;z;HEA800} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 308.438 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Návrhová smyková únosnost průřezu ve směru y-y:

$$V_{pl;y;Rd} := A_{vy;HEA800} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} = (2.236 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Návrhová smyková únosnost průřezu ve směru z-z:

$$V_{pl;z;Rd} := A_{vz;HEA800} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} = (1.631 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Smykové síly jsou menší než 1/2 smykové únosnosti ==> jedná se o malý smyk.

8.1.4.1 Posudek na kombinaci ohybu, osové a smykové síly

Vzhledem k malému smyku jsou smykové síly zanedbány.

Zanedbání účinku osové síly na plastický moment únosnosti při ohybu kolem osy y-y:
(ČSN EN 1993-1-1; článek 6.2.9.1)

- podmínky:

1) Dvojose symetrický I nebo H průřez.

$$2) N_{Ed;1} = 529.47 \text{ kN} \leq 0.25 \cdot N_{c;Rd} = (1.68 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$3) N_{Ed;1} = 529.47 \text{ kN} \leq \frac{0.5 \cdot h_{HEA800} \cdot t_{w;HEA800} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = (1.392 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Podmínky jsou splněny ==> Není nutné uvažovat účinek osové síly na plastický moment únosnosti kolem osy y-y.

Zanedbání účinku osové síly na plastický moment únosnosti při ohybu kolem osy z-z:
(ČSN EN 1993-1-1; článek 6.2.9.1)

- podmínky:

1) Dvojose symetrický I nebo H průřez.

$$2) N_{Ed;1} = 529.47 \text{ kN} \leq \frac{h_{HEA800} \cdot t_{w;HEA800} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = (2.785 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Podmínky jsou splněny ==> Není nutné uvažovat účinek osové síly na plastický moment únosnosti kolem osy z-z.

8.1.5 Posouzení stability krajního sloupu vnitřní vazby

8.1.5.1 Posudek rovinného vzpěru

- výška sloupu: $l_y := 11.5 \text{ m}$

- výška bočního ztužení sloupu trubkou $l_z := 8 \text{ m}$

- vzpěrná délka v rovině vybočení: $L_{cr;y} := 0.7 \cdot l_y = 8.05 \text{ m}$

$$L_{cr;z} := 1.0 \cdot l_z = 8 \text{ m}$$

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 93.9$$

- pružná kritická síla pro příslušný způsob vybočení:

$$N_{cr} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} \Rightarrow N_{cr;y} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y;HEA800}}{L_{cr;y}^2} = (9.691 \cdot 10^4) \text{ kN}$$

$$N_{cr;z} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{z;HEA800}}{L_{cr;z}^2} = (4.08 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

- poměrná štíhlost:

$$\lambda := \sqrt{\frac{A_{HEA800} \cdot f_y}{N_{cr}}} \Rightarrow \lambda_y := \sqrt{\frac{A_{HEA800} \cdot f_y}{N_{cr;y}}} = 0.263 \quad \lambda_z := \sqrt{\frac{A_{HEA800} \cdot f_y}{N_{cr;z}}} = 1.283$$

- křivka vzpěrné pevnosti:

$$\begin{array}{llll} \text{Vybočení kolmo k oce y-y} & \Rightarrow & \text{a} & \Rightarrow \alpha_y := 0.21 \\ \text{Vybočení kolmo k oce z-z} & & \text{b} & \Rightarrow \alpha_z := 0.34 \end{array}$$

$$\phi := 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2) \Rightarrow \phi_y := 0.5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2) = 0.541$$

$$\phi_z := 0.5 \cdot (1 + \alpha_z \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2) = 1.508$$

- součinitel vzpěrnosti dle ČSN EN 1993-1-1

$$\chi := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \Rightarrow \chi_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.986$$

$$\chi_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.435$$

- rozhodující součinitel vzpěru: $\chi_{min} := \chi_z = 0.435$

Vzpěrná únosnost tlačného prutu:

$$N_{b;Rd} := \frac{\chi_{min} \cdot A_{HEA800} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = (2.923 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Posouzení vzpěrné únosnosti:

$$\frac{N_{Ed;1}}{N_{b;Rd}} = 0.181 \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.1.5.2 Posudek klopení

- součinitel vzpěrné délky (jeden konec brání deplanaci):

$$k_w := 0.7$$

- výška sloupu:

$$L := 11.5 \text{ m}$$

- kritický moment (zjištěn pomocí softwaru LTBeamN viz Příloha 01):

$$M_{y;cr} := 6128.9 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- poměrná štíhlost

$$\lambda_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl;y;HEA800} \cdot f_y}{M_{y;cr}}} = 0.578$$

- součinitel imperfekce při klopení

$$\frac{h_{HEA800}}{b_{HEA800}} > 2 \implies \alpha_{LT} := 0.49 \quad (\text{křivka klopení c; tab. 6.5; CSN EN 1993-1-1})$$

- doporučené hodnoty parametrů (NP16)

$$\lambda_{LT;0} := 0.4$$

$$\beta := 0.75 \implies \phi_{LT} := 0.5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT;0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2) = 0.669$$

- součinitel klopení

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = 0.899 \quad \square \wedge \square \quad \chi_{LT} \leq 1.0 \quad \square \wedge \square \quad \chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = 2.995$$
$$\implies \chi_{LT} = 0.899$$

Návrhový moment únosnosti na klopení:

$$M_{b;Rd} := \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl;y;HEA800} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = (1.84 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Posouzení únosnosti na klopení:

$$\frac{M_{y;Ed;1}}{M_{b;Rd}} = 0.472 \quad \square \leq 1.0 \quad \implies \text{VYHOVUJE}$$

8.1.5.3 Posudek ohybu, osového tlaku a kroucení

- kroucení

- rameno působení vodorovných sil na pásnici: $e := \frac{h_{HEA800}}{2} = 0.395 \text{ m}$

- síla působící na pásnici od kroučícího momentu M_x způsobeného rozjezdem/bržděním jeřábu:

$$F_x := \frac{M_{x;Ed;1}}{2 \cdot e} = 0.278 \text{ kN}$$

- výška působení síly F_x od paty sloupu: $L_x := 8.00 \text{ m}$

- ohybový moment M_z v místě pásnice od síly F_x :

$$M_z := F_x \cdot \frac{L_x \cdot (L - L_x)}{L} = 0.678 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- bezrozměrný parametr tuhosti prutu při kroucení:

$$K_t := L \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_{t;HEA800}}{E \cdot I_{\omega;HEA800}}} = 4.08$$

- koeficienty pro typ zatížení a okrajové podmínky:

vetknutí - konzola ; obecné kroučící zatížení =>> $\alpha := 2.7$ $\beta := 1.11$

- rozdělovací parametr

$$\kappa := \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K_t}\right)^2} = 0.646$$

- bimoment:

$$B_{Ed} := M_z \cdot e \cdot (1 - \kappa) = 0.095 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

$$\omega_{max} := \frac{b_{HEA800} \cdot h_{HEA800}}{4} = 0.059 \text{ m}^2$$

$$B_{Rk} := \frac{I_{\omega;HEA800}}{\omega_{max}} \cdot f_y = 72.543 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

- součinitel vzpěrné délky:

$$k_w := 0.7 - \frac{0.2 \cdot B_{Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.7$$

- bezrozměrný parametr kroucení:

$$k_{wt} := \frac{\pi}{k_w \cdot \frac{L}{1 \text{ m}}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{z;HEA800}}{G \cdot I_{t;HEA800}}} = 2.888$$

$$k_{zw} := 1 - \frac{M_{z;Ed;1}}{W_{el;z;HEA800} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = 0.919$$

$$k_a := \frac{1}{1 - \frac{M_{y;Ed;1}}{M_{y;cr}}} = 1.165$$

- charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} := A_{HEA800} \cdot f_y = (6.721 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$M_{y;Rk} := W_{pl;y;HEA800} \cdot f_y = (2.046 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- součinitele interakce

Použita alternativní metoda 2 - dle ČSN EN 1993-1-1 - plasticitní návrh

- součinitel momentu pro C_{my} :

$$\psi := 0$$

- poměr momentů $M_{y;Ed}$:

$$\alpha_h := 0$$

$$C_{my} := 0.9 + 0.1 \cdot \alpha_h = 0.9 \quad \square \geq 0.4$$

$$\implies C_{my} = 0.9$$

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed;1}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.905 \quad \square \wedge \square \leq \square \quad C_{my} \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed;1}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.958$$

$$\implies k_{yy} = 0.905$$

- poměr momentů $M_{y;Ed}$ pro C_{mLT} :

$$\psi := \frac{-509.34}{852.24} = -0.598$$

$$C_{mLT} := 0.6 + 0.4 \cdot \psi = 0.361 \quad \square \geq 0.4$$

$$\implies C_{mLT} = 0.4$$

- součinitel momentu pro C_{mz} :

- poměr koncových momentů $M_{z;Ed}$:

$$\psi := 0$$

$$C_{mz} := 0.6 + 0.4 \cdot \psi = 0.6 \quad \square \wedge \square \geq 0.4$$

$$C_{mz} = 0.6$$

$$k_{zz} := C_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \lambda_z - 0.6) \cdot \frac{N_{Ed;1}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.814 \quad \square \wedge \square \leq \square \quad C_{mz} \cdot \left(1 + 1.4 \cdot \frac{N_{Ed;1}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.752$$

$$\implies k_{zz} := 0.74$$

$$k_{yz} := 0.6 \cdot k_{zz} = 0.444$$

- poměrná štíhlost λ_z $\lambda_z = 1.283$

$$k_{zy} := 1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed;1}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.845 \quad \square \wedge \square \leq \square \quad 1 - \frac{0.1}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed;1}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.879$$

$$\implies k_{zy} = 0.845$$

- přídavek momentu v důsledku posunu těžišťové osy:

$$\Delta M_{y;Ed;1} := 0 \quad \Delta M_{z;Ed;1} := 0$$

Posouzení na kombinaci osového tlaku a ohybu

$$\frac{N_{Ed;1}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y;Ed;1} + \Delta M_{y;Ed;1}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y;Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z;Ed;1} + \Delta M_{z;Ed;1}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z;Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_w \cdot k_{zw} \cdot k_a \cdot B_{Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.513$$

$$\square \leq 1.0 \quad \implies \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed;1}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y;Ed;1} + \Delta M_{y;Ed;1}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y;Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z;Ed;1} + \Delta M_{z;Ed;1}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z;Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_w \cdot k_{zw} \cdot k_a \cdot B_{Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.59$$

$$\square \leq 1.0 \quad \implies \text{VYHOVUJE}$$

8.1.5.4 Posudek ztráty stability od smyku

- délka stojiny: $h_{w;HEA800} := h_{HEA800} - 2 \cdot t_{f;HEA800} - 2 \cdot r_{HEA800} = 674 \text{ mm}$

- součinitel smykové korekce: $\eta := 1.2$ (pro oceli do S 460)

Štíhlost nevyztužené stojiny

$$\frac{h_{w;HEA800}}{t_{w;HEA800}} = 44.933 \quad \square \geq \square \quad \frac{72 \cdot \varepsilon}{\eta} = 60 \quad \implies \text{VYHOVUJE}$$

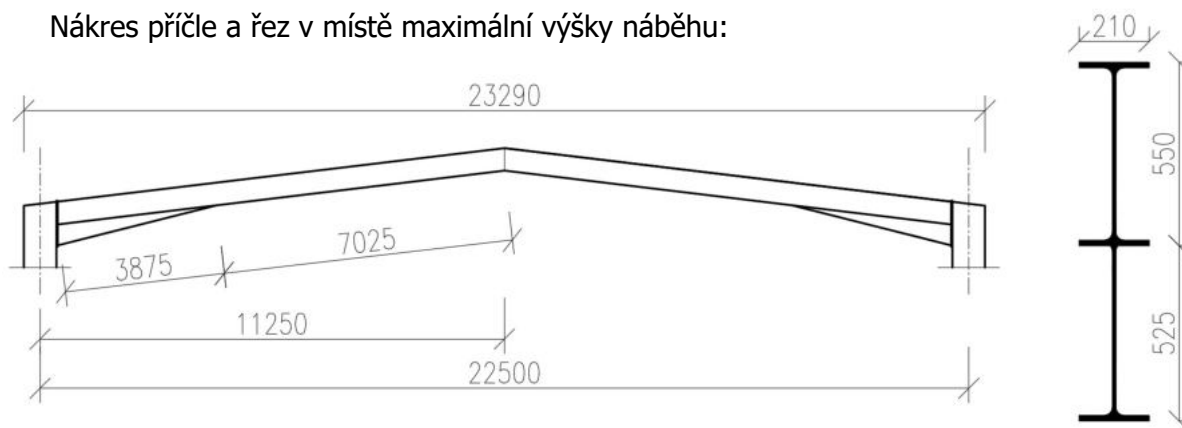
Prvek není potřeba posuzovat na ztrátu stability vlivem smyku.

8.2 RÁMOVÁ PŘÍČLE

8.2.1 Průřez příčle; charakteristiky

- předpokladaný průřez IPE 550 s rámovým náběhem z IPE 550 do vzdálenosti 35% délky ramene příčle

Nákres příčle a řez v místě maximální výšky náběhu:



Obr.69: Schéma příčle rámové vazby

Průřezové charakteristiky průřezu IPE 550

- plocha průřezu $A_{IPE550} := 0.0134 \text{ m}^2$
- smyková plocha průřezu ve směru osy y $A_{vy;IPE550} := 0.00745 \text{ m}^2$
- smyková plocha průřezu ve směru osy z $A_{vz;IPE550} := 0.00618 \text{ m}^2$
- elastický modul průřezu k ose y-y $W_{el;y;IPE550} := 0.00244 \text{ m}^3$
- elastický modul průřezu k ose z-z $W_{el;z;IPE550} := 0.000254 \text{ m}^3$
- plastický modul průřezu k ose y-y $W_{pl;y;IPE550} := 0.002787 \text{ m}^3$
- plastický modul průřezu k ose z-z $W_{pl;z;IPE550} := 0.000401 \text{ m}^3$
- moment setrvačnosti průřezu k ose y-y $I_{y;IPE550} := 0.0006712 \text{ m}^4$
- moment setrvačnosti průřezu k ose z-z $I_{z;IPE550} := 0.00002668 \text{ m}^4$
- moment tuhosti v prostém kroucení $I_{t;IPE550} := 1.23 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$
- výsečový moment setrvačnosti $I_{\omega;IPE550} := 1.884 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$
- výška průřezu $h_{IPE550} := 550 \text{ mm}$
- šířka průřezu $b_{IPE550} := 210 \text{ mm}$
- tloušťka stojiny $t_w;IPE550 := 11 \text{ mm}$
- tloušťka pásnice $t_f;IPE550 := 17 \text{ mm}$
- poloměr zaoblení pásnice/stojina $r_{IPE550} := 24 \text{ mm}$

Průřezové charakteristiky průřezu v místě maximální výšky náběhu:

- | | |
|---|--|
| • plocha průřezu | $A_{NÁBĚH} := 0.0226 \text{ m}^2$ |
| • smyková plocha průřezu ve směru osy y | $A_{vy;NÁBĚH} := 0.01099 \text{ m}^2$ |
| • smyková plocha průřezu ve směru osy z | $A_{vz;NÁBĚH} := 0.01242 \text{ m}^2$ |
| • elastický modul průřezu k ose y-y | $W_{el;y;NÁBĚH} := 0.0057209 \text{ m}^3$ |
| • elastický modul průřezu k ose z-z | $W_{el;z;NÁBĚH} := 0.0003795 \text{ m}^3$ |
| • plastický modul průřezu k ose y-y | $W_{pl;y;NÁBĚH} := 0.00694 \text{ m}^3$ |
| • plastický modul průřezu k ose z-z | $W_{pl;z;NÁBĚH} := 0.000603 \text{ m}^3$ |
| • moment setrvačnosti průřezu k ose y-y | $I_{y;NÁBĚH} := 0.0031137 \text{ m}^4$ |
| • moment setrvačnosti průřezu k ose z-z | $I_{z;NÁBĚH} := 0.0000398 \text{ m}^4$ |
| • moment tuhosti v prostém kroucení | $I_{t;NÁBĚH} := 1.53 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$ |
| • výsečový moment setrvačnosti | $I_{\omega;NÁBĚH} := 7.38 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$ |
| • výška průřezu | $h_{NÁBĚH} := 1075 \text{ mm}$ |
| • šířka průřezu | $b_{NÁBĚH} := 210 \text{ mm}$ |
| • tloušťka stojiny | $t_{w;NÁBĚH} := 11 \text{ mm}$ |
| • tloušťka pásnice | $t_{f;NÁBĚH} := 17 \text{ mm}$ |
| • poloměr zaoblení pásnice/stojina | $r_{NÁBĚH} := 24 \text{ mm}$ |

8.2.2.1 Vnitřní síly (rozhodující nelineární kombinace NK-CO13 MSÚ2)

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

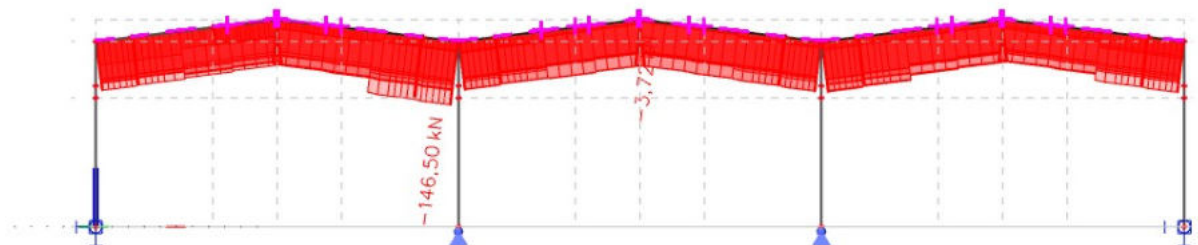
Nelineární výpočet

Nelineární kombinace: NK_CO13 - MSÚ2

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

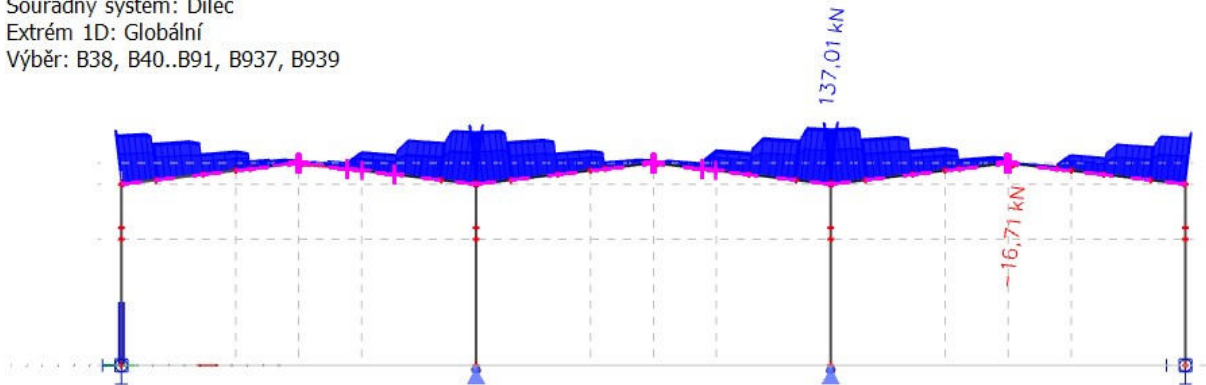
Výběr: B38, B40..B91, B937, B939



Obr.70: Výsledné normálové síly pro návrh příčle rámové vazby

1D vnitřní síly

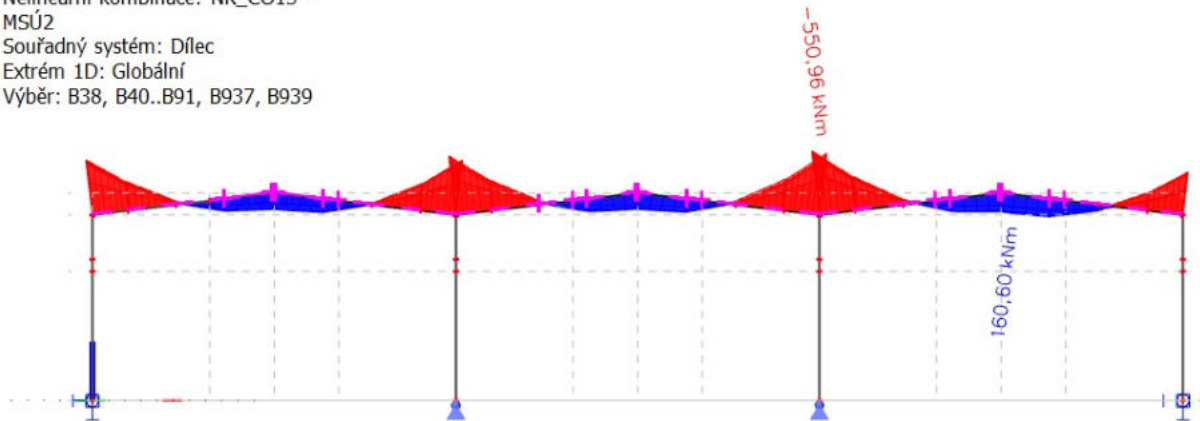
Hodnoty: V_z
Nelineární výpočet
Nelineární kombinace: NK_CO13 - MSÚ2
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Globální
Výběr: B38, B40..B91, B937, B939



Obr.71: Výsledné posouvající síly pro návrh příčle rámové vazby - směr z-z

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_y
Nelineární výpočet
Nelineární kombinace: NK_CO13 - MSÚ2
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Globální
Výběr: B38, B40..B91, B937, B939



Obr.72: Výsledné ohybové momenty kolem osy y-y pro návrh příčle rámové vazby

Vnitřní síly:

$$N_{Ed;2} := 146.50 \text{ kN}$$

$$V_{z;Ed;2} := 137.01 \text{ kN}$$

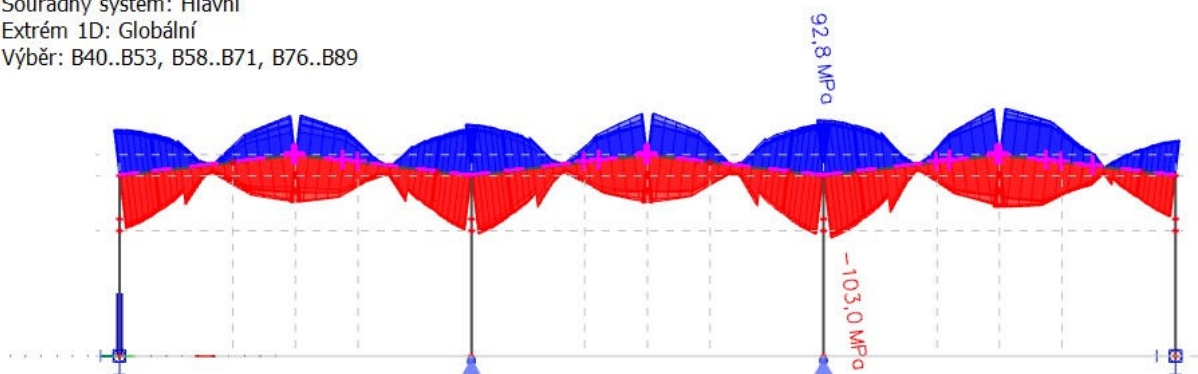
$$M_{y;Ed;2} := 550.96 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

8.2.2.2 Rozhodující průřezy (nelineární kombinace NK-CO13 MSÚ2)

Rozhodující průřezy jsou stanoveny pomocí průběhu normálového napětí. Rozhodující průřez se nachází na začátku nosníku tj. v místě IPE550 s celým náběhem.

1D napětí

Hodnoty: σ_x
 Nelineární výpočet
 Nelineární kombinace: NK_CO13 - MSÚ2
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: B40..B53, B58..B71, B76..B89



Obr.73: Výsledná maximální napětí v krajních vláknech průřezu přičle

8.2.3 Klasifikace průřezu

- ocel S235

$$f_y := 235 \text{ MPa} \quad \varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 1$$

Průřez tvořený samostatným IPE 550:

- pásnice - tlačená část

$$t_{f, IPE550} = 17 \text{ mm} \quad c_f := \frac{b_{IPE550} - t_{w, IPE550} - 2 \cdot r_{IPE550}}{2} = 75.5 \text{ mm}$$

- stojina - tlačená a ohýbaná část ($\alpha > 0,5$)

$$x := \frac{N_{Ed,2}}{t_{w, IPE550} \cdot f_y} = 56.673 \text{ mm}$$

$$\alpha := \frac{0.5 \cdot (h_{IPE550} - 2 \cdot (t_{f, IPE550} + r_{IPE550})) + x}{h_{IPE550}} = 0.528$$

$$t_{w, IPE550} = 11 \text{ mm} \quad c_w := h_{IPE550} - 2 \cdot (t_{f, IPE550} + r_{IPE550}) = 468 \text{ mm}$$

- klasifikace tlačené přečnávající části

$$\frac{c_f}{t_{f, IPE550}} = 4.441 \quad \leq \leq \quad 9 \cdot \varepsilon = 9 \quad \implies \quad \text{TR 1}$$

- klasifikace tlačené a ohýbané vnitřní části

$$\frac{c_w}{t_{w;IPE550}} = 42.545 \quad \leq \quad \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 67.456 \quad ==> \quad \text{TR 1}$$

Průřez spadá do třídy průřezu 1. Průřez bude posuzován s využitím plastické oblasti chování materiálu.

Průřez IPE 550 s náběhem:

- pásnice - tlačená část

$$t_{f;NÁBĚH} = 17 \text{ mm} \quad c_f := \frac{b_{NÁBĚH} - t_{w;NÁBĚH} - 2 \cdot r_{NÁBĚH}}{2} = 75.5 \text{ mm}$$

- stojina - tlačená a ohýbaná část ($\alpha > 0,5$)

$$x := \frac{N_{Ed;2}}{t_{w;NÁBĚH} \cdot f_y} = 56.673 \text{ mm}$$

$$c_w := h_{NÁBĚH} - h_{IPE550} - t_{f;NÁBĚH} - r_{NÁBĚH} = 484 \text{ mm}$$

- rozsah tlačené části s přihlédnutím k vyztužení stojiny spodní pásnice IPE 550:

$$\alpha := \frac{0.5 \cdot (h_{NÁBĚH} - 2 \cdot (t_{f;IPE550} + r_{IPE550}) - t_{f;NÁBĚH}) + x}{h_{NÁBĚH} - h_{IPE550}} = 1.037$$

$$t_{w;NÁBĚH} = 11 \text{ mm}$$

- klasifikace tlačené přechýbané části

$$\frac{c_f}{t_{f;IPE550}} = 4.441 \quad \leq \quad 9 \cdot \varepsilon = 9 \quad ==> \quad \text{TR 1}$$

- klasifikace tlačené a ohýbané vnitřní části

- napětí v krajních vláknech celé stojiny průřezu s náběhem:

$$\sigma_c := -103.0 \text{ MPa} \quad \sigma_t := 92.8 \text{ MPa}$$

- napětí v krajních vláknech stojiny náběhu:

- relativní vzdálenost horních vláken rozhodující stojiny od horních vláken celého průřezu:

$$\nu := \frac{h_{IPE550}}{h_{NÁBĚH} - 2 \cdot t_{f;IPE550} - r_{IPE550} - r_{NÁBĚH}} = 0.554$$

$$\sigma_h := \sigma_t - (-\sigma_c + \sigma_t) \cdot \nu = -15.649 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s := \sigma_c = -103 \text{ MPa}$$

- poměr napětí krajních vláken stojiny náběhu: $\psi := \frac{\sigma_h}{\sigma_s} = 0.152$

- podmínka pro splnění k zatřídění průřezu do TP 3

$$\psi > -1 \quad ==> \quad \frac{c}{t} \leq \frac{42 \cdot \varepsilon}{0.67 + 0.33 \cdot \psi}$$

$$\frac{c_w}{t_{w;NÁBĚH}} = 44 \leq \frac{42 \cdot \varepsilon}{0.67 + 0.33 \cdot \psi} = 58.322 \quad ==> \quad \text{TP 3}$$

Průřez spadá do třídy průřezu 3. Průřez bude posuzován s využitím elastické oblasti chování materiálu.

8.2.4 Posouzení únosnosti příčle

Návrhová únosnost průřezu v prostém tlaku - v místě náběhu:

$$N_{c;Rd;2} := \frac{A_{NÁBĚH} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = (5.311 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

8.2.4.1 Posudek na ohybový moment M_y

Návrhová únosnost průřezu ohybem kolem osy y-y - v místě náběhu:

$$M_{c;y;Rd;2} := \frac{W_{el;y;NÁBĚH} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = (1.344 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Posudek únosnosti průřezu v ohybu kolem osy y-y - v místě náběhu:

$$\frac{M_{y;Ed;2}}{M_{c;y;Rd;2}} = 0.41 \leq 1.0 \quad ==> \text{ VYHOVUJE}$$

8.2.4.2 Posudek na smyk V_z

Plocha stojiny:

$$A_{w;NÁBĚH} := h_{NÁBĚH} \cdot t_{w;NÁBĚH} = 0.012 \text{ m}^2$$

Smykové napětí ve stojině:

$$\tau_{Ed;NÁBĚH} := \frac{V_{z;Ed;2}}{A_{w;NÁBĚH}} = 11.586 \text{ MPa}$$

Posudek smykové únosnosti průřezu ve směru z-z - v místě náběhu:

$$V_{c;z;Rd;2} := \frac{\tau_{Ed;NÁBĚH}}{\frac{f_y}{\sqrt{3}}} = 0.085 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Smykové síly jsou menší než 1/2 smykové únosnosti ==> jedná se o malý smyk.

8.2.4.3 Posudek na kombinaci ohybu, osově a smykové síly

- průřez s náběhem:

Vzhledem k malému smyku jsou smykové síly zanedbány.

Maximální podélné napětí v průřezu třídy 3 (ČSN EN 1993-1-1; Odst. 6.2.9.2):

$$\sigma_{x;Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ MPa}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed;2}}{A_{NÁBĚH} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y;Ed;2}}{W_{el;y;NÁBĚH} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = 0.437 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.2.5 Posouzení stability příčle

8.2.5.1 Posudek rovinného vzpěru

- délka příčle:

$$l_y := 22.662 \text{ m}$$

- vzdálenost bočního ztužení příčle:

$$l_z := 6.060 \text{ m}$$

- součinitel vzpěru:

$$\beta_y := 1.0$$

$$\beta_z := 1.0$$

- vzpěrná délka v rovině vybočení:

$$L_{cr;y} := \beta_y \cdot l_y = 22.662 \text{ m}$$

$$L_{cr;z} := \beta_z \cdot l_z = 6.06 \text{ m}$$

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 93.9$$

- pružná kritická síla pro příslušný způsob vybočení :

$$N_{cr;y} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y;IPE550}}{L_{cr;y}^2} = (2.709 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$N_{cr;z} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{z;IPE550}}{L_{cr;z}^2} = (1.506 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

- poměrná štíhlost (vypočteno pomocí softwaru SCIA Engineer 19.1):

$$\lambda := \sqrt{\frac{A_{NÁBĚH} \cdot f_y}{N_{cr}}} \Rightarrow \lambda_y := \sqrt{\frac{A_{IPE550} \cdot f_y}{N_{cr;y}}} = 1.078$$

$$\lambda_z := \sqrt{\frac{A_{IPE550} \cdot f_y}{N_{cr;z}}} = 1.446$$

- křivka vzpěrné pevnosti:

$$\begin{array}{llll} \text{Vybočení kolmo k oce y-y} & \Rightarrow & \text{b} & \Rightarrow \alpha_y := 0.34 \\ \text{Vybočení kolmo k oce z-z} & & \text{c} & \Rightarrow \alpha_z := 0.49 \end{array}$$

$$\phi := 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2) \Rightarrow \phi_y := 0.5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2) = 1.231$$

$$\phi_z := 0.5 \cdot (1 + \alpha_z \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2) = 1.851$$

- součinitel vzpěrnosti dle ČSN EN 1993-1-1

$$\chi := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \Rightarrow \chi_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.548$$

$$\chi_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.333$$

- rozhodující součinitel klopení: $\chi_{min} := \chi_z = 0.333$

Vzpěrná únosnost tlačeneho prutu:

$$N_{b;Rd} := \frac{\chi_{min} \cdot A_{IPE550} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = (1.047 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Posouzení vzpěrné únosnosti:

$$\frac{N_{Ed;2}}{N_{b;Rd}} = 0.14 \leq 1.0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.2.5.2 Posudek klopení

- součinitel vzpěrné délky (není bráněno deplanaci):

$$k_w := 1.0$$

- délka přičle:

$$L := 22.662 \text{ m}$$

- kritický moment (zjištěn pomocí softwaru LTBeamN viz Příloha 01):

$$M_{y;cr} := 1842.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- součinitel kritického momentu (ze softwaru LTBeamN):

$$\mu_{cr;LTBeamN} := 3.344$$

- ohybový moment y-y v místě maximálního normálového napětí tj. v místě maximálního náběhu:

$$M_{y;max\sigma} := M_{y;Ed;2} = 550.96 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- poměrná štíhlost

$$\lambda_{LT} := \sqrt{\frac{W_{el;y;NÁBĚH} \cdot f_y}{\mu_{cr;LTBeamN} \cdot M_{y;max\sigma}}} = 0.854$$

- součinitel imperfekce při klopení

$$\frac{h_{NÁBĚH}}{b_{NÁBĚH}} > 2 \quad ==> \quad \alpha_{LT} := 0.76 \quad (\text{křivka klopení d; tab. 6.5; ČSN EN 1993-1-1})$$

- doporučené hodnoty parametrů (NP16)

$$\lambda_{LT;0} := 0.4$$

$$\beta := 0.75 \quad ==> \quad \phi_{LT} := 0.5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT;0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2) = 0.946$$

- součinitel klopení

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = 0.651 \quad \square \wedge \quad \chi_{LT} \leq 1.0 \quad \square \wedge \quad \chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = 1.37$$

$$==> \quad \chi_{LT} = 0.651$$

Návrhový moment únosnosti na klopení v místě maximálního normálového napětí:

$$M_{b;Rd} := \frac{\chi_{LT} \cdot W_{el;y;NÁBĚH} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 875.128 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Posouzení únosnosti na klopení:

$$\frac{M_{y;Ed;2}}{M_{b;Rd}} = 0.63 \quad \square \leq 1.0 \quad ==> \text{ VYHOVUJE}$$

8.2.5.3 Posudek ohybu a osového tlaku

- charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} := A_{IPE550} \cdot f_y = (3.149 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$M_{y;Rk} := W_{el;y;NÁBĚH} \cdot f_y = (1.344 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- součinitele interakce

Použita alternativní metoda 2 - dle ČSN EN 1993-1-1 - pružnostní návrh

- součinitel momentu y-y:

$$\text{- poměr momentů } M_{y;Ed}: \quad \psi := \frac{-365.20}{-550.96} = 0.663$$

$$\alpha_s := \frac{160.6}{-550.96} = -0.291$$

$$C_{my} := 0.1 - 0.8 \cdot \alpha_s = 0.333 \quad \geq 0.4$$

$$\implies C_{my} := 0.4$$

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \lambda_y \cdot \frac{N_{Ed;2}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.422 \quad \wedge \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{N_{Ed;1}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.474$$

$$\implies k_{yy} = 0.422$$

$$\text{- poměr momentů } M_{y;Ed} \text{ pro } C_{mLT}: \quad \psi := 0$$

$$C_{mLT} := 0.6 + 0.4 \cdot \psi = 0.6 \quad \geq 0.4$$

$$\implies C_{mLT} = 0.6$$

$$\text{- poměrná štíhlost } \lambda_z \quad \lambda_z = 1.446$$

$$k_{zy} := 1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed;2}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.942 \quad \wedge \leq 1 - \frac{0.1}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed;2}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.96$$

$$\implies k_{zy} = 0.942$$

- přídavek momentu v důsledku posunu těžišťové osy:

$$\Delta M_{y;Ed;2} := 0$$

Posouzení na kombinaci osového tlaku a ohybu:

$$\frac{N_{Ed;2}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y;Ed;2} + \Delta M_{y;Ed;2}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y;Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.35 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed;2}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y;Ed;2} + \Delta M_{y;Ed;2}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y;Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.733 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.2.6 Svar náběhu k IPE550 - zjednodušená metoda

Účinná délka svaru na bm: $l := 2 \text{ m}$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{t_{w;IPE550} \cdot 1 \text{ m} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = (1.492 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Návrhová pevnost svaru ve smyku:

- korelační součinitel: $\beta_w := 0.8$

$$f_{vw;d} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad \Rightarrow \quad a \geq \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 3.59 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \quad a_{2;1} := 4 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 4 mm.

8.3 RÁMOVÝ SLOUP - vnitřní; pro vnitřní vazbu

8.3.1 Průřez sloupu; charakteristiky

- předpokladaný průřez HEA 450

- plocha průřezu $A_{HEA450} := 0.0178 \text{ m}^2$
- smyková plocha průřezu ve směru osy y $A_{vy;HEA450} := 0.01214 \text{ m}^2$
- smyková plocha průřezu ve směru osy z $A_{vz;HEA450} := 0.005239 \text{ m}^2$

- elastický modul průřezu k ose y-y
- elastický modul průřezu k ose z-z
- plastický modul průřezu k ose y-y
- plastický modul průřezu k ose z-z
- moment setrvačnosti průřezu k ose y-y
- moment setrvačnosti průřezu k ose z-z
- moment tuhosti v prostém kroucení
- výsečový moment setrvačnosti
- výška průřezu
- šířka průřezu
- tloušťka stojiny
- tloušťka pásnice
- poloměr zaoblení pásnice/stojiny

$$W_{el;y;HEA450} := 0.00290 \text{ m}^3$$

$$W_{el;z;HEA450} := 0.000631 \text{ m}^3$$

$$W_{pl;y;HEA450} := 0.003216 \text{ m}^3$$

$$W_{pl;z;HEA450} := 0.0009666 \text{ m}^3$$

$$I_{y;HEA450} := 0.000637 \text{ m}^4$$

$$I_{z;HEA450} := 0.0000947 \text{ m}^4$$

$$I_t;HEA450 := 2.44 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_\omega;HEA450 := 4.147 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$$

$$h_{HEA450} := 440 \text{ mm}$$

$$b_{HEA450} := 300 \text{ mm}$$

$$t_w;HEA450 := 12 \text{ mm}$$

$$t_f;HEA450 := 21 \text{ mm}$$

$$r_{HEA450} := 27 \text{ mm}$$

8.3.2 Vnitřní síly (rozhodující nelineární kombinace NK-CO11 MSÚ2)

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

Nelineární výpočet

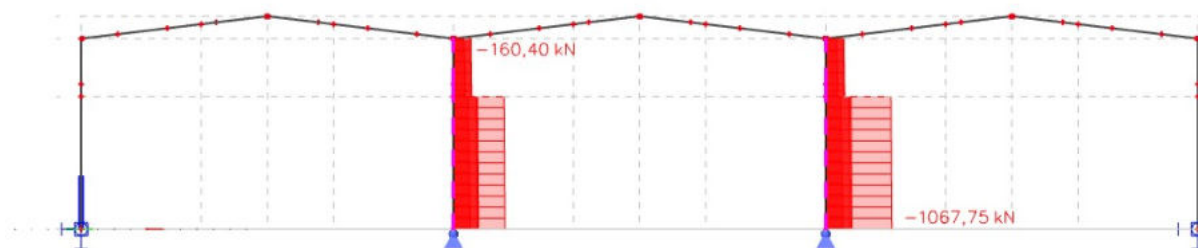
Nelineární kombinace: NK_CO11 -

MSÚ2

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B10..B13, B15..B28



Obr.74: Výsledné normálové síly pro návrh vnitřního sloupu rámové vazby

1D vnitřní síly

Hodnoty: **V_y**

Nelineární výpočet

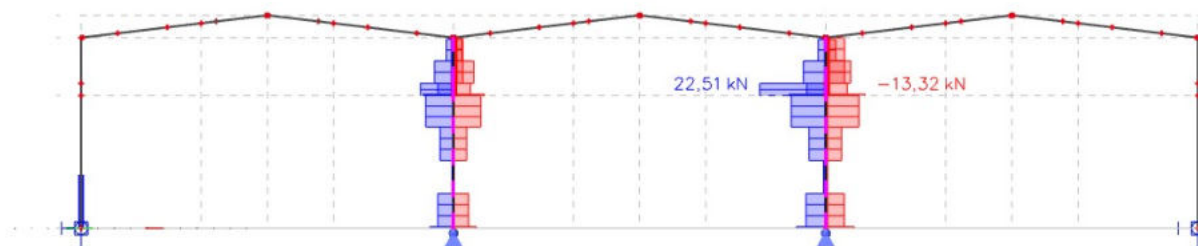
Nelineární kombinace: NK_CO11 -

MSÚ2

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B10..B13, B15..B28



Obr.75: Výsledné posouvající síly pro návrh vnitřního sloupu rámové vazby - směr y-y

1D vnitřní sílyHodnoty: V_z

Nelineární výpočet

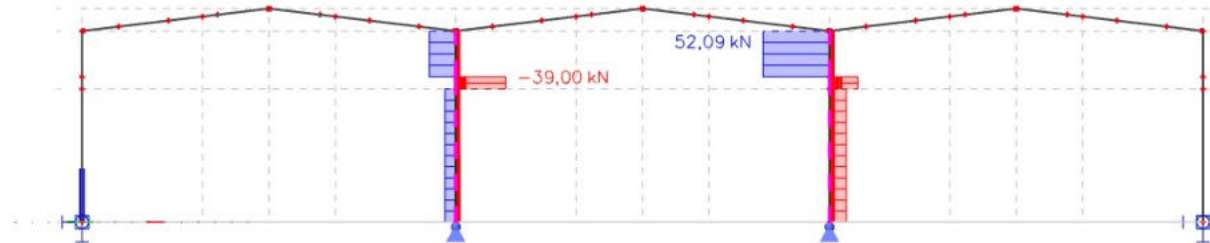
Nelineární kombinace: NK_CO11 -

MSÚ2

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B10..B13, B15..B28



Obr.76: Výsledné posouvající síly pro návrh vnitřního sloupu rámové vazby - směr z-z

1D vnitřní sílyHodnoty: M_x

Nelineární výpočet

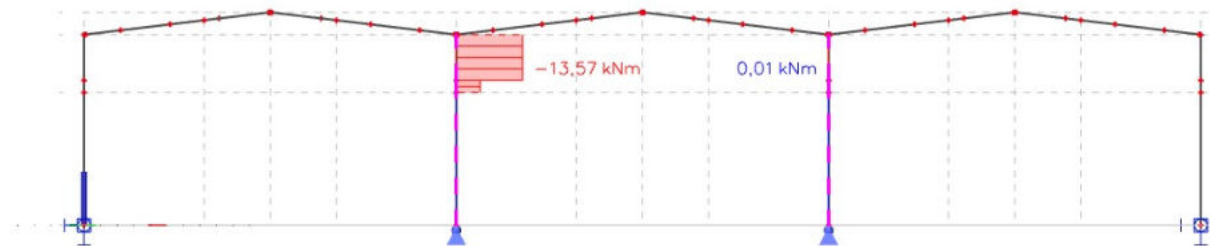
Nelineární kombinace: NK_CO11 -

MSÚ2

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B10..B13, B15..B28



Obr.77: Výsledné kroutící momenty pro návrh vnitřního sloupu rámové vazby

1D vnitřní sílyHodnoty: M_y

Nelineární výpočet

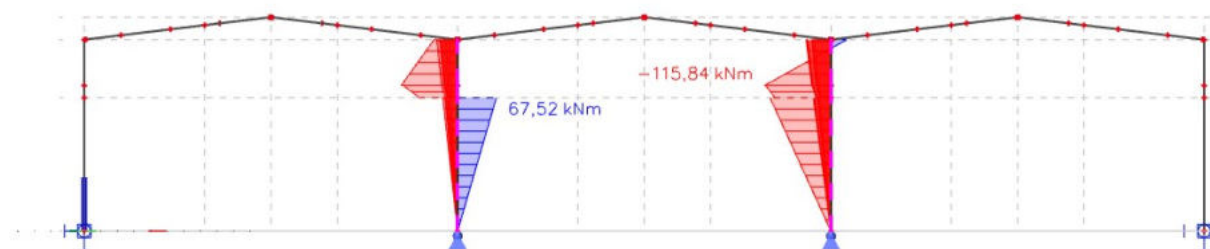
Nelineární kombinace: NK_CO11 -

MSÚ2

Souřadný systém: Dílec

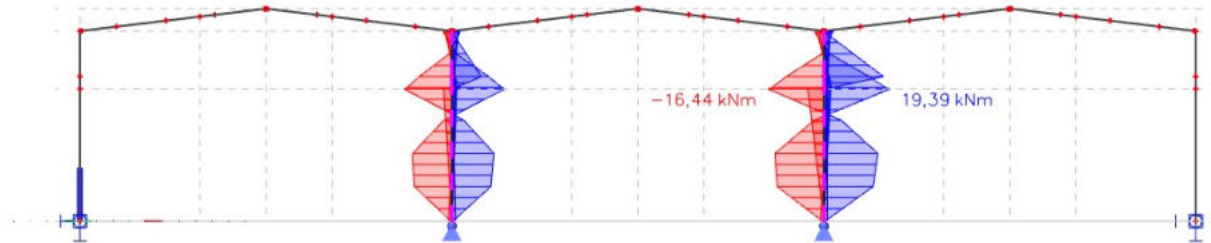
Extrém 1D: Globální

Výběr: B10..B13, B15..B28



Obr.78: Výsledné ohybové momenty kolem osy y-y pro návrh vnitřního sloupu rámové vazby

1D vnitřní síly
Hodnoty: M_z
Nelineární výpočet
Nelineární kombinace: NK_CO11 - MSÚ2
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Globální
Výběr: B10..B13, B15..B28



Obr.79: Výsledné ohybové momenty kolem osy z-z pro návrh vnitřního sloupu rámové vazby

$$N_{Ed,3} := 1067.75 \text{ kN} \quad V_{y,Ed,3} := 22.51 \text{ kN} \quad V_{z,Ed,3} := 52.09 \text{ kN}$$

$$M_{x,Ed,3} := 13.57 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{y,Ed,3} := 115.84 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{z,Ed,3} := 19.39 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

8.3.3 Klasifikace průřezu

- ocel S235

$$f_y := 235 \text{ MPa} \quad \varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 1$$

- pásnice - tlačená část

$$t_{f,HEA450} = 21 \text{ mm} \quad c_f := \frac{b_{HEA450} - t_{w,HEA450} - 2 \cdot r_{HEA450}}{2} = 117 \text{ mm}$$

- stojina - tlačená a ohýbaná část ($\alpha > 0,5$)

$$x := \frac{N_{Ed,3}}{t_{w,HEA450} \cdot f_y} = 378.635 \text{ mm}$$

$$\alpha := \frac{0.5 \cdot (h_{HEA450} - 2 \cdot (t_{f,HEA450} + r_{HEA450})) + x}{h_{HEA450}} = 1.251$$

$$t_{w,HEA450} = 12 \text{ mm} \quad c_w := h_{HEA450} - 2 \cdot (t_{f,HEA450} + r_{HEA450}) = 344 \text{ mm}$$

- klasifikace tlačené přečnívající části

$$\frac{c_f}{t_{f,HEA450}} = 5.571 \quad \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \quad ==> \quad \text{TR 1}$$

- klasifikace tlačené a ohýbané vnitřní části

$$\frac{c_w}{t_{w,HEA450}} = 28.667 \quad \leq \frac{456 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 29.865 \quad ==> \quad \text{TR 2}$$

Průřez spadá do třídy průřezu 2. Průřez bude posuzován s využitím plastické oblasti chování materiálu.

8.3.4 Posouzení únosnosti krajního sloupu vnitřní vazby

Návrhová únosnost průřezu v prostém tlaku:

$$N_{c;Rd} := \frac{A_{HEA450} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = (4.183 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Návrhová únosnost průřezu ohybem kolem osy y-y:

$$M_{pl;y;Rd} := \frac{W_{pl;y;HEA450} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 755.76 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Návrhová únosnost průřezu ohybem kolem osy z-z:

$$M_{pl;z;Rd} := \frac{W_{pl;z;HEA450} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 227.151 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Návrhová smyková únosnost průřezu ve směru y-y:

$$V_{pl;y;Rd} := A_{vy;HEA450} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} = (1.647 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Návrhová smyková únosnost průřezu ve směru z-z:

$$V_{pl;z;Rd} := A_{vz;HEA450} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 710.813 \text{ kN}$$

Smykové síly jsou menší než 1/2 smykové únosnosti ==> jedná se o malý smyk.

8.3.4.1 Posudek na kombinaci ohybu, osově a smykové síly

Vzhledem k malému smyku jsou smykové síly zanedbány.

Zanedbání účinku osově síly naplastický moment únosnosti při ohybu kolem osy y-y: (ČSN EN 1993-1-1; článek 6.2.9.1)

- podmínky:

1) Dvojose symetrický I nebo H průřez.

2) $N_{Ed;3} = (1.068 \cdot 10^3) \text{ kN} \leq 0.25 \cdot N_{c;Rd} = (1.046 \cdot 10^3) \text{ kN}$

3) $N_{Ed;3} = (1.068 \cdot 10^3) \text{ kN} \leq \frac{0.5 \cdot h_{HEA450} \cdot t_{w;HEA450} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 620.4 \text{ kN}$

Podmínky nejsou splněny ==> Je nutné uvažovat účinek osové síly na plastický moment únosnosti kolem osy y-y.

Zanedbání účinku osové síly na plastický moment únosnosti při ohybu kolem osy z-z: (ČSN EN 1993-1-1; článek 6.2.9.1)

- podmínky:

1) Dvojose symetrický I nebo H průřez.

$$2) N_{Ed;3} = (1.068 \cdot 10^3) \text{ kN} \leq \frac{h_{HEA450} \cdot t_{w;HEA450} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = (1.241 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Podmínky jsou splněny ==> Není nutné uvažovat účinek osové síly na plastický moment únosnosti kolem osy z-z.

$$n := \frac{N_{Ed;3}}{N_{c;Rd}} = 0.255 \quad a := \frac{(A_{HEA450} - 2 \cdot b_{HEA450} \cdot t_{f;HEA450})}{A_{HEA450}} = 0.292$$

Plastická únosnost průřezu v ohybu y-y s uvážením účinku osové síly:

$$M_{N;y;Rd} := \frac{M_{pl;y;Rd} \cdot (1-n)}{(1-0.5 \cdot a)} = 659.121 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Posouzení únosnosti v ohybu y-y s uvážením účinku osové síly:

$$\frac{M_{y;Ed;3}}{M_{N;y;Rd}} = 0.176 \leq 1.0 \quad ==> \text{VYHOVUJE}$$

8.3.5 Posouzení stability vnitřního sloupu vnitřní vazby

8.3.5.1 Posudek rovinného vzpěru

- výška sloupu: $l_y := 11.5 \text{ m}$

- výška bočního ztužení sloupu trubkou $l_z := 8 \text{ m}$

- vzpěrná délka v rovině vybočení: $L_{cr;y} := 1.0 \cdot l_y = 11.5 \text{ m}$

$$L_{cr;z} := 1.0 \cdot l_z = 8 \text{ m}$$

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 93.9$$

- pružná kritická síla pro příslušný způsob vybočení:

$$N_{cr} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} \Rightarrow N_{cr;y} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y;HEA450}}{L_{cr;y}^2} = (9.983 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$N_{cr;z} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{z;HEA450}}{L_{cr;z}^2} = (3.067 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

- poměrná štíhlost:

$$\lambda := \sqrt{\frac{A_{HEA450} \cdot f_y}{N_{cr}}} \Rightarrow \lambda_y := \sqrt{\frac{A_{HEA450} \cdot f_y}{N_{cr;y}}} = 0.647 \quad \lambda_z := \sqrt{\frac{A_{HEA450} \cdot f_y}{N_{cr;z}}} = 1.168$$

- křivka vzpěrné pevnosti:

$$\begin{array}{llll} \text{Vybočení kolmo k ose y-y} & \Rightarrow & \text{a} & \Rightarrow \alpha_y := 0.21 \\ \text{Vybočení kolmo k ose z-z} & & \text{b} & \Rightarrow \alpha_z := 0.34 \end{array}$$

$$\phi := 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2) \Rightarrow \phi_y := 0.5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2) = 0.756$$

$$\phi_z := 0.5 \cdot (1 + \alpha_z \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2) = 1.347$$

- součinitel vzpěrnosti dle ČSN EN 1993-1-1

$$\chi := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \Rightarrow \chi_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.871$$

$$\chi_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.496$$

- rozhodující součinitel klopení: $\chi_{min} := \chi_z = 0.496$

Vzpěrná únosnost tlačенého prutu:

$$N_{b;Rd} := \frac{\chi_{min} \cdot A_{HEA450} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = (2.074 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Posouzení vzpěrné únosnosti:

$$\frac{N_{Ed;3}}{N_{b;Rd}} = 0.515 \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.3.5.2 Posudek klopení

- součinitel vzpěrné délky (není bráněno deplanací):

$$k_w := 1.0$$

- výška sloupu:

$$L := 11.5 \text{ m}$$

- kritický moment (zjištěn pomocí softwaru LTBeamN viz Příloha 01):

$$M_{y;cr} := 2949.6 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- poměrná štíhlost

$$\lambda_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl;y;HEA450} \cdot f_y}{M_{y;cr}}} = 0.506$$

- součinitel imperfekce při klopení

$$\frac{h_{HEA450}}{b_{HEA450}} = 1.467 \leq 2 \quad ==> \quad \alpha_{LT} := 0.34 \quad (\text{křivka klopení b; tab. 6.5; ČSN EN 1993-1-1})$$

- doporučené hodnoty parametrů (NP16)

$$\lambda_{LT;0} := 0.4$$

$$\beta := 0.75 \quad ==> \quad \phi_{LT} := 0.5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT;0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2) = 0.614$$

- součinitel klopení

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = 0.958 \quad \square \wedge \square \quad \chi_{LT} \leq 1.0 \quad \square \wedge \square \quad \chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = 3.903$$

$$==> \quad \chi_{LT} = 0.958$$

Návrhový moment únosnosti na klopení:

$$M_{b;Rd} := \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl;y;HEA450} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 723.738 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Posouzení únosnosti na klopení:

$$\frac{M_{y;Ed;3}}{M_{b;Rd}} = 0.16 \quad \square \leq 1.0 \quad ==> \text{ VYHOVUJE}$$

8.3.5.3 Posudek ohybu, osového tlaku a kroucení

- kroucení od JD:

- rameno působení vodorovných sil na pásnici: $e := \frac{h_{HEA450}}{2} = 0.22 \text{ m}$

- síla působící na pásnici od kroucího momentu M_x způsobeného rozjezdem/bržděním jeřábu:

$$F_x := \frac{M_{x;Ed;3}}{2 \cdot e} = 30.841 \text{ kN}$$

- výška působení síly F_x od paty sloupu: $L_x := 8.00 \text{ m}$

- ohybový moment M_z v místě pásnice od síly F_x :

$$M_z := F_x \cdot \frac{L_x \cdot (L - L_x)}{L} = 75.091 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- bezrozměrný parametr tuhosti prutu při kroucení:

$$K_t := L \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_{t;HEA450}}{E \cdot I_{\omega;HEA450}}} = 5.478$$

- koeficienty pro typ zatížení a okrajové podmínky:

prosté podepření ; obecné kroucí zatížení $\Rightarrow \alpha := 3.7 \quad \beta := 1.08$

- rozdělovací parametr

$$\kappa := \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K_t}\right)^2} = 0.651$$

- bimoment:

$$B_{Ed} := M_z \cdot e \cdot (1 - \kappa) = 5.766 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

$$\omega_{max} := \frac{b_{HEA450} \cdot h_{HEA450}}{4} = 0.033 \text{ m}^2$$

$$B_{Rk} := \frac{I_{\omega;HEA450}}{\omega_{max}} \cdot f_y = 29.532 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

- součinitel vzpěrné délky:

$$k_w := 0.7 - \frac{0.2 \cdot B_{Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.661$$

- bezrozměrný parametr kroucení:

$$k_{wt} := \frac{\pi}{k_w \cdot \frac{L}{1 \text{ m}}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{z;HEA450}}{G \cdot I_{t;HEA450}}} = 4.146$$

$$k_{zw} := 1 - \frac{M_{z;Ed;3}}{W_{el;z;HEA450} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = 0.869$$

$$k_a := \frac{1}{1 - \frac{M_{y;Ed;3}}{M_{y;cr}}} = 1.041$$

- charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} := A_{HEA450} \cdot f_y = (4.183 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$M_{y;Rk} := W_{pl;y;HEA450} \cdot f_y = 755.76 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- součinitele interakce

Použita alternativní metoda 2 - dle ČSN EN 1993-1-1 - plasticitní návrh

- součinitel momentu y-y:

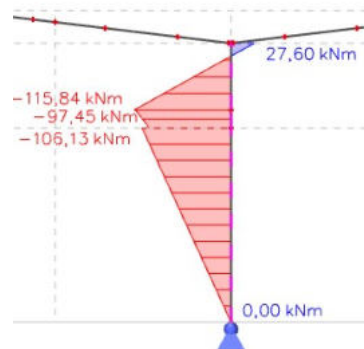
- poměr momentů $M_{y;Ed}$:

$$\psi := \frac{0}{27.60} = 0$$

$$\alpha_h := \frac{27.60}{-115.84} = -0.238$$

$$C_{my} := 0.9 + 0.1 \cdot \alpha_h = 0.876$$

Lokální průběh ohybového momentu M_y :



Obr.80: Lokální průběh ohybového momentu M_y

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed;3}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.991 \quad \blacksquare \wedge \blacksquare \leq \blacksquare \quad C_{my} \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed;3}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 1.082$$

$$\implies k_{yy} = 0.991$$

- součinitel momentu z-z:

- poměr koncových momentů $M_{z;Ed}$:

$$\psi_{horni} := \frac{-2.67}{19.39} = -0.138$$

$$\psi_{spodni} := \frac{0}{19.39} = 0$$

$$\alpha_{s;spodni} := \frac{-14.33}{19.39} = -0.739$$

$$C_{mz} := -0.8 \cdot \alpha_{s;spodni} = 0.591 \quad \blacksquare \geq 0.4$$

$$C_{mz} = 0.591$$

$$k_{zz} := C_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \lambda_z - 0.6) \cdot \frac{N_{Ed;3}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 1.12 \quad \blacksquare \wedge \blacksquare \leq \blacksquare \quad C_{mz} \cdot \left(1 + 1.4 \cdot \frac{N_{Ed;3}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 1.017$$

$$\implies k_{zz} := 1.438$$

$$k_{yz} := 0.6 \cdot k_{zz} = 0.863$$

$$C_{mLT} := -0.8 \cdot \alpha_{s;spodni} = 0.591$$

- poměrná štíhlost λ_z $\lambda_z = 1.168$

$$k_{zy} := 1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed;3}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.824 \quad \blacksquare \wedge \blacksquare \leq \blacksquare \quad 1 - \frac{0.1}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed;3}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.849$$

$$\implies k_{zy} = 0.824$$

- přídavek momentu v důsledku posunu těžišťové osy:

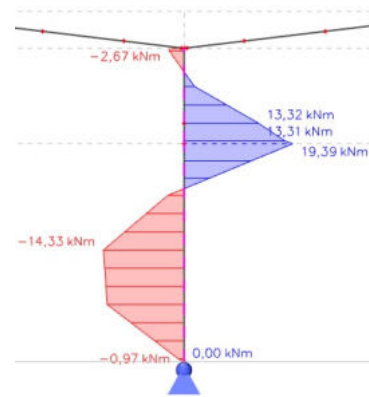
$$\Delta M_{y;Ed;3} := 0 \quad \Delta M_{z;Ed;3} := 0$$

Posouzení na kombinaci osového tlaku a ohybu

$$\frac{N_{Ed;3}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y;Ed;3} + \Delta M_{y;Ed;3}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y;Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z;Ed;3} + \Delta M_{z;Ed;3}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z;Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_w \cdot k_{zw} \cdot k_a \cdot B_{Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.58$$

$$\blacksquare \leq 1.0 \quad \implies \text{VYHOVUJE}$$

Lokální průběh ohybového momentu M_z :



Obr.81: Lokální průběh ohybového momentu M_z

$$\chi_z \cdot \frac{N_{Ed;3}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y;Ed;3} + \Delta M_{y;Ed;3}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z;Ed;3} + \Delta M_{z;Ed;3}}{\gamma_{M1}} + \frac{k_w \cdot k_{zw} \cdot k_a \cdot B_{Ed}}{\gamma_{M1}} = 0.783$$

$$\leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.3.5.4 Posudek ztráty stability od smyku

- délka stojiny:

$$h_{w;HEA450} := h_{HEA450} - 2 \cdot t_{f;HEA450} - 2 \cdot r_{HEA450} = 344 \text{ mm}$$

- součinitel smykové korekce: $\eta := 1.2$ (pro oceli do S 460)

Štíhlost nevyztužené stojiny

$$\frac{h_{w;HEA450}}{t_{w;HEA450}} = 28.667 \quad \geq \quad \frac{72 \cdot \varepsilon}{\eta} = 60 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Prvek není potřeba posuzovat na ztrátu stability vlivem smyku.

8.4 ŠTÍTOVÝ SLOUP

8.4.1 Průřez sloupu; charakteristiky

- předpokladaný průřez HEA 240

Průřezové charakteristiky průřezu HEA 240:

- plocha průřezu $A_{HEA240} := 0.00768 \text{ m}^2$
- smyková plocha průřezu ve směru osy y $A_{vy;HEA240} := 0.005554 \text{ m}^2$
- smyková plocha průřezu ve směru osy z $A_{vz;HEA240} := 0.0018522 \text{ m}^2$
- elastický modul průřezu k ose y-y $W_{el;y;HEA240} := 0.000675 \text{ m}^3$
- elastický modul průřezu k ose z-z $W_{el;z;HEA240} := 0.000231 \text{ m}^3$
- plastický modul průřezu k ose y-y $W_{pl;y;HEA240} := 0.0007458 \text{ m}^3$
- plastický modul průřezu k ose z-z $W_{pl;z;HEA240} := 0.0003516 \text{ m}^3$
- moment setrvačnosti průřezu k ose y-y $I_{y;HEA240} := 0.0000776 \text{ m}^4$
- moment setrvačnosti průřezu k ose z-z $I_{z;HEA240} := 0.0000277 \text{ m}^4$
- moment tuhosti v prostém kroucení $I_t;HEA240 := 0.416 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$
- výsečový moment setrvačnosti $I_{\omega;HEA240} := 0.3285 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$
- výška průřezu $h_{HEA240} := 230 \text{ mm}$
- šířka průřezu $b_{HEA240} := 240 \text{ mm}$
- tloušťka stojiny $t_{w;HEA240} := 8 \text{ mm}$
- tloušťka pásnice $t_{f;HEA240} := 12 \text{ mm}$
- poloměr zaoblení pásnice/stojina $r_{HEA240} := 21 \text{ mm}$

8.4.2 Vnitřní síly (rozhodující nelineární kombinace NK-CO08 MSÚ)

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

Nelineární výpočet

Nelineární kombinace: NK_CO8 - MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1306, B1473



Obr.82: Výsledné normálové síly pro návrh štítového sloupu rámové vazby

1D vnitřní síly

Hodnoty: **V_z**

Nelineární výpočet

Nelineární kombinace: NK_CO8 - MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1306, B1473



Obr.83: Výsledné posouvající síly pro návrh štítového sloupu rámové vazby - směr z-z

1D vnitřní síly

Hodnoty: **M_y**

Nelineární výpočet

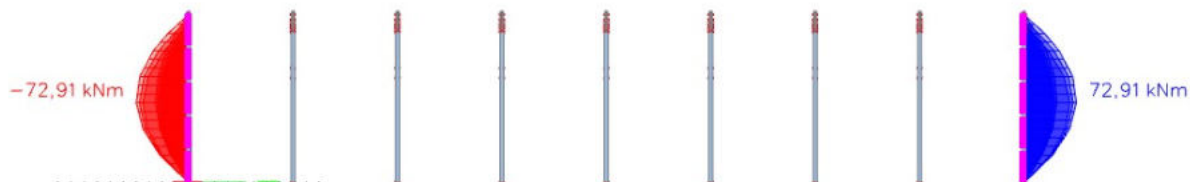
Nelineární kombinace: NK_CO8 - MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B950, B1295..B1308,

B1461..B1475



Obr.84: Výsledné ohybové momenty kolem osy y-y pro návrh štítového sloupu rámové vazby

$$N_{Ed;4} := 15.26 \text{ kN}$$

$$V_{z;Ed;4} := 22.31 \text{ kN}$$

$$M_{y;Ed;4} := 72.91 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

8.4.3 Klasifikace průřezu

- ocel S235

$$f_y := 235 \text{ MPa} \quad \varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 1$$

- pásnice - tlačená část

$$t_{f;HEA240} = 12 \text{ mm} \quad c_f := \frac{b_{HEA240} - t_{w;HEA240} - 2 \cdot r_{HEA240}}{2} = 95 \text{ mm}$$

- stojina - ohýbaná část

$$t_{w;HEA240} = 8 \text{ mm} \quad c_w := h_{HEA240} - 2 \cdot (t_{f;HEA240} + r_{HEA240}) = 164 \text{ mm}$$

- klasifikace tlačené přečnívající části

$$\frac{c_f}{t_{f;HEA240}} = 7.917 \quad \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \quad ==> \quad \text{TR 1}$$

- klasifikace tlačené a ohýbané vnitřní části

$$\frac{c_w}{t_{w;HEA240}} = 20.5 \quad \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \quad ==> \quad \text{TR 1}$$

Průřez spadá v obou případech do třídy průřezu 1. Průřez bude posuzován s využitím plastické oblasti chování materiálu.

8.4.4 Posouzení únosnosti štítového sloupu

Návrhová únosnost průřezu v prostém tlaku:

$$N_{c;Rd} := \frac{A_{HEA240} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = (1.805 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Návrhová únosnost průřezu ohybem kolem osy y-y:

$$M_{pl;y;Rd} := \frac{W_{pl;y;HEA240} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 175.263 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Návrhová únosnost průřezu ohybem kolem osy z-z:

$$M_{pl;z;Rd} := \frac{W_{pl;z;HEA240} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 82.626 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Návrhová smyková únosnost průřezu ve směru y-y:

$$V_{pl;y;Rd} := A_{vy;HEA240} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 753.552 \text{ kN}$$

Návrhová smyková únosnost průřezu ve směru z-z:

$$V_{pl;z;Rd} := A_{vz;HEA240} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 251.302 \text{ kN}$$

Smykové síly jsou menší než 1/2 smykové únosnosti ==> jedná se o malý smyk.

8.4.4.1 Posudek na kombinaci ohybu, osově a smykové síly

Vzhledem k malému smyku jsou smykové síly zanedbány.

Zanedbání účinku osově síly na plastický moment únosnosti při ohybu kolem osy y-y:
(ČSN EN 1993-1-1; článek 6.2.9.1)

- podmínky:

1) Dvojose symetrický I nebo H průřez.

2) $N_{Ed;A} = 15.26 \text{ kN} \quad \leq \quad 0.25 \cdot N_{c;Rd} = 451.2 \text{ kN}$

3) $N_{Ed;A} = 15.26 \text{ kN} \quad \leq \quad \frac{0.5 \cdot h_{HEA240} \cdot t_{w;HEA240} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 216.2 \text{ kN}$

Podmínky jsou splněny ==> Není nutné uvažovat účinek osově síly na plastický moment únosnosti kolem osy y-y.

Posouzení únosnosti v ohybu z-z:

$$\frac{M_{y;Ed;A}}{M_{pl;y;Rd}} = 0.416 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.4.5 Posouzení stability vnitřního sloupu vnitřní vazby

8.4.5.1 Posudek rovinného vzpěru

- výška sloupu: $l := 12.37 \text{ m}$

- vzpěrná délka v rovině vybočení: $L_{cr;y} := 1.0 \cdot l = 12.37 \text{ m}$

$$L_{cr;z} := 1.0 \cdot l = 12.37 \text{ m}$$

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 93.9$$

- pružná kritická síla pro příslušný způsob vybočení:

$$N_{cr} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} \Rightarrow N_{cr;y} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y;HEA240}}{L_{cr;y}^2} = (1.051 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$N_{cr;z} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{z;HEA240}}{L_{cr;z}^2} = 375.197 \text{ kN}$$

- poměrná štíhlost:

$$\lambda := \sqrt{\frac{A_{HEA240} \cdot f_y}{N_{cr}}} \Rightarrow \lambda_y := \sqrt{\frac{A_{HEA240} \cdot f_y}{N_{cr;y}}} = 1.31 \quad \lambda_z := \sqrt{\frac{A_{HEA240} \cdot f_y}{N_{cr;z}}} = 2.193$$

- křivka vzpěrné pevnosti:

$$\begin{array}{llll} \text{Vybočení kolmo k ose y-y} & \Rightarrow & \text{a} & \Rightarrow \alpha_y := 0.21 \\ \text{Vybočení kolmo k ose z-z} & & \text{b} & \Rightarrow \alpha_z := 0.34 \end{array}$$

$$\phi := 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2) \Rightarrow \phi_y := 0.5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2) = 1.475$$

$$\phi_z := 0.5 \cdot (1 + \alpha_z \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2) = 3.244$$

- součinitel vzpěrnosti dle ČSN EN 1993-1-1

$$\chi := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \Rightarrow \chi_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.465$$

$$\chi_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.177$$

- rozhodující součinitel klopení: $\chi_{min} := \chi_z = 0.177$

Vzpěrná únosnost tlačeneho prutu:

$$N_{b;Rd} := \frac{\chi_{min} \cdot A_{HEA240} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 320.329 \text{ kN}$$

Posouzení vzpěrné únosnosti:

$$\frac{N_{Ed;A}}{N_{b;Rd}} = 0.048 \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.4.5.2 Posudek klopení

- součinitel vzpěrné délky (není bráněno deplanací):

$$k_w := 1.0$$

- maximální výška sloupu:

$$L := 12.85 \text{ m}$$

- kritický moment (zjištěn pomocí softwaru LTBeamN viz Příloha 01):

$$M_{y;cr} := 129.79 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- poměrná štíhlost

$$\lambda_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl;y;HEA240} \cdot f_y}{M_{y;cr}}} = 1.162$$

- součinitel imperfekce při klopení

$$\frac{h_{HEA240}}{b_{HEA240}} = 0.958 \leq 2 \quad ==> \quad \alpha_{LT} := 0.34 \quad (\text{křivka klopení b; tab. 6.5; ČSN EN 1993-1-1})$$

- doporučené hodnoty parametrů (NP16)

$$\lambda_{LT;0} := 0.4$$

$$\beta := 0.75 \quad ==> \quad \phi_{LT} := 0.5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT;0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2) = 1.136$$

- součinitel klopení

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = 0.601 \quad \square \wedge \square \quad \chi_{LT} \leq 1.0 \quad \square \wedge \square \quad \chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = 0.741$$
$$==> \quad \chi_{LT} = 0.601$$

Návrhový moment únosnosti na klopení:

$$M_{b;Rd} := \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl;y;HEA240} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 105.403 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Posouzení únosnosti na klopení:

$$\frac{M_{y;Ed;A}}{M_{b;Rd}} = 0.692 \leq 1.0 \quad ==> \text{ VYHOVUJE}$$

8.4.5.3 Posudek ohybu a osového tlaku

- charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} := A_{HEA240} \cdot f_y = (1.805 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$M_{y;Rk} := W_{pl;y;HEA240} \cdot f_y = 175.263 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- součinitele interakce

Použita alternativní metoda 2 - dle ČSN EN 1993-1-1 - plasticitní návrh

- součinitel momentu y-y:

$$\text{- poměr momentů } M_{y;Ed} : \quad \psi := 0$$

$$\alpha_h := 0$$

$$C_{my} := 0.95 + 0.05 \cdot \alpha_h = 0.95$$

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed;4}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.969 \quad \blacksquare \wedge \blacksquare \leq \blacksquare \quad C_{my} \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed;4}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.964$$

$$\implies k_{yy} = 0.969$$

$$C_{mLT} := 0.95 + 0.05 \cdot \alpha_h = 0.95$$

- poměrná štíhlost λ_z $\lambda_z = 2.193$

$$k_{zy} := 1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed;4}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.985 \quad \blacksquare \wedge \blacksquare \leq \blacksquare \quad 1 - \frac{0.1}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed;4}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.993$$

$$\implies k_{zy} = 0.985$$

- přídavek momentu v důsledku posunu těžišťové osy:

$$\Delta M_{y;Ed} := 0 \quad \Delta M_{z;Ed} := 0$$

Posouzení na kombinaci osového tlaku a ohybu

$$\frac{N_{Ed;4}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y;Ed;4} + \Delta M_{y;Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y;Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.689 \quad \blacksquare \leq 1.0 \quad \implies \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed;4}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y;Ed;4} + \Delta M_{y;Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y;Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.729 \quad \blacksquare \leq 1.0 \quad \implies \text{VYHOVUJE}$$

8.4.5.4 Posudek ztráty stability od smyku

- délka stojiny:

$$h_{w;HEA240} := h_{HEA240} - 2 \cdot t_{f;HEA240} - 2 \cdot r_{HEA240} = 164 \text{ mm}$$

- součinitel smykové korekce: $\eta := 1.2$ (pro oceli do S 460)

Štíhlost nevyztužené stojiny

$$\frac{h_{w;HEA240}}{t_{w;HEA240}} = 20.5 \quad \geq \quad \frac{72 \cdot \varepsilon}{\eta} = 60 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Prvek není potřeba posuzovat na ztrátu stability vlivem smyku.

8.4.6 Posouzení MSP (rozhodující nelineární kombinace NK CO13- MSP)

- maximální délka sloupu $L = 12.85 \text{ m}$

- maximální dovolený průhyb sloupu: $\delta_{y;max} := \frac{L}{250} = 51.4 \text{ mm}$

- vypočtený průhyb sloupu $\delta_y := 30.3 \text{ mm}$

1D deformace

Hodnoty: u_x
Nelineární výpočet
Třída: Nelinear MSP
Souřadný systém: Hlavní
Extrém 1D: Globální
Výběr: B950, B1295..B1308,
B1461..B1475



Obr.85: Výsledná maximální deformace sloupu

Posouzení průhybu:

$$\frac{\delta_y}{\delta_{y;max}} = 0.589 \quad \geq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.5 PODÉLNÉ TRUBKOVÉ ZTUŽIDLO

8.5.1 Průřez ztužidla; charakteristiky

- předpokladaný průřez trubka 114x12.5 mm

Průřezové charakteristiky:

- plocha průřezu $A_{TR} := 0.00368 \text{ m}^2$
- moment setrvačnosti průřezu $I_{TR} := 6.34 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$
- vnější průměr $D := 127 \text{ mm}$
- vnitřní průměr $d := 107 \text{ mm}$
- tloušťka stěny $t := 10 \text{ mm}$

8.5.2 Vnitřní síly (rozhodující nelineární kombinace NK-CO09 MSÚ)

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

Nelineární výpočet

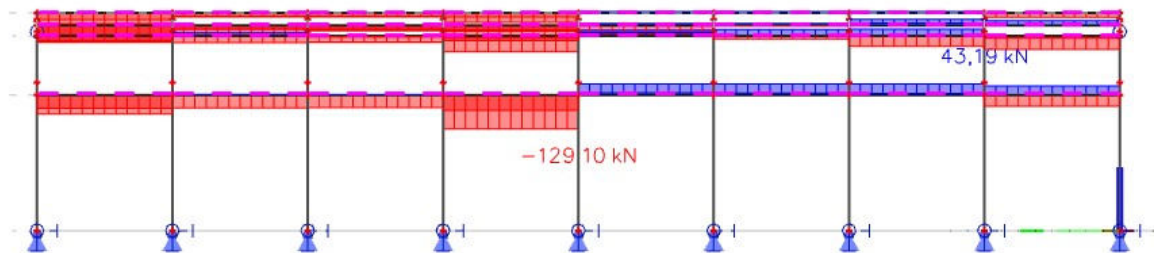
Nelineární kombinace: NK_CO9 - MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B750..B781, B802..B833,

B846..B917



Obr.86: Výsledné normálové síly pro návrh podélného trubkového ztužidla

$$N_{Ed,tah} := 43.19 \text{ kN} \quad N_{Ed,tlak} := 129.10 \text{ kN}$$

8.5.3 Klasifikace průřezu

- ocel S235

$$f_y := 235 \text{ MPa}$$

$$\frac{D}{t} = 12.7 \quad \leq 50 \cdot \varepsilon = 50 \quad ==> \quad \text{TR 1}$$

Průřez spadá do třídy průřezu 1. Průřez bude posuzován s využitím plastické oblasti chování materiálu.

8.5.4 Posouzení únosnosti ztužidla

Návrhová únosnost průřezu v prostém tlaku/tahu:

$$N_{pl;Rd} := \frac{A_{TR} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 864.8 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti v prostém tahu/tlaku:

$$\frac{N_{Ed;tlak}}{N_{pl;Rd}} = 0.149 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.5.5 Posouzení stability podélného trubkového ztužidla

8.5.5.1 Posudek rovinného vzpěru

- výška sloupu: $l := 8.0 \text{ m}$

- vzpěrná délka v rovině vybočení: $L_{cr} := 1.0 \cdot l = 8 \text{ m}$

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 93.9$$

- pružná kritická síla pro příslušný způsob vybočení:

$$N_{cr} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} \Rightarrow N_{cr} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{TR}}{L_{cr}^2} = 205.319 \text{ kN}$$

- poměrná štíhlost:

$$\lambda := \sqrt{\frac{A_{TR} \cdot f_y}{N_{cr}}} \Rightarrow \lambda := \sqrt{\frac{A_{TR} \cdot f_y}{N_{cr}}} = 2.052$$

- křivka vzpěrné pevnosti:

tvářená za studena \Rightarrow c \Rightarrow $\alpha := 0.49$

$$\phi := 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2) \Rightarrow \phi := 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2) = 3.06$$

- součinitel vzpěrnosti dle ČSN EN 1993-1-1

$$\chi := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \Rightarrow \chi := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = 0.188$$

Vzpěrná únosnost tlačенého prutu:

$$N_{b;Rd} := \frac{\chi \cdot A_{TR} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 162.274 \text{ kN}$$

Posouzení vzpěrné únosnosti:

$$\frac{N_{Ed;tlak}}{N_{b;Rd}} = 0.796 \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.5.6 Návrh přípojně desky

Síla působící na přípojnou desku: $N_{Ed;max;5} := N_{Ed;tlak}$

Charakteristika průřezu:

Výška přípojně desky: $h_5 := D + 2 \cdot 10 \text{ mm} = 147 \text{ mm}$

Tloušťka přípojně desky: $t := \frac{N_{Ed;max;5}}{h_5 \cdot f_y} = 3.737 \text{ mm} \Rightarrow t_5 := 10 \text{ mm}$

Plocha přípojně desky: $A_{p;5} := h_5 \cdot t_5 = 0.001 \text{ m}^2$

8.5.7 Návrh svarů - zjednodušená metoda

- svar přípojně desky na trubku

Účinná délka svaru: $l := 4 \cdot 100 \text{ mm} + 2 \cdot D = 0.654 \text{ m}$

Požadovaná návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{A_{p;5} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 345.45 \text{ kN}$$

Návrhová pevnost svaru ve smyku:

- korelační součinitel: $\beta_w := 0.8$

$$f_{vw;d} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad \Rightarrow \quad a_{5;1} \geq \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 2.541 \text{ mm}$$
$$\Rightarrow a_{5;1} := 4 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 4 mm.

- svar přípojně desky na sloup

Účinná délka svaru: $l := 2 \cdot (h_5 + t_5) = 314 \text{ mm}$

Minimální účinná tloušťka svaru: $a_{5,2} \geq \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 5.293 \text{ mm}$
 $\Rightarrow a_{5,2} := 6 \text{ mm}$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 6 mm.

8.5.8 Návrh šroubů

Návrhová síla: $F_{v;Ed} := N_{Ed;max;5} = 129.1 \text{ kN}$

- Vstupní údaje:

Pevnostní třída šroubů 8.8; kategorie spoje A

$f_{ub} := 800 \text{ MPa}$ $f_u := 360 \text{ MPa}$ $\alpha_v := 0.6$

$d_5 := 20 \text{ mm}$ $d_0 := d_5 + 2 \text{ mm} = 22 \text{ mm}$

$n_{STŘIH} := 1$ $A_s := 245 \text{ mm}^2$ $\gamma_{M2} := 1.25$

$t := t_5 = 10 \text{ mm}$ (minimální tloušťka připojovaného plechu)

Únosnost ve stříhu:

$F_{v;Rd} := \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 94.08 \text{ kN}$

$n_{počet;5} := 2$

- únosnost šroubového spoje ve stříhu:

$F_{v;Rd;CELKEM} := F_{v;Rd} \cdot n_{počet;5} \cdot n_{STŘIH} = 188.16 \text{ kN}$

$\frac{F_{v;Ed}}{F_{v;Rd;CELKEM}} = 0.686 \leq 1.0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$

Rozteče šroubů:

- minimální a maximální rozteče:

$e_{1,min} := 1.2 \cdot d_0 = 26.4 \text{ mm}$ $e_{1,max1} := 12 \cdot t = 120 \text{ mm}$ $e_{1,max2} := 150 \text{ mm}$

$e_{2,min} := 1.2 \cdot d_0 = 26.4 \text{ mm}$ $e_{2,max1} := 12 \cdot t = 120 \text{ mm}$ $e_{2,max2} := 150 \text{ mm}$

$p_{1,min} := 2.2 \cdot d_0 = 48.4 \text{ mm}$ $p_{1,max1} := 14 \cdot t = 140 \text{ mm}$ $p_{1,max2} := 200 \text{ mm}$

$p_{2,min} := 2.4 \cdot d_0 = 52.8 \text{ mm}$ $p_{2,max1} := 14 \cdot t = 140 \text{ mm}$ $p_{2,max2} := 200 \text{ mm}$

- výsledné rozteče:

$$e_{1;5} := 50 \text{ mm} \quad e_{2;5} := 35 \text{ mm} \quad p_{1;5} := 0 \quad p_{2;5} := h_5 - 2 \cdot e_{2;5} = 77 \text{ mm}$$

- návrhová únosnost jednoho šroubu v otláčení:

$$\alpha_{b;1} := \frac{f_{ub}}{f_u} = 2.222 \quad \alpha_{b;2} := 1.0 \quad \alpha_{b;3} := \frac{e_{1;5}}{3 \cdot d_0} = 0.758$$

$$\alpha_{b;min} := \alpha_{b;3} = 0.758$$

$$k_{1;kraj;1} := 2.8 \cdot \frac{e_{2;5}}{d_0} - 1.7 = 2.755 \quad k_{1;kraj;2} := 2.5 \quad k_{1;kraj;3} := 1.4 \cdot \frac{p_{2;5}}{d_0} - 1.7 = 3.2$$

$$\Rightarrow k_{1;min} := k_{1;kraj;2} = 2.5$$

- únosnost jednoho šroubu v otláčení:

$$F_{b;Rd} := \frac{\alpha_{b;min} \cdot k_{1;min} \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 583.636 \text{ kN}$$

- únosnost šroubového spoje v otláčení:

$$F_{b;Rd;CELKEM} := F_{b;Rd} \cdot n_{počet;5} = (1.167 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v;Ed}}{F_{b;Rd;CELKEM}} = 0.111 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.5.9 Souhrn návrhu:

Průřez ztužidla:	TR 127x10 mm
Výška přípojně desky:	$h_5 = 147 \text{ mm}$
Tloušťka přípojně desky:	$t_5 = 10 \text{ mm}$
Svar přípojně desky na trubku:	$a_{5;1} = 4 \text{ mm}$
Svar přípojně desky na sloup:	$a_{5;2} = 6 \text{ mm}$
Šroubový spoj přípojných desek:	2 x M20; 8.8

8.6 Brzdné podélné svislé ztužidlo mezi sloupy

8.6.1 Průřez ztužidla; charakteristiky

- předpokladaný průřez trubka 60,3x8 mm

Průřezové charakteristiky:

- plocha průřezu $A_{TR} := 0.00131 \text{ m}^2$
- vnější průměr $D := 60.3 \text{ mm}$

8.6.2 Vnitřní síly (rozhodující nelineární kombinace NK-CO09 MSÚ)

1D vnitřní síly

Hodnoty: N

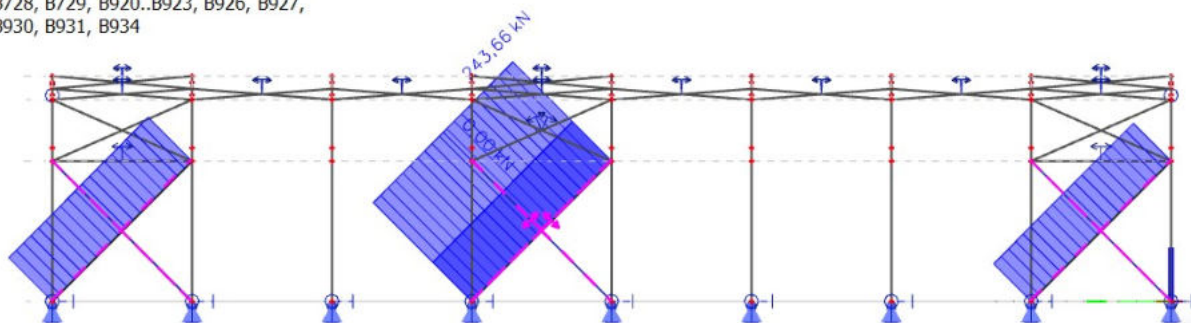
Nelineární výpočet

Nelineární kombinace: NK_CO9 - MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B313, B317, B318, B320, B321, B728, B729, B920..B923, B926, B927, B930, B931, B934



Obr.87: Výsledné normálové síly pro návrh svislého brzdného ztužidla mezi sloupy

$$N_{Ed,tah} := 243.66 \text{ kN}$$

8.6.3 Posouzení únosnosti ztužidla

Návrhová únosnost průřezu v tahu:

$$N_{t;Rd} := \frac{A_{TR} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 307.85 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti v tahu:

$$\frac{N_{Ed,tah}}{N_{t;Rd}} = 0.791 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.6.4 Návrh přípojnky desky

Síla působící na přípojnou desku: $N_{Ed,max;6} := N_{Ed,tah} = 243.66 \text{ kN}$

Charakteristika průřezu:

Výška přípojnky desky: $h_6 := D + 2 \cdot 10 \text{ mm} = 80.3 \text{ mm}$

Tloušťka přípojně desky: $t := \frac{N_{Ed,max;6}}{h_6 \cdot f_y} = 12.912 \text{ mm} \Rightarrow t_6 := 12 \text{ mm}$

Plocha přípojně desky: $A_{p;6} := h_6 \cdot t_6 = (9.636 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^2$

8.6.5 Návrh svarů - zjednodušená metoda

- svar přípojně desky na trubku

Účinná délka svaru: $l := 4 \cdot 100 \text{ mm} + 2 \cdot D = 0.521 \text{ m}$

Požadovaná návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{A_{p;6} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 226.446 \text{ kN}$$

Návrhová pevnost svaru ve smyku:

- korelační součinitel: $\beta_w := 0.8$

$$f_{vw;d} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \Rightarrow a_{6;1} \geq \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 2.093 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow a_{6;1} := 4 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 4 mm.

- svar přípojně desky na sloup

Účinná délka svaru: $l := 2 \cdot (h_6 + t_6) = 184.6 \text{ mm}$

Minimální účinná tloušťka svaru: $a_{6;2} \geq \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 5.902 \text{ mm}$

$$\Rightarrow a_{6;2} := 6 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 6 mm.

8.6.6 Návrh šroubů

Návrhová síla: $F_{v;Ed} := N_{Ed,max;6} = 243.66 \text{ kN}$

- Vstupní údaje:

Pevnostní třída šroubů 8.8; kategorie spoje A

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa} \quad f_u := 360 \text{ MPa} \quad \alpha_v := 0.6$$

$$d_6 := 24 \text{ mm} \quad d_0 := d_6 + 2 \text{ mm} = 26 \text{ mm}$$

$$n_{STŘIH} := 1 \quad A_s := 353 \text{ mm}^2 \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

$$t := t_6 = 12 \text{ mm} \quad (\text{minimální tloušťka připojovaného plechu})$$

Únosnost ve stříhu:

$$F_{v;Rd} := \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 135.552 \text{ kN}$$

$$n_{počet;6} := 2$$

- únosnost šroubového spoje ve stříhu:

$$F_{v;Rd;CELKEM} := F_{v;Rd} \cdot n_{počet;6} \cdot n_{STŘIH} = 271.104 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v;Ed}}{F_{v;Rd;CELKEM}} = 0.899 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Rozteče šroubů:

- minimální a maximální rozteče:

$$e_{1;min} := 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm} \quad e_{1;max1} := 12 \cdot t = 144 \text{ mm} \quad e_{1;max2} := 150 \text{ mm}$$

$$e_{2;min} := 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm} \quad e_{2;max1} := 12 \cdot t = 144 \text{ mm} \quad e_{2;max2} := 150 \text{ mm}$$

$$p_{1;min} := 2.2 \cdot d_0 = 57.2 \text{ mm} \quad p_{1;max1} := 14 \cdot t = 168 \text{ mm} \quad p_{1;max2} := 200 \text{ mm}$$

$$p_{2;min} := 2.4 \cdot d_0 = 62.4 \text{ mm} \quad p_{2;max1} := 14 \cdot t = 168 \text{ mm} \quad p_{2;max2} := 200 \text{ mm}$$

- výsledné rozteče:

$$e_{1;6} := 60 \text{ mm} \quad e_{2;6} := \frac{h_6}{2} = 40.15 \text{ mm} \quad p_{1;6} := 75 \text{ mm} \quad p_{2;6} := 0$$

- návrhová únosnost jednoho šroubu v otláčení:

$$\alpha_{b;1} := \frac{f_{ub}}{f_u} = 2.222 \quad \alpha_{b;2} := 1.0 \quad \alpha_{b;3} := \frac{e_{1;6}}{3 \cdot d_0} = 0.769 \quad \alpha_{b;4} := \frac{p_{1;6}}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = 0.712$$

$$\alpha_{b;min} := \alpha_{b;4} = 0.712$$

$$k_{1;kraj;1} := 2.8 \cdot \frac{e_{2;6}}{d_0} - 1.7 = 2.624 \quad k_{1;kraj;2} := 2.5 \quad \Rightarrow \quad k_{1;min} := k_{1;kraj;2} = 2.5$$

- únosnost jednoho šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} := \frac{\alpha_{b,min} \cdot k_{1,min} \cdot f_u \cdot d_6 \cdot t_6}{\gamma_{M2}} = 147.545 \text{ kN}$$

- únosnost šroubového spoje v otláčení:

$$F_{b,Rd,CELKEM} := F_{b,Rd} \cdot n_{počet;6} = 295.089 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v;Ed}}{F_{b,Rd,CELKEM}} = 0.826 \quad \leq 1.0 \quad ==> \text{ VYHOVUJE}$$

8.6.7 Souhrn návrhu:

Průřez ztužidla:	TR 60.3x8 mm
Výška přípojné desky:	$h_6 = 80.3 \text{ mm}$
Tloušťka přípojné desky:	$t_6 = 12 \text{ mm}$
Svar přípojné desky na trubku:	$a_{6;1} = 4 \text{ mm}$
Svar přípojné desky na sloup:	$a_{6;2} = 6 \text{ mm}$
Šroubový spoj přípojných desek:	2 x M24; 8.8

8.7 VĚTROVÉ PODÉLNÉ SVISLÉ ZTUŽIDLO MEZI SLOUPY

8.7.1 Průřez ztužidla; charakteristiky

- předpokladaný průřez trubka 60.3x5 mm

Průřezové charakteristiky:

- plocha průřezu $A_{TR} := 0.000869 \text{ m}^2$
- vnější průměr $D := 60.3 \text{ mm}$

8.7.2 Vnitřní síly (rozhodující nelineární kombinace NK-CO9 MSÚ)

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

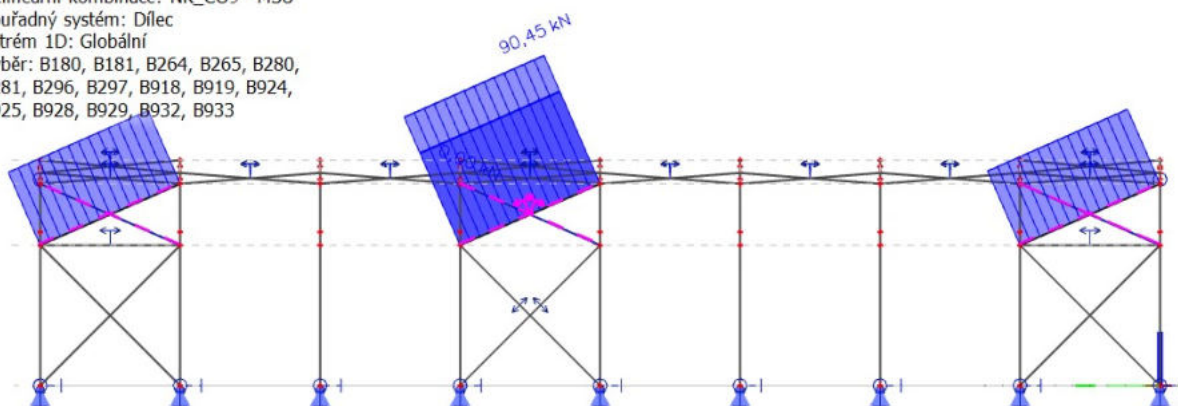
Nelineární výpočet

Nelineární kombinace: NK_CO9 - MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B180, B181, B264, B265, B280, B281, B296, B297, B918, B919, B924, B925, B928, B929, B932, B933



Obr.88: Výsledné normálové síly pro návrh svíslého větrového ztužidla mezi sloupy

$$N_{Ed,tah} := 90.45 \text{ kN}$$

8.7.3 Posouzení únosnosti ztužidla

Návrhová únosnost průřezu v tahu:

$$N_{t;Rd} := \frac{A_{TR} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 204.215 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti v tahu:

$$\frac{N_{Ed,tah}}{N_{t;Rd}} = 0.443 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.7.4 Návrh přípojné desky

Síla působící na přípojnou desku: $N_{Ed,max;7} := N_{Ed,tah} = 90.45 \text{ kN}$

Charakteristika průřezu:

Výška přípojné desky: $h_7 := D + 2 \cdot 10 \text{ mm} = 80.3 \text{ mm}$

Tloušťka přípojné desky: $t := \frac{N_{Ed,max;7}}{h_7 \cdot f_y} = 4.793 \text{ mm} \Rightarrow t_7 := 10 \text{ mm}$

Plocha přípojné desky: $A_{p;7} := h_7 \cdot t_7 = (8.03 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^2$

8.7.5 Návrh svarů - zjednodušená metoda

- svar přípojné desky na trubku

Účinná délka svaru: $l := 4 \cdot 100 \text{ mm} + 2 \cdot D = 0.521 \text{ m}$

Požadovaná návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{A_{p;7} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 188.705 \text{ kN}$$

Návrhová pevnost svaru ve smyku:

- korelační součinitel: $\beta_w := 0.8$

$$f_{vw;d} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad ==> \quad a_{7;1} \geq \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 1.744 \text{ mm}$$
$$==> \quad a_{7;1} := 4 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 4 mm.

- svar přípojně desky na sloup

Účinná délka svaru: $l := 2 \cdot (h_7 + t_7) = 180.6 \text{ mm}$

Minimální účinná tloušťka svaru: $a_{7;2} \geq \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 5.027 \text{ mm}$

$$==> \quad a_{7;2} := 6 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 6 mm.

8.7.6 Návrh šroubů

Návrhová síla: $F_{v;Ed} := N_{Ed;max;7} = 90.45 \text{ kN}$

- Vstupní údaje:

Pevnostní třída šroubů 8.8; kategorie spoje A

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa} \quad f_u := 360 \text{ MPa} \quad \alpha_v := 0.6$$

$$d_7 := 16 \text{ mm} \quad d_0 := d_7 + 2 \text{ mm} = 18 \text{ mm}$$

$$n_{STŘIH} := 1 \quad A_s := 157 \text{ mm}^2 \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

$$t := t_7 = 10 \text{ mm} \quad (\text{minimální tloušťka připojovaného plechu})$$

Únosnost ve střihu:

$$F_{v;Rd} := \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 60.288 \text{ kN}$$

$$n_{\text{počet},7} := 2$$

- únosnost šroubového spoje ve střihu:

$$F_{v;Rd;CELKEM} := F_{v;Rd} \cdot n_{\text{počet},7} \cdot n_{STŘIH} = 120.576 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v;Ed}}{F_{v;Rd;CELKEM}} = 0.75 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Rozteče šroubů:

- minimální a maximální rozteče:

$$e_{1,min} := 1.2 \cdot d_0 = 21.6 \text{ mm} \quad e_{1,max1} := 12 \cdot t = 120 \text{ mm} \quad e_{1,max2} := 150 \text{ mm}$$

$$e_{2,min} := 1.2 \cdot d_0 = 21.6 \text{ mm} \quad e_{2,max1} := 12 \cdot t = 120 \text{ mm} \quad e_{2,max2} := 150 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} := 2.2 \cdot d_0 = 39.6 \text{ mm} \quad p_{1,max1} := 14 \cdot t = 140 \text{ mm} \quad p_{1,max2} := 200 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} := 2.4 \cdot d_0 = 43.2 \text{ mm} \quad p_{2,max1} := 14 \cdot t = 140 \text{ mm} \quad p_{2,max2} := 200 \text{ mm}$$

- výsledné rozteče:

$$e_{1,7} := 35 \text{ mm} \quad e_{2,7} := \frac{h_7}{2} = 40.15 \text{ mm} \quad p_{1,7} := 50 \text{ mm} \quad p_{2,7} := 0$$

- návrhová únosnost jednoho šroubu v otláčení:

$$\alpha_{b,1} := \frac{f_{ub}}{f_u} = 2.222 \quad \alpha_{b,2} := 1.0 \quad \alpha_{b,3} := \frac{e_{1,7}}{3 \cdot d_0} = 0.648 \quad \alpha_{b,4} := \frac{p_{1,7}}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = 0.676$$

$$\alpha_{b,min} := \alpha_{b,3} = 0.648$$

$$k_{1;kraj;1} := 2.8 \cdot \frac{e_{2,7}}{d_0} - 1.7 = 4.546 \quad k_{1;kraj;2} := 2.5 \quad \Rightarrow \quad k_{1,min} := k_{1;kraj;2} = 2.5$$

- únosnost jednoho šroubu v otláčení:

$$F_{b;Rd} := \frac{\alpha_{b,min} \cdot k_{1,min} \cdot f_u \cdot d_7 \cdot t_7}{\gamma_{M2}} = 74.667 \text{ kN}$$

- únosnost šroubového spoje v otláčení:

$$F_{b;Rd;CELKEM} := F_{b;Rd} \cdot n_{\text{počet},7} = 149.333 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v;Ed}}{F_{b;Rd;CELKEM}} = 0.606 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.7.7 Souhrn návrhu:

Průřez ztužidla:	TR 60.3x5 mm
Výška přípojnky desky:	$h_7 = 80.3 \text{ mm}$
Tloušťka přípojnky desky:	$t_7 = 10 \text{ mm}$
Svar přípojnky desky na trubku:	$a_{7;1} = 4 \text{ mm}$
Svar přípojnky desky na sloup:	$a_{7;2} = 6 \text{ mm}$
Šroubový spoj přípojných desek:	2 x M16; 8.8

8.8 PŘÍČNÉ STŘEŠNÍ ZTUŽIDLO

8.8.1 Průřez ztužidla; charakteristiky

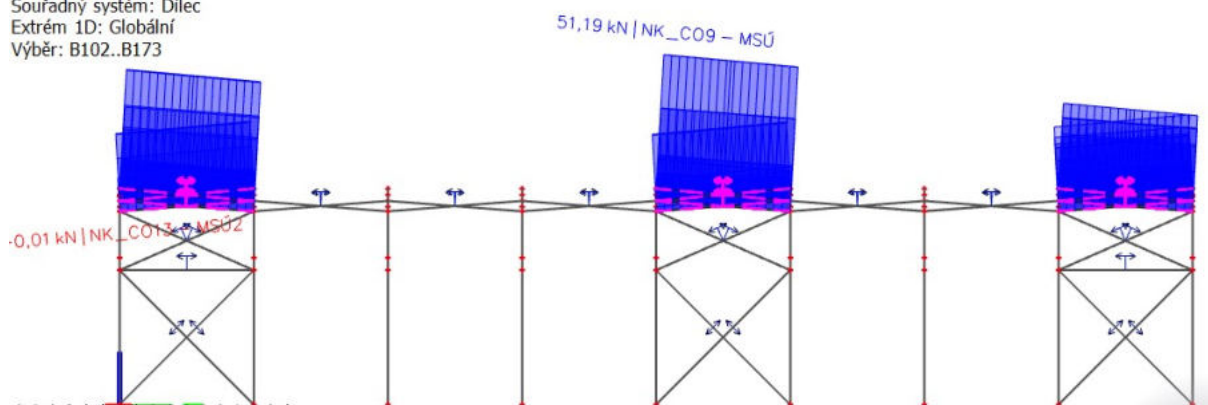
- předpokládaný průřez trubka 60.3x5 mm

Průřezové charakteristiky:

- plocha průřezu $A_{TR} := 0.000869 \text{ m}^2$

8.8.2 Vnitřní síly (rozhodující nelineární kombinace NK-CO09 MSÚ)

1D vnitřní síly
Hodnoty: N
Nelineární výpočet
Třída: Nelinear MSÚ
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Globální
Výběr: B102..B173



Obr.88: Výsledné normálové síly pro návrh příčného střešního ztužidla

$$N_{Ed,tah} := 51.19 \text{ kN}$$

8.8.3 Posouzení únosnosti ztužidla

Návrhová únosnost průřezu v prostém tahu:

$$N_{t,Rd} := \frac{A_{TR} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 204.215 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti v tahu:

$$\frac{N_{Ed,tah}}{N_{t,Rd}} = 0.251 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.8.4 Ostatní komponenty

Velikost svarů, šroubů a přípojných desek totožná s větrovým svislým ztužidlem mezi sloupy.

8.8.5 Souhrn návrhu:

Průřez ztužidla:	TR 60.3x5 mm
Výška přípojné desky:	$h_8 := h_7 = 80.3 \text{ mm}$
Tloušťka přípojné desky:	$t_8 := t_7 = 10 \text{ mm}$
Svar přípojné desky na trubku:	$a_{8,1} := a_{7,1} = 4 \text{ mm}$
Svar přípojné desky na sloup:	$a_{8,2} := a_{7,2} = 6 \text{ mm}$
Šroubový spoj přípojných desek:	2 x M16; 8.8

8.9 PODÉLNÉ STŘEŠNÍ ZTUŽIDLO

8.9.1 Průřez ztužidla; charakteristiky

- předpokladaný průřez trubka 60.3x5 mm

Průřezové charakteristiky:

- plocha průřezu $A_{TR} := 0.000869 \text{ m}^2$

8.9.2 Vnitřní síly (rozhodující nelineární kombinace NK-CO12 MSÚ)

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

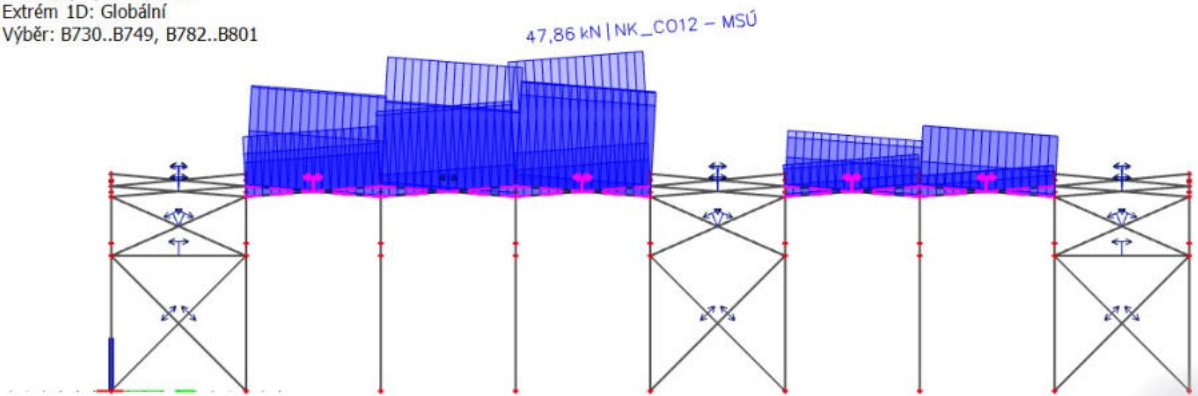
Nelineární výpočet

Třída: Nelinear MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B730..B749, B782..B801



Obr.90: Výsledné normálové síly pro návrh podélného střešního ztužidla

$$N_{Ed,tah} := 47.86 \text{ kN}$$

8.9.3 Posouzení únosnosti ztužidla

Návrhová únosnost průřezu v prostém tahu:

$$N_{t,Rd} := \frac{A_{TR} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 204.215 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti v tahu:

$$\frac{N_{Ed,tah}}{N_{t,Rd}} = 0.234 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.9.4 Ostatní komponenty

Velikost svarů, šroubů a přípojných desek totožná s větrovým svislým ztužidlem mezi sloupy.

8.9.5 Souhrn návrhu:

Průřez ztužidla: TR 60.3x5 mm

Výška přípojné desky: $h_9 := h_7 = 80.3 \text{ mm}$

Tloušťka přípojné desky: $t_9 := t_7 = 10 \text{ mm}$

Svar přípojné desky na trubku: $a_{9,1} := a_{7,1} = 4 \text{ mm}$

Svar přípojné desky na sloup: $a_{9,2} := a_{7,2} = 6 \text{ mm}$

Šroubový spoj přípojných desek: 2 x M16; 8.8

8.10 BRZDNÉ NÁRAZNÍKOVÉ ZTUŽIDLO

8.10.1 Průřez ztužidla; charakteristiky

- předpokladaný průřez trubka 60.3x5 mm

Průřezové charakteristiky:

- plocha průřezu $A_{TR} := 0.000869 \text{ m}^2$

8.10.2 Vnitřní síly (rozhodující nelineární kombinace NK - CO02 MSÚ)

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

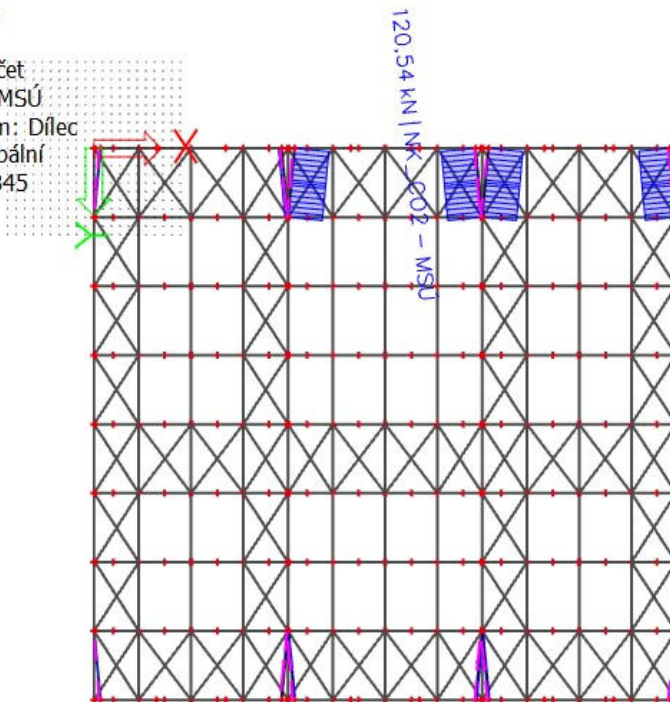
Nelineární výpočet

Třída: Nelinear MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Globální

Výběr: B834..B845



Obr.91: Výsledné normálové síly pro návrh brzdného nárazníkového ztužidla

$$N_{Ed,tah} := 120.54 \text{ kN}$$

8.10.3 Posouzení únosnosti ztužidla

Návrhová únosnost průřezu v prostém tahu:

$$N_{t,Rd} := \frac{A_{TR} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 204.215 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti v tahu:

$$\frac{N_{Ed,tah}}{N_{t,Rd}} = 0.59 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.10.4 Návrh přípojně desky

Síla působící na přípojnou desku: $N_{Ed,max;10} := N_{Ed,tah} = 120.54 \text{ kN}$

Charakteristika průřezu:

Výška přípojně desky: $h_{10} := D + 2 \cdot 40 \text{ mm} = 140.3 \text{ mm}$

Tloušťka přípojně desky: $t := \frac{N_{Ed,max;10}}{h_{10} \cdot f_y} = 3.656 \text{ mm} \Rightarrow t_{10} := 10 \text{ mm}$

Plocha přípojně desky: $A_{p;10} := h_{10} \cdot t_{10} = 0.001 \text{ m}^2$

8.10.5 Návrh svarů - zjednodušená metoda

- svar přípojně desky na trubku

Účinná délka svaru: $l := 4 \cdot 100 \text{ mm} + 2 \cdot D = 0.521 \text{ m}$

Požadovaná návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{A_{p;10} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 329.705 \text{ kN}$$

Návrhová pevnost svaru ve smyku:

- korelační součinitel: $\beta_w := 0.8$

$$f_{vw;d} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \Rightarrow a_{10;1} \geq \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 3.047 \text{ mm}$$
$$\Rightarrow a_{10;1} := 4 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 4 mm.

- svar přípojně desky na sloup

Účinná délka svaru: $l := 2 \cdot (h_{10} + t_{10}) = 300.6 \text{ mm}$

Minimální účinná tloušťka svaru: $a_{10;2} \geq \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 5.277 \text{ mm}$

$$\Rightarrow a_{10;2} := 6 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 6 mm.

8.10.6 Návrh šroubů

Návrhová síla: $F_{v;Ed} := N_{Ed;max;10} = 120.54 \text{ kN}$

- Vstupní údaje:

Pevnostní třída šroubů 8.8; kategorie spoje A

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa} \quad f_u := 360 \text{ MPa} \quad \alpha_v := 0.6$$

$$d := 20 \text{ mm} \quad d_0 := d + 2 \text{ mm} = 22 \text{ mm}$$

$$n_{STŘIH} := 1 \quad A_s := 245 \text{ mm}^2 \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

$$t := t_{10} = 10 \text{ mm} \quad (\text{minimální tloušťka připojovaného plechu})$$

Únosnost ve střihu:

$$F_{v;Rd} := \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 94.08 \text{ kN}$$

$$n_{počet} := 2$$

- únosnost šroubového spoje ve střihu:

$$F_{v;Rd;CELKEM} := F_{v;Rd} \cdot n_{počet} \cdot n_{STŘIH} = 188.16 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v;Ed}}{F_{v;Rd;CELKEM}} = 0.641 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Rozteče šroubů:

- minimální a maximální rozteče:

$$e_{1,min} := 1.2 \cdot d_0 = 26.4 \text{ mm} \quad e_{1,max1} := 12 \cdot t = 120 \text{ mm} \quad e_{1,max2} := 150 \text{ mm}$$

$$e_{2,min} := 1.2 \cdot d_0 = 26.4 \text{ mm} \quad e_{2,max1} := 12 \cdot t = 120 \text{ mm} \quad e_{2,max2} := 150 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} := 2.2 \cdot d_0 = 48.4 \text{ mm} \quad p_{1,max1} := 14 \cdot t = 140 \text{ mm} \quad p_{1,max2} := 200 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} := 2.4 \cdot d_0 = 52.8 \text{ mm} \quad p_{2,max1} := 14 \cdot t = 140 \text{ mm} \quad p_{2,max2} := 200 \text{ mm}$$

- výsledné rozteče:

$$e_1 := 50 \text{ mm} \quad e_2 := 35 \text{ mm} \quad p_1 := 50 \text{ mm} \quad p_2 := 0$$

- návrhová únosnost jednoho šroubu v otláčení:

$$\alpha_{b;1} := \frac{f_{ub}}{f_u} = 2.222 \quad \alpha_{b;2} := 1.0 \quad \alpha_{b;3} := \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = 0.758 \quad \alpha_{b;4} := \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = 0.508$$

$$\alpha_{b;min} := \alpha_{b;4} = 0.508$$

$$k_{1;kraj;1} := 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7 = 2.755 \quad k_{1;kraj;2} := 2.5 \quad ==> \quad k_{1;min} := k_{1;kraj;2} = 2.5$$

- únosnost jednoho šroubu v otláčení:

$$F_{b;Rd} := \frac{\alpha_{b;min} \cdot k_{1;min} \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 73.091 \text{ kN}$$

- únosnost šroubového spoje v otláčení:

$$F_{b;Rd;CELKEM} := F_{b;Rd} \cdot n_{počet} = 146.182 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v;Ed}}{F_{b;Rd;CELKEM}} = 0.825 \quad \leq 1.0 \quad ==> \text{ VYHOVUJE}$$

8.10.7 Souhrn návrhu:

Průřez ztužidla:	TR 60.3x5 mm
Výška přípojně desky:	$h_{10} = 140.3 \text{ mm}$
Tloušťka přípojně desky:	$t_{10} = 10 \text{ mm}$
Svar přípojně desky na trubku:	$a_{10;1} = 4 \text{ mm}$
Svar přípojně desky na sloup:	$a_{10;2} = 6 \text{ mm}$
Šroubový spoj přípojných desek:	2 x M20; 8.8

8.11 KONZOLA JD

8.11.1 Průřez konzoly; charakteristiky

- předpokladaný průřez IPE450

Průřezové charakteristiky průřezu IPE 450

• plocha průřezu	$A_{IPE450} := 0.00988 \text{ m}^2$
• smyková plocha průřezu ve směru osy y	$A_{vy;IPE450} := 0.00585 \text{ m}^2$
• smyková plocha průřezu ve směru osy z	$A_{vz;IPE450} := 0.00430 \text{ m}^2$
• elastický modul průřezu k ose y-y	$W_{el;y;IPE450} := 0.00150 \text{ m}^3$
• elastický modul průřezu k ose z-z	$W_{el;z;IPE450} := 0.000176 \text{ m}^3$
• plastický modul průřezu k ose y-y	$W_{pl;y;IPE450} := 0.001702 \text{ m}^3$
• plastický modul průřezu k ose z-z	$W_{pl;z;IPE450} := 0.000276 \text{ m}^3$
• moment setrvačnosti průřezu k ose y-y	$I_{y;IPE450} := 0.000337 \text{ m}^4$
• moment setrvačnosti průřezu k ose z-z	$I_{z;IPE450} := 0.00001676 \text{ m}^4$
• moment tuhosti v prostém kroucení	$I_t;IPE450 := 0.669 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$
• výsečový moment setrvačnosti	$I_w;IPE450 := 0.791 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$
• výška průřezu	$h_{IPE450} := 450 \text{ mm}$
• šířka průřezu	$b_{IPE450} := 190 \text{ mm}$
• tloušťka stojiny	$t_w;IPE450 := 9 \text{ mm}$
• tloušťka pásnice	$t_f;IPE450 := 15 \text{ mm}$
• poloměr zaoblení pásnice/stojina	$r_{IPE450} := 21 \text{ mm}$

Průřez spadá do třídy průřezu 1. Průřez bude posuzován s využitím plastické oblasti chování materiálu.

8.11.2 Vnitřní síly

- maximální délka střednice konzoly pro výpočet ohybových momentů (vnitřní sloup):

- rozpětí jeřábu (os kol jeřábu): $L := 21 \text{ m}$

$$l_K := \frac{22.5 \text{ m} - L - h_{HEA450}}{2} = 0.53 \text{ m}$$

- výška vrcholu kolejnice JD od střednice konzoly (tj. výška kolejnice JKL100, nosníku JD a poloviny výšky konzoly):

- výška JD: $h_{JD} := 440 \text{ mm}$

$$h_K := h_r + h_{JD} + \frac{h_{IPE450}}{2} = 0.77 \text{ m}$$

- maximální svislé zatížení konzoly větví jedné jeřábové dráhy (skupina zatížení č. 1):

$$F_{1,max1;sloup;k} = 251.122 \text{ kN} \quad ==> \quad F_{z;d} := F_{1,max1;sloup;k} \cdot 1.35 = 339.015 \text{ kN}$$

- maximální vodorovné zatížení od kol jeřábu pro skupinu zatížení JD č. 5 rovnoběžné s osou konzoly: (viz vnitřní síly JD)

$$V_{Ed;y;5} = 27.84 \text{ kN}$$

- maximální vodorovné zatížení od zrychlení/brždění jeřábu pro skupinu zatížení JD č. 1 kolmé na osu konzoly:

$$N_{Ed;1} := 18.09 \text{ kN}$$

Nenulové vnitřní síly na konzole:

$$N_{Ed;11} := V_{Ed;y;5} = 27.84 \text{ kN}$$

$$V_{y;Ed;11} := N_{Ed;1} = 18.09 \text{ kN}$$

$$V_{z;Ed;11} := F_{z;d} = 339.015 \text{ kN}$$

$$M_{x;Ed;11} := N_{Ed;1} \cdot h_K = 13.929 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{y;Ed;11} := F_{z;d} \cdot l_K + V_{Ed;y;5} \cdot h_K = 201.115 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z;Ed;11} := N_{Ed;1} \cdot l_K = 9.588 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

8.11.3 Posouzení únosnosti konzoly

Návrhová únosnost průřezu v prostém tlaku:

$$N_{c;Rd;11} := \frac{A_{IPE450} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = (2.322 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$M_{pl;y;Rd} := \frac{W_{pl;y;IPE450} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 399.97 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Návrhová únosnost průřezu ohybem kolem osy z-z:

$$M_{pl;z;Rd} := \frac{W_{pl;z;IPE450} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 64.86 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Návrhová smyková únosnost průřezu ve směru y-y:

$$V_{pl;y;Rd} := A_{vy;IPE450} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 793.712 \text{ kN}$$

Návrhová smyková únosnost průřezu ve směru z-z:

$$V_{pl;z;Rd} := A_{vz;IPE450} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 583.412 \text{ kN}$$

Posouzení smykové únosnosti:

$$\frac{V_{z;Ed;11}}{V_{pl;z;Rd}} = 0.581 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Smykové namáhání větší než 1/2 smykové únosnosti \Rightarrow jedná se o velký smyk; nutno posoudit interakci ohybu a smyku.

- redukována mez kluzu:

$$\rho := \left(\frac{2 \cdot V_{z;Ed;11}}{V_{pl;z;Rd}} - 1 \right)^2 = 0.026$$

Redukovaná únosnost v ohybu:

$$M_{pl;Rd} := \frac{2 \cdot W_{pl;y;IPE450} \cdot (1 - \rho) \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 778.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Posouzení redukovéna únosnosti v ohybu:

$$\frac{M_{pl;y;Rd}}{M_{pl;Rd}} = 0.514 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.11.3.1 Posudek na kombinaci ohybu, osové a smykové síly

Vzhledem k malému smyku jsou smykové síly zanedbány.

Zanedbání účinku osové síly na plastický moment únosnosti při ohybu kolem osy y-y: (ČSN EN 1993-1-1; článek 6.2.9.1)

- podmínky:

1) Dvojose symetrický I nebo H průřez.

2) $N_{Ed;11} = 27.84 \text{ kN} \quad \leq \quad 0.25 \cdot N_{c;Rd;11} = 580.45 \text{ kN}$

3) $N_{Ed;11} = 27.84 \text{ kN} \quad \leq \quad \frac{0.5 \cdot h_{IPE450} \cdot t_{w;IPE450} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 475.875 \text{ kN}$

Podmínky jsou splněny \Rightarrow Není nutné uvažovat účinek osové síly na plastický moment únosnosti kolem osy y-y.

Zanedbání účinku osové síly na plastický moment únosnosti při ohybu kolem osy z-z: (ČSN EN 1993-1-1; článek 6.2.9.1)

- podmínky:

1) Dvojse symetrický I nebo H průřez.

$$2) N_{Ed;11} = 27.84 \text{ kN} \quad \leq \quad \frac{h_{IPE450} \cdot t_{w;IPE450} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 951.75 \text{ kN}$$

Podmínky jsou splněny ==> Není nutné uvažovat účinek osově síly na plastický moment únosnosti kolem osy z-z.

8.11.4 Posouzení stability konzoly - interakce kroucení, klopení a osového tlaku

8.11.4.1 Kroucení

- rameno působení vodorovných sil (od hlavy kolejnice k težišti průřezu konzoly):

$$e := h_r + h_{JD} + \frac{h_{IPE450}}{2} = 770 \text{ mm}$$

- souřadnice působení zatížení vzhledem ke středu smyku (vzhledem k symetrii průřezu je totožná s e):

$$z_g := e = 0.77 \text{ m}$$

- parametr tuhosti prutu při kroucení:

$$K_t := l_K \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_{t;IPE450}}{E \cdot I_{\omega;IPE450}}} = 0.303$$

- koeficienty pro typ zatížení a okrajové podmínky:

$$\text{konzola - vetknutí (obecné kroucí zatížení)} \quad ==>> \quad \alpha := 2.7 \quad \beta := 1.11$$

- rozdělovací parametr

$$\kappa := \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K_t}\right)^2} = 0.012$$

- bimoment vázaného kroucení:

$$B_{Ed;11} := M_{z;Ed;11} \cdot e \cdot (1 - \kappa) = 7.291 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

8.11.4.2 Klopení

- součinitel vzpěrné délky (jeden konec brání deplanaci, druhý volný): $k_w := 2.0$

- bezrozměrný parametr kroucení:

$$k_{wt} := \frac{\pi}{k_w \cdot \frac{l_K}{1}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega; IPE450}}{G \cdot I_{t; IPE450}}} = 5.189$$

- součinitel vzpěrné délky (jeden konec vetknutý, druhý volný): $k_z := 2.0$

- bezrozměrný parametr působivosti zatížení vzhledem ke středu smyku:

$$\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{z; IPE450}}{G \cdot I_{t; IPE450}}} = 0.464$$

- bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu:

$$\zeta_j := 0 \quad (\text{symetrický průřez})$$

- součinitele závislé na zatížení a podmínkách uložení konců
(poznámka k tab. I.3 ; ČSN EN 1999-1-1):

Vzhledem k absenci součinitelů zatížení pro bezrozměrný kritický moment pro zatížení konzoly v normě ČSN EN 1993-1-1, jsou tyto součinitele stanoveny pomocí normy pro hliníkové konstrukce (ČSN EN 1999-1-11)

$$C_1 := 5.55 \quad (\text{pro } k_{wt} > 2.0)$$

$$C_2 := 1.255 + 1.566 \cdot k_{wt} - 0.931 \cdot k_{wt}^2 + 0.245 \cdot k_{wt}^3 - 0.024 \cdot k_{wt}^4 = 1.144 \quad (\text{pro } \zeta_g \geq 0.0)$$

- bezrozměrný kritický moment:

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \cdot \left(\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g) \right) = 13.265$$

- kritický moment:

$$M_{y;cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_{z; IPE450} \cdot G \cdot I_{t; IPE450}}}{l_K} = (3.434 \cdot 10^4) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- poměrná štíhlost

$$\lambda_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl; y; IPE450} \cdot f_y}{M_{y;cr}}} = 0.108$$

- součinitel imperfekce při klopení

$$\frac{h_{IPE450}}{b_{IPE450}} = 2.368 \quad \square > 2 \quad ==> \quad \alpha_{LT} := 0.34 \quad (\text{křivka klopení b; tab. 6.3; ČSN EN 1993-1-1})$$

- doporučené hodnoty parametrů (NP16)

$$\lambda_{LT;0} := 0.4$$

$$\beta := 0.75$$

$$==> \quad \phi_{LT} := 0.5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT;0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2) = 0.455$$

- součinitel klopení dle ČSN EN 1993-1-1

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = 1.111 \quad \square \wedge \square \quad \chi_{LT} \leq 1.0 \quad \square \wedge \square \quad \chi_{LT} \leq \square \quad \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = 85.852$$

$$==> \quad \chi_{LT} := 1.0$$

8.11.4.3 Chybějící neznámé pro výpočet interace klopení a kroucení

$$\omega_{max} := \frac{b_{IPE450} \cdot h_{IPE450}}{4} = 0.021 \text{ m}^2$$

$$B_{Rk} := \frac{I_{\omega;IPE450}}{\omega_{max}} \cdot f_y = 8.696 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

$$k_w := 0.7 - \frac{0.2 \cdot B_{Ed;11}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.532$$

$$k_{zw} := 1 - \frac{M_{z;Ed;11}}{W_{el;z;IPE450} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = 0.768$$

$$k_a := \frac{1}{1 - \frac{M_{y;Ed;11}}{M_{y;cr}}} = 1.006$$

$$M_{y;Rk} := W_{pl;y;IPE450} \cdot f_y = 399.97 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z;Rk} := W_{pl;z;IPE450} \cdot f_y = 64.86 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$C_{my} := 0.6 \quad (\text{ČSN EN 1993-1-1; Tab. B.3})$$

$$C_{mz} := 0.6$$

$$C_{mLT} := 0.6$$

8.11.4.4 Osový tlak

- charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu při působení osově síly $N_{pl;Rk}$:

$$N_{Rk} := A_{IPE450} \cdot f_y = (2.322 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

- pružná kritická síla pro příslušný způsob vybočení:

- kritická délka konzoly:

$$L_{cr} := 2 \cdot l_K = 1.06 \text{ m}$$

$$N_{cr} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{IPE450}}{L_{cr}^2} \Rightarrow$$

$$N_{cr;y} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y;IPE450}}{L_{cr}^2} = (6.216 \cdot 10^5) \text{ kN}$$

$$N_{cr;z} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{z;IPE450}}{L_{cr}^2} = (3.092 \cdot 10^4) \text{ kN}$$

- poměrná štíhlost:

$$\lambda := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \Rightarrow$$

$$\lambda_y := \sqrt{\frac{A_{IPE450} \cdot f_y}{N_{cr;y}}} = 0.061$$

$$\lambda_z := \sqrt{\frac{A_{IPE450} \cdot f_y}{N_{cr;z}}} = 0.274$$

- křivka vzpěrné pevnosti:

Vybočení kolmo k ose y-y

=>>

a

=>>

$$\alpha_y := 0.21$$

Vybočení kolmo k ose z-z

b

=>>

$$\alpha_z := 0.34$$

$$\phi := 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2) \Rightarrow$$

$$\phi_y := 0.5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2) = 0.487$$

$$\phi_z := 0.5 \cdot (1 + \alpha_z \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2) = 0.55$$

- součinitel vzpěru dle ČSN EN 1993-1-1

$$\chi := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \Rightarrow$$

$$\chi_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 1.03$$

$$\chi_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.974$$

8.11.4.5 Součinitele interakce

Použita alternativní metoda 2 - dle ČSN EN 1993-1-1 - plasticitní návrh

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed;11}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.599 \quad \square \wedge \square \leq \square \quad C_{my} \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed;11}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.606$$

==> VYHOVUJE

$$k_{zz} := C_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \lambda_z - 0.6) \cdot \frac{N_{Ed;11}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.6 \quad \square \wedge \square \leq \square \quad C_{mz} \cdot \left(1 + 1.4 \cdot \frac{N_{Ed;11}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.61$$

==> VYHOVUJE

$$k_{yz} := 0.6 \cdot k_{zz;1} = 0.6$$

$$\lambda_z = 0.274 \quad ==>$$

$$k_{zy} := 0.6 + \lambda_z = 0.874 \quad \square \wedge \square \leq \square \quad 1 - \frac{0.1}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed;11}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.996 \quad (\text{pro } \lambda_z < 0.4)$$

8.11.4.6 Ostatní neznámé parametry a dosazení do původní rovnice

- momenty v důsledku posunu těžišťové osy (pouze pro třídu průřezu 4 - ostatní nulové)

$$==> \quad \Delta M_{Ed;y;11} := 0 \quad \Delta M_{Ed;z;11} := 0$$

8.11.4.7 Posouzení na interakci kroucení, klopení a osového tlaku - dosazení do původního vzorce:

$$\frac{N_{Ed;11}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y;Ed;11} + \Delta M_{Ed;y;11}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y;Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z;Ed;11} + \Delta M_{Ed;z;11}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{z;Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_w \cdot k_{zw} \cdot k_a \cdot B_{Ed;11}}{B_{Rk}} = 0.746 \quad \square \leq 1.0$$

==>> VYHOVUJE

$$\frac{N_{Ed;11}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y;Ed;11} + \Delta M_{Ed;y;11}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y;Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z;Ed;11} + \Delta M_{Ed;z;11}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{z;Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_w \cdot k_{zw} \cdot k_a \cdot B_{Ed;11}}{B_{Rk}} = 0.885 \quad \square \leq 1.0$$

==>> VYHOVUJE

8.11.5 Únosnost základních komponent :

Únosnost pásnice konzoly v tlaku:

- tloušťka pásnice konzoly $t_{fb} := t_{f;IPE450} = 15 \text{ mm}$
- výška příče $h := h_{IPE450} = 450 \text{ mm}$
- návrhová únosnost v ohybu $M_{c;Rd} := \frac{W_{pl;y;IPE450} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 399.97 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$F_{c;fb;Rd} := \frac{M_{c;Rd}}{h - t_{fb}} = 919.471 \text{ kN}$$

Únosnost stojiny sloupu ve smyku:

- podmínka štíhlosti stojiny:

$$d := h_{HEA450} - 2 \cdot (t_{f;HEA450} + r_{HEA450}) = 344 \text{ mm}$$

$$t_{w;HEA450} = 12 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_{w;HEA450}} = 28.667 \quad \leq \quad 69 \cdot \varepsilon = 69 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- únosnost ve smyku nevyztužené stojiny:

$$V_{wp;w;Rd} := \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vz;HEA450}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 639.732 \text{ kN}$$

- vliv vyztužení stojiny pásnicemi

- návrhová plastická momentová únosnost pásnice sloupu:

$$M_{pl;fc;Rd} := \frac{1}{4} \cdot b_{HEA450} \cdot t_{f;HEA450}^2 \cdot f_y = 7.773 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Příčná výztuha plechem P16 z obou stran:

- tloušťka příčné výztuhy $t_{PP;11} := 16 \text{ mm} \geq t_{f;IPE450} = 15 \text{ mm}$

- osová vzdálenost výztuh $d_s := h_{IPE450} - t_{f;IPE450} = 0.435 \text{ m}$

- návrhová plastická momentová únosnost příčné výztuhy:

$$M_{pl;st;Rd} := \frac{1}{4} \cdot b_{HEA450} \cdot t_{PP;11}^2 \cdot f_y = 4.512 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Zvýšení únosnosti stojiny ve smyku vlivem příložek na stěně sloupu:

$$V_{wp;add;Rd1} := 4 \cdot \frac{M_{pl;fc;Rd}}{d_s} = 71.472 \text{ kN}$$

$$V_{wp;add;Rd2} := 2 \cdot \frac{M_{pl;fc;Rd}}{d_s} + 2 \cdot \frac{M_{pl;st;Rd}}{d_s} = 56.481 \text{ kN}$$

$$\implies V_{wp;add;Rd} := V_{wp;add;Rd2} = 56.481 \text{ kN} \quad (\text{minimum})$$

Celková smyková únosnost:

$$V_{wp;Rd} := V_{wp;w;Rd} + V_{wp;add;Rd} = 696.213 \text{ kN}$$

- posouzení únosnosti stěny sloupu ve smyku:

$$\frac{F_{c;fb;Rd}}{V_{wp;Rd}} = 1.321 \quad \leq 1.0 \quad \implies \text{NEVYHOVUJE}$$

\implies Zesílení stojiny sloupu vevařením plechové příložky P15.

- tloušťka plošné výztuhy: $t_{PL;11} := 15 \text{ mm} \quad \geq \quad t_{w;HEA800} = 15 \text{ mm}$
 $t_{w;HEA450} = 12 \text{ mm}$

$$b_{PL;11} := h_{HEA450} - 2 \cdot t_{f;HEA450} - 2 \cdot r_{HEA450} = 344 \text{ mm} \quad \leq \quad 40 \cdot \varepsilon \cdot t_{PL;11} = 600 \text{ mm}$$

Zvětšení smykové plochy:

$$A_{vz;add} := b_{PL;11} \cdot t_{w;HEA450} = 0.004 \text{ m}^2$$

Únosnost vyztužené stojiny

$$V_{wp;Rd} := \frac{0.9 \cdot f_y \cdot (A_{vz;HEA450} + A_{vz;add})}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} + V_{wp;add;Rd} = (1.2 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

- posouzení únosnosti stěny sloupu ve smyku:

$$\frac{F_{c;fb;Rd}}{V_{wp;Rd}} = 0.766 \quad \leq 1.0 \quad \implies \text{VYHOVUJE}$$

8.11.6 Návrh svarů - zjednodušená metoda

8.11.6.1 Koutový svar připojení konzoly na sloup

- svar tažené pásnice konzoly a pásnice sloupu

$$\text{Pásnice sloupu:} \quad t_{f;IPE450} = 15 \text{ mm}$$

Účinná délka svaru: $l := 2 \cdot b_{IPE450} - t_{w;IPE450} - 2 \cdot r_{IPE450} = 0.329 \text{ m}$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{t_{f;IPE450} \cdot b_{IPE450} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 669.75 \text{ kN}$$

Návrhová pevnost svaru ve smyku:

- korelační součinitel: $\beta_w := 0.8$

$$f_{vw;d} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad ==> \quad a \quad \geq \quad \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 9.794 \text{ mm}$$

$$==> \quad a_{11;1} := 10 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 10 mm.

- svar stojiny konzoly a pásnice sloupu

Účinná délka svaru: $l := 2 \cdot h_{IPE450} - 2 \cdot (t_{f;IPE450} + r_{IPE450}) = 0.828 \text{ m}$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{A_{vz;IPE450} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = 583.412 \text{ kN}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad ==> \quad a \quad \geq \quad \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 3.39 \text{ mm}$$

$$==> \quad a_{11;2} := 4 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 4 mm.

8.11.6.2 Koutový svar výztuhy sloupu

- výztuha stojiny sloupu

$$t_{f;IPE450} = 15 \text{ mm} \quad ==> \quad t_{VÝZTUHA} := 16 \text{ mm}$$

Účinná délka svaru:

$$l := 2 \cdot (b_{HEA450} - t_{w;HEA450} - 2 \cdot r_{HEA450}) + h_{HEA450} - 2 \cdot (t_{f;HEA450} + r_{HEA450}) = 0.812 \text{ m}$$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{t_{f;IPE450} \cdot b_{IPE450} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 669.75 \text{ kN}$$

Návrhová pevnost svaru ve smyku:

- korelační součinitel: $\beta_w := 0.8$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad ==> \quad a_3 \quad \geq \quad \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 3.968 \text{ mm}$$
$$==> \quad a_{11;3} := 4 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 4 mm.

8.12 RÁMOVÝ ROH - krajní sloup/příčle

8.12.1 Návrh geometrie

- vstupní údaje:

Pevnostní třída šroubů 8.8; kategorie spoje A, D

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa} \quad f_{yb} := 640 \text{ MPa} \quad f_u := 360 \text{ MPa}$$

$$d_{12} := 24 \text{ mm} \quad d_0 := d_{12} + 2 \text{ mm} = 26 \text{ mm}$$

$$n_{STŘIH} := 1 \quad A := 353 \text{ mm}^2 \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

- tloušťka čelní desky $t_{12} := 30 \text{ mm} \quad \geq \quad t_{f;HEA800} = 28 \text{ mm}$

- návrhová únosnost jednoho šroubu v tahu:

- nezapuštěný šroub $k_2 := 0.9$

- plocha dřívku šroubu $A_s := 353 \text{ mm}^2$

$$F_{T;Rd} := \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 203.328 \text{ kN}$$

- rozteče šroubů:

$$e_{1,min} := 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$$

$$e_{2,min} := 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} := 2.2 \cdot d_0 = 57.2 \text{ mm}$$

$$p_{1,max1} := 14 \cdot t_{12} = 420 \text{ mm}$$

$$p_{1,max2} := 200 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} := 2.4 \cdot d_0 = 62.4 \text{ mm}$$

$$p_{2,max1} := 14 \cdot t_{12} = 420 \text{ mm}$$

$$p_{2,max2} := 200 \text{ mm}$$

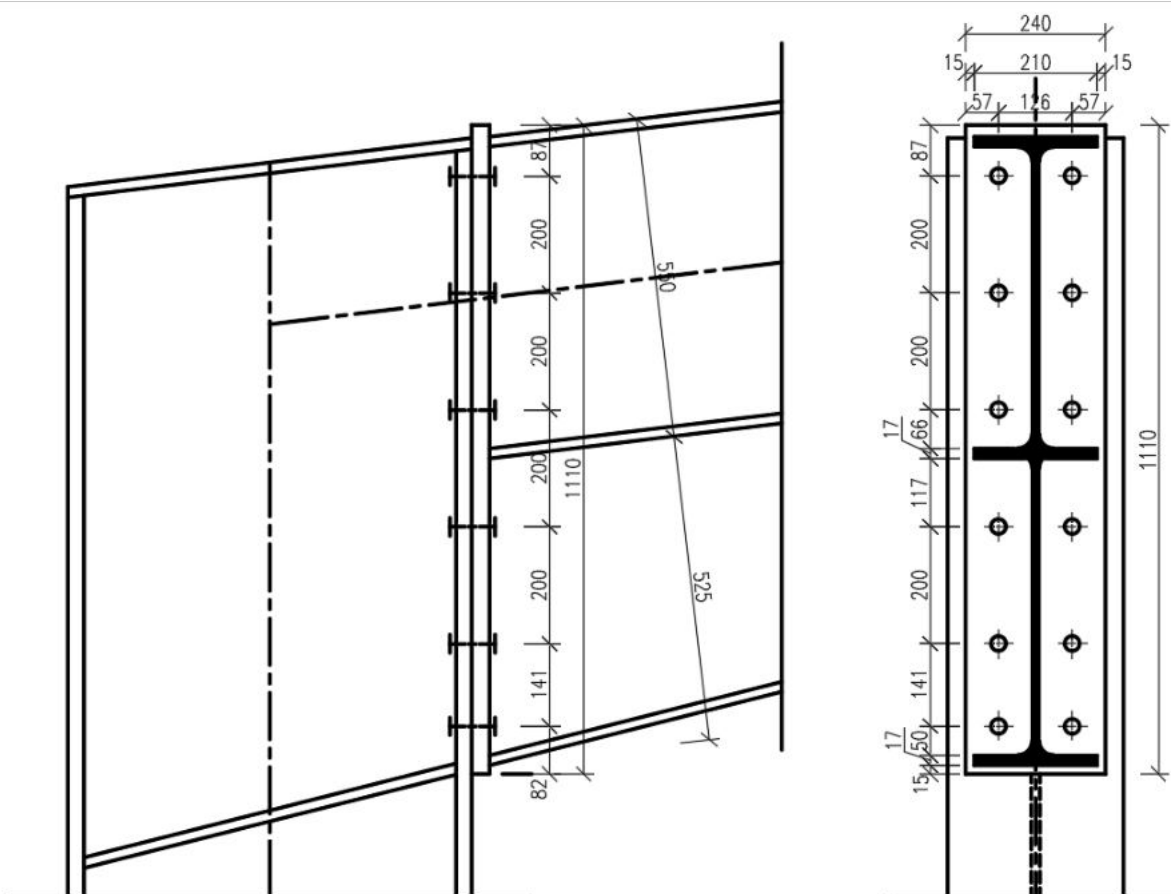
$$e_{1,12} := 87 \text{ mm}$$

$$e_{2,12} := 57 \text{ mm}$$

$$p_{1,12} := 200 \text{ mm}$$

$$p_{2,12} := 126 \text{ mm}$$

- geometrie rámového rohu:



Obr.92: Geometrie rámového rohu krajní sloup/příčle

8.12.2 Návrh svarů - zjednodušená metoda

8.12.2.1 Koutový svar styčnicková deska/příčle

- svar tažené pásnice a čelní desky

Styčnicková deska: P30; S235

Účinná délka svaru: $l := 2 \cdot b_{NÁBĚH} - t_{w;NÁBĚH} = 0.409 \text{ m}$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{t_{f;NÁBĚH} \cdot b_{NÁBĚH} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 838.95 \text{ kN}$$

Návrhová pevnost svaru ve smyku:

- korelační součinitel: $\beta_w := 0.8$

$$f_{vw;d} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad ==> \quad a \quad \geq \quad \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 9.869 \text{ mm}$$
$$==> \quad a_{12;1} := 10 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 10 mm.

- svar stojiny a čelní desky

Účinná délka svaru: $l := 2 \cdot h_{NÁBĚH} - 3 \cdot t_{f;NÁBĚH} = 2.099 \text{ m}$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{A_{vz;NÁBĚH} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = (1.685 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad ==> \quad a \quad \geq \quad \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 3.863 \text{ mm}$$
$$==> \quad a_{12;2} := 4 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 4 mm.

8.12.2.2 Koutový svar výztuhy sloupu

- výztuha stojiny sloupu

$$t_{f;NÁBĚH} = 17 \text{ mm} \quad ==> \quad t_{VÝZTUHA;HEA} := 18 \text{ mm}$$

Účinná délka svaru:

$$l := 2 \cdot (b_{HEA800} - t_{w;HEA800} - 2 \cdot r_{HEA800}) + 2 \cdot (h_{HEA800} - 2 \cdot t_{f;HEA800} - 2 \cdot r_{HEA800}) = 1.798 \text{ m}$$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{t_{VÝZTUHA;HEA} \cdot (b_{HEA800} - t_{w;HEA800} - 2 \cdot r_{HEA800}) \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 951.75 \text{ kN}$$

Návrhová pevnost svaru ve smyku:

- korelační součinitel: $\beta_w := 0.8$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad ==> \quad a \quad \geq \quad \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 2.547 \text{ mm}$$

$$==> \quad a_{12;3} := 4 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 4 mm.

8.12.3 Náhradní T profil v tahu - výpočet řad šroubů

- vstupní údaje:

- sloup

- šířka pásnice
- poloměr zaoblení
- tloušťka pásnice
- tloušťka stojiny

$$b_{HEA800} = 300 \text{ mm}$$

$$r_{HEA800} = 30 \text{ mm}$$

$$t_{f;HEA800} = 28 \text{ mm}$$

$$t_{w;HEA800} = 15 \text{ mm}$$

- příčle

- šířka pásnice
- poloměr zaoblení
- tloušťka pásnice
- tloušťka stojiny

$$b_{IPE550} = 210 \text{ mm}$$

$$r_{IPE550} = 24 \text{ mm}$$

$$t_{f;IPE550} = 17 \text{ mm}$$

$$t_{w;IPE550} = 11 \text{ mm}$$

- čelní deska příčle

- šířka desky
- tloušťka desky

$$b_{\check{C}D;12} := 240 \text{ mm}$$

$$t_{\check{C}D;12} := 30 \text{ mm}$$

- výztuha stojiny sloupu

$$t_{f;IPE550} = 17 \text{ mm} \quad ==>$$

$$t_{VÝZTUHA;HEA;12} := 18 \text{ mm}$$

Rozměrové parametry:

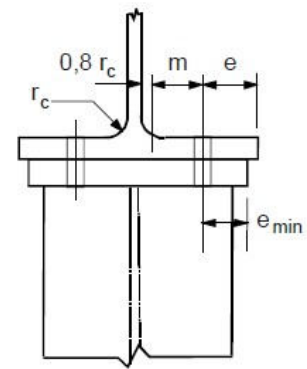
a) pásnice sloupu v ohybu

$$m_s := \frac{p_{2;12}}{2} - \frac{t_{w;HEA800}}{2} - 0.8 \cdot r_{HEA800} = 31.5 \text{ mm}$$

$$e := \frac{b_{HEA800}}{2} - \frac{p_{2;12}}{2} = 87 \text{ mm} \quad e_{min} := \frac{b_{\check{C}D;12}}{2} - \frac{p_{2;12}}{2} = 57 \text{ mm}$$

- uvažovaný svar výztuhy sloupu:

$$a_{12;3} = 4 \text{ mm}$$



Obr.93: Znázornění parametrů

$$\Rightarrow m_{2s} := e_{1;12} - 20 \text{ mm} - 0.8 \cdot a_{12;3} \cdot \sqrt{2} - \frac{t_{VÝZTUHA;HEA;12}}{2} = 53.475 \text{ mm}$$

- hodnota α pro vyztuženou pásnici sloupu:

$$\lambda_1 := \frac{m_s}{m_s + e} = 0.266$$

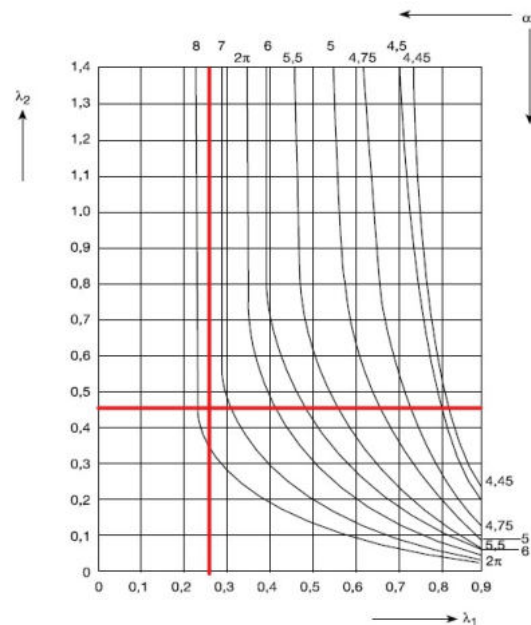
$$\lambda_2 := \frac{m_{2s}}{m_s + e} = 0.451$$

$$\Rightarrow \alpha_s := 7.6$$

$$n_1 := e_{min} = 57 \text{ mm}$$

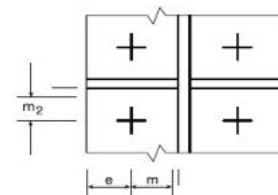
$$n_2 := 1.25 \cdot m_s = 39.375 \text{ mm}$$

$$n_{min;s} := n_2 = 39.375 \text{ mm}$$



$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e}$$



Obr.94: Stanovení hodnoty α

b) čelní deska v ohybu

- uvažovaný svar stojiny příčle:

$$a_{12;2} = 4 \text{ mm}$$

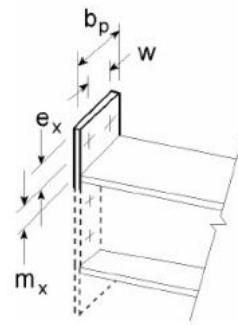
$$m_x := e_{1;12} - a_{12;2} \cdot \sqrt{2} = 81.343 \text{ mm}$$

$$e_x := e_{1;12} = 87 \text{ mm}$$

$$w := e_{2;12} = 57 \text{ mm}$$

$$m_{2d} := e_{1;12} - 20 \text{ mm} - t_{w;IPE550} - 0.8 a_{12;2} \cdot \sqrt{2} = 51.475 \text{ mm}$$

$$m_d := \frac{p_{2;12}}{2} - \frac{t_{f;IPE550}}{2} - a_{12;2} \cdot \sqrt{2} = 48.843 \text{ mm}$$



Obr.93: Znárodnění parametrů

- hodnota α pro čelní desku:

$$\lambda_1 := \frac{m_d}{m_d + e} = 0.36$$

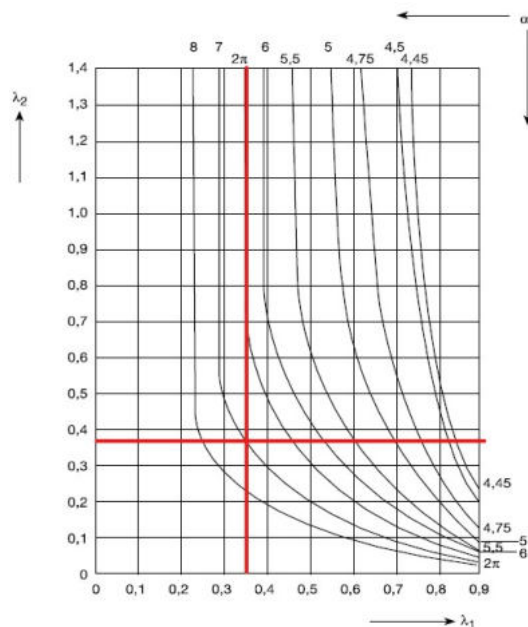
$$\lambda_2 := \frac{m_{2d}}{m_d + e} = 0.379$$

$$\Rightarrow \alpha_d = 6.9$$

$$n_1 := e_{min} = 57 \text{ mm}$$

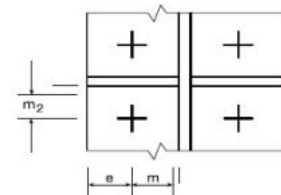
$$n_2 := 1.25 \cdot m_d = 61.054 \text{ mm}$$

$$n_{min;d} := n_2 = 61.054 \text{ mm}$$



$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e}$$



Účinné délky :

- 1. řada šroubů:

Obr.95: Stanovení hodnoty α

a) pásnice sloupu v ohybu

- řada šroubů sousedící s výztuhou; řada součástí skupin řad šroubů

- kruhové porušení

$$L_{eff;cp;1} := \pi \cdot m_s + p_{1;12} = 298.96 \text{ mm}$$

- nekruhové porušení

$$L_{eff;nc;1} := 0.5 \cdot p_{1;12} + \alpha_s \cdot m_s - (2 \cdot m_s + 0.625 e) = 222.025 \text{ mm}$$

$$L_{eff;cp;min} := L_{eff;cp;1} = 298.96 \text{ mm}$$

$$L_{eff;nc;min} := L_{eff;nc;1} = 222.025 \text{ mm}$$

Výsledné účinné délky pro stojinu sloupu:

$$L_{eff;1;s1} := L_{eff;nc;min} = 222.025 \text{ mm}$$

$$L_{eff;2;s1} := L_{eff;nc;min} = 222.025 \text{ mm}$$

b) čelní deska v ohybu

- řada šroubů pod taženou pásnicí; řada součástí skupin řad šroubů

- kruhové porušení

$$L_{eff;cp;1} := \pi \cdot m_d + p_{1;12} = 353.445 \text{ mm}$$

- nekruhové porušení

$$L_{eff;nc;1} := 0.5 \cdot p_{1;12} + \alpha_d \cdot m_d - (2 \cdot m_d + 0.625 e) = 284.956 \text{ mm}$$

$$L_{eff;cp;min} := L_{eff;cp;1} = 353.445 \text{ mm}$$

$$L_{eff;nc;min} := L_{eff;nc;1} = 284.956 \text{ mm}$$

Výsledné účinné délky pro čelní desku:

$$L_{eff;1;d1} := L_{eff;nc;min} = 284.956 \text{ mm}$$

$$L_{eff;2;d1} := L_{eff;nc;min} = 284.956 \text{ mm}$$

- 2. řada šroubů:

a) pásnice sloupu v ohybu / čelní deska v ohybu

- vnitřní řada šroubů; řada součástí skupin řad šroubů

- kruhové porušení

- nekruhové porušení

$$L_{eff;cp;1} := 2 \cdot p_{1;12} = 400 \text{ mm}$$

$$L_{eff;nc;1} := p_{1;12} = 200 \text{ mm}$$

$$L_{eff;cp;min} := L_{eff;cp;1} = 400 \text{ mm}$$

$$L_{eff;nc;min} := L_{eff;nc;1} = 200 \text{ mm}$$

Výsledné účinné délky pro stojinu sloupu a čelní desku:

$$L_{eff;1;s2} := L_{eff;nc;min} = 200 \text{ mm} \quad L_{eff;1;d2} := L_{eff;nc;min} = 200 \text{ mm}$$

$$L_{eff;2;s2} := L_{eff;nc;min} = 200 \text{ mm} \quad L_{eff;2;d2} := L_{eff;nc;min} = 200 \text{ mm}$$

Plastické momenty (1. metoda):

- 1. řada

a) pásnice sloupu v ohybu

1. způsob - úplná plastifikace pásnice

$$M_{pl;1;Rd;s1} := 0.25 \cdot L_{eff;1;s1} \cdot t_{f;HEA800}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 10.226 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2. způsob - porušení šroubu s plastifikací pásnice

$$M_{pl;2;Rd;s1} := 0.25 \cdot L_{eff;2;s1} \cdot t_{f;HEA800}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 10.226 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

b) čelní deska v ohybu

1. způsob - úplná plastifikace pásnice

$$M_{pl;1;Rd;d1} := 0.25 \cdot L_{eff;1;d1} \cdot t_{\check{C}D;12}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 15.067 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2. způsob - porušení šroubu s plastifikací pásnice

$$M_{pl;2;Rd;d1} := 0.25 \cdot L_{eff;2;d1} \cdot t_{\check{C}D;12}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 15.067 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 2. řada

$$M_{pl;1;Rd;s2} := 0.25 \cdot L_{eff;1;s2} \cdot t_{f;HEA800}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 9.212 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pl;2;Rd;s2} := 0.25 \cdot L_{eff;2;s2} \cdot t_{f;HEA800}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 9.212 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pl;1;Rd;d2} := 0.25 \cdot L_{eff;1;d2} \cdot t_{\check{C}D;12}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 10.575 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pl;2;Rd;d2} := 0.25 \cdot L_{eff;2;d2} \cdot t_{\check{C}D;12}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 10.575 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Návrhová únosnost (1. metoda):

- 1. řada - tah

a) pásnice sloupu v ohybu

1. způsob - úplná plastifikace pásnice

$$F_{T;1;Rd;s1} := \frac{4 \cdot M_{pl;1;Rd;s1}}{m_s} = (1.299 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

2. způsob - porušení šroubu s plastifikací pásnice

$\Sigma := 2$ šrouby v řadě

$$F_{T;2;Rd;s1} := \frac{2 \cdot M_{pl;1;Rd;s1} + n_{min;s} \cdot \Sigma \cdot F_{T;Rd}}{m_s + n_{min;s}} = 514.498 \text{ kN}$$

3. způsob - porušení šroubu s plastifikací pásnice

$$F_{T;3;Rd;s} := \Sigma \cdot F_{T;Rd} = 406.656 \text{ kN}$$

b) čelní deska v ohybu

1. způsob - úplná plastifikace pásnice

$$F_{T;1;Rd;d1} := \frac{4 \cdot M_{pl;1;Rd;d1}}{m_d} = (1.234 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

2. způsob - porušení šroubu s plastifikací pásnice

$$F_{T;2;Rd;d1} := \frac{2 \cdot M_{pl;1;Rd;d1} + n_{min;d} \cdot \Sigma \cdot F_{T;Rd}}{m_d + n_{min;d}} = 500.123 \text{ kN}$$

Návrhová minimální únosnost 1. řady :

$$F_{t;1;Rd} := F_{T;3;Rd;s} = 406.656 \text{ kN}$$

- 2. řada - tah

$$F_{T;1;Rd;s2} := \frac{4 \cdot M_{pl;1;Rd;s2}}{m_s} = (1.17 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$F_{T;2;Rd;s2} := \frac{2 \cdot M_{pl;1;Rd;s2} + n_{min;s} \cdot \Sigma \cdot F_{T;Rd}}{m_s + n_{min;s}} = 485.871 \text{ kN}$$

$$F_{T;3;Rd;s} := \Sigma \cdot F_{T;Rd} = 406.656 \text{ kN}$$

$$F_{T;1;Rd;d2} := \frac{4 \cdot M_{pl;1;Rd;d2}}{m_d} = 866.038 \text{ kN}$$

$$F_{T;2;Rd;d2} := \frac{2 \cdot M_{pl;1;Rd;d2} + n_{min;d} \cdot \Sigma \cdot F_{T;Rd}}{m_d + n_{min;d}} = 418.373 \text{ kN}$$

Návrhová minimální únosnost 2. řady :

$$F_{t;2;Rd} := F_{T;3;Rd;s} = 406.656 \text{ kN}$$

8.12.4 Náhradní T profil ve smyku - výpočet řad šroubů

Návrhová smyková únosnost 6. řady :

- minimální tloušťka stěny $t_1 := t_{f;HEA800} = 28 \text{ mm}$ $t_2 := t_{\check{C}D;12} = 30 \text{ mm}$

$$\Rightarrow t_{min} := t_1 = 28 \text{ mm}$$

- návrhová únosnost jednoho šroubu ve smyku:

- třída pevnosti 8.8 $\alpha_v := 0.6$

$$F_{v;Rd} := \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 135.552 \text{ kN}$$

- návrhová únosnost jednoho šroubu v otláčení:

$$\alpha_{b;1} := \frac{f_{ub}}{f_u} = 2.222 \quad \alpha_{b;2} := 1.0 \quad \alpha_{b;3} := \frac{e_{1;12}}{3 \cdot d_0} = 1.115 \quad \alpha_{b;4} := \frac{p_{1;12}}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = 2.314$$

$$\alpha_{b;min} := \alpha_{b;2} = 1$$

$$k_{1;kraj;1} := 2.8 \cdot \frac{e_{2;12}}{d_0} - 1.7 = 4.438 \quad k_{1;kraj;2} := 2.5 \quad k_{1;kraj;min} := k_{1;kraj;2} = 2.5$$

$$k_{1;vnitřni;1} := 1.4 \cdot \frac{p_{2;12}}{d_0} - 1.7 = 5.085 \quad k_{1;vnitřni;2} := 2.5 \quad k_{1;vnitřni;min} := k_{1;vnitřni;2} = 2.5$$

$$\Rightarrow k_1 := 2.5$$

$$F_{b;Rd} := \frac{\alpha_{b;min} \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d_{12} \cdot t_1}{\gamma_{M2}} = 483.84 \text{ kN}$$

- počet šroubů namáhaných smykem: $n := 2$

Výsledná návrhová únosnost ve smyku:

$$V_{Rd} := n \cdot F_{v;Rd} = 271.104 \text{ kN}$$

8.12.5 Únosnost základních komponent :

Únosnost pásnice příčle v tlaku:

- tloušťka pásnice příčle

$$t_{fb} := t_{f;IPE550} = 17 \text{ mm}$$

- výška příčle

$$h := h_{NÁBĚH} = (1.075 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

- návrhová únosnost v ohybu

$$M_{c;Rd} := \frac{W_{pl;y;NÁBĚH} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = (1.631 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{c;fb;Rd} := \frac{M_{c;Rd}}{h - t_{fb}} = (1.541 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

- suma únosností šroubů v tahu:

$$\Sigma F_{t;i;Rd} := F_{t;1;Rd} + F_{t;2;Rd} = 813.312 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti pásnice příčle v tlaku:

$$F_{c;fb;Rd} = (1.541 \cdot 10^3) \text{ kN} \geq \Sigma F_{t;i;Rd} = 813.312 \text{ kN}$$

==> VYHOVUJE

Únosnost stojiny sloupu ve smyku:

- podmínka štíhlosti stojiny:

$$d := h_{HEA800} - 2 \cdot (t_{f;HEA800} + r_{HEA800}) = 674 \text{ mm}$$

$$t_{w;HEA800} = 15 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_{w;HEA800}} = 44.933 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69$$

==> VYHOVUJE

- únosnost ve smyku nevyztužené stojiny:

$$V_{wp;w;Rd} := \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vz;HEA800}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = (1.468 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

- vliv vyztužení stojiny pásnicemi

- návrhová plastická momentová únosnost pásnice sloupu:

$$M_{pl;fc;Rd} := \frac{1}{4} \cdot b_{HEA800} \cdot t_{f;HEA800}^2 \cdot f_y = 13.818 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Příčná výztuha plechem P18 z obou stran:

- tloušťka příčné výztuhy $t_{PP;12} := 18 \text{ mm} \quad \geq \quad t_{f;IPE550} = 17 \text{ mm}$
- osová vzdálenost výztuh $d_s := h_{NÁBĚH} - t_{f;IPE550} = 1.058 \text{ m}$

- návrhová plastická momentová únosnost příčné výztuhy:

$$M_{pl;st;Rd} := \frac{1}{4} \cdot b_{HEA800} \cdot t_{PP;12}^2 \cdot f_y = 5.711 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Zvýšení únosnosti stojiny ve smyku vlivem příčných výztuh na stěně sloupu:

$$V_{wp;add;Rd1} := 4 \cdot \frac{M_{pl;fc;Rd}}{d_s} = 52.242 \text{ kN}$$

$$V_{wp;add;Rd2} := 2 \cdot \frac{M_{pl;fc;Rd}}{d_s} + 2 \cdot \frac{M_{pl;st;Rd}}{d_s} = 36.916 \text{ kN}$$

$$\implies V_{wp;add;Rd} := V_{wp;add;Rd2} = 36.916 \text{ kN} \quad (\text{minimum})$$

Celková smyková únosnost:

$$V_{wp;Rd} := V_{wp;w;Rd} + V_{wp;add;Rd} = (1.505 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

- posouzení únosnosti stěny sloupu ve smyku:

$$\frac{F_{c;fb;Rd}}{V_{wp;Rd}} = 1.024 \quad \leq 1.0 \quad \implies \text{NEVYHOVUJE}$$

\implies Zesílení stojiny sloupu vevařením plechové příložky P18.

- tloušťka plošné výztuhy: $t_{PL;12} := 18 \text{ mm} \quad \geq \quad t_{w;HEA800} = 15 \text{ mm}$
- šířka plošné výztuhy:
 $b_{PL;12} := h_{HEA800} - 2 \cdot t_{f;HEA800} - 2 \cdot r_{HEA800} = 674 \text{ mm} \quad \leq \quad 40 \cdot \varepsilon \cdot t_{PL;12} = 720 \text{ mm}$
- výška plošné výztuhy:

- účinná výška v tahu:

$$b_{eff;t} := p_{1;12} = 200 \text{ mm} \quad (\text{účinná výška v tahu rovna účinné délce náhradního T-profilu})$$

- účinná výška v tlaku:

- účinná výška svaru pásnice a čelní desky příčle: $a_p := 10 \text{ mm}$
- tloušťka čelní desky příčle: $t_p := 30 \text{ mm}$

$$b_{eff;c} := t_{f;HEA800} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{f;HEA800} + r_{HEA800}) + t_p = 376.284 \text{ mm}$$

$$\text{Výška výztuhy: } l_{P;12} := 1300 \text{ mm} \quad \geq \quad h_{NABEH} + \frac{b_{eff;c}}{2} = 1.263 \text{ m}$$

Zvětšení smykové plochy:

$$A_{vz;add} := b_{PL;12} \cdot t_{w;HEA800} = 0.01 \text{ m}^2$$

Únosnost vyztužené stojiny

$$V_{wp;Rd} := \frac{0.9 \cdot f_y \cdot (A_{vz;HEA800} + A_{vz;add})}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} + V_{wp;add;Rd} = (2.739 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

- posouzení únosnosti stěny sloupu ve smyku:

$$\frac{F_{c;fb;Rd}}{V_{wp;Rd}} = 0.563 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.12.6 Rozdělení sil ve spoji

Plastické rozdělení:

Momentová únosnost spoje:

- výška šroubů od středu otáčení (středu pásnice):

$$h_1 := 999.5 \text{ mm} \quad h_2 := 899.5 \text{ mm}$$

$$M_{pl;Rd} := F_{t;1;Rd} \cdot h_1 + F_{t;2;Rd} \cdot h_2 = 772.24 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{y;Ed;2}}{M_{pl;Rd}} = 0.713 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Smyková únosnost spoje:

$$\frac{V_{z;Ed;2}}{V_{Rd}} = 0.505 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- podmínka plastického rozdělení sil:

$$1.9 \cdot \Sigma \cdot F_{T;Rd} = 772.646 \text{ kN} \quad \geq \quad \Sigma F_{t;i;Rd} = 813.312 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{NEVYHOVUJE}$$

Rozdělení sil ve šroubech je zapotřebí řešit pružně.

Pružné rozdělení:

Momentová únosnost spoje:

- výška šroubů od středu otáčení (středu pásnice):

$$h_1 := 999.5 \text{ mm} \quad h_2 := 899.5 \text{ mm}$$

Redukce únosnosti šroubů charakterizující pružné rozdělení sil:

$$F_{t;1;el;Rd} := F_{t;1;Rd} = 406.656 \text{ kN}$$

$$F_{t;2;el;Rd} := \frac{F_{t;1;el;Rd}}{h_1} \cdot h_2 = 365.97 \text{ kN} \quad \leq \quad F_{t;2;Rd} = 406.656 \text{ kN}$$

$$M_{el;Rd} := F_{t;1;el;Rd} \cdot h_1 + F_{t;2;el;Rd} \cdot h_2 = 735.643 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{y;Ed;2}}{M_{el;Rd}} = 0.749 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.12.7 Výsledný spoj

Výsledný návrh - šroub M24; 8.8 v šesti řadách po dvou kusech.

První a druhá řada šroubů jsou navrženy na tah. Šestá řada šroubů vyhovuje na smyková zatížení. Třetí až pátá řada slouží ke splnění konstrukčních zásad tj. splnění maximální rozteče šroubů 200 mm.

8.13 RÁMOVÝ ROH - vnitřní sloup/příčle

8.13.1 Návrh geometrie

- vstupní údaje:

Pevnostní třída šroubů 8.8; kategorie spoje A, D

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa} \quad f_{yb} := 640 \text{ MPa} \quad f_u := 360 \text{ MPa}$$

$$d_{13} := 24 \text{ mm} \quad d_0 := d_{13} + 2 \text{ mm} = 26 \text{ mm}$$

$$n_{STRĪH} := 1 \quad A := 353 \text{ mm}^2 \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

$$\text{- tloušťka čelní desky} \quad t_{13} := 22 \text{ mm} \quad \geq \quad t_{f;HEA450} = 21 \text{ mm}$$

- návrhová únosnost jednoho šroubu v tahu:

- nezapuštěný šroub $k_2 := 0.9$

- plocha dřívku šroubu $A_s := 353 \text{ mm}^2$

$$F_{T;Rd} := \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 203.328 \text{ kN}$$

- rozteče šroubů:

$$e_{1,min} := 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$$

$$e_{2,min} := 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} := 2.2 \cdot d_0 = 57.2 \text{ mm}$$

$$p_{1,max1} := 14 \cdot t_{13} = 308 \text{ mm}$$

$$p_{1,max2} := 200 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} := 2.4 \cdot d_0 = 62.4 \text{ mm}$$

$$p_{2,max1} := 14 \cdot t_{13} = 308 \text{ mm}$$

$$p_{2,max2} := 200 \text{ mm}$$

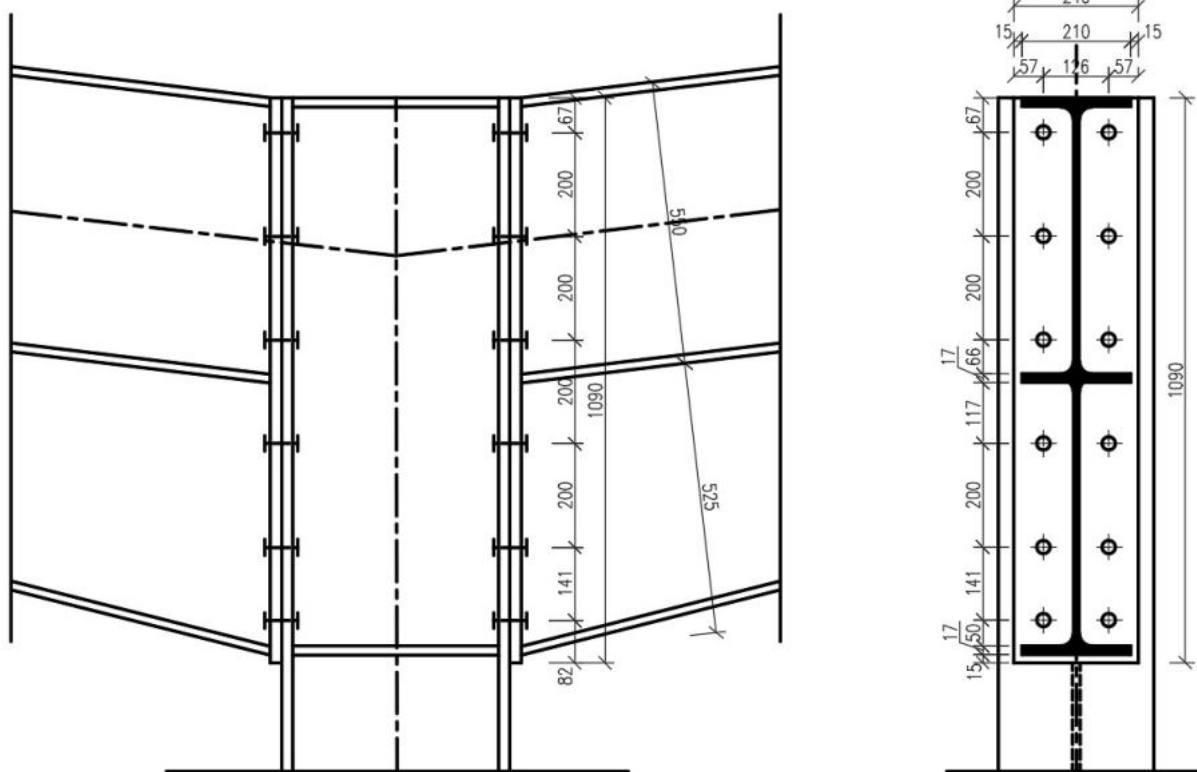
$$e_{1,13} := 67 \text{ mm}$$

$$e_{2,13} := 57 \text{ mm}$$

$$p_{1,13} := 200 \text{ mm}$$

$$p_{2,13} := 126 \text{ mm}$$

- geometrie rámového rohu:



Obr.96: Geometrie rámového rohu vnitřní sloup/příče

8.13.2 Návrh svarů

Svary totožné s návrhem v kapitole 8.11.2 - Návrh svarů pro spoj krajní sloup/příče.

- svar pásnice k čelní desce: $a_{13;1} := a_{12;1} = 10 \text{ mm}$
- svar stojiny k čelní desce: $a_{13;2} := a_{12;2} = 4 \text{ mm}$
- svar výztuhy sloupu: $a_{13;3} := a_{12;3} = 4 \text{ mm}$

8.13.3 Náhradní T profil v tahu - výpočet řad šroubů

- vstupní údaje:

- sloup

- šířka pásnice
- poloměr zaoblení
- tloušťka pásnice
- tloušťka stojiny

$$b_{HEA450} = 300 \text{ mm}$$

$$r_{HEA450} = 27 \text{ mm}$$

$$t_{f;HEA450} = 21 \text{ mm}$$

$$t_{w;HEA450} = 12 \text{ mm}$$

- příče

- šířka pásnice
- poloměr zaoblení
- tloušťka pásnice
- tloušťka stojiny

$$b_{IPE550} = 210 \text{ mm}$$

$$r_{IPE550} = 24 \text{ mm}$$

$$t_{f;IPE550} = 17 \text{ mm}$$

$$t_{w;IPE550} = 11 \text{ mm}$$

- čelní deska příče

- šířka desky
- tloušťka desky

$$b_{\check{C}D;13} := 240 \text{ mm}$$

$$t_{\check{C}D;13} := 22 \text{ mm}$$

- výztuha stojiny sloupu

$$t_{f;IPE550} = 17 \text{ mm} \quad ==> \quad t_{VYZTUHA;HEA;13} := 18 \text{ mm}$$

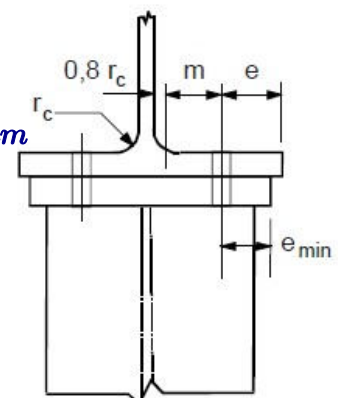
Rozměrové parametry:

$$m := \frac{p_{2;13}}{2} - \frac{t_{w;IPE550}}{2} - 0.8 \cdot a_{13;2} \cdot \sqrt{2} = 52.975 \text{ mm}$$

$$e := \frac{b_{HEA450}}{2} - \frac{p_{2;13}}{2} = 87 \text{ mm} \quad e_{min} := \frac{b_{\check{C}D;13}}{2} - \frac{p_{2;13}}{2} = 57 \text{ mm}$$

- uvažovaný svar výztuhy sloupu:

$$a_{13;3} = 4 \text{ mm}$$



$$==> \quad m_2 := e_{1;13} - 20 \text{ mm} - t_{f;IPE550} - a_{13;3} \cdot \sqrt{2} = 24.343 \text{ mm}$$

Obr. 93: Znázornění parametrů

- hodnota α pro vyztuženou pásnici sloupu:

$$\lambda_1 := \frac{m}{m+e} = 0.378$$

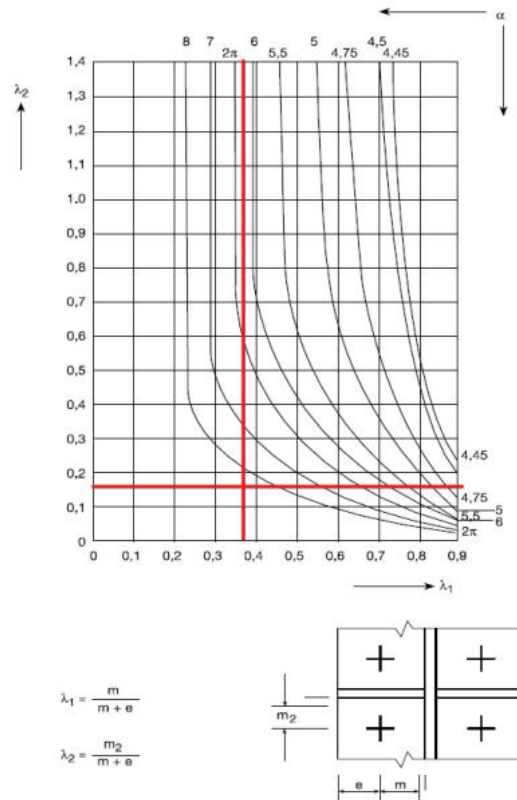
$$\lambda_2 := \frac{m_2}{m+e} = 0.174$$

$$\Rightarrow \alpha := 8.0$$

$$n_1 := e_{min} = 57 \text{ mm}$$

$$n_2 := 1.25 \cdot m = 66.218 \text{ mm}$$

$$n_{min} := n_2 = 66.218 \text{ mm}$$



Obr. 97: Stanovení hodnoty α

- řada šroubů sousedící s výztuhou; řada součástí skupin řad šroubů

- kruhové porušení

$$L_{eff,cp;1} := \pi \cdot m + p_{1;13} = 366.424 \text{ mm}$$

- nekruhové porušení

$$L_{eff,nc;1} := 0.5 \cdot p_{1;13} + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 363.472 \text{ mm}$$

$$L_{eff,cp;min} := L_{eff,cp;1} = 366.424 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc;min} := L_{eff,nc;1} = 363.472 \text{ mm}$$

Výsledné účinné délky pro stojinu sloupu:

$$L_{eff;1;1} := L_{eff,nc;min} = 363.472 \text{ mm}$$

$$L_{eff;2;1} := L_{eff,nc;min} = 363.472 \text{ mm}$$

- 2. řada šroubů:

- vnitřní řada šroubů; řada součástí skupin řad šroubů

- kruhové porušení

- nekruhové porušení

$$L_{eff,cp;1} := 2 \cdot p_{1;13} = 400 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc;1} := p_{1;13} = 200 \text{ mm}$$

$$L_{eff;cp;min} := L_{eff;cp;1} = 400 \text{ mm}$$

$$L_{eff;nc;min} := L_{eff;nc;1} = 200 \text{ mm}$$

Výsledné účinné délky pro stojinu sloupu a čelní desku:

$$L_{eff;1;2} := L_{eff;nc;min} = 200 \text{ mm}$$

$$L_{eff;2;2} := L_{eff;nc;min} = 200 \text{ mm}$$

Plastické momenty (1. metoda):

- 1. řada

a) pásnice sloupu v ohybu

1. způsob - úplná plastifikace pásnice

$$M_{pl;1;Rd;1} := 0.25 \cdot L_{eff;1;1} \cdot t_{f;HEA450}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 9.417 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2. způsob - porušení šroubu s plastifikací pásnice

$$M_{pl;2;Rd;1} := 0.25 \cdot L_{eff;2;1} \cdot t_{f;HEA450}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 9.417 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 2. řada

$$M_{pl;1;Rd;2} := 0.25 \cdot L_{eff;1;2} \cdot t_{f;HEA450}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 5.182 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pl;2;Rd;2} := 0.25 \cdot L_{eff;2;2} \cdot t_{f;HEA450}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 5.182 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Návrhová únosnost (1. metoda):

- 1. řada - tah

1. způsob - úplná plastifikace pásnice

$$F_{T;1;Rd;1} := \frac{4 \cdot M_{pl;1;Rd;1}}{m} = 711.067 \text{ kN}$$

2. způsob - porušení šroubu s plastifikací pásnice

$\Sigma := 2$ šrouby v řadě

$$F_{T;2;Rd;1} := \frac{2 \cdot M_{pl;1;Rd;1} + n_{min} \cdot \Sigma \cdot F_{T;Rd}}{m + n_{min}} = 383.935 \text{ kN}$$

3. způsob - porušení šroubu s plastifikací pásnice

$$F_{T;3;Rd;s} := \Sigma \cdot F_{T;Rd} = 406.656 \text{ kN}$$

Návrhová minimální únosnost 1. řady :

$$F_{t;1;Rd} := F_{T;2;Rd;1} = 383.935 \text{ kN}$$

- 2. řada - tah

$$F_{T;1;Rd;2} := \frac{4 \cdot M_{pl;1;Rd;2}}{m} = 391.264 \text{ kN}$$

$$F_{T;2;Rd;2} := \frac{2 \cdot M_{pl;1;Rd;2} + n_{min} \cdot \Sigma \cdot F_{T;Rd}}{m + n_{min}} = 312.867 \text{ kN}$$

$$F_{T;3;Rd;s} := \Sigma \cdot F_{T;Rd} = 406.656 \text{ kN}$$

Návrhová minimální únosnost 2. řady :

$$F_{t;2;Rd} := F_{T;2;Rd;2} = 312.867 \text{ kN}$$

8.13.4 Náhradní T profil ve smyku - výpočet řad šroubů

Návrhová smyková únosnost 3. řady :

- minimální tloušťka stěny $t_1 := t_{f;HEA450} = 21 \text{ mm}$ $t_2 := t_{\check{C}D;13} = 22 \text{ mm}$

==> $t_{min} := t_1 = 21 \text{ mm}$

- návrhová únosnost jednoho šroubu ve smyku:

- třída pevnosti 8.8 $\alpha_v := 0.6$

$$F_{v;Rd} := \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 135.552 \text{ kN}$$

- návrhová únosnost jednoho šroubu v otláčení:

$$\alpha_{b;1} := \frac{f_{ub}}{f_u} = 2.222 \quad \alpha_{b;2} := 1.0 \quad \alpha_{b;3} := \frac{e_{1;13}}{3 \cdot d_0} = 0.859 \quad \alpha_{b;4} := \frac{p_{1;13}}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = 2.314$$

$$\alpha_{b,min} := \alpha_{b;3} = 0.859$$

$$k_{1;kraj;1} := 2.8 \cdot \frac{e_{2;13}}{d_0} - 1.7 = 4.438 \quad k_{1;kraj;2} := 2.5 \quad k_{1;kraj,min} := k_{1;kraj;2} = 2.5$$

$$k_{1;vnitřni;1} := 1.4 \cdot \frac{p_{2;13}}{d_0} - 1.7 = 5.085 \quad k_{1;vnitřni;2} := 2.5 \quad k_{1;vnitřni,min} := k_{1;vnitřni;2} = 2.5$$

==> $k_1 := 2.5$

$$F_{b;Rd} := \frac{\alpha_{b,min} \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d_{13} \cdot t_1}{\gamma_{M2}} = 311.705 \text{ kN}$$

- počet šroubů namáhaných smykem: $n := 2$

Výsledná návrhová únosnost ve smyku:

$$V_{Rd} := n \cdot F_{v;Rd} = 271.104 \text{ kN}$$

8.13.5 Únosnost základních komponent :

Únosnost příčné výztuhy sloupu v tlaku/tahu:

$$f_{VÝZTUHA;13} := 18 \text{ mm} \quad \geq \quad t_{f;IPE550} = 17 \text{ mm} \quad ==> \text{ VYHOVUJE}$$

8.13.6 Rozdělení sil ve spoji

Plastické rozdělení:

Momentová únosnost spoje:

- výška šroubů od středu otáčení (středu pásnice):

$$h_1 := 999.5 \text{ mm} \quad h_2 := 799.5 \text{ mm}$$

$$M_{pl;Rd} := F_{t;1;Rd} \cdot h_1 + F_{t;2;Rd} \cdot h_2 = 633.88 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\Sigma F_{t;i;Rd} := F_{t;1;Rd} + F_{t;2;Rd} = 696.802 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{y;Ed;2}}{M_{pl;Rd}} = 0.869 \quad \leq 1.0 \quad ==> \text{ VYHOVUJE}$$

Smyková únosnost spoje:

$$\frac{V_{z;Ed;2}}{V_{Rd}} = 0.505 \quad \leq 1.0 \quad ==> \text{ VYHOVUJE}$$

- podmínka plastického rozdělení sil:

$$1.9 \cdot \Sigma \cdot F_{T;Rd} = 772.646 \text{ kN} \quad \geq \quad \Sigma F_{t;i;Rd} = 696.802 \text{ kN} \quad ==> \text{ VYHOVUJE}$$

8.13.7 Výsledný spoj

Výsledný návrh - šroub M24; 8.8 v šesti řadách po dvou kusech.

První a druhá řada šroubů jsou navrženy na namáhání tahem. Šestá řada šroubů vyhovuje na smyková zatížení. Třetí až pátá řada slouží ke splnění konstrukčních zásad tj. splnění maximální rozteče šroubů 200 mm.

8.14 MONTÁŽNÍ VRCHOLOVÝ PŘÍPOJ - příčle/příčle

8.14.1 Návrh geometrie

- vstupní údaje:

Pevnostní třída šroubů 8.8; kategorie spoje A, D

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa} \quad f_{yb} := 640 \text{ MPa} \quad f_u := 360 \text{ MPa}$$

$$d_{14} := 24 \text{ mm} \quad d_0 := d_{14} + 2 \text{ mm} = 26 \text{ mm}$$

$$n_{STR\dot{I}H} := 1 \quad A := 353 \text{ mm}^2 \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

- tloušťka čelní desky $t_{\check{C}D;14} := 20 \text{ mm}$

- návrhová únosnost jednoho šroubu v tahu:

- nezapuštěný šroub $k_2 := 0.9$

- plocha dříku šroubu $A_s := 353 \text{ mm}^2$

$$F_{T;Rd} := \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 203.328 \text{ kN}$$

- rozteče šroubů:

$$e_{1;min} := 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$$

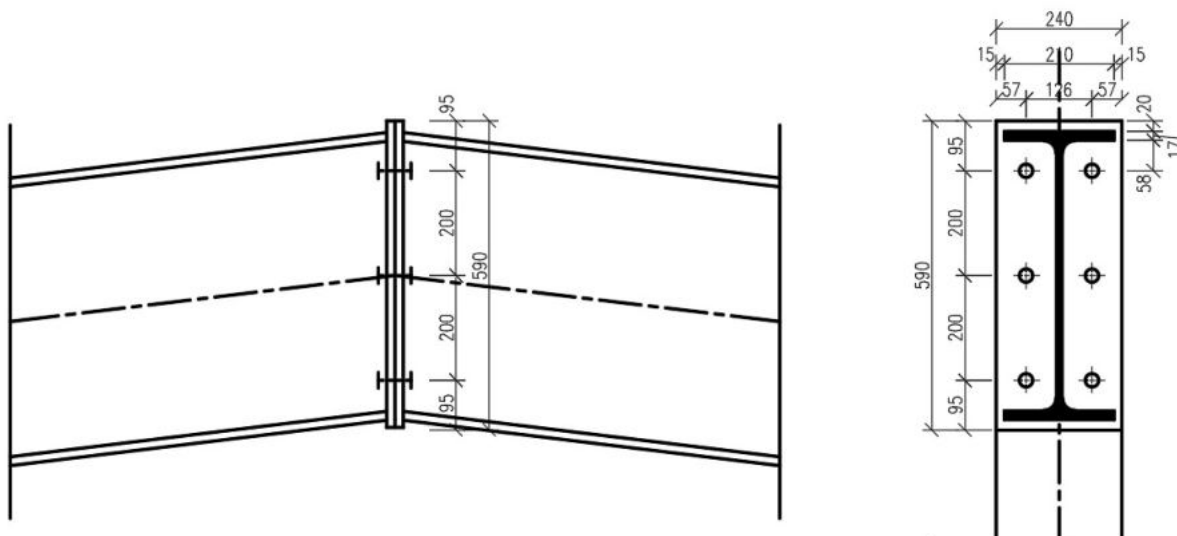
$$e_{2;min} := 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$$

$$p_{1;min} := 2.2 \cdot d_0 = 57.2 \text{ mm} \quad p_{1;max1} := 14 \cdot t_{\check{C}D;14} = 280 \text{ mm} \quad p_{1;max2} := 200 \text{ mm}$$

$$p_{2;min} := 2.4 \cdot d_0 = 62.4 \text{ mm} \quad p_{2;max1} := 14 \cdot t_{\check{C}D;14} = 280 \text{ mm} \quad p_{2;max2} := 200 \text{ mm}$$

$$e_{1;14} := 95 \text{ mm} \quad e_{2;14} := 57 \text{ mm} \quad p_{1;14} := 200 \text{ mm} \quad p_{2;14} := 126 \text{ mm}$$

- geometrie rámového rohu:



Obr.98: Geometrie montážního vrcholového přípoje příčle

8.14.2 Návrh svarů - zjednodušená metoda

8.14.2.1 Koutový svar styčnicková deska/příčle

- svar tažené pásnice a čelní desky

Styčnicková deska: P20; S235

Účinná délka svaru:

$$l := 2 \cdot b_{IPE550} - t_{w;IPE550} = 0.409 \text{ m}$$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{t_{f;IPE550} \cdot b_{IPE550} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 838.95 \text{ kN}$$

Návrhová pevnost svaru ve smyku:

- korelační součinitel:

$$\beta_w := 0.8$$

$$f_{vw;d} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad \Rightarrow \quad a \geq \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 9.869 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \quad a_{14;1} := 10 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 10 mm.

- svar stojiny a čelní desky

Účinná délka svaru:

$$l := 2 \cdot h_{IPE550} - 2 \cdot t_{f,IPE550} = 1.066 \text{ m}$$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{A_{vz,IPE550} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = 838.486 \text{ kN}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad ==> \quad a \quad \geq \quad \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 3.784 \text{ mm}$$
$$==> \quad a_{14;2} := 4 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 4 mm.

8.14.3 Náhradní T profil v tahu

- vstupní údaje:

- příčle

- šířka pásnice
- poloměr zaoblení
- tloušťka pásnice
- tloušťka stojiny

$$b_{IPE550} = 210 \text{ mm}$$

$$r_{IPE550} = 24 \text{ mm}$$

$$t_{f,IPE550} = 17 \text{ mm}$$

$$t_{w,IPE550} = 11 \text{ mm}$$

- čelní deska příčle

- šířka desky
- tloušťka desky

$$b_{\check{C}D;14} := 240 \text{ mm}$$

$$t_{\check{C}D;14} := 20 \text{ mm}$$

Maximální namáhání spoje ohybovým momentem ve vrcholu příčlí:

$$M_{y;Ed} := 181.08 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad (\text{NK CO15 - MSÚ2})$$

Maximální namáhání spoje posouvající silou ve směru z ve vrcholu příčlí:

$$V_{z;Ed} := 40.23 \text{ kN}$$

Rozměrové parametry:

čelní deska v ohybu

$$m := \frac{p_{2;14}}{2} - \frac{t_{w,IPE550}}{2} - 0.8 \cdot a_{14;2} \cdot \sqrt{2} = 52.975 \text{ mm}$$

$$e := e_{2;14} = 57 \text{ mm}$$

$$m_2 := e_{1;14} - 20 \text{ mm} - t_{f;IPE550} - 0.8 \cdot r_{IPE550} = 38.8 \text{ mm}$$

- hodnota α pro vyztuženou pásnici sloupu:

$$\lambda_1 := \frac{m}{m+e} = 0.482$$

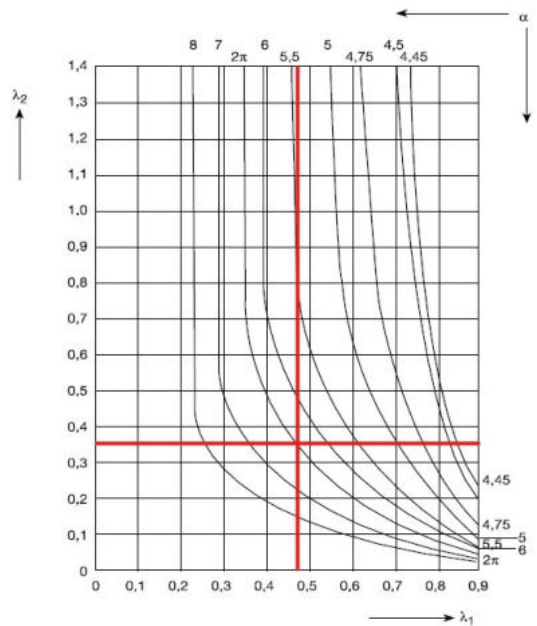
$$\lambda_2 := \frac{m_2}{m+e} = 0.353$$

$$\Rightarrow \alpha := 6.3$$

$$n_1 := e = 57 \text{ mm}$$

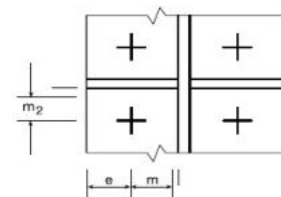
$$n_2 := 1.25 \cdot m = 66.218 \text{ mm}$$

$$n_{min} := n_1 = 57 \text{ mm}$$



$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$$



Účinné délky :

Obr.99: Stanovení hodnoty α

1. řada

- řada šroubů pod taženou pásnicí; řada šroubů uvažována samostatně

- kruhové porušení

- nekruhové porušení

$$L_{eff,cp;1} := 2 \cdot \pi \cdot m = 332.849 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc;1} := \alpha \cdot m = 333.739 \text{ mm}$$

$$L_{eff,cp;min} := L_{eff,cp;1} = 332.849 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc;min} := L_{eff,nc;1} = 333.739 \text{ mm}$$

Výsledné účinné délky pro čelní desku:

$$L_{eff;1;1} := L_{eff,nc;min} = 333.739 \text{ mm}$$

$$L_{eff;2;1} := L_{eff,nc;min} = 333.739 \text{ mm}$$

2. řada

- řada šroubů pod taženou pásnicí; řada šroubů uvažována samostatně

- kruhové porušení

- nekruhové porušení

$$L_{eff,cp;1} := 2 \cdot \pi \cdot m = 332.849 \text{ mm}$$

$$L_{eff;nc;1} := 4 \cdot m + 1.25 \cdot e = 283.148 \text{ mm}$$

$$L_{eff,cp;min} := L_{eff,cp;1} = 332.849 \text{ mm}$$

$$L_{eff;nc;min} := L_{eff;nc;1} = 283.148 \text{ mm}$$

Výsledné účinné délky pro čelní desku:

$$L_{eff;1;2} := L_{eff;nc;min} = 283.148 \text{ mm}$$

$$L_{eff;2;2} := L_{eff;nc;min} = 283.148 \text{ mm}$$

Plastické momenty (1. metoda):

- 1. řada

čelní deska v ohybu

1. způsob - úplná plastifikace pásnice

$$M_{pl;1;Rd;1} := 0.25 \cdot L_{eff;1;1} \cdot t_{\check{C}D;14}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 7.843 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2. způsob - porušení šroubu s plastifikací pásnice

$$M_{pl;2;Rd;1} := 0.25 \cdot L_{eff;2;1} \cdot t_{\check{C}D;14}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 7.843 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 2. řada

čelní deska v ohybu

$$M_{pl;1;Rd;2} := 0.25 \cdot L_{eff;1;2} \cdot t_{\check{C}D;14}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 6.654 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pl;2;Rd;2} := 0.25 \cdot L_{eff;2;2} \cdot t_{\check{C}D;14}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 6.654 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Návrhová únosnost (1. metoda):

- 1. řada - tah

1. způsob - úplná plastifikace pásnice

$$F_{T;1;Rd} := \frac{4 \cdot M_{pl;1;Rd;1}}{m} = 592.2 \text{ kN} \quad \Sigma := 2 \quad \text{šrouby v řadě}$$

2. způsob - porušení šroubu s plastifikací pásnice

$$F_{T;2;Rd} := \frac{2 \cdot M_{pl;1;Rd;1} + n_{min} \cdot \Sigma \cdot F_{T;Rd}}{m + n_{min}} = 353.401 \text{ kN}$$

3. způsob - porušení šroubu

$$F_{T;3;Rd} := \Sigma \cdot F_{T;Rd} = 406.656 \text{ kN}$$

Návrhová minimální únosnost 1. řady :

$$F_{t;1;Rd} := F_{T;2;Rd} = 353.401 \text{ kN}$$

- 2. řada - tah

1. způsob - úplná plastifikace pásnice

$$F_{T;1;Rd} := \frac{4 \cdot M_{pl;1;Rd;2}}{m} = 502.429 \text{ kN} \quad \Sigma := 2 \quad \text{šrouby v řadě}$$

2. způsob - porušení šroubu s plastifikací pásnice

$$F_{T;2;Rd} := \frac{2 \cdot M_{pl;1;Rd;2} + n_{min} \cdot \Sigma \cdot F_{T;Rd}}{m + n_{min}} = 331.78 \text{ kN}$$

3. způsob - porušení šroubu

$$F_{T;3;Rd} := \Sigma \cdot F_{T;Rd} = 406.656 \text{ kN}$$

Návrhová minimální únosnost 2. řady :

$$F_{t;2;Rd} := F_{T;2;Rd} = 331.78 \text{ kN}$$

8.14.4 Náhradní T profil ve smyku

Návrhová smyková únosnost 3. řady :

- návrhová únosnost jednoho šroubu ve smyku:

$$\text{- třída pevnosti 8.8} \quad \alpha_v := 0.6$$

$$F_{v;Rd} := \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 135.552 \text{ kN}$$

- návrhová únosnost jednoho šroubu v otláčení:

$$\alpha_{b;1} := \frac{f_{ub}}{f_u} = 2.222 \quad \alpha_{b;2} := 1.0 \quad \alpha_{b;3} := \frac{e_{1;14}}{3 \cdot d_0} = 1.218 \quad \alpha_{b;4} := \frac{p_{1;14}}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = 2.314$$

$$\alpha_{b;min} := \alpha_{b;2} = 1$$

$$k_{1;kraj;1} := 2.8 \cdot \frac{e_{2;14}}{d_0} - 1.7 = 4.438 \quad k_{1;kraj;2} := 2.5 \quad k_{1;kraj;min} := k_{1;kraj;2} = 2.5$$

$$k_{1;vnitřni;1} := 1.4 \cdot \frac{p_{2;14}}{d_0} - 1.7 = 5.085 \quad k_{1;vnitřni;2} := 2.5 \quad k_{1;vnitřni;min} := k_{1;vnitřni;2} = 2.5$$

$$\Rightarrow k_1 := 2.5$$

$$F_{b;Rd} := \frac{\alpha_{b;min} \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d_{14} \cdot t_{\check{C}D;14}}{\gamma_{M2}} = 345.6 \text{ kN}$$

- počet šroubů namáhaných smykem: $n := 2$

Výsledná návrhová únosnost ve smyku:

$$V_{Rd} := n \cdot F_{v;Rd} = 271.104 \text{ kN}$$

8.14.5 Únosnost základních komponent :

Únosnost stojiny příčle v tlaku:

- tloušťka pásnice příčle $t_{fb} := t_{f;IPE550} = 17 \text{ mm}$

- výška příčle $h := h_{IPE550} = 550 \text{ mm}$

- návrhová únosnost v ohybu $M_{c;Rd} := \frac{W_{pl;y;IPE550} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 654.945 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$F_{c;fb;Rd} := \frac{M_{c;Rd}}{h - t_{fb}} = (1.229 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

- suma únosností šroubů v tahu:

$$\Sigma F_{t;i;Rd} := F_{t;1;Rd} + F_{T;2;Rd} = 685.181 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti pásnice příčle v tlaku:

$$F_{c;fb;Rd} = (1.229 \cdot 10^3) \text{ kN} \geq \Sigma F_{t;i;Rd} = 685.181 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.14.6 Rozdělení sil ve spoji

Vzhledem k velké vzdálenosti šroubů je posouzen spoj pružně.

Momentová únosnost spoje:

- výška šroubů od středu otáčení (středu pásnice):

$$h_1 := 466.5 \text{ mm} \quad h_2 := 266.5 \text{ mm}$$

Redukce únosnosti šroubů charakterizující pružné rozdělení sil:

$$F_{t;1;el;Rd} := F_{t;1;Rd} = 353.401 \text{ kN}$$

$$F_{t;2;el;Rd} := \frac{F_{t;1;el;Rd}}{h_1} \cdot h_2 = 201.89 \text{ kN} \leq F_{t;2;Rd} = 331.78 \text{ kN}$$

$$M_{pl;Rd} := F_{t;1;Rd} \cdot h_1 + F_{t;2;Rd} \cdot h_2 = 253.281 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{y;Ed}}{M_{pl;Rd}} = 0.715 \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Smyková únosnost spoje:

$$\frac{V_{z;Ed}}{V_{Rd}} = 0.148 \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.14.7 Výsledný spoj

Výsledný návrh - šroub M24; 8.8 ve třech řadách po dvou kusech.

První a druhá řada šroubů jsou navrhnuty na tah. Třetí řada šroubů vyhovuje na smyková zatížení.

8.15 ZÁKLADOVÁ PATKA - krajní (vetknutí)

8.15.1 Vstupní údaje

- délka patního plechu $b_{1;15} := 1250 \text{ mm}$
- šířka patního plechu $d_{1;15} := 525 \text{ mm}$
- tloušťka patního plechu $t_{\check{C}D;15} := 30 \text{ mm}$
- plocha patního plechu $A_1 := b_{1;15} \cdot d_{1;15} = 0.656 \text{ m}^2$
- délka patky - 1. stupeň $b := 1350 \text{ mm}$
- šířka patky - 1. stupeň $d := 1000 \text{ mm}$
- výška patky - 1. stupeň $h_{p1} := 650 \text{ mm}$
- výška patky (dvoustupňová) $h := 1500 \text{ mm}$
- délka patky - 2. stupeň $b_x := 3000 \text{ mm}$
- šířka patky - 2. stupeň $d_x := 3000 \text{ mm}$
- výška patky - 2. stupeň $h_{px} := h - h_{p1} = 0.85 \text{ m}$
- plocha patky - 1. stupeň $A_p := b \cdot d = 1.35 \text{ m}^2$
- charakteristická pevnost betonu patky v tlaku (beton C20/25) $f_{ck} := 20 \text{ MPa}$
- součinitel materiálu $\beta_j := \frac{2}{3}$
- dílčí součinitel spolehlivosti pro beton $\gamma_c := 1.5$
- tloušťka stojiny podélné výztuhy sloupu tj. P30; výšky 200 mm $t_{PV;15} := 30 \text{ mm} \quad h_{PV;15} := 200 \text{ mm}$

8.15.2 Vnitřní síly (rozhodující kombinace - viz příloha 02)

- pro maximální tahovou sílu v kotevních šroubech (NK - CO13 MSÚ):

$$N_{Ed;15;1} := 243.4 \text{ kN} \quad M_{y;Ed;15;1} := 799.32 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- pro maximální tlakovou sílu na patní plech (NK - CO12 MSÚ):

$$N_{Ed;15;2} := 526.29 \text{ kN} \quad M_{y;Ed;15;2} := 868.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

8.15.3 Posouzení únosnosti konstrukce patky

- efektivní plocha pod patní deskou:

$$b_{2;1} := 3 \cdot b_{1;15} = 3.75 \text{ m} \quad b_{2;2} := b_{1;15} + h = 2.75 \text{ m} \quad b_{2;3} := b = 1.35 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \text{minimum} \quad b_2 := b_{2;3} = 1.35 \text{ m}$$

$$d_{2;1} := 3 \cdot d_{1;15} = 1.575 \text{ m} \quad d_{2;2} := d_{1;15} + h = 2.025 \text{ m} \quad d_{2;3} := d = 1 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \text{minimum} \quad d_2 := d_{2;3} = 1 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \quad A_2 := b_2 \cdot d_2 = 1.35 \text{ m}^2$$

- návrhová pevnost betonu v tlaku pod patní deskou:

$$f_{jd} := \beta_j \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 12.749 \text{ MPa}$$

- efektivní šířka patní desky:

$$c := t_{\check{C}D;15} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 74.363 \text{ mm}$$

- efektivní plocha patní desky:

$$A_{eff} := (b_{HEA800} + 2 \cdot (c + t_{PV;15})) \cdot (b_{1;15}) - (b_{1;15} - h_{HEA800} - 2 \cdot c) \cdot (b_{HEA800} - 2 \cdot c)$$

$$A_{eff} = 0.589 \text{ m}^2$$

- efektivní šířka a délka patní desky:

$$b_{eff} := b_{1;15} = (1.25 \cdot 10^3) \text{ mm} \quad d_{eff} := b_{HEA800} + 2 \cdot t_{PV;15} + 2 \cdot c = 508.725 \text{ mm}$$

- vzdálenost kotevních šroubů od středu patky ve směru y-y:

$$r_t := \frac{b_{1;15}}{2} - 100 \text{ mm} = 525 \text{ mm}$$

- výška podlití patní desky:

- minimální:

$$t_{b;min} := 0.1 d_{1;15} = 52.5 \text{ mm}$$

==> výška podlití desky 60 mm

- maximální:

$$t_{b;min} := 0.2 d_{1;15} = 105 \text{ mm}$$

$$t_{b;15} := 60 \text{ mm}$$

- excentricita zatížení:

$$e := \frac{M_{y;Ed;15;1}}{N_{Ed;15;1}} = (3.284 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

- výpočet tahové síly v kotevních šroubech:

- momentová podmínka rovnováhy - výpočet tlačené části:

$$N_{Ed;1} \cdot (r_t + e) - A_{eff;c} \cdot f_{jd} \cdot (r_t + r_c) \quad \text{0} := 0$$

- rameno tlačenné efektivní plochy:

$$r_c := \frac{b_{1;15}}{2} - x + \left(\frac{x}{2} \cdot x \cdot d_{eff} - \left(x - \frac{0.156 \text{ m}}{2} \right) \cdot 0.156 \text{ m} \cdot 0.152 \text{ m} \right) \frac{1}{x \cdot d_{eff}}$$

- tlačená efektivní plocha:

$$A_{eff;c} := x \cdot (b_{HEA800} + 2 \cdot t_{PV;15} + 2 \cdot c) - (b_{HEA800} - 2 \cdot c) \cdot \frac{(b_{1;15} - h_{HEA800} - 2 \cdot c)}{2}$$

$$\Rightarrow \frac{N_{Ed;15} \cdot (r_t + e)}{f_{jd}} \stackrel{!}{=} A_{eff;c} \cdot (r_t + r_c)$$

$$\Rightarrow x := 185 \text{ mm} \quad (\text{zjištěno pomocí iterace})$$

- kontrola momentové podmínky:

$$A_{eff;c} := x \cdot (b_{HEA800} + 2 \cdot t_{PV;15} + 2 \cdot c) - (b_{HEA800} - 2 \cdot c) \cdot \frac{(b_{1;15} - h_{HEA800} - 2 \cdot c)}{2} = 0.071 \text{ m}^2$$

$$F_C := A_{eff;c} \cdot f_{jd} = 899.706 \text{ kN}$$

$$r_c := \frac{b_{1;15}}{2} - x + \left(\frac{\frac{x}{2} \cdot x \cdot d_{eff} - \left(x - \frac{0.156 \text{ m}}{2} \right) \cdot 0.156 \text{ m} \cdot 0.152 \text{ m}}{x \cdot d_{eff}} \right) = 0.506 \text{ m}$$

$$N_{Ed;15;1} \cdot (r_t + e) = 927.105 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_C \cdot (r_t + r_c) = 927.185 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Hodnoty se shodují \Rightarrow je splněna momentová podmínka

- výpočet tahové síly na dvojici šroubů - silová podmínka:

$$F_T := -N_{Ed;15;1} + F_C = 656.306 \text{ kN}$$

- počet šroubů:

$$n := 2$$

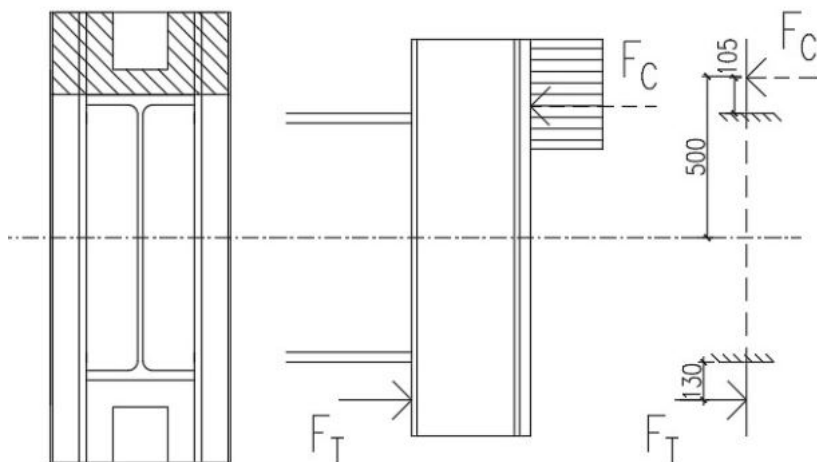
- tahová síla na jeden šroub bez vlivu imperfekcí:

$$F_{T1} := \frac{F_T}{n} = 328.153 \text{ kN}$$

8.15.3.1 Posouzení průřezu patky

8.15.3.1.1 Podélná výztuha P30

Patní plech se dvěma výztuhami P30 působící jako konzola namáhaná tahovou silou ve šroubech příp. silou mezi betonem a ocelí



Obr.99: Schéma působení sil na podélnou výztuhu patního plechu

- Rozhdující tlakové a tahové síly: 1 - NK-CO13 - MSÚ; 2 - NK-CO12 - MSÚ
- viz Příloha 02

$$F_T := 660.97 \text{ kN}$$

$$F_{C;1} := 904.37 \text{ kN}$$

$$F_{C;2} := 1141.28 \text{ kN}$$

$$l_T := r_t - \frac{h_{HEA800}}{2} = 130 \text{ mm}$$

$$l_{C;1} := 0.105 \text{ m}$$

$$l_{C;2} := 0.083 \text{ m}$$

- průřezové charakteristiky:

- šířka patního plechu
- tloušťka patního plechu
- výška výztuhy
- plocha výztuhy
- smyková plocha výztuhy P20 ve směru z-z

$$d_{1;15} := 500 \text{ mm}$$

$$t_{\check{C}D;15} := 30 \text{ mm}$$

$$h_{PV;15} := 200 \text{ mm}$$

$$A_{PV;15} := h_{PV;15} \cdot t_{PV;15} = 0.006 \text{ m}^2$$

$$A_{vz;PV;15} := 0.0050388 \text{ m}^2$$

- moment setrvačnosti průřezu podélné výztuhy k ose y-y

$$I_{y;PV;15} := \frac{1}{12} \cdot t_{PV;15} \cdot h_{PV;15}^3$$

- vzdálenost těžiště složeného průřezu od spodní hrany patního plechu:

$$z_t := \frac{\frac{t}{2} \cdot d_{1;15} \cdot t_{\check{C}D;15} + \left(\frac{h_{PV;15}}{2} + t_{\check{C}D;15} \right) \cdot A_{PV;15} \cdot 2}{t_{\check{C}D;15} \cdot d_{1;15} + 2 \cdot A_{PV;15}} = 60.556 \text{ mm}$$

- vzdálenost těžiště složeného průřezu od těžišť jednotlivých průřezů:

$$z_{P1} := z_t - \frac{t_{\check{C}D;15}}{2} = 45.556 \text{ mm}$$

$$z_{P2} := \frac{h_{PV;15}}{2} + t_{\check{C}D;15} - z_t = 69.444 \text{ mm}$$

- moment setrvačnosti složeného průřezu k ose y-y:

$$I_y := \frac{1}{12} \cdot d_{1;15} \cdot t_{\check{C}D;15}^3 + d_{1;15} \cdot t_{\check{C}D;15} \cdot z_{P1}^2 + (I_{y;PV;15} + A_{PV;15} \cdot z_{P2}^2) \cdot 2 = (1.301 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^4$$

- pružný průřezový modul k horním vláknům:

$$W_{y;h} := \frac{I_y}{h_{PV;15} + t_{\check{C}D;15} - z_t} = (7.68 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^3 \quad (\text{rozhodující strana namáhání})$$

- pružný průřezový modul ke spodním vláknům:

$$W_{y;d} := \frac{I_y}{z_t} = 0.002 \text{ m}^3$$

Vnitřní síly:

- část namáhaná tahovou silou v šroubech:

$$M_{y;Ed;P1} := F_T \cdot l_T = 85.926 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{z;Ed;P1} := F_T = 660.97 \text{ kN}$$

- část namáhaná tlakem na patní plech:

$$M_{y;Ed;P2;1} := F_{C;1} \cdot l_{C;1} = 94.959 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{y;Ed;P2;2} := F_{C;2} \cdot l_{C;2} = 94.726 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\Rightarrow M_{y;Ed;P2} := M_{y;Ed;P2;1} = 94.959 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (\text{rozhodující ohybový moment})$$

$$V_{z;Ed;P2} := F_{C;2} = (1.141 \cdot 10^3) \text{ kN} \quad (\text{rozhodující posouvající síla})$$

Maximální napětí:

$$\sigma_{Ed;h;max} := \frac{M_{y;Ed;P2}}{W_{y;h}} = 123.652 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\tau_{max} := \frac{V_{z;Ed;P2}}{2 \cdot A_{vz;PV;15}} = 113.249 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Smykové namáhání menší než 1/2 smykové únosnosti \Rightarrow jedná se o malý smyk

8.15.3.2 Návrh svarů - zjednodušená metoda

8.15.3.2.1 Koutový svar podélná výztuha/ sloup HEA 800/ patní plech

- svar tažené pásnice sloupu

Účinná délka svaru:

$$l := 4 \cdot h_{PV;15} + 2 \cdot b_{HEA800} = 1.4 \text{ m}$$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{t_{f;HEA800} \cdot b_{HEA800} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = (1.974 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Návrhová pevnost svaru ve smyku:

- korelační součinitel: $\beta_w := 0.8$

$$f_{vw;d} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad ==> \quad a \quad \geq \quad \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 6.784 \text{ mm}$$
$$==> \quad a_{15;1} := 7 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 7 mm.

8.15.3.2.2 Koutový svar stojiny sloupu HEA 800/ patní plech

- namáhání smykem

Účinná délka svaru:

$$l := 2 \cdot h_{HEA800} - 4 \cdot (t_{f;HEA800} + r_{HEA800}) + 2 \cdot h_{HEA800} - 2 \cdot t_{f;HEA800} - 2 \cdot \frac{a_{15;1}}{\sqrt{2}} = 2.862 \text{ m}$$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{A_{vz;HEA800} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = (1.631 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Návrhová pevnost svaru ve smyku:

- korelační součinitel: $\beta_w := 0.8$

$$f_{vw;d} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad ==> \quad a \quad \geq \quad \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 2.741 \text{ mm}$$
$$==> \quad a_{15;2} := 4 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 4 mm.

8.15.3.3 Návrh kotevních šroubů

- tolerance usazení šroubu při užití šablon +/- 20 mm $e_{add} := 20 \text{ mm}$
- tahová síla namáhání šroubů v místě stojin podélných výztuh: $F_T = 660.97 \text{ kN}$
- tahová síla namáhání šroubů pro jednu stojinu: $F := \frac{F_T}{2} = 330.485 \text{ kN}$
- návrhovaná vzdálenost šroubu od kraje pásnice sloupu: $l_Y := 200 \text{ mm}$
- minimální a maximální vzdálenost šroubu od kraje pásnice sloupu po započítání tolerance usazení:

$$l_{Y,min} := l_Y - e_{add} = 180 \text{ mm} \quad l_{Y,max} := l_Y + e_{add} = 220 \text{ mm}$$

- momentová podmínka kolem bodu A:

$$F_A := \frac{F \cdot (l_{Y,min} + (l_{Y,min} + b_{HEA800}))}{l_{Y,min} + b_{HEA800} + l_{Y,max}} = 311.6 \text{ kN} \quad F_{MIN} := F_A$$

- momentová podmínka kolem bodu B:

$$F_B := \frac{F \cdot (l_{Y,max} + (l_{Y,max} + b_{HEA800}))}{l_{Y,min} + b_{HEA800} + l_{Y,max}} = 349.37 \text{ kN} \quad F_{MAX} := F_B$$

Rozhodující návrhová tahová síla v šroubu: $F_{MAX} := F_B = 349.37 \text{ kN}$

Návrh šroubu s kotevní hlavou M56x4:

- charakteristiky:

- plocha šroubu: $A_s := 2144 \text{ mm}^2$
- průměr dřívku: $D := 60 \text{ mm}$

- únosnost šroubu v tahu -
přetržení:

$$F_{t,Rd} := \frac{0.8 \cdot A_s \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 403.072 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti šroubu v tahu - přetržení:

$$\frac{F_{MAX}}{F_{t,Rd}} = 0.867 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Minimální kotevní hloubka šroubu:

- charakteristická pevnost betonu v tahu - dolní kvantil $f_{ctk;0.05} := 1.5 \text{ MPa}$
- součinitel spolehlivosti materiálu - beton: $\gamma_{Mc} := 1.5$

- návrhová pevnost betonu v tahu: $f_{td} := \frac{f_{ctk;0.05}}{\gamma_{Mc}} = 1 \text{ MPa}$

$$h_{min} := \frac{0.2 \cdot F_{t;Rd}}{\pi \cdot D \cdot f_{td}} = 427.673 \text{ mm}$$

Navržená kotevní hloubka šroubu:

$$h_{ef} := h_{px} - 50 \text{ mm} = 800 \text{ mm} \quad \geq \quad h_{min} = 427.673 \text{ mm}$$

Únosnost šroubu v tahu - vytržení kužele betonu:

- základní součinitel betonu: beton bez trhlin $\Rightarrow k_1 := 12.7$

- únosnost kotvy bez vlivu okraje a rozteče:

$$N_{0Rk;c} := k_1 \cdot h_{ef}^{1.5} \cdot f_{ck}^{0.5} \Rightarrow N_{0Rk;c} := 12.7 \cdot 0.80^{1.5} \cdot 20000^{0.5} \text{ kN} = (1.285 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

- referenční plocha betonového kužele kotvy:

$$A_{0C;N} := (3 \cdot h_{ef})^2 = 5.76 \text{ m}^2$$

- plocha betonového kuželu pro 1 šroub se zahrnutím vlivu krajů a vzdálenosti kotev:

- vzdálenost kotev:

$$s := b_{HEA800} + 2 \cdot l_{Y;min} = 660 \text{ mm} \quad \leq \quad s_{cr;N} := 3 \cdot h_{ef} = 2.4 \text{ m}$$

- vzdálenost okraje základu od osy kotvy - v rovině rámu:

$$c_x := \frac{b_x - 2 \cdot (r_t + e_{add})}{2} = 0.955 \text{ m} \quad \leq \quad c_{cr;N} := 1.5 \cdot h_{ef} = 1.2 \text{ m}$$

- vzdálenost okraje základu od osy kotvy - ve směru hřebenu haly:

$$c_y := \frac{d_x - 2 \cdot l_{Y;max}}{2} = 1.28 \text{ m} \quad \leq \quad c_{cr;N} := 1.5 \cdot h_{ef} = 1.2 \text{ m}$$

$$\Rightarrow c_{min} := c_x = 0.955 \text{ m} \quad c_y := c_{cr;N} = 1.2 \text{ m}$$

$$A_{C;N} := (c_x + c_{cr;N}) \cdot \left(c_y + \frac{s}{2} \right) = 3.297 \text{ m}^2$$

Součinitel vlivu vzdálenosti od okraje a roztečí šroubů:

$$\psi_{A;N} := \frac{A_{C;N}}{A_{0C;N}} = 0.572 \quad \leq 1.0$$

Součinitel vlivu okrajů betonového bloku:

$$\psi_{S;N} := 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c_{min}}{c_{cr;N}} = 0.939 \quad \blacksquare \leq 1.0$$

Součinitel drobení povrchu:

$$\psi_{re;N} := 0.5 + \frac{h_{ef}}{200 \text{ mm}} = 4.5 \quad \blacksquare \leq 1.0 \quad ==> \quad \psi_{re;N} := 1.0$$

Návrhová únosnost šroubu v tahu vytržením kužele betonu:

$$N_{Rd,C} := \frac{N_{0Rk;c} \cdot \psi_{A;N} \cdot \psi_{S;N} \cdot \psi_{re;N}}{\gamma_{Mc}} = 460.393 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti šroubu v tahu - vytržení betonového kuželu:

$$\frac{F_{MAX}}{N_{Rd,C}} = 0.759 \quad \blacksquare \leq 1.0 \quad ==> \text{ VYHOVUJE}$$

Únosnost šroubu ve smyku:

Pro patku je navržena smyková zarážka navržena na 100% smykového zatížení, tj. šrouby není nutné posuzovat na smykovou únosnost.

8.15.3.4 Příčník

Vnitřní síly:

$$M_1 := F_{MAX} \cdot l_{Y,min} = 62.887 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := F_{MIN} \cdot l_{Y,max} = 68.552 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad ==> \quad M_{MAX} := M_2 = 68.552 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{MAX} := F_{MAX} = 349.37 \text{ kN}$$

Charakteristické hodnoty průřezu:

- předpokladaný průřez svařenec tvaru U - stojina P12 x 160 mm + pásnice 50x20 mm

- výška příčníku $h_{PŘ;15} := 160 \text{ mm}$
- šířka pásnice $b_{PŘ;15} := 50 \text{ mm}$
- tloušťka stojiny příčníku $t_{PŘ;15} := 12 \text{ mm}$
- tloušťka pásnice $t_{f;PŘ;15} := 20 \text{ mm}$
- smyková plocha průřezu ve směru osy z $A_{vz;PŘ;15} := 0.0018403 \text{ m}^2$
- plastický modul průřezu k ose y-y $W_{pl;y;PŘ;15} := 0.000182 \text{ m}^3$
- třída průřezu 1

Únosnost průřezu ve smyku:

$$V_{pl;Rd} := \frac{A_{vz;PŘ;15} \cdot 2 \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 499.374 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti ve smyku:

$$\frac{V_{MAX}}{V_{pl;Rd}} = 0.7 \quad \blacksquare \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Únosnost průřezu v ohybu:

$$M_{pl;Rd} := \frac{2 \cdot W_{pl;y;PŘ;15} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 85.54 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Posouzení únosnosti v ohybu:

$$\frac{M_{MAX}}{M_{pl;Rd}} = 0.801 \quad \blacksquare \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Smykové namáhání větší než 1/2 smykové únosnosti ==> jedná se o velký smyk; nutno posoudit interakci ohybu a smyku.

- redukována mez kluzu:

$$\rho := \left(\frac{2 \cdot V_{MAX}}{V_{pl;Rd}} - 1 \right)^2 = 0.159$$

Redukovaná únosnost v ohybu:

$$M_{pl;Rd} := \frac{2 \cdot W_{pl;y;PŘ;15} \cdot (1 - \rho) \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 71.906 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Posouzení redukové únosnosti v ohybu:

$$\frac{M_{MAX}}{M_{pl;Rd}} = 0.953 \quad \blacksquare \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.15.3.5 Smyková zarážka

Únosnost ve smyku bez smykové zarážky:

- nejnepříznivější nelineární kombinace pro vnější rámové sloupy - viz Příloha 03:

NK - CO13 MSÚ - pro směr x-x (v rovině rámu)
NK - CO09 MSÚ - pro směr y-y (v podélné ose haly)

- posouvající síly rozhodujících kombinací:

Výpočet nejneprůznivější kombinace proveden pomocí excelu pro jednotlivé patky a nelineární kombinace.

- kombinace NK - CO13 MSÚ: $N_{Ed;tlak;x} := 178.62 \text{ kN}$ $V_{Ed;x} := 132.56 \text{ kN}$

- kombinace NK - CO09 MSÚ: $N_{Ed;tlak;y} := 0 \text{ kN}$ $V_{Ed;y} := 86.55 \text{ kN}$

- působící tlaková normálová síla: $N_{c;Ed;x} := N_{Ed;tlak;x} = 178.62 \text{ kN}$

$$N_{c;Ed;y} := N_{Ed;tlak;y} = 0 \text{ kN}$$

- součinitel tření mezi ocelí a betonem: $C_{t;d} := 0.2$

- únosnost ve smyku bez smykové zarážky:

$$V_{Rd;bez;x} := N_{c;Ed;x} \cdot C_{t;d} = 35.724 \text{ kN} \quad V_{Rd;bez;y} := N_{c;Ed;y} \cdot C_{t;d} = 0 \text{ kN}$$

Návrh smykové zarážky:

- síla pro návrh smykové zarážky: $F_{v;Ed;x} := V_{Ed;x} - V_{Rd;bez;x} = 96.836 \text{ kN}$

$$F_{v;Ed;y} := V_{Ed;y} - V_{Rd;bez;y} = 86.55 \text{ kN}$$

- charakteristika zarážky - HEB 120:

• šířka průřezu	$b_{HEB120} := 120 \text{ mm}$
• výška průřezu	$h_{HEB120} := 120 \text{ mm}$
• tloušťka stojiny	$t_{w;HEB120} := 6.5 \text{ mm}$
• tloušťka pásnice	$t_{f;HEB120} := 11 \text{ mm}$
• poloměr zaoblení	$r_{HEB120} := 12 \text{ mm}$
• smyková plocha ve směru y-y	$A_{vy;HEB120} := 0.002592 \text{ m}^2$
• smyková plocha ve směru z-z	$A_{vz;HEB120} := 0.000840 \text{ m}^2$
• plastický modul průřezu k ose y-y	$W_{pl;y;HEB120} := 0.0001652 \text{ m}^3$
• plastický modul průřezu k ose z-z	$W_{pl;z;HEB120} := 0.0000809 \text{ m}^3$

- minimální výška zarážky v betonu:

$$h_{min} := \frac{F_{v;Ed;x}}{h_{HEB120} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = 60.523 \text{ mm} \quad ==> \quad h_{z;15} := 100 \text{ mm}$$

Posouzení smykové zarážky:

- smyková únosnost zarážky:

$$V_{Rd;x} := \frac{A_{vy;HEB120} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 351.676 \text{ kN}$$

$$V_{Rd;y} := \frac{A_{vz;HEB120} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 113.969 \text{ kN}$$

- posouzení smykové únosnosti zarážky:

$$\frac{F_{v;Ed;x}}{V_{Rd;x}} = 0.275 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{F_{v;Ed;y}}{V_{Rd;y}} = 0.759 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- ohybová únosnost zarážky:

$$M_{pl;Rd;x} := W_{pl;z;HEB120} \cdot f_y = 19.012 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{pl;Rd;y} := W_{pl;y;HEB120} \cdot f_y = 38.822 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- ohybové namáhání zarážky:

- excentricita působící smykové síly:

$$e := t_{b;15} + \frac{h_{z;15}}{2} = 110 \text{ mm}$$

$$M_{Ed;x} := F_{v;Ed;x} \cdot e = 10.652 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed;y} := F_{v;Ed;y} \cdot e = 9.521 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- posouzení ohybové únosnosti zarážky:

$$\frac{M_{Ed;x}}{M_{pl;Rd;x}} = 0.56 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{Ed;y}}{M_{pl;Rd;y}} = 0.245 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.15.3.5 Svary smykové zarážky - zjednodušená metoda

- svar pásnice - tah

$$\text{Účinná délka svaru:} \quad l := 2 \cdot b_{HEB120} - t_{w;HEB120} - 2 \cdot r_{HEB120} = 0.21 \text{ m}$$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{t_{f;HEB120} \cdot b_{HEB120} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 310.2 \text{ kN}$$

Návrhová pevnost svaru ve smyku:

- korelační součinitel:

$$\beta_w := 0.8$$

$$f_{vw;d} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad ==> \quad a \quad \geq \quad \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 7.124 \text{ mm}$$

- svar pásnice - smyk

Účinná délka svaru:

$$l := 4 \cdot b_{HEB120} - t_{w;HEB120} - 2 \cdot r_{HEB120} = 0.45 \text{ m}$$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{A_{vy;HEB120} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = 351.676 \text{ kN}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad ==> \quad a \quad \geq \quad \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 3.764 \text{ mm}$$

$$==> \quad a_{15,3} := 8 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 8 mm.

- svar stojiny - smyk

Účinná délka svaru:

$$l := 2 \cdot h_{HEB120} - t_{f;HEB120} - 2 \cdot r_{HEB120} = 0.205 \text{ m}$$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{A_{vz;HEB120} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = 113.969 \text{ kN}$$

Návrhová pevnost svaru ve smyku:

- korelační součinitel: $\beta_w := 0.8$

$$f_{vw;d} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad ==> \quad a \quad \geq \quad \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 2.675 \text{ mm}$$

$$==> \quad a_{15,4} := 3 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 3 mm.

8.16 ZÁKLADOVÁ PATKA - vnitřní (kloub)

8.16.1 Vstupní údaje

- délka patního plechu $b_{1;16} := 480 \text{ mm}$
- šířka patního plechu $d_{1;16} := 340 \text{ mm}$
- přesah délky patního plechu mimo průřez sloupu $b_x := \frac{b_{1;16} - h_{HEA450}}{2} = 20 \text{ mm}$
- přesah šířky patního plechu mimo průřez sloupu $d_x := \frac{d_{1;16} - b_{HEA450}}{2} = 20 \text{ mm}$
- tloušťka patního plechu $t_{CD;16} := 20 \text{ mm}$
- plocha patního plechu $A_1 := b_{1;16} \cdot d_{1;16} = 0.163 \text{ m}^2$
- délka patky $b := 2000 \text{ mm}$
- šířka patky $d := 2000 \text{ mm}$
- výška patky $h := 1100 \text{ mm}$
- plocha patky $A_p := b \cdot d = 4 \text{ m}^2$
- charakteristická pevnost betonu patky v tlaku (beton C16/20) $f_{ck} := 16 \text{ MPa}$
- součinitel materiálu $\beta_j := \frac{2}{3}$
- dílčí součinitel spolehlivosti pro beton $\gamma_c := 1.5$

8.16.2 Vnitřní síly (viz 8.3.2 - normálová síla pro krajní sloup v patě - rozhodující nelineární kombinace NK-CO11 MSÚ2)

Reakce

Hodnoty: R_z

Nelineární výpočet

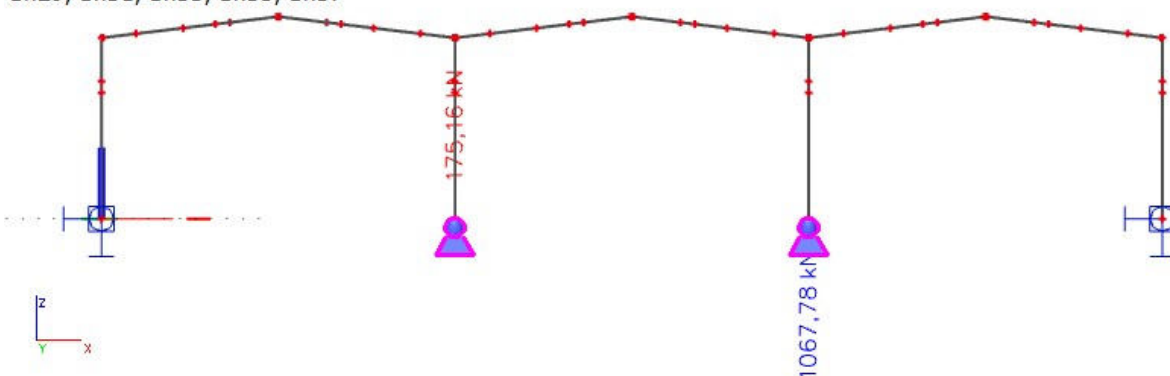
Třída: Nelinear MSÚ

Systém: Globální

Extrém: Globální

Výběr: Sn10..Sn18, Sn20..Sn22, Sn27,

Sn29, Sn31, Sn33, Sn35, Sn37



Obr.100: Výsledná maximální normálová síla v patě sloupu

$$N_{Ed;16} := 1067.78 \text{ kN}$$

8.16.3 Posouzení únosnosti konstrukce patky

- efektivní plocha pod patní deskou:

$$b_{2,1} := b = 2 \text{ m} \quad b_{2,2} := 5 \cdot b_{1,16} = 2.4 \text{ m} \quad b_{2,3} := b_{1,16} + h = 1.58 \text{ m} \quad b_{2,4} := 5 \cdot d_{1,16} = 1.7 \text{ m}$$

$$\implies \text{minimum} \quad b_2 := b_{2,3} = 1.58 \text{ m}$$

$$d_{2,1} := d = 2 \text{ m} \quad d_{2,2} := 5 \cdot d_{1,16} = 1.7 \text{ m} \quad d_{2,3} := d_{1,16} + h = 1.44 \text{ m} \quad d_{2,4} := 5 \cdot b_{1,16} = 2.4 \text{ m}$$

$$\implies \text{minimum} \quad d_2 := d_{2,3} = 1.44 \text{ m}$$

$$\implies \quad A_2 := b_2 \cdot d_2 = 2.275 \text{ m}^2$$

- návrhová pevnost betonu v tlaku pod patní deskou:

$$f_{jd} := \beta_j \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 26.551 \text{ MPa}$$

- účinná konzola patního plechu:

$$c := t_{\check{C}D;16} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 34.353 \text{ mm}$$

- efektivní plocha patní desky:

$$A_{eff} := (b_{HEA450} + 2 \cdot d_x) \cdot (t_{f;HEA450} + b_x + c) \cdot 2 + (h_{HEA450} - 2 \cdot (t_{f;HEA450} + c)) \cdot (t_{w;HEA450} + 2 \cdot c)$$

$$A_{eff} = 0.078 \text{ m}^2$$

- výška podlití patní desky:

- minimální:

$$t_{b;min} := 0.1 \cdot d_{1,16} = 34 \text{ mm}$$

- maximální:

$$t_{b;min} := 0.2 \cdot d_{1,16} = 68 \text{ mm}$$

\implies výška podlití desky 40 mm

$$t_{b;16} := 40 \text{ mm}$$

- únosnost základu pod patní deskou:

$$N_{Rd} := A_{eff} \cdot f_{jd} = (2.066 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti pod patní deskou:

$$\frac{N_{Ed;16}}{N_{Rd}} = 0.517 \quad \square \leq 1.0 \quad \implies \text{VYHOVUJE}$$

Únosnost ve smyku bez smykové zarážky:

- nejnepriznivější nelineární kombinace pro vnitřní rámové sloupy
(NK - CO09 MSÚ - viz Příloha 04)

- vnitřní síly rozhodující kombinace:

Výpočet nejnepriznivější kombinace proveden pomocí excelu pro jednotlivé patky a nelineární kombinace. Rozhodující kombinace NK - CO09 MSÚ pro směr y-y (vnitřní rámové sloupy) a NK - CO08 MSÚ pro směr x-x (štitové sloupy).

$$N_{Ed;tlak} := 0 \text{ kN} \quad V_{Ed;y} := 172.13 \text{ kN} \quad V_{Ed;x} := 37.49 \text{ kN}$$

Vzhledem k použitému průřezu, tj. HEB 120, nebude zarážka posuzována ve směru x-x. Smyková zarážka v tomto směru vyhoví.

- působící tlaková normálová síla: $N_{c;Ed} := N_{Ed;tlak} = 0 \text{ kN}$

- součinitel tření mezi ocelí a betonem: $C_{t;d} := 0.2$

- únosnost ve smyku bez smykové zarážky:

$$V_{Rd;bez} := N_{c;Ed} \cdot C_{t;d} = 0 \text{ kN}$$

Návrh smykové zarážky:

- síla pro návrh smykové zarážky: $F_{v;Ed} := V_{Ed;y} - V_{Rd;bez} = 172.13 \text{ kN}$

- charakteristika zarážky - HEB 120:

• šířka průřezu	$b_{HEB120} := 120 \text{ mm}$
• výška průřezu	$h_{HEB120} := 120 \text{ mm}$
• tloušťka stojiny	$t_{w;HEB120} := 7 \text{ mm}$
• tloušťka pásnice	$t_{f;HEB120} := 11 \text{ mm}$
• smyková plocha ve směru y-y	$A_{vy;HEB120} := 0.002592 \text{ m}^2$
• smyková plocha ve směru z-z	$A_{vz;HEB120} := 0.000840 \text{ m}^2$
• plastický modul průřezu k ose y-y	$W_{pl;y;HEB120} := 0.0001652 \text{ m}^3$
• plastický modul průřezu k ose z-z	$W_{pl;z;HEB120} := 0.0000809 \text{ m}^3$

- minimální výška zarážky v betonu:

$$h_{min} := \frac{F_{v;Ed}}{h_{HEB120} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = 134.477 \text{ mm} \quad ==> \quad h := 135 \text{ mm}$$

Posouzení smykové zarážky:

- smyková únosnost zarážky:

$$V_{Rd} := \frac{A_{vy;HEB120} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 351.676 \text{ kN}$$

- posouzení smykové únosnosti zarážky:

$$\frac{F_{v;Ed}}{V_{Rd}} = 0.489 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- ohybová únosnost zarážky:

$$M_{pl;Rd} := W_{pl;z;HEB120} \cdot f_y = 19.012 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- ohybové namáhání zarážky:

$$\text{- excentricita působící smykové síly: } e := t_{b;16} + \frac{h}{2} = 107.5 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} := F_{v;Ed} \cdot e = 18.504 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- posouzení ohybové únosnosti zarážky:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl;Rd}} = 0.973 \quad \leq 1.0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.16.4 Návrh svarů - zjednodušená metoda

- svar pásnice - tah

$$\text{Účinná délka svaru: } l := 2 \cdot b_{HEB120} - t_{w;HEB120} - 2 \cdot r_{HEB120} = 0.209 \text{ m}$$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{t_{f;HEB120} \cdot b_{HEB120} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 310.2 \text{ kN}$$

Návrhová pevnost svaru ve smyku:

$$\text{- korelační součinitel: } \beta_w := 0.8$$

$$f_{vw;d} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad \Rightarrow \quad a \geq \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 7.141 \text{ mm}$$

- svar pásnice - smyk

$$\text{Účinná délka svaru:} \quad l := 4 \cdot b_{HEB120} - t_{w;HEB120} - 2 \cdot r_{HEB120} = 0.449 \text{ m}$$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{A_{vy;HEB120} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = 351.676 \text{ kN}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad ==> \quad a \quad \geq \quad \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 3.768 \text{ mm}$$
$$==> \quad a_{16;1} := 8 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 8 mm.

- svar stojiny - smyk

$$\text{Účinná délka svaru:} \quad l := 2 \cdot h_{HEB120} - t_{f;HEB120} - 2 \cdot r_{HEB120} = 0.205 \text{ m}$$

Návrhová únosnost svaru:

$$F_{w;Ed} := \frac{A_{vz;HEB120} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = 113.969 \text{ kN}$$

Návrhová pevnost svaru ve smyku:

$$\text{- korelační součinitel:} \quad \beta_w := 0.8$$

$$f_{vw;d} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

Minimální účinná tloušťka svaru:

$$F_{w;Rd} := f_{vw;d} \cdot a \cdot l \quad ==> \quad a \quad \geq \quad \frac{F_{w;Ed}}{f_{vw;d} \cdot l} = 2.675 \text{ mm}$$
$$==> \quad a_{16;2} := 3 \text{ mm}$$

VÝSLEDNÝ SVAR: OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ; ÚČINNÁ TLOUŠŤKA 3 mm.

9. ZÁVĚR STATICKÉHO VÝPOČTU

9.1 SOUHRN NÁVRHU

Jeřábová dráha:

Nosník: HEA 450 + 2x L 200x24
Příchytky: Gantrail 9120/20/40, osová vzdálenost maximálně 1200 mm
Kolejnice: JKL 100

Nosná konstrukce haly:

1. Vnější sloup: HEA 800
2. Příčle: IPE 550 + náběh z IPE 550; celková výška $h_{NÁBĚH} = 1.075 \text{ m}$
3. Vnitřní sloup: HEA 450
4. Štítový sloup: HEA 360
5. Podélné trubkové ztužidlo:

- průřez: TR 127x10
- výška přípojně desky $h_5 = 147 \text{ mm}$
- tloušťka přípojně desky $t_5 = 10 \text{ mm}$
- svar desky na trubku $a_{5,1} = 4 \text{ mm}$
- svar desky na sloup/příčly $a_{5,2} = 6 \text{ mm}$
- průměr šroubu spoje $d_5 = 20 \text{ mm}$
- počet šroubů spoje $n_{počet,5} = 2$
- minimální vzdálenosti otvorů:

$$\bullet \quad e_{1,5} = 50 \text{ mm} \quad e_{2,5} = 35 \text{ mm} \quad p_{1,5} = 0 \quad p_{2,5} = 77 \text{ mm}$$

6. Brzdné podélné svislé ztužidlo mezi sloupy:

- průřez: TR 60.3x8
- výška přípojně desky $h_6 = 80.3 \text{ mm}$
- tloušťka přípojně desky $t_6 = 12 \text{ mm}$
- svar desky na trubku $a_{6,1} = 4 \text{ mm}$
- svar desky na sloup/příčly $a_{6,2} = 6 \text{ mm}$
- průměr šroubu spoje $d_6 = 24 \text{ mm}$
- počet šroubů spoje $n_{počet,6} = 2$
- minimální vzdálenosti otvorů:

$$\bullet \quad e_{1,6} = 60 \text{ mm} \quad e_{2,6} = 40.15 \text{ mm} \quad p_{1,6} = 75 \text{ mm} \quad p_{2,6} = 0$$

7. Větrové podélné svislé ztužidlo mezi sloupy:

- průřez: TR 60.3x5
- výška přípojně desky $h_7 = 80.3 \text{ mm}$
- tloušťka přípojně desky $t_7 = 10 \text{ mm}$

- svar desky na trubku $a_{7;1} = 4 \text{ mm}$
- svar desky na sloup/příčly $a_{7;2} = 6 \text{ mm}$
- průměr šroubu spoje $d_7 = 16 \text{ mm}$
- počet šroubů spoje $n_{počet;7} = 2$
- minimální vzdálenosti otvorů:

$$\bullet e_{1;7} = 35 \text{ mm} \quad e_{2;7} = 40.15 \text{ mm} \quad p_{1;7} = 50 \text{ mm} \quad p_{2;7} = 0$$

8. Příčné střešní ztužidlo: - totožné s prvkem 7
 9. Podélné střešní ztužidlo: - totožné s prvkem 7
 10. Brzdné nárazníkové ztužidlo: - totožné s prvkem 7
 11. Konzola JD:

- průřez: IPE 450
- tloušťka výztuhy sloupu $t_{PP;11} = 16 \text{ mm}$
- tloušťka příložky sloupu $t_{PL;11} = 15 \text{ mm}$
- šířka příložky $b_{PL;11} = 344 \text{ mm}$
- svar pásnice konzoly na sloup $a_{11;1} = 10 \text{ mm}$
- svar stojiny konzoly na sloup $a_{11;2} = 4 \text{ mm}$
- svar výztuhy sloupu $a_{11;3} = 4 \text{ mm}$

12. Rámový roh - vnější sloup/příčle

- tloušťka čelní desky $t_{\check{C}D;12} = 30 \text{ mm}$
- šířka čelní desky $b_{\check{C}D;12} = 240 \text{ mm}$
- tloušťka výztuhy sloupu $t_{PP;12} = 18 \text{ mm}$
- tloušťka příložky sloupu $t_{PL;12} = 18 \text{ mm}$
- šířka příložky $b_{PL;12} = 674 \text{ mm}$
- výška příložky $l_{P;12} = (1.3 \cdot 10^3) \text{ mm}$
- svar pásnice příčle na desku $a_{12;1} = 10 \text{ mm}$
- svar stojiny příčle na desku $a_{12;2} = 4 \text{ mm}$
- svar výztuhy sloupu $a_{12;3} = 4 \text{ mm}$
- průměr šroubu $d_{12} = 24 \text{ mm}$
- počet šroubů 6x2 ks
- vzdálenosti otvorů:

$$\bullet e_{1;12} = 87 \text{ mm} \quad e_{2;12} = 57 \text{ mm} \quad p_{1;12} = 200 \text{ mm} \quad p_{2;12} = 126 \text{ mm}$$

13. Rámový roh - vnitřní sloup/příčle

- tloušťka čelní desky $t_{\check{C}D;13} = 22 \text{ mm}$
- šířka čelní desky $b_{\check{C}D;13} = 240 \text{ mm}$
- tloušťka výztuhy sloupu $t_{VÝZTUHA;HEA;13} = 18 \text{ mm}$
- svar pásnice příčle na desku $a_{13;1} = 10 \text{ mm}$
- svar stojiny příčle na desku $a_{13;2} = 4 \text{ mm}$

- svar výztuhy sloupu $a_{13;3} = 4 \text{ mm}$
- průměr šroubu $d_{13} = 24 \text{ mm}$
- počet šroubů $6 \times 2 \text{ ks}$
- vzdálenosti otvorů:
 - $e_{1;13} = 67 \text{ mm}$ $e_{2;13} = 57 \text{ mm}$ $p_{1;13} = 200 \text{ mm}$ $p_{2;13} = 126 \text{ mm}$

14. Montážní spoj - vrchol příčlíp

- tloušťka čelní desky $t_{\check{C}D;14} = 20 \text{ mm}$
- šířka čelní desky $b_{\check{C}D;14} = 240 \text{ mm}$
- svar pásnice příčle na desku $a_{14;1} = 10 \text{ mm}$
- svar stojiny příčle na desku $a_{14;2} = 4 \text{ mm}$
- průměr šroubu $d_{14} = 24 \text{ mm}$
- počet šroubů $3 \times 2 \text{ ks}$
- vzdálenosti otvorů:
 - $e_{1;14} = 95 \text{ mm}$ $e_{2;14} = 57 \text{ mm}$ $p_{1;14} = 200 \text{ mm}$ $p_{2;14} = 126 \text{ mm}$

15. Patka krajních rámových sloupů - vetknutá

- tloušťka patního plechu $t_{\check{C}D;15} = 30 \text{ mm}$
- délka patního plechu $b_{1;15} = (1.25 \cdot 10^3) \text{ mm}$
- šířka patního plechu $d_{1;15} = 500 \text{ mm}$
- tloušťka podélné výztuhy $t_{PV;15} = 30 \text{ mm}$
- výška podélné výztuhy $h_{PV;15} = 200 \text{ mm}$
- tloušťka stojiny příčnicku $t_{P\check{R};15} = 12 \text{ mm}$
- výška příčnicku $h_{P\check{R};15} = 160 \text{ mm}$
- šířka pásnice příčnicku $b_{P\check{R};15} = 50 \text{ mm}$
- tloušťka pásnice příčnicku $t_{f;P\check{R};15} = 20 \text{ mm}$
- svar tažené pásnice HEA 800 $a_{15;1} = 7 \text{ mm}$
- svar stojiny HEA 800 $a_{15;2} = 4 \text{ mm}$
- svar pásnice zarážky HEB 120 $a_{15;3} = 8 \text{ mm}$
- svar stojiny zarážky HEB 120 $a_{15;4} = 3 \text{ mm}$
- kotevní šrouby $4 \times M56 \times 4$

16. Patka vnitřních rámových sloupů; patka štítových sloupů - kloubová

- tloušťka patního plechu $t_{\check{C}D;16} = 20 \text{ mm}$
- délka patního plechu $b_{1;16} = 480 \text{ mm}$
- šířka patního plechu $d_{1;16} = 340 \text{ mm}$
- svar pásnice zarážky HEB 120 $a_{16;1} = 8 \text{ mm}$
- svar stojiny zarážky HEB 120 $a_{16;2} = 3 \text{ mm}$

Seznam obrázků

- obr.1. Schéma uspořádání podél. vod. sil od rozjezdu/ brždění jeřábu - PILGR, M.
- obr.2. Schéma uspořádání příčných vod. sil od rozjezdu/ brždění jeřábu - PILGR, M.
- obr.3. Schéma uspořádání příčných vod. sil od přičení jeřábu - PILGR, M.
- obr.4. Schéma usp. příčných vod. sil od rozjezdu/ brždění kočky jeřábu - PILGR, M.
- obr.5. Přehled dynamických součinitelů z hlediska použití
- obr.6. Graf - délka stlačení nárazníku v závislosti na rychlosti a kinetické energii mostového jeřábu
- obr.7. Graf - přenesená síla nárazníkem v závislosti na rychlosti mostového jeřábu a stlačení nárazníku.
- obr.8. Tabulka dílčích součinitelů zatížení – ČSN EN 1990
- obr.9. Schéma břemenového kritéria
- obr.10. Stanovení maximální podporové reakce pomocí příčinkové čáry
- obr.11. Průběh vnitřních sil pro skupinu zatížení č.1
- obr.12. Průběh vnitřních sil pro skupinu zatížení č.5
- obr.13. Průběh vnitřních sil pro skupinu zatížení č.6
- obr.14. Uspořádání vodorovných sil od zrychlení/brždění jeřábu – PILGR, M.
- obr.15. Průběh vnitřních sil od vodorovného zatížení skupiny č. 1
- obr.16. Uspořádání vodorovných sil od přičení mostu jeřábu – PILGR, M.
- obr.17. Průběh vnitřních sil od vodorovného zatížení skupiny č. 5
- obr.18. Uspořádání vodorovných sil od rozjezdu/brždění kočky – PILGR, M.
- obr.19. Průběh vnitřních sil od vodorovného zatížení skupiny č. 6
- obr.20. Průběh vnitřních sil od vodorovného zatížení skupiny č. 9
- obr.21. Průběh vnitřních sil od vodorovného zatížení skupiny č. 8D
- obr.22. Průběh vnitřních sil od vodorovného zatížení skupiny č. 8S
- obr.23. Vodorovný průhyb nosníku jeřábové dráhy – ČSN EN 1993-6
- obr.24. Vodorovný posuv rámu – ČSN EN 1993-6
- obr.25. Vodorovný rozdíl mezi posuvy sousedních rámů – ČSN EN 1993-6
- obr.26. Změna vzdálenosti os kolejnic JD včetně vlivu teplotních změn – ČSN EN 1993-6
- obr.27. Svislý průhyb nosníku jeřábové dráhy – ČSN EN 1993-6
- obr.28. Rozdíl svislých průhybů nosníků tvořících JD – ČSN EN 1993-6
- obr.29. Vodorovná deformace nosníku JD - skupina zatížení č. 5
- obr.30. Výsledný průřez JD
- obr.31. Vodorovná deformace nosníku JD - skupina zatížení č. 5
- obr.32. Svislá deformace nosníku JD - skupina zatížení č. 1
- obr.33. Výsledné vnitřní síly nosníku JD dle jednotlivých skupin zatížení
- obr.34. Průřez nosníku JD
- obr.35. Opotřebení kolejnice JKL100 v rozsahu 25%
- obr.36. Součinitele boulení pro různé typy zavedení zatížení - ČSN EN 1993-1-5
- obr.37. Doporučené hodnoty dílčích součinitelů únavové pevn. – ČSN EN 1993-1-9
- obr.38. Schéma varné přichytky kolejnice Gantrail 9120/20/40 – ČEVAS - katalog systému Gantrail - <https://www.cevas.cz/>
- obr.39. Tvarové součinitele zatížení sněhem pro střechy vícelodních budov – ČSN EN 1991-1-3

- obr.40. Výsledný průběh zatížení sněhem na trojlodní halu
- obr.41. Výběr součinitelů vnějších tlaků pro svislé plochy – ČSN EN 1991-1-4
- obr.42. Dop. hodnoty souč. vnějšího tlaku pro svislé stěny pozemních staveb s pravoúhlým půdorysem – ČSN EN 1991-1-4
- obr.43. Výběr součinitelů vnějších tlaků pro střešní rovinu - pultové střechy – ČSN EN 1991-1-4
- obr.44. Výběr součinitelů vnějších tlaků pro střešní rovinu - sedlové střechy – ČSN EN 1991-1-4
- obr.45. Výběr součinitelů vnějších tlaků pro střešní rovinu - směr rovnoběžně s hřebenem – ČSN EN 1991-1-4
- obr.46. Legenda větrných oblastí pro pultové střechy – ČSN EN 1991-1-4
- obr.47. Legenda větrných oblastí pro sedlové střechy – ČSN EN 1991-1-4
- obr.48. Působení větru na vícelodní střechy – ČSN EN 1991-1-4
- obr.49. Výsledné oblasti zatížení větrem - příčný směr
- obr.50. Výsledné oblasti zatížení větrem - podélný směr
- obr.51. Tabulky únosnosti stěnového panelu Kingspan KS 1000AWP 150 – spol. Kingspan
- obr.52. Hodnoty kombinačních součinitelů – ČSN EN 1991-1-1
- obr.53. Tabulky únosnosti střešního panelu Kingspan KS1000 RW 160 vlivem tlaku větru – spol. Kingspan
- obr.54. Tabulky únosnosti střešního panelu Kingspan KS1000 RW 160 vlivem sání větru – spol. Kingspan
- obr.55. Schéma vytvoření spojité vaznice ze Z profilů Satjam – spol. Kingspan
- obr.56. Tabulka kombinací MSÚ
- obr.57. Výsledná vodorovná deformace v místě vrcholu kolejnice JD
- obr.58. Výsledné posuvy rámových vazeb v úrovni kolejnice JD - 1. trakt
- obr.59. Výsledné posuvy rámových vazeb v úrovni kolejnice JD - 2. trakt
- obr.60. Výsledné posuvy rámových vazeb v úrovni kolejnice JD - 3. trakt
- obr.61. Porovnání výsledných posuvů rámu v úrovni hlavy kolejnice, stanovení maximální hodnoty posuvu
- obr.62. Výsledné změny vzdálenosti mezi osami jeřábových nosníků
- obr.63. Výsledné normálové síly pro návrh krajního sloupu rámové vazby
- obr.64. Výsledné posouvající síly pro návrh krajního sloupu rámové vazby - směr y-y
- obr.65. Výsledné posouvající síly pro návrh krajního sloupu rámové vazby - směr z-z
- obr.66. Výsledné kroutící momenty pro návrh krajního sloupu rámové vazby
- obr.67. Výsledné ohybové momenty kolem osy y-y pro návrh krajního sloupu rámové vazby
- obr.68. Výsledné ohybové momenty kolem osy z-z pro návrh krajního sloupu rámové vazby
- obr.69. Schéma příčle rámové vazby
- obr.70. Výsledné normálové síly pro návrh příčle rámové vazby
- obr.71. Výsledné posouvající síly pro návrh příčle rámové vazby - směr z-z
- obr.72. Výsledné ohybové momenty kolem osy y-y pro návrh krajního sloupu rámové vazby
- obr.73. Výsledná maximální napětí v krajních vláknech průřezu příčle
- obr.74. Výsledné normálové síly pro návrh vnitřního sloupu rámové vazby
- obr.75. Výsledné posouvající síly pro návrh vnitřního sloupu rámové vazby - směr y-y
- obr.76. Výsledné posouvající síly pro návrh vnitřního sloupu rámové vazby - směr z-z
- obr.77. Výsledné kroutící momenty pro návrh vnitřního sloupu rámové vazby
- obr.78. Výsledné ohybové momenty kolem osy y-y pro návrh vnitřního sloupu rámové vazby

- obr.79. Výsledné ohybové momenty kolem osy z-z pro návrh vnitřního sloupu rámové vazby
- obr.80. Lokální průběh ohybového momentu M_y
- obr.81. Lokální průběh ohybového momentu M_z
- obr.82. Výsledné normálové síly pro návrh štítového sloupu rámové vazby
- obr.83. Výsledné posouvající síly pro návrh štítového sloupu rámové vazby - směr z-z
- obr.84. Výsledné ohybové momenty kolem osy y-y pro návrh štítového sloupu rámové vazby
- obr.85. Výsledná maximální deformace sloupu
- obr.86. Výsledné normálové síly pro návrh podélného trubkového ztužidla
- obr.87. Výsledné normálové síly pro návrh svislého brzděného ztužidla mezi sloupy
- obr.88. Výsledné normálové síly pro návrh svislého větrového ztužidla mezi sloupy
- obr.89. Výsledné normálové síly pro návrh příčné střešního ztužidla
- obr.90. Výsledné normálové síly pro návrh podélného střešního ztužidla
- obr.91. Výsledné normálové síly pro návrh brzděného nárazníkového ztužidla
- obr.92. Geometrie rámového rohu krajní sloup/příčle
- obr.93. Znázornění parametrů – ČSN EN 1993-1-8
- obr.94. Stanovení hodnoty α – ČSN EN 1993-1-8
- obr.95. Stanovení hodnoty α – ČSN EN 1993-1-8
- obr.96. Geometrie rámového rohu vnitřní sloup/příčle
- obr.97. Stanovení hodnoty α – ČSN EN 1993-1-8
- obr.98. Geometrie montážního vrcholového přípoje příčle
- obr.99. Schéma působení sil na podélnou výztuhu patního plechu
- obr.100. Výsledná maximální normálová síla v patě sloupu

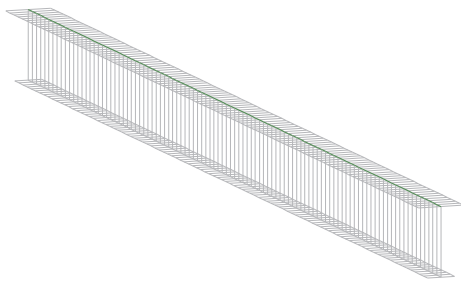
PŘÍLOHA Č. : 01

PROTOKOLY ZE SOFTWARE LTBeamN

Nosník jeřábové dráhy

HEA 450 + 2x L200x24

CALCULATION SHEET



- Section No. 2 : PRO 475,1 M

Abscissa from the left end of the beam : $x = 8$ m

Type : By properties

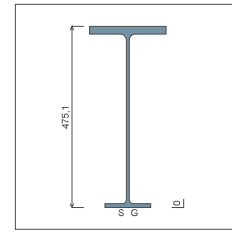


Figure 3 : Section No. 2 (PRO 475,1 M).

Main geometrical properties :

Z_S = 17,3 cm
 Z_G = 30,2 cm
 I_y = 93890 cm⁴
 I_z = 170200 cm⁴
 I_t = 553 cm⁴
 I_w = 1,689E+7 cm⁶

Stiffness relaxations :

θ : Continuous
 v : Continuous
 ϕ' : Continuous
 w : Continuous

1.2 - Lateral restraints

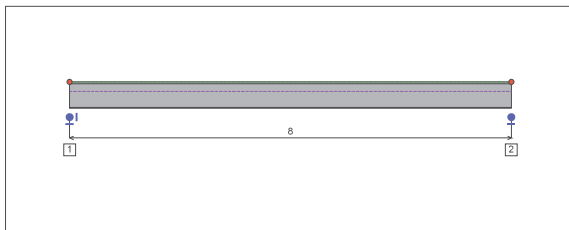


Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0,01$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Fixed
 v' : Free
 ϕ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 8$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0,01$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Fixed
 v' : Free
 ϕ' : Free

1.3 - Supports

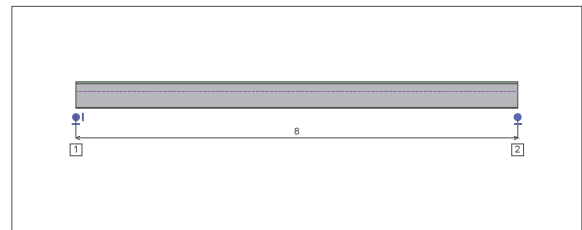


Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

u : Fixed
 w : Fixed
 w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 8$ m

Support conditions :

u : Free
 w : Fixed
 w' : Free

I.4 - Loads

Type of loading : Internal

- Moment diagram :

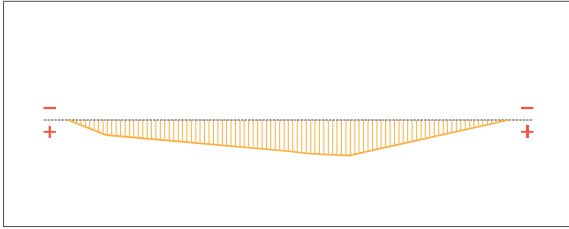


Figure 6 : Moment diagram.

Active : Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	0
0,7	223,53
4	462,52
4,4	500,82
5,1	526,93
8	0

- Axial force diagram :

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1

Blocked moment diagram : No

Blocked axial force diagram : Yes

II.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	β_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	17,62	9246,9	5,04	0	5,04

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	β_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	17,62	9246,9	5,04	0	5,04

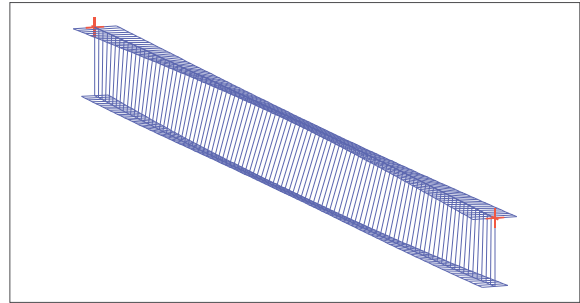
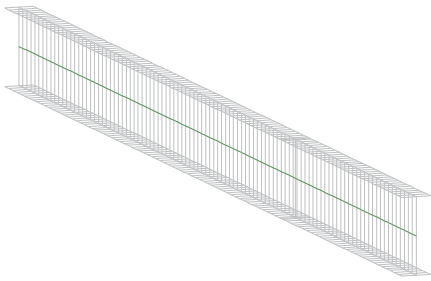


Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

Vnější sloup rámové vazby

HEA 800

CALCULATION SHEET



I.1 - Lateral restraints

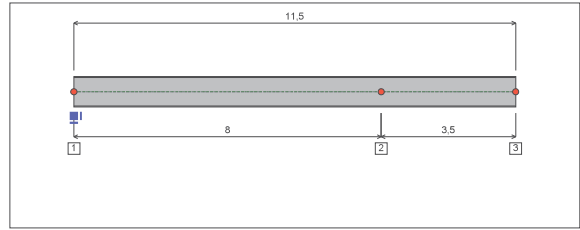


Figure 1 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abcissa from the left end of the beam : $x = 0$ mVertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

 v : Fixed θ : Fixed v' : Free θ' : Fixed

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abcissa from the left end of the beam : $x = 8$ mVertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

 v : Fixed θ : Free v' : Free θ' : Free

- Restraint No. 3 :

Type : Ponctual

Abcissa from the left end of the beam : $x = 11,5$ mVertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

 v : Fixed θ : Fixed v' : Free θ' : Free

I.2 - Supports

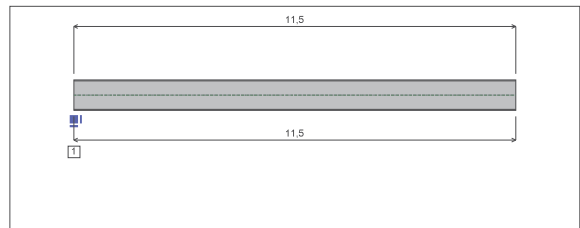


Figure 2 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abcissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

 u : Fixed w : Fixed w' : Fixed

1.3 - Loads

Type of loading : Internal

- Moment diagram :

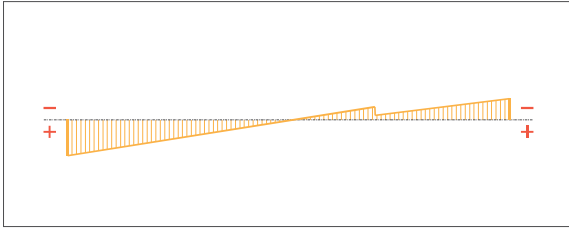


Figure 3 : Moment diagram.

Active : Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	852,24
8	-313,66
8,01	-111,7
11,5	-509,34

- Axial force diagram :

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1

Blocked moment diagram : No

Blocked axial force diagram : Yes

II.1 - Mode shapes

- Mode 1

Table 3 : Mode 1.

Mode	β_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	7,191	6128,9	0	0	0

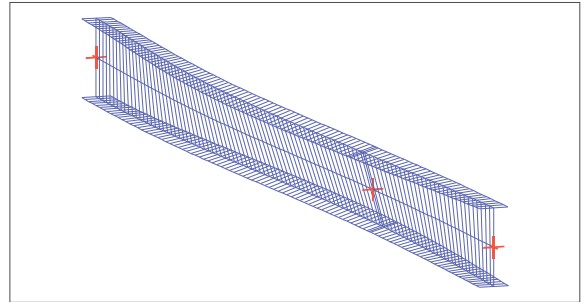
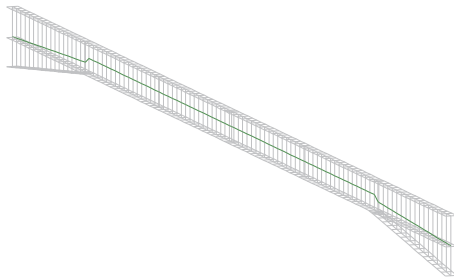


Figure 5 : Mode shape in 3D (Mode 1).

Příčle rámové vazby

IPE 550 s náběhům z IPE 550

CALCULATION SHEET



I.1 - Lateral restraints

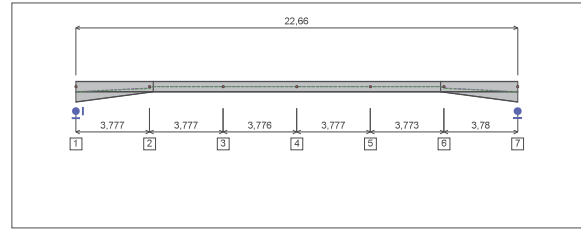


Figure 1 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 26.38$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 3.777$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 9.691$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Free
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 3 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 7.554$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Free
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 4 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 11.33$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Free
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 5 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 15.11$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Free
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 6 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 18.88$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 9.652$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Free
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 7 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 22.66$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 26.38$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

1.2 - Supports

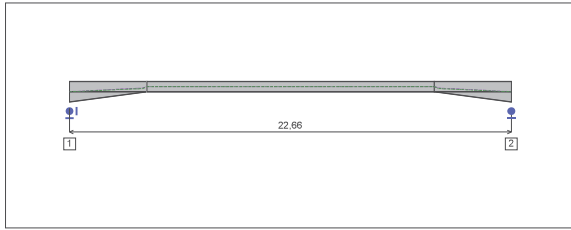


Figure 2 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

u : Fixed
w : Fixed
w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 22,66$ m

Support conditions :

u : Free
w : Fixed
w' : Free

1.3 - Loads

Type of loading :

Internal

- Moment diagram :

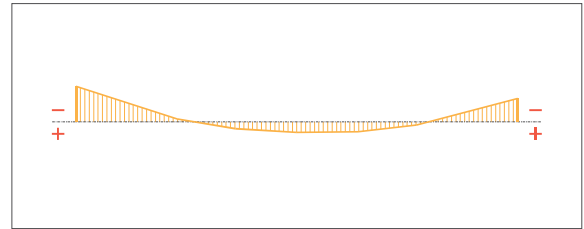


Figure 3 : Moment diagram.

Active :

Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	-560,96
5,19	-47,92
8,19	103,1
11,33	160,6
14,47	152,53
17,47	48,85
22,66	-365,2

- Axial force diagram :

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1

Blocked moment diagram : No

Blocked axial force diagram : Yes

The TAPER effect is taken into account

II.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	3,344	-1842,3	0	0	0

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	3,344	-1842,3	0	0	0

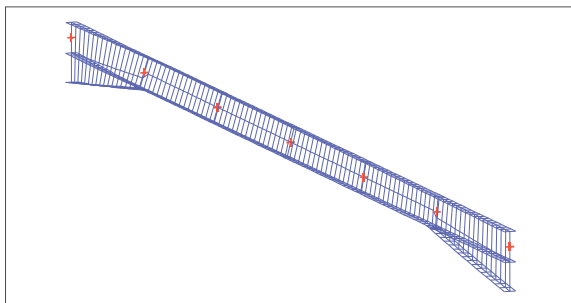
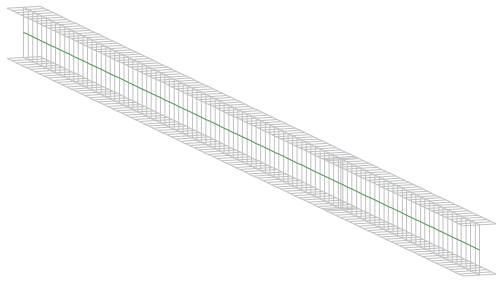


Figure 5 : Mode shape in 3D (Mode 1).

Vnitřní sloup rámové vazby

HEA 450

CALCULATION SHEET



I.1 - Lateral restraints

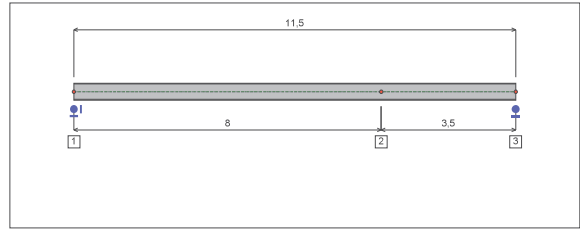


Figure 1 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v	: Fixed
θ	: Fixed
v'	: Free
θ'	: Free

- Restraint No. 2 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 8$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v	: Fixed
θ	: Free
v'	: Free
θ'	: Free

- Restraint No. 3 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 11,5$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v	: Fixed
θ	: Fixed
v'	: Free
θ'	: Free

I.2 - Supports

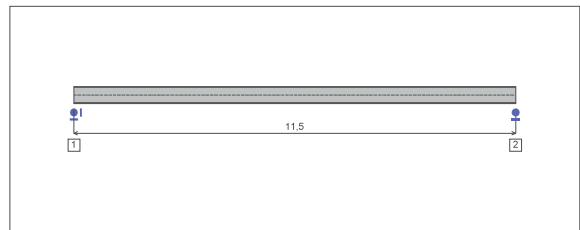


Figure 2 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

u	: Fixed
w	: Fixed
w'	: Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 11,5$ m

Support conditions :

u	: Free
w	: Fixed
w'	: Free

1.3 - Loads

Type of loading : Internal

- Moment diagram :

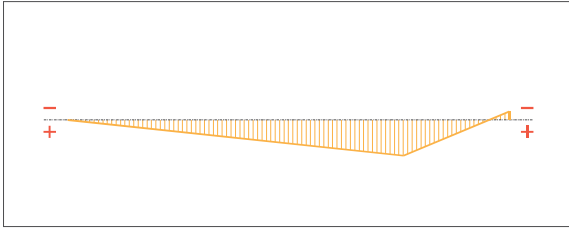


Figure 3 : Moment diagram.

Active : Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	0
8,745	115,84
11,5	-27,6

- Axial force diagram :

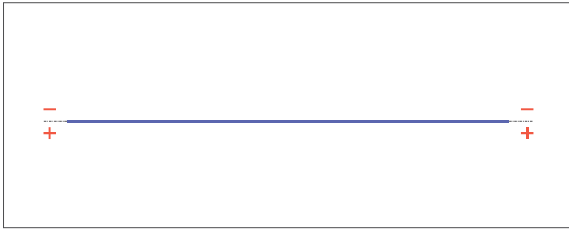


Figure 4 : Axial force diagram.

Active : Yes

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	0
11,5	0

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1

Blocked moment diagram : No

Blocked axial force diagram : Yes

II.1 - Mode shapes

- Mode 1

Table 3 : Mode 1.

Mode	H_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	25,95	3004,1	8,74	0	8,74

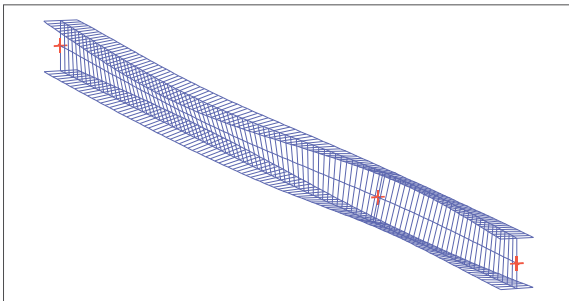
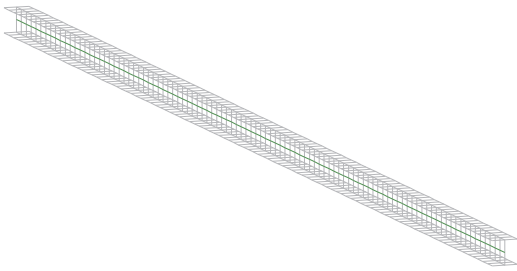


Figure 5 : Mode shape in 3D (Mode 1).

Štítový sloup

HEA 240

CALCULATION SHEET



I - PARAMETERS

I.1 - Lateral restraints

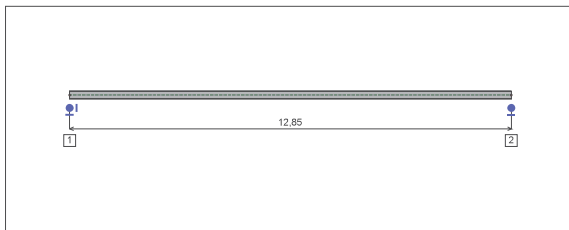


Figure 1 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ mVertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 α : Fixed
 v' : Free
 α' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 12,85$ mVertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 α : Fixed
 v' : Free
 α' : Free

I.2 - Supports

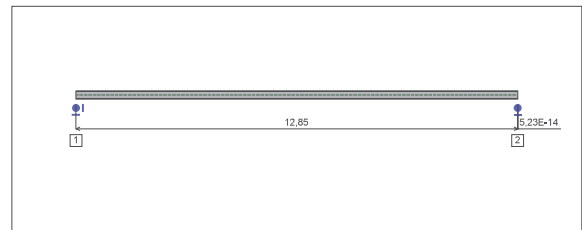


Figure 2 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

u : Fixed
 w : Fixed
 w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 12,85$ m

Support conditions :

u : Free
 w : Fixed
 w' : Free

I.3 - Loads

Type of loading : Internal

- Moment diagram :

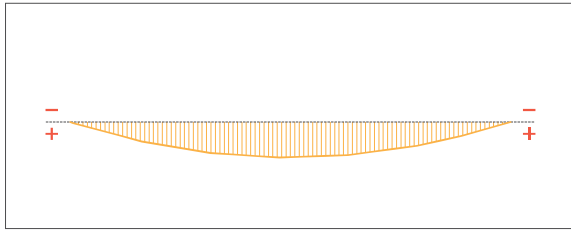


Figure 3 : Moment diagram.

Active : Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	0
0,1	2,28
0,767	14,87
1,433	27,47
2,1	40,06
2,767	47,91
3,433	55,75
4,1	63,6
4,767	66,7
5,433	69,8
6,1	72,91
6,767	71,26
7,433	69,62
8,1	67,97
8,767	61,58
9,433	55,19

Table 1 (Next) : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
10,1	48,8
10,75	38,75
11,4	28,69
12,12	14,35
12,85	0

- Axial force diagram :

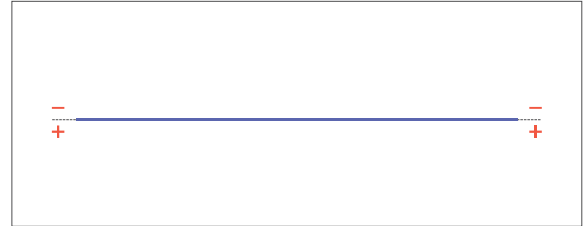


Figure 4 : Axial force diagram.

Active : No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	0
12,85	0

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1

Blocked moment diagram : No

Blocked axial force diagram : Yes

II.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	f_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	1,784	129,79	6,168	0	6,168

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	f_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	1,784	129,79	6,168	0	6,168

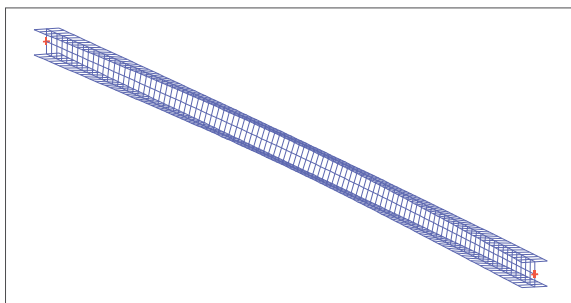


Figure 5 : Mode shape in 3D (Mode 1).

PŘÍLOHA Č. : 02

VÝPOČET PARAMETRŮ VETKNUTÉ PATKY

Podpora	Kombinace	N_{Ed} [kN] (+ = tlak)	M_y [kNm]	Excentricita zatížení e [m]	Pravá strana rovnice [kNm/kPa] $N_{Ed;15} * (r_t + e) / f_{jd}$	Délka tlačené oblasti x [m]	Efektivní tlačená plocha $A_{eff;c}$ [m ²]	Rameno tlačenné efektivní plochy r_c [m]	Tahová síla bez vlivu imperfekcí F_T [kN]	Tlaková síla F_C [kN]
Sn1/N57	NK_CO7 - MSÚ	50,82	259,08	5,10	0,02241	0,091	0,020	0,573	209,48	260,30
Sn1/N57	NK_CO9 - MSÚ	-59,9	7,55	-0,13	-0,00187	0,046	-0,002	0,635	39,29	-20,61
Sn1/N57	NK_CO8 - MSÚ	51,81	285,59	5,51	0,02453	0,095	0,022	0,569	234,10	285,91
Sn1/N57	NK_CO12 - MSÚ	241,65	-172,7	-0,71	-0,00360	0,043	-0,003	0,642	-280,93	-39,28
Sn2/N59	NK_CO12 - MSÚ	168,21	-246,06	-1,46	-0,01237	0,028	-0,010	0,692	-297,78	-129,57
Sn2/N59	NK_CO8 - MSÚ	32,22	408,46	12,68	0,03337	0,113	0,031	0,554	361,85	394,07
Sn2/N59	NK_CO11 - MSÚ2	286,82	-54,99	-0,19	0,00750	0,063	0,007	0,605	-202,22	84,60
Sn2/N59	NK_CO11 - MSÚ	182,35	-254,33	-1,39	-0,01244	0,028	-0,010	0,693	-312,56	-130,21
Sn2/N59	NK_CO9 - MSÚ	157,47	-97,29	-0,62	-0,00115	0,047	-0,001	0,632	-170,11	-12,64
Sn3/N61	NK_CO13 - MSÚ	234,63	-227,29	-0,97	-0,00817	0,035	-0,007	0,664	-322,16	-87,53
Sn3/N61	NK_CO1 - MSÚ	116,13	-99,13	-0,85	-0,00299	0,044	-0,003	0,639	-148,91	-32,78
Sn3/N61	NK_CO8 - MSÚ	32,09	434,91	13,55	0,03543	0,117	0,033	0,551	387,67	419,76
Sn3/N61	NK_CO11 - MSÚ	235	-240,93	-1,03	-0,00922	0,033	-0,008	0,671	-333,32	-98,32
Sn3/N61	NK_CO9 - MSÚ	57,14	-70,78	-1,24	-0,00320	0,044	-0,003	0,640	-92,14	-35,00
Sn4/N63	NK_CO8 - MSÚ	35,58	439,31	12,35	0,03592	0,118	0,033	0,550	390,27	425,85
Sn4/N63	NK_CO9 - MSÚ	-37,51	-33,26	0,89	-0,00415	0,042	-0,004	0,644	-7,78	-45,29
Sn4/N63	NK_CO12 - MSÚ2	224,25	6,59	0,03	0,00975	0,067	0,009	0,599	-113,67	110,58
Sn4/N63	NK_CO11 - MSÚ	206,53	-211,19	-1,02	-0,00806	0,035	-0,007	0,664	-292,97	-86,44
Sn5/N65	NK_CO13 - MSÚ2	243,15	22,76	0,09	0,01180	0,071	0,011	0,594	-108,78	134,37
Sn5/N65	NK_CO1 - MSÚ	171,87	-102,9	-0,60	-0,00099	0,047	-0,001	0,631	-182,83	-10,96
Sn5/N65	NK_CO8 - MSÚ	33,82	440,4	13,02	0,03594	0,118	0,033	0,550	392,19	426,01
Sn5/N65	NK_CO11 - MSÚ	269,77	-210,83	-0,78	-0,00543	0,040	-0,005	0,650	-328,66	-58,89
Sn6/N67	NK_CO9 - MSÚ	58,51	-24,88	-0,43	0,00046	0,050	0,000	0,626	-53,44	5,07
Sn6/N67	NK_CO1 - MSÚ	117,17	-99,61	-0,85	-0,00299	0,044	-0,003	0,639	-149,89	-32,72
Sn6/N67	NK_CO8 - MSÚ	32,64	438,3	13,43	0,03572	0,117	0,033	0,551	390,71	423,35
Sn6/N67	NK_CO11 - MSÚ	349,94	-210,97	-0,60	-0,00214	0,045	-0,002	0,636	-373,42	-23,48
Sn6/N67	NK_CO12 - MSÚ	529,35	-199,62	-0,38	0,00614	0,060	0,005	0,609	-460,29	69,06
Sn7/N69	NK_CO9 - MSÚ	57,83	-18,83	-0,33	0,00090	0,051	0,001	0,625	-47,80	10,03
Sn7/N69	NK_CO1 - MSÚ	116,84	-98,49	-0,84	-0,00291	0,044	-0,003	0,639	-148,76	-31,92

Sn7/N69	NK_CO8 - MSÚ	32,96	430,98	13,08	0,03516	0,116	0,033	0,552	383,41	416,37
Sn7/N69	NK_CO11 - MSÚ	235,06	-208,35	-0,89	-0,00666	0,038	-0,006	0,656	-306,97	-71,91
Sn8/N71	NK_CO11 - MSÚ2	273,2	-19,91	-0,07	0,00969	0,067	0,009	0,599	-163,34	109,86
Sn8/N71	NK_CO9 - MSÚ	-27,1	-9,89	0,36	-0,00189	0,046	-0,002	0,635	6,31	-20,79
Sn8/N71	NK_CO13 - MSÚ2	283,43	1,2	0,00	0,01177	0,071	0,011	0,594	-149,43	134,00
Sn8/N71	NK_CO8 - MSÚ	32,56	411,76	12,65	0,03364	0,113	0,031	0,554	364,89	397,45
Sn8/N71	NK_CO11 - MSÚ	161,53	-218,08	-1,35	-0,01045	0,031	-0,009	0,679	-272,26	-110,73
Sn9/N73	NK_CO13 - MSÚ2	116,91	76,37	0,65	0,01080	0,069	0,010	0,597	5,89	122,80
Sn9/N73	NK_CO8 - MSÚ	51,81	289,75	5,59	0,02486	0,096	0,023	0,568	238,05	289,86
Sn9/N73	NK_CO11 - MSÚ	247,92	-151,01	-0,61	-0,00164	0,046	-0,001	0,634	-265,91	-17,99
Sn24/N17	NK_CO8 - MSÚ	85,06	280,28	3,30	0,02549	0,097	0,023	0,567	212,40	297,46
Sn24/N17	NK_CO9 - MSÚ	-59,93	-5,07	0,08	-0,00287	0,044	-0,002	0,639	28,54	-31,39
Sn24/N17	NK_CO13 - MSÚ	245,07	537,89	2,19	0,05228	0,151	0,050	0,527	388,57	633,64
Sn24/N17	NK_CO2 - MSÚ	79,7	70,58	0,89	0,00882	0,065	0,008	0,602	20,10	99,80
Sn25/N15	NK_CO13 - MSÚ	172,4	689,72	4,00	0,06120	0,170	0,059	0,515	577,89	750,29
Sn25/N15	NK_CO12 - MSÚ2	276,89	493,12	1,78	0,05008	0,146	0,047	0,530	328,33	605,22
Sn25/N15	NK_CO7 - MSÚ	74,8	245,33	3,28	0,02232	0,091	0,020	0,573	184,40	259,20
Sn25/N15	NK_CO11 - MSÚ2	279,49	489,66	1,75	0,04992	0,146	0,047	0,530	323,61	603,10
Sn25/N15	NK_CO9 - MSÚ	157,54	100,58	0,64	0,01438	0,076	0,013	0,589	7,04	164,58
Sn25/N15	NK_CO1 - MSÚ	120,5	107,28	0,89	0,01338	0,074	0,012	0,591	32,34	152,84
Sn26/N13	NK_CO13 - MSÚ2	235,64	543,86	2,31	0,05236	0,151	0,050	0,527	399,04	634,68
Sn26/N13	NK_CO9 - MSÚ	57,38	76,44	1,33	0,00836	0,064	0,007	0,603	37,12	94,50
Sn26/N13	NK_CO13 - MSÚ	239,21	741,76	3,10	0,06803	0,184	0,066	0,506	602,15	841,36
Sn26/N13	NK_CO1 - MSÚ	116,22	106,22	0,91	0,01312	0,073	0,012	0,591	33,58	149,80
Sn28/N11	NK_CO11 - MSÚ	242,71	759	3,13	0,06953	0,188	0,068	0,504	618,80	861,51
Sn28/N11	NK_CO9 - MSÚ	-37,37	32,06	-0,86	0,00098	0,051	0,001	0,624	48,19	10,82
Sn28/N11	NK_CO13 - MSÚ	245,1	789,73	3,22	0,07204	0,193	0,070	0,501	650,34	895,44
Sn28/N11	NK_CO2 - MSÚ	100,9	101,55	1,01	0,01212	0,071	0,011	0,594	37,24	138,14
Sn30/N9	NK_CO13 - MSÚ2	242,1	601,33	2,48	0,05714	0,161	0,055	0,520	454,74	696,84
Sn30/N9	NK_CO12 - MSÚ	243,17	792,73	3,26	0,07219	0,193	0,070	0,500	654,39	897,56
Sn30/N9	NK_CO7 - MSÚ	77,4	263,17	3,40	0,02383	0,094	0,022	0,570	199,98	277,38
Sn30/N9	NK_CO11 - MSÚ2	247,72	571,13	2,31	0,05500	0,157	0,052	0,523	421,20	668,92
Sn30/N9	NK_CO9 - MSÚ	156,34	41,85	0,27	0,00972	0,067	0,009	0,599	-46,11	110,23

Sn30/N9	NK_CO13 - MSÚ	243,4	799,32	3,28	0,07272	0,195	0,071	0,500	661,31	904,71
Sn30/N9	NK_CO1 - MSÚ	121,87	112,66	0,92	0,01386	0,075	0,012	0,590	36,59	158,46
Sn32/N7	NK_CO13 - MSÚ	336,16	834,93	2,48	0,07933	0,209	0,078	0,491	659,16	995,32
Sn32/N7	NK_CO9 - MSÚ	58,46	25,03	0,43	0,00437	0,057	0,004	0,614	-9,52	48,94
Sn32/N7	NK_CO12 - MSÚ	526,29	868,52	1,65	0,08980	0,233	0,090	0,478	615,52	1141,81
Sn32/N7	NK_CO2 - MSÚ	117,17	109,01	0,93	0,01338	0,074	0,012	0,591	35,65	152,82
Sn34/N5	NK_CO12 - MSÚ	240,78	783,36	3,25	0,07136	0,192	0,070	0,502	645,48	886,26
Sn34/N5	NK_CO13 - MSÚ	241,07	790,16	3,28	0,07191	0,193	0,070	0,501	652,58	893,65
Sn34/N5	NK_CO9 - MSÚ	57,78	18,76	0,32	0,00385	0,056	0,003	0,615	-14,72	43,06
Sn36/N3	NK_CO11 - MSÚ2	282,84	521,06	1,84	0,05252	0,152	0,050	0,527	353,85	636,69
Sn36/N3	NK_CO13 - MSÚ2	286,26	544,24	1,90	0,05448	0,156	0,052	0,524	375,86	662,12
Sn36/N3	NK_CO13 - MSÚ	178,62	740,48	4,15	0,06544	0,179	0,063	0,509	627,98	806,60
Sn36/N3	NK_CO9 - MSÚ	-27,11	9,8	-0,36	-0,00035	0,049	0,000	0,629	23,27	-3,84
Sn39/N1	NK_CO13 - MSÚ2	124,19	373,11	3,00	0,03438	0,115	0,032	0,553	282,46	406,65
Sn39/N1	NK_CO7 - MSÚ	83,61	221,91	2,65	0,02085	0,088	0,019	0,576	157,88	241,49
Sn39/N1	NK_CO11 - MSÚ	250,15	556,09	2,22	0,05392	0,154	0,051	0,525	404,72	654,87
Sn39/N1	NK_CO9 - MSÚ	159,87	67,43	0,42	0,01187	0,071	0,011	0,594	-24,63	135,24
Sn39/N1	NK_CO13 - MSÚ	239,24	572,1	2,39	0,05473	0,156	0,052	0,524	426,12	665,36
Sn39/N1	NK_CO2 - MSÚ	113,66	85,55	0,75	0,01139	0,070	0,010	0,595	15,97	129,63

Maximum		529,35	868,52						661,31	1141,81
----------------	--	---------------	---------------	--	--	--	--	--	---------------	----------------

Maximální tahová síla ve dvojici kotevních šroubů bez vlivu imperfekcí [kN] - kombinace NK-CO13 - MSÚ									661,31	
Maximální tlaková síla na patní plech [kN] - kombinace NK-CO12 - MSÚ										1141,81

PŘÍLOHA Č. : 03

VÝBĚR ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE PRO POSUDEK
SMYKOVÉ ZARÁŽKY VETKNUTÉ PATKY

VNĚJŠÍ SLOUPY RÁMOVÉ KONSTRUKCE

Název podpory	Nelineární kombinace	Reakce v podporách			Posouvající síla v absolutní hodnotě [kN]		Tlaková normálová síla [kN]	Smyková síla přenášená smykovou zarážkou [kN]	
		Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	pro směr x-x	pro směr y-y		pro směr x-x	pro směr y-y
Sn1/N57	NK_CO7 - MSÚ	49,99	-15,41	50,82	49,99	15,41	50,82	39,83	5,25
Sn1/N57	NK_CO9 - MSÚ	-20,12	86,55	-59,9	20,12	86,55	0,00	20,12	86,55
Sn1/N57	NK_CO8 - MSÚ	54,43	-15,39	51,81	54,43	15,39	51,81	44,07	5,03
Sn1/N57	NK_CO12 - MSÚ	-28,04	-9,75	241,65	28,04	9,75	241,65	-20,29	-38,58
Sn2/N59	NK_CO12 - MSÚ	-36,91	-63,58	168,21	36,91	63,58	168,21	3,27	29,94
Sn2/N59	NK_CO8 - MSÚ	92,82	-8,14	32,22	92,82	8,14	32,22	86,38	1,70
Sn2/N59	NK_CO11 - MSÚ2	-17,63	0,26	286,82	17,63	0,26	286,82	-39,73	-57,10
Sn2/N59	NK_CO11 - MSÚ	-38,02	-52,76	182,35	38,02	52,76	182,35	1,55	16,29
Sn2/N59	NK_CO9 - MSÚ	-48,39	-0,02	157,47	48,39	0,02	157,47	16,90	-31,47
Sn3/N61	NK_CO13 - MSÚ	-35,7	-0,36	234,63	35,70	0,36	234,63	-11,23	-46,57
Sn3/N61	NK_CO1 - MSÚ	-21,37	0,08	116,13	21,37	0,08	116,13	-1,86	-23,15
Sn3/N61	NK_CO8 - MSÚ	96,58	-0,09	32,09	96,58	0,09	32,09	90,16	-6,33
Sn3/N61	NK_CO11 - MSÚ	-37,18	-0,34	235	37,18	0,34	235,00	-9,82	-46,66
Sn3/N61	NK_CO9 - MSÚ	-42,16	-0,23	57,14	42,16	0,23	57,14	30,73	-11,20
Sn4/N63	NK_CO8 - MSÚ	96,76	-0,1	35,58	96,76	0,10	35,58	89,64	-7,02
Sn4/N63	NK_CO9 - MSÚ	-32,76	68,07	-37,51	32,76	68,07	0,00	32,76	68,07
Sn4/N63	NK_CO12 - MSÚ2	-11,81	9,78	224,25	11,81	9,78	224,25	-33,04	-35,07
Sn4/N63	NK_CO11 - MSÚ	-34,19	27,38	206,53	34,19	27,38	206,53	-7,12	-13,93
Sn5/N65	NK_CO13 - MSÚ2	-9,92	-3,57	243,15	9,92	3,57	243,15	-38,71	-45,06
Sn5/N65	NK_CO1 - MSÚ	-22,58	0,29	171,87	22,58	0,29	171,87	-11,79	-34,08
Sn5/N65	NK_CO8 - MSÚ	96,95	-1,03	33,82	96,95	1,03	33,82	90,19	-5,73
Sn5/N65	NK_CO11 - MSÚ	-34,63	0,03	269,77	34,63	0,03	269,77	-19,32	-53,92
Sn6/N67	NK_CO9 - MSÚ	-22,73	-0,4	58,51	22,73	0,40	58,51	11,03	-11,30
Sn6/N67	NK_CO1 - MSÚ	-21,67	0,26	117,17	21,67	0,26	117,17	-1,76	-23,17
Sn6/N67	NK_CO8 - MSÚ	96,87	0,06	32,64	96,87	0,06	32,64	90,34	-6,47
Sn6/N67	NK_CO11 - MSÚ	-41,05	-0,37	349,94	41,05	0,37	349,94	-28,94	-69,62
Sn6/N67	NK_CO12 - MSÚ	-49,59	-0,01	529,35	49,59	0,01	529,35	-56,28	-105,86
Sn7/N69	NK_CO9 - MSÚ	-21,84	-0,35	57,83	21,84	0,35	57,83	10,27	-11,22

Sn7/N69	NK_CO1 - MSÚ	-21,41	0,41	116,84	21,41	0,41	116,84	-1,96	-22,96
Sn7/N69	NK_CO8 - MSÚ	96,02	0,11	32,96	96,02	0,11	32,96	89,43	-6,48
Sn7/N69	NK_CO11 - MSÚ	-33,81	0,19	235,06	33,81	0,19	235,06	-13,20	-46,82
Sn8/N71	NK_CO11 - MSÚ2	-13,78	-0,21	273,2	13,78	0,21	273,20	-40,86	-54,43
Sn8/N71	NK_CO9 - MSÚ	-20,61	65,22	-27,1	20,61	65,22	0,00	20,61	65,22
Sn8/N71	NK_CO13 - MSÚ2	-11,56	-0,21	283,43	11,56	0,21	283,43	-45,13	-56,48
Sn8/N71	NK_CO8 - MSÚ	93,03	8,61	32,56	93,03	8,61	32,56	86,52	2,10
Sn8/N71	NK_CO11 - MSÚ	-33,95	65,97	161,53	33,95	65,97	161,53	1,64	33,66
Sn9/N73	NK_CO13 - MSÚ2	-1,58	-33,21	116,91	1,58	33,21	116,91	-21,80	9,83
Sn9/N73	NK_CO8 - MSÚ	54,89	15,41	51,81	54,89	15,41	51,81	44,53	5,05
Sn9/N73	NK_CO11 - MSÚ	-25,9	9,64	247,92	25,90	9,64	247,92	-23,68	-39,94
Sn24/N17	NK_CO8 - MSÚ	50,11	-6,94	85,06	50,11	6,94	85,06	33,10	-10,07
Sn24/N17	NK_CO9 - MSÚ	20,81	86,47	-59,93	20,81	86,47	0,00	20,81	86,47
Sn24/N17	NK_CO13 - MSÚ	87,76	-4,6	245,07	87,76	4,60	245,07	38,75	-44,41
Sn24/N17	NK_CO2 - MSÚ	14,47	12,4	79,7	14,47	12,40	79,70	-1,47	-3,54
Sn25/N15	NK_CO13 - MSÚ	126,93	-58,32	172,4	126,93	58,32	172,40	92,45	23,84
Sn25/N15	NK_CO12 - MSÚ2	106,44	0,35	276,89	106,44	0,35	276,89	51,06	-55,03
Sn25/N15	NK_CO7 - MSÚ	59,13	-0,62	74,8	59,13	0,62	74,80	44,17	-14,34
Sn25/N15	NK_CO11 - MSÚ2	106,08	0,34	279,49	106,08	0,34	279,49	50,18	-55,56
Sn25/N15	NK_CO9 - MSÚ	48,1	-0,03	157,54	48,10	0,03	157,54	16,59	-31,48
Sn25/N15	NK_CO1 - MSÚ	21,73	0,18	120,5	21,73	0,18	120,50	-2,37	-23,92
Sn26/N13	NK_CO13 - MSÚ2	112,64	0,1	235,64	112,64	0,10	235,64	65,51	-47,03
Sn26/N13	NK_CO9 - MSÚ	42,68	-0,23	57,38	42,68	0,23	57,38	31,20	-11,25
Sn26/N13	NK_CO13 - MSÚ	133,06	-0,16	239,21	133,06	0,16	239,21	85,22	-47,68
Sn26/N13	NK_CO1 - MSÚ	21,66	0	116,22	21,66	0,00	116,22	-1,58	-23,24
Sn28/N11	NK_CO11 - MSÚ	135,12	-0,32	242,71	135,12	0,32	242,71	86,58	-48,22
Sn28/N11	NK_CO9 - MSÚ	32,89	68,11	-37,37	32,89	68,11	0,00	32,89	68,11
Sn28/N11	NK_CO13 - MSÚ	138,44	-0,29	245,1	138,44	0,29	245,10	89,42	-48,73
Sn28/N11	NK_CO2 - MSÚ	21,19	11,64	100,9	21,19	11,64	100,90	1,01	-8,54
Sn30/N9	NK_CO13 - MSÚ2	119,25	-5,77	242,1	119,25	5,77	242,10	70,83	-42,65
Sn30/N9	NK_CO12 - MSÚ	138,89	0,21	243,17	138,89	0,21	243,17	90,26	-48,42
Sn30/N9	NK_CO7 - MSÚ	60,95	0,15	77,4	60,95	0,15	77,40	45,47	-15,33

Sn30/N9	NK_CO11 - MSÚ2	116,05	-3,68	247,72	116,05	3,68	247,72	66,51	-45,86
Sn30/N9	NK_CO9 - MSÚ	24,81	-0,42	156,34	24,81	0,42	156,34	-6,46	-30,85
Sn30/N9	NK_CO13 - MSÚ	139,64	0,21	243,4	139,64	0,21	243,40	90,96	-48,47
Sn30/N9	NK_CO1 - MSÚ	22,53	0,15	121,87	22,53	0,15	121,87	-1,84	-24,22
Sn32/N7	NK_CO13 - MSÚ	146,43	0,06	336,16	146,43	0,06	336,16	79,20	-67,17
Sn32/N7	NK_CO9 - MSÚ	22,58	-0,41	58,46	22,58	0,41	58,46	10,89	-11,28
Sn32/N7	NK_CO12 - MSÚ	161,33	0,06	526,29	161,33	0,06	526,29	56,07	-105,20
Sn32/N7	NK_CO2 - MSÚ	22,13	-0,1	117,17	22,13	0,10	117,17	-1,30	-23,33
Sn34/N5	NK_CO12 - MSÚ	137,48	0,12	240,78	137,48	0,12	240,78	89,32	-48,04
Sn34/N5	NK_CO13 - MSÚ	138,24	0,12	241,07	138,24	0,12	241,07	90,03	-48,09
Sn34/N5	NK_CO9 - MSÚ	21,68	-0,35	57,78	21,68	0,35	57,78	10,12	-11,21
Sn36/N3	NK_CO11 - MSÚ2	109,53	-0,38	282,84	109,53	0,38	282,84	52,96	-56,19
Sn36/N3	NK_CO13 - MSÚ2	112,06	-0,37	286,26	112,06	0,37	286,26	54,81	-56,88
Sn36/N3	NK_CO13 - MSÚ	132,56	54,61	178,62	132,56	54,61	178,62	96,84	18,89
Sn36/N3	NK_CO9 - MSÚ	20,95	65,21	-27,11	20,95	65,21	0,00	20,95	65,21
Sn39/N1	NK_CO13 - MSÚ2	69,85	-40,12	124,19	69,85	40,12	124,19	45,01	15,28
Sn39/N1	NK_CO7 - MSÚ	42,38	6,96	83,61	42,38	6,96	83,61	25,66	-9,76
Sn39/N1	NK_CO11 - MSÚ	88,7	4,55	250,15	88,70	4,55	250,15	38,67	-45,48
Sn39/N1	NK_CO9 - MSÚ	20,69	9,11	159,87	20,69	9,11	159,87	-11,28	-22,86
Sn39/N1	NK_CO13 - MSÚ	90,28	4,59	239,24	90,28	4,59	239,24	42,43	-43,26
Sn39/N1	NK_CO2 - MSÚ	16,09	0,09	113,66	16,09	0,09	113,66	-6,64	-22,64

Maximální smyková síla působící na smykovou zarážku v daném směru [kN]:	96,84	86,55
--	--------------	--------------

PŘÍLOHA Č. : 04

VÝBĚR ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE PRO POSUDEK
SMYKOVÉ ZARÁŽKY KLOUBOVÉ PATKY

VNITŘNÍ SLOUPY RÁMOVÉ KONSTRUKCE

Název podpory	Nelineární kombinace	Reakce v podporách			Posouvající síla v absolutní hodnotě [kN]		Tlaková normálová síla [kN]	Smyková síla přenášená smykovou zářžkou [kN]	
		Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	pro směr x-x	pro směr y-y		pro směr x-x	pro směr y-y
Sn10/N55	NK_CO8 - MSÚ	-1,99	-16,95	100,90	1,99	16,95	100,90	-18,19	-3,23
Sn20/N19	NK_CO8 - MSÚ	2,70	-13,68	117,65	2,70	13,68	117,65	-20,83	-9,85
Sn10/N55	NK_CO13 - MSÚ2	1,90	-9,84	281,09	1,90	9,84	281,09	-54,32	-46,38
Sn10/N55	NK_CO11 - MSÚ2	1,86	-9,68	281,51	1,86	9,68	281,51	-54,44	-46,62
Sn20/N19	NK_CO13 - MSÚ	3,59	-8,91	271,45	3,59	8,91	271,45	-50,70	-45,38
Sn20/N19	NK_CO13 - MSÚ2	1,67	-7,89	275,15	1,67	7,89	275,15	-53,36	-47,14
Sn18/N39	NK_CO2 - MSÚ	-2,75	-1,15	136,73	2,75	1,15	136,73	-24,60	-26,20
Sn37/N37	NK_CO2 - MSÚ	2,41	-1,15	135,95	2,41	1,15	135,95	-24,78	-26,04
Sn14/N47	NK_CO8 - MSÚ	-5,90	-0,69	77,70	5,90	0,69	77,70	-9,64	-14,85
Sn11/N53	NK_CO12 - MSÚ	0,00	-0,67	393,07	0,00	0,67	393,07	-78,61	-77,94
Sn21/N21	NK_CO12 - MSÚ	2,37	-0,67	384,40	2,37	0,67	384,40	-74,51	-76,21
Sn15/N45	NK_CO11 - MSÚ2	10,52	-0,59	1067,78	10,52	0,59	1067,78	-203,04	-212,97
Sn22/N23	NK_CO13 - MSÚ	3,38	-0,46	380,90	3,38	0,46	380,90	-72,80	-75,72
Sn12/N51	NK_CO12 - MSÚ	0,27	-0,45	389,75	0,27	0,45	389,75	-77,68	-77,50
Sn27/N25	NK_CO13 - MSÚ	4,30	-0,44	386,55	4,30	0,44	386,55	-73,01	-76,87
Sn13/N49	NK_CO12 - MSÚ	1,12	-0,43	395,54	1,12	0,43	395,54	-77,99	-78,68
Sn21/N21	NK_CO11 - MSÚ	2,46	-0,35	384,45	2,46	0,35	384,45	-74,43	-76,54
Sn31/N31	NK_CO11 - MSÚ2	-10,58	-0,30	831,11	10,58	0,30	831,11	-155,64	-165,92
Sn11/N53	NK_CO8 - MSÚ	-5,98	-0,24	75,96	5,98	0,24	75,96	-9,21	-14,95
Sn11/N53	NK_CO7 - MSÚ	0,09	-0,23	9,14	0,09	0,23	9,14	-1,74	-1,60
Sn17/N41	NK_CO13 - MSÚ2	2,90	-0,14	399,02	2,90	0,14	399,02	-76,90	-79,66
Sn12/N51	NK_CO7 - MSÚ	0,46	-0,13	6,70	0,46	0,13	6,70	-0,88	-1,21
Sn13/N49	NK_CO8 - MSÚ	-5,87	-0,13	79,22	5,87	0,13	79,22	-9,97	-15,71
Sn12/N51	NK_CO8 - MSÚ	-6,00	-0,13	73,92	6,00	0,13	73,92	-8,78	-14,65
Sn16/N43	NK_CO13 - MSÚ2	3,31	-0,11	396,00	3,31	0,11	396,00	-75,89	-79,09
Sn16/N43	NK_CO12 - MSÚ2	3,46	-0,11	396,76	3,46	0,11	396,76	-75,89	-79,24

Sn35/N35	NK_CO12 - MSÚ2	1,25	-0,09	386,52	1,25	0,09	386,52	-76,05	-77,21
Sn21/N21	NK_CO1 - MSÚ	-0,27	-0,05	154,37	0,27	0,05	154,37	-30,60	-30,82
Sn15/N45	NK_CO12 - MSÚ2	19,96	-0,05	586,52	19,96	0,05	586,52	-97,34	-117,25
Sn37/N37	NK_CO1 - MSÚ	0,07	-0,05	135,98	0,07	0,05	135,98	-27,13	-27,15
Sn22/N23	NK_CO1 - MSÚ	-0,40	-0,04	150,47	0,40	0,04	150,47	-29,69	-30,05
Sn33/N33	NK_CO1 - MSÚ	-0,48	-0,04	151,29	0,48	0,04	151,29	-29,78	-30,22
Sn35/N35	NK_CO11 - MSÚ2	0,85	0,00	387,21	0,85	0,00	387,21	-76,59	-77,44
Sn33/N33	NK_CO11 - MSÚ2	1,50	0,06	385,40	1,50	0,06	385,40	-75,58	-77,02
Sn12/N51	NK_CO13 - MSÚ2	2,24	0,07	393,36	2,24	0,07	393,36	-76,43	-78,60
Sn31/N31	NK_CO9 - MSÚ	-0,15	0,07	32,15	0,15	0,07	32,15	-6,28	-6,36
Sn29/N29	NK_CO8 - MSÚ	2,55	0,09	119,80	2,55	0,09	119,80	-21,41	-23,87
Sn11/N53	NK_CO13 - MSÚ2	1,98	0,10	396,53	1,98	0,10	396,53	-77,33	-79,21
Sn15/N45	NK_CO7 - MSÚ	0,57	0,11	7,43	0,57	0,11	7,43	-0,92	-1,38
Sn15/N45	NK_CO8 - MSÚ	-5,91	0,12	74,60	5,91	0,12	74,60	-9,01	-14,80
Sn22/N23	NK_CO11 - MSÚ2	1,18	0,12	384,85	1,18	0,12	384,85	-75,79	-76,85
Sn33/N33	NK_CO9 - MSÚ	-0,37	0,15	32,84	0,37	0,15	32,84	-6,20	-6,42
Sn29/N29	NK_CO7 - MSÚ	1,68	0,18	69,15	1,68	0,18	69,15	-12,15	-13,65
Sn29/N29	NK_CO13 - MSÚ	4,35	0,18	383,75	4,35	0,18	383,75	-72,40	-76,57
Sn21/N21	NK_CO11 - MSÚ2	0,41	0,18	388,21	0,41	0,18	388,21	-77,23	-77,46
Sn14/N47	NK_CO7 - MSÚ	0,51	0,18	23,11	0,51	0,18	23,11	-4,11	-4,44
Sn14/N47	NK_CO12 - MSÚ2	3,33	0,19	404,28	3,33	0,19	404,28	-77,53	-80,67
Sn16/N43	NK_CO7 - MSÚ	0,46	0,19	7,30	0,46	0,19	7,30	-1,00	-1,27
Sn16/N43	NK_CO8 - MSÚ	-5,99	0,20	74,56	5,99	0,20	74,56	-8,92	-14,71
Sn31/N31	NK_CO12 - MSÚ	14,79	0,22	760,69	14,79	0,22	760,69	-137,35	-151,92
Sn35/N35	NK_CO9 - MSÚ	-1,10	0,23	31,92	1,10	0,23	31,92	-5,28	-6,15
Sn29/N29	NK_CO11 - MSÚ2	1,73	0,26	404,57	1,73	0,26	404,57	-79,18	-80,65
Sn17/N41	NK_CO7 - MSÚ	0,30	0,29	9,74	0,30	0,29	9,74	-1,65	-1,66
Sn27/N25	NK_CO12 - MSÚ2	2,23	0,31	389,50	2,23	0,31	389,50	-75,67	-77,59
Sn17/N41	NK_CO8 - MSÚ	-5,82	0,31	76,91	5,82	0,31	76,91	-9,56	-15,07
Sn22/N23	NK_CO9 - MSÚ	-0,17	0,35	31,81	0,17	0,35	31,81	-6,19	-6,01
Sn14/N47	NK_CO11 - MSÚ2	2,66	0,36	424,24	2,66	0,36	424,24	-82,19	-84,49

Sn21/N21	NK_CO9 - MSÚ	0,70	0,46	34,29	0,70	0,46	34,29	-6,16	-6,40
Sn33/N33	NK_CO13 - MSÚ	4,19	0,50	380,48	4,19	0,50	380,48	-71,91	-75,60
Sn22/N23	NK_CO2 - MSÚ	-0,38	0,51	150,44	0,38	0,51	150,44	-29,71	-29,58
Sn21/N21	NK_CO2 - MSÚ	-0,15	0,51	152,76	0,15	0,51	152,76	-30,40	-30,04
Sn11/N53	NK_CO1 - MSÚ	-0,09	0,53	151,91	0,09	0,53	151,91	-30,29	-29,85
Sn12/N51	NK_CO1 - MSÚ	-0,17	0,53	150,60	0,17	0,53	150,60	-29,95	-29,59
Sn13/N49	NK_CO12 - MSÚ2	3,04	0,55	397,93	3,04	0,55	397,93	-76,55	-79,04
Sn35/N35	NK_CO13 - MSÚ	3,26	0,70	382,80	3,26	0,70	382,80	-73,30	-75,86
Sn29/N29	NK_CO2 - MSÚ	-0,32	0,71	229,74	0,32	0,71	229,74	-45,63	-45,24
Sn13/N49	NK_CO13 - MSÚ2	3,08	0,72	397,72	3,08	0,72	397,72	-76,46	-78,82
Sn14/N47	NK_CO1 - MSÚ	-0,25	0,72	225,23	0,25	0,72	225,23	-44,80	-44,33
Sn15/N45	NK_CO2 - MSÚ	-0,11	0,83	151,27	0,11	0,83	151,27	-30,14	-29,42
Sn31/N31	NK_CO2 - MSÚ	-0,43	0,83	151,09	0,43	0,83	151,09	-29,79	-29,39
Sn16/N43	NK_CO2 - MSÚ	0,00	1,09	151,64	0,00	1,09	151,64	-30,33	-29,24
Sn33/N33	NK_CO2 - MSÚ	-0,54	1,09	151,44	0,54	1,09	151,44	-29,75	-29,20
Sn35/N35	NK_CO2 - MSÚ	-2,77	1,46	152,80	2,77	1,46	152,80	-27,79	-29,10
Sn17/N41	NK_CO2 - MSÚ	2,24	1,46	152,99	2,24	1,46	152,99	-28,36	-29,14
Sn37/N37	NK_CO11 - MSÚ2	2,56	7,99	273,26	2,56	7,99	273,26	-52,09	-46,66
Sn37/N37	NK_CO13 - MSÚ	4,75	8,95	269,45	4,75	8,95	269,45	-49,14	-44,94
Sn18/N39	NK_CO13 - MSÚ2	2,74	9,81	282,22	2,74	9,81	282,22	-53,70	-46,63
Sn18/N39	NK_CO7 - MSÚ	1,57	17,01	66,22	1,57	17,01	66,22	-11,67	3,77
Sn37/N37	NK_CO9 - MSÚ	0,57	18,62	81,06	0,57	18,62	81,06	-15,64	2,41
Sn18/N39	NK_CO9 - MSÚ	-1,14	18,62	78,91	1,14	18,62	78,91	-14,64	2,84
Sn20/N19	NK_CO9 - MSÚ	-0,92	21,80	30,05	0,92	21,80	30,05	-5,09	15,79
Sn10/N55	NK_CO9 - MSÚ	0,95	21,80	30,11	0,95	21,80	30,11	-5,07	15,78
Sn13/N49	NK_CO9 - MSÚ	1,74	171,80	-174,60	1,74	171,80	0,00	1,74	171,80
Sn27/N25	NK_CO9 - MSÚ	-0,73	172,13	-175,16	0,73	172,13	0,00	0,73	172,13

Maximální smyková síla působící na smykovou zarážku v daném směru:	1,74	172,13
---	-------------	---------------

ŠTÍTOVÉ SLOUPY

Název podpory	Nelineární kombinace	Reakce v podporách			Posouvající síla v absolutní hodnotě [kN]		Tlaková normálová síla [kN]	Smyková síla přenášená smykovou zarážkou [kN]	
		Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	pro směr x-x	pro směr y-y		pro směr x-x	pro směr y-y
		Sn41/N643	NK_CO1 - MSÚ	-0,04	0,04	33,33		0,04	0,04
Sn41/N643	NK_CO9 - MSÚ	-0,04	38,02	33,33	0,04	38,02	33,33	-6,63	31,35
Sn41/N643	NK_CO8 - MSÚ	-0,04	27,84	33,33	0,04	27,84	33,33	-6,63	21,17
Sn41/N643	NK_CO12 - MSÚ	-0,06	16,74	45,00	0,06	16,74	45,00	-8,94	7,74
Sn42/N645	NK_CO1 - MSÚ	-0,04	0,04	33,33	0,04	0,04	33,33	-6,63	-6,63
Sn42/N645	NK_CO9 - MSÚ	-0,04	38,02	33,33	0,04	38,02	33,33	-6,63	31,35
Sn42/N645	NK_CO8 - MSÚ	-0,04	27,84	33,33	0,04	27,84	33,33	-6,63	21,17
Sn42/N645	NK_CO12 - MSÚ	-0,06	16,74	45,00	0,06	16,74	45,00	-8,94	7,74
Sn43/N653	NK_CO2 - MSÚ	-0,04	0,05	33,33	0,04	0,05	33,33	-6,63	-6,62
Sn43/N653	NK_CO7 - MSÚ	-0,04	44,16	33,33	0,04	44,16	33,33	-6,63	37,49
Sn43/N653	NK_CO12 - MSÚ	-0,06	26,53	45,00	0,06	26,53	45,00	-8,94	17,53
Sn44/N655	NK_CO2 - MSÚ	-0,04	0,05	33,33	0,04	0,05	33,33	-6,63	-6,62
Sn44/N655	NK_CO7 - MSÚ	-0,04	44,16	33,33	0,04	44,16	33,33	-6,63	37,49
Sn44/N655	NK_CO12 - MSÚ	-0,06	26,53	45,00	0,06	26,53	45,00	-8,94	17,53
Sn45/N649	NK_CO1 - MSÚ	-0,04	0,05	33,33	0,04	0,05	33,33	-6,63	-6,62
Sn45/N649	NK_CO9 - MSÚ	-0,04	38,02	33,33	0,04	38,02	33,33	-6,63	31,35
Sn45/N649	NK_CO8 - MSÚ	-0,04	27,84	33,33	0,04	27,84	33,33	-6,63	21,17
Sn45/N649	NK_CO12 - MSÚ	-0,06	16,74	45,00	0,06	16,74	45,00	-8,94	7,74
Sn46/N651	NK_CO1 - MSÚ	-0,04	0,05	33,33	0,04	0,05	33,33	-6,63	-6,62
Sn46/N651	NK_CO9 - MSÚ	-0,04	38,02	33,33	0,04	38,02	33,33	-6,63	31,35
Sn46/N651	NK_CO8 - MSÚ	-0,04	27,84	33,33	0,04	27,84	33,33	-6,63	21,17
Sn46/N651	NK_CO12 - MSÚ	-0,06	16,74	45,00	0,06	16,74	45,00	-8,94	7,74
Sn47/N665	NK_CO9 - MSÚ	-0,04	44,12	33,33	0,04	44,12	33,33	-6,63	37,45
Sn47/N665	NK_CO12 - MSÚ	-0,06	-16,74	45,00	0,06	16,74	45,00	-8,94	7,74
Sn47/N665	NK_CO8 - MSÚ	-0,04	-27,84	33,33	0,04	27,84	33,33	-6,63	21,17

Sn48/N667	NK_CO9 - MSÚ	-0,04	44,11	33,33	0,04	44,11	33,33	-6,63	37,44
Sn48/N667	NK_CO12 - MSÚ	-0,06	-16,74	45,00	0,06	16,74	45,00	-8,94	7,74
Sn48/N667	NK_CO8 - MSÚ	-0,04	-27,84	33,33	0,04	27,84	33,33	-6,63	21,17
Sn49/N661	NK_CO9 - MSÚ	-0,04	44,12	33,33	0,04	44,12	33,33	-6,63	37,45
Sn49/N661	NK_CO12 - MSÚ	-0,06	-16,74	45,00	0,06	16,74	45,00	-8,94	7,74
Sn49/N661	NK_CO8 - MSÚ	-0,04	-27,84	33,33	0,04	27,84	33,33	-6,63	21,17
Sn50/N663	NK_CO9 - MSÚ	-0,04	44,12	33,33	0,04	44,12	33,33	-6,63	37,45
Sn50/N663	NK_CO12 - MSÚ	-0,06	-16,74	45,00	0,06	16,74	45,00	-8,94	7,74
Sn50/N663	NK_CO8 - MSÚ	-0,04	-27,84	33,33	0,04	27,84	33,33	-6,63	21,17
Sn51/N657	NK_CO9 - MSÚ	-0,06	44,11	38,95	0,06	44,11	38,95	-7,73	36,32
Sn51/N657	NK_CO12 - MSÚ	-0,08	-26,53	52,59	0,08	26,53	52,59	-10,44	16,01
Sn51/N657	NK_CO8 - MSÚ	-0,06	-44,16	38,95	0,06	44,16	38,95	-7,73	36,37
Sn52/N659	NK_CO9 - MSÚ	-0,04	44,12	33,33	0,04	44,12	33,33	-6,63	37,45
Sn52/N659	NK_CO12 - MSÚ	-0,06	-26,54	45,00	0,06	26,54	45,00	-8,94	17,54
Sn52/N659	NK_CO8 - MSÚ	-0,04	-44,16	33,33	0,04	44,16	33,33	-6,63	37,49

Maximální smyková síla působící na smykovou zarážku v daném směru:	-6,63	37,49
---	--------------	--------------