ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTEMENT OF STEEL AND TIMBER STRUCTURES

ČTYŘLODNÍ PRŮMYSLOVÁ HALA S MOSTOVÝMI JEŘÁBY

FOUR-BAY INDUSTRIAL HALL WITH OVERHEAD CRANES

STATICKÝ VÝPOČET

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER THESIS

AUTOR PRÁCE MARTIN KOLDA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. MICHAL JANDERA, Ph.D.
SUPERVISOR

PRAHA 2017

STATICKÝ VÝPOČET – OBSAH

1. Úvod ..... - 1 -

2. Zatížení nosníku jeřábové dráhy..... - 2 -

3. Výpočet vnitřních sil a deformací..... - 10 -

4.Návrh jeřábového nosníku (část a) ..... - 15 -

5.Návrh jeřábového nosníku (část b) ..... - 22 -

6. Zatížení..... - 29 -

7.Návrh střešního trapézového plechu..... - 57 -

8.Návrh opláštění stěn..... - 59-

9.Kombinace..... - 60 -

10.Volba konstrukčního systému..... - 64 -

11.Návrh sloupu..... - 68 -

12.Návrh příčle..... - 75 -

13.Návrh táhla ..... - 80-

14.Návrh mezilehlého štítového sloupku..... - 81-

15.Návrh konzoly jeřábové dráhy..... - 83-

16.Návrh stěnového ztužidla..... ..... - 85 -

17.Návrh střešního ztužidla..... - 87 -

18.Přípoj příčlí ve vrcholu rámu ..... - 91-

19.Rámový roh..... - 99-

20.Přípoj táhla..... - 109 -

21.Přípoj konzoly jeřábové dráhy..... - 111 -

22.Přípoj ztužidla..... - 115 -

23.Vetknutá patka..... - 117-

24.Smyková zarážka patky..... - 123-

Výstup z programu LTBeam pro výpočet kritického momentu jeřábové dráhy..... - 126-

Výstup z programu LTBeamN pro výpočet kritického momentu příčle..... ..... – 129-

1. Úvod

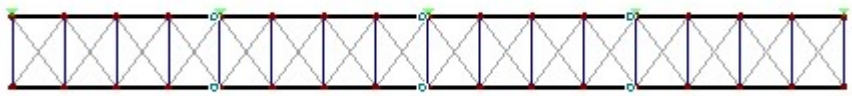
Statická analýza byla provedena v programu Dlubal RSTAB 8. Byly vytvořeny 3 rovinné modely konstrukce (příčná vazba, střešní ztužidla, podélná vazba), ve kterých byly následně vypočítány vnitřní síly nelineární analýzou dle II. řádu.

V první části práce je navržen nosník mostového jeřábu dle norem ČSN EN 1993-3 a ČSN EN 1993-6. V druhé části práce je navržena samotná konstrukce haly. Účinky zatížení jsou stanoveny dle ČSN EN 1991-1. Návrh nosných prvků byl proveden ručním výpočtem dle ČSN EN 1993-1. Vybrané styčníky byly posouzeny dle normy ČSN EN 1993-8. Vybrané prvky byly posouzeny i na únavu dle ČSN EN 1993-1-9. Kroucení sloupu bylo spočítáno podle publikace *A. Hughes, D.Iles, A. Malik - Design of steel beams in torsion, 2011*.

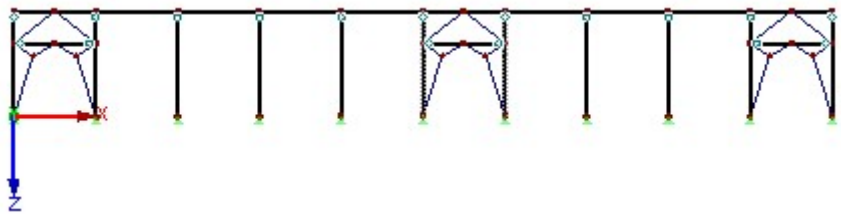
V závěru práce jsou přiloženy výstupy z programu LTBeam, kterým byly vypočteny kritické momenty pro posudek klopení nosníku jeřábové dráhy a příčle rámu.

1.1 Výpočetní model konstrukce

Model 1 - Příčná vazba



Model 2 – Střešní ztužidla



Model 3 – Podélná vazba

1.2 Geometrie konstrukce

Rozpětí rámů	R=22,5m
Délka haly v příčném směru	A=90m
Délka haly v podélném směru	B=75m
Výška konstrukce	H=11m
Osová vzdálenost příčné vazby	L=7.5m
Úhel střešní roviny	α=6°

Materiál: Ocel S355, tyče střešního ztužidla S235, kotevní šrouby S460
Šrouby 8.8, v rámovém rohu 10.9

2. Zatížení nosníku jeřábové dráhy

Rozpětí jeřábu	$L := 21m$
Rozvor jeřábu	$a := 4m$
Nosnost jeřábu	10t
Kategorie zatížení	S3

Hodnoty dané výrobcem

Rozpětí jeřábu	$L := 21m$	
Hmotnost kočky	$Q_t := 12kN$	
Celková hmotnost jeřábu s kočkou	$Q_c := 130kN$	
Hmotnost břemena	$Q_h := 100kN$	
Dojezdová vzdálenost kočky	$T_1 := 850mm$	$T_2 := 1000mm$
Počet dvojic kol	$n := 2$	

2.1 Zatížení

2.1.1 Stálá zatížení

Tíha kolejnice jeřábové dráhy $0.8\frac{kN}{m}$

Vlastní tíha nosníku jeřábové dráhy - určí software

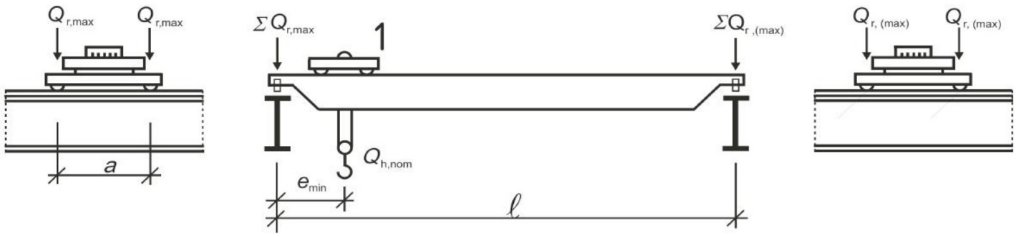
2.2.2 Proměnná zatížení

Svislé zatížení na jedno kolo

a) Vlastní tíha jeřábu

$$Q_{c.r.max} := \frac{1}{n}\cdot\left[\frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t\cdot(L - T_1)}{L}\right] = 35.26\cdot kN$$

$$Q_{c.r.min} := \frac{1}{n}\cdot\left(\frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t\cdot T_1}{L}\right) = 29.74\cdot kN$$



a) Uspořádání zatíženého jeřábu při maximálním zatížení nosníku jeřábové dráhy

b) Zatížení od kladkostroje + břemeno

$$Q_{h.r.max} := \frac{1}{n} \cdot \frac{Q_h \cdot (L - T_1)}{L} = 47.98 \cdot kN$$

$$Q_{h.r.min} := \frac{1}{n} \cdot \frac{Q_h \cdot T_1}{L} = 2.02 \cdot kN$$

<u>Vodorovné zatížení</u>

a) Vodorovné síly v podélném směru od zrychlení jeřábu

Minimální svislá síla na jedno kolo od nezatíženého jeřábu $Q_{c.r.min} = 29.74 \cdot kN$

Součinitel tření pro ocel-ocel $\mu := 0.2$

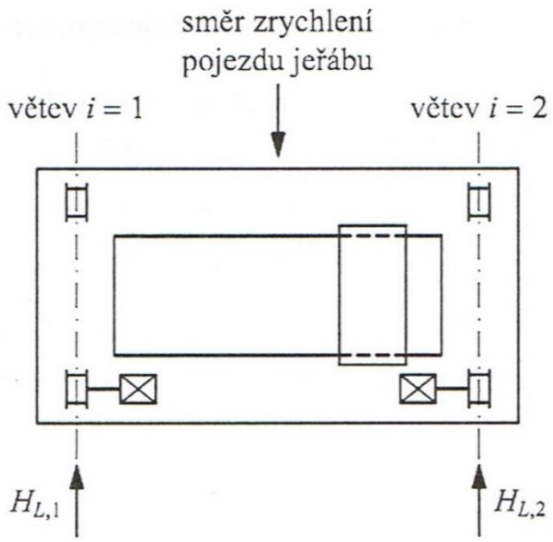
Počet hnacích kol $m_w := 2$

Hnací síla $K := \mu \cdot m_w \cdot Q_{c.r.min} = 11.9 \cdot kN$

Počet nosníků jeřáb. dráhy $n_r := 2$

Podélné síly: $H_{L.1} := \frac{K}{n_r} = 5.95 \cdot kN$

$H_{L.2} := H_{L.1} = 5.95 \cdot kN$



b) Vodorovné síly v příčném směru od zrychlení jeřábu

Podíl vzdálenosti těžiště jeřábu od osy jeřábové kolejnice

$$\xi_1 := \frac{2 \cdot (Q_{c.r.max} + Q_{h.r.max})}{Q_c + Q_h} = 0.72 \qquad \xi_2 := 1 - \xi_1 = 0.28$$

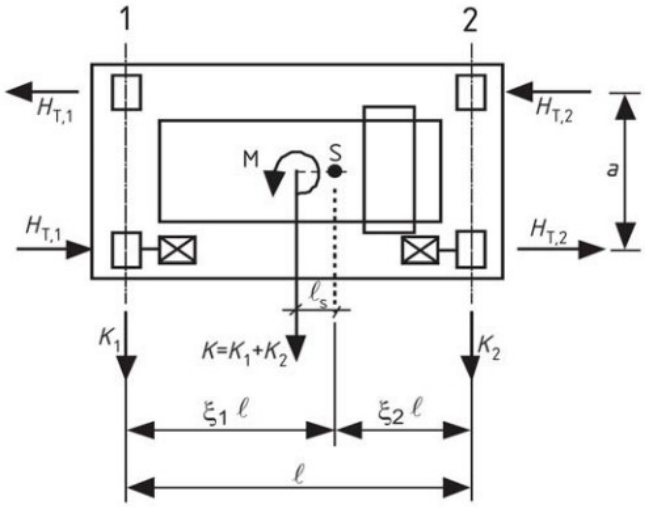
Vychýlení těžiště jeřábu od poloviny jeho rozpětí $ls := (\xi_1 - 0.5)\cdot L = 4.7\,m$

Moment vznikající působením hnací síly $M := K\cdot ls = 55.91\cdot kN\cdot m$

Rozvor kol příčníku $a = 4\,m$

Příčné síly: $H_{T.1} := \xi_2\cdot\frac{M}{a} = 3.86\cdot kN$

$H_{T.2} := \xi_1\cdot\frac{M}{a} = 10.12\cdot kN$



c) Zatížení od příčení jeřábu

$$H_{S,i,j,k} = f\,\lambda_{S,i,j,k}\sum Q_r$$

f - součinitel reakcí od příčení
λ.S.i.j.k - součinitele síly (od kola)
Q.r - součinitel svislých zatížení od kol $Q_r := Q_c + Q_h = 230\cdot kN$
index j - dvojice kol
index k - směr síly (L=podélná, T=příčná)

úhel příčení (konzervativně volím): $\alpha := 0.015rad$

Součinitel příčení $f := 0.3\cdot\left(1 - e^{-250\cdot\alpha}\right) = 0.29$ $0.293 \le 0.3$ Vyhovuje

<u>Kombinace kol IFF, vedení pomocí nákolků</u>

Počet spojených dvojic kol (m=0 pro nezávislé dvojice kol) $M := 0$

Vzdálenost dvojice kol od příslušných vodících prostředků kde *a* je rozvor kol

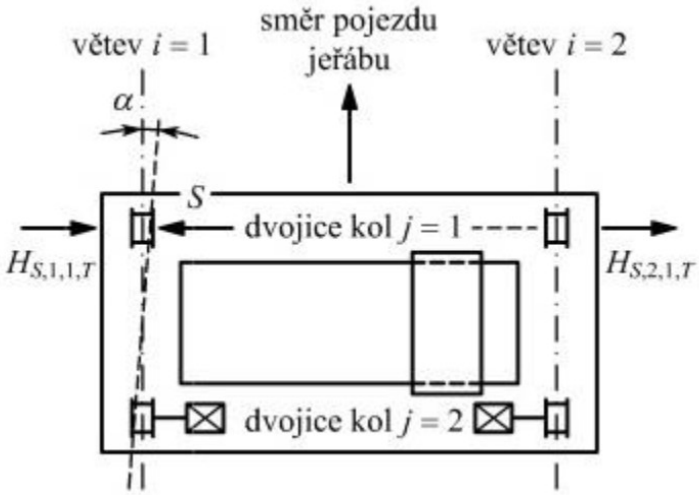
dvojice j=1 $e_1 := 0m$

dvojice j=2 $e_2 := a = 4\,m$

Vzdálenost mezi okamžitým středem otáčení a vodícími prostředky

$$h := \frac{\left(M \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot L^2 + e_2^{\,2}\right)}{e_2} = 4\,m$$

Počet dvojic kol $n := 2$



Součinitel sil λ

$\lambda_{s11L} := 0$ $\lambda_{s12L} := 0$

$\lambda_{s21L} := 0$ $\lambda_{s22L} := 0$

$$\lambda_s := 1 - \frac{1}{n} = 0.5$$

$$\lambda_{s11T} := \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = 0.14$$

$$\lambda_{s12T} := \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = 0$$

$$\lambda_{s21T} := \frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = 0.36$$

$$\lambda_{s22T} := \frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = 0$$

Výpočet sil

$$H_{s11L} := f \cdot \lambda_{s11L} \cdot \left(Q_r\right) = 0 \cdot kN$$

$$H_{s21L} := f \cdot \lambda_{s22L} \cdot \left(Q_r\right) = 0 \cdot kN$$

$H_{s11T} := f \cdot \lambda_{s11T} \cdot (Q_r) = 9.31 \cdot kN$

$H_{s21T} := f \cdot \lambda_{s21T} \cdot (Q_r) = 24.38 \cdot kN$

$S := f \cdot \lambda_s \cdot Q_r = 33.69 \cdot kN$

d) Zatížení od kočky (zrychlední/brždění)

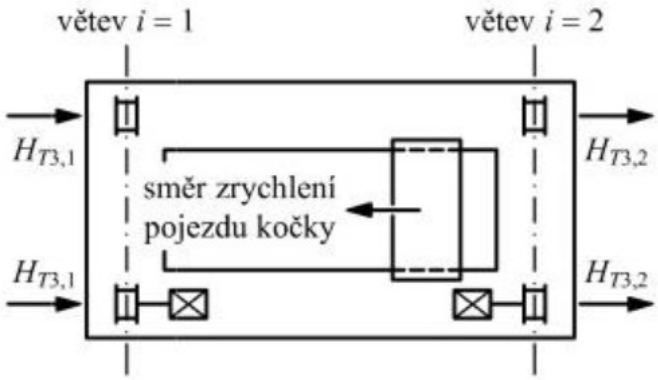
10% zatížení od kladkostroje
hmotnost kočky + břemeno

$H_{T3} := 0.1(Q_t + Q_h) = 11.2 \cdot kN$

Síla na jednotlivá kola

$$H_{T31} := \frac{(H_{T3})}{2} \cdot \left(\frac{L - T_1}{L}\right) = 5.37 \cdot kN$$

$$H_{T32} := \frac{(H_{T3})}{2} \cdot \frac{T_1}{L} = 0.23 \cdot kN$$



<u>Dynamické součinitele pro MSÚ 1,5 a 6</u>

a) Dynamický součinitel φ1, za předpokladu že je dosaženo horní hladiny rázového zatížení

$\varphi_1 := 1.1$

b) Dynamický součinitel φ2 se určí ze vztahu

pro HC3 je $\beta_2 := 0.51$ $\varphi_{2min} := 1.15$

Rychlost zdvihu $v_h := 0.17 \frac{m}{s}$

$\varphi_2 := \varphi_{2min} + \beta_2 \cdot 0.17 = 1.24$

c) Dynamický součinitel φ4, za předpokladu že jsou dodrženy tolerance kolejnicové dráhy

$\varphi_4 := 1.0$

d) Dynamický součinitel φ5, za předpokladu že se hnací síly mění pozvolna

$\varphi_5 := 1.5$

Zatížení	Značka	Skupina zatížení				
		Mezní stav únosnosti				
		1	3	4	5	6
Vlastní tíha jeřábu	Q_C	φ_1	1	φ_4	φ_4	φ_4
Zatížení kladkostroje	Q_H	φ_2	–	φ_4	φ_4	φ_4
Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_T	φ_5	φ_5	φ_5	–	–
Příčení mostu jeřábu	H_S, S	–	–	–	1	–
Zrychlení kočky	H_{T3}	–	–	–	–	1
Síly na nárazník	H_B	–	–	–	–	–

2.2.3 Únavové zatížení

Dynamický součinitel ekvivalentního poškození

$$\varphi_{fat.1} := \frac{1 + \varphi_1}{2} = 1.05$$

$$\varphi_{fat.2} := \frac{1 + \varphi_2}{2} = 1.12$$

Součinitel ekvivalentního poškození λ pro kategorii únavových účinků S3

pro normálové napětí $\lambda_\sigma := 0.397$

pro smykové napětí $\lambda_\tau := 0.575$

Zatížení jedním kolem od tíhy jeřábu $Q_{c.r.max} = 35.26 \cdot kN$

Zatížení jedním kolem od tíhy kladkostroje $Q_{h.r.max} = 47.98 \cdot kN$

Ekvivalentní zatížení pro poškození únavou

pro normálové napětí $Q_{e.\sigma} := \varphi_{fat.1} \cdot \lambda_\sigma \cdot Q_{c.r.max} + \varphi_{fat.2} \cdot \lambda_\sigma \cdot Q_{h.r.max} = 36 \cdot kN$

pro smykové napětí $Q_{e.\tau} := \varphi_{fat.1} \cdot \lambda_\tau \cdot Q_{c.r.max} + \varphi_{fat.2} \cdot \lambda_\tau \cdot Q_{h.r.max} = 52.14 \cdot kN$

Pro posouzení na lokální účinky se počet cyklů bere jako dvojnásobný tj. S4

pro normálové napětí $\lambda_{\sigma.loc} := 0.500$

pro smykové napětí $\lambda_{\tau.loc} := 0.660$

Ekvivalentní zatížení pro poškození únavou (lokální)

pro normálové napětí $Q_{e.\sigma.loc} := \varphi_{fat.1} \cdot \lambda_{\sigma.loc} \cdot Q_{c.r.max} + \varphi_{fat.2} \cdot \lambda_{\sigma.loc} \cdot Q_{h.r.max} = 45.34 \cdot kN$

pro smykové napětí $Q_{e.\tau.loc} := \varphi_{fat.1} \cdot \lambda_{\tau.loc} \cdot Q_{c.r.max} + \varphi_{fat.2} \cdot \lambda_{\tau.loc} \cdot Q_{h.r.max} = 59.84 \cdot kN$

2.2.4 Mimořádné zatížení

Síly na nárazníky

Rychlost pojezdu jeřábu $v_c := 2m \cdot s^{-1}$

Hmotnost jeřábu a břemene v kg $m_c := \frac{(Q_c + Q_h)}{10m \cdot s^{-2}} = 23000 \cdot kg$

Konstanta tuhosti pružinového nárazníku $S_B := 1005N \cdot m^{-1}$

(Průměr drátu 5mm, 15 závitů, vnejší průměr 80mm, volná délka 200mm - dle ekonstrukter.cz)

Dynamický faktor $\varphi_7 := 1.25$

Síla na nárazníky $H_B := \varphi_7 \cdot 0.7 \cdot v_c \cdot \sqrt{m_c \cdot S_B} = 8.41 \cdot kN$

Síla na jeden nárazník $H_{B1} := \frac{H_B}{2} = 4.21 \cdot kN$

Síla je menší než podélná síla od zrychlení jeřábu
a tak se návrh na mimořádné zatížení neuvažuje.

2.2.5 Testovací zatížení

Mají se uvažovat dva stavy

a) Dynamický zátěžový test

Jeřáb se pohybuje se 110% váhou břemena s dynamickým součinitelem φ_6

$\varphi_6 := 0.5 \cdot (1.0 + \varphi_2) = 1.12$

Jeřáb je posouzen pro 1. skupinu MSÚ se součiniteli φ_2 a φ_5 které jsou větší než 1,1x násobek φ_6. Není tedy třeba dělat posudek na dynamický zátěžový test.

$1.1 \cdot \varphi_6 = 1.23 \quad . \leq . \quad \varphi_2 = 1.24$

$\varphi_5 = 1.5$

b) Statický zátěžový test

Jeřáb se nepohybuje se 125% váhou břemena s dynamický součinitelem $\varphi_6 := 1.0$

Jeřáb je posouzen pro 1. skupinu MSÚ se součinitelem φ_2 který je skoro stejný jako 1,25x násobek φ_6. Není tedy třeba dělat posudek na statický zátěžový test.

$1.25 \cdot \varphi_6 = 1.25 \qquad \varphi_2 = 1.24$

Rekapitulace zatížení

Svislé

Vlastní tíha jeřábu

$Q_{c.r.max} = 35.26 \cdot kN$

$Q_{c.r.min} = 29.74 \cdot kN$

Kladkostroj + břemeno

$Q_{h.r.max} = 47.98 \cdot kN$

$Q_{h.r.min} = 2.02 \cdot kN$

Vodorovné

Zrychlení jeřábu

$H_{L.1} = 5.95 \cdot kN$

$H_{L.2} = 5.95 \cdot kN$

$H_{T.1} = 3.86 \cdot kN$

$H_{T.2} = 10.12 \cdot kN$

Příčení

$H_{s11T} = 9.31 \cdot kN$

$H_{s21T} = 24.38 \cdot kN$

Rozjezd kočky

$H_{T31} = 5.37 \cdot kN$

$H_{T32} = 0.23 \cdot kN$

Skupiny zatížení

(Jedná se o charekteristické hodnoty)

MSÚ 1

$Q_{r.max.1} := \varphi_1 \cdot Q_{c.r.max} + \varphi_2 \cdot Q_{h.r.max} = 98.1 \cdot kN$

$Q_{r.min.1} := \varphi_1 \cdot Q_{c.r.min} + \varphi_2 \cdot Q_{h.r.min} = 35.2 \cdot kN$

$H_L := \varphi_5 \cdot H_{L.2} = 8.92 \cdot kN$

$H_{T1} := \varphi_5 \cdot H_{T.1} = 5.8 \cdot kN$

$H_{T2} := \varphi_5 \cdot H_{T.2} = 15.2 \cdot kN$

MSÚ 5

$Q_{r.max.5} := \varphi_4 \cdot Q_{c.r.max} + \varphi_4 \cdot Q_{h.r.max} = 83.2 \cdot kN$

$Q_{r.min.5} := \varphi_4 \cdot Q_{c.r.min} + \varphi_4 \cdot Q_{h.r.min} = 31.8 \cdot kN$

$H_{s2} := 1.0 \cdot H_{s21T} = 24.38 \cdot kN$

$H_{S1} := 1.0 \cdot H_{s11T} = 9.31 \cdot kN$

MSÚ 6

$Q_{r.max} := \varphi_4 \cdot Q_{c.r.max} + \varphi_4 \cdot Q_{h.r.max} = 83.2 \cdot kN$

$H_T := 1.0 \cdot H_{T31} = 5.37 \cdot kN$

3. Výpočet vnitřních sil a deformací

Kombinace pro MSÚ = 1,35*stálé + 1,35*proměnné

Kombinace pro MSP = 1,0*stálé + 1,0*proměnné

Rozpětí nosníku jeřábové dráhy $L := 7.5m$

Rozvor kol jerábu $a := 4m$

Výpočet excentricity normálového zatížení (jen pro skupinu 1)

Výška nosniku HEA 400 $h := 390mm$

Šířka hlavy kolejnice $b_{hr} := 55mm$

Výška kolejnice $h_R := 85mm$

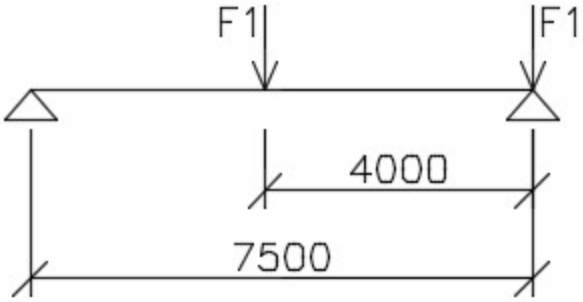
Excentricita zatížení ve směru y $e_y := 0.25 \cdot b_{hr} = 13.75 \cdot mm$

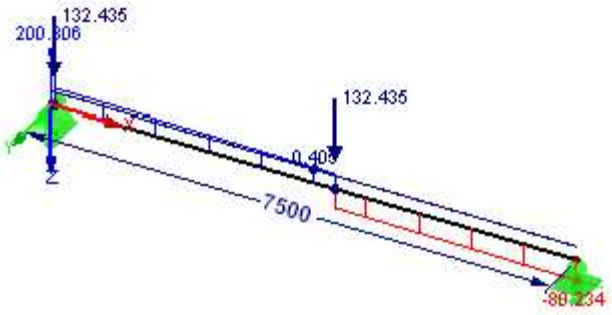
Excentricita zatížení ve směru y $e_z := \frac{h}{2} + h_R = 280 \cdot mm$

3.1 MSÚ

3.1.1 Maximální posouvající síla a reakce

Postačí spočítat pro skupinu MSÚ 1, která vyvozuje maximální kolový tlak Q.r.max



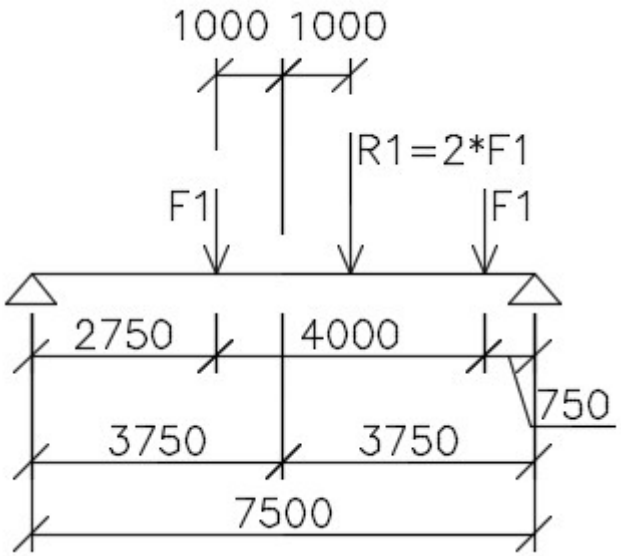


Návrhová posouvající síla $V_{1.z.max.Ed} := 200.3kN$

$V_{1.y.max.Ed} := 11kN$

3.1.2 Maximální moment My

Soustava sil se umístí tak, aby střed nosníku půlil vzdálenost mezi břemenem aritmeticky středním (F1) a výslednící soustavy sil (R1)



1. Skupina MSÚ (Zrychlení)

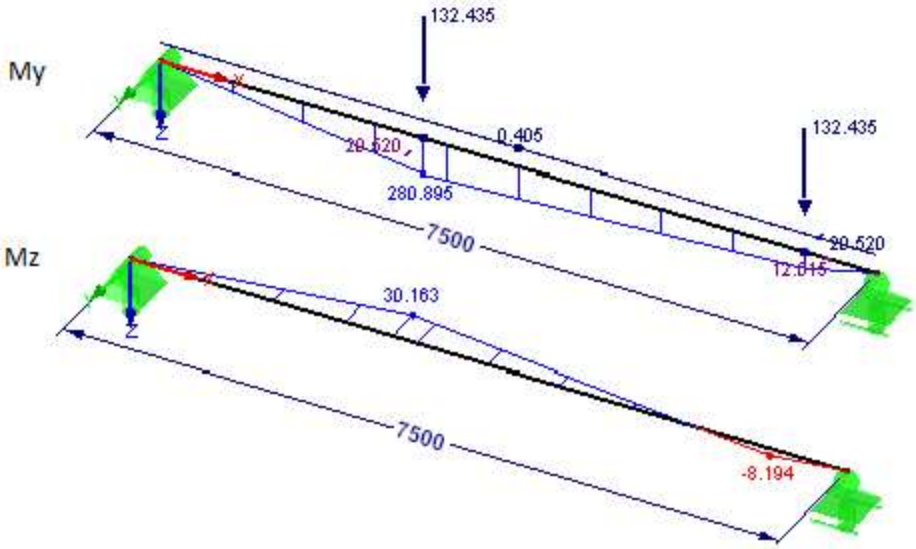
$N_{1.Ed} := 12.1kN$

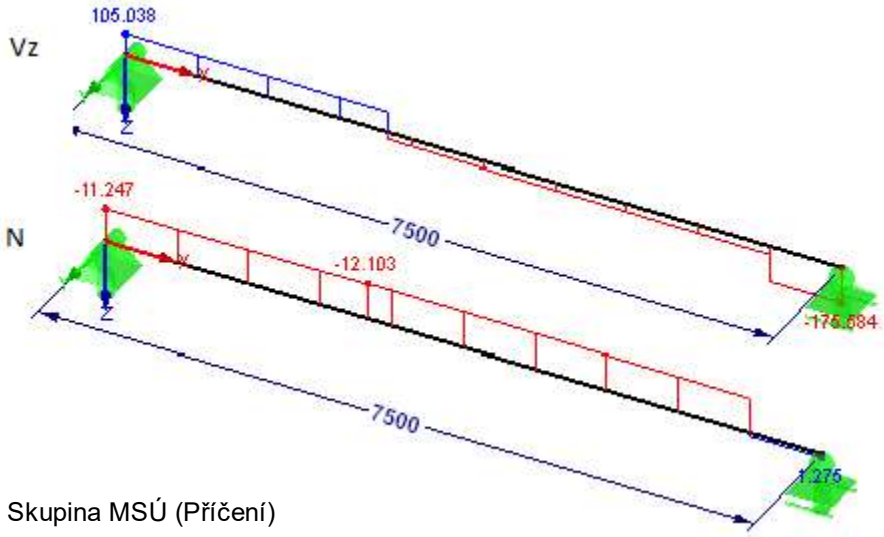
$M_{1.y.Ed} := 280.9kN \cdot m + N_{1.Ed} \cdot e_z = 284.3 \cdot kN \cdot m$

$M_{1.z.Ed} := 30.2kN \cdot m + N_{1.Ed} \cdot e_y = 30.4 \cdot kN \cdot m$

$V_{1.z.Ed} := 105kN$

$V_{1.y.Ed} := 11kN$





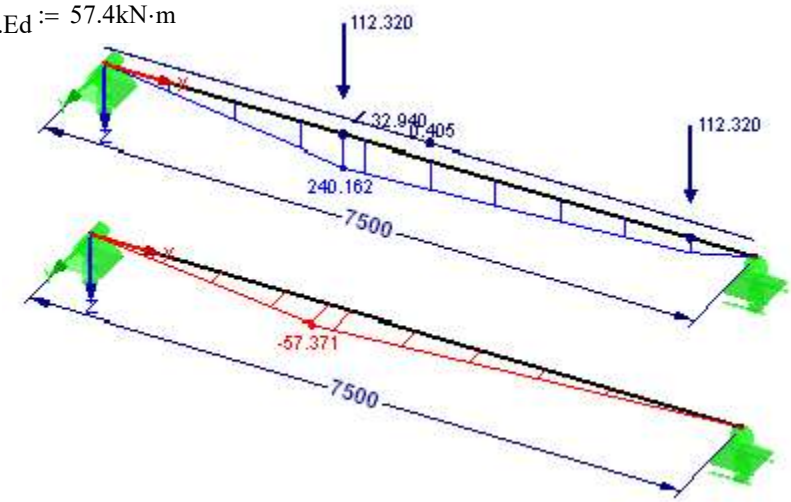
5. Skupina MSÚ (Příčení)

$M_{5.y.Ed} := 240kN \cdot m$

$M_{5.z.Ed} := 57.4kN \cdot m$

M_y

M_z



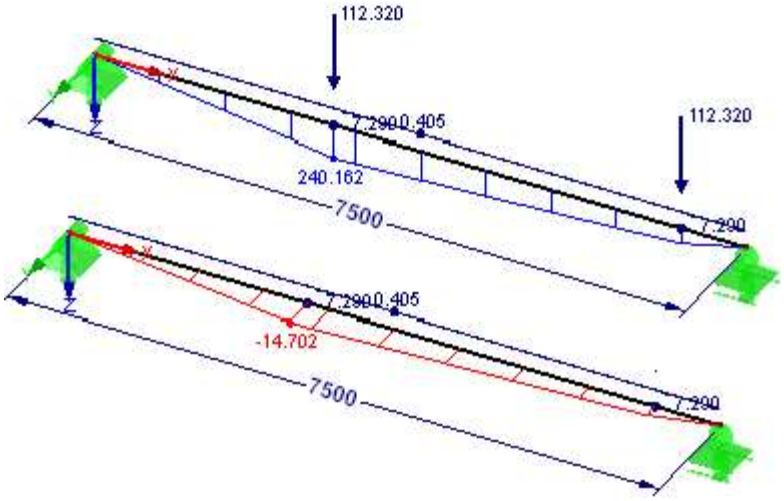
6. Skupina MSÚ(Rozjezd kočky)

$M_{6.y.Ed} := 240kN \cdot m$

$M_{6.z.Ed} := 14.7kN \cdot m$

M_y

M_z



3.1.3 Maximální moment Mz

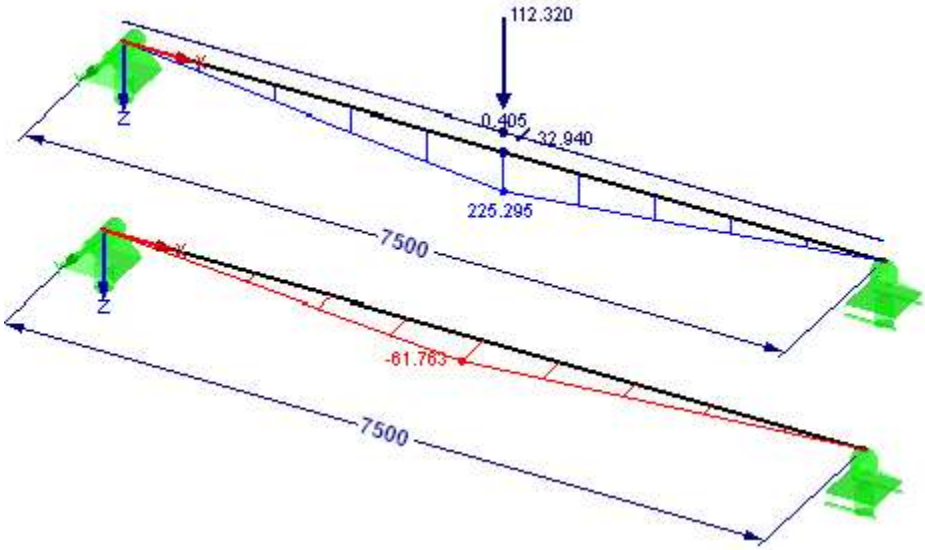
Uvažuje se jen pro 5. skupinu MSÚ, protože zde jsou vodorovné síly největší, pro maximální moment Mz zde působí síla v polovině rozpětí nosníku.

$M_{5.y.Ed.2} := 225.3kN \cdot m$

$M_{5.z.Ed.2} := 61.8kN \cdot m$

M_y

M_z

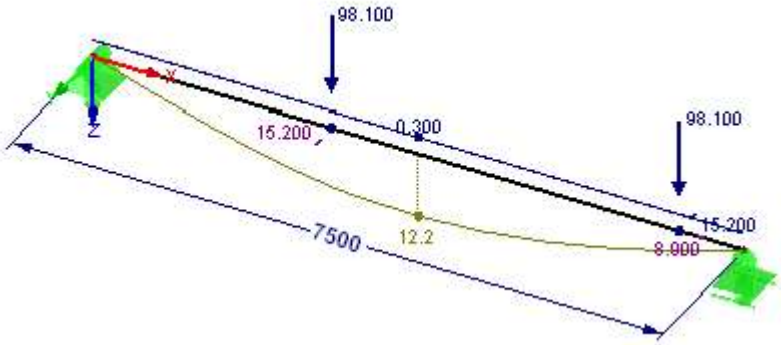


3.2 MSP

Maximální svislý průhyb se dostane z 1. skupiny dle kombinace 1,0*stálé + 1,0*proměnné

$\delta_z := 12.2mm$

δ_z

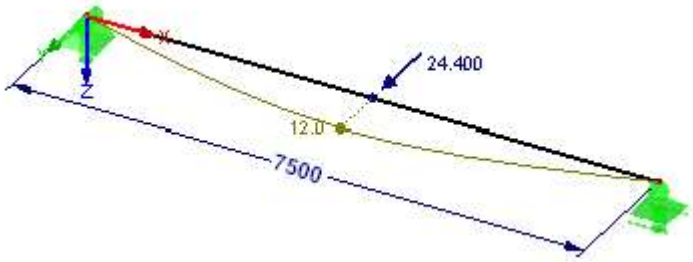


Maximální vodorovný průhyb se dostane z 5. skupiny pokud je vodorovná síla v polovině nosníku

Kombinace 1,0*stálé + 1,0*proměnné

$\delta_y := 12.0mm$

δ_y



4. Návrh jeřábového nosníku (část a)

1. Skupina

Maximální lokální zatížení od kola $F_{1.Ed} := 1.35 \cdot 98.1kN = 132.4 \cdot kN$

$N_{1.Ed} := 12.1kN$

$M_{1.y.Ed} := 284.3kN \cdot m$

$M_{1.z.Ed} := 30.4kN \cdot m$

$V_{1.z.Ed} := 105kN$

$V_{1.y.Ed} := 11kN$ (v místě max. momentů)

$V_{1.z.max.Ed} := 200.3kN$ (Q.r.max umístěna do podpory)

$V_{1.y.max.Ed} := 20.5kN$

5. Skupina Max. lok. zatížení od kola $F_{5.Ed} := 1.35 \cdot 83.2kN = 112.3 \cdot kN$

Max My $M_{5.y.Ed} := 240kN \cdot m$

$M_{5.z.Ed} := 57.4kN \cdot m$

$V_{5.z.Ed} := 48.3kN$ (v místě max. momentů)

Max Mz $M_{5.y.Ed.2} := 225.3kN \cdot m$

$M_{5.z.Ed.2} := 61.8kN \cdot m$

6. Skupina Max. lok. zatížení od kola $F_{6.Ed} := 1.35 \cdot 83.2kN = 112.3 \cdot kN$

$M_{6.y.Ed} := 240kN \cdot m$

$M_{6.z.Ed} := 14.7kN \cdot m$

$V_{6.z.Ed} := 48.3kN$ (v místě max. momentů)

5. skupina MSÚ - uvažuje se ve výpočtu jen pro výpočet normálových napětí (viz č.1) v horních / dolních vláknech pásnice, protože zde se uvažuje s momentem M
1. skupina MSÚ - rozhoduje ve všech ostatních posudcích
6. skupina MSÚ - nerozhoduje v žádném případě

Průřezové charakteristiky nosníku **HEA 400 S355**

Youngův modul $E := 210GPa$ $G := 80.7GPa$

Mez kluzu $f_y := 355MPa$

Součinitele spolehlivosti $\gamma_{M0} := 1.0$ $\gamma_{M1} := 1.0$

Moment setrvačnosti $I_y := 4.507 \cdot 10^8 mm^4$ $I_z := 8.56 \cdot 10^7 mm^4$

Moment tuhosti v kroucení $I_t := 1900000mm^4$

Výsečový moment setrvačnosti $I_w := 2942 \cdot 10^9 mm^6$

Průřezový modul $W_{pl.y} := 2560000mm^3$ $W_{pl.z} := 872864mm^3$

Výška nosníku $h := 390mm$

Šířka nosníku $b := 300mm$

Tloušťka pásnice $t_f := 19mm$

Tlouštka stojiny $t_w := 11mm$

Výška stojiny $h_w := 352mm$

Plocha nosníku $A := 15900mm^2$

Smyková plocha nosníku $A_{vz} := 5735mm^2$

Zatřídění nosníku Třída 1

$\varepsilon := \sqrt{\frac{235MPa}{f_y}} = 0.81$ Stojina: $\frac{h_w}{t_w} = 32$ $. \le . \; 72 \cdot \varepsilon = 58.6$ Třída 1

Pásnice: $\frac{b - t_w - 2 \cdot 27mm}{2 \cdot t_f} = 6.2$ $. \le . \; 9 \cdot \varepsilon = 7.3$ Třída

<u>Vzdálenost mezi výztuhami v nosníku</u> $a_s := 7500mm$ = výztuhy jen v podporách

<u>Průřezové charakteristiky kolejnice **JKL 55**</u>

Moment setrvačnosti s opotřebováním výšky kolejnice o 25% $I_R := 2.79 \cdot 10^6 mm^4$

Šířka paty kolejnice $b_R := 100mm$

Šířka hlavy kolejnice $b_{h.r} := 55mm$

Výška kolejnice $h_R := 85mm$

<u>Excentricita kolového zatížení</u> $e_y := 0.25 \cdot b_{h.r} = 13.8 \cdot mm$

$e_z := \frac{h}{2} + h_R = 280 \cdot mm$

<u>4.1 Normálové napětí ve spodních (tah) / horních (tlak) vláknech pásnice (dle ČSN EN 1993-1-1)</u>

1. skupina $\sigma_{1.x} := \frac{N_{1.Ed}}{A} + \frac{M_{1.y.Ed}}{W_{pl.y}} + \frac{M_{1.z.Ed}}{W_{pl.z}} = 146.6 \cdot MPa$ $. \le . \; \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 355 \cdot MPa$ Vyhovuje

5. skupina (Max My) $\sigma_{5.x} := \frac{M_{5.y.Ed}}{W_{pl.y}} + \frac{M_{5.z.Ed}}{W_{pl.z}} = 159.5 \cdot MPa$ $. \le . \; \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 355 \cdot MPa$ Vyhovuje

5. skupina (Max Mz) $\sigma_{5.x.2} := \frac{M_{5.y.Ed.2}}{W_{pl.y}} + \frac{M_{5.z.Ed.2}}{W_{pl.z}} = 158.8 \cdot MPa$ $. \le . \; \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 355 \cdot MPa$ Vyhovuje

4.2 Lokální tlakové a smykové napětí (dle ČSN EN 1993-6 část 5.7.1 a 5.7.2)

Efektivní šířka pásnice (s opotřebovaním 25%) $b_{eff} := b_R + 0.75 \cdot h_R + t_f = 182.8 \cdot mm$

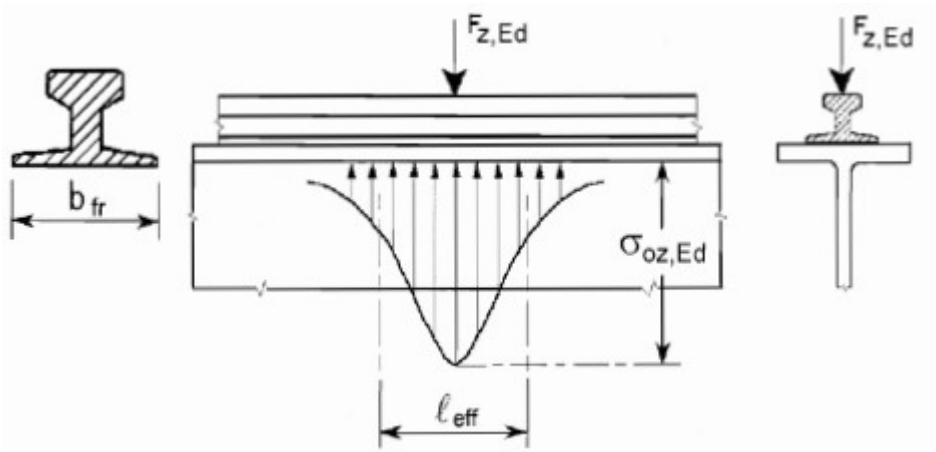
Efektivní moment setrvačnosti pásnice $I_{f.eff} := \frac{1}{12} \cdot b_{eff} \cdot t_f^3 = 1 \times 10^5 \cdot mm^4$

Účinná roznášecí šířka pásnice
(Pro pevně držený jeřáb k pásnici) $l_{eff} := 3.25 \sqrt[3]{\frac{I_R + I_{f.eff}}{t_w}} = 208.3 \cdot mm$

Svislé lokální tlakové napětí 1.skupina $\sigma_{1.oz.Ed} := \frac{F_{1.Ed}}{l_{eff} \cdot t_w} = 57.8 \cdot MPa$

Lokální smykové napětí (20% lokálního svislého)

1. skupina $\tau_{1.oxz.Ed} := 0.2 \cdot \sigma_{1.oz.Ed} = 11.6 \cdot MPa$



4.3 Smykové napětí od prostého kroucení v hlavě stojiny

Rozpětí nosníku $L := 7.5m$

Prametr tuhosti při kroucení $K_t := L \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_w}} = 3.7$

Koeficienty zohledňující zatížení a okrajové podmínky $\alpha := 3.7$
$\beta := 1.08$

Opravný součinitel $\kappa := \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K_t}\right)^2} = 0.49$

Moment prostého kroucení $T_t := \left(V_{1.z.Ed} \cdot e_y + V_{1.y.Ed} \cdot e_z\right) \cdot \kappa = 2.2 \cdot kN \cdot m$

Napětí od prostého kroucení $\tau_t := \frac{T_t}{I_t} \cdot t_w = 12.7 \cdot MPa$

4.4. Globální smykové napětí

4.4.1 V hlavě stojiny

Statický moment $S_{1.y} := b \cdot t_f \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{t_f}{2} \right) = 1.1 \times 10^6 \cdot mm^3$

Smykové napětí 1. skupina $\tau_{1.v} := \frac{V_{1.z.Ed} \cdot S_{1.y}}{t_w \cdot I_y} = 22.4 \cdot MPa$

4.4.2 Uprostřed průřezu (nosník nad podporou)

$\tau_{1.v.max} := \frac{V_{1.z.max.Ed}}{A_{vz}} = 34.9 \cdot MPa \quad . \le . \quad \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 205 \cdot MPa$ Vyhovuje

4.5 Interakce lokálních napětí a ohybového momentu v hlavě stojiny (dle ČSN EN 1993-1-5, část

Normálové napětí v hlavě stojiny $\sigma_{1.x.web} := \frac{N_{1.Ed}}{A} + \frac{M_{1.y.Ed} \cdot \left(\frac{h}{2} - t_f \right)}{I_y} = 111.8 \cdot MPa$

Napětí při dvojosé napjatosti $\sigma_{x.Ed} := \sigma_{1.x.web} = 111.8 \cdot MPa$

$\sigma_{z.Ed} := \sigma_{1.oz.Ed} = 57.8 \cdot MPa$

$\tau_{Ed} := \tau_{1.v} + \tau_{1.oxz.Ed} + \tau_t = 46.7 \cdot MPa$

$\left(\frac{\sigma_{x.Ed}}{f_y} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z.Ed}}{f_y} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x.Ed}}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z.Ed}}{f_y} \right) + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y} \right)^2 = 0.13 \quad . \le 1.$ Vyhovuje

4.6. Lokální boulení od příčného zatížení (dle ČSN EN 1993-1-5, část 6.2)

Účinná roznášecí délka (dle ČSN EN 1993-6 část 5.7.1) $l_{eff} = 208.3 \cdot mm$

Roznášecí délka na pásnici $s_s := l_{eff} - 2 \cdot t_f = 170.3 \cdot mm$

Bezrozměrné parametry m $m_1 := \frac{b}{t_w} = 27.3$

pro λf > 0.5 $m_2 := 0.02 \cdot \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2 = 6.9$

Účinná zatížená délka stojiny $l_y := s_s + 2 \cdot t_f \cdot \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2}\right) = 430.3 \cdot mm \quad . \le .$ Vzdálenost me výztuhami

$l_y = 430.3 \cdot mm \quad . \le . \quad a_s = 7500 \cdot mm$ Podmínka splněna

Součinitel boulení $k_f := 6 + 2 \cdot \left(\frac{h_w}{a_s}\right)^2 = 6$

Kritická síla při lokálním boulení $F_{crit} := 0.9 \cdot k_f \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{h_w} = 4291 \cdot kN$

Poměrná štíhlost $\lambda_F := \sqrt{\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{crit}}} = 0.6$

Součinitel lokálního boulení $\chi_F := \frac{0.5}{\lambda_F} = 0.8 \quad . \le 1$

Výsledná únosnost při lokálním boulení $F_{Rd} := \frac{\chi_F \cdot l_y \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1342.6 \cdot kN$

Lokální zatížení břemenem $F_{1.Ed} = 132.4 \cdot kN$

Posouzení spolehlivosti $\eta_2 := \frac{F_{1.Ed}}{F_{Rd}} = 0.1 \quad . \le 1$ Vyhovuje

4.7. Interakce lokálního boulení a ohybového momentu

$M_{pl.Rd} := W_{pl.y} \cdot f_y = 908.8 \cdot kN \cdot m$

$\frac{F_{1.Ed}}{F_{Rd}} + 0.8 \cdot \frac{M_{1.y.Ed}}{M_{pl.Rd}} = 0.3 \quad . \le 1.4$ Vyhovuje

4.8. Boulení stojiny od smyku (dle ČSN EN 1993-1-5, část 5.2)

Počítám jen s únosností stojiny, příspěvek pásnic se zanedbá)

$\frac{a_s}{h_w} = 21.3 \quad . \ge 1$

$\eta := 1.2$

$\varepsilon = 0.81$ Pro ocel S355

Poměrná štíhlost (pro výztuhy jen v podporách) $\lambda_w := \frac{h_w}{86.4 \cdot t_w \cdot \varepsilon} = 0.46$

Pro netuhou koncouvou výztuhu platí podmínka $\lambda_w = 0.5 \quad . < . \quad \frac{0.83}{\eta} = 0.7$

Můžeme tedy uvažovat $\chi_w := \eta = 1.2$

Smyková únosnost $V_{b.Rd} := \frac{\chi_w \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 952.3 \cdot kN$

Moment prostého kroucení $T_{t.max} := V_{1.z.max.Ed} \cdot e_y + V_{1.y.max.Ed} \cdot e_z = 8.5 \cdot kN \cdot m$

Napětí od prostého kroucení $\tau_{t.max} := \frac{T_{t.max}}{I_t} \cdot t_w = 49.2 \cdot MPa$

Redukovaná smyková únosnost kvůli kroucení $V_{T.Rd} := \sqrt{1 - \frac{\tau_{t.max}}{1.25 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}}} \cdot V_{b.Rd} = 856 \cdot kN$

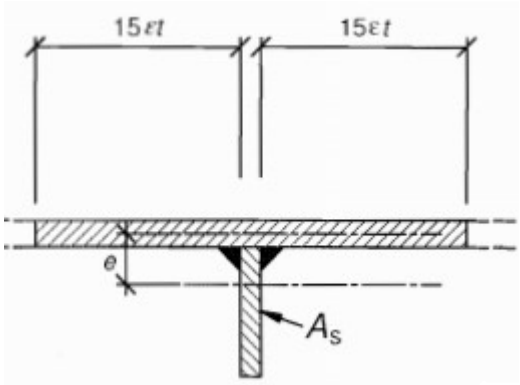
Maximální návrhová smyková síla $V_{1.z.max.Ed} = 200.3 \cdot kN$

Posouzení spolehlivosti $\frac{V_{1.z.max.Ed}}{V_{T.Rd}} = 0.23$ $. \le 1$ Vyhovuje

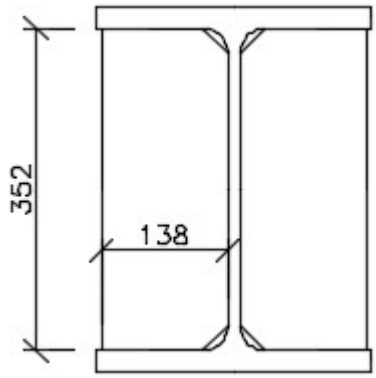
$. \le 0.5$ Malý smyk, není třeba posudek interakce s ohybem.

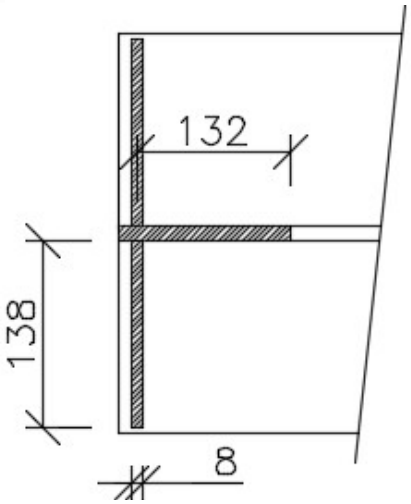
4.9. Posudek koncové výztuhy

Zvolím výztuhy tloušťky 10mm, přivařené dvojstraným koutovým svarem a=3mm
Účinná plocha se vypočítá dle tohoto obrázku.



Rozměry výztuh jsou 352x138x8mm





Tloušťka výztuhy $t_{st} := 10mm$

Výška výztuhy $h_{st} := 352mm$

Šířka výztuhy $b_{st} := 138mm$

Účinná plocha výztuhy $A_{st} := t_{st} \cdot (2 \cdot b_{st} + t_w) + (15 \cdot \varepsilon \cdot t_w) \cdot t_w = 4347 \cdot mm^2$

Moment setrvačnosti k ose nonsíku $I_{st} := \frac{1}{12} \cdot \left[t_{st} \cdot (2 \cdot b_{st} + t_w)^3 + (15 \cdot \varepsilon \cdot t_w) \cdot t_w^3 \right] = 1.97 \times 10^7 \cdot mm$

<u>Posudek výztuhy na vzpěr (dle ČSN EN 1993-1-5, část 9.4)</u>

Kritická výška $l_{cr.st} := 0.75 \cdot h_w = 264 \cdot mm$

Kritické břemeno $N_{cr} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{st}}{l_{cr.st}^2} = 5.9 \times 10^5 \cdot kN$

Poměrná štíhlost $\lambda_{st} := \sqrt{\frac{A_{st} \cdot f_y}{N_{cr}}} = 0.051$

Součinitel vzpěrnosti je pro λ.st < 0.2 $\chi_{st} := 1.0$

Únosnot výztuhy na vzpěr $F_{st.b.Rd} := \frac{\chi_{st} \cdot A_{st} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1543.1 \cdot kN$

Návrhová síla na výztuhy je rovna reakci / posouvající síle od skupiny 1 MSÚ

$F_{st.Ed} := V_{1.z.max.Ed} = 200.3 \cdot kN$

Podmínka spolehlivosti $\frac{F_{st.Ed}}{F_{st.b.Rd}} = 0.13 \quad . \le 1$ Vyhovuje

<u>Posudek svaru výztuhy</u>

Tloušťka svaru $a_w := 3mm$

Délka svaru $L_w := 350mm$

Síla na jednu výztuhu $F_{1.st.Ed} := \frac{F_{st.Ed}}{2} = 100.2 \cdot kN$

Smykové napětí rovnoběžné s osou svaru $\tau_{rovn} := \frac{F_{1.st.Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L_w} = 47.7 \cdot MPa$

$\gamma_{M2} := 1.25$

Posudek $\sqrt{3 \cdot \tau_{rovn}^2} = 82.6 \cdot MPa \quad . \le . \quad \frac{f_y}{0.9 \cdot \gamma_{M2}} = 315.6 \cdot MPa$ Vyhovuje

5. Návrh jeřábového nosníku (část b)

1. Skupina $N_{1.Ed} := 12.1kN$

$M_{1.y.Ed} := 284.3kN \cdot m$

$M_{1.z.Ed} := 30.4kN \cdot m$

$V_{1.z.Ed} := 105kN$

5. Skupina

Max My $M_{5.y.Ed} := 240kN \cdot m$

$M_{5.z.Ed} := 57.4kN \cdot m$

$V_{5.z.Ed} := 90.2kN$

Max Mz $M_{5.y.Ed.2} := 225.3kN \cdot m$

$M_{5.z.Ed.2} := 61.8kN \cdot m$

$V_{5.z.Ed.2} := 64kN$

Posudek se provede pro skupinu 1, a dva zatěžovací stavy skupiny 5.
Skupina 6 má síly nejmenší a tak se vůbec neposuzuje.

Rozpětí nosníku $L := 7.5m$

Průřezové charakteristiky nosníku **HEA 400 S355**

Youngův modul $E := 210GPa$ $G := 80.7GPa$

Mez kluzu $f_y := 355MPa$

Součinitele spolehlivosti $\gamma_{M0} := 1.0$ $\gamma_{M1} := 1.0$

Plocha $A := 15900mm^2$

Moment setrvačnosti $I_y := 4.507 \cdot 10^8 mm^4$ $I_z := 8.56 \cdot 10^7 mm^4$

Moment tuhost v kroucení $I_t := 1900000mm^4$

Výsečový moment setrvačnosti $I_w := 2942 \cdot 10^9 mm^6$

Zatřídění nosníku Třída 1

Plastický průřezový modul $W_{pl.y} := 2562 \cdot 10^3 mm^3$ $W_{pl.z} := 872.9 \cdot 10^3 mm^3$

Pružný průřezový modul $W_{el.y} := 2310 \cdot 10^3 mm^3$

Poloměr setrvačnosti $i_y := 168.4mm$ $i_z := 73.4mm$

Výška nosníku $h := 390mm$

Šířka nosníku $b := 300mm$

Tloušťka pásnice $t_f := 19mm$

Tloušťka stojiny $t_w := 11mm$

Výška stojiny $h_w := 352mm$

Výška kolejnice $h_R := 85mm$

Šířka hlavy kolejnice $b_{h.r} := 55mm$

5.1 Posudek nosníku na klopení

a) Ruční výpočet kritického momentu Mcr - pro 1. a 5. skupinu zatížení

(Dle ČSN EN 1993-1-1, Národní příloha B.3)

Pro výpočet kritického momentu (souč. C1 a C2) se zjednodušeně uvažuje spojité zatížení

Zatížení a podmínky podepření	k_y	k_z	k_w	C_1 [1)]		C_2	
				$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	$\psi_f = -1$	$-0,9 \le \psi_f \le 0,9$
	1	1	1	1,13	1,13	0,33	0,46

Součinitele vzpěrné délky $k_y := 1.0$

$k_z := 1.0$

$k_w := 1.0$

Součinitele C $C_1 := 1.13$

$C_2 := 0.46$

Souřadnice působiště zatížení vzhledem ke středu smyku $z_g := \frac{h}{2} + h_R = 280 \cdot mm$

Parametr kroucení $k_{wt} := \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = 0.84$

Parametr působiště zatížení $\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 1.27$

Parametr kritického momentu $\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2 + \left(C_2 \cdot \zeta_g\right)^2} - C_2 \cdot \zeta_g\right] = 0.96$

Kritický moment $M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 665.6 \cdot kN \cdot m$

b) Výpočet kritického momentu Mcr programem LTBeam

Ve výpočtu je uvažována přesná poloha zatížení

pro skupinu 1 a 5 MSÚ $M_{cr.1.FEM} := 751kN \cdot m$

pro skupinu 5 s maximálním momentem Mz $M_{cr.5.FEM} := 745.6kN \cdot m$

Kritické momenty jsou skoro stejné a tak konzervativně počítám s nižším z nich pro všchny skupiny MSÚ.

Poměrná štíhlost $\lambda_{LT} := \sqrt{\frac{W_{el.y} \cdot f_y}{M_{cr.5.FEM}}} = 1.05$

Křivka klopení b

$\alpha_{LT} := 0.34$

$\lambda_{LT.0} := 0.4$

$\beta := 0.75$

$\Phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot \left(\lambda_{LT} - \lambda_{LT.0}\right) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2\right] = 1.02$

Součinitel klopení $\chi_{LT} := \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = 0.67$

Únosnost v klopení $M_{b.Rd} := \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl.y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 609.2 \cdot kN \cdot m$

Posouzení únosnosti $\frac{M_{1.y.Ed}}{M_{b.Rd}} = 0.47$ $. \le 1$ Vyhovuje

5.2 Posudek nosníku na vzpěr

Dle ČSN EN 1993-1-1

$\varepsilon := \sqrt{\frac{235MPa}{f_y}} = 0.81$

Vzpěrná délka $L_{cr} := 1.0 \cdot L = 7.5\,m$

Jednotková štíhlost $\lambda_1 := 93.9 \cdot \varepsilon = 76.4$

Poměrná štíhlost $\lambda_y := \frac{L_{cr}}{i_y \cdot \lambda_1} = 0.6$ $\lambda_z := \frac{L_{cr}}{i_z \cdot \lambda_1} = 1.3$

Křivka vzpěrné pevnosti *a* *b*

Součinitel imperfekce $\alpha_y := 0.21$ $\alpha_z := 0.34$

$\phi_y := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_y \cdot \left(\lambda_y - 0.2\right) + \lambda_y^2\right] = 0.7$ $\phi_z := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_z \cdot \left(\lambda_z - 0.2\right) + \lambda_z^2\right] = 1.6$

Součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru

$\chi_y := \frac{1}{\left(\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}\right)} = 0.9$ $\chi_z := \frac{1}{\left(\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}\right)} = 0.41$

$N_{b.y.Rd} := \chi_y \cdot A \cdot f_y = 5059.4 \cdot kN$ $\qquad$ $N_{b.z.Rd} := \chi_z \cdot A \cdot f_y = 2310.1 \cdot kN$

5.3 Posudek nosníku na kroucení

Dle ČSN EN 1993-1-1, Národní příloha B.2

Prametr tuhosti při kroucení $\quad K_t := L \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_w}} = 3.7$

Koeficienty zohledňující zatížení a okrajové podmínky $\quad \alpha := 3.7$, $\beta := 1.08$

Opravný součinitel $\quad \kappa := \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K_t}\right)^2} = 0.49$

Excentricita zatížení $\quad$ ve směru z $\quad e_z := \frac{h}{2} + h_R = 280 \cdot mm$

ve směru y $\quad e_y := 0.25 \cdot b_{h.r} = 13.8 \cdot mm$

Bimoment od vázaného kroucení

skupina 1 $\quad B_{Ed.1} := \left(M_{1.z.Ed} \cdot e_z + M_{1.y.Ed} \cdot e_y\right) \cdot (1 - \kappa) = 6.39 \cdot kN \cdot m^2$

skupina 5 $\quad B_{Ed.5} := \left(M_{5.z.Ed} \cdot e_z + M_{5.y.Ed} \cdot e_y\right) \cdot (1 - \kappa) = 9.97 \cdot kN \cdot m^2$

skupina 5 (max Mz) $\quad B_{Ed.5.2} := \left(M_{5.z.Ed.2} \cdot e_z + M_{5.y.Ed.2} \cdot e_y\right) \cdot (1 - \kappa) = 10.5 \cdot kN \cdot m^2$

Hlavní výsečová plocha $\quad \omega_{max} := \frac{b}{2} \cdot \frac{h}{2} = 29250 \cdot mm^2$

Bimomentová únosnost $\quad B_{Rd} := \frac{f_y \cdot I_w}{\omega_{max} \cdot \gamma_{M1}} = 35.7 \cdot kN \cdot m^2$

5.4 Interakce klopení, vzpěru a kroucení

(Dle ČSN EN 1993-6, příloha A)

Skupina 1 $\quad k_{1.w} := 0.7 - \frac{0.2 \cdot B_{Ed.1}}{B_{Rd}} = 0.66$

Skupina 5 $\quad k_{5.w} := 0.7 - \frac{0.2 \cdot B_{Ed.5}}{B_{Rd}} = 0.64$

Skupina 5 (max Mz) $\quad k_{5.w.2} := 0.7 - \frac{0.2 \cdot B_{Ed.5.2}}{B_{Rd}} = 0.64$

$$k_{1.zw} := 1 - \frac{M_{1.z.Ed}}{\left(\frac{W_{pl.z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}\right)} = 0.9 \quad k_{5.zw} := 1 - \frac{M_{5.z.Ed}}{\left(\frac{W_{pl.z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}\right)} = 0.81 \quad k_{5.zw.2} := 1 - \frac{M_{5.z.Ed.2}}{\left(\frac{W_{pl.z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}\right)} = 0.8$$

$$k_{1.a} := \frac{1}{1 - \frac{M_{1.y.Ed}}{M_{cr.1.FEM}}} = 1.61 \quad k_{5.a} := \frac{1}{1 - \frac{M_{5.y.Ed}}{M_{cr.1.FEM}}} = 1.47 \quad k_{5.a.2} := \frac{1}{1 - \frac{M_{5.y.Ed.2}}{M_{cr.5.FEM}}} = 1.43$$

<u>Interakční součinitele k.ij</u>

Součinitel ekvivalentního konstantního momentu

$$C_{my} := 1.0$$
$$C_{mz} := 1.0$$
$$C_{mLT} := 1.0$$

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left[1 + \left(\lambda_y - 0.2\right) \cdot \frac{N_{1.Ed}}{N_{b.y.Rd}}\right] = 1 \qquad . \le . \qquad C_{my} \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{1.Ed}}{N_{b.y.Rd}}\right) = 1$$

$$k_{zy} := 1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{\left(C_{mLT} - 0.25\right)} \cdot \frac{N_{1.Ed}}{N_{b.z.Rd}} = 1 \qquad . \ge . \qquad 1 - \frac{0.1}{\left(C_{mLT} - 0.25\right)} \cdot \frac{N_{1.Ed}}{N_{b.z.Rd}} = 1$$

Posudek spolehlivosti - skupina 1

$$\frac{N_{1.Ed}}{N_{b.z.Rd}} + k_{zy} \frac{M_{1.y.Ed}}{M_{b.Rd}} + \frac{C_{mz} \cdot M_{1.z.Ed}}{\left(\frac{W_{pl.z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}\right)} + \frac{B_{Ed.1} \cdot k_{1.w} \cdot k_{1.zw} \cdot k_{1.a}}{B_{Rd}} = 0.742 \; . \le 1$$ Vyhovuje

$$\frac{N_{1.Ed}}{N_{b.y.Rd}} + k_{yy} \frac{M_{1.y.Ed}}{M_{b.Rd}} + \frac{C_{mz} \cdot M_{1.z.Ed}}{\left(\frac{W_{pl.z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}\right)} + \frac{B_{Ed.1} \cdot k_{1.w} \cdot k_{1.zw} \cdot k_{1.a}}{B_{Rd}} = 0.74 \; . \le 1$$ Vyhovuje

Posudek spolehlivosti - skupina 5

$$\frac{M_{5.y.Ed}}{M_{b.Rd}} + \frac{C_{mz} \cdot M_{5.z.Ed}}{\left(\frac{W_{pl.z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}\right)} + \frac{B_{Ed.5} \cdot k_{5.w} \cdot k_{5.zw} \cdot k_{5.a}}{B_{Rd}} = 0.79 \; . \le 1$$ Vyhovuje

Posudek spolehlivosti - skupina 5 - pro maximální moment Mz

$$\frac{M_{5.y.Ed.2}}{M_{b.Rd}} + \frac{C_{mz} \cdot M_{5.z.Ed.2}}{\left(\frac{W_{pl.z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}\right)} + \frac{B_{Ed.5.2} \cdot k_{5.w.2} \cdot k_{5.zw.2} \cdot k_{5.a.2}}{B_{Rd}} = 0.79 \; . \le 1$$ Vyhovuje

5.5 Posudek na únavu FAT

(Dle ČSN EN 1993-6, část 9)

Ekvivalentní zatížení pro poškození únavou - pro normálové napětí $Q_{e.\sigma} := 36kN$

Břemeno představující konstantní rozkmit proměnlivého zatížení $F_M := Q_{e.\sigma} = 36 \cdot kN$
Poloha zatížení tak aby vyvodila maximální moment My (tzn. stejně jako v předchozích případech)

Dílčí součinitel spolehlivosti únavové pevnosti $\gamma_{Mf} := 1.35$

Dílčí součinitel únavového zatížení jeřáby $\gamma_{Ff} := 1.0$

1. Posouzení pásnic pro rozkmit normálového napětí od ohybového momentu

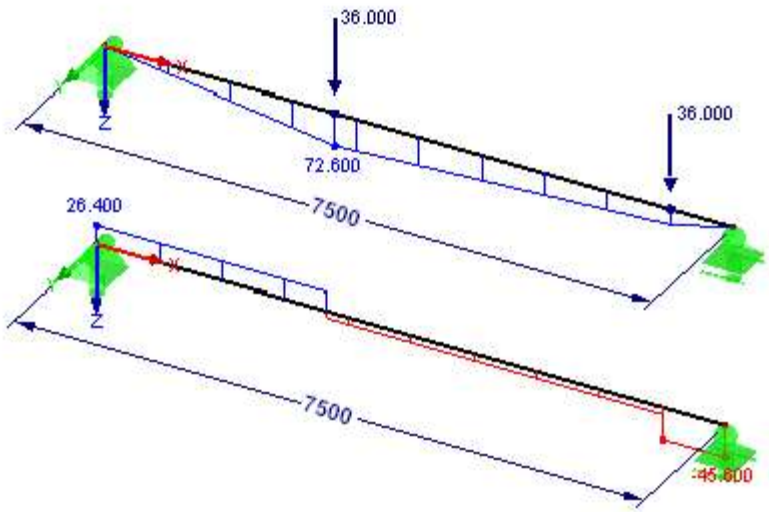
Referenční únavová pevnost dle ČSN EN 1993-1-9 $\Delta\sigma_c := 90MPa$
(Pásnici uvažuji jako prvek s dírami pro šrouby)

Ekvivalentní rozkmit ohybového momentu $\Delta M_{E2} := 72.6kN \cdot m$

Ekvivalentní rozkmit posouvající síly $\Delta V_{E2} := 26.4kN$

ΔM_{E2}

ΔV_{E2}



Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého normálového napětí $\Delta\sigma_{E2} := \frac{\Delta M_{E2}}{W_{el.y}} = 31.4 \cdot MPa$

Únavové poškození $D_\sigma := \gamma_{Ff}^3 \cdot \Delta\sigma_{E2}^3 \cdot \left(\frac{\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_c}\right)^3 = 0.1 \quad . \le 1$ Vyhovuje

2. Posouzení stojiny pro rozkmit hlavního napětí od posouvající síly

Referenční únavová pevnost dle ČSN EN 1993-1-9 $\Delta\sigma_{c.w} := 80MPa$
(Stojinu uvažuji jako prvek s přivařenými výztuhami)

Zatěžovací stav je stejný jako pro pásnice, počítám ale jen s posouvající silou,

protože privařené výztuhy jsou jen v podporách, kde nevzniká moment.

Statický moment pásnice k těžišťové ose y nosníku $S_y := \frac{h - t_f}{2} \cdot t_f \cdot b = 1057350 \cdot mm^3$

Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého smykového napětí $\Delta\tau_{Ew} := \frac{\Delta V_{E2} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = 5.6 \cdot MPa$

Rozkmit hlavního napětí $\Delta\sigma_{eq.Ew} := \Delta\tau_{Ew} = 5.6 \cdot MPa$

Únavové poškození $D_{\sigma w} := \gamma_{Ff}^{\ 3} \cdot \Delta\sigma_{eq.Ew}^{\ 3} \cdot \left(\frac{\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_{c.w}}\right)^3 = 0.001 \quad . \le 1$ Vyhovuje

5.6 Mezní stav použitelnosti

(Dle ČSN EN 1993-6, část 7)

1. Svisl průhyb - pro skupinu 1 $\delta_z := 12.2mm \quad . \le . \quad \delta_{z.lim} := \frac{L}{600} = 12.5 \cdot mm$ Vyhovuje

2. Vodorovný průhyb skupina 1 $\delta_{1.y} := 4.7mm \quad . \le .$ $\delta_{y.lim} := \frac{L}{600} = 12.5 \cdot mm$ Vyhovuje

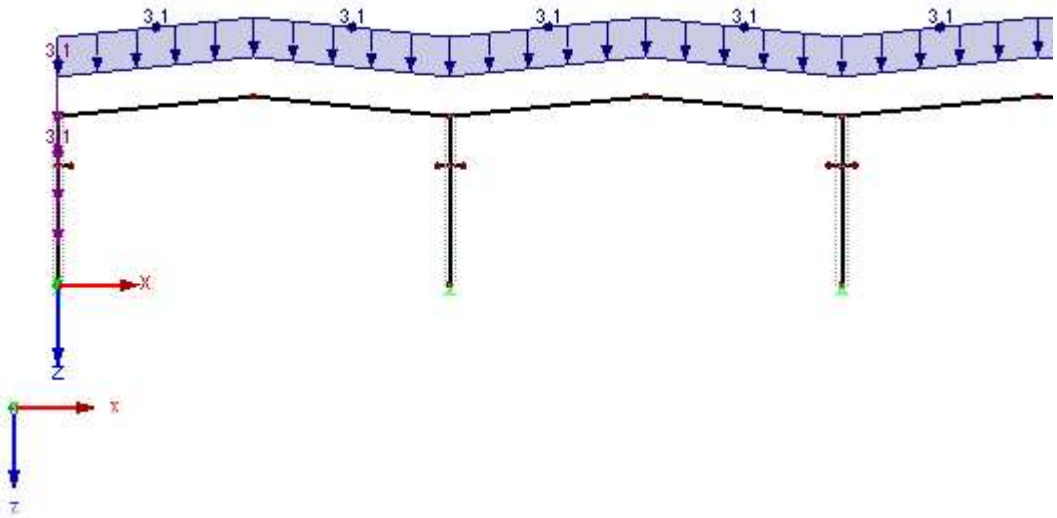
   skupina 5 $\delta_{5.y} := 12.0mm \quad . \le .$ Vyhovuje

6. Zatížení

6.1 Stálé zatížení

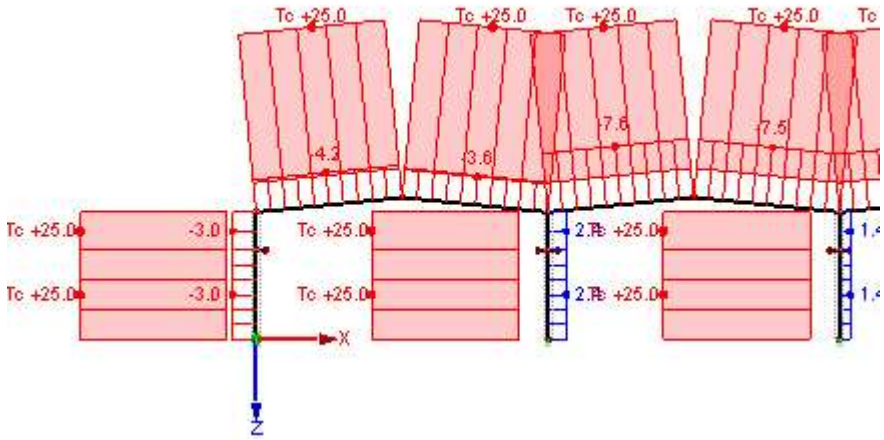
Střední vazba						
			Charakteristické zatížení [kN/m^2]	Roznášecí šířka [m]	Charakteristické zatížení [kN/m]	Sou spole
Vlastní tíha			Generováno programem RSTAB			
Střešní plášť + stěna			0,41	7,5	**3,1**	

Střešní plášť + stěnový plášť



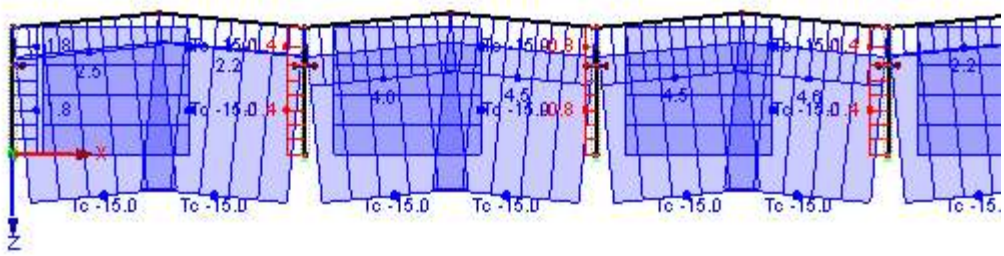
6.2 Zatížení teplotou

1. Zatěžovací stav - ohřátí o ΔTmax=25°C
   Vyvozuje po celé konstrukci tlak kromě středních sloupů, kde je tah



2.Zatěžovací stav - ochlazení o ΔTmin= -15°C

Vyvozuje po celé konstrukci tah kromě středních sloupů, kde je tlak.



6.3 Imperfekce soustavy

6.3.1 V příčném směru

Výška konstrukce $h := 9.8\ m$

Počet sloupů v řadě $m := 5$

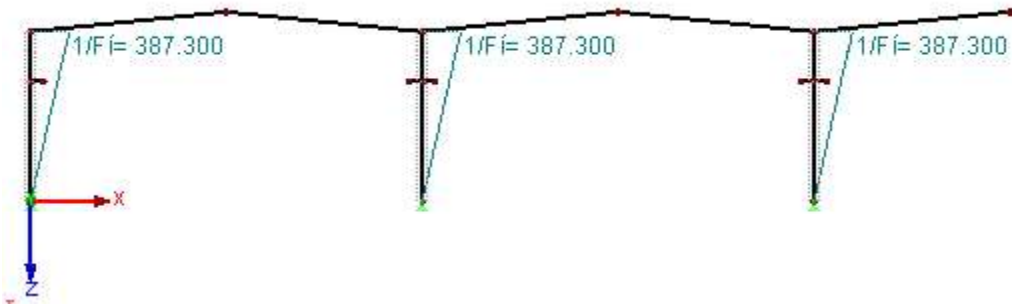
Redukční součinitel pro počet sloupů v řadě $\alpha_m := \sqrt{0.5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 0.775$

Redukční součinitel v závislosti na výšce sloupu $\alpha_{h1} := \frac{2}{\sqrt{h}} = 0.639 \ . \geq \frac{2}{3}$ $\quad \alpha_h := \frac{2}{3} = 0.67$

Základní hodnota imperfekce $\phi_0 := \frac{1}{200}$

Imperfekce celkového naklonění $\phi := \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = 0.0026$

Charakteristická hodnota $\frac{1}{\phi} = 387.3$



6.3.2 V podélném směru

Výška konstrukce $h := 9.8\ m$

Počet sloupů v řadě $m := 11$

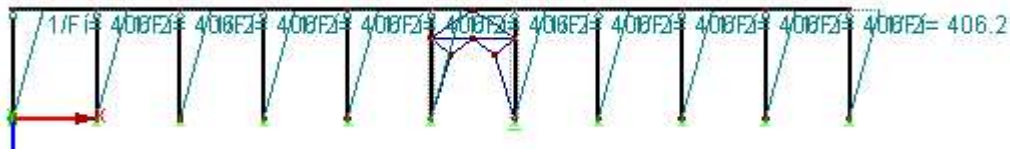
Redukční součinitel pro počet sloupů v řadě $\alpha_m := \sqrt{0.5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 0.739$

Redukční součinitel v závislosti na výšce sloupu $\alpha_{h1} := \frac{2}{\sqrt{h}} = 0.639 \ . \geq \frac{2}{3}$ $\alpha_h := \frac{2}{3} = 0.67$

Základní hodnota imperfekce $\phi_0 := \frac{1}{200}$

Imperfekce celkového naklonění $\phi := \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = 0.0025$

Charakteristická hodnota $\frac{1}{\phi} = 406.2$



6.4 Zatížení sněhem

Sněhová oblast I.

Oblast: Praha

Tepelný součinitel $C_t := 1.0$

Součinitel expozice $C_e := 1.0$

Charakteristická hodnota zatížení sněhem s_k $s_k := 0.7 \frac{kN}{m^2}$

Sklon střechy: $\alpha := 6$

Tvarový součinitel: $\mu_1 := 0.8$ pro 0°<α<30°

$$\mu_2 := 0.8 + 0.8 \cdot \frac{\alpha}{30} = 0.96$$

Zatížení sněhem: $s_1 := C_t \cdot C_e \cdot s_k \cdot \mu_1 = 0.56 \cdot kPa$

$$s_2 := C_t \cdot C_e \cdot s_k \cdot \mu_2 = 0.672 \cdot kPa$$

Střední vazba			
	Charakteristické zatížení [kN/m^2]	Roznášecí šířka [m]	Charakteristické zatížení [kN/m]
Sníh rovnoměrný s_1	0,56	7,5	**4,2**
Sníh nerovnoměrný s_2	0,672	7,5	**5,0**
Sníh navátý s_n	2,1	7,5	**15,8**

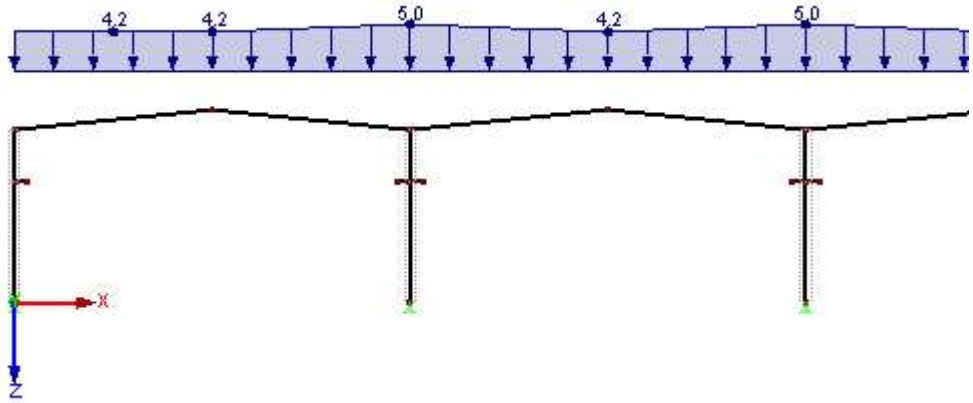
obr. přepočet plošného zatížení na liniové

6.4.1 Zatěžovací stav - rovnoměrné zatížení

rovnoměrné zatížení sněhem hodnotou s_1 - neuvažuje se, je menší než 2. ZS

6.4.2 Zatěžovací stav - nerovnoměrné zatížení

nerovnoměrné zatížení sněhem hodnotou s_1 a s_2



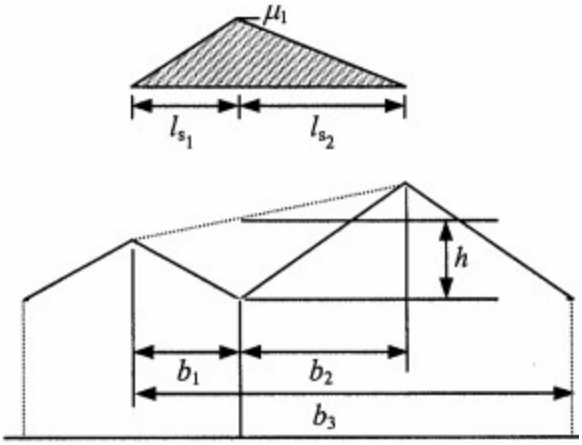
obr. zatížení prostřední vazby nerovnoměrným sněhem

6.4.3 Zatěžovací stav - navátý sníh

navátý sníh

$b_1 := 11.25\text{m}$ $\quad b_3 := 33.75\text{m}$ $\quad l_{s1} := b_1 = 11.25\text{m}$

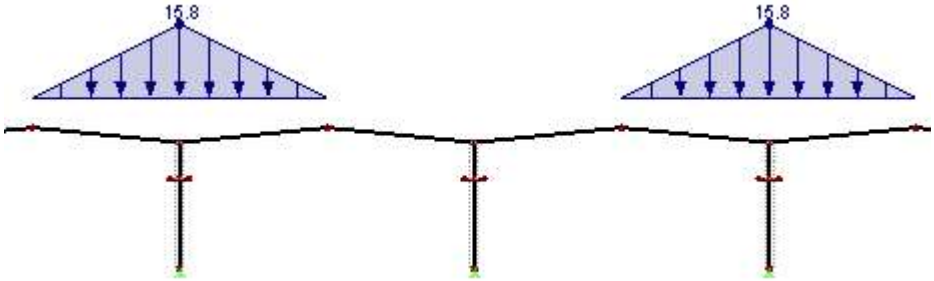
$b_2 := 11.25\text{m}$ $\quad h := 1.125\ \text{m}$ $\quad l_{s2} := b_2 = 11.25\text{m}$



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

$$\mu_1 := \min\left(\frac{2\cdot h}{s_k}, \frac{2\cdot b_3}{l_{s1} + l_{s2}}, 5\right) = 3$$

$$s := \mu_1 \cdot s_k = 2.1\ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



obr. Zatížení prostřední vazby navátým sněhem

6.5 Zatížení větrem

Větrná oblast: I. $v_{b.0} := 22.5\frac{m}{s}$

Kategorie terénu III. $z_0 := 0.3m$

$z_{min} := 5m$

Součinitel směru větru $c_{dir} := 1.0$

Součinitel ročního období $c_{season} := 1.0$

Základní rychlost větru $v_b := c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b.0} = 22.5\frac{m}{s}$

$z_{0.II} := 0.05m$

Výška objektu $z := 11m$

Součinitel terénu $k_r := 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0.II}}\right)^{0.07} \rightarrow 0.19 \cdot \left(\frac{0.3 \cdot m}{0.05 \cdot m}\right)^{0.07} = 0.215$

Drsnost terénu $c_r := k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0.776$

$c_0 := 1.0$

Střední rychlost větru $v_m := \left(c_r \cdot c_0 \cdot v_b\right) = 17.456\frac{m}{s}$

Intenzita turbulence $I_v := \frac{1}{c_0 \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = 0.278$

Měrná hmotnost vzduchu $\rho := 1.25 \quad kg/m^3$

Maximální dynamický tlak $q_p := \left(1 + 7 \cdot I_v\right) \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot v_m^2 = 560.536\frac{m^3}{kg} \cdot Pa$

$q_p := 560.5Pa$

Vnitřní tlak

Dle poznámky 2, ČSN EN 1993-1-4, část 7.2.9 lze pro hodnoty součinitle vnitřního tlaku použít jednu z méně výhodných hodnot c_{pi}

Maximální tlak větru $q_p := 561Pa$

vnitřní tlak $c_{pi1} := 0.2$ $w_{i1} := c_{pi1} \cdot q_p = 0.11 \cdot kPa$

vnitřní sání $c_{pi2} := -0.3$ $w_{i2} := c_{pi2} \cdot q_p = -0.17 \cdot kPa$

Pozn. Vnější tlak větru na střechu působí stejným směrem jako vnitřní sání a naopak.

Vítr na střechy

a) Vítr 90°

Vítr 90° - sedlová střecha

Sedlové střechy jsou definované, pokud mají úhel sklonu mezi -45 ° a 75 °

Rozměry konstrukce:

Výška střechy nad terénem h = 11m

Šířka střechy kolmo na směr větru b = 22.5m

Šířka střechy rovnoběžná se směrem větru d = 75m

Úhel sklonu α = 10°

Parametry zatížení větrem:

Maximální tlak větru na střechu $q_p = 561$ Pa

Směr větru 90°

Hodnota e pro výpočet oblastí střechy

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(22.5; 2 \cdot 11) = 22 \text{ m}$$

Plochy částí střechy

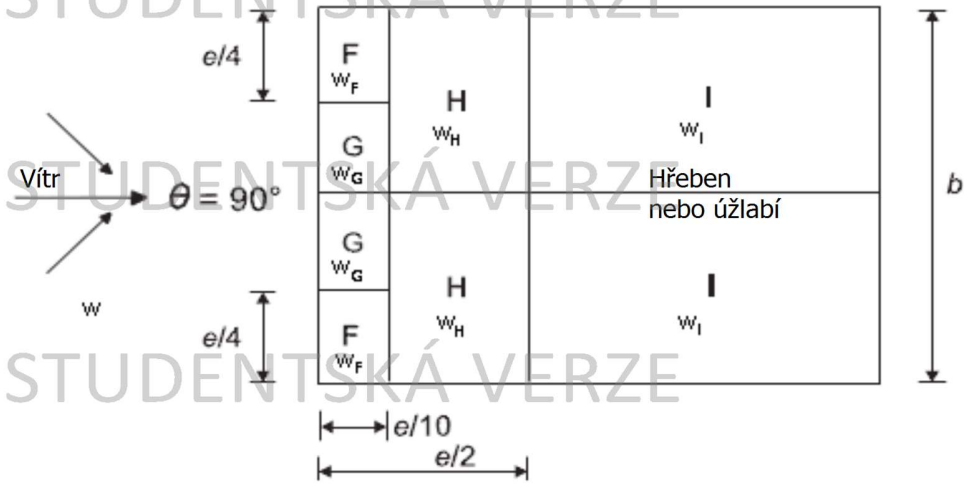
$$A_F = \frac{e}{4} \cdot \frac{e}{10} = \frac{22}{4} \cdot \frac{22}{10} = 12.1 \text{ m}^2$$

$$A_G = \frac{e}{2} \cdot \frac{e}{10} = \frac{22}{2} \cdot \frac{22}{10} = 24.2 \text{ m}^2$$

$$A_H = \frac{b}{2} \cdot \left(\frac{e}{2} - \frac{e}{10}\right) = \frac{22.5}{2} \cdot \left(\frac{22}{2} - \frac{22}{10}\right) = 99 \text{ m}^2$$

$$A_I = \frac{b}{2} \cdot \left(d - \frac{e}{2}\right) = \frac{22.5}{2} \cdot \left(75 - \frac{22}{2}\right) = 720 \text{ m}^2$$

Součinitele vnějšího tlaku pro pultové střechy



$c_{pe,F} = c_{pe} = \mathbf{-1.45}$

$c_{pe,G} = c_{pe} = \mathbf{-1.3}$

$c_{pe,H} = c_{pe} = \mathbf{-0.65}$

$c_{pe,I} = c_{pe} = \mathbf{-0.55}$

STUDENTSKÁ VERZE

b) Vítr 0°

Vítr 0° - Sedlová střecha - prostřední pole

Sedlové střechy jsou definované, pokud mají úhel sklonu mezi -45 ° a 75 °

Rozměry konstrukce:

Výška střechy nad terénem	h = 11m
Šířka střechy kolmo na směr větru	b = 75m
Šířka střechy rovnoběžná se směrem větru	d = 22.5m
Úhel sklonu	α = -10°

Parametry zatížení větrem:

Maximální tlak větru na střechu	$q_p = 561$ Pa
Směr větru	0°

Hodnota e pro výpočet oblastí střechy

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(75; 2 \cdot 11) = 22 \text{ m}$$

Plochy částí střechy

$$A_F = \frac{e}{4} \cdot \frac{e}{10} = \frac{22}{4} \cdot \frac{22}{10} = 12.1 \text{ m}^2$$

$$A_G = \frac{e}{2} \cdot \frac{e}{10} = \frac{22}{2} \cdot \frac{22}{10} = 24.2 \text{ m}^2$$

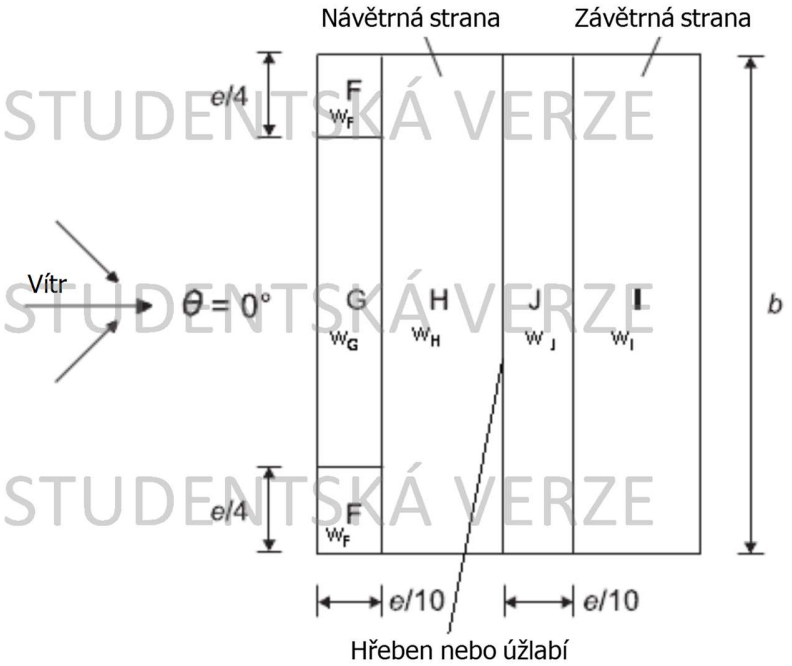
$$A_H = b \cdot \left(\frac{d}{2} - \frac{e}{10}\right) = 75 \cdot \left(\frac{22.5}{2} - \frac{22}{10}\right) = 679 \text{ m}^2$$

$$A_J = b \cdot \frac{e}{10} = 75 \cdot \frac{22}{10} = 165 \text{ m}^2$$

$$A_I = b \cdot \left(\frac{d}{2} - \frac{e}{10}\right) = 75 \cdot \left(\frac{22.5}{2} - \frac{22}{10}\right) = 679 \text{ m}^2$$

STUDENTSKÁ VERZE

Součinitele vnějšího tlaku pro pultové střechy



STUDENTSKÁ VERZE

$c_{pe,F} = c_{pe} = \mathbf{-2.4}$

$c_{pe,G} = c_{pe} = \mathbf{-1.25}$

$c_{pe,H} = c_{pe} = \mathbf{-0.85}$

$c_{pe,I} = c_{pe} = \mathbf{-0.55}$

$c_{pe,J} = c_{pe} = \mathbf{-0.65}$

Vítr - Pultové střechy

Vítr 0° - Pultová střecha - první pole

Pultové střechy jsou definované, pokud mají úhel sklonu mezi 5 ° a 75 °

Rozměry konstrukce:

Výška vyšší hrany střechy nad terénem h = 11m

Šířka střechy kolmo na směr větru b = 75m

Šířka střechy rovnoběžná se směrem větru d = 22.5m

Úhel sklonu α = 10°

Parametry zatížení větrem:

Maximální tlak větru na střechu $q_p = 561$ Pa

Směr větru 0°

Hodnota e pro výpočet oblastí střechy

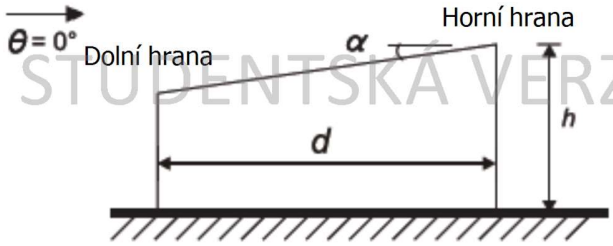
$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(75; 2 \cdot 11) = 22 \text{ m}$$

Plochy částí střechy

$$A_F = \frac{e}{4} \cdot \frac{e}{10} = \frac{22}{4} \cdot \frac{22}{10} = 12.1 \text{ m}^2$$

$$A_G = \frac{e}{2} \cdot \frac{e}{10} = \frac{22}{2} \cdot \frac{22}{10} = 24.2 \text{ m}^2$$

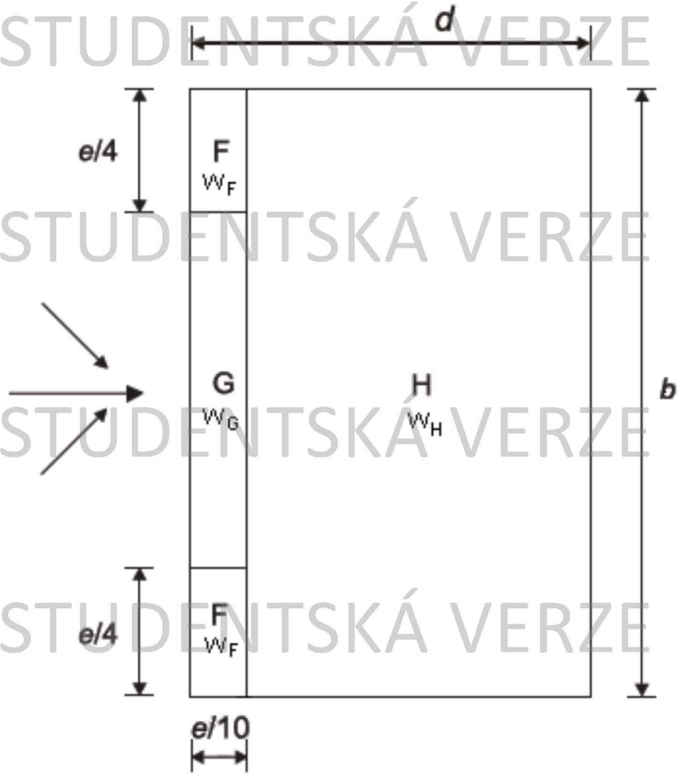
$$A_H = b \cdot \left(d - \frac{b}{10}\right) = 75 \cdot \left(22.5 - \frac{75}{10}\right) = 1125 \text{ m}^2$$



Součinitele vnějšího tlaku pro pultové střechy

STUDENTSKÁ VERZE

STUDENTSKÁ VERZE



$c_{pe,F} = c_{pe} = \mathbf{-1.3}$

$c_{pe,G} = c_{pe} = \mathbf{-1}$

$c_{pe,H} = c_{pe} = \mathbf{-0.45}$

$c_{pe,F,pressure} = \mathbf{0.1}$

$c_{pe,G,pressure} = \mathbf{0.1}$

$c_{pe,H,pressure} = \mathbf{0.1}$

Vítr - Pultové střechy

Vítr 180° - Pultová střecha - poslední pole

Pultové střechy jsou definované, pokud mají úhel sklonu mezi 5 ° a 75 °

Rozměry konstrukce:

Výška vyšší hrany střechy nad terénem h = 11m

Šířka střechy kolmo na směr větru b = 75m

Šířka střechy rovnoběžná se směrem větru d = 22.5m

Úhel sklonu α = 10°

Parametry zatížení větrem:

Maximální tlak větru na střechu $q_p = 561$ Pa

Směr větru 180°

Hodnota e pro výpočet oblastí střechy

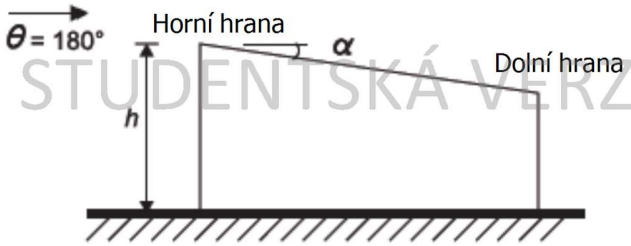
$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(75; 2 \cdot 11) = 22 \text{ m}$$

Plochy částí střechy

$$A_F = \frac{e}{4} \cdot \frac{e}{10} = \frac{22}{4} \cdot \frac{22}{10} = 12.1 \text{ m}^2$$

$$A_G = \frac{e}{2} \cdot \frac{e}{10} = \frac{22}{2} \cdot \frac{22}{10} = 24.2 \text{ m}^2$$

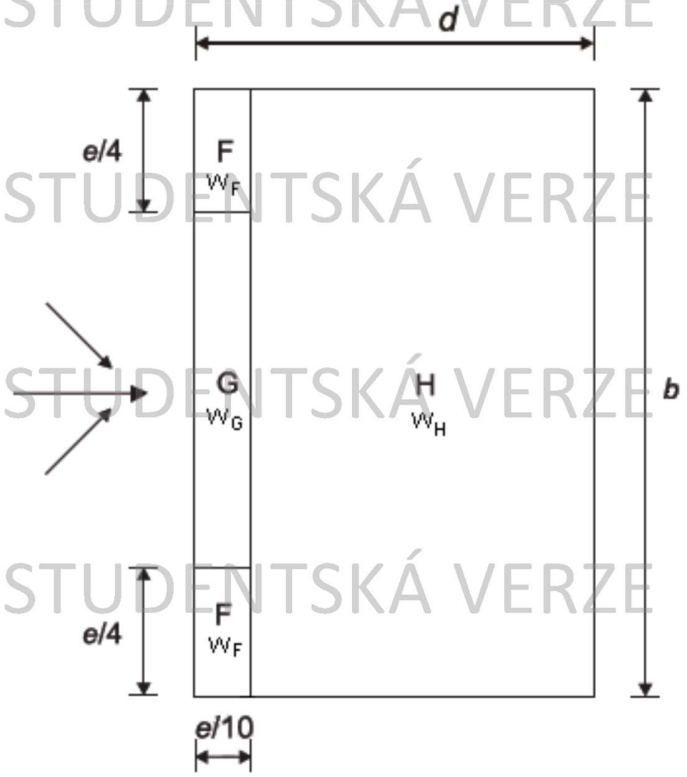
$$A_H = b \cdot \left(d - \frac{b}{10}\right) = 75 \cdot \left(22.5 - \frac{75}{10}\right) = 1125 \text{ m}^2$$



STUDENTSKÁ VERZE

Součinitele vnějšího tlaku pro pultové střechy

STUDENTSKÁ VERZE



$c_{pe,F} = c_{pe} = \mathbf{-2.4}$

$c_{pe,G} = c_{pe} = \mathbf{-1.3}$

$c_{pe,H} = c_{pe} = \mathbf{-0.85}$

Vítr - Vícelodní střechy

Vítr 0° - vícelodní hala

Parametry větru

Maximální tlak větru na střechu q_p = 561 Pa

Součinitel konstrukce c_sc_d = 1

Součinitele vnějšího tlaku pro sedlové střechy

Součinitele a plochy pro první střešní rovinu jsou převzaté z výpočtu ploché střechy, pro druhou a následující jsou převzaté z výpočtu sedlové střechy s α < 0 °. Součinitele a plochy pro poslední střešní rovinu jsou převzaté z výpočtu ploché střechy.

První pole

V oblasti F	$C_{pe,F,1}$ = -1.3	$A_{F,1}$ = 12 m^2
V oblasti G	$C_{pe,G,1}$ = -1	$A_{G,1}$ = 24 m^2
V oblasti H	$C_{pe,H,1}$ = -0.45	$A_{H,1}$ = 1125 m^2

Následující pole

V oblasti F	$C_{pe,F}$ = -2.4	A_F = 12 m^2
V oblasti G	$C_{pe,G}$ = -1.25	A_G = 24 m^2
V oblasti H	$C_{pe,H}$ = -0.85	A_H = 679 m^2
V oblasti I	$C_{pe,I}$ = -0.55	A_I = 679 m^2
V oblasti J	$C_{pe,J}$ = -0.65	A_J = 165 m^2

Poslední pole

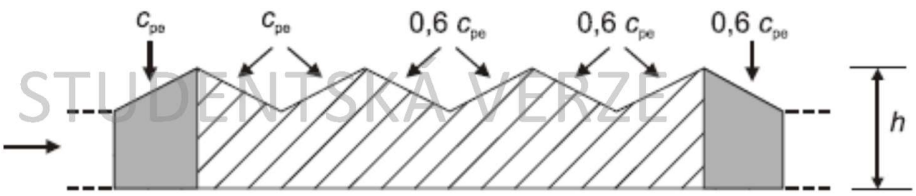
V oblasti F	$C_{pe,F,2}$ = -2.4	$A_{F,2}$ = 12 m^2
V oblasti G	$C_{pe,G,2}$ = -1.3	$A_{G,2}$ = 24 m^2
V oblasti H	$C_{pe,H,2}$ = -0.85	$A_{H,2}$ = 1125 m^2

Redukční součinitele

r_1 = **1**

r_2 = **0.6**

r_3 = **0.6**



STUDENTSKÁ VERZE

Hodnoty zatížení větrem v jednotlivých lodích

Zatížení větrem v prvním poli

Zatížení větrem v oblastech $w_{F,1} = C_{pe,F,1} \cdot q_p \cdot r_1 = -1.3 \cdot 561 \cdot 1 = \underline{\mathbf{-0.729\ kN/m^2}}$

$w_{G,1} = C_{pe,G,1} \cdot q_p \cdot r_1 = -1 \cdot 561 \cdot 1 = \underline{\mathbf{-0.561\ kN/m^2}}$

$w_{H,1} = C_{pe,H,1} \cdot q_p \cdot r_1 = -0.45 \cdot 561 \cdot 1 = \underline{\mathbf{-0.252\ kN/m^2}}$

Celková síla větru $F_{w,1} = c_s c_d \cdot \mathrm{sum}(2 \cdot w_{F,1} \cdot A_{F,1}; w_{G,1} \cdot A_{G,1}; w_{H,1} \cdot A_{H,1})$

$= 1 \cdot \mathrm{sum}(2 \cdot -729 \cdot 12; -561 \cdot 24; -252 \cdot 1125) = \underline{\mathbf{-315\ kN}}$

Zatížení větrem ve druhém poli

Zatížení větrem v oblastech $w_{F,2} = C_{pe,F} \cdot q_p \cdot r_1 = -2.4 \cdot 561 \cdot 1 = \underline{\mathbf{-1.35\ kN/m^2}}$

$w_{G,2} = C_{pe,G} \cdot q_p \cdot r_1 = -1.25 \cdot 561 \cdot 1 = \underline{\mathbf{-0.701\ kN/m^2}}$

$w_{H,2} = C_{pe,H} \cdot q_p \cdot r_1 = -0.85 \cdot 561 \cdot 1 = \underline{\mathbf{-0.477\ kN/m^2}}$

$w_{I,2} = C_{pe,I} \cdot q_p \cdot r_1 = -0.55 \cdot 561 \cdot 1 = \underline{\mathbf{-0.309\ kN/m^2}}$

$w_{J,2} = C_{pe,J} \cdot q_p \cdot r_1 = -0.65 \cdot 561 \cdot 1 = \underline{\mathbf{-0.365\ kN/m^2}}$

Celková síla větru $F_{w,upwind,2} = c_s c_d \cdot \mathrm{sum}(2 \cdot w_{F,2} \cdot A_F; w_{G,2} \cdot A_G; w_{H,2} \cdot A_H)$

$= 1 \cdot \mathrm{sum}(2 \cdot -1346 \cdot 12; -701 \cdot 24; -477 \cdot 679) = \underline{\mathbf{-373\ kN}}$

$F_{w,downwind,2} = c_s c_d \cdot \mathrm{sum}(w_{I,2} \cdot A_I; w_{J,2} \cdot A_J)$

$= 1 \cdot \mathrm{sum}(-309 \cdot 679; -365 \cdot 165) = \underline{\mathbf{-270\ kN}}$

Zatížení větrem na třetí a následující pole

Zatížení větrem v oblastech $w_{F,3} = C_{pe,F} \cdot q_p \cdot r_2 = -2.4 \cdot 561 \cdot 0.6 = \underline{\mathbf{-0.808\ kN/m^2}}$

$w_{G,3} = C_{pe,G} \cdot q_p \cdot r_2 = -1.25 \cdot 561 \cdot 0.6 = \underline{\mathbf{-0.421\ kN/m^2}}$

$w_{H,3} = C_{pe,H} \cdot q_p \cdot r_2 = -0.85 \cdot 561 \cdot 0.6 = \underline{\mathbf{-0.286\ kN/m^2}}$

$w_{I,3} = C_{pe,I} \cdot q_p \cdot r_2 = -0.55 \cdot 561 \cdot 0.6 = \underline{\mathbf{-0.185\ kN/m^2}}$

$w_{J,3} = C_{pe,J} \cdot q_p \cdot r_2 = -0.65 \cdot 561 \cdot 0.6 = \underline{\mathbf{-0.219\ kN/m^2}}$

Celková síla větru $F_{w,upwind,3} = c_s c_d \cdot \mathrm{sum}(2 \cdot w_{F,3} \cdot A_F; w_{G,3} \cdot A_G; w_{H,3} \cdot A_H)$

$= 1 \cdot \mathrm{sum}(2 \cdot -808 \cdot 12; -421 \cdot 24; -286 \cdot 679) = \underline{\mathbf{-224\ kN}}$

$F_{w,downwind,3} = c_s c_d \cdot \mathrm{sum}(w_{I,3} \cdot A_I; w_{J,3} \cdot A_J)$

$= 1 \cdot \mathrm{sum}(-185 \cdot 679; -219 \cdot 165) = \underline{\mathbf{-162\ kN}}$

Zatížení větrem na poslední pole

Zatížení větrem v oblastech $w_{F,4} = C_{pe,F,2} \cdot q_p \cdot r_3 = -2.4 \cdot 561 \cdot 0.6 = \underline{\mathbf{-0.808\ kN/m^2}}$

$w_{G,4} = C_{pe,G,2} \cdot q_p \cdot r_3 = -1.3 \cdot 561 \cdot 0.6 = \underline{\mathbf{-0.438\ kN/m^2}}$

$w_{H,4} = C_{pe,H,2} \cdot q_p \cdot r_3 = -0.85 \cdot 561 \cdot 0.6 = \underline{\mathbf{-0.286\ kN/m^2}}$

Celková síla větru $F_{w,4} = c_s c_d \cdot \mathrm{sum}(2 \cdot w_{F,4} \cdot A_{F,2}; w_{G,4} \cdot A_{G,2}; w_{H,4} \cdot A_{H,2})$

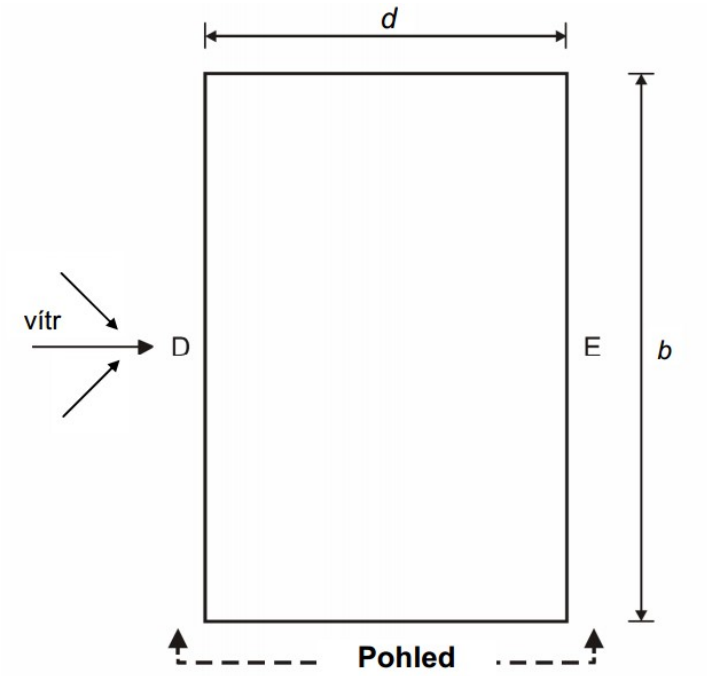
$= 1 \cdot \mathrm{sum}(2 \cdot -808 \cdot 12; -438 \cdot 24; -286 \cdot 1125) = \underline{\mathbf{-352\ kN}}$

STUDENTSKÁ VERZE

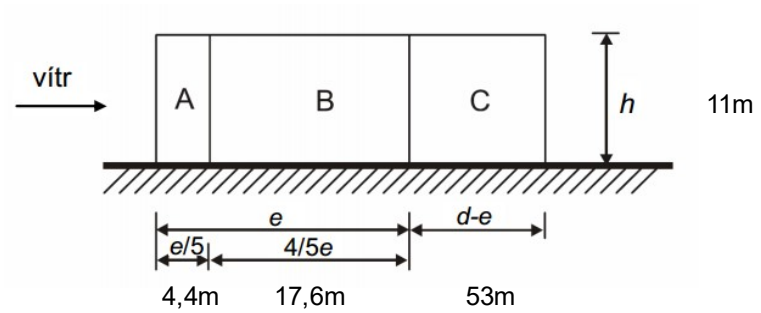
Vítr na stěny

Maximální tlak větru $q_p := 561Pa$

Výška střechy nad terénem $h := 11m$



a) Vítr 90°



Rozměr kolmý na směr větru: $b := 90m$

Rozměr rovnoběžný se směrem větru: $d := 75m$

$e := \min(b, 2 \cdot h) = 22m$

oblast: $\frac{h}{d} = 0.147 \quad . < . \quad 0.25$

$c_{p.A} := -1.2 \qquad w_A := c_{p.A} \cdot q_p = -673.2Pa$

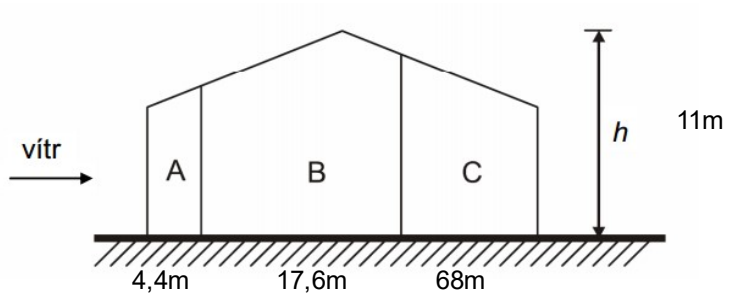
$c_{p.B} := -0.8 \qquad w_B := c_{p.B} \cdot q_p = -448.8Pa$

$c_{p.C} := -0.5 \qquad w_C := c_{p.C} \cdot q_p = -280.5Pa$

$c_{p.D} := 0.7$ $\quad w_D := c_{p.D} \cdot q_p = 392.7\,Pa$

$c_{p.E} := -0.3$ $\quad w_E := c_{p.E} \cdot q_p = -168.3\,Pa$

a) Vítr 0°



Rozměr kolmý na směr větru: $b := 75m$

Rozměr rovnoběžný se směrem větru: $d := 90m$

$e := \min(b, 2 \cdot h) = 22\,m$

oblast: $\frac{h}{d} = 0.122 \quad . < . \quad 0.25$

$c_{p.A} := -1.2$ $\quad w_A := c_{p.A} \cdot q_p = -673.2\,Pa$

$c_{p.B} := -0.8$ $\quad w_B := c_{p.B} \cdot q_p = -448.8\,Pa$

$c_{p.C} := -0.5$ $\quad w_C := c_{p.C} \cdot q_p = -280.5\,Pa$

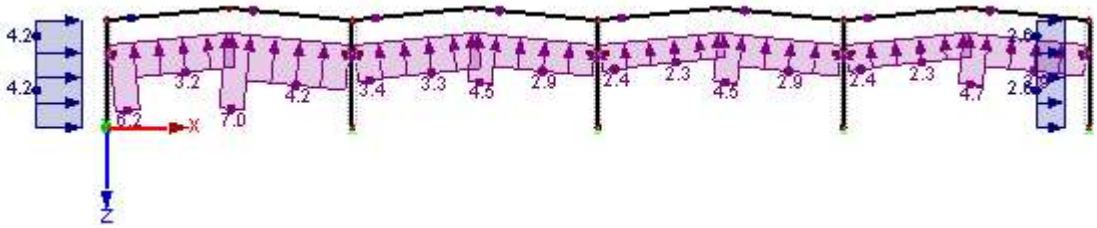
$c_{p.D} := 0.7$ $\quad w_D := c_{p.D} \cdot q_p = 392.7\,Pa$

$c_{p.E} := -0.3$ $\quad w_E := c_{p.E} \cdot q_p = -168.3\,Pa$

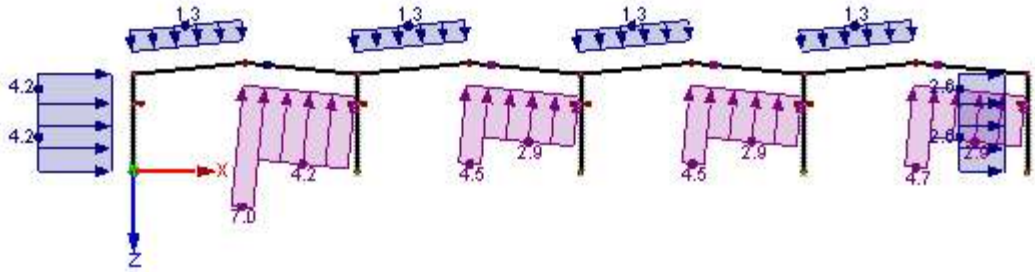
Střední vazba			Charakteristické zatížení [kN/m^2]		Roznášecí šířka [m]	Charakteristické zatížení [kN/m]
Vítr příčný 0°	**STŘECHA**		Vnější	Vnitřní		
	1. pole	w_{F1}	-0,91	-0,11	1,8	**-1,8**
	Pultová	w_{G1}	-0,65	-0,11	5,8	**-4,4**
	střecha	w_{GF1}			W_{GF1}= 1,8 + 4,4 =	**-6,2**
		w_{H1}	-0,32	-0,11	7,5	**-3,2**
	2. pole	w_{F2}	-1,3	-0,11	1,75	**-2,5**
	střecha	w_{G2}	-0,68	-0,11	5,75	**-4,5**
	α=-6°	w_{GF2}			W_{GF2}= 2,5 + 4,5 =	**-7,0**
		w_{H2}	-0,45	-0,11	7,5	**-4,2**
		w_{I2}	-0,33	-0,11	7,5	**-3,3**
		w_{J2}	-0,34	-0,11	7,5	**-3,4**
	3. a 4. pole	w_{F3}	-0,78	-0,11	1,75	**-1,6**
	střecha	w_{G3}	-0,41	-0,11	5,75	**-3,0**
	α=-6°	w_{GF3}			W_{GF3}= 1,6 + 3,0 =	**-4,5**
		w_{H3}	-0,27	-0,11	7,5	**-2,9**
		w_{I3}	-0,2	-0,11	7,5	**-2,3**
		w_{J3}	-0,21	-0,11	7,5	**-2,4**
	Poslední	w_{F4}	-0,78	-0,11	1,75	**-1,6**
	Pultová	w_{G4}	-0,44	-0,11	5,75	**-3,2**
	střecha	w_{GF4}			W_{GF4}= 1,6 + 3,2 =	**-4,7**
		w_{H4}	-0,27	-0,11	7,5	**-2,9**
	STĚNY	w_B	-0,45	-0,11	10,75	**-6,0**
		w_C	-0,28	-0,11	11,75	**-4,6**
		w_{BC}			W_{BC}= 6+4,6 =	**-10,6**
		w_D	0,39	0,17	7,5	**4,2**
		w_E	0,17	0,17	7,5	**2,6**
Vítr podélný 90	**STŘECHA**	wH	-0,39	-0,11	7,5	**-3,8**
	STĚNY	w_A	-0,67	-0,11	0,65	**-0,5**
		w_B	-0,45	-0,11	6,85	**-3,8**
		w_{AB}			W_{AB}= 0,5+3,8 =	**-4,3**

6.5.1 Zatížení prostřední příčné vazby

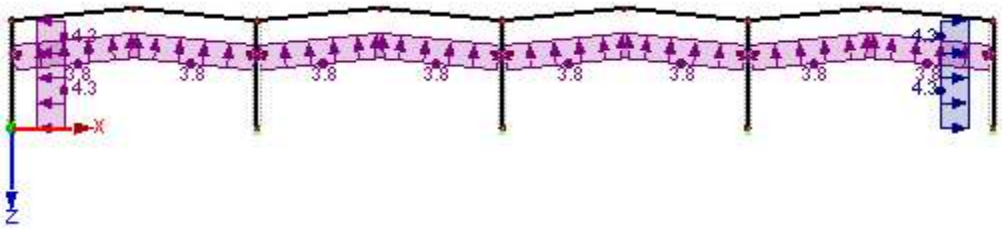
Vítr a) 1. Zatěžovací stav - příčný vítr 0°



b) 2. Zatěžovací stav - příčný vítr 0° - na návětrné straně střech je nulový vnejší tlak a působí jen vnitřní sání



c) 3. Zatěžovací stav - podélný vítr 90°



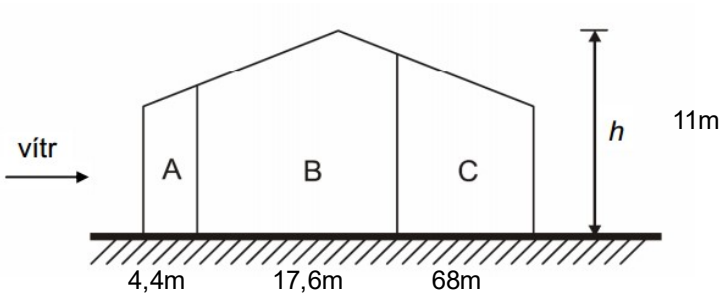
6.5.2 Zatížení střešních ztužidel větrem

a) Vítr příčný 0°

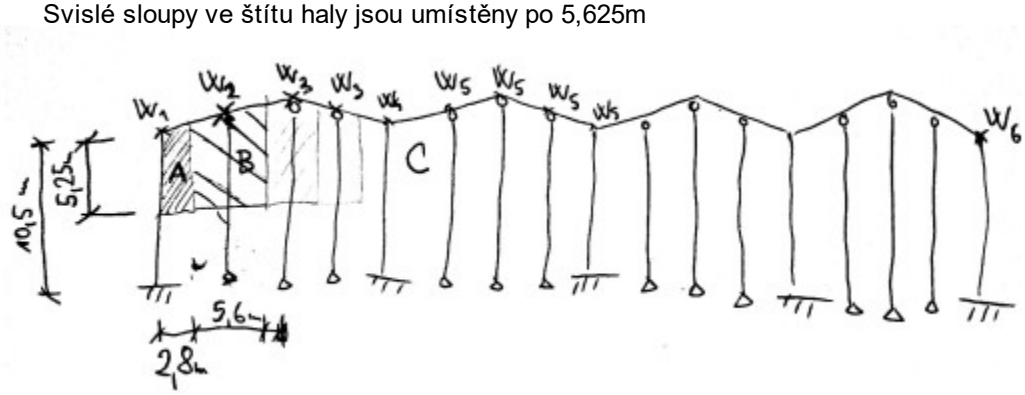
$w_A := -0.67kN \cdot m^{-2}$

$w_B := -0.45kN \cdot m^{-2}$

$w_C := -0.28kN \cdot m^{-2}$



Pro zjednodušení se hala uvažuje s plochou střechou o konstantní výšce 10,5m
Svislé sloupy ve štítu haly jsou umístěny po 5,625m



obr. Reakce od větru na střešní ztužidlo

Reakce od zatížení štítových sloupů

$$w_1 := w_A \cdot 2.8m \cdot \frac{10.5m}{2} = -9.8 \cdot kN$$

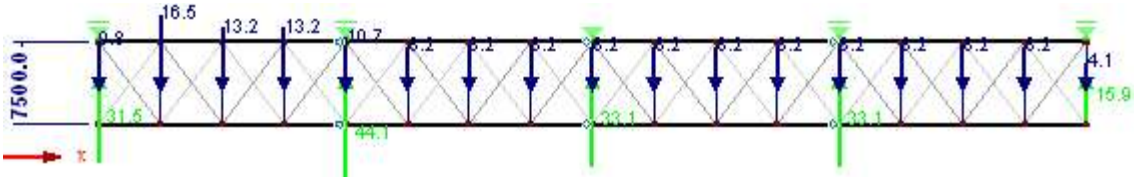
$$w_2 := w_A \cdot 2.8m \cdot \frac{10.5m}{2} + w_B \cdot 2.8m \cdot \frac{10.5m}{2} = -16.5 \cdot kN$$

$$w_3 := w_B \cdot 5.6m \cdot \frac{10.5m}{2} = -13.2 \cdot kN$$

$$w_4 := w_B \cdot 2.8m \cdot \frac{10.5m}{2} + w_C \cdot 2.8m \cdot \frac{10.5m}{2} = -10.7 \cdot kN$$

$$w_5 := w_C \cdot 5.6m \cdot \frac{10.5m}{2} = -8.2 \cdot kN$$

$$w_6 := w_C \cdot 2.8m \cdot \frac{10.5m}{2} = -4.1 \cdot kN$$



a) Vítr podélný 90°

Sečte se tlak na štítovou stěnu v oblasti D a sání v oblasti E. Přestože jsou na konstrukci 3 sestavy ztužidel. Bezpečně uvažuji že zatížení přenese jen jedna sestava.

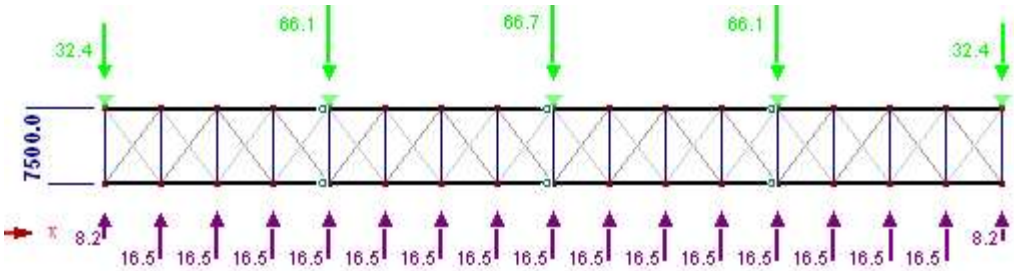
$$w_D := 0.39kN \cdot m^{-2}$$

$$w_E := 0.17kN \cdot m^{-2}$$

<u>Reakce od zatížení štítových sloupů</u>

$$w_{1p} := \left(w_D + w_E\right) \cdot 2.8m \cdot \frac{10.5m}{2} = 8.2 \cdot kN$$

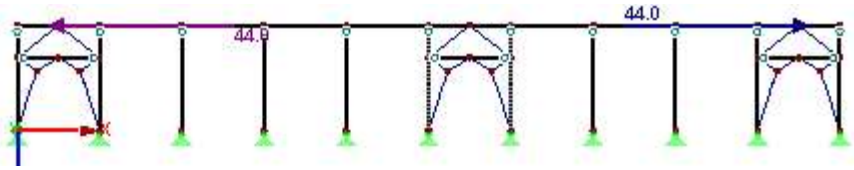
$$w_{2p} := \left(w_D + w_E\right) \cdot 5.6m \cdot \frac{10.5m}{2} = 16.5 \cdot kN$$



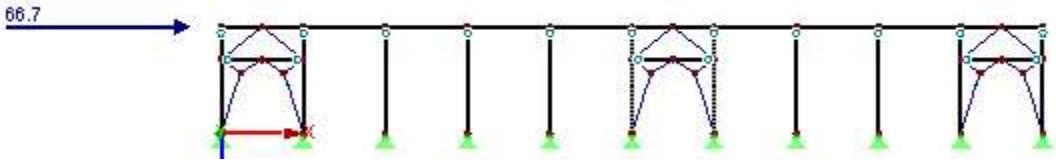
<u>6.5.3 Zatížení podélné vazby haly</u>

Zatížení větrem je rovno reakci v podpoře ze zatížení větrem
na střešní ztužidlo, tj. 44,1 kN pro příčný vítr a 66,7 kN pro podélný vítr.

a) příčným větrem 0°



b) podélným větrem 90°



6.6 Zatížení sloupu od jeřábu

6.6.1 Maximální svislá síla ve středním sloupu - jeřáby jedou stejným směrem (ZS10)

Vzniká od 1. skupiny MSÚ při postavení zatížení dle obrázku.

Rozpětí nosníku $L := 7.5m$

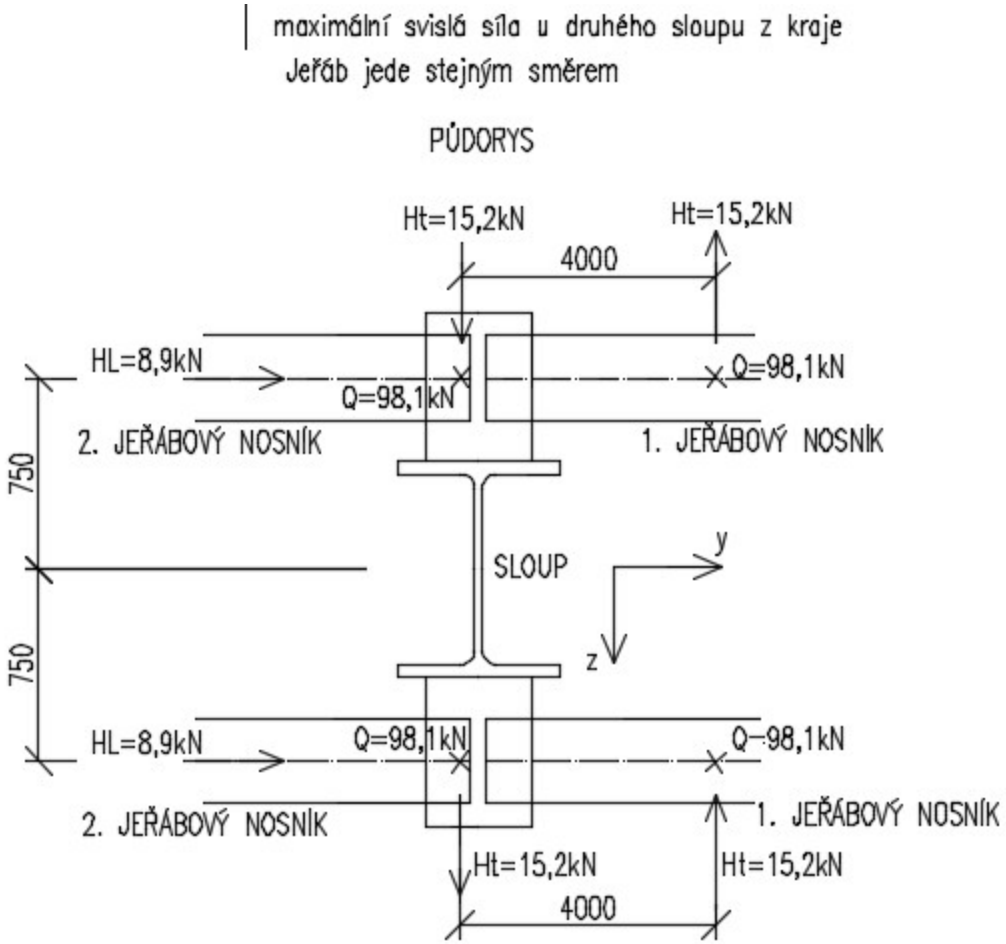
Maximální svislá síla od kola $Q_{r.max} := 98.1kN$

Minimální svislá síla od kola $Q_{r.min} := 35.2kN$

Vodorovná síla od zrychlení směr y $H_L := 8.92kN$

Max. v.odorovná síla od zrychlení směr z $H_{T2} := 15.2kN$

Min v.odorovná síla od zrychlení směr z $H_{T1} := 5.8kN$



Reakce

1.1 Více zatížená větev

Reakce od svislého zatížení 1. jeřábu $R_{Q1max} := \frac{Q_{r.max} \cdot (L - 4m)}{L} = 45.8 \cdot kN$

Reakce od svislého zatížení 2. jeřábu $R_{Q2max} := Q_{r.max} = 98.1 \cdot kN$

Reakce od vodorovného zatížení 1. jeřábu $R_{H1max} := \frac{H_{T2} \cdot (L - 4m)}{L} = 7.093 \cdot kN$

Reakce od vodorovného zatížení 2. jeřábu $R_{H2max} := H_{T2} = 15.2 \cdot kN$

1.2 Méně zatížená větev

Reakce od svislého zatížení 1. jeřábu $R_{Q1min} := \frac{Q_{r.min} \cdot (L - 4m)}{L} = 16.4 \cdot kN$

Reakce od svislého zatížení 2. jeřábu $R_{Q2min} := Q_{r.min} = 35.2 \cdot kN$

Reakce od vodorovného zatížení 1. jeřábu $R_{H1min} := \frac{H_{T1} \cdot (L - 4m)}{L} = 2.7 \cdot kN$

Reakce od vodorovného zatížení 2. jeřábu $R_{H2min} := H_{T1} = 5.8 \cdot kN$

Zatížení sloupu

Více zatížená větev

Svislá síla $R_{Qmax} := R_{Q1max} + R_{Q2max} = 144 \cdot kN$

Vodorovná síla - směr z $R_{Hmax} := R_{H2max} - R_{H1max} = 8.1 \cdot kN$

Vodorovná síla - směr y $H_L = 8.9 \cdot kN$

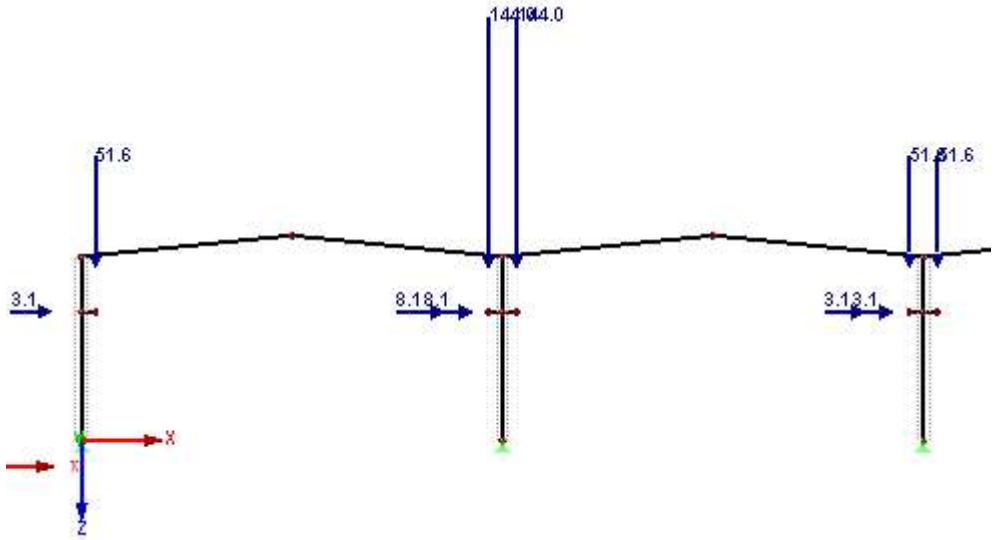
Méně zatížená větev

Svislá síla $R_{Qmin} := R_{Q1min} + R_{Q2min} = 51.6 \cdot kN$

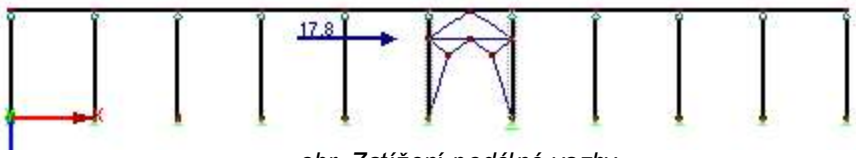
Vodorovná síla $R_{Hmin} := R_{H2min} - R_{H1min} = 3.1 \cdot kN$

Vodorovná síla - směr y $H_L = 8.9 \cdot kN$

Krajní sloupy jsou navíc namáhány prostým kroucením $T_t := H_L \cdot 750mm = 6.7 \cdot kN \cdot m$



obr. Zatížení příčné vazby

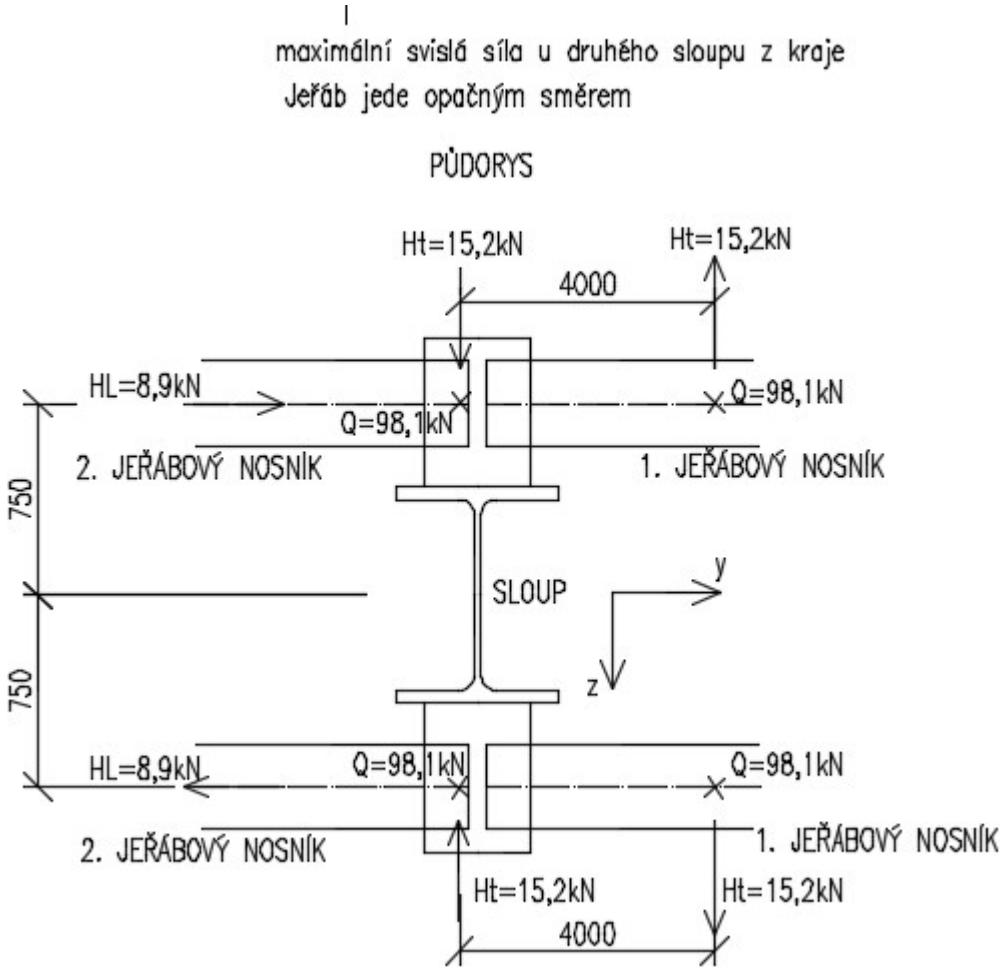


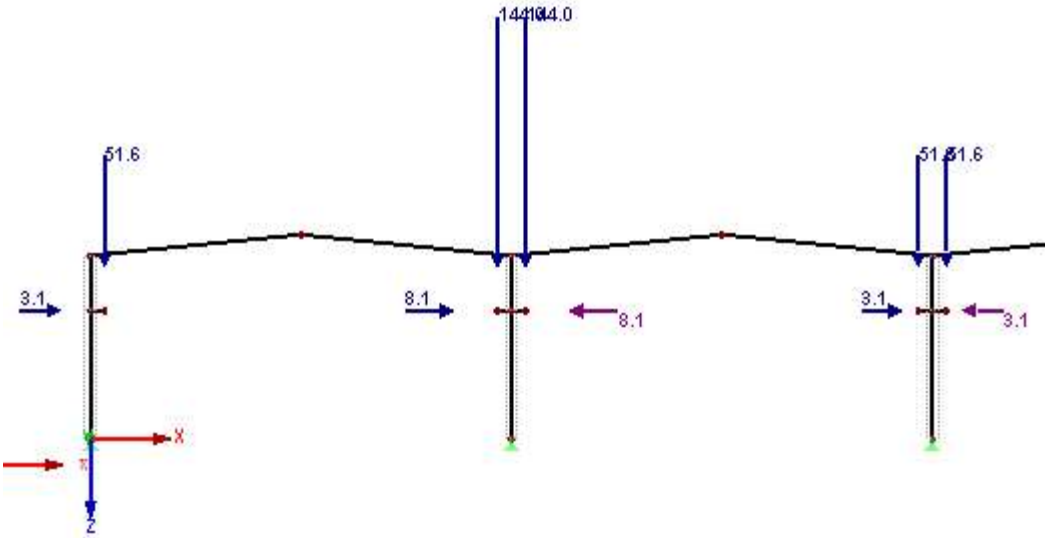
obr. Zatížení podélné vazby

6.6.2 Maximální svislá síla ve středním sloupu - jeřáby jedou opačným směrem (ZS11)

Vodorovné reakce ve směru z se vyruší, ale u středního sloupu dojde ke kroucení.

Kroutící moment $T_{t2} := 2 \cdot \left(H_L \cdot 750mm\right) = 13.4 \cdot kN \cdot m$

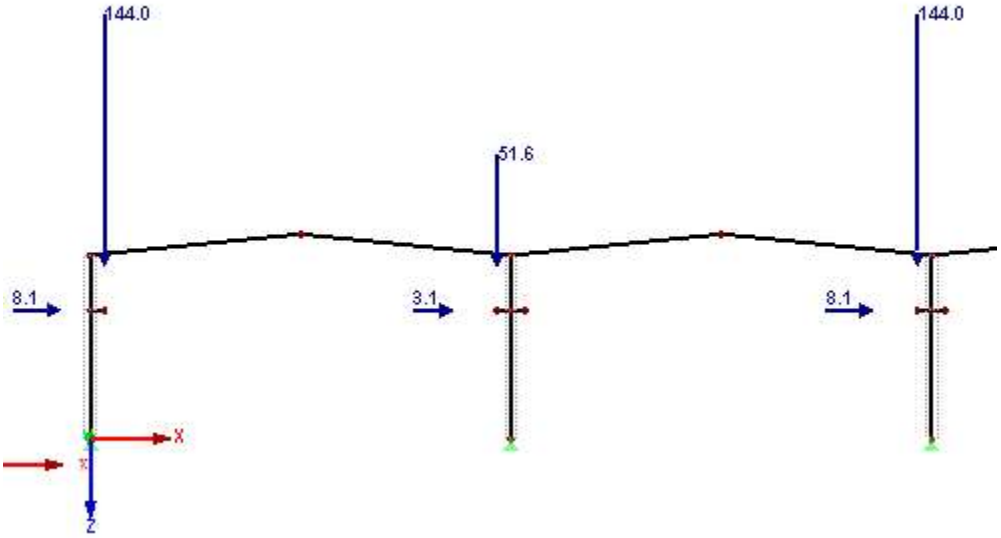




6.6.3 Maximální svislá síla v krajním sloupu (ZS12)

Krajní sloupy jsou navíc namáhány prostým kroucením

Prostý kroutící moment $T_t := H_L \cdot 750mm = 6.7 \cdot kN \cdot m$



6.6.4 Maximální ohyb středního sloupu okolo osy y (ZS13)

Vzniká od 5. skupiny MSÚ při postavení zatížení dle obrázku. Jeráby jedou stejným směrem s břemenem na opačné straně

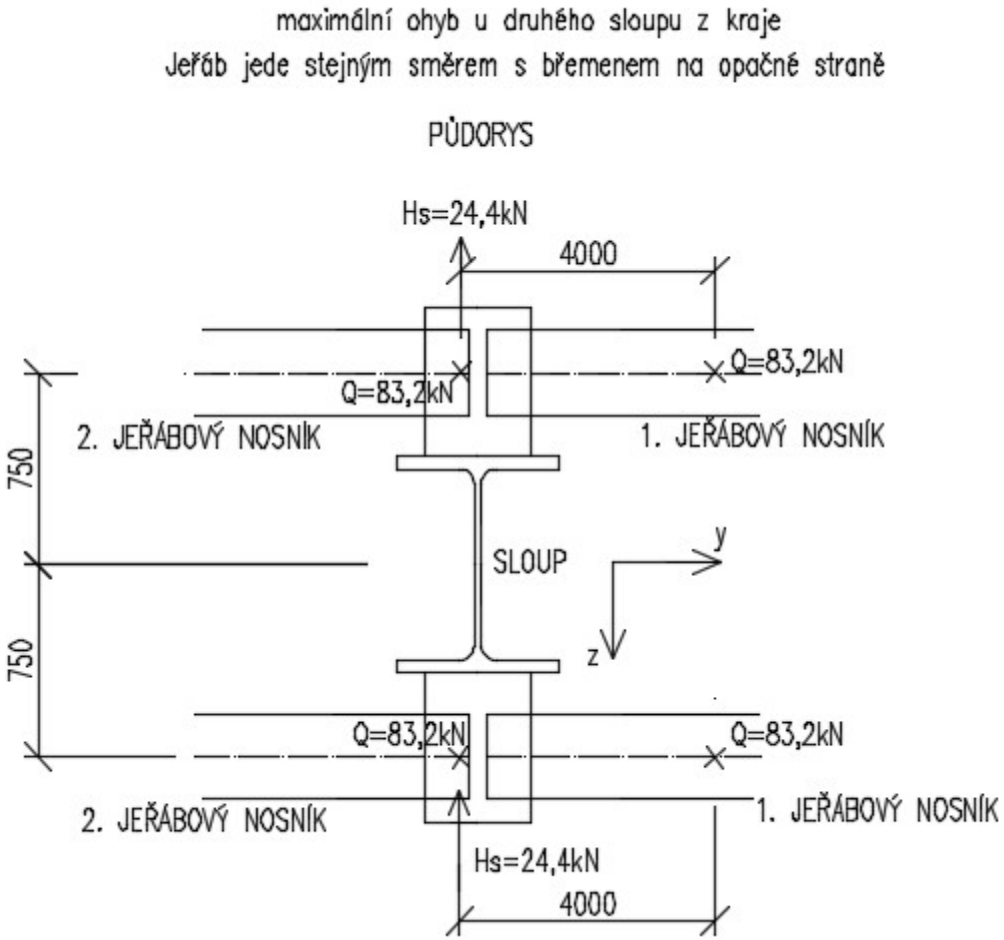
Rozpětí nosníku $L := 7.5m$

Maximální svislá síla od kola $Q_{r.max} := 83.2kN$

Minimální svislá síla od kola $Q_{r.min} := 31.8kN$

Max. vodorovná síla od příčení směr z $H_{S2} := 24.4kN$

Min. vodorovná síla od příčení směr z $H_{S1} := 9.3kN$



Reakce

1.1 Více zatížená větev

Reakce od svislého zatížení 1. jeřábu $R_{Q1max} := \frac{Q_{r.max} \cdot (L - 4m)}{L} = 38.8 \cdot kN$

Reakce od svislého zatížení 2. jeřábu $R_{Q2max} := Q_{r.max} = 83.2 \cdot kN$

Reakce od vodorovného zatížení 2. jeřábu $R_{Hmax} := H_{S2} = 24.4 \cdot kN$

1.2 Méně zatížená větev

Reakce od svislého zatížení 1. jeřábu $R_{Q1min} := \frac{Q_{r.min} \cdot (L - 4m)}{L} = 14.8 \cdot kN$

Reakce od svislého zatížení 2. jeřábu $R_{Q2min} := Q_{r.min} = 31.8 \cdot kN$

Reakce od vodorovného zatížení 2. jeřábu $R_{Hmin} := H_{S1} = 9.3 \cdot kN$

Zatížení sloupu

1.Krajní sloup - jedna méně zatížená větev

Více zatížená větev

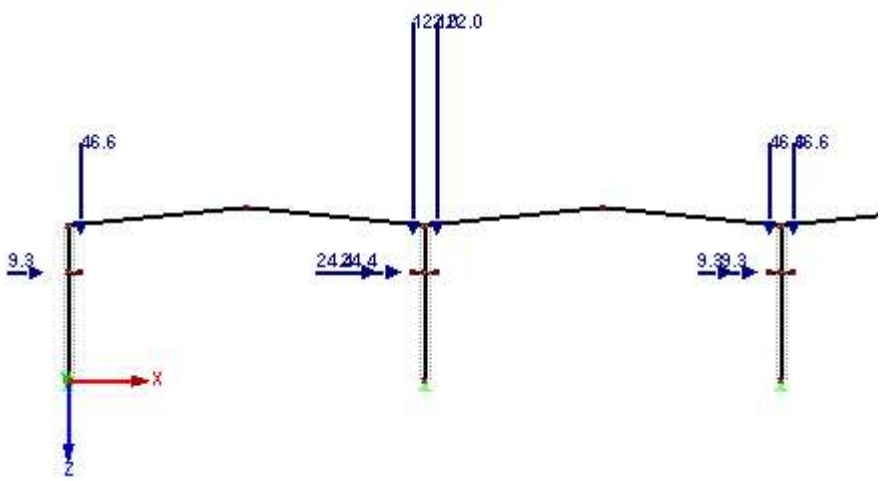
Svislá síla $R_{Qmax} := R_{Q1max} + R_{Q2max} = 122 \cdot kN$

Vodorovná síla - směr z $R_{Hmax} := H_{S2} = 24.4 \cdot kN$

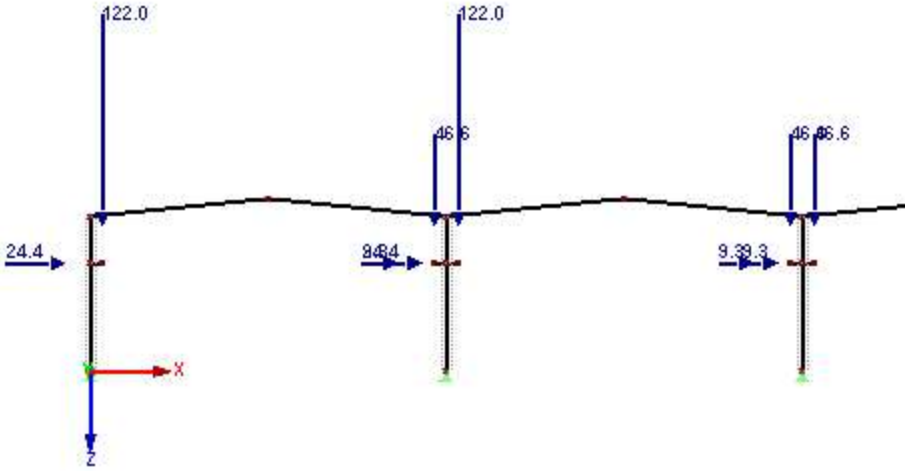
Méně zatížená větev

Svislá síla $R_{Qmin} := R_{Q1min} + R_{Q2min} = 46.6 \cdot kN$

Vodorovná síla $R_{Hmin} := H_{S1} = 9.3 \cdot kN$



6.6.5 Maximální ohyb krajního sloupu okolo osy y (ZS14)



7. Návrh střešního trapézového plechu

Je navržen trapézový plech jako prostý nosník pozitivně uložený dle tabulek únosnosti. (firma Kovové profily Praha)

Rozpětí $L := 7.5m$

Sklon $\alpha_a := 6^\circ$ $\alpha := \frac{\alpha_a}{180} \cdot \pi\, rad = 0.105 \cdot rad$

a) Stálé zatížení:

		Tloušťka	Zatížení [kN/m2]
INTERIÉR	Nosný tr. plech	1.25mm	0.18
	Parotěsná folie	1mm	0.05
	Tepelná izolace	180mm	0.1
EXTERIÉR	Střešní plech	0.75mm	0.08

$$g := (0.18 + 0.05 + 0.1 + 0.08)kPa = 0.41 \cdot kPa$$

Převod zatížení do lokální soustavy plechu

Svislé - směr z $g_z := \cos(\alpha) \cdot g = 0.408 \cdot kPa$

b) Navátý sníh Pro zjednodušení konstantní zatížení $s := 2.1kPa$

Svislé - směr z $s_z := \cos(\alpha) \cdot s = 2.088 \cdot kPa$

Uvažovaná zatížení pro posudek TR plechu

	Charakteristické z. g_k	Souč. spolehlivosti γ_F	Návrhové z. g.d [kN/m2]
Střešní plášť	0.408	1.35	0.55
Sníh navátý	2.088	1.5	3.1
Vítr (tlak)	Nevzniká		
Vítr (sání) W_{F2}	−1.35	1.5	−2.03
Montážní	0.75	1.5	1.125

Max. zatížení pro prozitivní uložení

Střešní plášť + sníh
Charakteristické $Ek_p := (0.408 + 2.088)kPa = 2.496 \cdot kPa$
Návrhové $Ed_p := (0.55 + 3.1)kPa = 3.65 \cdot kPa$

Max. zatížení pro negativní uložení

Střešní plášť + vítr (sání)
Charakteristické $Ek_n := (0.408 - 1.35)kPa = -0.942 \cdot kPa$
Návrhové $Ed_n := (0.408 - 2.03)kPa = -1.622 \cdot kPa$

Návrh trapézového plechu TR 200/420, tl.=1.25mm S320GD

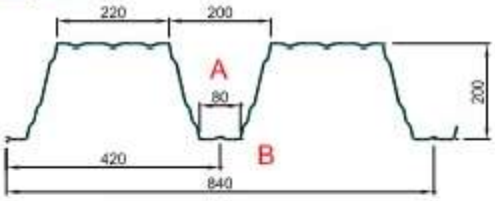
TR 200/420

Deformace = **L/200**

Přípustné rovnoměrné zatížení [kN/m²]

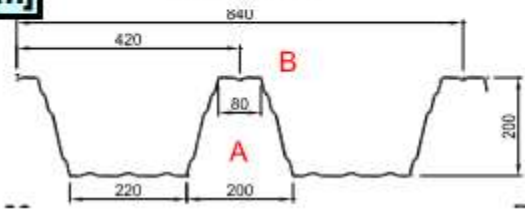
t_N [mm]	g [kg/m²]	Rozpětí [m]	7,50
1,25	17,86	q_{d1}	3,74
		q_{d2}	3,29
		q_k	*4,28*

pozitivní



t_N [mm]	g [kg/m²]	Rozpětí [m]	7,50
1,25	17,86	q_{d1}	3,03
		q_{d2}	2,66
		q_k	*5,40*

negativní



Zdroj: http://kovprof.cz/hlavni-stranka/trapezove-profily/technicke-informace/tabulky-unosnosti/

Hodnota q_{d1} platí pro přesah plechu za podporu o 300mm

Posudek MSÚ $Rd_p := 3.74\frac{kN}{m^2}$. ≥ . $Ed_p = 3.65\cdot\frac{kN}{m^2}$

$Rd_n := -3.03\frac{kN}{m^2}$. ≥ . $Ed_n = -1.62\cdot\frac{kN}{m^2}$

Posudek MSP $Rk_p := 4.28\frac{kN}{m^2}$. ≥ . $Ek_p = 2.496\cdot\frac{kN}{m^2}$

$Rk_n := -5.4\frac{kN}{m^2}$. ≥ . $Ek_n = -0.942\cdot\frac{kN}{m^2}$

8. Návrh opláštění stěn

Jsou navrženy kazetové stěny Ruuki typ A jako prostý nosník dle tabulek únosnosti. (Kovové profily Praha)

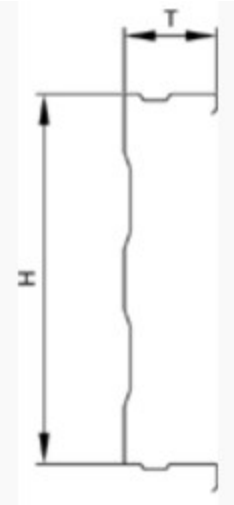
Rozpětí $L = 7.5\,m$

Uvažovaná zatížení pro posudek TR plechu

		Charakteristické z. g_k	Souč. spolehlivosti γ_F	Návrhové z. g.d [kN/m2]
Vítr	W_A	0.67	1.5	1.005

Návrh K 150/600, tl. 1mm - typ A

K 150/600 typ A			
Tloušťka (mm)	Hmotnost (kg/m²)	Návrhové zatížení v kN/m²	
		L=	7,50
1,00	12,70	*1*	**1,11**
		2	*1,00*
		3	*0,75*
Vysvětlikvy			
	řádek 1	zatížitelnost z hlediska pevnosti	



Posudek MSÚ $R_d := 1.11\,\frac{kN}{m^2}$. ≥ . $E_d := 1.005\,\frac{kN}{m^2}$ Vyhovuje

9. Kombinace

Kombinace KZ1 až KZ19 a KZ28 až KZ34 jsou použity pro mezní stav únosnosti (MSÚ).

Kombinace KZ20 až KZ27 jsou použity pro mezní stav použitelnosti (MSP).

Výpočet vnitřních sil ze všech kombinací je proveden analýzou podle druhého řádu.

Pro kombinace zatížení pro MSÚ je použit následující vztah (6.10)

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} \text{"+"} \gamma_P P \text{"+"} \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \text{"+"} \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Pro kombinace zatížení pro MSP je použita charakteristická kombinace (6.14b)

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \text{"+"} P \text{"+"} Q_{k,1} \text{"+"} \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Studentská verze

9.1 ZATĚŽOVACÍ STAVY

Zatěž. stav	Označení zatěž. stavu	EN 1990 | ČSN Kategorie účinků	Vlastní tíha - Součinitel ve směru Aktivní	X	Y	Z
ZS1	Vlastní tíha	Stálé	☒	0.000		1.000
ZS2	Plášť		☐			
ZS3	Sníh nerovnoměrný	Sníh (H ≤ 1000 m n.m.)	☐			
ZS4	Sníh navátý	Sníh (H ≤ 1000 m n.m.)	☐			
ZS6	Vítr příčný	Vítr	☐			
ZS7	Vítr podélný	Vítr	☐			
ZS8	Vítr příčný - max náklon	Vítr	☐			
ZS9	Imperfekce	Imperfekce	☐			
ZS10	Jeřáb 1 - max svislé, stejný pojezd + max náklon	Užitná zatížení - kategorie A: obytné plochy a plochy pro domácí činnosti	☐			
ZS11	Jeřáb 2 - max svislé, opačný pojezd	Užitná zatížení - kategorie A: obytné plochy a plochy pro domácí činnosti	☐			
ZS12	Jeřáb 3 - max svislé v krajním sloupu	Užitná zatížení - kategorie A: obytné plochy a plochy pro domácí činnosti	☐			
ZS13	Jeřáb 4 - max ohyb sloupu	Užitná zatížení - kategorie A: obytné plochy a plochy pro domácí činnosti	☐			
ZS14	Jeřáb 5 - max ohyb krajního sloupu + max náklon příčný	Užitná zatížení - kategorie A: obytné plochy a plochy pro domácí činnosti	☐			
ZS15	Teplota - ohřátí o 25°	Teplota (bez požáru)	☐			
ZS16	Teplota - ochlazení o 15°	Teplota (bez požáru)	☐			

9.2 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Kombin. zatížení	Kombinace zatížení NS	Označení	č.	Součinitel	Zatěžovací stav	
KZ1		Max svislé sloup - nerovn	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS3	Sníh nerovnoměrný
			4	1.00	ZS9	Imperfekce
			5	1.35	ZS10	Jeřáb 1 - max svislé, stejný pojezd + max náklon
			6	0.90	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°
KZ3		Max svoslé sníh navát	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS4	Sníh navátý
			4	1.00	ZS9	Imperfekce
			5	1.35	ZS10	Jeřáb 1 - max svislé, stejný pojezd + max náklon
			6	0.90	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°
KZ4		Max svislé v krajním - nerovn	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS3	Sníh nerovnoměrný
			4	1.00	ZS9	Imperfekce
			5	1.35	ZS12	Jeřáb 3 - max svislé v krajním sloupu
			6	0.90	ZS15	Teplota - ohřátí o 25°
KZ5		Max svislé v krajním - navát	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS4	Sníh navátý
			4	1.00	ZS9	Imperfekce
			5	1.35	ZS12	Jeřáb 3 - max svislé v krajním sloupu
			6	0.90	ZS15	Teplota - ohřátí o 25°
KZ6		Max svislé v krajním - vítr, nerovn	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS3	Sníh nerovnoměrný
			4	0.90	ZS6	Vítr příčný
			5	1.00	ZS9	Imperfekce
			6	1.35	ZS12	Jeřáb 3 - max svislé v krajním sloupu
			7	0.90	ZS15	Teplota - ohřátí o 25°
KZ7		Max svislé v krajním - vítr navát	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS4	Sníh navátý
			4	0.90	ZS6	Vítr příčný
			5	1.00	ZS9	Imperfekce
			6	1.35	ZS12	Jeřáb 3 - max svislé v krajním sloupu
			7	0.90	ZS15	Teplota - ohřátí o 25°
KZ8		Max ohyb nerovn	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS3	Sníh nerovnoměrný
			4	1.00	ZS9	Imperfekce
			5	1.35	ZS13	Jeřáb 4 - max ohyb sloupu
			6	0.90	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°
KZ9		Max ohyb navát	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS4	Sníh navátý
			4	1.00	ZS9	Imperfekce
			5	1.35	ZS13	Jeřáb 4 - max ohyb sloupu
			6	0.90	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°
KZ10		Max ohyb nerovn (dom) vítr	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS3	Sníh nerovnoměrný
			4	0.90	ZS8	Vítr příčný - max náklon
			5	1.00	ZS9	Imperfekce
			6	1.35	ZS13	Jeřáb 4 - max ohyb sloupu
			7	0.90	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°
KZ11		Max ohyb navát (dom) vítr	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS4	Sníh navátý
			4	0.90	ZS8	Vítr příčný - max náklon
			5	1.00	ZS9	Imperfekce
			6	1.35	ZS13	Jeřáb 4 - max ohyb sloupu
			7	0.90	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°

9.2 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Kombin. zatížení	NS	Kombinace zatížení Označení	č.	Součinitel	Zatěžovací stav	
KZ12		Max ohyb navát vítr (dom)	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	0.75	ZS4	Sníh navátý
			4	1.50	ZS8	Vítr příčný - max náklon
			5	1.00	ZS9	Imperfekce
			6	1.35	ZS13	Jeřáb 4 - max ohyb sloupu
			7	0.90	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°
KZ13		Max ohyb krajní - nerovn	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS3	Sníh nerovnoměrný
			4	1.00	ZS9	Imperfekce
			5	1.35	ZS14	Jeřáb 5 - max ohyb krajního sloupu + max náklon příčný
			6	0.90	ZS15	Teplota - ohřátí o 25°
KZ14		Max ohyb krajní - navát	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS4	Sníh navátý
			4	1.00	ZS9	Imperfekce
			5	1.35	ZS14	Jeřáb 5 - max ohyb krajního sloupu + max náklon příčný
			6	0.90	ZS15	Teplota - ohřátí o 25°
KZ15		Max ohyb krajní - nerovn (dom) vítr	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS3	Sníh nerovnoměrný
			4	0.90	ZS8	Vítr příčný - max náklon
			5	1.00	ZS9	Imperfekce
			6	1.35	ZS14	Jeřáb 5 - max ohyb krajního sloupu + max náklon příčný
			7	0.90	ZS15	Teplota - ohřátí o 25°
KZ16		Max ohyb krajní - navát (dom) vítr	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS4	Sníh navátý
			4	0.90	ZS8	Vítr příčný - max náklon
			5	1.00	ZS9	Imperfekce
			6	1.35	ZS14	Jeřáb 5 - max ohyb krajního sloupu + max náklon příčný
			7	0.90	ZS15	Teplota - ohřátí o 25°
KZ17		Max ohyb krajní - navát vítr (dom)	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	0.75	ZS4	Sníh navátý
			4	1.50	ZS8	Vítr příčný - max náklon
			5	1.00	ZS9	Imperfekce
			6	1.35	ZS14	Jeřáb 5 - max ohyb krajního sloupu + max náklon příčný
			7	0.90	ZS15	Teplota - ohřátí o 25°
KZ18		Max tahové v patách sloupů - příčný v.	1	1.00	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.00	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS6	Vítr příčný
			4	1.00	ZS9	Imperfekce
			5	0.90	ZS15	Teplota - ohřátí o 25°
KZ19		Max tahové v patách sloupů - podélný v	1	1.00	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.00	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS7	Vítr podélný
			4	1.00	ZS9	Imperfekce
			5	0.90	ZS15	Teplota - ohřátí o 25°
KZ20		MSP Vodorovný posun - příčný v.	1	1.00	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.00	ZS2	Plášť
			3	0.50	ZS3	Sníh nerovnoměrný
			4	1.00	ZS8	Vítr příčný - max náklon
			5	1.00	ZS9	Imperfekce
			6	1.00	ZS13	Jeřáb 4 - max ohyb sloupu
			7	0.60	ZS15	Teplota - ohřátí o 25°
KZ21		MSP vodorovný posun podélný v.	1	1.00	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.00	ZS2	Plášť
			3	1.00	ZS7	Vítr podélný
			4	1.00	ZS9	Imperfekce
			5	1.00	ZS13	Jeřáb 4 - max ohyb sloupu
KZ22		MSP svislý posun - nerovn	1	1.00	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.00	ZS2	Plášť
			3	1.00	ZS3	Sníh nerovnoměrný
			4	1.00	ZS10	Jeřáb 1 - max svislé, stejný pojezd + max náklon
KZ23		MSP svislý posun - navát. s.	1	1.00	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.00	ZS2	Plášť
			3	1.00	ZS4	Sníh navátý
			4	1.00	ZS10	Jeřáb 1 - max svislé, stejný pojezd + max náklon
KZ24		MSP - průhyb příčle	1	1.00	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.00	ZS2	Plášť
			3	1.00	ZS3	Sníh nerovnoměrný
			4	1.00	ZS9	Imperfekce
			5	0.60	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°
KZ25		MSP - průhyb příčle 2	1	1.00	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.00	ZS2	Plášť
			3	1.00	ZS4	Sníh navátý
			4	1.00	ZS9	Imperfekce
			5	0.60	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°
KZ26		MSP - průhyb příčle 3	1	1.00	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.00	ZS1	Vlastní tíha
			3	1.00	ZS3	Sníh nerovnoměrný
			4	0.60	ZS8	Vítr příčný - max náklon
			5	1.00	ZS9	Imperfekce
			6	0.60	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°
KZ27		MSP průhyb příčle 4	1	1.00	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.00	ZS1	Vlastní tíha
			3	1.00	ZS4	Sníh navátý
			4	0.60	ZS8	Vítr příčný - max náklon
			5	1.00	ZS9	Imperfekce
			6	0.60	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°
KZ28		Sloup v kroucení	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS4	Sníh navátý

Studentská verze

9.2 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Kombin. zatížení	Kombinace zatížení NS	Označení	č.	Součinitel	Zatěžovací stav	
			4	1.00	ZS9	Imperfekce
			5	1.35	ZS11	Jeřáb 2 - max svislé, opačný pojezd
			6	0.90	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°
KZ29		Sloup v kroucení s větrem	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS4	Sníh navátý
			4	0.90	ZS8	Vítr příčný - max náklon
			5	1.00	ZS9	Imperfekce
			6	1.35	ZS11	Jeřáb 2 - max svislé, opačný pojezd
			7	0.90	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°
KZ30		Sloup v kroucení s větrem dom	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	0.75	ZS4	Sníh navátý
			4	1.50	ZS8	Vítr příčný - max náklon
			5	1.00	ZS9	Imperfekce
			6	1.35	ZS11	Jeřáb 2 - max svislé, opačný pojezd
			7	0.90	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°
KZ31		Max moment Mz s podelnym větrem	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	1.50	ZS4	Sníh navátý
			4	0.90	ZS7	Vítr podélný
			5	1.00	ZS9	Imperfekce
			6	1.35	ZS10	Jeřáb 1 - max svislé, stejný pojezd + max náklon
			7	0.90	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°
KZ32		Max moment Mz s podelnym větrem dom	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	0.75	ZS4	Sníh navátý
			4	1.50	ZS7	Vítr podélný
			5	1.00	ZS9	Imperfekce
			6	1.35	ZS10	Jeřáb 1 - max svislé, stejný pojezd + max náklon
			7	0.90	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°
KZ34		Max moment Mz s podelnym větrem dom	1	1.35	ZS1	Vlastní tíha
			2	1.35	ZS2	Plášť
			3	0.75	ZS4	Sníh navátý
			4	0.90	ZS7	Vítr podélný
			5	1.00	ZS9	Imperfekce
			6	1.35	ZS10	Jeřáb 1 - max svislé, stejný pojezd + max náklon
			7	1.50	ZS16	Teplota - ochlazení o 15°

Studentská verze

10. Volba konstrukčního systému

Provede se posouzení jednotlivých konstrukčních systému na kombinaci KZ20, která způsobuje maximální vodorovný posun krajního sloupu a kombinaci KZ8 pro MSÚ příčle.

Pro návrh příčle je použita hodnota χ_{LT}=0.22, což je skutečná výpočtená hodnota pro 4. variantu. (viz návrh příčle). Předpokládá se že v ostatních variantách je χ_{LT} obdobné.

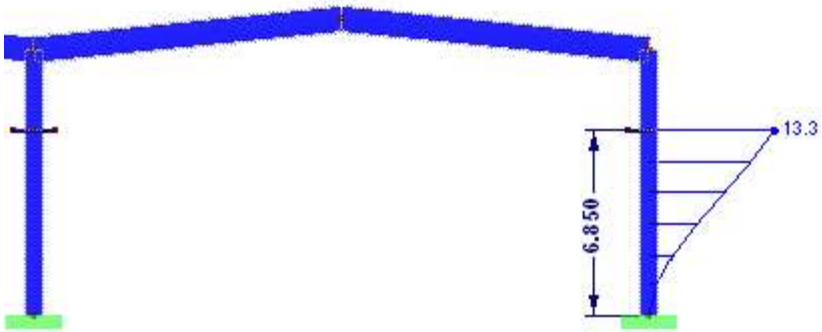
Pro návrh sloupu je vodorovný posun porovnán s hodnotou maximálního vodorovného posunu pro jeřábový nosník. Což je L / 400 = 7335mm / 400 = 18,3mm

1. Varianta

Patky: Vetknuté

Sloupy: HEB 650

Příčle: HEA 900



Posudek příčle na klopení:

Návrhový moment v rohu $M_{Ed.1} := 729.5kN \cdot m$

Součinitel klopení $\chi_{LT1} := 0.22$

Plastický průřezový modul $W_{pl.y1} := 10810 \cdot 10^3 mm^3$

Momentová únosnost $M_{Rd.1} := \chi_{LT1} \cdot W_{pl.y1} \cdot 355MPa = 844.3 \cdot kN \cdot m$

Posudek $\eta_1 := \frac{M_{Ed.1}}{M_{Rd.1}} = 0.86 \quad . \le 1$

Hmotnost rámu: 34.8 t

Vodorovný posun: 13.3 mm $. \le 18.3mm$

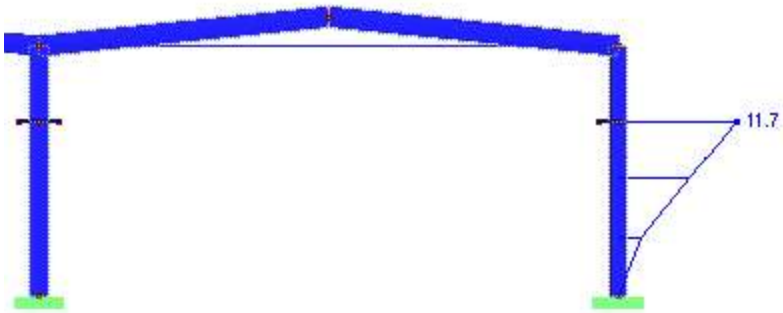
2. Varianta

Patky: Vetknuté

Táhlo: RD 80

Sloupy: HEB 650

Příčle: HEA 800



Posudek příčle na klopení:

Návrhový moment v rohu $M_{Ed.2} := 672kN \cdot m$

Součinitel klopení $\chi_{LT2} := 0.22$

Plastický průřezový modul $W_{pl.y2} := 8699 \cdot 10^3 mm^3$

Momentová únosnost $M_{Rd.2} := \chi_{LT2} \cdot W_{pl.y2} \cdot 355MPa = 679.4 \cdot kN \cdot m$

Posudek $\eta_2 := \frac{M_{Ed.2}}{M_{Rd.2}} = 0.99 \quad . \leq 1$

Hmotnost rámu: 35.9 t

Vodorovný posun: 11.7 mm $. \leq 18.3mm$

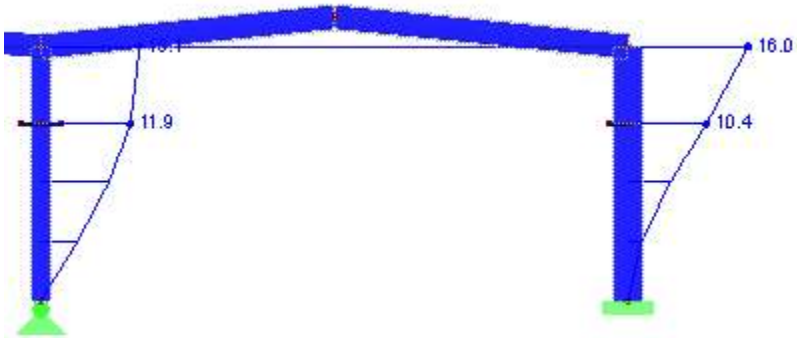
3. Varianta

Patky: Krajní vetknuté, střední kloubové

Táhlo: RD 80

Sloupy: HEB 1000 a HEB 650

Příčle: HEA 900



Posudek příčle na klopení:

Návrhový moment v rohu $M_{Ed.3} := 694.1kN \cdot m$

Součinitel klopení $\chi_{LT3} := 0.22$

Plastický průřezový modul $W_{pl.y3} := 10810 \cdot 10^3 mm^3$

Momentová únosnost $M_{Rd.3} := \chi_{LT3} \cdot W_{pl.y3} \cdot 355MPa = 844.3 \cdot kN \cdot m$

Posudek $\eta_3 := \frac{M_{Ed.3}}{M_{Rd.3}} = 0.82 \quad . \le 1$

Hmotnost rámu: 40.1 t

Vodorovný posun: 11.9 mm $. \le 18.3mm$

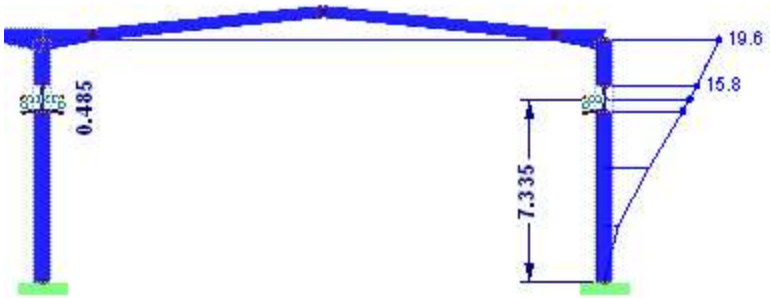
4. Varianta

Patky: Vetknuté

Táhlo: RD 80

Sloupy: HEB 650

Příčle: HEA 500 s náběhy o výšce 410mm



Posudek příčle na klopení:

Návrhový moment v rohu $M_{Ed.4} := 520.5kN \cdot m$

Součinitel klopení $\chi_{LT4} := 0.22$

Plastický průřezový modul $W_{pl.y4} := 8555 \cdot 10^3 mm^3$

Momentová únosnost $M_{Rd.4} := \chi_{LT4} \cdot W_{pl.y4} \cdot 355MPa = 668.1 \cdot kN \cdot m$

Posudek $\eta_4 := \frac{M_{Ed.4}}{M_{Rd.4}} = 0.78 \quad . \leq 1$

Hmotnost rámu: 30.6 t

Vodorovný posun: 14.6 mm $. \leq 18.3mm$

Zhodnocení:

Nejvýhodnější je 4. varianta. Hmotnost rámu je výrazně nižší než u ostatních variant.

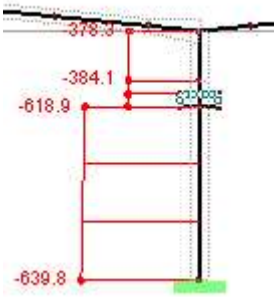
11. Návrh sloupu

11.1 Kombinace KZ16 pro MSÚ

Dle modulu RSTAB STEEL EC3 vychází pro tuto kombinaci největší využití.

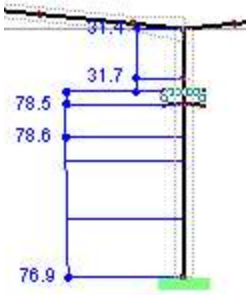
Normálová síla

$N_{Ed} := 640kN$



Posouvající síla

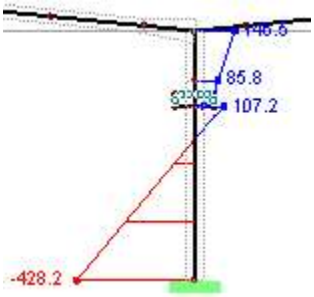
$V_{Ed} := 77kN$



Moment

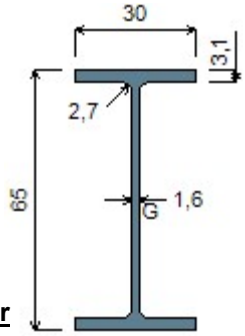
$M_{Ed.a} := 428kN \cdot m$

$M_{Ed.b} := 146kN \cdot m$



Návrh: **HEB 650 S355**

Youngův modul	$E := 210GPa$	$G := 80.7GPa$
Mez kluzu	$f_y := 355MPa$	
Součinitele spolehlivosti	$\gamma_{M0} := 1.0$	$\gamma_{M1} := 1.0$
Plocha	$A := 28630mm^2$	
Moment setrvačnosti	$I_y := 2106 \cdot 10^6 mm^4$	$I_z := 139.8 \cdot 10^6 mm^4$
Pružný průřezový modul	$W_{el.y} := 6480 \cdot 10^3 mm^3$	$W_{el.z} := 932 \cdot 10^3 mm^3$
Výsečový moment setrvačnosti	$I_w := 13360 \cdot 10^9 mm^6$	
Moment tuhost v kroucení	$I_t := 7392 \cdot 10^3 mm^4$	
Zatřídění nosníku	Třída 3	
Poloměr setrvačnosti	$i_y := 271.2mm$	
	$i_z := 69.9mm$	



11.1.1 Posudek nosníku na vzpěr

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235MPa}{f_y}} = 0.81$$

Dle ČSN EN 1993-1-1

Dle ČSN EN 1993-1-1 část 5.2.2 lze při analýze II.řádu se zavedením globálních imperfekcí uvažovat vzpěrné délky rovné systemovým.

Systémová délka sloupu $L := 9.8m$

Vzpěrná délka $L_{cr.y} := 1.0 \cdot L = 9.8\,m$ $L_{cr.z} := 1.0 \cdot L = 9.8\,m$

Jednotková štíhlost $\lambda_1 := 93.9 \cdot \varepsilon = 76.399$

Poměrná štíhlost $\lambda_y := \frac{L_{cr.y}}{i_y \cdot \lambda_1} = 0.473$ $\lambda_z := \frac{L_{cr.z}}{i_z \cdot \lambda_1} = 1.835$

Křivka vzpěrné pevnosti *a* *b*

Součinitel imperfekce $\alpha_y := 0.21$ $\alpha_z := 0.34$

$\phi_y := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_y \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2\right] = 0.641$ $\phi_z := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_z \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2\right] = 2.462$

Součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru

$$\chi_y := \frac{1}{\left(\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}\right)} = 0.93 \qquad \chi_z := \frac{1}{\left(\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}\right)} = 0.24$$

$N_{b.y.Rd} := \chi_y \cdot A \cdot f_y = 9477.1 \cdot kN$ $N_{b.z.Rd} := \chi_z \cdot A \cdot f_y = 2477.3 \cdot kN$

11.1.2 Posudek nosníku na klopení

Dle ČSN EN 1993-1-1

Ve výpočtu se uvažuje že působiště zatížení je ve středu smyku (těžišti)

Součinitele vzpěrné délky $k_y := 1.0$

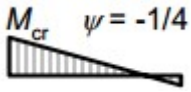
$k_z := 1.0$

$k_w := 0.7$

Poměr koncových momentů $\psi := \frac{M_{Ed.b}}{-M_{Ed.a}} = -0.341$ což je dle tabulky NB.3.1 nejblíže hodnotě ψ=-1/4

Součinitele C $C_{1.0} := 2.05$

$C_{1.1} := 2.21$



Parametr kroucení $k_{wt} := \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = 0.99$

$C_1 := C_{1.0} + (C_{1.1} - C_{1.0}) \cdot k_{wt} = 2.20 \; . \le . \; C_{1.1} = 2.21$ Vyhovuje

Parametr kritického momentu $\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \cdot \left(\sqrt{1 + k_{wt}^2}\right) = 3.11$

Kritický moment $M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 4176.5 \cdot kN \cdot m$

Poměrná štíhlost $\lambda_{LT} := \sqrt{\frac{W_{el.y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = 0.742$

Křivka klopení c $\alpha_{LT} := 0.49$

$\lambda_{LT.0} := 0.4$

$\beta := 0.75$

$$\Phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot \left(\lambda_{LT} - \lambda_{LT.0}\right) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2\right] = 0.79$$

Součinitel klopení $\chi_{LT} := \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = 0.8$

Únosnost v klopení $M_{b.Rd} := \frac{\chi_{LT} \cdot W_{el.y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1839.8 \cdot kN \cdot m$

Posouzení únosnosti $\frac{M_{Ed.a}}{M_{b.Rd}} = 0.23 \quad . \le 1$ Vyhovuje

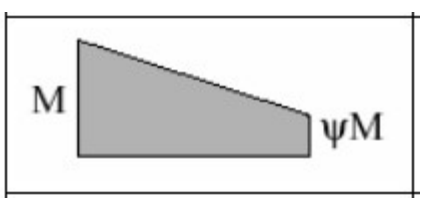
11.1.3 Interakce klopení a vzpěru

(Dle ČSN EN 1993-1-1, příloha B)

Interakční součinitele k.ij

Součinitel ekvivalentního konstantního momentu

C_{my} C_{mLT}



$\psi = -0.341$

$C_{my} := 0.9$ Pro vybočení s posuvem styčníků

$C_{mLT} := 0.6 + 0.4 \cdot \psi = 0.46 \quad . \ge 0.4$ Vyhovuje

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \lambda_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b.y.Rd}}\right) = 0.92 \quad . \le . \quad C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b.y.Rd}}\right) = 0.94$$

$$k_{zy} := 1 - \frac{0.05 \cdot \lambda_z}{\left(C_{mLT} - 0.25\right)} \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b.z.Rd}} = 0.89 \quad . \ge . \quad 1 - \frac{0.05}{\left(C_{mLT} - 0.25\right)} \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b.z.Rd}} = 0.94 \quad k_{zy} := 0.94$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b.y.Rd}} + k_{yy}\frac{M_{Ed.a}}{M_{b.Rd}} = 0.28 \qquad . \le 1$$ Vyhovuje

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b.z.Rd}} + k_{zy}\cdot\frac{M_{Ed.a}}{M_{b.Rd}} = 0.48 \qquad . \le 1$$ Vyhovuje

11.1.4 Posudek na smyk

(Dle ČSN EN 1993-1-1)

Návrhová smyková síla $V_{Ed} = 77\cdot kN$

Smyková plocha pro HEB 650 $A_{v.z} := 12200mm^2$

Smyková únosnost $V_{Rd} := A_{v.z}\cdot\frac{f_y}{\sqrt{3}\cdot\gamma_{M0}} = 2500.5\cdot kN$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = 0.03 \qquad . \le 1$$ Vyhovuje

$$. \le 0.5$$ Malý smyk, není potřeba posudek interakce s ohybem

11.2 Kombinace KZ28 pro MSÚ

V této kombinaci dochází navíc ke kroucení sloupu od jeřábů jedoucích proti sobě.

Normálová síla

$N_{Ed} := 825.8kN$

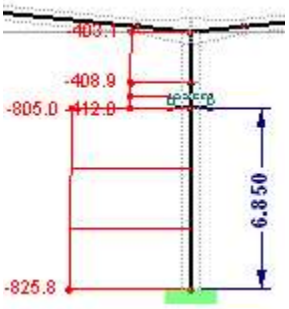
Posouvající síla

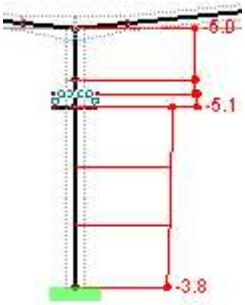
$V_{Ed} := 3.8kN$

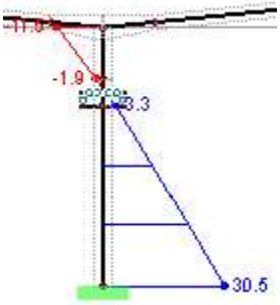
Moment

$M_{Ed.a} := 30.5kN\cdot m$

$M_{Ed.b} := 11.5kN\cdot m$







Moment $M_{z.Ed} := 0kN\cdot m$

11.2.1 Posudek nosníku na vzpěr

Stejná únosnost jako v předchozí kombinaci, tj. $N_{b.y.Rd} = 9477.1\cdot kN$

$N_{b.z.Rd} = 2477.3\cdot kN$

11.2.2 Posudek nosníku na klopení

Poměr koncových momentů $\psi := \frac{M_{Ed.b}}{-M_{Ed.a}} = -0.377$ což přibližně odpovídá hodnotě ψ v posudku na předchozí kombinaci

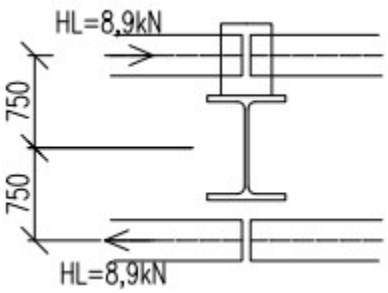
Kritický moment i Únosnost v klopení jsou tedy stejné jako v posudku na předchozí kombinaci.

Únosnost v klopení $M_{b.Rd} = 1839.8 \cdot kN \cdot m$

11.2.3 Posudek nosníku na kroucení

(Dle A. Hughes, D.Iles, A. Malik - Design of steel beams in torsion, 2011)

V patce sloupu je zabráněno deplanaci průřezu a tak lze uvažovat, že dochází pouze k vázanému kroucení. Účinek prostého kroucení se zanedbá.



Návrhová kroutící síla od jeřábu $H_{Ed} := 1.35 \cdot 8.9kN = 12 \cdot kN$

Excentricita zatížení $e := 750mm$

Kroutící moment $T_{Ed} := 2H_{Ed} \cdot e = 18 \cdot kN \cdot m$

Vázaný kroutící moment v patě sloupu $T_w := T_{Ed} = 18 \cdot kN \cdot m$

Prostý kroutící moment v patě sloupu $T_t := 0kN \cdot m$

Charakteristiky profilu

Šířka profilu $b := 300mm$

Výška profilu $h := 650mm$

Tloušťka pásnice $t_f := 31mm$

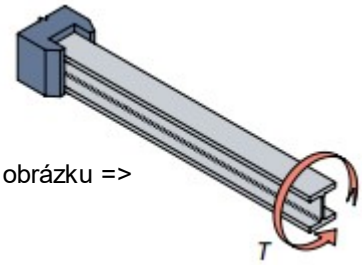
Výška jeřábové dráhy od patky sloupu $L := 6.85m$

Vzdálenost od patky sloupu kde počítám napětí od kroucení $x := 0m$

Moment tuhost v kroucení $I_t = 7.392 \times 10^6 \cdot mm^4$

Výsečový moment setrvačnosti $I_w = 1.336 \times 10^{13} \cdot mm^6$

Kroutící ohybová konstanta (str. 12) $a := \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = 2.17\,m$



Pro výpočet se zjednodušeně uvažuje kroucená konzola jako na obrázku =>

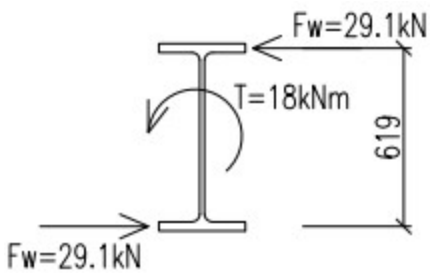
Druhá derivace úhlu od kroucení

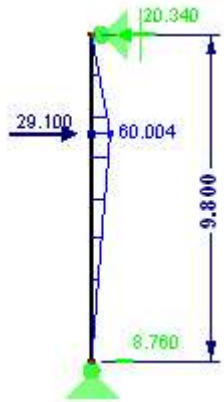
$$\phi_2 := \frac{T_{Ed}}{G \cdot I_t \cdot a} \cdot \left(\tanh\left(\frac{L}{a}\right) \cdot \cosh\left(\frac{x}{a}\right) - \sinh\left(\frac{x}{a}\right) \right) = 0.014 \frac{1}{m^2}$$

Moment od vázaného kroucení v pásnici $M_{w.Ed} := E \cdot \frac{I_z}{2} \cdot \phi_2 \cdot \frac{(h - t_f)}{2} = 63.1 \cdot kN \cdot m$

<u>Alternativní výpočet momentu od vázaného kroucení</u>

Síla od kroucení na jednu pásnici $F_w := \frac{T_{Ed}}{h - t_f} = 29.1 \cdot kN$





$M_{w.Ed.alt} := 60kN \cdot m$

Silou F_w=29,1kN se následně zatíží prostý nosník (pásnice sloupu) a spočte se ohybový moment. Výsledný moment je 60,0kNm.
<u>Závěr</u>: První způsob výpočtu je konzervativní, protože uvažuji kroucení pouze na konzole, ačkoli sloup je v hlavě připojen k příčli. Skutečný moment M_w by tedy byl menší.
Ve druhém způsobu výpočtu se uvažuje, že kroutící moment T_{Ed} způsobuje pouze vázané kroucení, ačkoli ve skutečnosti se momenent rozdělí mezi vázané a prosté kroucení. Moment M_w by tedy i v tomto případě měl být menší, Pro posouzení sloupu se následně uvažuje hodnota M_w dle prvního způsobu výpočtu.

Únosnost pásnice v kroucení $M_{w.Rd} := f_y \cdot \frac{W_{el.z}}{2 \cdot \gamma_{M1}} = 165.4 \cdot kN \cdot m$

<u>11.2.4 Interakce vzpěru, klopení a kroucení</u>

(Dle A. Hughes, D.Iles, A. Malik - Design of steel beams in torsion, 2011)

$k_w := 0.7 - 0.2 \cdot \frac{M_{w.Ed}}{M_{w.Rd}} = 0.624$ $\quad k_{zw} := 1$ $\quad k_\alpha := \frac{1}{1 - \frac{M_{Ed.a}}{M_{cr}}} = 1.007$

$\frac{N_{Ed}}{N_{b.y.Rd}} + k_{yy} \frac{M_{Ed.a}}{M_{b.Rd}} + \frac{M_{w.Ed} \cdot k_w \cdot k_{zw} \cdot k_\alpha}{M_{w.Rd}} = 0.342 \quad . \le 1$ Vyhovuje

$\frac{N_{Ed}}{N_{b.z.Rd}} + k_{zy} \frac{M_{Ed.a}}{M_{b.Rd}} + \frac{M_{w.Ed} \cdot k_w \cdot k_{zw} \cdot k_\alpha}{M_{w.Rd}} = 0.588 \quad . \le 1$ Vyhovuje

11.2.5 Posudek na smyk
(Dle ČSN EN 1993-1-1)

Zjednodušeně se uvažuje, že na stojinu působí pouze síla V_{Ed} a na pásnici jen síla od vázaného kroucení V_w

Stojina

Návrhová smyková síla $V_{Ed} = 3.8 \cdot kN$

Smyková plocha pro HEB 650 $A_{v.z} := 12200mm^2$

Smyková únosnost $V_{Rd} := A_{v.z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 2500.5 \cdot kN$

$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = 0.0015$ $. \leq 1$ Vyhovuje

$. \leq 0.5$ Malý smyk, není potřeba posudek interakce s ohybem

Pásnice

Vázaný kroutící moment T_w vyvozuje smykovou sílu na pásnici V_w (str. 20)

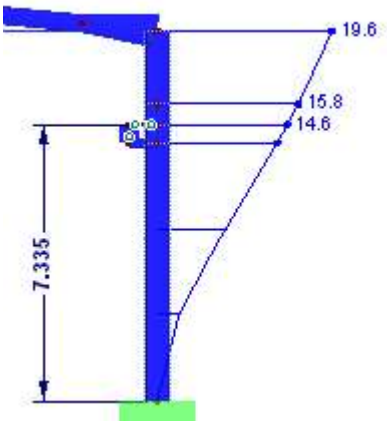
$V_w := \frac{T_w}{h - t_f} = 29.1 \cdot kN$

Napětí uprostřed pásnice $\tau_w := \frac{V_w}{t_f \cdot 300mm} = 3.1 \cdot MPa$

Posouzení $3 \cdot \left(\frac{\tau_w}{f_y}\right)^2 = 0.0002$ $. \leq 1$ Vyhovuje

11.3 Posudek MSP

Kombinace KZ20 pro MSP



Průhyb

V míste koleje

$\delta_{lim} := \frac{7335mm}{400} = 18.3 \cdot mm$

$\delta := 14.6mm$ Vyhovuje

V hlavě sloupu

$\delta_{lim} := 9800 \frac{mm}{150} = 65.3 \cdot mm$

$\delta := 19.6mm$ Vyhovuje

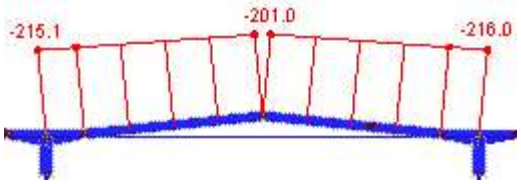
12. Návrh příčle

12.1 Kombinace KZ8 pro MSÚ

Dle modulu RSTAB STEEL EC3 vychází pro tuto kombinace největší využití.

Normálové síla

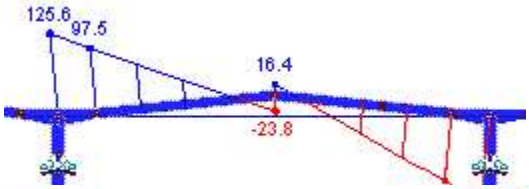
$N_{Ed} := 216kN$



Posouvající síla

$V_{z.Ed} := 132.6kN$

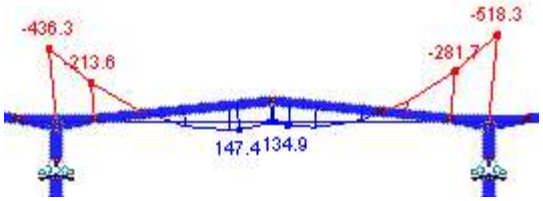
$V_{z.Ed.b} := 104.6$



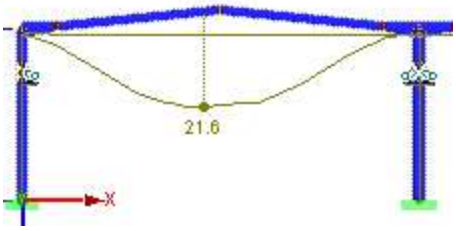
Ohybový moment

$M_{y.Ed.a} := 518.3kN \cdot m$

$M_{y.Ed.b} := 281.7kN \cdot m$



12.2 Kombinace KZ24 pro MSP



Průhyb $\delta := 21.6mm$

$\delta_{lim} := \frac{22500mm}{250} = 90 \cdot mm$ Vyhovuje

Návrh: **HEA 500 S355** na krajích je 2m dlouhý náběh 410mm vysoký

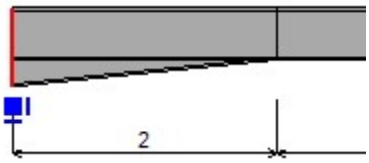
Youngův modul $E := 210GPa$

Mez kluzu $f_y := 355MPa$

Součinitele spolehlivosti $\gamma_{M0} := 1.0$ $\gamma_{M1} := 1.0$

Plocha $A := 19750mm^2$

Moment setrvačnosti $I_y := 869.7 \cdot 10^6 mm^4$



Zatřídění nosníku Třída 2

Poloměr setrvačnosti $i_y := 209.8mm$ $i_z := 72.5mm$

12.1.1 Posudek nosníku na vzpěr

Dle ČSN EN 1993-1-1

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235MPa}{f_y}} = 0.81$$

Vzpěrná délka $L_{cr.y} := 22.5m$ $L_{cr.z} := 5.625m$

Jednotková štíhlost $\lambda_1 := 93.9 \cdot \varepsilon = 76.399$

Poměrná štíhlost $\lambda_y := \frac{L_{cr.y}}{i_y \cdot \lambda_1} = 1.404$ $\lambda_z := \frac{L_{cr.z}}{i_z \cdot \lambda_1} = 1.016$

Křivka vzpěrné pevnosti *a* *b*

Součinitel imperfekce $\alpha_y := 0.21$ $\alpha_z := 0.34$

$$\phi_y := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_y \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2\right] = 1.612 \quad \phi_z := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_z \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2\right] = 1.154$$

Součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru

$$\chi_y := \frac{1}{\left(\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}\right)} = 0.42 \quad \chi_z := \frac{1}{\left(\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}\right)} = 0.59$$

$N_{b.y.Rd} := \chi_y \cdot A \cdot f_y = 2917.2 \cdot kN$ $N_{b.z.Rd} := \chi_z \cdot A \cdot f_y = 4116.9 \cdot kN$

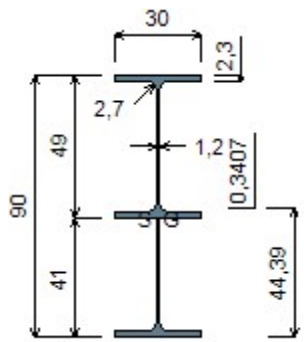
12.1.2 Posudek nosníku na klopení

Dle ČSN EN 1993-1-1

a) v podpoře (záporný moment) $M_{y.Ed.a} = 518.3 \cdot kN \cdot m$

Výpočet kritického momentu Mcr programem LTBeam $M_{cr.y} := 524.4kN \cdot m$

Průřezové moduly HEA 500 s náběhem 410mm



$W_{el.y.horni} := 7438cm^3$

$W_{el.y.dolni} := 7462cm^3$

$W_{pl.y} := 8555cm^3$

$W_{pl.z} := 1593.7cm^3$

Poměrná štíhlost $\lambda_{LT} := \sqrt{\frac{W_{el.y.dolni} \cdot f_y}{M_{cr.y}}} = 2.25$

Křivka klopení b $\alpha_{LT} := 0.34$

$\lambda_{LT.0} := 0.4$

$\beta := 0.75$

$\Phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot \left(\lambda_{LT} - \lambda_{LT.0}\right) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2\right] = 2.71$

Součinitel klopení $\chi_{LT} := \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = 0.218$

Únosnost v klopení v dolních vláknech $M_{b.Rd} := \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl.y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 661.4 \cdot kN \cdot m$

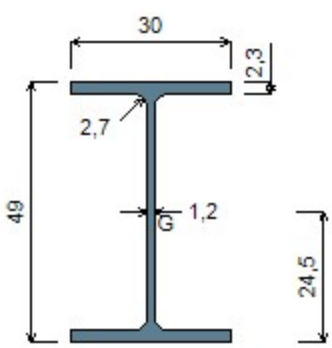
Posouzení únosnosti $\frac{M_{y.Ed.a}}{M_{b.Rd}} = 0.78$ $. \le 1$ Vyhovuje

<u>b) v místě kde končí náběh</u> $M_{y.Ed.b} = 281.7 \cdot kN \cdot m$

Bezrozměrný kritický moment: $\mu_{cr} := 1.012$

Kritický moment $M_{cr.b} := \mu_{cr} \cdot M_{y.Ed.b} = 285.1 \cdot kN \cdot m$

Průřezové moduly HEA 500



$W_{pl.y} := 3949 \cdot 10^3 mm^3$

$W_{el.y} := 3550 \cdot 10^3 mm^3$

Poměrná štíhlost $\lambda_{LT.b} := \sqrt{\frac{W_{el.y} \cdot f_y}{M_{cr.b}}} = 2.1$

Křivka klopení b $\alpha_{LT} := 0.34$

$\lambda_{LT.0} := 0.4$

$$\beta := 0.75$$

$$\Phi_{LT.b} := 0.5\cdot\left[1 + \alpha_{LT}\cdot\left(\lambda_{LT.b} - \lambda_{LT.0}\right) + \beta\cdot\lambda_{LT.b}^{2}\right] = 2.45$$

Součinitel klopení $\chi_{LT.b} := \dfrac{1}{\Phi_{LT.b} + \sqrt{\Phi_{LT.b}^{2} - \beta\cdot\lambda_{LT.b}^{2}}} = 0.24$

Únosnost v klopení $M_{b.Rd.b} := \dfrac{\chi_{LT.b}\cdot W_{pl.y}\cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 343.4\cdot kN\cdot m$

Posouzení únosnosti $\dfrac{M_{y.Ed.b}}{M_{b.Rd.b}} = 0.82 \quad . \le 1$ Vyhovuje

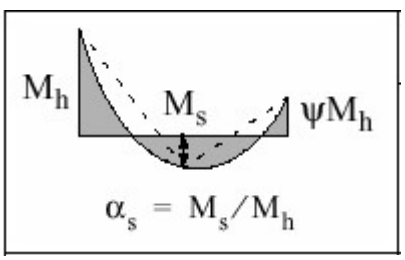
12.1.3 Interakce klopení a vzpěru

(Dle ČSN EN 1993-1-1, příloha B)

Interakční součinitele k.ij

Součinitel ekvivalentního konstantního momentu

C_{my}



$M_{h.1} := -M_{y.Ed.a} = -518.3\cdot kN\cdot m$

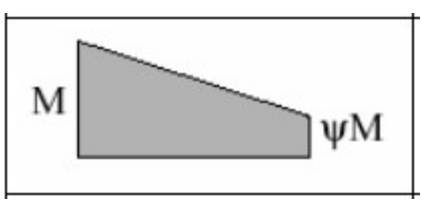
$M_{h.2} := -436.3kN\cdot m$

$M_s := 147.4kN\cdot m$

$\psi := \dfrac{M_{h.2}}{M_{h.1}} = 0.842 \qquad \alpha_s := \dfrac{M_s}{M_{h.1}} = -0.3$

$C_{my} := 0.1 - 0.8\cdot\alpha_s = 0.328 \quad . \ge 0.4 \qquad C_{my} := 0.4$

C_{mLT}



$M_{h1} := -M_{y.Ed.a} = -518.3\cdot kN\cdot m$

$M_{h2} := 0kN\cdot m$

$\psi := \dfrac{M_{h2}}{M_{h1}} = 0$

$C_{mLT} := 0.6 + 0.4\cdot\psi = 0.6$

$$k_{yy} := C_{my}\cdot\left[1 + \left(\lambda_y - 0.2\right)\cdot\frac{N_{Ed}}{N_{b.y.Rd}}\right] = 0.44 \quad . \le . \qquad C_{my}\cdot\left(1 + 0.8\cdot\frac{N_{Ed}}{N_{b.y.Rd}}\right) = 0.42 \quad k_{yy} := 0.42$$

$$k_{zy} := 1 - \frac{0.1\cdot\lambda_z}{\left(C_{mLT} - 0.25\right)}\cdot\frac{N_{Ed}}{N_{b.z.Rd}} = 0.98 \quad . \ge . \qquad 1 - \frac{0.1}{\left(C_{mLT} - 0.25\right)}\cdot\frac{N_{Ed}}{N_{b.z.Rd}} = 0.99 \quad k_{zy} := 0.99$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b.y.Rd}} + k_{yy}\frac{M_{y.Ed.a}}{M_{b.Rd}} = 0.4 \quad . \le 1$$ Vyhovuje

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b.z.Rd}} + k_{zy}\cdot\frac{M_{y.Ed.a}}{M_{b.Rd}} = 0.828 \quad . \le 1$$ Vyhovuje

12.1.4 Posudek na smyk

(Dle ČSN EN 1993-1-1)

a) v podpoře $V_{z.Ed} = 132.6\cdot kN$

Smyková plocha pro HEA 500 s náběhem $A_{v.z} := 123.9cm^2$

Smyková únosnost $V_{Rd} := A_{v.z}\cdot\frac{f_y}{\sqrt{3}\cdot\gamma_{M0}} = 2539.4\cdot kN$

$$\frac{V_{z.Ed}}{V_{Rd}} = 0.05 \quad . \le 1$$ Vyhovuje

$. \le 0.5$ Malý smyk, není potřeba posudek interakce s ohybem

a) v místě kde končí náběh $V_{z.Ed.b} := 76kN$

Smyková plocha pro HEA 400 $A_{v.z.b} := 74.7cm^2$

Smyková únosnost $V_{Rd.b} := A_{v.z.b}\cdot\frac{f_y}{\sqrt{3}\cdot\gamma_{M0}} = 1531\cdot kN$

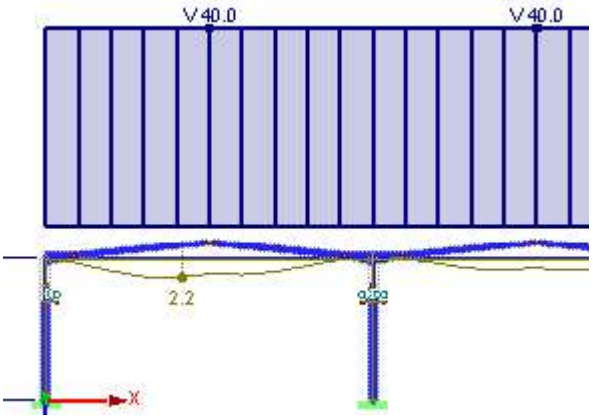
$$\frac{V_{z.Ed.b}}{V_{Rd.b}} = 0.05 \quad . \le 1$$ Vyhovuje

$. \le 0.5$ Malý smyk, není potřeba posudek interakce s ohybem

13. Návrh táhla

Do táhla je při stavbě vneseno předpětí o hodnotě F_k=40 kN. Hodnota předpětí je zvolena tak, aby při zatížení vlasní tíhou byly na příčli jen minimální svislé deformace a zároveň aby pří žádné kombinaci nevnikal v táhle tlak.

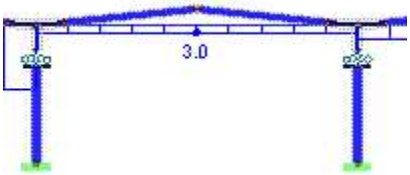
Pro porovnání jsou uvedeny síly/deformace od předpětí 40kN respektive 80kN.



Svislý průhyb příčle od vlastní tíhy (ZS1)

Předpětí 40kN $w_{40} := 2.2mm$

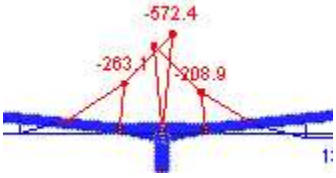
Předpětí 80kN $w_{80} := 1.3mm$



Minimální normálová tahová síla v táhle (KZ32)

Předpětí 40kN $N_{Ed.40} := 3.0kN$

Předpětí 80kN $N_{Ed.80} := 37kN$



Ohybový moment v příčli (KZ9)

Předpětí 40kN $M_{Ed.40} := 572kN \cdot m$

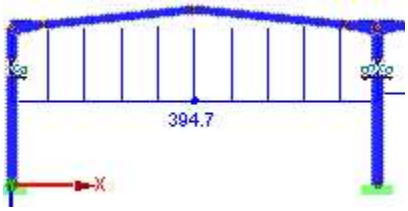
Předpětí 80kN $M_{Ed.80} := 557kN \cdot m$

Předpětí v táhle 80kN způsobí pouze minimální snížení ohyového momentu v příčli oproti předpětí 40kN. Naopak se lehce zvýší tlaková normálová síla v příčli, což je nežádoucí. V táhle tak uvažuji předpětí o hodnotě 40kN.

Kombinace KZ13

Návrhová normálová síla

$N_{Ed} := 394.7kN$



Návrh: **Táhlo Pfeifer M80, typ 860 S460**

Hodnoty převzaty z katalogu: *http://www.pfeifer.de/emag/PFEIFER-Zugglieder/index.html#/38*

Únosnost v oslabeném průřezu závitu $F_{u.Rd} := 1953.8kN$

Posouzení na tah $\frac{N_{Ed}}{F_{u.Rd}} = 0.2$ $. \le 1$ Vyhovuje

14. Návrh mezilehlého štítového sloupku

Sloupky nebudou přenášet normálové síly, budou navrženy jen na vítr.

Maximální délka sloupku (uprostřed rozpětí) $L := 10.925m$

Zatížení Vítr příčný 0°

$w_A := -0.67kN \cdot m^{-2}$

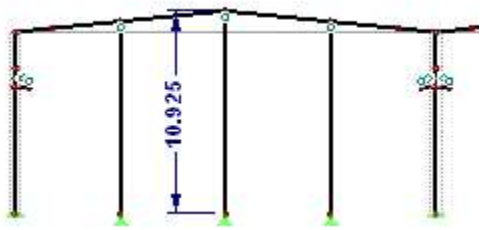
$w_B := -0.45kN \cdot m^{-2}$

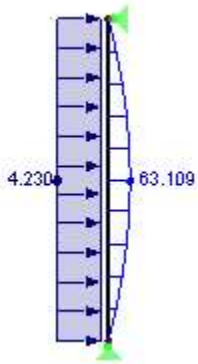
Liniové charakteristické zatížení

$w_k := w_A \cdot 2.8m + w_B \cdot 2.8m = -3.1 \cdot \frac{kN}{m}$

Liniové návrhové zatížení

$w_d := w_k \cdot 1.35 = -4.234 \cdot \frac{kN}{m}$





Ohybový moment $M_{Ed} := 63.1kN \cdot m$

Návrh: IPE 360 S355

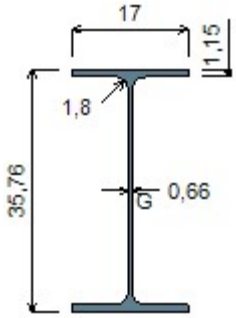
$W_{pl.y} := 1019000mm^3$ $I_w := 3.136 \cdot 10^{11} mm^6$ $W_{el.y} := 904 \cdot 10^3 mm^3$

$f_y := 355MPa$ $I_t := 373200mm^4$ $\gamma_{M1} := 1.0$

$E := 210GPa$ $G := 81GPa$

$I_y := 162.7 \cdot 10^6 mm^4$ $I_z := 10430000mm^4$

Třída 1 $h := 360mm$



14.1 MSÚ Posudek na klopení

Součinitele vzpěrné délky $k_y := 1.0$

$k_z := 1.0$

$k_w := 1.0$

Součinitele C $C_1 := 1.13$

$C_2 := 0.46$

Souřadnice působiště zatížení vzhledem ke středu smyku $z_g := \frac{h}{2} + 300mm = 480 \cdot mm$

Parametr kroucení $k_{wt} := \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = 0.42$

Parametr působiště zatížení $\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 1.17$

Parametr kritického momentu $\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2 + \left(C_2 \cdot \zeta_g\right)^2} - C_2 \cdot \zeta_g\right] = 0.76$

Kritický moment $M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 56.263 \cdot kN \cdot m$

Poměrná štíhlost $\lambda_{LT} := \sqrt{\frac{W_{el.y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = 2.388$

Křivka klopení c $\alpha_{LT} := 0.49$

$\lambda_{LT.0} := 0.4$

$\beta := 0.75$

$\Phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot \left(\lambda_{LT} - \lambda_{LT.0}\right) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2\right] = 3.13$

Součinitel klopení $\chi_{LT} := \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = 0.18$

Únosnost v klopení $M_{b.Rd} := \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl.y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 66.1 \cdot kN \cdot m$

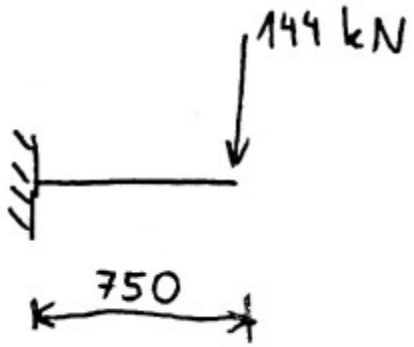
Posouzení únosnosti $\frac{M_{Ed}}{M_{b.Rd}} = 0.95 \quad . \le 1$ Vyhovuje na MSÚ

14.2 MSP

Průhyb $\delta := -\frac{5}{384} \cdot \frac{w_k \cdot L^4}{E \cdot I_y} = 17 \cdot mm$

Limitní průhyb $\delta_{lim} := \frac{L}{200} = 54.6 \cdot mm$ Vyhovuje na MSP

15. Návrh konzoly jeřábové dráhy



Maximální charakteristická sila vznikající od jeřábu (Výpočet na str.) $F_{Ek} := 144kN$

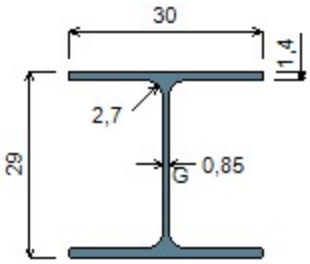
Návrhová síla $F_{Ed} := 1.35 \cdot F_{Ek} = 194.4 \cdot kN$

Délka konzoly: $L := 750mm$

Návrhový moment $M_{Ed} := F_{Ed} \cdot L = 145.8 \cdot kN \cdot m$

Návrhová posouvající síla $V_{Ed} := F_{Ed} = 194.4 \cdot kN$

Návrh: **HEA 300 S355**



Modul pružnosti $E := 210GPa$

Modul pružnosti ve smyku $G := 81GPa$

Mez kluzu $f_{yd} := 355MPa$

Smyková plocha $A_{vz} := 3728mm^2$

Moment setrvačnosti $I_y := 182.6 \cdot 10^6 mm^4$

$I_z := 63.1 \cdot 10^6 mm^4$

Torzní moment setrvačnosti $I_t := 851700mm^4$

Výsečový moment setrvačnosti $I_w := 1200 \cdot 10^9 mm^6$

Průřezový modul $W_{el} := 1259 \cdot 10^3 mm^3$ $W_{pl} := 1383 \cdot 10^3 mm^3$

Výška profilu $h := 290mm$

15.1 Posudek na MSP

Průhyb (od ohybu a smyku) $$w := \frac{1}{3} \cdot \frac{F_{Ek} \cdot L^3}{E \cdot I_y} + \frac{F_{Ek} \cdot L}{G \cdot A_{vz}} = 0.89 \cdot mm$$

Maximální dovolený průhyb $$w_{lim} := \frac{L}{600} = 1.25 \cdot mm$$

$w \le w_{lim}$ Vyhovuje

15.2 Posudek na MSÚ

Smyk $V_{Rd} := A_{vz} \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 764.1 \cdot kN$

$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = 0.25$ $. \le 1$ Vyhovuje

$. \le 0.5$ Malý smyk, není třeba redukovat momentovou únosnost

Klopení

Součinitele vzpěrné délky $k_y := 1.0$

$k_z := 1.0$

$k_w := 1.0$

Součinitele C $C_1 := 1.365$

$C_2 := 0.553$

Souřadnice působiště zatížení vzhledem ke středu smyku $z_g := \frac{h}{2} = 145 \cdot mm$

Parametr kroucení $k_{wt} := \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = 8.01$

Parametr působiště zatížení $\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 8.42$

Parametr kritického momentu $\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2 + \left(C_2 \cdot \zeta_g\right)^2} - C_2 \cdot \zeta_g\right] = 6.36$

Kritický moment $M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{2L} = 12736.4 \cdot kN \cdot m$

Poměrná štíhlost $\lambda_{LT} := \sqrt{\frac{W_{el} \cdot f_{yd}}{M_{cr}}} = 0.19$

Křivka klopení b $\alpha_{LT} := 0.34$

$\lambda_{LT.0} := 0.4$

$\beta := 0.75$

$\Phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot \left(\lambda_{LT} - \lambda_{LT.0}\right) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2\right] = 0.48$

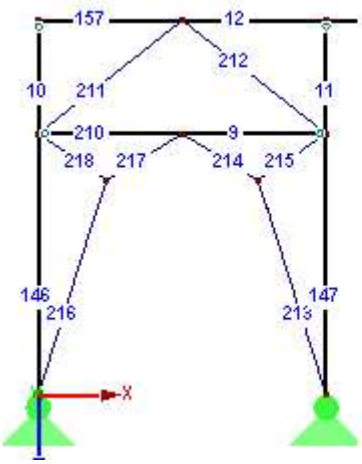
Součinitel klopení $\chi_{LT} := \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = 1.08$ $. \le 1$ $\chi_{LT} := 1.0$

Únosnost v klopení $M_{b.Rd} := \chi_{LT} \cdot W_{pl} \cdot f_{yd} = 491 \cdot kN \cdot m$

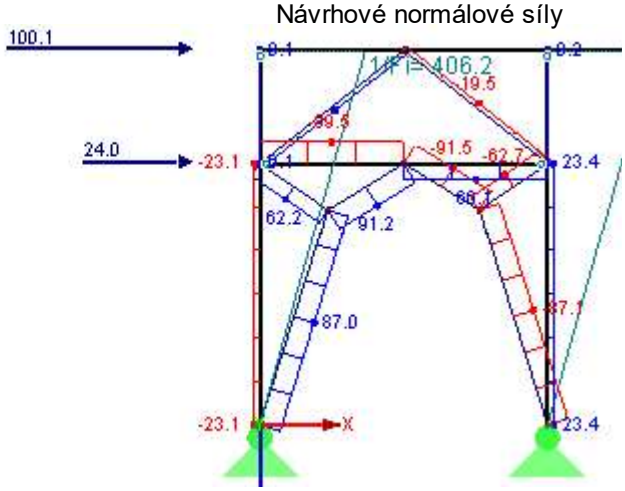
Posouzení únosnosti $\frac{M_{Ed}}{M_{b.Rd}} = 0.3$ $. \le 1$ Vyhovuje

16. Návrh stěnového ztužidla

Čísla prutů



Návrhové normálové síly



Kombinace: 1,5 x podélný vítr + 1,35x jeřáb + 1,0 imperfekce

Prut 210 a 9				
Materiálové charakteristiky - **Ocel S 355**				
Průřezové charakteristiky - **RO 127x4**				
Návrhové vnitřní síly				
Normálová síla	NEd	-89,5	kN	
Klasifikace průřezu - třída 1				
Posouzení				
Modul pružnosti	E	210000.000	MPa	
Moment setrvačnosti	I_z	2926130	mm^4	
Vzpěrná délka prutu	$L_{cr,z}$	7.500	m	
Pružná kritická síla	$N_{cr,z}$	107,8	kN	
Plocha průřezu	A	1545,7	mm^2	
Mez kluzu	f_y	355.000	MPa	
Poměrná štíhlost	λ_z	2,256		> 0.2
Osová síla (tlak)	N_{Ed}	89,5	kN	
Kritérium NEd / Ncr,z	$\eta_{N,cr}$	0,83		> 0.04
Křivka vzpěrné pevnosti	KVPz	a		
Součinitel imperfekce	α_z	0,21		
Pomocný součinitel	φ_z	3,26		
Součinitel vzpěrnosti	X_z	0,178		
Dílčí součinitel únosnosti	γ_{M1}	1.000		
Vzpěrná únosnost	$N_{b,z,Rd}$	97,7	kN	
Posouzení	η	0,92		< 1
Rovnice pro posouzení				
NEd / Nb,z,Rd = 0.92 < 1				

Obdobně jsou posouzeny i další pruty ztužidla.

Prut 211 a 212				
Materiálové charakteristiky - **Ocel S 355**				
Průřezové charakteristiky - **RO 60,3x3,2**				
Návrhové vnitřní síly				
Normálová síla	NEd	-19,5	kN	
Vzpěrná délka prutu	$L_{cr,y}$	4.771	m	
Vzpěrná únosnost	$N_{b,y,Rd}$	20	kN	
Posouzení	η	0,98		< 1

Prut 213, 214, 216 a 217				
Materiálové charakteristiky - **Ocel S 355**				
Průřezové charakteristiky - **RO 133x4**				
Návrhové vnitřní síly				
Normálová síla	NEd	-91,5	kN	
Vzpěrná délka prutu	$L_{cr,z}$	7,86	m	
Vzpěrná únosnost	$N_{b,z,Rd}$	102,5	kN	
Posouzení	η	0,89		< 1

Prut 215 a 218				
Materiálové charakteristiky - **Ocel S 355**				
Průřezové charakteristiky - **RO 57x2,9**				
Návrhové vnitřní síly				
Normálová síla	NEd	-62,7	kN	
Vzpěrná délka prutu	$L_{cr,y}$	2.153	m	
Vzpěrná únosnost	$N_{b,y,Rd}$	67,3	kN	
Posouzení	η	0,93		< 1

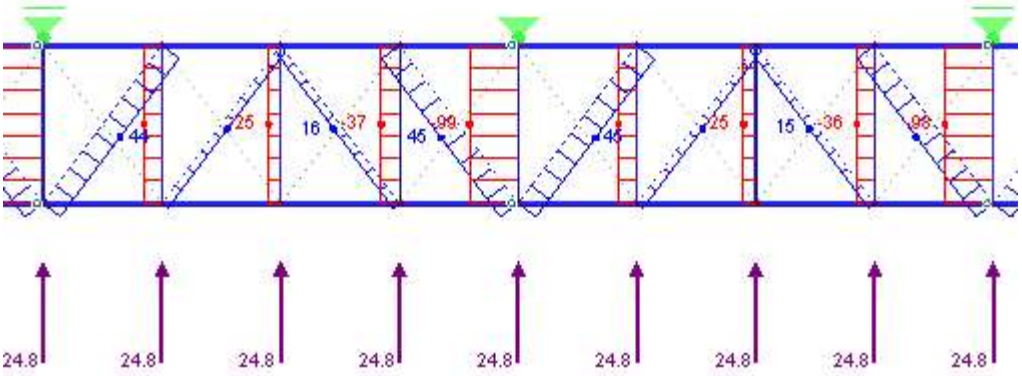
Pozn. z obrázku vnitřních sil je vidět že na sloupy působí i normálová síla 23 kN.
Síla je však příliš malá, a tak jsem ji pro návrh sloupu zanedbal.

17. Návrh střešního ztužidla

Kombinace: 1,5 x podélný vítr

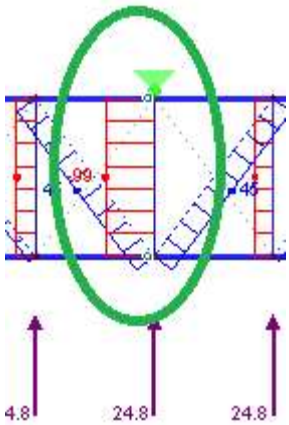
V modelu ztužidla jsou jako diagonály uvažovány tahové pruty. Tlačené diagonály mohou vybočit a proto se diagonály navrhnou jen na tah.

Po délce haly budou 3 sestav těchto ztužidel, takže síly od účinku podélného větru by se mohly 3x změnšit. Ale svislice musí navíc přenášet stabilizační síly vznikající od klopení příčle, které zde nejsou uvažované. Konzervativně se tak pro výpočet uvažuje jen jedna soustava ztužidel



obr. N_{Ed} - návrhvé normálové síly ve ztužidle

17.1 Návrh svislice ztužidla v úžlabí haly



Návrhová normálová síla $N_{Ed.1} := 99kN$

Geometrické charakteristiky

Délka prutu $L := 7.5m$

Vzpěrná délka prutu k ose y a z $L_{cr} := 1.0 \cdot L = 7.5\,m$

Průřezové charakteristiky

Návrh TR 140x4,5 S355

$t := 4.5mm$ $d := 140mm$ $f_{yd} := 355MPa$

$A := 1916mm^2$

$I := 4.4 \cdot 10^6 mm^4$ $i := 47.9mm$

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235MPa}{f_{yd}}} = 0.8$$

$\frac{d}{t} = 31.1$. < . $50 \cdot \varepsilon^2 = 33.1$.→ Třída průřezu č. 2

Vzpěrná únosnost

Jednotková štíhlost $\lambda_1 := 93.9 \cdot \varepsilon = 76.4$

Poměrná štíhlost $\lambda := \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = 2.05$

Křivka vzpěrné pevnosti -c
Součinitel imperfekce: $\alpha := 0.49$

$\phi := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2\right] = 3.1$

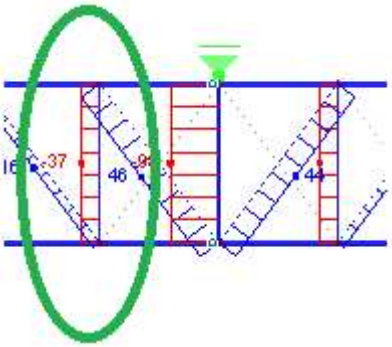
Součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru $\chi := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = 0.19$

Vzpěrná únosnost $N_{b.Rd.1} := \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 127.9 \cdot kN$

Posudek $\frac{N_{Ed.1}}{N_{b.Rd.1}} = 0.77$. ≤ . 1 Vyhovuje

17.2 Návrh ostatních svislic haly

Návrhová normálová síla $N_{Ed.2} := 37kN$



Průřezové charakteristiky

Návrh TR 102x4 S355

$t := 4mm$ $d := 120mm$ $f_{yd} := 355MPa$

$A := 1231mm^2$

$I := 1.48 \cdot 10^6 mm^4$ $i := 34.7mm$

Zatřídění průřezu

$\varepsilon := \sqrt{\frac{235MPa}{f_{yd}}} = 0.8$

$\frac{d}{t} = 30$. < . $50 \cdot \varepsilon^2 = 33.1$.→ Třída průřezu č.1

Vzpěrná únosnost

Jednotková štíhlost $\lambda_1 := 93.9 \cdot \varepsilon = 76.4$

Poměrná štíhlost $\lambda := \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = 2.83$

Křivka vzpěrné pevnosti -c
Součinitel imperfekce: $\alpha := 0.49$

$\phi := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2\right] = 5.1$

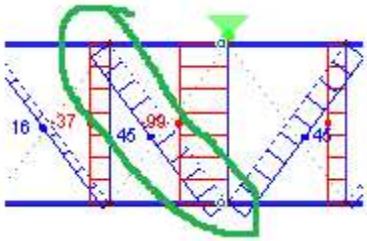
Součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru $\chi := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = 0.11$

Vzpěrná únosnost $N_{b.Rd.2} := \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 46.3 \cdot kN$

Posudek $\frac{N_{Ed.2}}{N_{b.Rd.2}} = 0.8 \quad . \le . \quad 1$ Vyhovuje

17.3 Návrh diagonál

Návrhová normálová síla $N_{Ed.3} := 45kN$



Geometrické charakteristiky

Délka prutu $L := 9.375m$

Průřezové charakteristiky

Návrh Tyč M18 S235

$d := 18mm$ $f_{yd} := 235MPa$

$A := \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 254.5 \cdot mm^2$

Tahová únosnost

$N_{t.Rd.3} := A \cdot f_{yd} = 59.8 \cdot kN$

$\frac{N_{Ed.3}}{N_{t.Rd.3}} = 0.75 \quad . \le . \quad 1$ Vyhovuje

Diagonály se předepnou tak, aby jejich svislý průhyb byl nulový.

17.4 MSP ztužidel

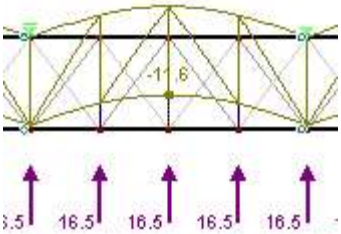
a) Vodorovný posun celé soustavy

Maximální průhyb od větru $\delta := 11.6mm$

Rozpětí ztužidel $L_z := 22.5m$

Limitní průhyb $\delta_{lim} := \frac{L_z}{250} = 90 \cdot mm$

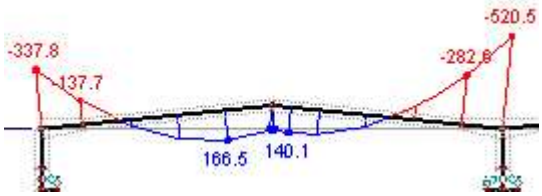
Posouzení $\delta \le \delta_{lim}$ Vyhovuje



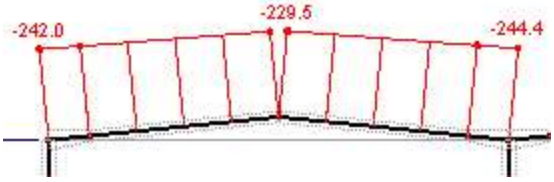
18. Přípoj příčlí ve vrcholu rámu

18.1 Kombinace KZ8

$M_{Ed} := 140.1kN \cdot m$



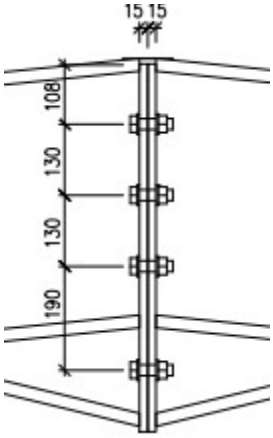
$N_{Ed} := 229.5kN$

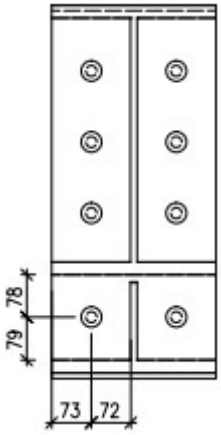


$V_{Ed} := 30kN$

$M_{z.Ed} := 0kN \cdot m$

Rozdělení sil do šroubů od momentu





Vzdálenost od středu otáčení

1. řada $r_1 := 0.108m$

2. řada $r_2 := 0.238m$

3. řada $r_3 := 0.368m$

4. řada $r_4 := 0.558m$

Rovnice $M_{Ed} = F_1 \cdot r_1 + \frac{F_1}{r_1} \cdot r_2^2 + \frac{F_1}{r_1} \cdot r_3^2 + \frac{F_1}{r_1} \cdot r_4^2 \text{ solve}, F_1 \rightarrow 29.4 \cdot kN$

Síla ve dvojici šroubů $F_1 := 29.4kN$

$$F_2 := \frac{F_1}{r_1} \cdot r_2 = 64.8 \cdot kN$$

$$F_3 := \frac{F_1}{r_1} \cdot r_3 = 100.2 \cdot kN$$

$$F_4 := \frac{F_1}{r_1} \cdot r_4 = 151.9 \cdot kN$$

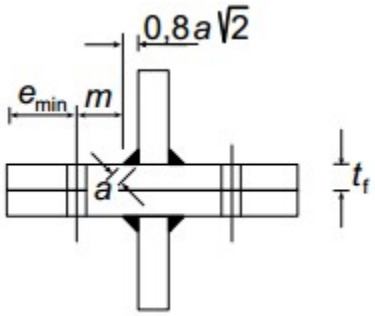
Kontrola rovnice: $F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2 + F_3 \cdot r_3 + F_4 \cdot r_4 = 140.2 \cdot kN \cdot m$

Rozdělení sil do šroubů od normálové síly

Normálová tlaková síla snižuje výslednou tahovou sílu ve šroubech. Bezpečně se může zanedbat.

Čelní deska v ohybu

Čelní deska P15 S355



$f_y := 355MPa$ $\gamma_{M0} := 1.0$

$t_f := 15mm$

Tloušťka svaru $a := 4mm$

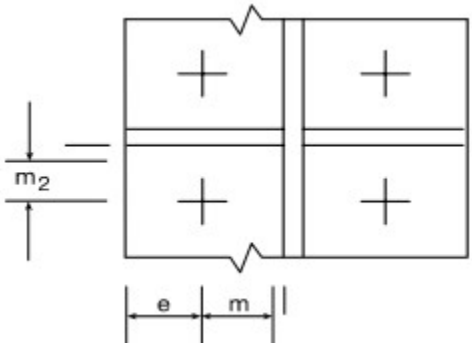
Šrouby 8x M16 10.9.

$f_{yb} := 900MPa$ $\gamma_{M2} := 1.25$

$f_{ub} := 1000MPa$

$A_s := 157mm^2$

18.1.1 Posudek spodní řady šroubů uvažované samostatně



$e := 73mm$

$m := 72mm - 0.8 \cdot a \cdot \sqrt{2} = 67.5 \cdot mm$

$m_2 := 78mm - a \cdot \sqrt{2} = 72.3 \cdot mm$

$n := \min(e, 1.25 \cdot m) = 73 \cdot mm$

$$\lambda_1 := \frac{m}{m + e} = 0.48$$

$$\lambda_2 := \frac{m_2}{m + e} = 0.51$$

Součinitel α (z obr. 6.11 v 1993-1-8) $\alpha := 5.8$

Řada šroubů pod taženou pásnicí nosníku

Kruhové porušení $l_{eff.cp} := 2 \cdot \pi \cdot m = 424 \cdot mm$

Nekruhové porušení $l_{eff.nc} := \alpha \cdot m = 391.4 \cdot mm$

1. Způsob porušení

$l_{eff.1} := \min(l_{eff.nc}, l_{eff.cp}) = 391.4 \cdot mm$

$$M_{pl.1.Rd} := 0.25 \cdot 2 \cdot l_{eff.1} \cdot t_f^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 15.6 \cdot kN \cdot m$$

$$F_{T.1.Rd} := \frac{4 \cdot M_{pl.1.Rd}}{m} = 926.5 \cdot kN$$

2. Způsob porušení

$$l_{eff.2} := l_{eff.nc} = 391.4 \cdot mm$$

$$M_{pl.2.Rd} := 0.25 \cdot 2 \cdot l_{eff.2} \cdot t_f^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 15.6 \cdot kN \cdot m$$

$$F_{t.Rd} := 0.9 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}} = 113 \cdot kN$$

$$F_{T.2.Rd} := \frac{2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot 2 \cdot F_{t.Rd}}{m + n} = 340 \cdot kN$$

3. Způsob porušení

$$F_{T.3.Rd} := 2 \cdot F_{t.Rd} = 226.1 \cdot kN$$

Únosnost spodní řady šroubů $F_{4.Rd} := \min(F_{T.1.Rd}, F_{T.2.Rd}, F_{T.3.Rd}) = 226.1 \cdot kN$

Síla ve spodní řadě šroubů $F_{4.Ed} := F_4 = 151.9 \cdot kN$

Posouzení $\frac{F_{4.Ed}}{F_{4.Rd}} = 0.67 \quad . \le 1$ Vyhovuje

Únosnost ve střihu

Únosnost jednoho šroubu $F_{V.1.Rd} := 60.3kN$

Návrhová smyková síla přenese se dvěma šrouby $F_{V.1.Ed} := \frac{V_{Ed}}{2} = 15 \cdot kN$

Kombinace střihu a tahu

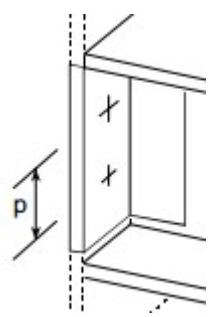
$$\frac{F_{V.1.Ed}}{F_{V.1.Rd}} + \frac{F_{4.Ed}}{1.4 \cdot F_{4.Rd}} = 0.73 \quad . \le 1$$ Vyhovuje

18.1.2 Posudek třetí řady šroubů uvažované jako součást skupiny řad šroubů

Rozteč šroubů $p := 130mm$

Vnitřní řada šroubů Kruhové porušení $l_{eff.cp.b} := 2 \cdot p = 260 \cdot mm$

Nekruhové porušení $l_{eff.nc.b} := p = 130 \cdot mm$



1. Způsob porušení

$$l_{eff.1} := \min(l_{eff.nc.b}, l_{eff.cp.b}) = 130 \cdot mm$$

$$M_{pl.1.Rd} := 0.25 \cdot 2 \cdot l_{eff.1} \cdot t_f^{\,2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 5.2 \cdot kN \cdot m$$

$$F_{T.1.Rd} := \frac{4 \cdot M_{pl.1.Rd}}{m} = 307.8 \cdot kN$$

2. Způsob porušení

$$l_{eff.2} := l_{eff.nc.b} = 130 \cdot mm$$

$$M_{pl.2.Rd} := 0.25 \cdot 2 \cdot l_{eff.2} \cdot t_f^{\,2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 5.2 \cdot kN \cdot m$$

$$F_{t.Rd} := 0.9 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}} = 113 \cdot kN$$

$$F_{T.2.Rd} := \frac{2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot 2 \cdot F_{t.Rd}}{m + n} = 191.4 \cdot kN$$

3. Způsob porušení

$$F_{T.3.Rd} := 2 \cdot F_{t.Rd} = 226.08 \cdot kN$$

Únosnost třetí řady šroubů $F_{3.Rd} := \min(F_{T.1.Rd}, F_{T.2.Rd}, F_{T.3.Rd}) = 191.4 \cdot kN$

Síla ve třetí řadě šroubů $F_{3.Ed} := F_3 = 100.2 \cdot kN$

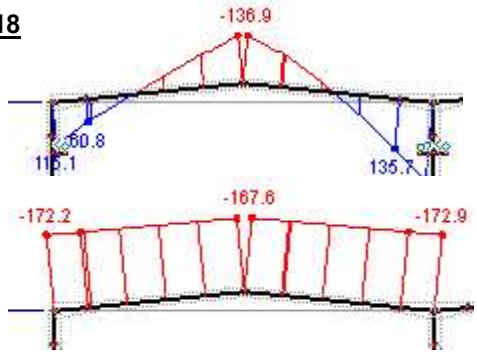
Posouzení $\frac{F_{3.Ed}}{F_{3.Rd}} = 0.52 \quad . \le 1$ Vyhovuje

18.1.3 Posudek první a druhé řady šroubů uvažované jako součást skupiny řad šroubů

Hodnoty l_{eff} budou stejné jako pro 3. řadu šroubů a tak i únosnost bude stejná jako u 3. řady. Návrhové síly F_1 a F_2 jsou menší než F_3, posudek tak vyhoví.

18.2 Kombinace KZ18

$M_{Ed1} := 136.9 kN \cdot m$

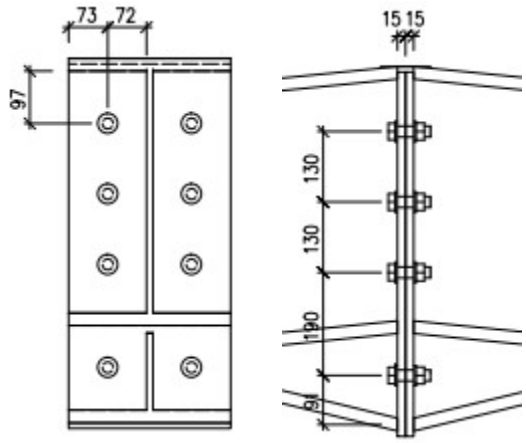


$N_{Ed} := 167.6 kN$

$V_{Ed} := 20.2 kN$

$M_{z.Ed} := 0kN \cdot m$

Rozdělení sil do šroubů od momentu My



Vzdálenost od středu otáčení

1. řada $r_1 := 0.541m$

2. řada $r_2 := 0.411m$

3. řada $r_3 := 0.281m$

4. řada $r_4 := 0.091m$

Rovnice $M_{Ed1} = F_{1.} \cdot r_1 + \frac{F_{1.}}{r_1} \cdot r_2^2 + \frac{F_{1.}}{r_1} \cdot r_3^2 + \frac{F_{1.}}{r_1} \cdot r_4^2 \text{ solve}, F_{1.} \rightarrow 134.9 \cdot kN$

Síla ve dvojici šroubů $F_{1.} := 134.9kN$

$$F_{2.} := \frac{F_{1.}}{r_1} \cdot r_2 = 102.5 \cdot kN$$

$$F_{3.} := \frac{F_{1.}}{r_1} \cdot r_3 = 70.1 \cdot kN$$

$$F_{4.} := \frac{F_{1.}}{r_1} \cdot r_4 = 22.7 \cdot kN$$

Kontrola rovnice: $F_{1.} \cdot r_1 + F_{2.} \cdot r_2 + F_{3.} \cdot r_3 + F_{4.} \cdot r_4 = 136.9 \cdot kN \cdot m$

Čelní deska v ohybu

Rozdělení sil do šroubů od normálové síly

Normálová tlaková síla snižuje výslednou tahovou sílu ve šroubech. Bezpečně se může zanedbat.

18.2.1 Posudek horní řady šroubů

$e := 73mm$

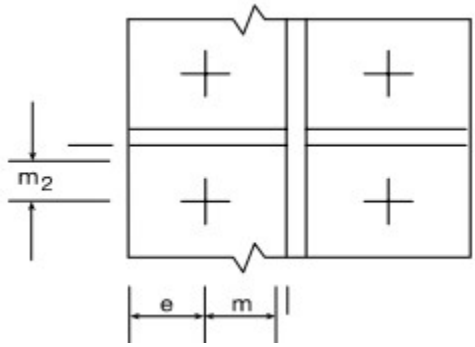
$m := 72mm - 0.8 \cdot a \cdot \sqrt{2} = 67.5 \cdot mm$

$m_2 := 97mm - a \cdot \sqrt{2} = 91.3 \cdot mm$

$n := \min(e, 1.25 \cdot m) = 73 \cdot mm$

$\lambda_1 := \frac{m}{m + e} = 0.48$

$\lambda_2 := \frac{m_2}{m + e} = 0.65$



Součinitel α (z obr. 6.11 v 1993-1-8) $\alpha := 5.6$

Rozteč šroubů $p := 130mm$

Účinné délky porušení pro řadu šroubů uvažovanou jako součást skupiny šroubů

Řada šroubů pod taženou pásnicí — Kruhové porušení $l_{eff.cp.d} := \pi \cdot m + p = 342 \cdot mm$

Nekruhové porušení $l_{eff.nc.d} := 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 262.3 \cdot mm$

Účinné délky porušení pro řadu šroubů uvažovanou samostatně

Řada šroubů pod taženou pásnicí — Kruhové porušení $l_{eff.cp.e} := 2\pi \cdot m = 424 \cdot mm$

Nekruhové porušení $l_{eff.nc.e} := \alpha \cdot m = 377.9 \cdot mm$

V následujícím posudku se uvažují účinné délky pro řadu šroubů uvažovanou jako součást skupiny, protože účinné délky jsou menší. I únosnosti $F_{.t.Rd}$ vyjdou tedy menší

1. Způsob porušení

$l_{eff.1} := \min(l_{eff.nc.d}, l_{eff.cp.d}) = 262.3 \cdot mm$

$M_{pl.1.Rd} := 0.25 \cdot 2 \cdot l_{eff.1} \cdot t_f^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 10.5 \cdot kN \cdot m$

$F_{T.1.Rd} := \frac{4 \cdot M_{pl.1.Rd}}{m} = 621 \cdot kN$

2. Způsob porušení

$l_{eff.2} := l_{eff.nc.d} = 262.3 \cdot mm$

$M_{pl.2.Rd} := 0.25 \cdot 2 \cdot l_{eff.2} \cdot t_f^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 10.5 \cdot kN \cdot m$

$$F_{t.Rd} := 0.9 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}} = 113 \cdot kN$$

$$F_{T.2.Rd} := \frac{2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot 2 \cdot F_{t.Rd}}{m + n} = 266.6 \cdot kN$$

3. Způsob porušení

$$F_{T.3.Rd} := 2 \cdot F_{t.Rd} = 226.1 \cdot kN$$

Únosnost první řady šroubů $F_{1.Rd} := \min(F_{T.1.Rd}, F_{T.2.Rd}, F_{T.3.Rd}) = 226.1 \cdot kN$

Síla v první řadě šroubů $F_{1.Ed} := F_{1.} = 134.9 \cdot kN$

Posouzení $\frac{F_{1.Ed}}{F_{1.Rd}} = 0.6 \quad . \le 1$ Vyhovuje

Únosnost ve střihu

Únosnost jednoho šroubu $F_{V.1.Rd} := 60.3kN$

Návrhová smyková síla přenese se dvěma šrouby $F_{V.1.Ed} := \frac{V_{Ed}}{2} = 10.1 \cdot kN$

Kombinace střihu a tahu

$$\frac{F_{V.1.Ed}}{F_{V.1.Rd}} + \frac{F_{1.Ed}}{1.4 \cdot F_{1.Rd}} = 0.59 \quad . \le 1$$ Vyhovuje

18.2.2 Posudek druhé řady šroubů uvažované jako součást skupiny šroubů

Únosnost je stejná jako v části 18.1.2

Únosnost druhé řady šroubů $F_{2.Rd} := 191.4kN$

Síla ve třetí řadě šroubů $F_{2.Ed} := F_{2.} = 102.5 \cdot kN$

Posouzení $\frac{F_{2.Ed}}{F_{2.Rd}} = 0.54 \quad . \le 1$ Vyhovuje

18.2.3 Posudek třetí a čtvrté řady šroubů uvažované jako součást skupiny řad šroubů

Hodnoty l_{eff} budou stejné jako pro 2. řadu šroubů a tak i únosnost bude stejná jako u 2. řady.
Návrhové síly F_3 a F_4 jsou menší než F_2, posudek tak vyhoví.

18.3 Svar nosník - čelní deska

Pásnice nosníku - 1/2V svar, bezpečně přenese stejnou sílu jako pásnice

Stojina nosníku - Dvoustranný koutový svar,
aby přenesl stejnou sílu jako stojina musí platit rovnice: $\frac{a_{w.min} \cdot 2 \cdot f_u}{\sqrt{2} \cdot \gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{t_{w.b} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

Tloušťka stojiny nosníku $t_{w.b} := 12mm$

$\beta_w := 0.9$ $f_u := 490MPa$ $f_y = 355 \cdot MPa$ $\gamma_{M2} := 1.25$

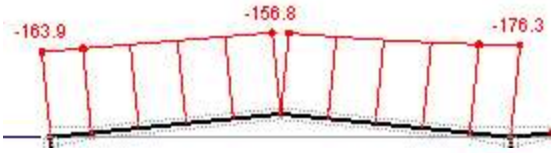
$a_{w.min} := \frac{t_{w.b}}{2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{2}}{f_u} = 6.9 \cdot mm$ Návrh: Tloušťka svaru na stojině a_w=7mm

19. Rámový roh

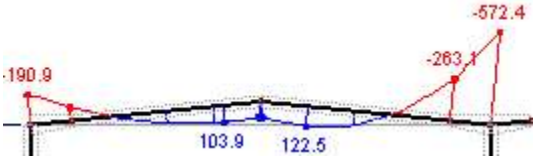
Kombinace KZ9

V této kombinace vzniká největší ohybový moment

$N_{Ed} := 176.3kN$

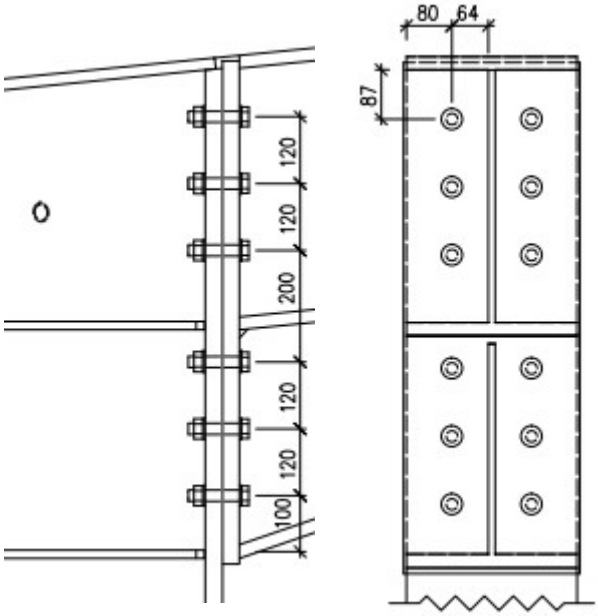


$M_{Ed} := 572.4kN \cdot m$



$V_{Ed} := 183.7kN$

Rozdělení sil do šroubů od momentu



Vzdálenost od středu otáčení

$r_1 := 0.78m$

$r_2 := 0.66m$

$r_3 := 0.54m$

$r_4 := 0.34m$

$r_5 := 0.22m$

$r_6 := 0.1m$

Rovnice $M_{Ed} = F_1 \cdot r_1 + \frac{F_1}{r_1} \cdot r_2^2 + \frac{F_1}{r_1} \cdot r_3^2 + \frac{F_1}{r_1} \cdot r_4^2 + \frac{F_1}{r_1} \cdot r_5^2 + \frac{F_1}{r_1} \cdot r_6^2 \text{ solve}, F_1 \rightarrow 295.8 \cdot kN$

Síla ve dvojici šroubů $F_1 := 295.8kN$

$F_2 := \frac{F_1}{r_1} \cdot r_2 = 250.3 \cdot kN$

$F_3 := \frac{F_1}{r_1} \cdot r_3 = 204.8 \cdot kN$

$F_4 := \frac{F_1}{r_1} \cdot r_4 = 128.9 \cdot kN$

$F_5 := \frac{F_1}{r_1} \cdot r_5 = 83.4 \cdot kN$

$F_6 := \frac{F_1}{r_1} \cdot r_6 = 37.9 \cdot kN$

Kontrola rovnice: $F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2 + F_3 \cdot r_3 + F_4 \cdot r_4 + F_5 \cdot r_5 + F_6 \cdot r_6 = 572.5 \cdot kN \cdot m$

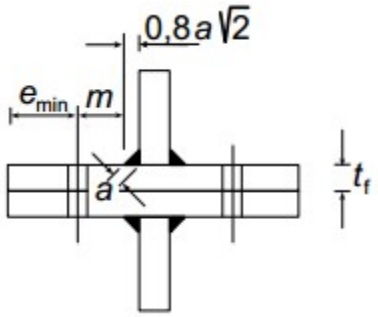
19.1 Čelní deska v ohybu

Čelní deska P20 S355

$f_y := 355MPa$ $\gamma_{M0} := 1.0$

Tloušťka čelní desky $t_p := 20mm$

Tloušťka svaru $a := 4mm$



Šrouby 12x M20 10.9.

$f_{yb} := 900MPa$ $\gamma_{M2} := 1.25$

$f_{ub} := 1000MPa$

$A_s := 245mm^2$

19.1.1 Posudek horní řady šroubů

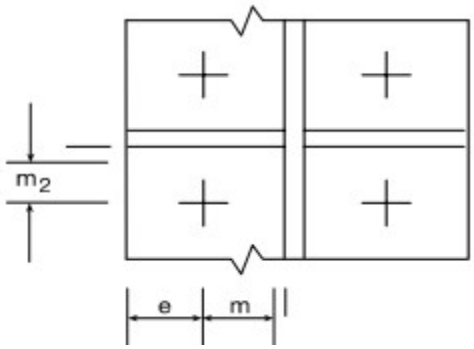
$e := 80mm$

$m := 64mm - 0.8 \cdot a \cdot \sqrt{2} = 59.5 \cdot mm$

$m_2 := 87mm - a \cdot \sqrt{2} = 81.3 \cdot mm$

$n := \min(e, 1.25 \cdot m) = 74.3 \cdot mm$

Rozteč šroubů $p := 120mm$



$\lambda_1 := \frac{m}{m + e} = 0.426$

$\lambda_2 := \frac{m_2}{m + e} = 0.58$

Součinitel α (z obr. 6.11 v 1993-1-8) $\alpha := 6.2$

Řada šroubů uvažovaná samostatně

Řada šroubů pod taženou pásnicí — Kruhové porušení $l_{eff.cp} := 2 \cdot \pi \cdot m = 373.7 \cdot mm$

nosníku Nekruhové porušení $l_{eff.nc} := \alpha \cdot m = 368.7 \cdot mm$

Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny

Řada šroubů pod taženou pásnicí nosníku Kruhové porušení $l_{eff.cp.b} := \pi \cdot m + p = 306.8 \cdot mm$

Nekruhové porušení $l_{eff.nc.b} := 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625e) = 259.8 \cdot mm$

V následujícím posudku se uvažují účinné délky pro řadu šroubů uvažovanou jako součást skupiny, protože účinné délky jsou menší. I únosnosti $F_{.t.Rd}$ vyjdou tedy menší

1. Způsob porušení

$$l_{eff.1} := \min(l_{eff.nc.b}, l_{eff.cp.b}) = 259.8 \cdot mm$$

$$M_{pl.1.Rd} := 0.25 \cdot 2 \cdot l_{eff.1} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 18.4 \cdot kN \cdot m$$

$$F_{T.1.Rd} := \frac{4 \cdot M_{pl.1.Rd}}{m} = 1240.6 \cdot kN$$

2. Způsob porušení

$$l_{eff.2} := l_{eff.nc.b} = 259.8 \cdot mm$$

$$M_{pl.2.Rd} := 0.25 \cdot 2 \cdot l_{eff.2} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 18.4 \cdot kN \cdot m$$

$$F_{t.Rd} := 0.9 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}} = 176.4 \cdot kN$$

$$F_{T.2.Rd} := \frac{2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot 2 \cdot F_{t.Rd}}{m + n} = 471.7 \cdot kN$$

3. Způsob porušení

$$F_{T.3.Rd} := 2 \cdot F_{t.Rd} = 352.8 \cdot kN$$

Únosnost horní řady šroubů $F_{1.Rd} := \min(F_{T.1.Rd}, F_{T.2.Rd}, F_{T.3.Rd}) = 352.8 \cdot kN$

Síla v horní řadě šroubů $F_{1.Ed} := F_1 = 295.8 \cdot kN$

Posouzení $\frac{F_{1.Ed}}{F_{1.Rd}} = 0.84 \quad . \le 1$ Vyhovuje

Únosnost ve střihu

Únosnost jednoho šroubu $F_{V.1.Rd} := 94.1kN$

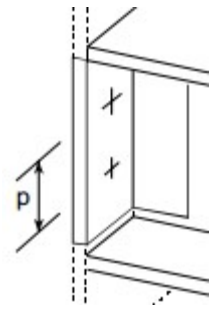
Návrhová smyková síla přenese se šesti šrouby $F_{V.1.Ed} := \frac{V_{Ed}}{6} = 30.6 \cdot kN$

Kombinace střihu a tahu

$$\frac{F_{V.1.Ed}}{F_{V.1.Rd}} + \frac{F_{1.Ed}}{1.4 \cdot F_{1.Rd}} = 0.92 \quad . \le 1$$ Vyhovuje

19.1.2 Posudek druhé řady šroubů (shora) uvažované jako součást skupiny řad šroubů

Rozteč šroubů $p := 120mm$



Vnitřní řada šroubů

Kruhové porušení $l_{eff.cp.2} := 2 \cdot p = 240 \cdot mm$

Nekruhové porušení $l_{eff.nc.2} := p = 120 \cdot mm$

1. Způsob porušení

$$l_{eff.1} := \min(l_{eff.nc.2}, l_{eff.cp.2}) = 120 \cdot mm$$

$$M_{pl.1.Rd} := 0.25 \cdot 2 \cdot l_{eff.1} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 8.5 \cdot kN \cdot m$$

$$F_{T.1.Rd} := \frac{4 \cdot M_{pl.1.Rd}}{m} = 573 \cdot kN$$

2. Způsob porušení

$$l_{eff.2} := l_{eff.nc.2} = 120 \cdot mm$$

$$M_{pl.2.Rd} := 0.25 \cdot 2 \cdot l_{eff.2} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 8.5 \cdot kN \cdot m$$

$$F_{t.Rd} := 0.9 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}} = 176.4 \cdot kN$$

$$F_{T.2.Rd} := \frac{2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot 2 \cdot F_{t.Rd}}{m + n} = 323.3 \cdot kN$$

3. Způsob porušení

$$F_{T.3.Rd} := 2 \cdot F_{t.Rd} = 352.8 \cdot kN$$

Únosnost druhé řady šroubů $F_{2.Rd} := \min(F_{T.1.Rd}, F_{T.2.Rd}, F_{T.3.Rd}) = 323.3 \cdot kN$

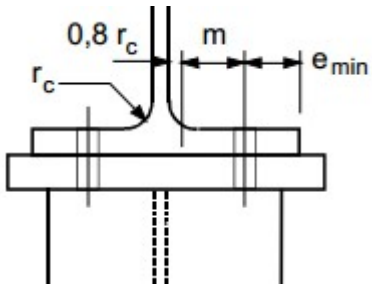
Síla ve druhé řadě šroubů $F_{2.Ed} := F_2 = 250.3 \cdot kN$

Posouzení $\frac{F_{2.Ed}}{F_{2.Rd}} = 0.77 \quad . \le 1$ Vyhovuje

19.1.3 Posudek všech dalších řad šroubů uvažovaných jako součást skupiny řad šroubů

Všechny další řady mají stejnou únosnost jako řada druhá. Návrhové síly F3 až F6 jsou menší než F2, posudek tak vyhoví.

19.2 Pásnice sloupu v příčném ohybu



Stojina sloupu HEB 650

$f_y := 355MPa$ $\gamma_{M0} := 1.0$

Tloušťka pásnice sloupu $t_f := 31mm$

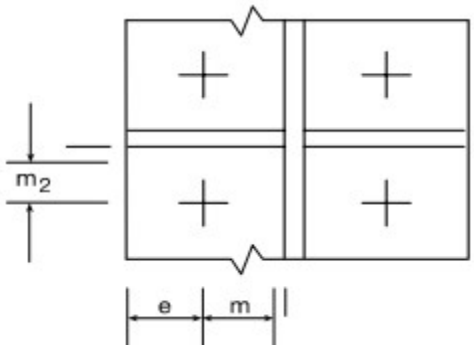
Šrouby 12x M20 10.9.

$f_{yb} := 900MPa$ $\gamma_{M2} := 1.25$

$f_{ub} := 1000MPa$

$A_s := 245mm^2$

19.2.1 Posudek horní řady šroubů uvažované samostatně



$e := 80mm$

$m := 35mm$

$m_2 := 83mm - a\cdot\sqrt{2} = 77.3\cdot mm$

$n := \min(e, 1.25\cdot m) = 43.8\cdot mm$

Rozteč šroubů $p := 120mm$

$$\lambda_1 := \frac{m}{m + e} = 0.304$$

$$\lambda_2 := \frac{m_2}{m + e} = 0.67$$

Součinitel α (z obr. 6.11 v 1993-1-8) $\alpha := 6.9$

Koncová řada šroubů sousedící s výztuhou

Kruhové porušení $l_{eff.cp} := \min(2\cdot\pi\cdot m, \pi\cdot m + 2\cdot e) = 219.9\cdot mm$

Nekruhové porušení $l_{eff.nc} := e + \alpha\cdot m - (2\cdot m + 0.625\cdot e) = 201.5\cdot mm$

1. Způsob porušení

$l_{eff.1} := \min(l_{eff.nc}, l_{eff.cp}) = 201.5\cdot mm$

$$M_{pl.1.Rd} := 0.25\cdot 2\cdot l_{eff.1}\cdot t_f^2\cdot\frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 34.4\cdot kN\cdot m$$

$$F_{T.1.Rd} := \frac{4\cdot M_{pl.1.Rd}}{m} = 3928.2\cdot kN$$

2. Způsob porušení

$l_{eff.2} := l_{eff.nc} = 201.5\cdot mm$

$$M_{pl.2.Rd} := 0.25 \cdot 2 \cdot l_{eff.2} \cdot t_f^{\,2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 34.4 \cdot kN \cdot m$$

$$F_{t.Rd} := 0.9 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}} = 176.4 \cdot kN$$

$$F_{T.2.Rd} := \frac{2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot 2 \cdot F_{t.Rd}}{m + n} = 1068.9 \cdot kN$$

3. Způsob porušení

$$F_{T.3.Rd} := 2 \cdot F_{t.Rd} = 352.8 \cdot kN$$

Únosnost horní řady šroubů $F_{1.Rd} := \min\left(F_{T.1.Rd}, F_{T.2.Rd}, F_{T.3.Rd}\right) = 352.8 \cdot kN$

Síla v horní řadě šroubů $F_{1.Ed} := F_1 = 295.8 \cdot kN$

Posouzení $\frac{F_{1.Ed}}{F_{1.Rd}} = 0.84 \quad . \le 1$ Vyhovuje

Únosnost ve střihu

Únosnost jednoho šroubu $F_{V.1.Rd} := 94.1 kN$

Návrhová smyková síla přenese se šesti šrouby $F_{V.1.Ed} := \frac{V_{Ed}}{6} = 30.6 \cdot kN$

Kombinace střihu a tahu

$$\frac{F_{V.1.Ed}}{F_{V.1.Rd}} + \frac{F_{1.Ed}}{1.4 \cdot F_{1.Rd}} = 0.92 \quad . \le 1$$ Vyhovuje

19.2.2 Posudek druhé řady šroubů (shora) uvažované jako součást skupiny řad šroubů

Rozteč šroubů $p := 120mm$

Jiná vnitřní řada šroubů Kruhové porušení $l_{eff.cp.3} := 2 \cdot p = 240 \cdot mm$

Nekruhové porušení $l_{eff.nc.3} := p = 120 \cdot mm$

1. Způsob porušení

$$l_{eff.1} := \min\left(l_{eff.nc.3}, l_{eff.cp.3}\right) = 120 \cdot mm$$

$$M_{pl.1.Rd} := 0.25 \cdot 2 \cdot l_{eff.1} \cdot t_p^{\,2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 8.5 \cdot kN \cdot m$$

$$F_{T.1.Rd} := \frac{4 \cdot M_{pl.1.Rd}}{m} = 973.7 \cdot kN$$

2. Způsob porušení

$l_{eff.2} := l_{eff.nc.2} = 120 \cdot mm$

$M_{pl.2.Rd} := 0.25 \cdot 2 \cdot l_{eff.2} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 8.5 \cdot kN \cdot m$

$F_{t.Rd} := 0.9 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}} = 176.4 \cdot kN$

$F_{T.2.Rd} := \frac{2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot 2 \cdot F_{t.Rd}}{m + n} = 412.4 \cdot kN$

3. Způsob porušení

$F_{T.3.Rd} := 2 \cdot F_{t.Rd} = 352.8 \cdot kN$

Únosnost druhé řady šroubů $F_{2.Rd} := \min(F_{T.1.Rd}, F_{T.2.Rd}, F_{T.3.Rd}) = 352.8 \cdot kN$

Síla ve druhé řadě šroubů $F_{2.Ed} := F_2 = 250.3 \cdot kN$

Posouzení $\frac{F_{2.Ed}}{F_{2.Rd}} = 0.71 \quad . \le 1$ Vyhovuje

19.2.3 Posudek všech dalších řad šroubů uvažovaných jako součást skupiny řad šroubů

Všechny další řady mají stejnou únosnost jako řada druhá. Případně i větší a to pokud šrouby sousedí s výztuhou. Návrhové síly F3 až F6 jsou menší než F2, posudek tak vyhoví.

19.3 Panel stěny sloupu ve smyku (dle ČSN EN 1993-1-8. část 6.2.6.1)

Podmínka pro použití metody v 6.2.6.1

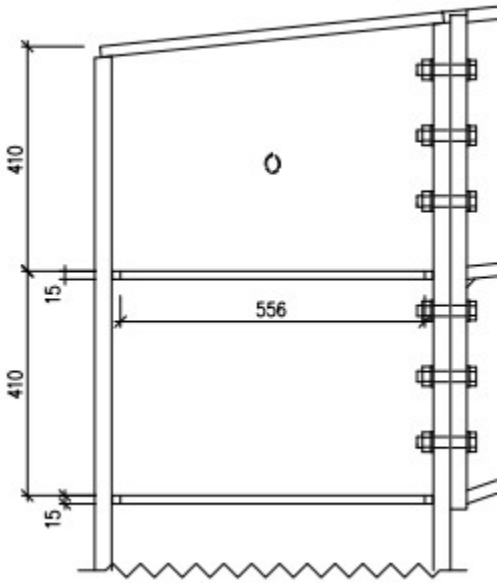
Délka stojiny HEB 650 $d := 534mm$

Tloušťka stojiny $t_w := 16mm$

$\varepsilon := \sqrt{\frac{235MPa}{f_y}} = 0.814$

Podmínka $\frac{d}{t_w} = 33.4 \quad . \le . \quad 69 \cdot \varepsilon = 56.1$

Platí, lze použít metodu v části EC 6.2.6.1



Smyková plocha sloupu $A_{vc} := 12200mm^2$

Plastická únosnost stěny sloupu $V_{wp.Rd} := \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 2250.5 \cdot kN$

Tloušťka pásnice $t_f := 31mm$

Šířka pásnice $b_f := 300mm$

Tloušťka stojiny $b_w := 16mm$

Návrhová plastická momentová únosnost pásnice sloupu $M_{pl.fc.Rd} := f_y \cdot \frac{b_f \cdot t_f^2}{4} = 25.59 \cdot kN \cdot m$

Tloušťka výztuhy $t_{st} := 15mm$

Šířka výztuhy $b_{st} := b_f - b_w = 284 \cdot mm$

Délka výztuhy $l_{st} := 556mm$

Návrhová plastická momentová únosnost výztuhy

$$M_{pl.st.Rd} := f_y \cdot \frac{b_{st} \cdot t_{st}^2}{4} = 5.7 \cdot kN \cdot m$$

Osová vzdálenost výztuh $d_s := 410mm$

Hodnota o kterou lze zvýšit únosnost při použití výztuh

$$V_{wp.add.Rd} := \min\left(\frac{4 \cdot M_{pl.fc.Rd}}{d_s}, \frac{2 \cdot M_{pl.fc.Rd} + 2 \cdot M_{pl.st.Rd}}{d_s}\right) = 152.5 \cdot kN$$

Výsledná smyková únosnost stěny sloupu $V_{w.Rd} := V_{wp.Rd} + V_{wp.add.Rd} = 2402.9 \cdot kN$

Návrhová smyková síla ve stěne sloupu $V_{w.Ed} := F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 = 1001.2 \cdot kN$

Posudek $\frac{V_{w.Ed}}{V_{w.Rd}} = 0.42 \quad . \le 1$ Vyhovuje

19.4 Pásnice nosníku v lokálním tlaku (dle ČSN EN 1993-1-8, část 6.2.6.7)

Ocel nosníku S355 $f_y := 355MPa$ $\gamma_{M1} := 1.0$

Plastický průřezový modul nosníku HEA 500 (bez náběhu) $W_{pl.y} := 4622cm^3$

Výška nosníku $h_b := 490mm$

Tloušťka pásnice nosníku $t_{fb} := 23mm$

Návrhová momentová únosnost nosníku $M_{c.Rd} := \frac{W_{pl.y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1640.8 \cdot kN \cdot m$

Návrhová únosnost pásnice nosníku v tlaku $F_{c.fb.Rd} := \frac{M_{c.Rd}}{h_b - t_{fb}} = 3513.5 \cdot kN$

Návrhová síla v tlačené pásnici $F_{c.fb.Ed} := \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{Ed}}{h_b - t_{fb}} = 1313.8 \cdot kN$

Posouzení tlačené pásnice nosníku $\frac{F_{c.fb.Ed}}{F_{c.fb.Rd}} = 0.374 \quad . \le 1$ Vyhovuje

19.5 Stojina nosníku v tahu (dle ČSN EN 1993-1-8, část 6.2.6.8)

a) Účinná výška stojiny nosniku v tahu pro horní řadu šroubů, $b_{eff.t.wb.1} := l_{eff.nc.b} = 259.8 \cdot mm$
(stejně jako nejemenší účinná délka pro náhradní T profil)

Tloušťka stojiny nosníku $t_{wb} := 12mm$

Materiál S355 $f_{y.wb} := 355MPa$

Návrhová únosnost stojiny $F_{t.wb.Rd.1} := \frac{b_{eff.t.wb.1} \cdot t_{wb} \cdot f_{y.wb}}{\gamma_{M0}} = 1106.7 \cdot kN$

Tahová síla na část stojiny $F_{t.wb.Ed.1} := F_1 = 295.8 \cdot kN$

Posudek $\frac{F_{t.wb.Ed.1}}{F_{t.wb.Rd.1}} = 0.267 \quad . \le 1$ Vyhovuje

b) Účinná výška stojiny nosniku v tahu pro druhou řadu šroubů, $b_{eff.t.wb.2} := l_{eff.nc.2} = 120 \cdot mm$
(stejně jako nejemenší účinná délka pro náhradní T profil)

Návrhová únosnost stojiny $F_{t.wb.Rd.2} := \frac{b_{eff.t.wb.2} \cdot t_{wb} \cdot f_{y.wb}}{\gamma_{M0}} = 511.2 \cdot kN$

Tahová síla na část stojiny $F_{t.wb.Ed.2} := F_2 = 250.3 \cdot kN$

Posudek $\frac{F_{t.wb.Ed.2}}{F_{t.wb.Rd.2}} = 0.49 \quad . \le 1$ Vyhovuje

19.6 Posudek výztuh (dle ČSN EN 1993-1-5, část 9)

Zvolím výztuhy tloušťky 15mm, přivařené dvojstraným koutovým svarem a=4mm
Účinná plocha se vypočítá dle tohoto obrázku.

Tloušťka výztuhy $t_{st} := 15mm$

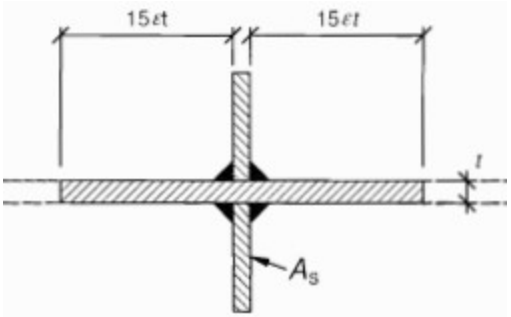
Výška výztuhy $h_{st} := 586mm$

Šiřka výztuhy $b_{st} := 141mm$

Tloušťka stojiny sloupu $t_{w.c} := 15.5mm$

Výška stojiny sloupu $h_{w.c} := 588mm$

Modul pružnosti $E := 210GPa$



Účinná plocha výztuhy $A_{st} := t_{st} \cdot (2 \cdot b_{st} + t_{w.c}) + (15 \cdot \varepsilon \cdot t_{w.c}) \cdot t_{w.c} = 7395 \cdot mm^2$

Moment setrvačnosti k ose nonsíku

$$I_{st} := \frac{1}{12}\cdot\left[t_{st}\cdot\left(2\cdot b_{st} + t_{w.c}\right)^3 + \left(2\cdot 15\cdot\varepsilon\cdot t_{w.c}\right)\cdot t_{w.c}^{\ 3}\right] = 3.3\times 10^7\cdot mm^4$$

Kritická výška $l_{cr.st} := 0.75\cdot h_{w.c} = 441\cdot mm$

Kritické břemeno $N_{cr} := \dfrac{\pi^2\cdot E\cdot I_{st}}{l_{cr.st}^{\ 2}} = 352013.4\cdot kN$

Poměrná štíhlost $\lambda_{st} := \sqrt{\dfrac{A_{st}\cdot f_y}{N_{cr}}} = 0.086$

Součinitel vzpěrnosti je pro λ.st < 0.2 $\chi_{st} := 1.0$

Únosnot výztuhy na vzpěr $F_{st.b.Rd} := \dfrac{\chi_{st}\cdot A_{st}\cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 2625.1\cdot kN$

Návrhová síla na výztuhy je rovna síle v pásnici nosníku.

$$F_{st.Ed} := \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{Ed}}{h_b - t_{fb}} = 1313.8\cdot kN$$

Podmínka spolehlivosti $\dfrac{F_{st.Ed}}{F_{st.b.Rd}} = 0.5$ $\quad . \le 1$ Vyhovuje

19.7 Svar nosník - čelní deska

Pásnice nosníku - 1/2V svar, bezpečně přenese stejnou sílu jako pásnice

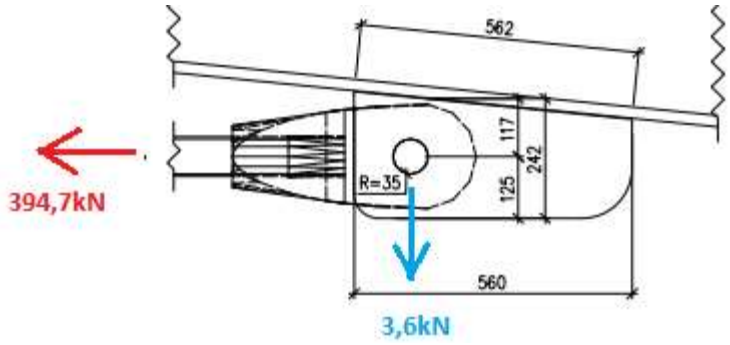
Stojina nosníku - Dvoustranný koutový svar,
aby přenesl stejnou sílu jako stojina musí platit rovnice: $\dfrac{a_{w.min}\cdot 2\cdot f_u}{\sqrt{2}\cdot\gamma_{M2}\cdot\beta_w} = \dfrac{t_{w.b}\cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

Tloušťka stojiny nosníku $t_{w.b} := 12mm$

$\beta_w := 0.9$ $\quad f_u := 490MPa$ $\quad f_y = 355\cdot MPa$ $\quad \gamma_{M2} := 1.25$

$a_{w.min} := \dfrac{t_{w.b}}{2}\cdot\dfrac{f_y}{\gamma_{M0}}\cdot\dfrac{\beta_w\cdot\gamma_{M2}\cdot\sqrt{2}}{f_u} = 6.9\cdot mm$ Návrh: Tloušťka svaru na stojině a_w=7mm

20. Přípoj táhla



Vlastní tíha táhla $m_t := 0.395 \frac{kN}{m}$

Délka táhla $L_t := 15.1m$

Sklon nosníku $\alpha := \frac{6}{180} \cdot \pi = 0.105 \cdot rad$

Excentricita síly N_v od těžiště svaru $e := 100mm$

Návrhová síla v táhle $N_{Ed} := 394.7kN$

Reakce od vlastní tíhy táhla $V_{Ed} := \frac{m_t \cdot L_t}{2} = 3 \cdot kN$

Složky sil

$N_h := N_{Ed} \cdot \cos(\alpha) + V_{Ed} \cdot \sin(\alpha) = 392.8 \cdot kN$

$N_v := N_{Ed} \cdot \sin(\alpha) + V_{Ed} \cdot \cos(\alpha) = 44.2 \cdot kN$

$M := N_v \cdot e = 4.4 \cdot kN \cdot m$

20.1 Posudek svaru

Návrh svaru $a_w := 6mm$

Délka svaru $L_w := 562mm - 2 \cdot a_w = 550 \cdot mm$

Tloušťka plechu $t_p := 65mm$

Moment setrvačnosti svaru: $I_w := \frac{1}{12}(2 \cdot a_w) \cdot L_w^3 = 1.664 \times 10^8 \cdot mm^4$

Kolmé smykové napětí $\tau_1 := \frac{\frac{M}{I_w} \cdot \frac{L_w}{2} + \frac{N_v}{2a_w \cdot L_w}}{\sqrt{2}} = 9.9 \cdot MPa$

Kolmé normálové napětí $\sigma := \tau_1 = 9.9 \cdot MPa$

Rovnoběžné smykové napětí $\tau_2 := \frac{N_h}{2 \cdot a_w \cdot L_w} = 59.5 \cdot MPa$

$f_u := 490MPa$

$\beta_w := 0.9$

$\gamma_{M2} := 1.25$

$\sqrt{\sigma^2 + 3\cdot\left(\tau_1{}^2 + \tau_2{}^2\right)} = 105\cdot MPa \qquad . \le . \qquad \frac{f_u}{\beta_w\cdot\gamma_{M2}} = 435.6\cdot MPa$ Vyhovuje

$\sigma = 9.9\cdot MPa \qquad . \le . \qquad 0.9\cdot\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 352.8\cdot MPa$ Vyhovuje

20.2 Posudek oslabeného průřezu plechu na tah

$f_y := 355MPa \qquad f_u := 490MPa \qquad \gamma_{M2} := 1.25$

Tloušťka plechu $t_p := 65mm$

Oslabená plocha $A_{net} := (242mm - 70mm)\cdot t_p = 11180\cdot mm^2$

Únosnost plechu $N_{t.Rd} := \frac{0.9A_{net}\cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 3944.3\cdot kN$

Návrhová síla v táhle $N_{Ed} = 394.7\cdot kN$

Posouzení $\frac{N_{Ed}}{N_{t.Rd}} = 0.1 \qquad . \le 1$ Vyhovuje

20.3 Minimální rozměry plechu dle výrobce

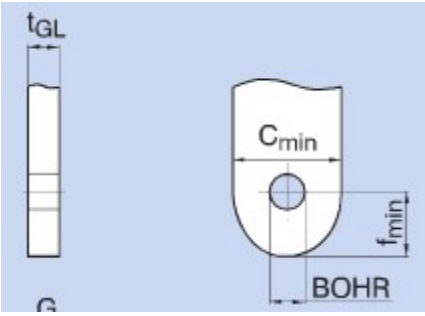
Hodnoty převzaty z katalogu: *http://www.pfeifer.de/emag/PFEIFER-Zugglieder/index.html#/38*

Pro M80: $t_{GL} := 65mm$

$c_{min} := 210mm$

$f_{min} := 114mm$

$BOHR := 73mm$



Při dodržení těchto hodnot nebude rozhodovat únosnost v otlačení

21. Přípoj konzoly jeřábové dráhy

Návrhový moment $M_{Ed} := 145.8kN \cdot m$

Návrhová posouvající síla $V_{Ed} := 194.4kN$

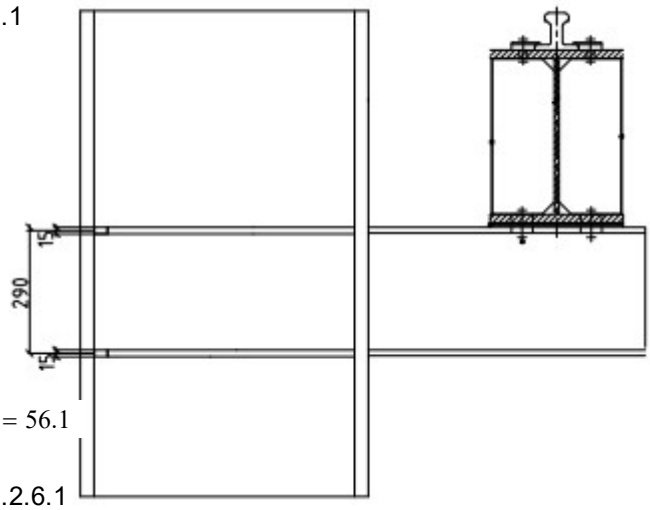
21.1 Panel stěny sloupu ve smyku (dle ČSN EN 1993-1-8, část 6.2.6.1)

Podmínka pro použití metody v 6.2.6.1

$f_y := 355MPa$ $\gamma_{M0} := 1.0$

Délka stojiny HEB 650 $d := 534mm$

Tloušťka stojiny $t_w := 16mm$



$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235MPa}{f_y}} = 0.814$$

Podmínka $\frac{d}{t_w} = 33.4$. ≤ . $69 \cdot \varepsilon = 56.1$

Platí, lze použít metodu v části EC 6.2.6.1

Smyková plocha sloupu $A_{vc} := 12200mm^2$

Plastická únosnost stěny sloupu $V_{wp.Rd} := \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 2250.5 \cdot kN$

Tloušťka pásnice $t_f := 31mm$

Šířka pásnice $b_f := 300mm$

Tloušťka stojiny $b_w := 16mm$

Návrhová plastická momentová únosnost pásnice sloupu $M_{pl.fc.Rd} := f_y \cdot \frac{b_f \cdot t_f^2}{4} = 25.59 \cdot kN \cdot m$

Tloušťka výztuhy $t_{st} := 15mm$

Šířka výztuhy $b_{st} := b_f - b_w = 284 \cdot mm$

Délka výztuhy $l_{st} := 556mm$

Návrhová plastická momentová únosnost výztuhy

$$M_{pl.st.Rd} := f_y \cdot \frac{b_{st} \cdot t_{st}^2}{4} = 5.7 \cdot kN \cdot m$$

Osová vzdálenost výztuh $d_s := 290mm$

Hodnota o kterou lze zvýšit únosnost při použití výztuh

$$V_{wp.add.Rd} := \min\left(\frac{4 \cdot M_{pl.fc.Rd}}{d_s}, \frac{2 \cdot M_{pl.fc.Rd} + 2 \cdot M_{pl.st.Rd}}{d_s}\right) = 215.6 \cdot kN$$

Výsledná smyková únosnost stěny sloupu $V_{w.Rd} := V_{wp.Rd} + V_{wp.add.Rd} = 2466 \cdot kN$

Výška konzoly (rameno smykových sil působících na sloup) $z := 270mm$

Návrhová smyková síla ve stěne sloupu $V_{w.Ed} := \frac{M_{Ed}}{z} = 540 \cdot kN$

Posudek $\frac{V_{w.Ed}}{V_{w.Rd}} = 0.22 \quad . \le 1$ Vyhovuje

21.2 Pásnice nosníku konzoly v lokálním tlaku (dle ČSN EN 1993-1-8, část 6.2.6.7)

Ocel nosníku S355 $f_y := 355MPa$ $\gamma_{M1} := 1.0$

Plastický průřezový modul konzoly HEA 300 $W_{pl.y} := 1383cm^3$

Výška nosníku $h_b := 290mm$

Tloušťka pásnice nosníku $t_{fb} := 14mm$

Návrhová momentová únosnost nosníku $M_{c.Rd} := \frac{W_{pl.y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 491 \cdot kN \cdot m$

Návrhová únosnost pásnice nosníku v tlaku $F_{c.fb.Rd} := \frac{M_{c.Rd}}{h_b - t_{fb}} = 1778.9 \cdot kN$

Návrhová síla v tlačené pásnici $F_{c.fb.Ed} := \frac{M_{Ed}}{h_b - t_{fb}} = 528.3 \cdot kN$

Posouzení tlačené pásnice nosníku $\frac{F_{c.fb.Ed}}{F_{c.fb.Rd}} = 0.297 \quad . \le 1$ Vyhovuje

21.3 Únosnost výztuhy na vzpěr

Únosnost je stejná jako v případě rámového rohu

Únosnot výztuhy na vzpěr $F_{st.b.Rd} := 2625kN$

Návrhová síla na výztuhy $F_{st.Ed} := \frac{M_{Ed}}{h_b - t_{fb}} = 528.3 \cdot kN$

Podmínka spolehlivosti $\frac{F_{st.Ed}}{F_{st.b.Rd}} = 0.201 \quad . \le 1$ Vyhovuje

21.4 Svar nosník - sloup Pružné posouzení

Charakteristika profilu HEA 300

Tloušťka stojiny profilu $t_w := 8.5mm$

Tloušťka pásnice profilu $t_f := 14mm$

Výška profilu $h := 290mm$

Charakteristiky svaru

Tloušťka svaru na pásnici -tupý svar, stejná únosnost jako pásnice

na stojině $a_{ww} := 4mm$

Moment setrvačnosti svaru: $I_w := 182 \cdot 10^6 mm^4 = 1.82 \times 10^8 \cdot mm^4$

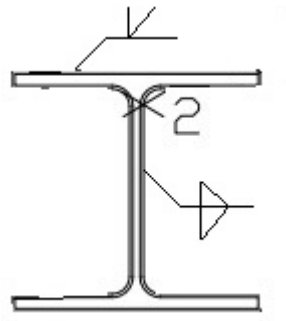
Plocha svaru na stojině $A_w := (h - 2 \cdot t_f) \cdot 2 \cdot a_{ww} = 2.1 \times 10^3 \cdot mm^2$

Posudek v bodě 2

$f_u := 490MPa$

$\beta_w := 0.9$

$\gamma_{M2} := 1.25$



Kolmé smykové napětí $\tau_1 := \dfrac{\dfrac{M_{Ed}}{I_w} \cdot \dfrac{h - 2 \cdot t_f}{2}}{\sqrt{2}} = 74.2 \cdot MPa$

Kolmé normálové napětí $\sigma := \tau_1 = 74.2 \cdot MPa$

Rovnoběžné smykové napětí $\tau_2 := \dfrac{V_{Ed}}{A_w} = 92.7 \cdot MPa$

$\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \left(\tau_1^2 + \tau_2^2\right)} = 218.7 \cdot MPa \quad . \le . \quad \dfrac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 435.6 \cdot MPa$ Vyhovuje

$\sigma = 74.2 \cdot MPa \quad . \le . \quad 0.9 \cdot \dfrac{f_u}{\gamma_{M2}} = 352.8 \cdot MPa$ Vyhovuje

21.5 Posudek na únavu (dle ČSN EN 1993-1-9, část 6.2.6.7)

Součinitel ekvivalentního poškození λ pro kategorii únavových účinků S3

pro normálové napětí $\lambda_\sigma := 0.397$

pro smykové napětí $\lambda_\tau := 0.575$

Zatížení konzoly od jeřábu $Q_c := 194.4kN$

Ekvivalentní zatížení pro poškození únavou

pro normálové napětí $Q_{e.\sigma} := \lambda_\sigma \cdot Q_c = 77.2 \cdot kN$

pro smykové napětí $Q_{e.\tau} := \lambda_\tau \cdot Q_c = 111.8 \cdot kN$

Dílčí součinitel spolehlivosti únavové pevnosti $\gamma_{Mf} := 1.35$

Dílčí součinitel únavového zatížení jeřáby $\gamma_{Ff} := 1.0$

Ekvivalentní rozkmit ohybového momentu $\Delta M_{E2} := Q_{e.\sigma} \cdot \left(750mm - \frac{650}{2}mm\right) = 32.8 \cdot kN \cdot m$

Ekvivalentní rozkmit posouvající síly $\Delta V_{E2} := Q_{e.\tau} = 111.8 \cdot kN$

21.5.1 Posouzení svaru na pásnici pro rozkmit normálového napětí od ohybového momentu

Referenční únavová pevnost dle ČSN EN 1993-1-9 (Pro tupý svar) $\Delta\sigma_c := 45MPa$

Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého normálového napětí $\Delta\sigma_{E2} := \frac{\Delta M_{E2} \cdot \frac{h}{2}}{I_w \cdot \sqrt{2}} = 18.5 \cdot MPa$

Únavové poškození $D_\sigma := \gamma_{Ff}^3 \cdot \Delta\sigma_{E2}^3 \cdot \left(\frac{\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_c}\right)^3 = 0.17 \quad . \le 1$ Vyhovuje

21.5.2 Posouzení svaru na stojině pro rozkmit hlavního napětí od momentu a posouvající síly

Referenční únavová pevnost dle ČSN EN 1993-1-9 $\Delta\sigma_{c.w} := 36MPa$

$\Delta\tau_{c.w.k} := 80MPa$

$\Delta\tau_{c.w.II} := 80MPa$

Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého normálového napětí $\Delta\sigma_{E2.w} := \frac{\Delta M_{E2} \cdot \frac{h - 2 \cdot t_f}{2}}{I_w \cdot \sqrt{2}} = 16.7 \cdot MPa$

$\Delta\tau_{E2.w.k} := \Delta\sigma_{E2.w} = 16.7 \cdot MPa$

Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého smykového napětí $\Delta\tau_{E2.w.II} := \frac{\Delta V_{E2}}{A_w} = 53.3 \cdot MPa$

Posudek dle ČSN EN 1993-6 část 9.4.2 (3)

$$D := \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2.w}}{\frac{\Delta\sigma_{c.w}}{\gamma_{Mf}}}\right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E2.w.k}}{\frac{\Delta\tau_{c.w.k}}{\gamma_{Mf}}}\right)^5 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E2.w.II}}{\frac{\Delta\tau_{c.w.II}}{\gamma_{Mf}}}\right)^5 = 0.84 \quad . \le 1$$ Vyhovuje

22. Přípoj ztužidla

Maximální návrhová síla ve ztužidle $N_{Ed} := 99kN$

Počet šroubů $n := 2$

Smyková síla na 1 šroub $F_{v.Ed} := \frac{N_{Ed}}{2} = 49.5 \cdot kN$

Návrh šroubů

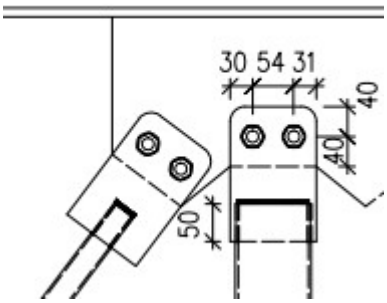
2x M16 8.8 $f_{yb} := 640MPa$ $\gamma_{M2} := 1.25$

$f_{ub} := 800MPa$ $\gamma_{M0} := 1.0$

$d := 16mm$

$d_0 := 18mm$

$A_s := 157mm^2$



22.1 Únosnost šroubu ve stříhu (jednostřižný spoj)

$\alpha := 0.6$

Únosnost jednostřižného šroubu $F_{v.Rd} := \alpha \cdot A_s \cdot \frac{f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 60.3 \cdot kN$

Posouzení $\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} = 0.821$ $. \le 1$ Vyhovuje

22.2 Únosnost šroubu v otlačení

tloušťka plechu $t := 10mm$

materiál plechu S355 $f_u := 490MPa$ $f_y := 355MPa$

$e_1 := 40mm$ $e_2 := 30mm$

$$\alpha_b := \min\left(1.0, \frac{f_{ub}}{f_u}, \frac{e_1}{3d_0}\right) = 0.74$$

$$k_1 := \min\left(2.5, -1.7 + 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0}\right) = 2.5$$

Únosnost šroubu v otlačení $F_{b.Rd} := \frac{(k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t)}{\gamma_{M2}} = 116.148 \cdot kN$

Posouzení $\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} = 0.426$ $. \le 1$ Vyhovuje

22.3 Posudek plechu na tah

Oslabená plocha při působení tahu $A_{net} := 90mm \cdot t - d_0 \cdot t = 720 \cdot mm^2$

Únosnost oslabeného průřezu $N_{t.Rd} := \frac{(0.9 A_{net} \cdot f_y)}{\gamma_{M2}} = 184 \cdot kN$

Posouzení $\frac{N_{Ed}}{N_{t.Rd}} = 0.538 \quad . \leq 1$ Vyhovuje

22.4 Posudek svaru

Minimální délka svaru $L := 40mm$

Tloušťka svaru $a := 3mm$

Účinná délka svaru $L_w := L - 2a = 34 \cdot mm$

Plocha svaru $A_w := L_w \cdot a = 102 \cdot mm^2$

Smykové napětí rovnoběžné s osou svaru $\tau_2 := \frac{N_{Ed}}{4 \cdot A_w} = 242.647 \cdot MPa$

$\beta_w := 0.9$

Posouzení $\sqrt{3 \cdot \tau_2^2} = 420.3 \cdot MPa \quad . \leq . \quad \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 435.556 \cdot MPa$ Vyhovuje

23. Vetknutá patka

1) Vstupní hodnoty:

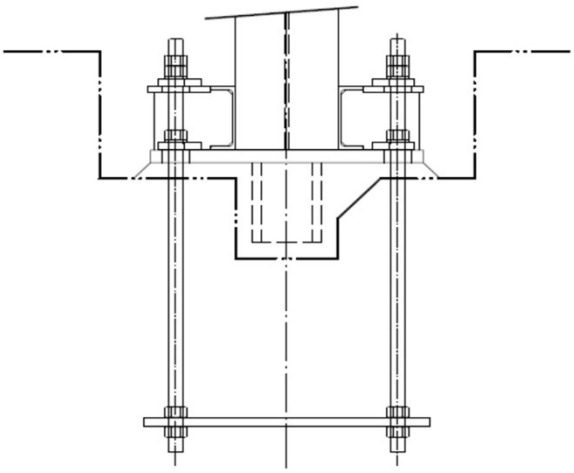
Návrhové síly - kombinace KZ15 (maximální moment)

Maximální moment + tlaková síla:

N_{Ed} = 374 kN

V_{Ed} = 134 kN

M_{Ed} = 655 kNm



Ocel: S355JR

f_{yk} = 355 MPa

f_{uk} = 490 MPa

γ_{M0} = 1

β_w = 0,9

Beton: C20/25

f_{ck} = 20 MPa

γ_c = 1,5

Rozměry:

- Patní deska

t = 25 mm

a = 1160 mm

b = 1050 mm

- Betonová patka

a_1 = 2200 mm

b_1 = 1300 mm

h = 800 mm

- Profil sloupu **HEB 650**

b = 300 mm

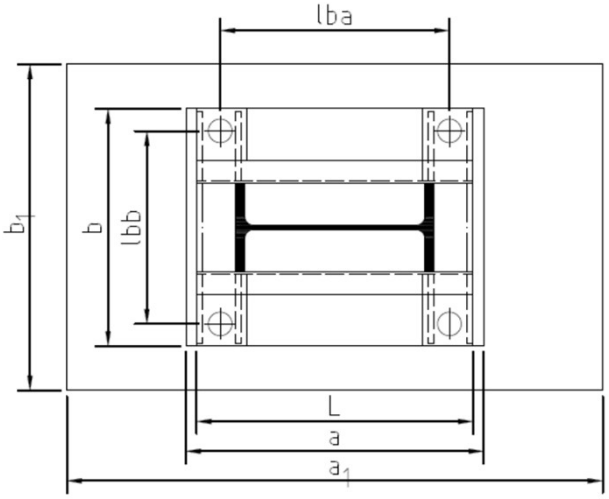
h = 650 mm

-Profil podélné výztuhy **U 260**

b = 90 mm

h = 260 mm

t_f = 14 mm



Rozměry:

-Profil podélné výztuhy U 260

r_1 = 14 mm

A_{vz} = 2712 mm^2

A = 4830 mm^2

I_y = 48200000 mm^4

L = 1160 mm

- Rozteče šroubů:

l_{ba} = 870 mm

l_{bb} = 700 mm

2) Návrh patního plechu a výztuh

2) Řešení:

Započitatelné rozměry patky:

a_{1min} = min(a_1; 3·a; a+h)

b_{1min} = min(b_1; 3· b; b+h)

a_{1min} = 1960 mm

b_{1min} = 1300 mm

Přesah patky c

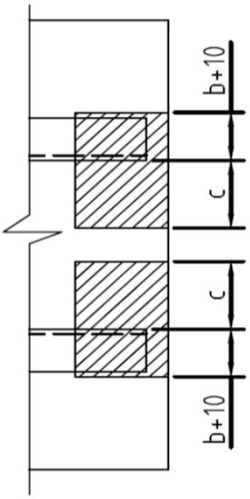
$$c = t_p \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 f_j}}$$

c = 75,8 mm

Souč. koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_{1\min} \cdot b_{1\min}}{a_1 \cdot b_1}}$$

k_j = 1,45



Návrh. Pevnost betonu

$$f_j = \frac{2}{3} k_j f_{ck} / \gamma_c$$

f_j = 12,9 MPa

Efektivní šířka patního plechu:

$$b_{eff} = 2 \cdot b + 2 \cdot c$$

b_{eff} = 351,7 mm

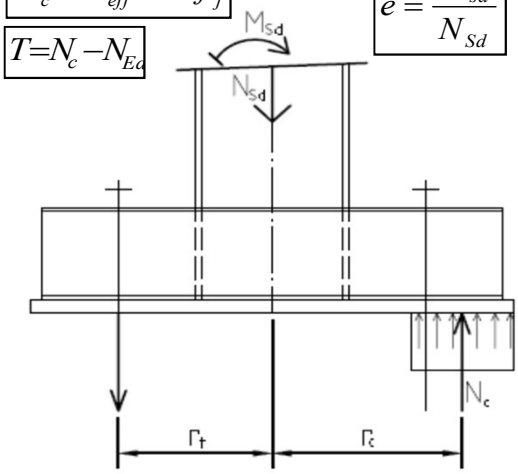
Výpočet tlačené oblasti - kvadratická rovnice:

$$N_{Ed} \cdot (e + r_t) = N_c \cdot (r_t + a/2 - x/2)$$

$$N_c = b_{eff} \cdot x \cdot f_j$$

$$T = N_c - N_{Ed}$$

$$e = \frac{M_{sd}}{N_{Sd}}$$



Namáhání patní spáry a průřezu patky:

Kombinace KZ15

M_{sd}	=	655,0	kNm
N_{Sd}	=	374,0	kN
e	=	1751,3	mm
x_1=x	=	197,4	mm
x_2	=	1832,6	mm
N_c	=	892,4	kN
T	=	518,4	kN

Tlačená strana patky:

$$M_p = N_c \left(\frac{L}{2} - \frac{h}{2} - \frac{x}{2}\right)$$

M_p = 139,5 kNm

V_p = 892,4 kN

Tažená strana patky:

$$M_l = T \cdot [(\frac{L}{2} - \frac{h}{2}) - (\frac{L}{2} - \frac{l_{ba}}{2})]$$

M_l = 134,8 kNm

V_l = 518,4 kN

Průřezové veličiny patky:

	A	z_i	$I_{y,i}$	$A*z_i$	$A*(z_i-z_T)^2$
	mm^2	mm	mm^4	mm^3	mm^4
Patní plech:	26250	12,5	1367187,5	328125	38505863
U 260	4830	155	48200000	748650	52442401

$$z_T = \frac{\Sigma A_i \cdot z_i}{A}$$

z_T = 50,8 mm

I_y = 241157852,4 mm^4

$W_{y,h}$ = 1029709,02 mm^3

$W_{y,d}$ = 4747201,819 mm^3

Posouzení napětí:

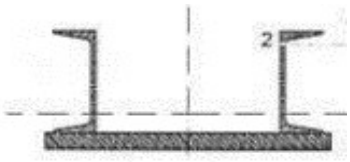
$$\sigma_{h,\max} = \frac{M_{\max}}{W_{y,h}} \qquad \tau_{\max} = \frac{V_l}{A_{vz}}$$

$\sigma_{h,max}$	=	**135,5** MPa	<	**355** MPa	Vyhovuje
τ_{max}	=	**164,5** MPa	<	**205,0** MPa	Vyhovuje
$2x\tau_{max}$	=	**329,0** MPa	<	**205,0** MPa	Nevyhovuje

Je nutný posudek na M+V!

Napětí v bodě 2 σ_2

$$\sigma_2 = z \frac{M_{\max}}{I_y}$$



σ_2 = 119,3 MPa

Kombinace M+V:

$$\sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

= **308,9** < **355** [Mpa] Vyhovuje

Průřez patky s výztuhami vyhoví!

3) Připojení výztuh k patnímu plechu

Rozměry:

Svar	a_{we}	=	5	mm
	L	=	1160	mm
	I_y	=	48200000	mm^4
	Počet	=	4	KS

Návrhové síly:

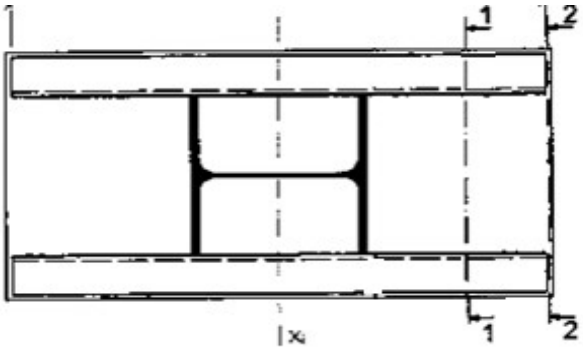
V_{Ed1}	=	134	kN

Napětí ve svarech - řez 1:

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} + \frac{V_p \cdot S_{f,y}}{I_y \cdot 4 \cdot a_{we}}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Sd}}{A_{we}} + \frac{M_{Sd}}{I_{we}} x$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \sigma_{we} / \sqrt{2}$$



A_{we}	=	23200	mm^2
I_{we}	=	2601493000	mm^4
$S_{f,y}$	=	478750	mm^3
x_1		435	mm
τ_{II}	=	94,4	MPa
σ_{we}	=	125,6	MPa
$\tau_L = \sigma_L$	=	88,8	MPa

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \mathbf{255,5} < \mathbf{453,3} \text{ [Mpa]}$$

Svary výztuh k patnímu plechu vyhoví!

Napětí ve svarech - řez 2:

$$\tau_{II} = \frac{V_{Sd}}{A_{we}} + 0$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Sd}}{A_{we}} + \frac{M_{Sd}}{I_{we}} x$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \sigma_{we} / \sqrt{2}$$

x_2	=	580	mm
τ_{II}	=	5,8	MPa
σ_{we}	=	162,2	MPa
$\tau_L = \sigma_L$	=	114,7	MPa

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \mathbf{229,5} < \mathbf{453,3} \text{ [Mpa]}$$

Svary výztuh k patnímu plechu vyhoví!

4) Návrh kotevních šroubů

Kotvy - zavitová tyč M36 S460

Tolerance osazení šroubu +/- 30mm

Návrhové síly:

$T_{max.}$ = 518,4 kN

Řešení:

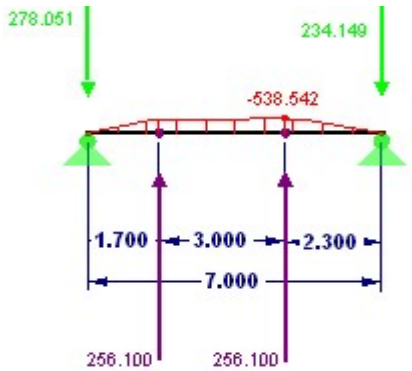
$N_{t,Ed,max}$ = 278,1 kN

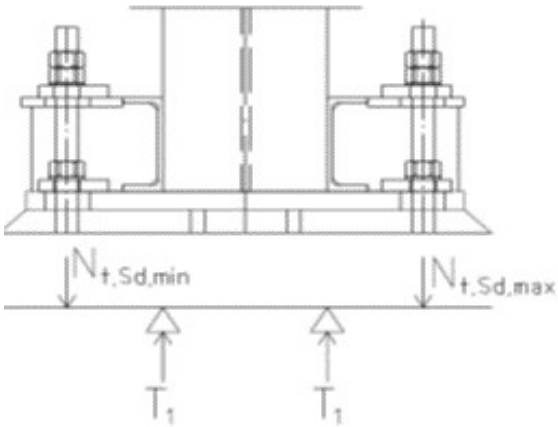
$N_{t,Ed,min}$ = 234,1 kN

$M_{Ed,max}$ = 53,8 kNm

$M_{Ed,min}$ = 49,3 kNm

$T_1 = T_{max} / 2$ T_1 = 256,1 kN





Účinné délky porušení - řada pod taženou pásnicí

Rozměry:

m = 114,0 mm

m_2 = 190,0 mm

e = 164,0

$n = \min(e, 1.25m)$ n = 142,5 mm

t_f = 30,0 mm

A_s - M36 A_s = 865,0 mm^2

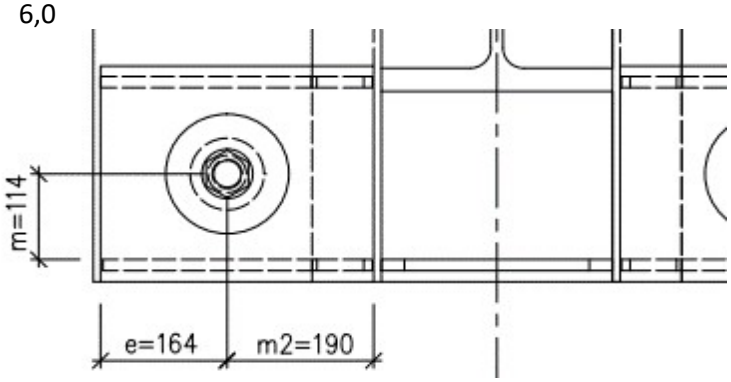
$\lambda_1 = \frac{m}{m+e}$ λ_1 = 0,41 mm

$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ λ_2 = 0,68 mm

α = 6,0

$L_{eff,1} = 2 \cdot \pi \cdot m$ = 716,1 mm

$L_{eff,2} = \alpha \cdot m$ = 683,8 mm



Páčení šroubů:

1. Způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd} = 0{,}25 \cdot L_{eff,1} \cdot t_f^{\,2} \cdot f_{yd} / \gamma_{M0}$$ = 57,2 kNm

$$F_{cf,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl1,Rd}}{m}$$ $F_{cf,Rd}$ = 2007,5 kN

$$\frac{F_{cf,Rd}}{2} \geq N_{t,Sd\,\max.}$$ = **1003,7** > **278,1** [kN] Vyhovuje

2. Způsob porušení

$$B_{t,Rd} = 0{,}85 \cdot \frac{0{,}9 \cdot f_u \cdot A_s}{\gamma_{M0}} = 0{,}85 \frac{0{,}9 \cdot 530 \cdot 865}{1{,}0}$$

$B_{t,Rdmin.}$ = 350,7 kN

$$M_{pl,2,Rd} = 0{,}25 \cdot L_{eff\,2} \cdot t_f^{\,2} \cdot f_{yd} / \gamma_{M0}$$ = 54,6 kNm

$$F_{cf,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl2,Rd} + 2 \cdot n \cdot B_{t,Rd}}{m+n}$$ = 815,7 kN

$$\frac{F_{cf,Rd}}{2} \geq N_{t,Sd\,\max.}$$ = **407,8** > **278,1** [kN] Vyhovuje

3. Způsob porušení

$$F_{t3,3Rd} = B_{t,Rd} > N_{t,Sd,max}$$ **350,7** > **278,1** [kN] Vyhovuje

Vyhoví na páčení!

24. Smyková zarážka patky

24.1 Přenos posouvající síly třením

Posudek se provede pro KZ15, kde vzniká maximální posouvající síla V_{15}
a dále pro KZ 18 kde vzniká nejmenší síla N a moment M při co největší síle V_{18}.

Součinitel tření ocel-beton $\mu := 0.2$

Kombinace KZ15

M_{sd}	=	655,0	kNm
N_{Sd}	=	373,0	kN
e	=	1756,0	mm
x_1=x	=	184,3	mm
x_2	=	1845,7	mm
N_c	=	885,6	kN
T	=	512,6	kN

Kombinace KZ18

M_{sd}	=	90,0	kNm
N_{Sd}	=	45,0	kN
e	=	2000,0	mm
x_1=x	=	22,7	mm
x_2	=	2007,3	mm
N_c	=	109,2	kN
T	=	64,2	kN

Posouvající síla $V_{15} := 134kN$ $V_{18} := 52kN$

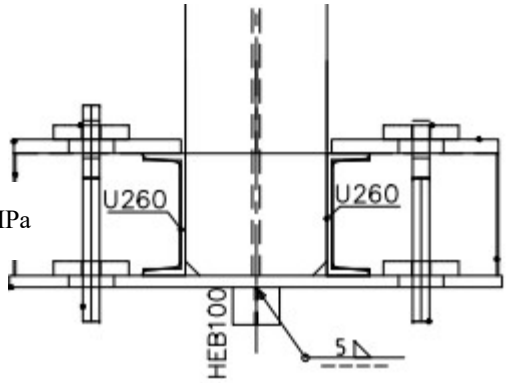
Tlaková síla ve spáře $N_{c.15} := 885.6kN$ $N_{c.18} := 109.2kN$

Únosnost $V_{Rd.15} := \mu \cdot N_{c.15} = 177.1 \cdot kN$ $V_{Rd.18} := \mu \cdot N_{c.18} = 21.8 \cdot kN$

Posouzení $\frac{V_{15}}{V_{Rd.15}} = 0.76 \quad . \le 1$ Vyhovuje

$\frac{V_{18}}{V_{Rd.18}} = 2.38 \quad . \le 1$ Nevyhovuje Nutno navrhnout smykovou zarážku

24.2 Návrh smykové zarážky



Návrhové vnitřní síly na prutu

Posouvající síla $V_{Ed} := V_{18} = 52 \cdot kN$

Pevnost betonu C20/25 $f_{cd} := \frac{25}{1.5} MPa = 16.7 \cdot MPa$

Výška podlití patní desky $h_{pd} := 40mm$

Šířka HEB 100 $b := 100mm$

Minimální délka zarážky $h_{min} := \frac{V_{Ed}}{b \cdot f_{cd}} + h_{pd} = 71.2 \cdot mm$

Navržená délka zarážky $L := 80mm$

Moment $M_{v.Ed} := V_{Ed} \cdot \left(h_{pd} + \frac{L}{2}\right) = 4.16 \cdot kN \cdot m$

Materiálové charakteristiky

Ocel S355 $f_{yd} := 355MPa$

$E := 210000MPa$

Průřezové charakteristiky

Návrh HEB 100 $b := 100mm$ $h := 100mm$

$t_w := 6mm$ $t_f := 10mm$

$A_v := 901mm^2$ $W_{pl} := 104200mm^3$

Zatřídění průřezu - průřez č. 1

Smyková únosnost

$V_{.Rd} := A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 184.7 \cdot kN$ $. \geq .$ $V_{Ed} = 52 \cdot kN$ Vyhovuje

Návrhová smyková síla není větší než 50% plastické smykové únosnosti, je tedy možné zanedbat její účinek na únosnost při působení ohybu

Charakteristická ohybová únosnost

$M_{v.Rd} := W_{pl} \cdot f_{yd} = 37 \cdot kN \cdot m$ $. \geq .$ $M_{v.Ed} = 4.16 \cdot kN \cdot m$ Vyhovuje

24.3 Svar smykové zarážky

Tloušťka svaru na pásnici $a_{wf} := 5mm$

na stojině $a_{ww} := 5mm$

Moment setrvačnosti svaru: (Spočítáno v autocadu) $I_w := 7431710mm^4 - 4495451mm^4 = 2.936 \times 10^6 \cdot mm^4$

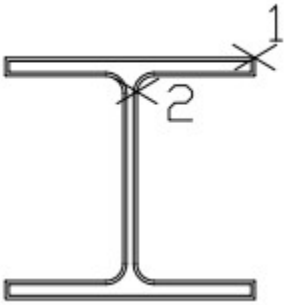
Plocha svaru na stojině $A_w := (h - 2 \cdot t_f) \cdot 2 \cdot a_{ww} = 800 \cdot mm^2$

Posudek v bodě 1

Kolmé smykové napětí $\tau_1 := \frac{\frac{M_{v.Ed}}{I_w} \cdot \frac{h}{2}}{\sqrt{2}} = 50.09 \cdot MPa$

Kolmé normálové napětí $\sigma := \tau_1 = 50.09 \cdot MPa$

Rovnoběžné smykové napětí $\tau_2 := 0MPa$



$f_u := 490MPa$

$\beta_w := 0.9$

$\gamma_{M2} := 1.25$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\cdot\left(\tau_1{}^2 + \tau_2{}^2\right)} = 100.2\cdot MPa \quad .\le . \quad \frac{f_u}{\beta_w\cdot\gamma_{M2}} = 435.6\cdot MPa$$ Vyhovuje

$$\sigma = 50.1\cdot MPa \quad .\le . \quad 0.9\cdot\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 352.8\cdot MPa$$ Vyhovuje

Posudek v bodě 2

Kolmé smykové napětí $\tau_1 := \dfrac{\dfrac{M_{v.Ed}}{I_w}\cdot\dfrac{h - 2\cdot t_f}{2}}{\sqrt{2}} = 40.072\cdot MPa$

Kolmé normálové napětí $\sigma := \tau_1 = 40.072\cdot MPa$

Rovnoběžné smykové napětí $\tau_2 := \dfrac{V_{Ed}}{A_w} = 65\cdot MPa$

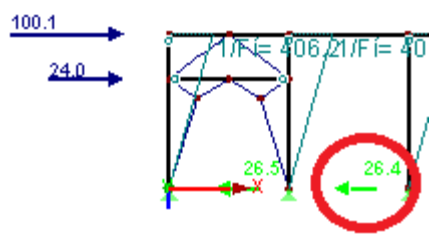
$$\sqrt{\sigma^2 + 3\cdot\left(\tau_1{}^2 + \tau_2{}^2\right)} = 138.2\cdot MPa \quad .\le . \quad \frac{f_u}{\beta_w\cdot\gamma_{M2}} = 435.6\cdot MPa$$ Vyhovuje

$$\sigma = 40.1\cdot MPa \quad .\le . \quad 0.9\cdot\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 352.8\cdot MPa$$ Vyhovuje

24.4 Posudek zarážky ve sloupu se ztužidlem

Ve sloupech kde je ztužidlo vzniká navíc vodorovná reakce v patce. Pro kombinaci (1,5*podélný vítr + 1,35*jeřáb-zrychlení + 1,0*imperfekce) je návrhová síla V_d=26.4kN

Posouvající síla $V_p := 26.4kN$



Moment $M_p := V_p\cdot\left(h_{pd} + \dfrac{L}{2}\right) = 2.1\cdot kN\cdot m$

Smyková únosnost

$$V_{.Rd} := 2\cdot t_f\cdot b\cdot\frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 409.9\cdot kN \quad .\ge . \quad V_p = 26.4\cdot kN$$ Vyhovuje

Ohybová únosnost $W_{pl.z} := 51.4\cdot 10^3 mm^3$

$$M_{p.Rd} := W_{pl.z}\cdot f_{yd} = 18.2\cdot kN\cdot m \quad .\ge . \quad M_p = 2.1\cdot kN\cdot m$$ Vyhovuje

Dvojosý ohyb

$$\frac{M_p}{M_{p.Rd}} + \frac{M_{v.Ed}}{M_{v.Rd}} = 0.23 \quad .\le 1$$ Vyhovuje

Výstup z programu LTBeam pro

výpočet kritického momentu jeřábové dráhy

CTICM 01-23-2017 12:32

LTBeam

Version 1.0.11

Beam

Total length	L	=	7,5	m
Number of elements	N	=	100	

Steel

Young modulus	E	=	210000	MPa
Poisson's coefficient	ν	=	0,3	
Shear modulus	G	=	80769	MPa

Section - In Catalogue

Selected Profile		=	HEA 400	
Weak flexural inertia	Iz	=	8563,8	cm4
Torsional constant	It	=	189,86	cm4
Warping constant	Iw	=	2,9468E06	cm6
Wagner factor	ßz	=	0	mm

Lateral Restraints

Left End

Position of Restraint /S	z	=	-195	mm
Lateral restraint	v	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	v'	=	Free	
Warping restraint	θ χ	=	Free	

Right End

Position of Restraint /S	z	=	-195	mm
Lateral restraint	v	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	v'	=	Free	
Warping restraint	θ χ	=	Free	

No intermediate lateral restraint

Loading

Supports at Ends in the Plane of Bending

Hinged at both ends

Distributed load

Value at the origin	q1	=	-1,69	kN/m
Value at the end	q2	=	-1,69	kN/m
Abscissa/L at the origin	xf1	=	0	
Abscissa/L at the end	xf2	=	1	
Position /S	z	=	0	mm

Distributed load

Value at the origin	q1	=	-0,405	kN/m
Value at the end	q2	=	-0,405	kN/m
Abscissa/L at the origin	xf1	=	0	
Abscissa/L at the end	xf2	=	1	
Position /S	z	=	280	mm

Point load

Value	F	=	-132,44	kN
Abscissa/L	xf	=	0,367	
Position /S	z	=	280	mm

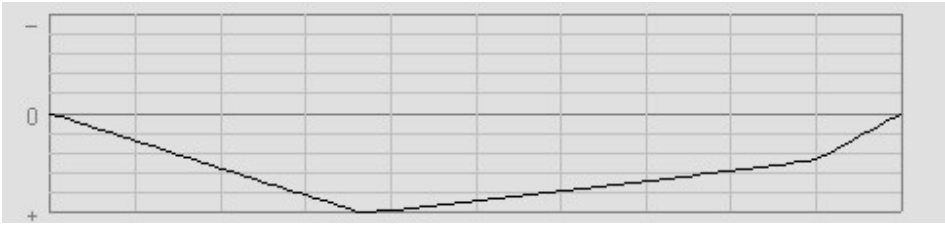
Point load

Value	F	=	-132,44	kN
Abscissa/L	xf	=	0,9	
Position /S	z	=	280	mm

Sketch of applied forces and lateral restraint positions

Bending and shear diagrams

3 M 3 V



Maximum moment	Mmax	=	280,15	kN.m
Abscissa/L	xf	=	0,370	

Critical Moment

Eigenvalue solving

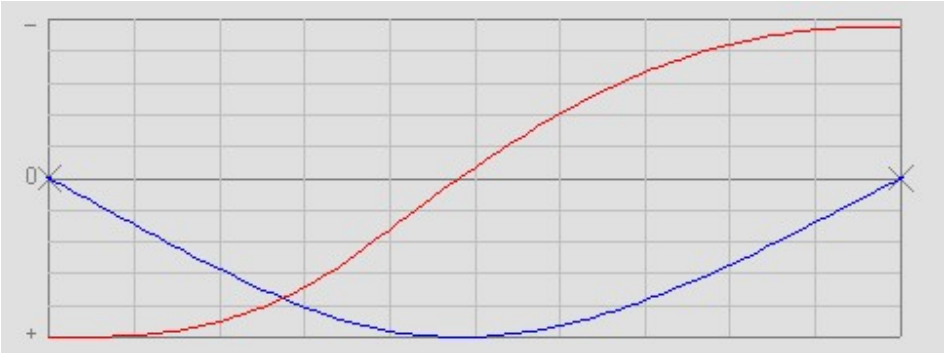
Dichotomic process on determinant				
Convergence tolerance	ε	=	0,0001	
Number of iterations performed	nit	=	18	
Convergence achieved				
Eigenvalue obtained	μ	=	2,681	

Critical Moment

Critical value of maximum moment	Mcr	=	751,07	kN.m
Abscissa/L	xf	=	0,370	

Eigenmode

3 v 3 θ 3 v' 3 θ χ



Výstup z programu LTBeamN pro

výpočet kritického momentu příčle

I - PARAMETERS

I.1 - General parameters

Projected total length :	L = 22,5 m
Initial discretization of the beam :	n_{el} = 100 elements

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	E = 210000 MPa
Shear modulus :	G = 80769 MPa
Poisson factor :	ν = 0,3
Density :	ρ = 7850 kg/m^3

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top flange

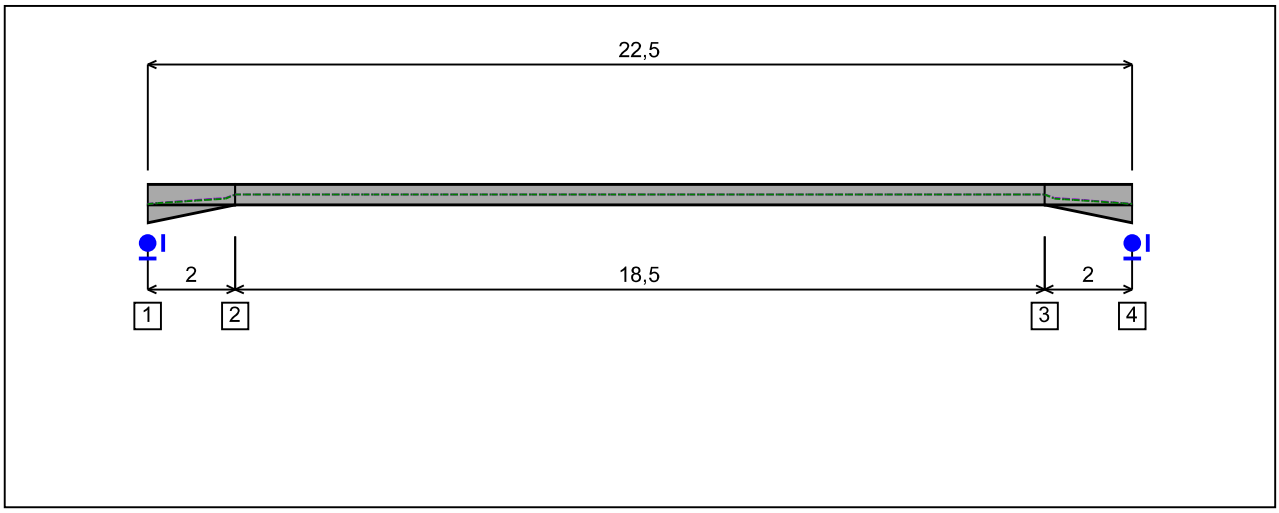


Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : HEA 500

Abscissa from the left end of the beam : x = 0 m

Type : In catalogue (OTUA)

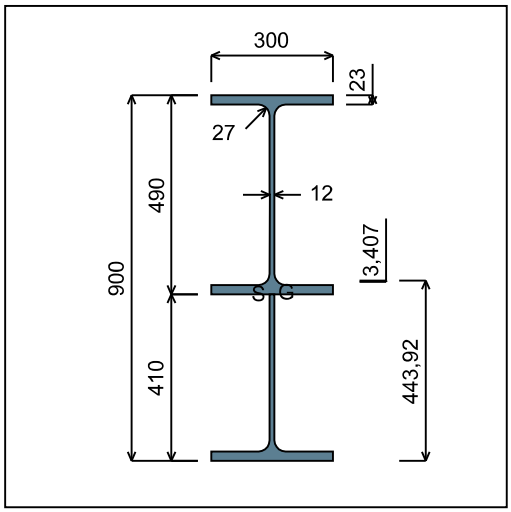


Figure 2 : Section No. 1 (HEA 500).

Main geometrical properties :

z_S = -0,3407 cm
z_G = 44,39 cm
I_y = 339240 cm^4
I_z = 15553 cm^4
I_t = 481,63 cm^4 (Villette)
I_w = 1,986E+7 cm^6

Other geometrical properties :

A = 316,11 cm^2
$A_{v,y}$ = 207 cm^2 $A_{v,z}$ = 123,92 cm^2
$W_{el,y,sup}$ = 7438,2 cm^3
$W_{el,y,inf}$ = 7641,9 cm^3 $W_{el,z}$ = 1036,9 cm^3
$W_{pl,y}$ = 8555,2 cm^3 $W_{pl,z}$ = 1593,7 cm^3

Stiffness relaxations :

θ : Continuous
v' : Continuous
θ' : Continuous
w' : Continuous

- Section No. 2 : HEA 500

Abscissa from the left end of the beam : x = 2 m

Type : In catalogue (OTUA)

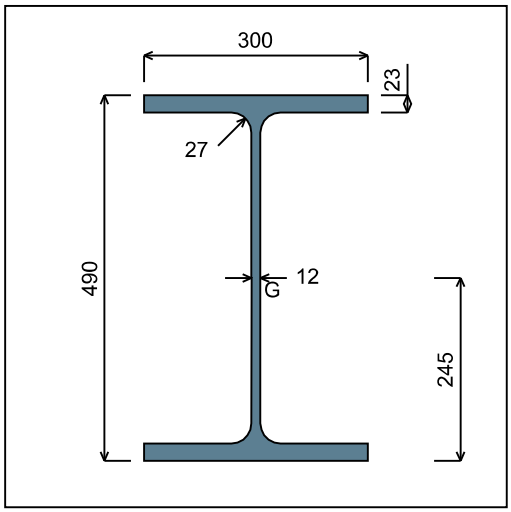


Figure 3 : Section No. 2 (HEA 500).

Main geometrical properties :

z_S = 0 cm
z_G = 24,5 cm
I_y = 86975 cm^4
I_z = 10367 cm^4
I_t = 314,6 cm^4 (Villette)
I_w = 5,652E+6 cm^6

Other geometrical properties :

A = 197,54 cm^2
$A_{v,y}$ = 138 cm^2 $A_{v,z}$ = 74,72 cm^2
$W_{el,y,sup}$ = 3550 cm^3
$W_{el,y,inf}$ = 3550 cm^3 $W_{el,z}$ = 691,14 cm^3
$W_{pl,y}$ = 3948,9 cm^3 $W_{pl,z}$ = 1058,5 cm^3

Stiffness relaxations :

θ : Continuous
v' : Continuous
θ' : Continuous
w' : Continuous

- Section No. 3 : HEA 500

Abscissa from the left end of the beam : x = 20,5 m

Type : In catalogue (OTUA)

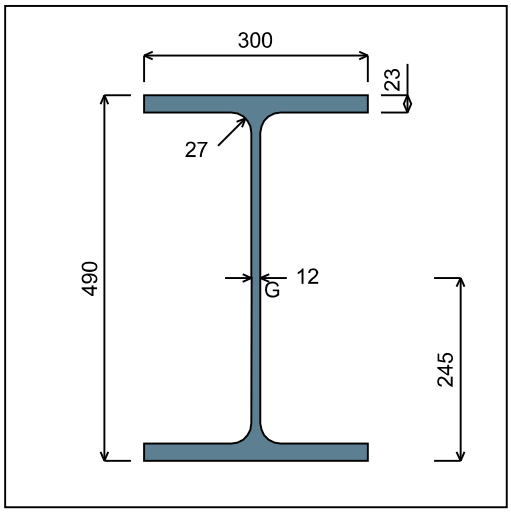


Figure 4 : Section No. 3 (HEA 500).

Main geometrical properties :

z_S = 0 cm
z_G = 24,5 cm
I_y = 86975 cm^4
I_z = 10367 cm^4
I_t = 314,6 cm^4 (Villette)
I_w = 5,652E+6 cm^6

Other geometrical properties :

A = 197,54 cm^2
$A_{v,y}$ = 138 cm^2 $A_{v,z}$ = 74,72 cm^2
$W_{el,y,sup}$ = 3550 cm^3
$W_{el,y,inf}$ = 3550 cm^3 $W_{el,z}$ = 691,14 cm^3
$W_{pl,y}$ = 3948,9 cm^3 $W_{pl,z}$ = 1058,5 cm^3

Stiffness relaxations :

θ : Continuous
v' : Continuous
θ' : Continuous
w' : Continuous

- Section No. 4 : HEA 500

Abscissa from the left end of the beam : x = 22,5 m

Type : In catalogue (OTUA)

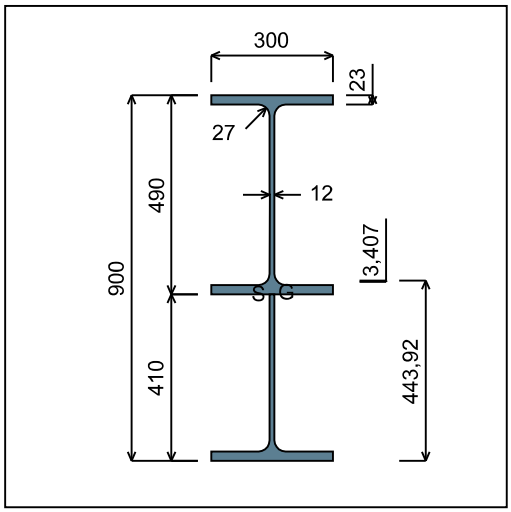


Figure 5 : Section No. 4 (HEA 500).

Main geometrical properties :

z_S = -0,3407 cm
z_G = 44,39 cm
I_y = 339240 cm^4
I_z = 15553 cm^4
I_t = 481,63 cm^4 (Villette)
I_w = 1,986E+7 cm^6

Other geometrical properties :

A = 316,11 cm^2
$A_{v,y}$ = 207 cm^2 $A_{v,z}$ = 123,92 cm^2
$W_{el,y,sup}$ = 7438,2 cm^3
$W_{el,y,inf}$ = 7641,9 cm^3 $W_{el,z}$ = 1036,9 cm^3
$W_{pl,y}$ = 8555,2 cm^3 $W_{pl,z}$ = 1593,7 cm^3

Stiffness relaxations :

θ : Continuous
v' : Continuous
θ' : Continuous
w' : Continuous

I.4 - Lateral restraints

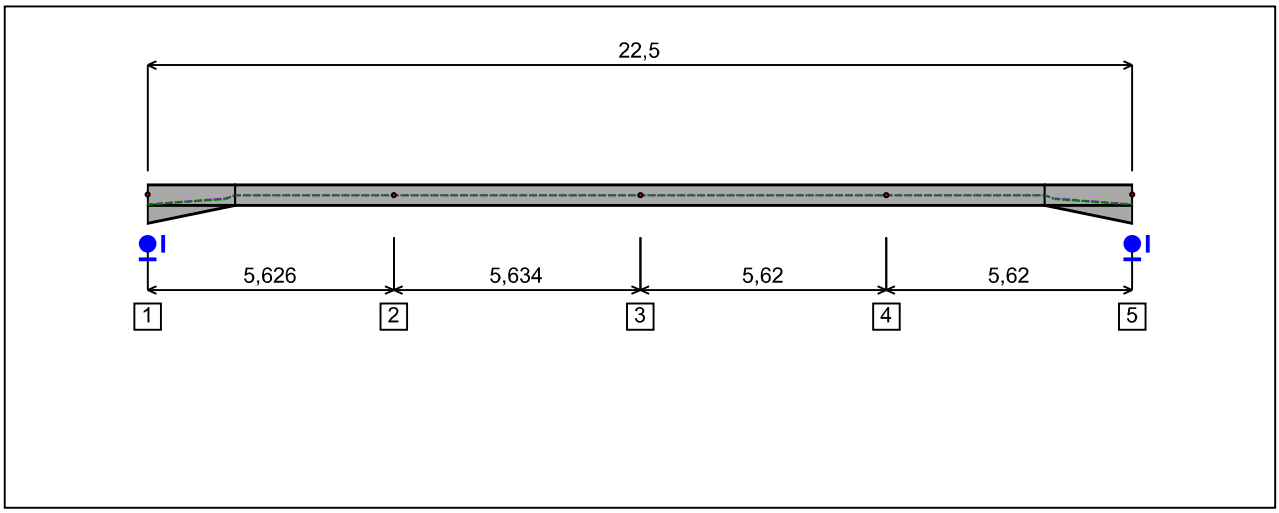


Figure 6 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : x = 0 m

Vertical position from the shear centre : z = 23 cm

Restraint conditions :

v	: Fixed
θ	: Fixed
v'	: Free
θ'	: Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : x = 5,626 m

Vertical position from the shear centre : z = 0 cm

Restraint conditions :

v	: Fixed
θ	: Free
v'	: Free
θ'	: Free

- Restraint No. 3 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : x = 11,26 m

Vertical position from the shear centre : z = 0 cm

Restraint conditions :

v : Fixed
θ : Free
v' : Free
θ' : Free

- Restraint No. 4 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : x = 16,88 m

Vertical position from the shear centre : z = 0 cm

Restraint conditions :

v : Fixed
θ : Free
v' : Free
θ' : Free

- Restraint No. 5 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : x = 22,5 m

Vertical position from the shear centre : z = 23 cm

Restraint conditions :

v : Fixed
θ : Fixed
v' : Free
θ' : Free

I.5 - Supports

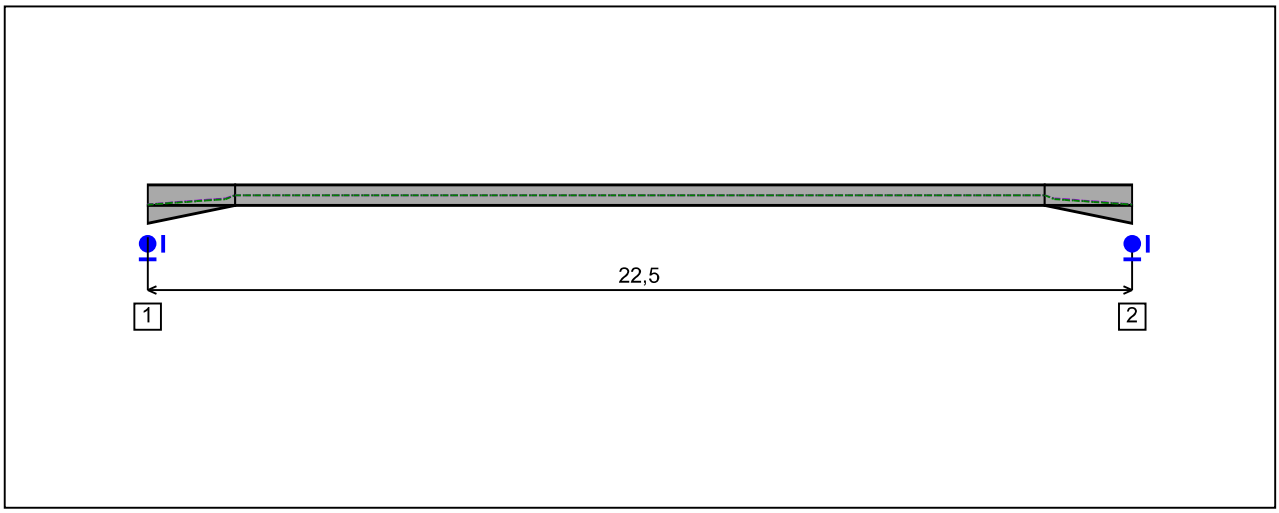


Figure 7 : Profile in long with support numbers.

- 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 = 22,5 m

Support conditions :

u : Fixed
w : Fixed
w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading : Internal

- Moment diagram :

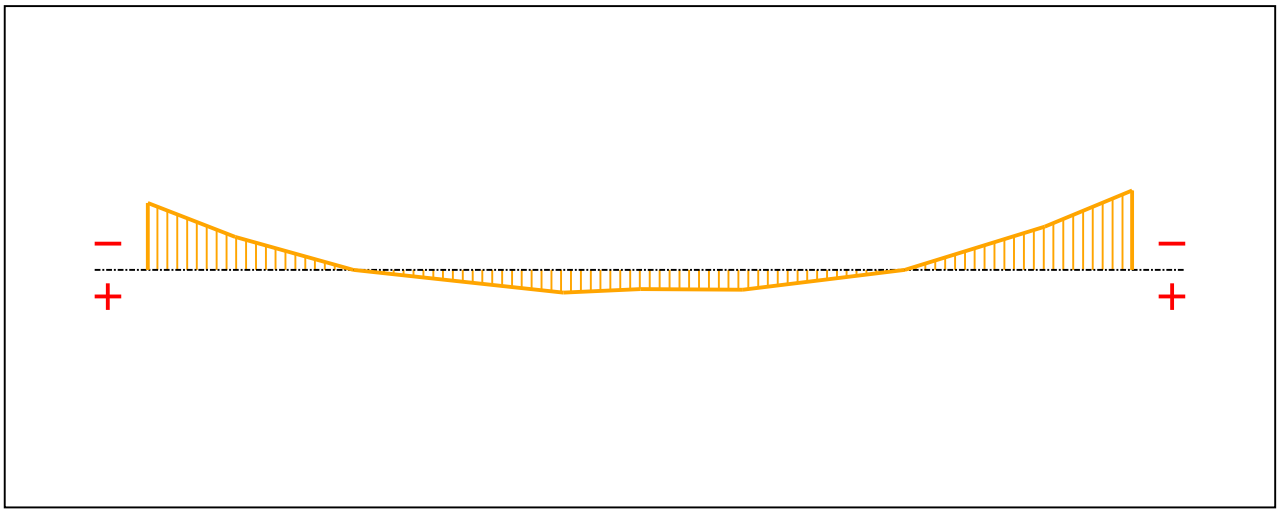


Figure 8 : Moment diagram.

Active : Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	-436,3
2	-215
4,7	0
9,5	147,4
11,26	125
13,6	129
17,3	0
20,5	-281,7
22,5	-518,3

- Axial force diagram :

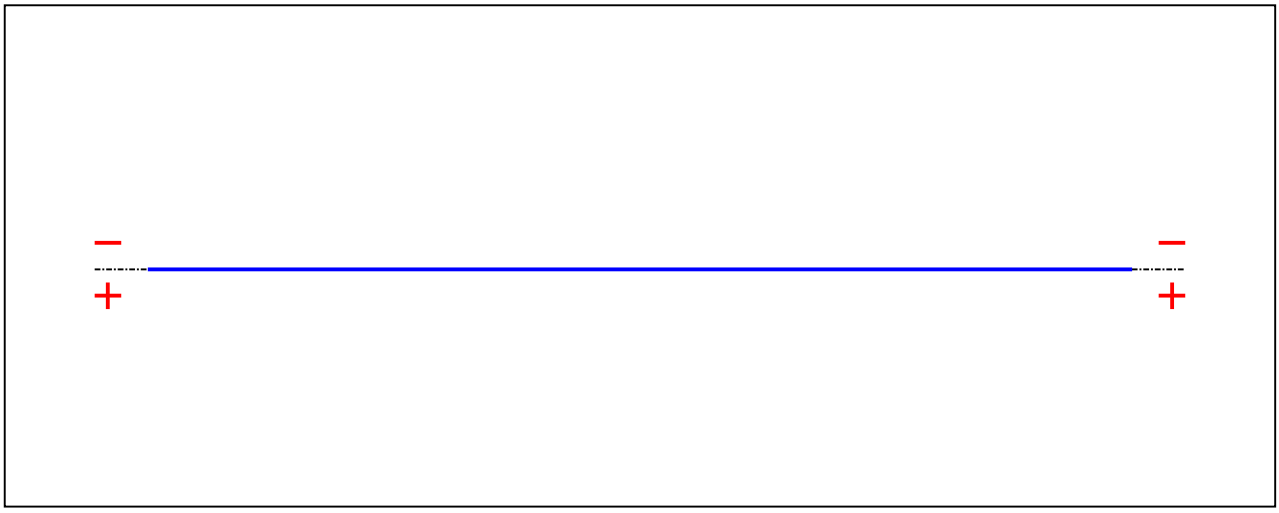


Figure 9 : Axial force diagram.

Active : No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	0
22,5	0

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

Table 3 : Eccentric distributed loads.

x_1(m)	$z_1^{(*)}$(cm)	$q_{z,1}$(kN/m)	x_2(m)	$z_2^{(*)}$(cm)	$q_{z,2}$(kN/m)	Active
0	88,95	-7,5	11,25	67,5	-6,3	Yes
11,25	67,5	-6,3	22,5	88,95	-7,5	Yes
0	80,95	-4,2	22,5	80,95	-4,2	Yes

(*) Vertical position from the shear centre

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1

Blocked moment diagram : No

Blocked axial force diagram : No

The TAPER effect is taken into account

II.1 - LTB modes

Table 4 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	1,012	-524,44	22,5	0	22,5

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 5 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	1,012	-524,44	22,5	0	22,5

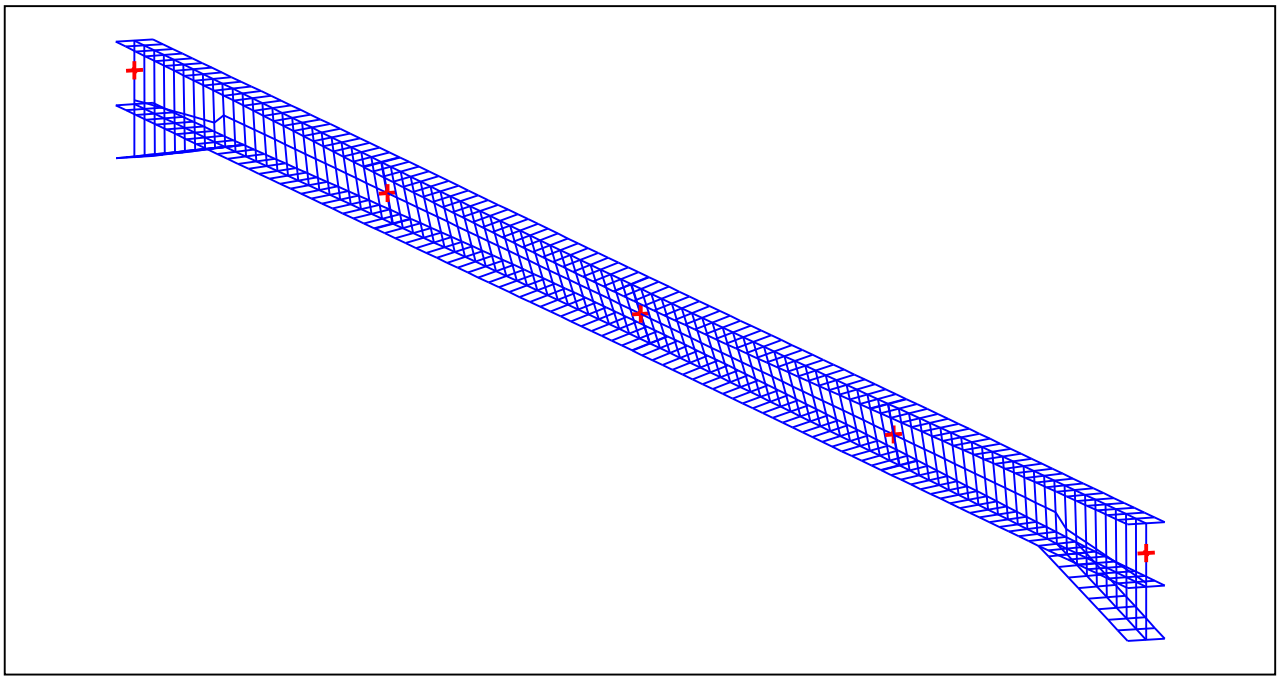


Figure 10 : Mode shape in 3D (Mode 1).