

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Styčníky pro rámovou konstrukci

Joints for Steel Frames

Autor: Jana Benešová

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Sokol, Ph.D.

2016

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího bakalářské práce pana Ing. Ing. Zdeňka Sokola, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

15.5.2016

Jana Benešová

Poděkování

Ráda bych zde poděkovala vedoucímu své bakalářské práce Ing. Zdeňku Sokolovi, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je návrh styčnicků metodou komponent na ocelové rámové konstrukci, konkrétně se jedná o výpočet rámového rohu a styčnicku ve vrcholu haly. Nejprve je statický výpočet proveden ručně, následně je výpočet ověřen pomocí softwarů FIN EC - Ocelové spoje a Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017. V závěru jsou v tabulce pro porovnání uvedeny výsledky získané ručním a softwarovým výpočtem. Nakonec byly vypracovány výkresy obou detailů.

Klíčová slova

styčníky, ocelová rámová hala, rámový roh, vrcholový spoj, metoda komponent, FIN EC, Autodesk Robot

Abstract

Aim of this bachelor thesis is a design of joints using the component method on a steel frame construction, specifically a calculation of a frame corner and hall's peak joint. Firstly in the thesis a static calculation is performed manually, then the calculation is verified by FIN EC – Steel Connection and Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017 software. Results of manual and software calculation are presented for comparison in a table at the end of the thesis. Eventually, drawings of both joints were made.

Key Words

joints, steel frame construction , frame corner , peak joint, component method, FIN EC, Autodesk Robot

Obsah

Úvod.....	6
Vnitřní síly.....	7
Použitý materiál.....	9
Závěr	10
Literatura	11

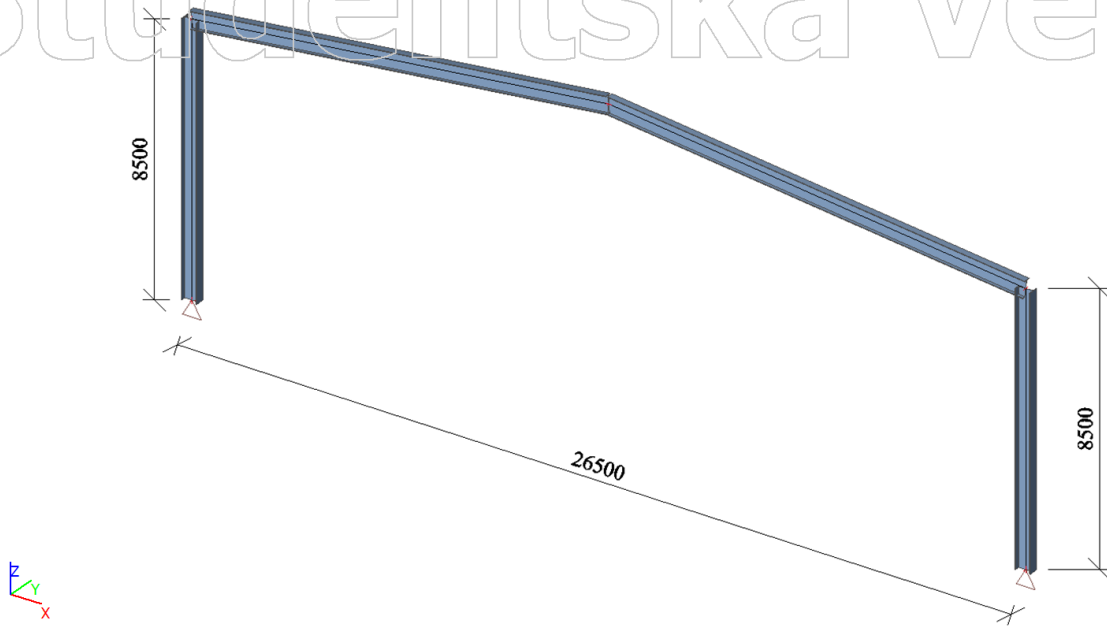
Úvod

Tématem této práce je řešení styčnicků ocelové konstrukce podle ČSN EN 1993-1-8. Jedná se o spoj sloupu a příčle a o spoj dvou příčlí ve vrcholu haly. Styčnický jsou řešeny metodou komponent a to nejprve podrobným ručním výpočtem a následně s pomocí softwarů FIN EC a Autodesk Robot Structural Analysis. Metoda komponent je založena na principu rozložení styčnicků na jednotlivé prvky, které mohou být namáhány tahem, tlakem nebo smykem. Každý prvek se následně posuzuje samostatně. Výsledné vlastnosti celého styčnicku lze získat složením jednotlivých komponent.

Výpočet vnitřních sil na konstrukci v programu Scia Engineer a řez halou nebyl proveden v rámci této práce, ale je převzat z předmětu Projekt 2, ve kterém byla ocelová rámová hala navržena.

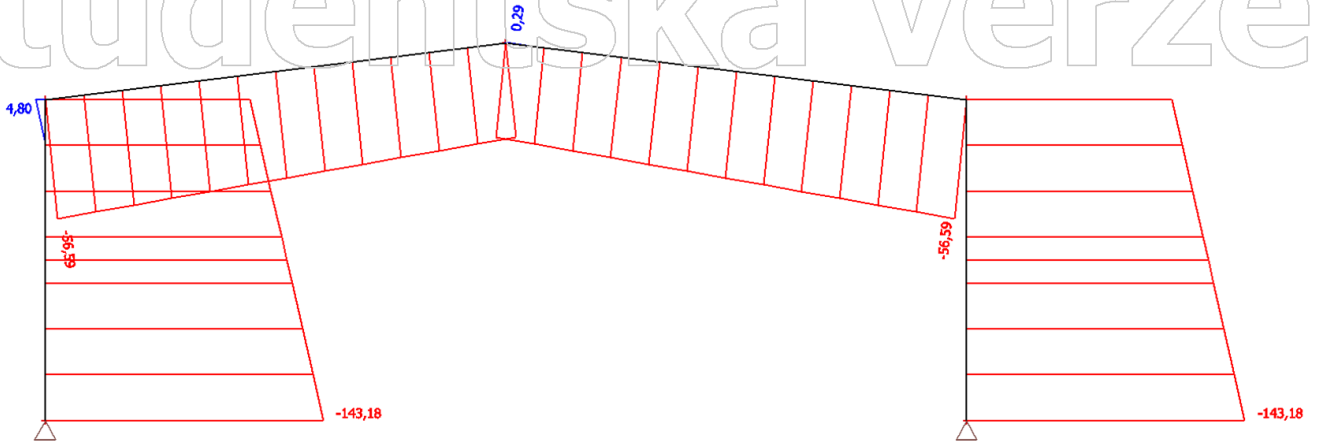
1. Výpočtový model

Studentská verze



2. Vnitřní síly na prutu; N

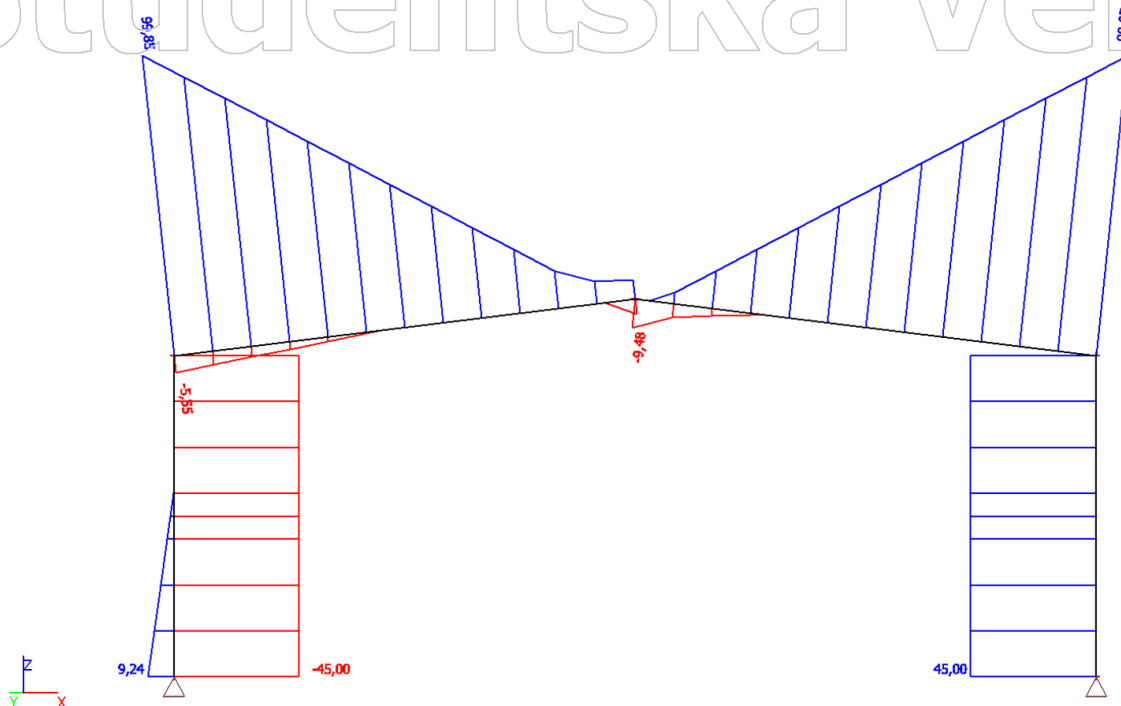
Studentská verze



Studentská verze

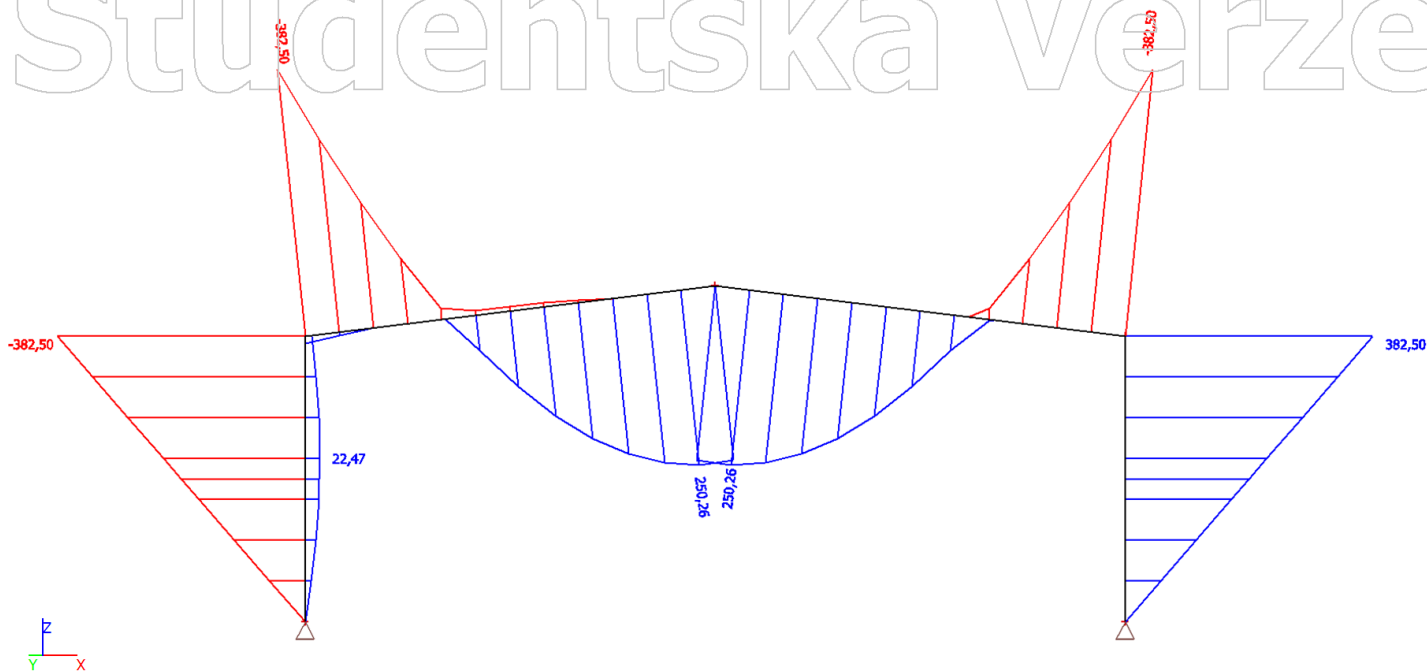
3. Vnitřní síly na prutu; Vz

Studentská verze



4. Vnitřní síly na prutu; My

Studentská verze



Studentská verze

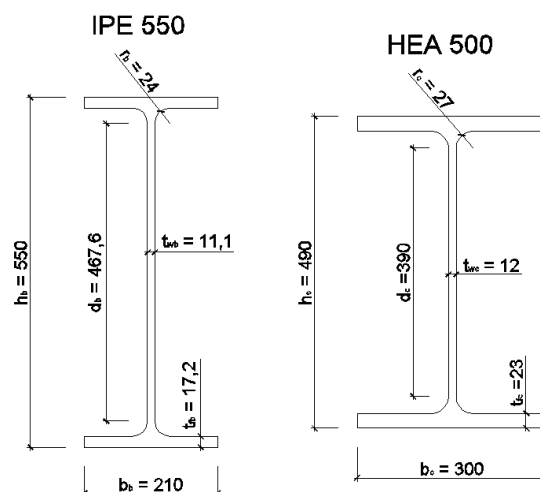
Použitý materiál

1. Materiálové vlastnosti

materiál	ocel S355	šrouby 8.8
mez kluzu f_y [MPa]	355	640
mez pevnosti f_u [MPa]	490	800

2. Průřezové charakteristiky

průřez	IPE 550	HEA 500
h [mm]	550	490
b [mm]	210	300
t_w [mm]	11,1	12,0
t_f [mm]	17,2	23,0
r [mm]	24	27
d [mm]	467,6	390
A [mm ²]	13440	19750
A_{vz} [mm ²]	7234	7472
W_y [mm ³]	2441000	3550000



3. Součinitele spolehlivosti

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,00$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Závěr

Porovnání výsledků získaných ručním a softwarovým výpočtem obou řešených styčníků.

Rámový roh

	Momentová únosnost	Smyková únosnost
Ruční výpočet	454,3 KN	1378,3 KN
FIN EC	450,1 KN	1377,6 KN
Autodesk Revit	454,1 KN	1386,8 KN

Vrcholový styčník

	Momentová únosnost	Smyková únosnost
Ruční výpočet	406,4 KN	962,1 KN
FIN EC	408,3 KN	961,0 KN
Autodesk Revit	406,4 KN	958,8 KN

Rozdíl mezi jednotlivými výsledky je vždy menší než 1%

Literatura

- [1] Eliášová Martina, Dolejš Jakub, Mikeš Karel, Sokol Zdeněk. *Ocelové konstrukce 3 - Příklady*, první vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2010. 100 stran. ISBN 978-80-01-04516-9
- [2] ČSN EN 1993-1-8, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků. Český normalizační institut, 2006. 126 stran
- [3] Sokol Zdeněk, Wald František. *Ocelové konstrukce - Tabulky*, druhé vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2012. 81 stran. ISBN 978-80-01-04655-5
- [4] Wald František, Sokol Zdeněk. *Navrhování styčníků*, první vydání. Praha: vydavatelství ČVUT, 1999. 144 stran. ISBN 978-80-01-02073-8
- [5] Wald F. a kol. *Softwarová podpora návrhu ocelových a dřevěných konstrukcí*, první vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2010. 144 stran. ISBN 978-80-01-04610-4
- [6] Program FIN EC - Ocelové spoje. <http://www.fine.cz/vypocty-statiky/ocelove-spoje/>
- [7] Program Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017. <http://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview>

STATICKÝ VÝPOČET

Bakalářská práce
Téma: Styčníky pro rámovou konstrukci
Autor: Jana Benešová

Obsah

1. Rámový roh.....	4
1.1. Vnitřní síly ve styčníku:	4
1.2. Návrh styčníku:	4
1.3. Návrh svarů:	4
1.4. Únosnost řad šroubů v tahu:	5
1.4.1. Únosnost 1. řady šroubů.....	5
1.4.2. Únosnost 2. řady šroubů.....	9
1.4.3. Únosnost 3. řady šroubů.....	13
1.4.4. Únosnost 4. řady šroubů.....	17
1.4.5. Únosnost 5. řady šroubů.....	20
1.5. Únosnost tlačené oblasti:	24
1.6. Stěna sloupu ve smyku:	25
1.7. Rozdělení sil a momentová únosnost:.....	26
1.8. Smyková únosnost šroubů:.....	27
1.9. Namáhání osovou silou.....	28
3. Styčník ve vrcholu	29
3.1. Vnitřní síly ve styčníku:	29
3.2. Návrh styčníku:	29
3.3. Návrh svarů:	29
3.4. Únosnost řad šroubů v tahu:	30
3.4.1. Únosnost 1. řady šroubů.....	30
3.4.2. Únosnost 2. řady šroubů.....	32
3.4.3. Únosnost 3. řady šroubů.....	34

Bakalářská práce
Téma: Styčníky pro rámovou konstrukci
Autor: Jana Benešová

3.4.4. Únosnost 4. řady šroubů.....	35
3.5. Únosnost tlačené oblasti:	37
3.6. Rozdělení sil a momentová únosnost:.....	38
3.7. Smyková únosnost šroubů.....	39
3.8. Namáhání osovou silou.....	41

1. Rámový roh

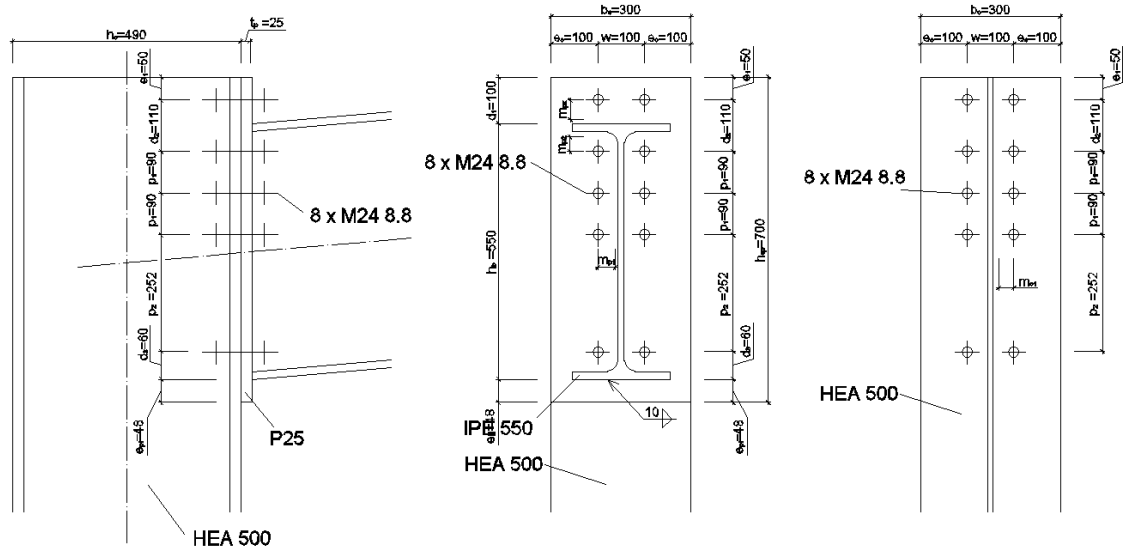
1.1. Vnitřní síly ve styčníku:

$$M_{Ed} = 382,5 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} = 99,85 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} = 56,59 \text{ KN}$$

1.2. Návrh styčníku:



1.3. Návrh svarů:

Svar čelní desky a pásnice příčle

$$a_{ft} \geq 0,55 \cdot t_{fb} = 0,55 \cdot 17,2 = 9,46 \text{ mm}$$

→ návrh koutového svaru tl. 10 mm

Svar čelní desky a stěny příčle

$$a_w \geq 0,55 \cdot t_{wb} = 0,55 \cdot 11,1 = 6,11 \text{ mm}$$

→ návrh koutového svaru tl. 7 mm

1.4. Únosnost řad šroubů v tahu:

$$m_{px} = (d_1 - e_1 - 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot a_{tf}) = (100 - 50 - 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 10) = 38,69 \text{ mm}$$

$$m_{p1} = \frac{(w - t_{wb} - 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot a_w)}{2} = \frac{(100 - 11,1 - 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 7)}{2} = 36,53 \text{ mm}$$

$$m_{p2} = d_2 - (d_1 - e_1) - t_{fb} - 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot a_{tf} = 110 - (100 - 50) - 17,2 - 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 10 = 31,49 \text{ mm}$$

$$m_{c1} = \frac{(w - 0,8 \cdot 2 \cdot r_c - t_{wc})}{2} = \frac{(100 - 0,8 \cdot 2 \cdot 27 - 12)}{2} = 22,4 \text{ mm}$$

- únosnost jednoho šroubu v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 353 \cdot 800}{1,25} \cdot 10^{-3} = 203,33 \text{ KN}$$

1.4.1. Únosnost 1. řady šroubů

Pásnice sloupu v ohybu

- efektivní šířka:

$$L_{eff,cp} = \min(2 \cdot \pi \cdot m_{c1}; \pi \cdot m_{c1} + 2 \cdot e_1) = \min(2 \cdot \pi \cdot 22,4; \pi \cdot 22,4 + 2 \cdot 50) = \min(140,74; 170,37) = 140,74 \text{ mm}$$

Bakalářská práce

Téma: Styčníky pro rámovou konstrukci

Autor: Jana Benešová

$$\begin{aligned}L_{eff,nc} &= \min(4 \cdot m_{c1} + 1,25 \cdot e_c; 2 \cdot m_{c1} + 0,625 \cdot e_c + e_1) \\ &= \min(4 \cdot 22,4 + 1,25 \cdot 100; 2 \cdot 22,4 + 0,625 \cdot 100 + 50) \\ &= \min(214,6; 157,3) = 157,3 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_{eff,cp,g} &= \min(\pi \cdot m_{c1} + d_2; 2 \cdot e_1 + d_2) = \min(\pi \cdot 22,4 + 100; 2 \cdot 50 + 110) \\ &= \min(180,37; 210) = 180,37 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_{eff,nc,g} &= \min(2 \cdot m_{c1} + 0,625 \cdot e_c + 0,5 \cdot d_2; e_1 + 0,5 \cdot d_2) \\ &= \min(2 \cdot 22,4 + 0,625 \cdot 100 + 0,5 \cdot 110; 50 + 0,5 \cdot 110) \\ &= \min(162,3; 105) = 105 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,cp} = 140,74 \text{ mm}$$

$$L_{eff,2,c} = L_{eff,nc} = 157,3 \text{ mm}$$

- únosnost pásnice:

Způsob porušení 1 - plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$M_{pl,1,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 140,74 \cdot 23^2 \cdot 355}{1,0} = 6,61 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd,fc} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r1,c}}{m_{c1}} = \frac{4 \cdot 6,61 \cdot 10^6}{22,4} \cdot 10^{-3} = 1180,36 \text{ KN}$$

Způsob porušení 2 - plastický mechanismus (2 plastické klouby) a porušení šroubů v tahu

$$M_{pl,2,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 157,3 \cdot 23^2 \cdot 355}{1,0} = 7,89 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}F_{T,2,Rd,fc} &= \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r1,c} + n_{p,c} \cdot \sum F_{T,Rd}}{m_{c1} + n_{p,c}} = \\ &= \frac{2 \cdot 7,39 \cdot 10^6 + 28 \cdot 2 \cdot 203,33 \cdot 10^3}{22,4 + 28} \cdot 10^{-3} = 519,18 \text{ KN}\end{aligned}$$

Bakalářská práce

Téma: Styčníky pro rámovou konstrukci

Autor: Jana Benešová

$$n_{p,c} = \min(e_{\min}, 1,25 \cdot m) = \min(50, 1,25 \cdot 22,4) = \min(50, 28) = 28$$

Způsob porušení 3 - porušení šroubů v tahu

$$F_{T,3,Rd,fc} = \sum F_{T,Rd} = 2 \cdot 203,33 = 406,66 \text{ KN}$$

→ únosnost pásnice:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,fc}; F_{T,2,Rd,fc}; F_{T,3,Rd,fc}) = \min(1180,36; 519,18; 406,66) = 406,66 \text{ KN}$$

Stěna sloupu v tahu:

- únosnost stěny sloupu:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega_{r,1,c} \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,968 \cdot 140,74 \cdot 12 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 580,37 \text{ KN}$$

$$\omega_{r,1,c} = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{A_{vc}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{140,74 \cdot 12}{7518}\right)^2}} = 0,968$$

Čelní deska v ohybu

- efektivní šířka:

$$\begin{aligned} L_{eff,cp} &= \min(2 \cdot \pi \cdot m_{px}; \pi \cdot m_{px} + w; \pi \cdot m_{px} + 2 \cdot e_p) \\ &= \min(2 \cdot \pi \cdot 38,69; \pi \cdot 38,69 + 100; \pi \cdot 38,69 + 2 \cdot 100) \\ &= \min(243,1; 221,55; 321,55) = 221,55 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{eff,nc} &= \min(4 \cdot m_{px} + 1,25 \cdot e_x; e_p + 2 \cdot m_{px} + 0,625 \cdot e_x; 0,5 \cdot b_p; 0,5 \cdot w + 2 \\
 &\quad \cdot m_{px} + 0,625 \cdot e_x) = \\
 &= \min(4 \cdot 38,69 + 1,25 \cdot 50; 50 + 2 \cdot 38,69 + 0,625 \cdot 50; 0,5 \\
 &\quad \cdot 300; 0,5 \cdot 100 + 2 \cdot 38,69 + 0,625 \cdot 50) = \\
 &= \min(218,26; 158,63; 150; 158,63) = 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,cp} = 221,55 \text{ mm}$$

$$L_{eff,2,c} = L_{eff,nc} = 150 \text{ mm}$$

- únosnost čelní desky:

Způsob porušení 1 - plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$M_{pl,1,Rd,r1,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,b} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 150 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = 8,32 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r1,b}}{m_{p1}} = \frac{4 \cdot 8,32 \cdot 10^6}{36,53} \cdot 10^{-3} = 911,03 \text{ KN}$$

Způsob porušení 2 - plastický mechanismus (2 plastické klouby) a porušení šroubů v tahu

$$M_{pl,2,Rd,r1,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 150 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = 8,32 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 F_{T,2,Rd,ep} &= \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r1,b} + n_{p,ep} \cdot \sum F_{T,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} \\
 &= \frac{2 \cdot 8,32 \cdot 10^6 + 45,7 \cdot 2 \cdot 203,33 \cdot 10^3}{36,53 + 45,7} \cdot 10^{-3} = 428,37 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$n_{p,c} = \min(e_{min}, 1,25 \cdot m) = \min(50, 1,25 \cdot 36,53) = \min(50, 45,66) = 45,7$$

Způsob porušení 3 - porušení šroubů v tahu

$$F_{T,3,Rd,ep} = \sum F_{T,Rd} = 2 \cdot 203,33 = 406,66 \text{ KN}$$

→ únosnost čelní desky:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(911,03; 428,37; 406,66) \\ = 406,66 \text{ KN}$$

→ Výsledná únosnost 1. řady šroubů

$$F_{T,Rd(row)} = \min(406,66; 580,37; 406,66) = 406,66 \text{ KN}$$

1.4.2. Únosnost 2. řady šroubů

Pásnice sloupu v ohybu

- efektivní šířka:

$$L_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m_{c1} = 2 \cdot \pi \cdot 22,4 = 140,74 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc} = 4 \cdot m_{c1} + 1,25 \cdot e_c = 4 \cdot 22,4 + 1,25 \cdot 100 = 214,6 \text{ mm}$$

$$L_{eff,cp,g} = d_2 + p_1 = 110 + 90 = 200 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc,g} = 0,5 \cdot d_2 + 0,5 \cdot p_1 = 0,5 \cdot 110 + 0,5 \cdot 90 = 100 \text{ mm}$$

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,cp} = 140,74 \text{ mm}$$

$$L_{eff,2,c} = L_{eff,nc} = 214,6 \text{ mm}$$

- únosnost pásnice:

Způsob porušení 1 - plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$M_{pl,1,Rd,r2,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 140,74 \cdot 23^2 \cdot 355}{1,0} = 6,61 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd,fc} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r2,c}}{m_{c1}} = \frac{4 \cdot 6,61 \cdot 10^6}{22,4} \cdot 10^{-3} = 1179,82 \text{ KN}$$

Způsob porušení 2 - plastický mechanismus (2 plastické klouby) a porušení šroubů v tahu

$$M_{pl,2,Rd,r2,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 214,6 \cdot 23^2 \cdot 355}{1,0} = 10,08 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,2,Rd,fc} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r2,c} + n_{p,c} \cdot \sum F_{T,Rd}}{m_{c1} + n_{p,c}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 10,08 \cdot 10^6 + 28 \cdot 2 \cdot 203,33 \cdot 10^3}{22,4 + 28} \cdot 10^{-3} = 625,92 \text{ KN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_{min}, 1,25 \cdot m) = \min(50, 1,25 \cdot 22,4) = \min(50, 28) = 28$$

Způsob porušení 3 - porušení šroubů v tahu

$$F_{T,3,Rd,fc} = \sum F_{T,Rd} = 2 \cdot 203,33 = 406,66 \text{ KN}$$

→ únosnost pásnice:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,fc}; F_{T,2,Rd,fc}; F_{T,3,Rd,fc}) = \min(1179,82; 625,92; 406,66) =$$

$$= 406,66 \text{ KN}$$

Stěna sloupu v tahu:

- únosnost stěny sloupu:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega_{r,1,c} \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,968 \cdot 140,74 \cdot 12 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 580,37 \text{ KN}$$

$$\omega_{r,1,c} = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{A_{vc}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{140,74 \cdot 12}{7518}\right)^2}} = 0,968$$

Čelní deska v ohybu

- efektivní šířka:

$$L_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m_{p1} = 2 \cdot \pi \cdot 36,53 = 229,53 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc} = \alpha_{r2,b} \cdot m_{p1} = 8 \cdot 36,53 = 292,24 \text{ mm}$$

$$\lambda_{1,r2,b} = \frac{m_{p1}}{m_{p1} + e_p} = \frac{36,53}{36,53 + 100} = 0,268 \text{ mm}$$

$$\lambda_{2,r2,b} = \frac{m_{p2}}{m_{p1} + e_p} = \frac{31,49}{36,53 + 100} = 0,231 \text{ mm}$$

→ $\alpha_{r2,b} = 8$ (podle grafu v [2])

$$L_{eff,cp,g} = \pi \cdot m_{p1} + p_1 = \pi \cdot 36,53 + 90 = 204,8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} L_{eff,nc,g} &= 0,5 \cdot p_1 + \alpha_{r2,b} \cdot m_{p1} - (2 \cdot m_{p1} + 0,625 \cdot e_c) \\ &= 0,5 \cdot 90 + 8 \cdot 36,53 - (2 \cdot 36,53 + 0,625 \cdot 100) = 201,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,cp} = 229,53 \text{ mm}$$

$$L_{eff,2,c} = L_{eff,nc} = 292,24 \text{ mm}$$

- únosnost čelní desky:

Způsob porušení 1 - plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$M_{pl,1,Rd,r2,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,b} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 229,53 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} =$$
$$= 12,732 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r2,b}}{m_{p1}} = \frac{4 \cdot 12,732 \cdot 10^6}{36,53} \cdot 10^{-3} = 1394,11 \text{ KN}$$

Způsob porušení 2 - plastický mechanismus (2 plastické klouby) a porušení šroubů v tahu

$$M_{pl,2,Rd,r2,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 292,24 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} =$$
$$= 16,21 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r2,b} + n_{p,ep} \cdot \sum F_{T,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} =$$
$$= \frac{2 \cdot 16,21 \cdot 10^6 + 45,7 \cdot 2 \cdot 203,33 \cdot 10^3}{36,53 + 45,7} \cdot 10^{-3} = 620,26 \text{ KN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_{\min}, 1,25 \cdot m) = \min(50, 1,25 \cdot 36,53) = \min(50, 45,66) = 45,7$$

Způsob porušení 3 - porušení šroubů v tahu

$$F_{T,3,Rd,ep} = \sum F_{T,Rd} = 2 \cdot 203,33 = 406,66 \text{ KN}$$

→ únosnost pásnice:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(1394,11; 620,26; 406,66)$$
$$= 406,66 \text{ KN}$$

Stěna příčle v tahu

- efektivní šířka - stejná jako efektivní šířka desky

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,c} = 229,53 \text{ mm}$$

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,beam}}{\gamma_{M0}} = \frac{229,53 \cdot 11,1 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 904,46 \text{ KN}$$

→ Výsledná únosnost 2. řady šroubů

$$F_{T,Rd(row)} = \min(406,6 ; 580,37 ; 406,66 ; 904,46) = 406,6 \text{ KN}$$

1.4.3. Únosnost 3. řady šroubů

Pásnice sloupu v ohybu

- efektivní šířka:

$$L_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m_{c1} = 2 \cdot \pi \cdot 22,4 = 140,74 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc} = 4 \cdot m_{c1} + 1,25 \cdot e_c = 4 \cdot 22,4 + 1,25 \cdot 100 = 214,6 \text{ mm}$$

$$L_{eff,cp,g} = 2 \cdot p_1 = 8 \cdot 90 = 180 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc,g} = 0,5 \cdot p_1 + 0,5 \cdot p_1 = 0,5 \cdot 90 + 0,5 \cdot 90 = 90 \text{ mm}$$

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,cp} = 140,74 \text{ mm}$$

$$L_{eff,2,c} = L_{eff,nc} = 214,6 \text{ mm}$$

- únosnost pásnice:

Způsob porušení 1 - plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$M_{pl,1,Rd,r3,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 140,74 \cdot 23^2 \cdot 355}{1,0} = 6,61 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd,fc} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r3,c}}{m_{c1}} = \frac{4 \cdot 6,61 \cdot 10^6}{22,4} \cdot 10^{-3} = 1179,82 \text{ KN}$$

Způsob porušení 2 - plastický mechanismus (2 plastické klouby) a porušení šroubů v tahu

$$M_{pl,2,Rd,r3,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 214,6 \cdot 23^2 \cdot 355}{1,0} = 10,08 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,2,Rd,fc} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r3,c} + n_{p,c} \cdot \sum F_{T,Rd}}{m_{c1} + n_{p,c}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 10,08 \cdot 10^6 + 28 \cdot 2 \cdot 203,33 \cdot 10^3}{22,4 + 28} \cdot 10^{-3} = 625,92 \text{ KN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_{min}, 1,25 \cdot m) = \min(50, 1,25 \cdot 22,4) = \min(50, 28) = 28$$

Způsob porušení 3 - porušení šroubů v tahu

$$F_{T,3,Rd,fc} = \sum F_{T,Rd} = 2 \cdot 203,33 = 406,66 \text{ KN}$$

→ únosnost pásnice:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,fc}; F_{T,2,Rd,fc}; F_{T,3,Rd,fc}) = \min(1179,82; 625,92; 406,66) =$$

$$= 406,6 \text{ KN}$$

Stěna sloupu v tahu:

- únosnost stěny sloupu:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega_{r,1,c} \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,968 \cdot 140,74 \cdot 12 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 580,37 \text{ KN}$$

$$\omega_{r,1,c} = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{A_{vc}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{140,74 \cdot 12}{7518}\right)^2}} = 0,968$$

Čelní deska v ohybu

- efektivní šířka:

$$L_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m_{p1} = 2 \cdot \pi \cdot 36,53 = 229,53 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc} = 4 \cdot m_{p1} + 1,25 \cdot e_p = 4 \cdot 36,53 + 1,25 \cdot 100 = 271,12 \text{ mm}$$

$$L_{eff,cp,g} = 2 \cdot p_1 = 8 \cdot 90 = 180 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc,g} = 0,5 \cdot p_1 + 0,5 \cdot p_1 = 0,5 \cdot 90 + 0,5 \cdot 90 = 90 \text{ mm}$$

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,cp} = 229,53 \text{ mm}$$

$$L_{eff,2,c} = L_{eff,nc} = 271,12 \text{ mm}$$

- únosnost čelní desky:

Způsob porušení 1 - plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$M_{pl,1,Rd,r3,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,b} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 229,53 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = 12,73 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r3,b}}{m_{p1}} = \frac{4 \cdot 12,73 \cdot 10^6}{36,53} \cdot 10^{-3} = 1394,11 \text{ KN}$$

Způsob porušení 2 - plastický mechanismus (2 plastické klouby) a porušení šroubů v tahu

$$M_{pl,2,Rd,r3,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 271,12 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = 15,038 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r3,b} + n_{p,ep} \cdot \sum F_{T,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \frac{2 \cdot 15,038 \cdot 10^6 + 45,7 \cdot 2 \cdot 203,33 \cdot 10^3}{36,53 + 45,7} \cdot 10^{-3} = 591,76 \text{ KN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_{min}, 1,25 \cdot m) = \min(50, 1,25 \cdot 36,53) = \min(50, 45,66) = 45,7$$

Způsob porušení 3 - porušení šroubů v tahu

$$F_{T,3,Rd,ep} = \sum F_{T,Rd} = 2 \cdot 203,33 = 406,66 \text{ KN}$$

→ únosnost pásnice:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(1394,11; 591,76; 406,6) = 406,6 \text{ KN}$$

Stěna příčle v tahu

- efektivní šířka - stejná jako efektivní šířka desky

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,c} = 229,53 \text{ mm}$$

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,beam}}{\gamma_{M0}} = \frac{229,53 \cdot 11,1 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 904,46 \text{ KN}$$

→ Výsledná únosnost 3. řady šroubů

$$F_{T,Rd(row)} = \min(406,6; 580,37; 406,6; 904,46) = 406,6 \text{ KN}$$

1.4.4. Únosnost 4. řady šroubů

Pásnice sloupu v ohybu

- efektivní šířka:

$$L_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m_{c1} = 2 \cdot \pi \cdot 22,4 = 140,74 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc} = 4 \cdot m_{c1} + 1,25 \cdot e_c = 4 \cdot 22,4 + 1,25 \cdot 100 = 214,6 \text{ mm}$$

$$L_{eff,cp,g} = 2 \cdot p_1 = 2 \cdot 90 = 180 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc,g} = 0,5 \cdot p_1 + 0,5 \cdot p_1 = 0,5 \cdot 90 + 0,5 \cdot 90 = 90 \text{ mm}$$

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,cp} = 140,74 \text{ mm}$$

$$L_{eff,2,c} = L_{eff,nc} = 214,6 \text{ mm}$$

- únosnost pásnice:

Způsob porušení 1 - plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$M_{pl,1,Rd,r4,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 140,74 \cdot 23^2 \cdot 355}{1,0} = 6,61 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd,fc} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r3,c}}{m_{c1}} = \frac{4 \cdot 6,61 \cdot 10^6}{22,4} \cdot 10^{-3} = 1179,82 \text{ KN}$$

Způsob porušení 2 - plastický mechanismus (2 plastické klouby) a porušení šroubů v tahu

$$M_{pl,2,Rd,r3,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 214,6 \cdot 23^2 \cdot 355}{1,0} = 10,08 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,2,Rd,fc} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r3,c} + n_{p,c} \cdot \sum F_{T,Rd}}{m_{c1} + n_{p,c}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 10,08 \cdot 10^6 + 28 \cdot 2 \cdot 203,33 \cdot 10^3}{22,4 + 28} \cdot 10^{-3} = 625,92 \text{ KN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_{min}, 1,25 \cdot m) = \min(50, 1,25 \cdot 22,4) = \min(50, 28) = 28$$

Způsob porušení 3 - porušení šroubů v tahu

$$F_{T,3,Rd,fc} = \sum F_{T,Rd} = 2 \cdot 203,33 = 406,66 \text{ KN}$$

→ únosnost pásnice:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,fc}; F_{T,2,Rd,fc}; F_{T,3,Rd,fc}) = \min(1179,82; 625,92; 406,66) =$$

$$= 406,66 \text{ KN}$$

Stěna sloupu v tahu:

- únosnost stěny sloupu:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega_{r,1,c} \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,968 \cdot 140,74 \cdot 12 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 580,37 \text{ KN}$$

$$\omega_{r,1,c} = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{A_{vc}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{140,74 \cdot 12}{7518}\right)^2}} = 0,968$$

Čelní deska v ohybu

- efektivní šířka:

$$L_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m_{p1} = 2 \cdot \pi \cdot 36,53 = 229,53 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc} = 4 \cdot m_{p1} + 1,25 \cdot e_p = 4 \cdot 36,53 + 1,25 \cdot 100 = 271,12 \text{ mm}$$

Bakalářská práce

Téma: Styčníky pro rámovou konstrukci

Autor: Jana Benešová

$$L_{eff,cp,g} = 2 \cdot p_1 = 2 \cdot 90 = 180 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc,g} = 0,5 \cdot p_1 + 0,5 \cdot p_1 = 0,5 \cdot 90 + 0,5 \cdot 90 = 180 \text{ mm}$$

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,cp} = 229,53 \text{ mm}$$

$$L_{eff,2,c} = L_{eff,nc} = 271,12 \text{ mm}$$

- únosnost čelní desky:

Způsob porušení 1 - plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$\begin{aligned} M_{pl,1,Rd,r4,b} &= \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,b} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 229,53 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = \\ &= 12,73 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r4,b}}{m_{p1}} = \frac{4 \cdot 12,73 \cdot 10^6}{36,53} \cdot 10^{-3} = 1394,11 \text{ KN}$$

Způsob porušení 2 - plastický mechanismus (2 plastické klouby) a porušení šroubů v tahu

$$M_{pl,2,Rd,r4,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 271,12 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = 15,038 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} F_{T,2,Rd,ep} &= \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r4,b} + n_{p,ep} \cdot \sum F_{T,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \\ &= \frac{2 \cdot 15,038 \cdot 10^6 + 45,7 \cdot 2 \cdot 203,33 \cdot 10^3}{36,53 + 45,7} \cdot 10^{-3} = 591,76 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$n_{p,c} = \min(e_{min}, 1,25 \cdot m) = \min(50, 1,25 \cdot 36,53) = \min(50, 45,66) = 45,7$$

Způsob porušení 3 - porušení šroubů v tahu

$$F_{T,3,Rd,ep} = \sum F_{T,Rd} = 2 \cdot 203,33 = 406,66 \text{ KN}$$

→ únosnost pásnice:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(1394,11 ; 591,76 ; 406,66) \\ = 406,66 \text{ KN}$$

Stěna příčle v tahu

- efektivní šířka - stejná jako efektivní šířka desky

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,c} = 229,53 \text{ mm}$$

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,beam}}{\gamma_{M0}} = \frac{229,53 \cdot 11,1 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 904,46 \text{ KN}$$

→ Výsledná únosnost 4. řady šroubů

$$F_{T,Rd(row)} = \min(406,6; 580,37; 406,6; 904,46) = 406,6 \text{ KN}$$

1.4.5. Únosnost 5. řady šroubů

Pásnice sloupu v ohybu

- efektivní šířka:

$$L_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m_{c1} = 2 \cdot \pi \cdot 22,4 = 140,74 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc} = 4 \cdot m_{c1} + 1,25 \cdot e_c = 4 \cdot 22,4 + 1,25 \cdot 100 = 214,6 \text{ mm}$$

$$L_{eff,cp,g} = \pi \cdot m_{c1} + p_2 = \pi \cdot 22,4 + 252 = 322,4 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc,g} = 0,5 \cdot p_2 + d_3 = 0,5 \cdot 252 + 108 = 234 \text{ mm}$$

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,cp} = 140,74 \text{ mm}$$

$$L_{eff,2,c} = L_{eff,nc} = 214,6 \text{ mm}$$

- únosnost pásnice:

Způsob porušení 1 - plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$M_{pl,1,Rd,r4,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 140,74 \cdot 23^2 \cdot 355}{1,0} = 6,61 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd,fc} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r3,c}}{m_{c1}} = \frac{4 \cdot 6,61 \cdot 10^6}{22,4} \cdot 10^{-3} = 1179,82 \text{ KN}$$

Způsob porušení 2 - plastický mechanismus (2 plastické klouby) a porušení šroubů v tahu

$$M_{pl,2,Rd,r3,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 214,6 \cdot 23^2 \cdot 355}{1,0} = 10,08 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,2,Rd,fc} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r3,c} + n_{p,c} \cdot \sum F_{T,Rd}}{m_{c1} + n_{p,c}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 10,08 \cdot 10^6 + 28 \cdot 2 \cdot 203,33 \cdot 10^3}{22,4 + 28} \cdot 10^{-3} = 625,92 \text{ KN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_{min}, 1,25 \cdot m) = \min(50, 1,25 \cdot 22,4) = \min(50, 28) = 28$$

Způsob porušení 3 - porušení šroubů v tahu

$$F_{T,3,Rd,fc} = \sum F_{T,Rd} = 2 \cdot 203,33 = 406,66 \text{ KN}$$

→ únosnost pásnice:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,fc}; F_{T,2,Rd,fc}; F_{T,3,Rd,fc}) = \min(1179,82; 625,92; 406,66) =$$

$$= 406,66 \text{ KN}$$

Stěna sloupu v tahu:

- únosnost stěny sloupu:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega_{r,1,c} \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,968 \cdot 140,74 \cdot 12 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 580,37 \text{ KN}$$

$$\omega_{r,1,c} = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{A_{vc}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{140,74 \cdot 12}{7518}\right)^2}} = 0,968$$

Čelní deska v ohybu

- efektivní šířka:

$$L_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m_{p1} = 2 \cdot \pi \cdot 36,53 = 229,53 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc} = 4 \cdot m_{p1} + 1,25 \cdot e_p = 4 \cdot 36,53 + 1,25 \cdot 100 = 271,12 \text{ mm}$$

$$L_{eff,cp,g} = \pi \cdot m_{p1} + p_2 = \pi \cdot 36,53 + 252 = 366,8 \text{ mm}$$

$$L_{eff,nc,g} = 2 \cdot m_{p1} + 0,625 \cdot e_p + 0,5 \cdot p_2 = 2 \cdot 36,53 + 0,625 \cdot 100 + 0,5 \cdot 252 = 261,6 \text{ mm}$$

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,cp} = 229,53 \text{ mm}$$

$$L_{eff,2,c} = L_{eff,nc} = 271,12 \text{ mm}$$

- únosnost čelní desky:

Způsob porušení 1 - plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$M_{pl,1,Rd,r4,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,b} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 229,53 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = 12,73 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r4,b}}{m_{p1}} = \frac{4 \cdot 12,73 \cdot 10^6}{36,53} \cdot 10^{-3} = 1394,11 \text{ KN}$$

Způsob porušení 2 - plastický mechanismus (2 plastické klouby) a porušení šroubů v tahu

$$M_{pl,2,Rd,r4,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 271,12 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = 15,038 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r4,b} + n_{p,ep} \cdot \sum F_{T,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \frac{2 \cdot 15,038 \cdot 10^6 + 45,7 \cdot 2 \cdot 203,33 \cdot 10^3}{36,53 + 45,7} \cdot 10^{-3} = 591,76 \text{ KN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_{min}, 1,25 \cdot m) = \min(50, 1,25 \cdot 36,53) = \min(50, 45,66) = 45,7$$

Způsob porušení 3 - porušení šroubů v tahu

$$F_{T,3,Rd,ep} = \sum F_{T,Rd} = 2 \cdot 203,33 = 406,66 \text{ KN}$$

→ únosnost pásnice:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(1394,11; 591,76; 406,66) = 406,66 \text{ KN}$$

Stěna příčle v tahu

- efektivní šířka - stejná jako efektivní šířka desky

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,c} = 229,53 \text{ mm}$$

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,beam}}{\gamma_{M0}} = \frac{229,53 \cdot 11,1 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 904,46 \text{ KN}$$

→ Výsledná únosnost 5. řady šroubů

$$F_{T,Rd(row)} = \min(406,6; 580,37; 406,6; 904,46) = 406,6 \text{ KN}$$

1.5. Únosnost tlačené oblasti:

Stěna sloupu v tlaku

- únosnost stěny sloupu:

$$F_{c,wc,Rd} = \min\left(\frac{\omega_c \cdot k_{wc} \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}; \frac{\omega_c \cdot k_{wc} \cdot \rho_c \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}}{\gamma_{M1}}\right)$$

$$= \min\left(\frac{0,85 \cdot 1 \cdot 345,48 \cdot 12 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3}; \frac{0,85 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 345,48 \cdot 12 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3}\right)$$

$$= \min(1250,98; 872,2) = 872,2 \text{ KN}$$

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_{tf} + 5(t_{fc} + r_c) + 2 \cdot t_p$$

$$= 17,2 + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 10 + 5(23 + 27) + 2 \cdot 25 = 345,48 \text{ mm}$$

$$\omega_c = \omega_{1,c} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc}}{A_{vc}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{345,48 \cdot 12}{7518}\right)^2}} = 0,85$$

$$\lambda_{p,c} = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} \cdot d_c \cdot f_{y,c}}{E \cdot t_{wc}^2}} = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{345,48 \cdot 390 \cdot 355}{210000 \cdot 12^2}} = 1,17$$

$$\rho_c = \frac{(\lambda_{p,c} - 0,2)}{\lambda_{p,c}^2} = \frac{(1,17 - 0,2)}{1,17^2} = 0,7$$

Pásnice a stěna nosníku v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})} = \frac{952,1 \cdot 10^3}{(552 - 17,2)} = 1780,3 \text{ KN}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_{y,h}}{\gamma_{M0}} = \frac{2682577 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-6} = 952,1 \text{ KNm}$$

→ Výsledná únosnost tlačené oblasti:

$$F_{c,Rd} = \min(F_{c,wc,Rd}; F_{c,fc,Rd}) = \min(872,2; 1780,3) = 872,2 \text{ KN}$$

1.6. Stěna sloupu ve smyku:

- štíhlost stěny:

$$\frac{d_c}{t_{wc}} = \frac{392}{12} = 32,7 < 69 \cdot \varepsilon_c = 69 \cdot 0,81 = 56,14$$

- výsledná smyková síla:

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{Ed}}{z} = \frac{382500}{534,8} = 715,22 \text{ KN}$$

- stěna neboulí, únosnost stěny sloupu:

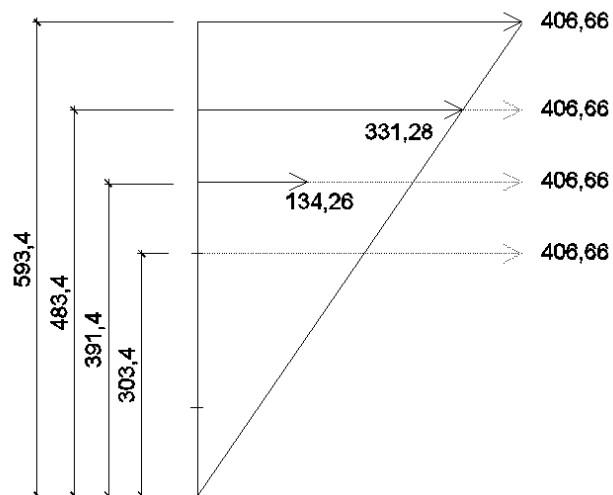
$$\begin{aligned} V_{wp,Rd} &= \frac{0,9 \cdot A_{wc} \cdot f_{y,wc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 7472 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 1378,31 \text{ KN} < V_{wp,Ed} = \\ &= 715,22 \text{ KN} \end{aligned}$$

→ únosnost stěny ve smyku vyhovuje

1.7. Rozdělení sil a momentová únosnost:

- rozdělení sil

řada	únosnost $F_{t,Rd(row\ i)}$	síla $F_{t,Rd(row\ i)}$ pro $M_{j,Rd}$	rameno h_i
1	406,66 KN	406,66 KN	593,4
2	406,66 KN	331,28 KN	483,4
3	406,66 KN	134,26 KN	393,4
4	406,66 KN	-	303,4
5	406,66 KN	-	51,4
celkem	2033,3 KN	872,2 KN	



- stěna sloupu ve smyku:

$$\frac{V_{wp,Rd,mod}}{\beta} = \frac{1378,31}{1} = 1378,31 \text{ KN} > \sum F_{tr,Rd} = 1251,26 \text{ KN}$$

→ stěna sloupu vyhovuje

$$F_{t1,Rd} = 406,66 > 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 203,33 = 386,33 \text{ KN}$$

→ použít pružné rozdělení:

- momentová únosnost přípoje (střed otáčení uprostřed pásnice nosníku)

$$\begin{aligned} M_{j,Rd} &= F_{t1,Rd} \cdot h_1 + F_{t2,Rd} \cdot h_2 + F_{t3,Rd} \cdot h_3 + F_{t4,Rd} \cdot h_4 + F_{t5,Rd} \cdot h_5 = \\ &= 406,66 \cdot 593,4 + 331,28 \cdot 483,4 + 134,26 \cdot 391,4 = 454271 \text{ Nm} \\ &= 454,3 \text{ KNm} > M_{ED} = 382,5 \text{ KN} \end{aligned}$$

→ Momentová únosnost styčníku vyhovuje

1.8. Smyková únosnost šroubů:

- únosnost šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 353 \cdot 800}{1,25} \cdot 10^{-3} = 135,55 \text{ KN}$$

-únosnost v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 24 \cdot 23 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = 540,96 \text{ KN}$$

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{c} \left(\frac{p_2}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \right) \\ \frac{f_{ub}}{f_{u,p}} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \left(\frac{250}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} \right) \\ \frac{800}{490} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 2,96 \\ 1,63 \\ 1,0 \end{array} \right) = 1,0$$

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{c} \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right) \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \left(2,8 \cdot \frac{100}{26} - 1,7 \right) \\ 1,4 \cdot \frac{250}{26} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 9,07 \\ 11,76 \\ 2,5 \end{array} \right) = 2,5$$

$$F_{v,Rd} = \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = \min(135,55; 540,96) = 135,55 \text{ KN}$$

→ únosnost řady šroubů:

$$V_{Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 135,55 = 271,1 \text{ KN} > V_{Ed} = 99,85 \text{ KN}$$

→ Smyková únosnost styčníku vyhovuje

1.9. Namáhání osovou silou

$$N_{tb,Rd} = \frac{A \cdot f_u}{\gamma_{M0}} = \frac{13400 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 4757,0 \text{ KN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \tau \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 33,8 \cdot 25 \cdot 490}{1,25} = 624,4 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd} &= \min(N_{tb,Rd}; n_v \cdot n_h \cdot F_{t,Rd}; n_v \cdot n_h \cdot B_{p,Rd}) = \\ &= \min(4757,0; 2 \cdot 5 \cdot 203,33; 2 \cdot 5 \cdot 624,4) = \\ &= \min(4757,0; 2033,3; 6244,0) = 1626,64 \text{ KN} < N_{Ed} = \\ &= 56,59 \text{ KN} \end{aligned}$$

3. Styčník ve vrcholu

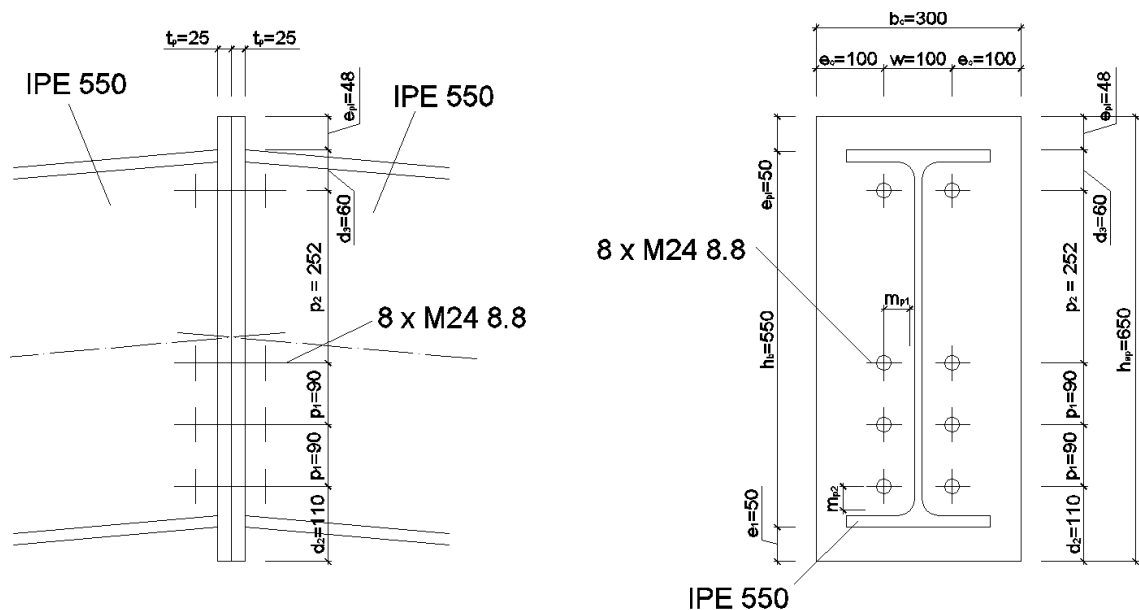
3.1. Vnitřní síly ve styčníku:

$$M_{Ed} = 250,26 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} = 9,48 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} = 44,19 \text{ KN}$$

3.2. Návrh styčníku:



3.3. Návrh svarů:

Svar čelní desky a pásnice příčle

$$a_{ft} \geq 0,55 \cdot t_{fb} = 0,55 \cdot 17,2 = 9,46 \text{ mm}$$

→ návrh koutového svaru tl. 10 mm

Svar čelní desky a stěny příčle

$$a_w \geq 0,55 \cdot t_{wb} = 0,55 \cdot 11,1 = 6,11 \text{ mm}$$

→ návrh koutového svaru tl. 7 mm

3.4. Únosnost řad šroubů v tahu:

$$m_{p1} = \frac{(w - t_{wb} - 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot a_w)}{2} = \frac{(100 - 11,1 - 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 7)}{2} = 36,53 \text{ mm}$$

$$m_{p2} = d_2 - e_1 - t_{fb} - 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot a_{tf} = 110 - 50 - 17,2 - 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 10 = 31,49 \text{ mm}$$

- únosnost jednoho šroubu v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 353 \cdot 800}{1,25} \cdot 10^{-3} = 203,33 \text{ KN}$$

3.4.1. Únosnost 1. řady šroubů

Čelní deska v ohybu

- efektivní šířka - zachovány stejné rozteče šroubů jako u rámového rohu → stejné efektivní šířky:

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,cp} = 229,53 \text{ mm} \quad [\text{viz 2.4.2}]$$

$$L_{eff,2,c} = L_{eff,nc} = 292,24 \text{ mm}$$

- únosnost čelní desky:

Způsob porušení 1 - plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$M_{pl,1,Rd,r2,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,b} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 229,53 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = 12,732 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r2,b}}{m_{p1}} = \frac{4 \cdot 12,732 \cdot 10^6}{36,53} \cdot 10^{-3} = 1394,11 \text{ KN}$$

Způsob porušení 2 - plastický mechanismus (2 plastické klouby) a porušení šroubů v tahu

$$M_{pl,2,Rd,r2,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 292,24 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = 16,21 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r2,b} + n_{p,ep} \cdot \sum F_{T,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \frac{2 \cdot 16,21 \cdot 10^6 + 45,7 \cdot 2 \cdot 203,33 \cdot 10^3}{36,53 + 45,7} \cdot 10^{-3} = 620,26 \text{ KN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_{min}, 1,25 \cdot m) = \min(50, 1,25 \cdot 36,53) = \min(50, 45,66) = 45,7$$

Způsob porušení 3 - porušení šroubů v tahu

$$F_{T,3,Rd,ep} = \sum F_{T,Rd} = 2 \cdot 203,33 = 406,66 \text{ KN}$$

→ únosnost pásnice:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(1394,11; 620,26; 406,66) = 406,66 \text{ KN}$$

Stěna příčle v tahu

- efektivní šířka - stejná jako efektivní šířka desky

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,c} = 229,53 \text{ mm}$$

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,beam}}{\gamma_{M0}} = \frac{229,53 \cdot 11,1 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 904,46 \text{ KN}$$

→ Výsledná únosnost 1. řady šroubů

$$F_{T,Rd(row)} = \min(406,66; 904,46) = 406,6 \text{ KN}$$

3.4.2. Únosnost 2. řady šroubů

Čelní deska v ohybu

- efektivní šířka - zachovány stejné rozteče šroubů jako u rámového rohu → stejné efektivní šířky:

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,cp} = 229,53 \text{ mm} \quad [\text{viz 2.4.3}]$$

$$L_{eff,2,c} = L_{eff,nc} = 271,12 \text{ mm}$$

- únosnost čelní desky:

Způsob porušení 1 - plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$\begin{aligned} M_{pl,1,Rd,r3,b} &= \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,b} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 229,53 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = \\ &= 12,73 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Bakalářská práce

Téma: Styčníky pro rámovou konstrukci

Autor: Jana Benešová

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r3,b}}{m_{p1}} = \frac{4 \cdot 12,73 \cdot 10^6}{36,53} \cdot 10^{-3} = 1394,11 \text{ KN}$$

Způsob porušení 2 - plastický mechanismus (2 plastické klouby) a porušení šroubů v tahu

$$M_{pl,2,Rd,r3,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 271,12 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = 15,038 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r3,b} + n_{p,ep} \cdot \sum F_{T,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \frac{2 \cdot 15,038 \cdot 10^6 + 45,7 \cdot 2 \cdot 203,33 \cdot 10^3}{36,53 + 45,7} \cdot 10^{-3} = 591,76 \text{ KN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_{min}, 1,25 \cdot m) = \min(50, 1,25 \cdot 36,53) = \min(50, 45,66) = 45,7$$

Způsob porušení 3 - porušení šroubů v tahu

$$F_{T,3,Rd,ep} = \sum F_{T,Rd} = 2 \cdot 203,33 = 406,66 \text{ KN}$$

→ únosnost pásnice:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(1394,11; 591,76; 406,6) = 406,6 \text{ KN}$$

Stěna příčle v tahu

- efektivní šířka - stejná jako efektivní šířka desky

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,c} = 229,53 \text{ mm}$$

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,beam}}{\gamma_{M0}} = \frac{229,53 \cdot 11,1 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 904,46 \text{ KN}$$

→ Výsledná únosnost 2. řady šroubů

$$F_{T,Rd(row)} = \min(406,6; 904,46) = 406,6 \text{ KN}$$

3.4.3. Únosnost 3. řady šroubů

Čelní deska v ohybu

- efektivní šířka - zachovány stejné rozteče šroubů jako u rámového rohu → stejné efektivní šířky:

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,cp} = 229,53 \text{ mm} \quad [\text{viz 2.4.4}]$$

$$L_{eff,2,c} = L_{eff,nc} = 271,12 \text{ mm}$$

- únosnost čelní desky:

Způsob porušení 1 - plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$\begin{aligned} M_{pl,1,Rd,r4,b} &= \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,b} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 229,53 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = \\ &= 12,73 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r4,b}}{m_{p1}} = \frac{4 \cdot 12,73 \cdot 10^6}{36,53} \cdot 10^{-3} = 1394,11 \text{ KN}$$

Způsob porušení 2 - plastický mechanismus (2 plastické klouby) a porušení šroubů v tahu

$$M_{pl,2,Rd,r4,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 271,12 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = 15,038 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} F_{T,2,Rd,ep} &= \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r4,b} + n_{p,ep} \cdot \sum F_{T,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \\ &= \frac{2 \cdot 15,038 \cdot 10^6 + 45,7 \cdot 2 \cdot 203,33 \cdot 10^3}{36,53 + 45,7} \cdot 10^{-3} = 591,76 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$n_{p,c} = \min(e_{min}, 1,25 \cdot m) = \min(50, 1,25 \cdot 36,53) = \min(50, 45,66) = 45,7$$

Způsob porušení 3 - porušení šroubů v tahu

$$F_{T,3,Rd,ep} = \sum F_{T,Rd} = 2 \cdot 203,33 = 406,66 \text{ KN}$$

→ únosnost pásnice:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(1394,11; 591,76; 406,66) \\ = 406,66 \text{ KN}$$

Stěna příčle v tahu

- efektivní šířka - stejná jako efektivní šířka desky

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,c} = 229,53 \text{ mm}$$

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,beam}}{\gamma_{M0}} = \frac{229,53 \cdot 11,1 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 904,46 \text{ KN}$$

→ Výsledná únosnost 3. řady šroubů

$$F_{T,Rd(row)} = \min(406,6; 904,46) = 406,6 \text{ KN}$$

3.4.4. Únosnost 4. řady šroubů

Čelní deska v ohybu

- efektivní šířka - zachovány stejné rozteče šroubů jako u rámového rohu → stejné efektivní šířky:

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,cp} = 229,53 \text{ mm} \quad [\text{viz 2.4.5}]$$

$$L_{eff,2,c} = L_{eff,nc} = 271,12 \text{ mm}$$

- únosnost čelní desky:

Způsob porušení 1 - plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$M_{pl,1,Rd,r4,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,b} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 229,53 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = 12,73 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r4,b}}{m_{p1}} = \frac{4 \cdot 12,73 \cdot 10^6}{36,53} \cdot 10^{-3} = 1394,11 \text{ KN}$$

Způsob porušení 2 - plastický mechanismus (2 plastické klouby) a porušení šroubů v tahu

$$M_{pl,2,Rd,r4,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 271,12 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = 15,038 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r4,b} + n_{p,ep} \cdot \sum F_{T,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \frac{2 \cdot 15,038 \cdot 10^6 + 45,7 \cdot 2 \cdot 203,33 \cdot 10^3}{36,53 + 45,7} \cdot 10^{-3} = 591,76 \text{ KN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_{min}, 1,25 \cdot m) = \min(50, 1,25 \cdot 36,53) = \min(50, 45,66) = 45,7$$

Způsob porušení 3 - porušení šroubů v tahu

$$F_{T,3,Rd,ep} = \sum F_{T,Rd} = 2 \cdot 203,33 = 406,66 \text{ KN}$$

→ únosnost pásnice:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(1394,11; 591,76; 406,66) = 406,66 \text{ KN}$$

Stěna příčle v tahu

- efektivní šířka - stejná jako efektivní šířka desky

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,c} = 229,53 \text{ mm}$$

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,beam}}{\gamma_{M0}} = \frac{229,53 \cdot 11,1 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 904,46 \text{ KN}$$

→ Výsledná únosnost 4. řady šroubů

$$F_{T,Rd(row)} = \min(406,6; 904,46) = 406,6 \text{ KN}$$

3.5. Únosnost tlačené oblasti:

Pásnice a stěna nosníku v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})} = \frac{989,39 \cdot 10^3}{(550 - 17,2)} = 1856,95 \text{ KN}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_{y,h}}{\gamma_{M0}} = \frac{2787000 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-6} = 989,39 \text{ KNm}$$

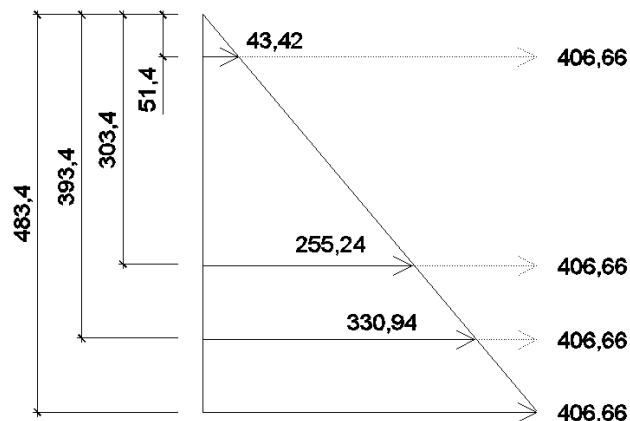
→ Výsledná únosnost tlačené oblasti:

$$F_{c,Rd} = 1856,95 \text{ KN}$$

3.6. Rozdělení sil a momentová únosnost:

- rozdělení sil

řada	únosnost $F_{t,Rd(row\ i)}$	síla $F_{t,Rd(row\ i)}$ pro $M_{j,Rd}$	rameno h_i
1	406,66 KN	406,66 KN	483,4
2	406,66 KN	330,64 KN	393,4
3	406,66 KN	255,24 KN	303,4
4	406,66 KN	43,42 KN	51,4
celkem	1626,64 KN	1036,08 KN	



$$F_{t1,Rd} = 406,66 > 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 203,33 = 386,33 \text{ KN}$$

→ použít pružné rozdělení:

- momentová únosnost přípoje (střed otáčení uprostřed pásnice nosníku)

$$\begin{aligned} M_{j,Rd} &= F_{t1,Rd} \cdot h_1 + F_{t2,Rd} \cdot h_2 + F_{t3,Rd} \cdot h_3 + F_{t4,Rd} \cdot h_4 = \\ &= 406,66 \cdot 483,4 + 330,94 \cdot 393,4 + 255,24 \cdot 303,4 + 43,42 \cdot 51,4 \\ &= 406443 \text{ Nm} = 406,44 \text{ KNm} > M_{ED} = 250,26 \text{ KN} \end{aligned}$$

→ Momentová únosnost styčníku vyhovuje

3.7. Smyková únosnost šroubů

- únosnost šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 452 \cdot 800}{1,25} \cdot 10^{-3} = 171,7 \text{ KN}$$

-únosnost v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 24 \cdot 23 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = 540,96 \text{ KN}$$

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{c} \frac{p_2}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_{ub}}{f_{u,p}} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{250}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} \\ \frac{800}{490} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 4,56 \\ 1,63 \\ 1,0 \end{array} \right) = 1,0$$

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{c} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 2,8 \cdot \frac{100}{26} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{250}{26} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 9,07 \\ 11,76 \\ 2,5 \end{array} \right) = 2,5$$

$$F_{v,Rd} = \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = \min(173,7; 540,96) = 173,7 \text{ KN}$$

Kombinace tlaku a stříhu:

- 1. řada šroubů:

$$F_{t,1,Ed} = \frac{N_{Ed} \cdot n \cdot F_{t,Rd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Ed} \cdot n \cdot F_{t,Rd}}{M_{Rd}} = \frac{44,19 \cdot 2 \cdot 203,33}{1626,64} + \frac{250,26 \cdot 2 \cdot 203,33}{406,44} =$$

$$= 261,44 \text{ KN}$$

$$F_{v,1,Rd} = \left(1 - \frac{F_{t,1,Ed}}{1,4 \cdot n \cdot F_{t,Rd}} \right) \cdot n \cdot F_{v,Rd} = \left(1 - \frac{261,44}{1,4 \cdot 2 \cdot 203,33} \right) \cdot 2 \cdot 171,7 =$$

$$= 185,71 \text{ KN}$$

- 2. řada šroubů:

$$F_{t,1,Ed} = \frac{N_{Ed} \cdot n \cdot F_{t,Rd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Ed} \cdot n \cdot F_{t,Rd}}{M_{Rd}} = \frac{44,19 \cdot 2 \cdot 203,33}{1626,64} + \frac{203,67 \cdot 2 \cdot 203,33}{406,44} =$$

$$= 214,82 \text{ KN}$$

$$F_{v,1,Rd} = \left(1 - \frac{F_{t,1,Ed}}{1,4 \cdot n \cdot F_{t,Rd}}\right) \cdot n \cdot F_{v,Rd} = \left(1 - \frac{214,82}{1,4 \cdot 2 \cdot 203,33}\right) \cdot 2 \cdot 171,7 =$$

$$= 213,82 \text{ KN}$$

- 3. řada šroubů:

$$F_{t,1,Ed} = \frac{N_{Ed} \cdot n \cdot F_{t,Rd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Ed} \cdot n \cdot F_{t,Rd}}{M_{Rd}} = \frac{44,19 \cdot 2 \cdot 203,33}{1626,64} + \frac{157,07 \cdot 2 \cdot 203,33}{406,44} =$$

$$= 168,21 \text{ KN}$$

$$F_{v,1,Rd} = \left(1 - \frac{F_{t,1,Ed}}{1,4 \cdot n \cdot F_{t,Rd}}\right) \cdot n \cdot F_{v,Rd} = \left(1 - \frac{168,21}{1,4 \cdot 2 \cdot 203,33}\right) \cdot 2 \cdot 171,7 =$$

$$= 241,94 \text{ KN}$$

- 4. řada šroubů:

$$F_{t,1,Ed} = \frac{N_{Ed} \cdot n \cdot F_{t,Rd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Ed} \cdot n \cdot F_{t,Rd}}{M_{Rd}} = \frac{44,19 \cdot 2 \cdot 203,33}{1626,64} + \frac{26,61 \cdot 2 \cdot 203,33}{406,44} =$$

$$= 37,67 \text{ KN}$$

$$F_{v,1,Rd} = \left(1 - \frac{F_{t,1,Ed}}{1,4 \cdot n \cdot F_{t,Rd}}\right) \cdot n \cdot F_{v,Rd} = \left(1 - \frac{37,67}{1,4 \cdot 2 \cdot 203,33}\right) \cdot 2 \cdot 171,7 =$$

$$= 320,67 \text{ KN}$$

$$V_{Rd} = \sum F_{v,i,Rd} = 185,71 + 213,82 + 241,94 + 320,67 = 962,14 \text{ KN} > V_{Ed} =$$

$$= 9,48 \text{ KN}$$

→ Smyková únosnost styčníku vyhovuje

3.8. Namáhání osovou silou

$$N_{tb,Rd} = \frac{A \cdot f_u}{\gamma_{M0}} = \frac{13400 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 4757,0 \text{ KN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \tau \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 33,8 \cdot 25 \cdot 490}{1,25} = 624,4 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd} &= \min(N_{tb,Rd}; n_v \cdot n_h \cdot F_{t,Rd}; n_v \cdot n_h \cdot B_{p,Rd}) = \\ &= \min(4757,0; 2 \cdot 4 \cdot 203,33; 2 \cdot 4 \cdot 624,4) = \\ &= \min(4757,0; 1626,64; 4995,2) = 1626,64 \text{ KN} < N_{Ed} = \\ &= 44,19 \text{ KN} \end{aligned}$$

SOFTWAREVÝ VÝPOČET

Bakalářská práce

Téma: Styčníky pro rámovou konstrukci

Autor: Jana Benešová

Obsah

Program FIN EC - Ocelové spoje	3
Rámový roh:	3
Spoj ve vrcholu:	5
Program Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017	8
Rámový roh:	8
Spoj ve vrcholu:.....	15

Materiál: EN 10210-1 : S 355

Mez kluzu : $f_y = 355,0$ MPa

Mez pevnosti v tahu : $f_u = 510,0$ MPa

Přivaření nosníku - koutový dokola

výška svaru na stojně : $a_{w,w} = 10,0$ mm

výška svaru na pásnici : $a_{w,f} = 8,0$ mm

Šrouby

Typ: Hrubé šrouby (M24)

délka dříku : $L = 80,0$ mm

délka závitu : $L_b = 54,0$ mm

podložky nejsou uvažovány

Materiál: Šroub 8.8

Mez kluzu : $f_{yb} = 640,0$ MPa

Mez pevnosti v tahu : $f_{ub} = 800,0$ MPa

Čelní deska:

Materiál: EN 10210-1 : S 355

Mez kluzu : $f_y = 355,0$ MPa

Mez pevnosti v tahu : $f_u = 510,0$ MPa

Rozměry

tloušťka : $t_p = 25,0$ mm

šířka : $b_p = 300,0$ mm

výška : $h_p = 650,0$ mm

poloha nosníku : $a_1 = -50,0$ mm

Rozmístění šroubů: jednořadé vrtání

$w_1 = 100,0$ mm, $e = [100,0$ mm; $90,0$ mm; $90,0$ mm; $270,0$ mm]

1.3 Výsledky

1.3.1 Připoj na pravé straně styčnicku - Tuhá čelní deska

Momentová únosnost

Rozhodující komponenta

řada č.1 - Pásnice sloupu v ohybu $F = 406,08$ kN

řada č.2 - Pásnice sloupu v ohybu $F = 332,02$ kN

řada č.3 - Stěna sloupu v tlaku $F = 119,03$ kN

Posouzení

$M_{y,Rd} = 371,66$ kNm $<$ $M_{y,Ed} = 382,50$ kNm **NEVYHOVUJE**

Smyková únosnost

Rozhodující komponenta : Stěna sloupu ve smyku

Posouzení : $V_{z,Rd} = 1377,57$ kN $>$ $V_{z,Ed} = 692,81$ kN **VYHOVUJE**

Únosnost svarů

Kritický bod : Spodní pásnice

Maximální využití : (50,00%)

Ohybová tuhost

Počáteční tuhost : $S_{j,ini} = 71674,76$ kNm/rad

Sečná tuhost : $S_{j,Ed} = 22192,91$ kNm/rad

Sečná tuhost : $S_{j,Rd} = 23983,90$ kNm/rad

Klasifikace : polotuhý

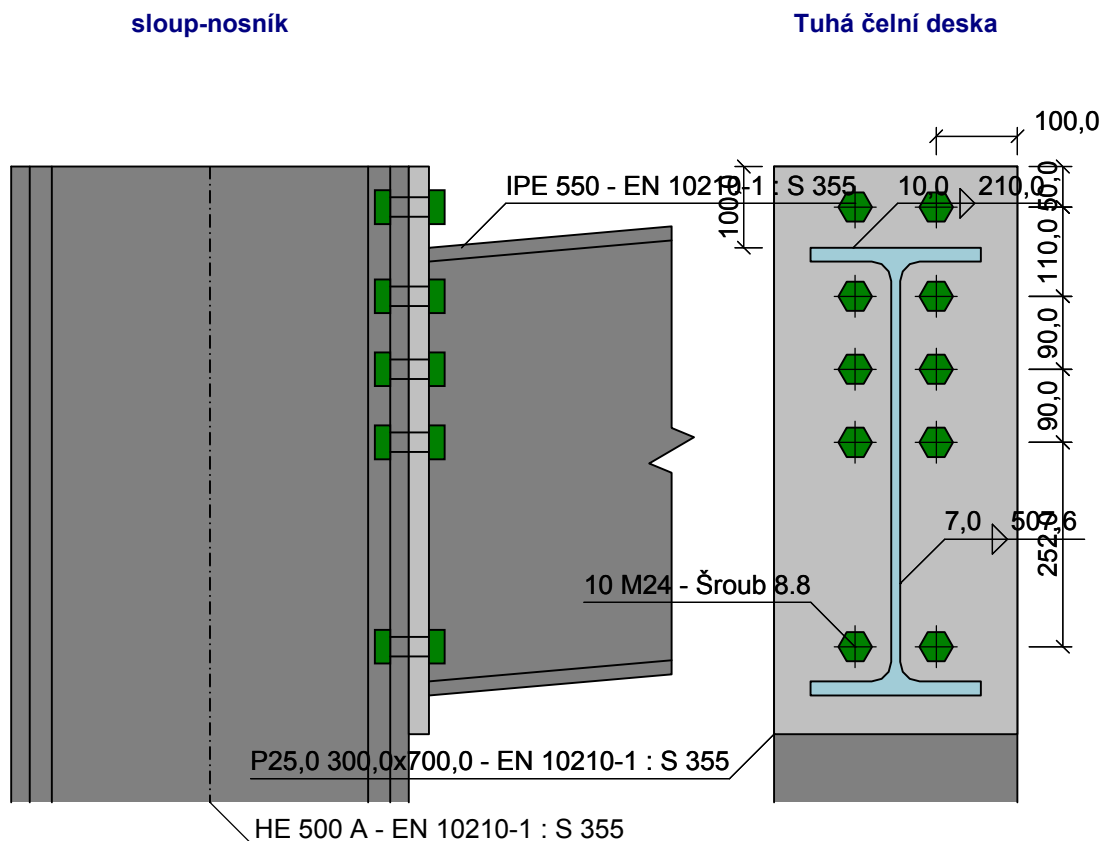


Pouze pro nekomerční využití



2 Spoj 1-5 řad - sloup-nosník

2.1 Schéma spoje



2.2 Rekapitulace dat

2.2.1 Sloup

Profil

Průřez: HE 500 A

výška průřezu : $h = 490,0$ mm

šířka průřezu : $b = 300,0$ mm

Materiál: EN 10210-1 : S 355

Mez kluzu : $f_y = 355,0$ MPa

tloušťka stojiny : $t_w = 12,0$ mm

tloušťka pásnice : $t_f = 23,0$ mm

Mez pevnosti v tahu : $f_u = 510,0$ MPa

Geometrie

délka sloupu : $L = 10000,0$ mm

srovnávací rovina : $L_{SR} = 650,0$ mm

2.2.2 Připoj na pravé straně styčnicku - Tuhá čelní deska

Poloha přípoje

svislé natočení : $\alpha = 5,00^\circ$

vodorovné natočení : $\beta = 0,00^\circ$

vzdálenost od srovnávací roviny : $L_z = -550,0$ mm

Profil

Průřez: IPE 550

výška průřezu : $h = 550,0$ mm

šířka průřezu : $b = 210,0$ mm

tloušťka stojiny : $t_w = 11,1$ mm

tloušťka pásnice : $t_f = 17,2$ mm



Pouze pro nekomerční využití



Materiál: EN 10210-1 : S 355

Mez kluzu : $f_y = 355,0$ MPa

Mez pevnosti v tahu : $f_u = 510,0$ MPa

Přivaření nosníku - koutový dokola

výška svaru na stojně : $a_{w,w} = 7,0$ mm

výška svaru na pásnici : $a_{w,f} = 10,0$ mm

Šrouby

Typ: Hrubé šrouby (M24)

délka dříku : $L = 80,0$ mm

délka závitu : $L_b = 54,0$ mm

podložky nejsou uvažovány

Materiál: Šroub 8.8

Mez kluzu : $f_{yb} = 640,0$ MPa

Mez pevnosti v tahu : $f_{ub} = 800,0$ MPa

Čelní deska:

Materiál: EN 10210-1 : S 355

Mez kluzu : $f_y = 355,0$ MPa

Mez pevnosti v tahu : $f_u = 510,0$ MPa

Rozměry

tloušťka : $t_p = 25,0$ mm

šířka : $b_p = 300,0$ mm

výška : $h_p = 700,0$ mm

poloha nosníku : $a_1 = -100,0$ mm

Rozmístění šroubů: jednořadé vrtání

$w_1 = 100,0$ mm, $e = [50,0$ mm; $110,0$ mm; $90,0$ mm; $90,0$ mm; $252,0$ mm]

2.3 Výsledky

2.3.1 Připoj na pravé straně styčnicku - Tuhá čelní deska

Momentová únosnost

Rozhodující komponenta

řada č.1 - Pásnice sloupu v ohybu $F = 406,08$ kN

řada č.2 - Pásnice sloupu v ohybu $F = 330,82$ kN

řada č.3 - Stěna sloupu v tlaku $F = 124,96$ kN

Posouzení

$M_{y,Rd} = 450,11$ kNm $>$ $M_{y,Ed} = 382,50$ kNm **VYHOVUJE**

Smyková únosnost

Rozhodující komponenta : Stěna sloupu ve smyku

Posouzení : $V_{z,Rd} = 1377,57$ kN $>$ $V_{z,Ed} = 692,81$ kN **VYHOVUJE**

Únosnost svarů

Kritický bod : Spodní pásnice

Maximální využití : (46,81%)

Ohybová tuhost

Počáteční tuhost : $S_{j,ini} = 87159,86$ kNm/rad

Sečná tuhost : $S_{j,Ed} = 45260,21$ kNm/rad

Sečná tuhost : $S_{j,Rd} = 29165,55$ kNm/rad

Klasifikace : polotuhý

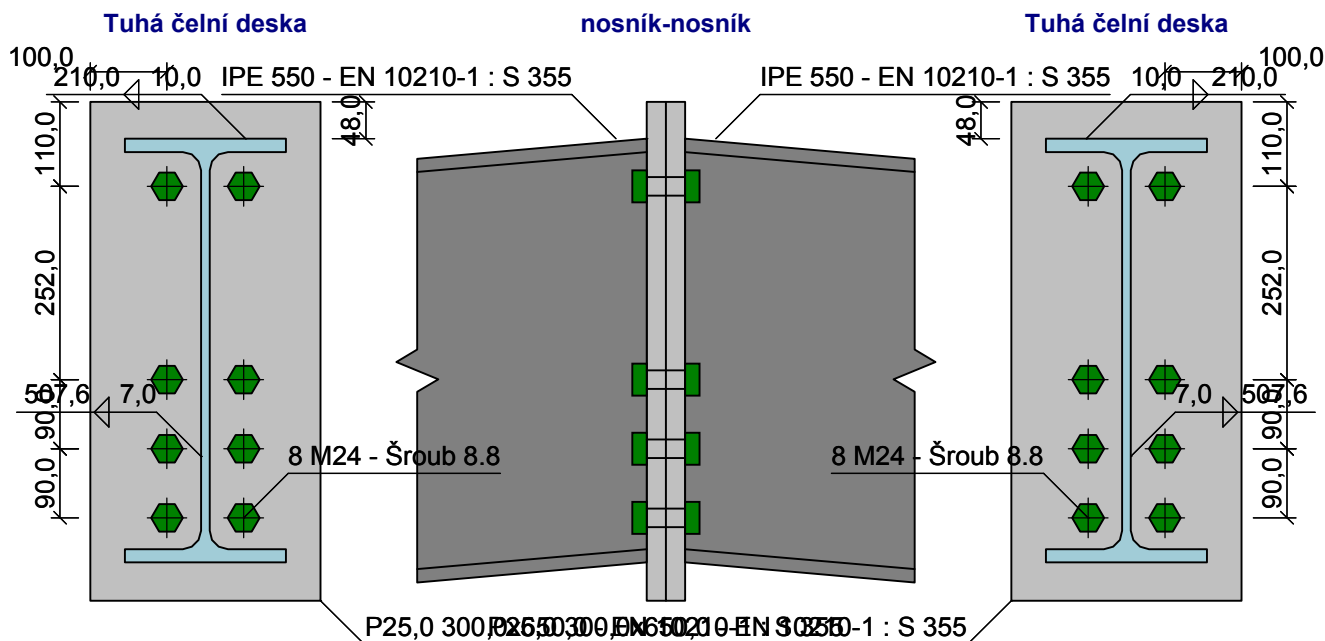


Pouze pro nekomerční využití



3 Spoj 1 - nosník-nosník

3.1 Schéma spoje



3.2 Rekapitulace dat

3.2.1 Přípoj u levé pásnice - Tuhá čelní deska

Poloha přípoje

svislé natočení : $\alpha = -5,00^\circ$
vzdálenost od srovnávací roviny : $L_z = 0,0$ mm

vodorovné natočení : $\beta = 0,00^\circ$

Profil

Průřez: IPE 550

výška průřezu : $h = 550,0$ mm
šířka průřezu : $b = 210,0$ mm

tloušťka stojiny : $t_w = 11,1$ mm
tloušťka pásnice : $t_f = 17,2$ mm

Materiál: EN 10210-1 : S 355

Mez kluzu : $f_y = 355,0$ MPa

Mez pevnosti v tahu : $f_u = 510,0$ MPa

Přivaření nosníku - koutový dokola

výška svaru na stojině : $a_{w,w} = 7,0$ mm

výška svaru na pásnici : $a_{w,f} = 10,0$ mm

Šrouby

Typ: Šrouby pro ocelové konstrukce (M24)

délka dřívku : $L = 135,0$ mm

délka závitu : $L_b = 29,5$ mm

podložky nejsou uvažovány

Materiál: Šroub 8.8

Mez kluzu : $f_{yb} = 640,0$ MPa

Mez pevnosti v tahu : $f_{ub} = 800,0$ MPa

Čelní deska:

Materiál: EN 10210-1 : S 355

Mez kluzu : $f_y = 355,0$ MPa

Mez pevnosti v tahu : $f_u = 510,0$ MPa

Rozměry

tloušťka : $t_p = 25,0$ mm

šířka : $b_p = 300,0$ mm

výška : $h_p = 650,0$ mm

poloha nosníku : $a_1 = -48,0$ mm



Pouze pro nekomerční využití



Rozmístění šroubů: jednořadé vrtání

$w_1 = 100,0 \text{ mm}$, $e = [110,0 \text{ mm}; 252,0 \text{ mm}; 90,0 \text{ mm}; 90,0 \text{ mm}]$

3.2.2 Přípoj u pravé pásnice - Tuhá čelní deska

Poloha přípoje

svislé natočení : $\alpha = -5,00^\circ$ vodorovné natočení : $\beta = 0,00^\circ$

vzdálenost od srovnávací roviny : $L_z = 0,0 \text{ mm}$

Profil

Průřez: IPE 550

výška průřezu : $h = 550,0 \text{ mm}$ tloušťka stojiny : $t_w = 11,1 \text{ mm}$

šířka průřezu : $b = 210,0 \text{ mm}$ tloušťka pásnice : $t_f = 17,2 \text{ mm}$

Materiál: EN 10210-1 : S 355

Mez kluzu : $f_y = 355,0 \text{ MPa}$ Mez pevnosti v tahu : $f_u = 510,0 \text{ MPa}$

Přivaření nosníku - koutový dokola

výška svaru na stojině : $a_{w,w} = 7,0 \text{ mm}$ výška svaru na pásnici : $a_{w,f} = 10,0 \text{ mm}$

Šrouby

Typ: Šrouby pro ocelové konstrukce (M24)

délka dřívku : $L = 135,0 \text{ mm}$ délka závitu : $L_b = 29,5 \text{ mm}$

podložky nejsou uvažovány

Materiál: Šroub 8.8

Mez kluzu : $f_{yb} = 640,0 \text{ MPa}$ Mez pevnosti v tahu : $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$

Čelní deska:

Materiál: EN 10210-1 : S 355

Mez kluzu : $f_y = 355,0 \text{ MPa}$ Mez pevnosti v tahu : $f_u = 510,0 \text{ MPa}$

Rozměry

tloušťka : $t_p = 25,0 \text{ mm}$ šířka : $b_p = 300,0 \text{ mm}$

výška : $h_p = 650,0 \text{ mm}$ poloha nosníku : $a_1 = -48,0 \text{ mm}$

Rozmístění šroubů: jednořadé vrtání

$w_1 = 100,0 \text{ mm}$, $e = [110,0 \text{ mm}; 252,0 \text{ mm}; 90,0 \text{ mm}; 90,0 \text{ mm}]$

3.3 Výsledky

3.3.1 Přípoj u levé pásnice - Tuhá čelní deska

Momentová únosnost

Rozhodující komponenta

řada č.1 - Čelní deska v ohybu $F = 406,08 \text{ kN}$

řada č.2 - Čelní deska v ohybu $F = 330,79 \text{ kN}$

řada č.3 - Čelní deska v ohybu $F = 255,49 \text{ kN}$

řada č.4 - Čelní deska v ohybu $F = 44,65 \text{ kN}$

Posouzení

$M_{y,Rd} = 408,28 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 250,26 \text{ kNm}$ **VYHOVUJE**

Smyková únosnost

Rozhodující komponenta : Šrouby ve střihu

Posouzení : $V_{z,Rd} = 961,04 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 5,59 \text{ kN}$ **VYHOVUJE**

Únosnost svarů

Kritický bod : Horní pásnice

Maximální využití : (30,93%)

Ohybová tuhost

Počáteční tuhost : $S_{j,ini} = 1034872,85 \text{ kNm/rad}$

Sečná tuhost : $S_{j,Ed} = 1034872,85 \text{ kNm/rad}$

Sečná tuhost : $S_{j,Rd} = 346290,51 \text{ kNm/rad}$

Klasifikace : větknutý



Pouze pro nekomerční využití



3.3.2 Přípoj u pravé pásnice - Tuhá čelní deska

Momentová únosnost

Rozhodující komponenta

řada č.1 - Čelní deska v ohybu $F = 406,08 \text{ kN}$

řada č.2 - Čelní deska v ohybu $F = 330,79 \text{ kN}$

řada č.3 - Čelní deska v ohybu $F = 255,49 \text{ kN}$

řada č.4 - Čelní deska v ohybu $F = 44,65 \text{ kN}$

Posouzení

$M_{y,Rd} = 408,28 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 250,36 \text{ kNm}$ **VYHOVUJE**

Smyková únosnost

Rozhodující komponenta : Šrouby ve stříhu

Posouzení : $V_{z,Rd} = 960,66 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 5,59 \text{ kN}$ **VYHOVUJE**

Únosnost svarů

Kritický bod : Spodní pásnice

Maximální využití : (30,94%)

Ohybová tuhost

Počáteční tuhost : $S_{j,ini} = 1034872,85 \text{ kNm/rad}$

Sečná tuhost : $S_{j,Ed} = 1034872,85 \text{ kNm/rad}$

Sečná tuhost : $S_{j,Rd} = 346290,51 \text{ kNm/rad}$

Klasifikace : vetknutý



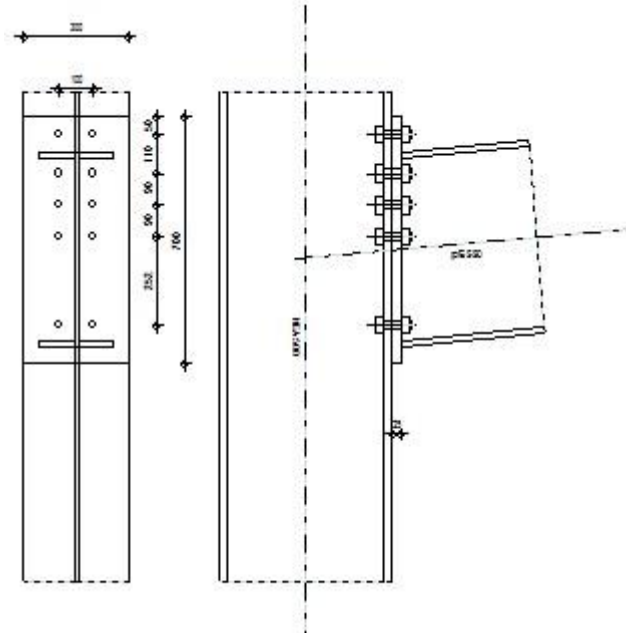
Pouze pro nekomerční využití





Design of fixed beam-to-column connection

EN 1993-1-8:2005/AC:2009

Ratio
0,84

GENERAL

Connection no.: 1
Connection name: Column-Beam

GEOMETRY

COLUMN

Section: HEA 500
 $\alpha = -90,0$ [Deg] Inclination angle
 $h_c = 490$ [mm] Height of column section
 $b_{fc} = 300$ [mm] Width of column section
 $t_{wc} = 12$ [mm] Thickness of the web of column section
 $t_{fc} = 23$ [mm] Thickness of the flange of column section
 $r_c = 27$ [mm] Radius of column section fillet
 $A_c = 19800$ [mm²] Cross-sectional area of a column
 $I_{xc} = 869700000$ [mm⁴] Moment of inertia of the column section
Material: S355
 $f_{yc} = 355,00$ [MPa] Resistance

BEAM

Section: IPE 550
 $\alpha = 5,0$ [Deg] Inclination angle
 $h_b = 550$ [mm] Height of beam section
 $b_f = 210$ [mm] Width of beam section
 $t_{wb} = 11$ [mm] Thickness of the web of beam section
 $t_{fb} = 17$ [mm] Thickness of the flange of beam section
 $r_b = 24$ [mm] Radius of beam section fillet
 $r_b = 24$ [mm] Radius of beam section fillet
 $A_b = 13400$ [mm²] Cross-sectional area of a beam

$\alpha = 5,0$ [Deg] Inclination angle
 $I_{xb} = 671200000$ [mm⁴] Moment of inertia of the beam section
 Material: S355
 $f_{yb} = 355,00$ [MPa] Resistance

BOLTS

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

$d = 24$ [mm] Bolt diameter
 Class = 8.8 Bolt class
 $F_{tRd} = 203,33$ [kN] Tensile resistance of a bolt
 $n_h = 2$ Number of bolt columns
 $n_v = 5$ Number of bolt rows
 $h_1 = 50$ [mm] Distance between first bolt and upper edge of front plate
 Horizontal spacing $e_i = 100$ [mm]
 Vertical spacing $p_i = 110; 90; 90; 252$ [mm]

PLATE

$h_p = 700$ [mm] Plate height
 $b_p = 300$ [mm] Plate width
 $t_p = 25$ [mm] Plate thickness
 Material: S355
 $f_{yp} = 355,00$ [MPa] Resistance

FILLET WELDS

$a_w = 7$ [mm] Web weld
 $a_f = 10$ [mm] Flange weld

MATERIAL FACTORS

$\gamma_{M0} = 1,00$	Partial safety factor	[2.2]
$\gamma_{M1} = 1,00$	Partial safety factor	[2.2]
$\gamma_{M2} = 1,25$	Partial safety factor	[2.2]
$\gamma_{M3} = 1,25$	Partial safety factor	[2.2]

LOADS

Ultimate limit state

Case: Manual calculations.

$M_{b1,Ed} = 382,50$ [kN*m] Bending moment in the right beam
 $V_{b1,Ed} = 99,85$ [kN] Shear force in the right beam
 $N_{b1,Ed} = 56,59$ [kN] Axial force in the right beam

RESULTS

BEAM RESISTANCES

TENSION

$A_b = 13400$ [mm²] Area EN1993-1-1:[6.2.3]

$N_{tb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$

$N_{tb,Rd} = 4757,00$ [kN] Design tensile resistance of the section EN1993-1-1:[6.2.3]

SHEAR

$A_{vb} = 7193$ [mm²] Shear area EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$

$V_{cb,Rd} = 1474,17$ [kN] Design sectional resistance for shear EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]

$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$ $0,07 < 1,00$ **verified** (0,07)

BENDING - PLASTIC MOMENT (WITHOUT BRACKETS)

$W_{plb} = 2787000$ [mm³] Plastic section modulus EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

$$M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$M_{b,pl,Rd} = 989,3 \text{ [kN*m Plastic resistance of the section for bending (without stiffeners)]}$$

EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

BENDING ON THE CONTACT SURFACE WITH PLATE OR CONNECTED ELEMENT

$$W_{pl} = 2682577 \text{ [mm}^3\text{] Plastic section modulus}$$

EN1993-1-1:[6.2.5]

$$M_{cb,Rd} = W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$M_{cb,Rd} = 952,31 \text{ [kN*m] Design resistance of the section for bending}$$

EN1993-1-1:[6.2.5]

FLANGE AND WEB - COMPRESSION

$$M_{cb,Rd} = 952,31 \text{ [kN*m] Design resistance of the section for bending}$$

EN1993-1-1:[6.2.5]

$$h_f = 535 \text{ [mm] Distance between the centroids of flanges}$$

[6.2.6.7.(1)]

$$F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$$

$$F_{c,fb,Rd} = 1780,58 \text{ [kN] Resistance of the compressed flange and web}$$

[6.2.6.7.(1)]

COLUMN RESISTANCES

WEB PANEL - SHEAR

$$M_{b1,Ed} = 382,50 \text{ [kN*m] Bending moment (right beam)}$$

[5.3.(3)]

$$M_{b2,Ed} = 0,00 \text{ [kN*m] Bending moment (left beam)}$$

[5.3.(3)]

$$V_{c1,Ed} = 0,00 \text{ [kN] Shear force (lower column)}$$

[5.3.(3)]

$$V_{c2,Ed} = 0,00 \text{ [kN] Shear force (upper column)}$$

[5.3.(3)]

$$z = 538 \text{ [mm] Lever arm}$$

[6.2.5]

$$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$$

$$V_{wp,Ed} = 710,35 \text{ [kN] Shear force acting on the web panel}$$

[5.3.(3)]

$$A_{vs} = 7518 \text{ [mm}^2\text{] Shear area of the column web}$$

EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$$A_{vc} = 7518 \text{ [mm}^2\text{] Shear area}$$

EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$$V_{wp,Rd} = 0.9 * (f_{y,wc} * A_{vc} + f_{y,wp} * A_{vp} + f_{ys} * A_{vd}) / (\sqrt{3} \gamma_{M0})$$

$$V_{wp,Rd} = 1386,80 \text{ [kN] Resistance of the column web panel for shear}$$

[6.2.6.1]

$$V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} \leq 1,0 \quad 0,51 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,51)$$

WEB - TRANSVERSE COMPRESSION - LEVEL OF THE BEAM BOTTOM FLANGE

Bearing:

$$t_{wc} = 12 \text{ [mm] Effective thickness of the column web}$$

[6.2.6.2.(6)]

$$b_{eff,c,wc} = 346 \text{ [mm] Effective width of the web for compression}$$

[6.2.6.2.(1)]

$$A_{vc} = 7518 \text{ [mm}^2\text{] Shear area}$$

EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$$\omega = 0,85 \text{ Reduction factor for interaction with shear}$$

[6.2.6.2.(1)]

$$\sigma_{com,Ed} = 0,00 \text{ [MPa] Maximum compressive stress in web}$$

[6.2.6.2.(2)]

$$k_{wc} = 1,00 \text{ Reduction factor conditioned by compressive stresses}$$

[6.2.6.2.(2)]

$$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$$

$$F_{c,wc,Rd1} = 1246,12 \text{ [kN] Column web resistance}$$

[6.2.6.2.(1)]

Buckling:

$$d_{wc} = 390 \text{ [mm] Height of compressed web}$$

[6.2.6.2.(1)]

$$\lambda_p = 1,19 \text{ Plate slenderness of an element}$$

[6.2.6.2.(1)]

$$\rho = 0,70 \text{ Reduction factor for element buckling}$$

[6.2.6.2.(1)]

$$F_{c,wb,Rd2} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1}$$

$$F_{c,wb,Rd2} = 873,23 \text{ [kN] Column web resistance}$$

[6.2.6.2.(1)]

Final resistance:

$$F_{c,wc,Rd,low} = \text{Min}(F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wb,Rd2})$$

$$F_{c,wc,Rd} = 873,23 \text{ [kN] Column web resistance}$$

[6.2.6.2.(1)]

GEOMETRICAL PARAMETERS OF A CONNECTION

EFFECTIVE LENGTHS AND PARAMETERS - COLUMN FLANGE

Nr	m	m _x	e	e _x	p	l _{eff,cp}	l _{eff,nc}	l _{eff,1}	l _{eff,2}	l _{eff,cp,g}	l _{eff,nc,g}	l _{eff,1,g}	l _{eff,2,g}
1	22	-	100	-	110	141	157	141	157	180	105	105	105
2	22	-	100	-	100	141	215	141	215	180	90	90	90
3	22	-	100	-	90	141	215	141	215	180	90	90	90
4	22	-	100	-	171	141	215	141	215	180	90	90	90
5	22	-	100	-	252	141	215	141	215	322	233	233	233

EFFECTIVE LENGTHS AND PARAMETERS - FRONT PLATE

Nr	m	m _x	e	e _x	p	l _{eff,cp}	l _{eff,nc}	l _{eff,1}	l _{eff,2}	l _{eff,cp,g}	l _{eff,nc,g}	l _{eff,1,g}	l _{eff,2,g}
1	37	39	100	50	117	222	150	150	150	–	–	–	–
2	37	–	100	–	90	230	292	230	292	205	202	202	202
3	37	–	100	–	90	230	271	230	271	180	90	90	90
4	37	–	100	–	171	230	271	230	271	342	171	171	171
5	37	–	100	–	252	230	271	230	271	367	262	262	262

m	– Bolt distance from the web
m _x	– Bolt distance from the beam flange
e	– Bolt distance from the outer edge
e _x	– Bolt distance from the horizontal outer edge
p	– Distance between bolts
l _{eff,cp}	– Effective length for a single bolt in the circular failure mode
l _{eff,nc}	– Effective length for a single bolt in the non-circular failure mode
l _{eff,1}	– Effective length for a single bolt for mode 1
l _{eff,2}	– Effective length for a single bolt for mode 2
l _{eff,cp,g}	– Effective length for a group of bolts in the circular failure mode
l _{eff,nc,g}	– Effective length for a group of bolts in the non-circular failure mode
l _{eff,1,g}	– Effective length for a group of bolts for mode 1
l _{eff,2,g}	– Effective length for a group of bolts for mode 2

CONNECTION RESISTANCE FOR TENSION

$F_{t,Rd} = 203,33$ [kN]	Bolt resistance for tension	[Table 3.4]
$B_{p,Rd} = 611,81$ [kN]	Punching shear resistance of a bolt	[Table 3.4]
$N_{j,Rd} = \text{Min}(N_{tb,Rd}, n_v n_h F_{t,Rd}, n_v n_h B_{p,Rd})$		
$N_{j,Rd} = 2033,28$ [kN]	Connection resistance for tension	[6.2]
$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$	$0,03 < 1,00$	verified (0,03)

CONNECTION RESISTANCE FOR BENDING

$F_{t,Rd} = 203,33$ [kN]	Bolt resistance for tension	[Table 3.4]
$B_{p,Rd} = 611,81$ [kN]	Punching shear resistance of a bolt	[Table 3.4]
$F_{t,fc,Rd}$	– column flange resistance due to bending	
$F_{t,wc,Rd}$	– column web resistance due to tension	
$F_{t,ep,Rd}$	– resistance of the front plate due to bending	
$F_{t,wb,Rd}$	– resistance of the web in tension	
$F_{t,fc,Rd} = \text{Min}(F_{T,1,fc,Rd}, F_{T,2,fc,Rd}, F_{T,3,fc,Rd})$		[6.2.6.4], [Tab.6.2]
$F_{t,wc,Rd} = \omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$		[6.2.6.3.(1)]
$F_{t,ep,Rd} = \text{Min}(F_{T,1,ep,Rd}, F_{T,2,ep,Rd}, F_{T,3,ep,Rd})$		[6.2.6.5], [Tab.6.2]
$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}$		[6.2.6.8.(1)]

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 1

F _{t1,Rd,comp} - Formula	F _{t1,Rd,comp}	Component
$F_{t1,Rd} = \text{Min}(F_{t1,Rd,comp})$	406,66	Bolt row resistance
$F_{t,fc,Rd(1)} = 406,66$	406,66	Column flange - tension
$F_{t,wc,Rd(1)} = 580,82$	580,82	Column web - tension
$F_{t,ep,Rd(1)} = 406,66$	406,66	Front plate - tension
$B_{p,Rd} = 1223,62$	1223,62	Bolts due to shear punching
$V_{wp,Rd}/\beta = 1386,80$	1386,80	Web panel - shear
$F_{c,wc,Rd} = 873,23$	873,23	Column web - compression
$F_{c,fb,Rd} = 1780,58$	1780,58	Beam flange - compression

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 2

F _{t2,Rd,comp} - Formula	F _{t2,Rd,comp}	Component
$F_{t2,Rd} = \text{Min}(F_{t2,Rd,comp})$	376,21	Bolt row resistance
$F_{t,fc,Rd(2)} = 406,66$	406,66	Column flange - tension
$F_{t,wc,Rd(2)} = 580,82$	580,82	Column web - tension
$F_{t,ep,Rd(2)} = 406,66$	406,66	Front plate - tension

F_{t2,Rd,comp} - Formula	F_{t2,Rd,comp}	Component
$F_{t,wb,Rd(2)} = 904,45$	904,45	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 1223,62$	1223,62	Bolts due to shear punching
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^1 F_{ti,Rd} = 1386,80 - 406,66$	980,14	Web panel - shear
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 873,23 - 406,66$	466,57	Column web - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 1780,58 - 406,66$	1373,92	Beam flange - compression
$F_{t,fc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 813,31 - 406,66$	406,66	Column flange - tension - group
$F_{t,wc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 782,86 - 406,66$	376,21	Column web - tension - group

Additional reduction of the bolt row resistance

$$F_{t2,Rd} = F_{t1,Rd} h_2/h_1$$

$$F_{t2,Rd} = 331,28 \quad [\text{kN}] \quad \text{Reduced bolt row resistance} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 3

F_{t3,Rd,comp} - Formula	F_{t3,Rd,comp}	Component
$F_{t3,Rd} = \text{Min}(F_{t3,Rd,comp})$	135,29	Bolt row resistance
$F_{t,fc,Rd(3)} = 406,66$	406,66	Column flange - tension
$F_{t,wc,Rd(3)} = 580,82$	580,82	Column web - tension
$F_{t,ep,Rd(3)} = 406,66$	406,66	Front plate - tension
$F_{t,wb,Rd(3)} = 904,45$	904,45	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 1223,62$	1223,62	Bolts due to shear punching
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^2 F_{ti,Rd} = 1386,80 - 737,94$	648,86	Web panel - shear
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd} = 873,23 - 737,94$	135,29	Column web - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd} = 1780,58 - 737,94$	1042,64	Beam flange - compression
$F_{t,fc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 787,19 - 331,28$	455,91	Column flange - tension - group
$F_{t,wc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 728,70 - 331,28$	397,42	Column web - tension - group
$F_{t,fc,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{tj,Rd} = 1208,73 - 737,94$	470,79	Column flange - tension - group
$F_{t,wc,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{tj,Rd} = 1077,75 - 737,94$	339,82	Column web - tension - group
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 813,31 - 331,28$	482,03	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 1149,37 - 331,28$	818,09	Beam web - tension - group
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 813,31 - 331,28$	482,03	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 1149,37 - 331,28$	818,09	Beam web - tension - group

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 4

F_{t4,Rd,comp} - Formula	F_{t4,Rd,comp}	Component
$F_{t4,Rd} = \text{Min}(F_{t4,Rd,comp})$	0,00	Bolt row resistance
$F_{t,fc,Rd(4)} = 406,66$	406,66	Column flange - tension
$F_{t,wc,Rd(4)} = 580,82$	580,82	Column web - tension
$F_{t,ep,Rd(4)} = 406,66$	406,66	Front plate - tension
$F_{t,wb,Rd(4)} = 904,45$	904,45	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 1223,62$	1223,62	Bolts due to shear punching
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^3 F_{ti,Rd} = 1386,80 - 873,23$	513,57	Web panel - shear
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^3 F_{tj,Rd} = 873,23 - 873,23$	0,00	Column web - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^3 F_{tj,Rd} = 1780,58 - 873,23$	907,35	Beam flange - compression
$F_{t,fc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd} = 787,19 - 135,29$	651,90	Column flange - tension - group
$F_{t,wc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd} = 728,70 - 135,29$	593,41	Column web - tension - group
$F_{t,fc,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 1180,78 - 466,57$	714,21	Column flange - tension - group
$F_{t,wc,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 1032,31 - 466,57$	565,74	Column web - tension - group
$F_{t,fc,Rd(4+3+2+1)} - \sum_3^1 F_{tj,Rd} = 1602,32 - 873,23$	729,10	Column flange - tension - group
$F_{t,wc,Rd(4+3+2+1)} - \sum_3^1 F_{tj,Rd} = 1319,50 - 873,23$	446,27	Column web - tension - group
$F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd} = 804,12 - 135,29$	668,83	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd} = 1028,47 - 135,29$	893,18	Beam web - tension - group
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 1219,97 - 466,57$	753,40	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 1823,20 - 466,57$	1356,63	Beam web - tension - group
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 1219,97 - 466,57$	753,40	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 1823,20 - 466,57$	1356,63	Beam web - tension - group

The remaining bolts are inactive (they do not carry loads) because resistance of one of the connection components has been used up or these bolts are positioned below the center of rotation.

SUMMARY TABLE OF FORCES

Nr	h_j	$F_{tj,Rd}$	$F_{t,fc,Rd}$	$F_{t,wc,Rd}$	$F_{t,ep,Rd}$	$F_{t,wb,Rd}$	$F_{t,Rd}$	$B_{p,Rd}$
1	593	406,66	406,66	580,82	406,66	-	406,66	1223,62
2	483	331,28	406,66	580,82	406,66	904,45	406,66	1223,62
3	393	135,29	406,66	580,82	406,66	904,45	406,66	1223,62
4	303	-	406,66	580,82	406,66	904,45	406,66	1223,62
5	51	-	406,66	580,82	406,66	904,45	406,66	1223,62

CONNECTION RESISTANCE FOR BENDING $M_{j,Rd}$

$$M_{j,Rd} = \sum h_j F_{tj,Rd}$$

$$M_{j,Rd} = 454,73 \text{ [kN*m]} \quad \text{Connection resistance for bending} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,84 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,84)$$

CONNECTION RESISTANCE FOR SHEAR

$$\alpha_v = 0,60 \quad \text{Coefficient for calculation of } F_{v,Rd} \quad [\text{Table 3.4}]$$

$$\beta_{Lf} = 0,96 \quad \text{Reduction factor for long connections} \quad [3.8]$$

$$F_{v,Rd} = 167,13 \text{ [kN]} \quad \text{Shear resistance of a single bolt} \quad [\text{Table 3.4}]$$

$$F_{t,Rd,max} = 203,33 \text{ [kN]} \quad \text{Tensile resistance of a single bolt} \quad [\text{Table 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,int} = 488,94 \text{ [kN]} \quad \text{Bearing resistance of an intermediate bolt} \quad [\text{Table 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,ext} = 376,92 \text{ [kN]} \quad \text{Bearing resistance of an outermost bolt} \quad [\text{Table 3.4}]$$

Nr	$F_{tj,Rd,N}$	$F_{tj,Ed,N}$	$F_{tj,Rd,M}$	$F_{tj,Ed,M}$	$F_{tj,Ed}$	$F_{vj,Rd}$
1	406,66	11,32	406,66	342,06	353,38	126,78
2	406,66	11,32	331,28	278,66	289,98	164,01
3	406,66	11,32	135,29	113,80	125,12	260,80
4	406,66	11,32	0,00	0,00	11,32	327,62
5	406,66	11,32	0,00	0,00	11,32	327,62

$F_{tj,Rd,N}$ – Bolt row resistance for simple tension

$F_{tj,Ed,N}$ – Force due to axial force in a bolt row

$F_{tj,Rd,M}$ – Bolt row resistance for simple bending

$F_{tj,Ed,M}$ – Force due to moment in a bolt row

$F_{tj,Ed}$ – Maximum tensile force in a bolt row

$F_{vj,Rd}$ – Reduced bolt row resistance

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

$$F_{vj,Rd} = \text{Min} (n_h F_{v,Ed} (1 - F_{tj,Ed} / (1.4 n_h F_{t,Rd,max})), n_h F_{v,Rd}, n_h F_{b,Rd})$$

$$V_{j,Rd} = n_h \sum 1^n F_{vj,Rd} \quad [\text{Table 3.4}]$$

$$V_{j,Rd} = 1206,83 \text{ [kN]} \quad \text{Connection resistance for shear} \quad [\text{Table 3.4}]$$

$$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,08 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,08)$$

WELD RESISTANCE

$$A_w = 13789 \text{ [mm}^2\text{]} \quad \text{Area of all welds} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$A_{wy} = 7218 \text{ [mm}^2\text{]} \quad \text{Area of horizontal welds} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$A_{wz} = 6571 \text{ [mm}^2\text{]} \quad \text{Area of vertical welds} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$I_{wy} = 64684774 \text{ [mm}^4\text{]} \quad \text{Moment of inertia of the weld arrangement with respect to the hor. axis} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\sigma_{\perp,max} = \tau_{\perp,max} = 121,62 \text{ [MPa]} \quad \text{Normal stress in a weld} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 102,24 \text{ [MPa]} \quad \text{Stress in a vertical weld} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\tau_{\parallel} = 15,19 \text{ [MPa]} \quad \text{Tangent stress} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\beta_w = 0,90 \quad \text{Correlation coefficient} \quad [4.5.3.2(7)]$$

$\sqrt{[\sigma_{\perp\max}^2 + 3*(\tau_{\perp\max}^2)]} \leq f_u/(\beta_w*\gamma_{M2})$	243, 24 < 435, 56	verified	(0, 56)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)]} \leq f_u/(\beta_w*\gamma_{M2})$	206, 16 < 435, 56	verified	(0, 47)
$\sigma_{\perp} \leq 0.9*f_u/\gamma_{M2}$	121, 62 < 352, 80	verified	(0, 34)

CONNECTION STIFFNESS

$t_{wash} =$	5	[mm]	Washer thickness	[6.2.6.3.(2)]
$h_{head} =$	17	[mm]	Bolt head height	[6.2.6.3.(2)]
$h_{nut} =$	24	[mm]	Bolt nut height	[6.2.6.3.(2)]
$L_b =$	79	[mm]	Bolt length	[6.2.6.3.(2)]
$k_{10} =$	7	[mm]	Stiffness coefficient of bolts	[6.3.2.(1)]

STIFFNESSES OF BOLT ROWS

Nr	h_j	k_3	k_4	k_5	$k_{eff,j}$	$k_{eff,j} h_j$	$k_{eff,j} h_j^2$
					Sum	2517	1153769
1	593	2	102	36	1	873	518243
2	483	2	88	58	1	640	309640
3	393	2	88	26	1	507	199452
4	303	2	88	49	1	400	121500
5	51	3	137	66	2	96	4933

$$k_{eff,j} = 1 / (\sum_3^5 (1 / k_{i,j})) \quad [6.3.3.1.(2)]$$

$$z_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j^2 / \sum_j k_{eff,j} h_j$$

$$z_{eq} = 458 \text{ [mm]} \quad \text{Equivalent force arm} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

$$k_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j / z_{eq}$$

$$k_{eq} = 5 \text{ [mm]} \quad \text{Equivalent stiffness coefficient of a bolt arrangement} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

$$A_{vc} = 751 \text{ [mm}^2] \quad \text{Shear area} \quad \text{EN1993-1-1: [6.2.6.(3)]}$$

$$\beta = \frac{1,0}{0} \quad \text{Transformation parameter} \quad [5.3.(7)]$$

$$z = 458 \text{ [mm]} \quad \text{Lever arm} \quad [6.2.5]$$

$$k_1 = 6 \text{ [mm]} \quad \text{Stiffness coefficient of the column web panel subjected to shear} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$b_{eff,c,wc} = 346 \text{ [mm]} \quad \text{Effective width of the web for compression} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$t_{wc} = 12 \text{ [mm]} \quad \text{Effective thickness of the column web} \quad [6.2.6.2.(6)]$$

$$d_c = 444 \text{ [mm]} \quad \text{Height of compressed web} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$k_2 = 7 \text{ [mm]} \quad \text{Stiffness coefficient of the compressed column web} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$S_{j,ini} = E z_{eq}^2 / \sum_i (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_{eq}) \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_{j,ini} = 86931, 23 \text{ [kN*m]} \quad \text{Initial rotational stiffness} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1, 87 \quad \text{Stiffness coefficient of a connection} \quad [6.3.1.(6)]$$

$$S_j = S_{j,ini} / \mu \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_j = 46405, 33 \text{ [kN*m]} \quad \text{Final rotational stiffness} \quad [6.3.1.(4)]$$

Connection classification due to stiffness.

$$S_{j,rig} = 220153, 60 \text{ [kN*m]} \quad \text{Stiffness of a rigid connection} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} = 13759, 60 \text{ [kN*m]} \quad \text{Stiffness of a pinned connection} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} \leq S_{j,ini} < S_{j,rig} \quad \text{SEMI-RIGID}$$

WEAKEST COMPONENT:

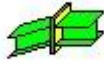
COLUMN WEB - COMPRESSION

REMARKS

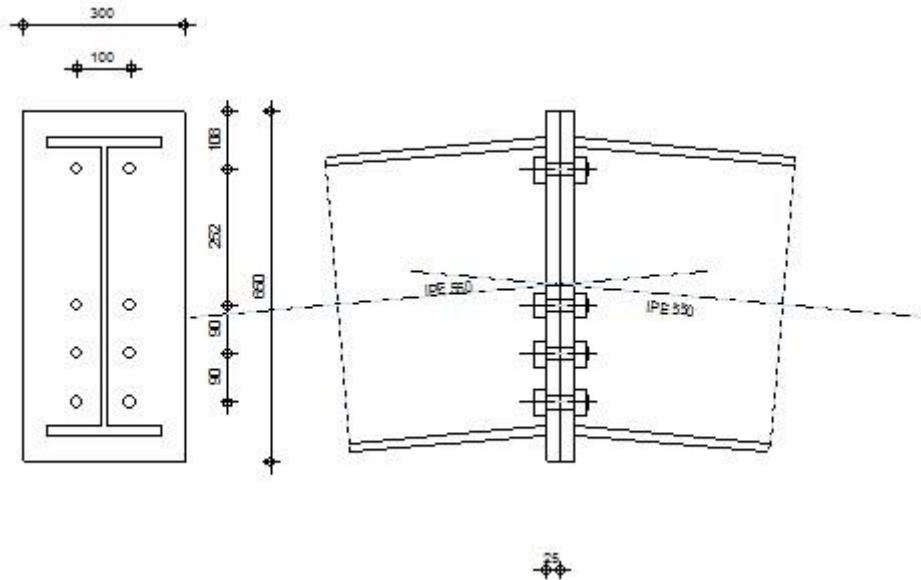
Bolts vertical spacing is too large. 252 [mm] > 200 [mm]

Connection conforms to the code

Ratio 0, 84

**Design of fixed beam-to-beam connection**

EN 1993-1-8:2005/AC:2009

Ratio
0,62**GENERAL**

Connection no.: 2
 Connection name: Beam-Beam

GEOMETRY**LEFT SIDE****BEAM**

Section: IPE 550
 $\alpha = -175,0$ [Deg] Inclination angle
 $h_{bl} = 550$ [mm] Height of beam section
 $b_{fbl} = 210$ [mm] Width of beam section
 $t_{wbl} = 11$ [mm] Thickness of the web of beam section
 $t_{fbl} = 17$ [mm] Thickness of the flange of beam section
 $r_{bl} = 24$ [mm] Radius of beam section fillet
 $A_{bl} = 13400$ [mm²] Cross-sectional area of a beam
 $I_{xbl} = 671200000$ [mm⁴] Moment of inertia of the beam section
 Material: S355
 $f_{yb} = 355,00$ [MPa] Resistance

RIGHT SIDE**BEAM**

Section: IPE 550
 $\alpha = -5,0$ [Deg] Inclination angle
 $h_{br} = 550$ [mm] Height of beam section
 $b_{fbr} = 210$ [mm] Width of beam section
 $t_{wbr} = 11$ [mm] Thickness of the web of beam section

$\alpha = -5,0$ [Deg] Inclination angle
 $t_{br} = 17$ [mm] Thickness of the flange of beam section
 $r_{br} = 24$ [mm] Radius of beam section fillet
 $A_{br} = 13400$ [mm²] Cross-sectional area of a beam
 $I_{xbr} = 671200000$ [mm⁴] Moment of inertia of the beam section
 Material: S355
 $f_{yb} = 355,00$ [MPa] Resistance

BOLTS

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

$d = 24$ [mm] Bolt diameter
 Class = 8.8 Bolt class
 $F_{tRd} = 203,33$ [kN] Tensile resistance of a bolt
 $n_h = 2$ Number of bolt columns
 $n_v = 4$ Number of bolt rows
 $h_1 = 108$ [mm] Distance between first bolt and upper edge of front plate
 Horizontal spacing $e_1 = 100$ [mm]
 Vertical spacing $p_i = 252; 90; 90$ [mm]

PLATE

$h_{pr} = 650$ [mm] Plate height
 $b_{pr} = 300$ [mm] Plate width
 $t_{pr} = 25$ [mm] Plate thickness
 Material: S355
 $f_{ypr} = 355,00$ [MPa] Resistance

FILLET WELDS

$a_w = 7$ [mm] Web weld
 $a_f = 10$ [mm] Flange weld

MATERIAL FACTORS

$\gamma_{M0} = 1,00$ Partial safety factor [2.2]
 $\gamma_{M1} = 1,00$ Partial safety factor [2.2]
 $\gamma_{M2} = 1,25$ Partial safety factor [2.2]
 $\gamma_{M3} = 1,25$ Partial safety factor [2.2]

LOADS

Ultimate limit state

Case: Manual calculations.

$M_{b1,Ed} = -250,26$ [kN*m] Bending moment in the right beam
 $V_{b1,Ed} = 9,48$ [kN] Shear force in the right beam
 $N_{b1,Ed} = 44,19$ [kN] Axial force in the right beam

RESULTS

BEAM RESISTANCES

TENSION

$A_b = 13400$ [mm²] Area EN1993-1-1:[6.2.3]
 $N_{tb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$
 $N_{tb,Rd} = 4757,00$ [kN] Design tensile resistance of the section EN1993-1-1:[6.2.3]

SHEAR

$A_{vb} = 7193$ [mm²] Shear area EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
 $V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$
 $V_{cb,Rd} = 1474,17$ [kN] Design sectional resistance for shear EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]

$$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0 \quad 0,01 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,01)$$

BENDING - PLASTIC MOMENT (WITHOUT BRACKETS)

$$W_{plb} = 2787000 \text{ [mm}^3\text{]} \text{ Plastic section modulus} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]}$$

$$M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$M_{b,pl,Rd} = 989,3 \text{ [kN*m]} \text{ Plastic resistance of the section for bending (without stiffeners)} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]}$$

BENDING ON THE CONTACT SURFACE WITH PLATE OR CONNECTED ELEMENT

$$W_{pl} = 2787000 \text{ [mm}^3\text{]} \text{ Plastic section modulus} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5]}$$

$$M_{cb,Rd} = W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$M_{cb,Rd} = 989,38 \text{ [kN*m]} \text{ Design resistance of the section for bending} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5]}$$

FLANGE AND WEB - COMPRESSION

$$M_{cb,Rd} = 989,38 \text{ [kN*m]} \text{ Design resistance of the section for bending} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5]}$$

$$h_f = 533 \text{ [mm]} \text{ Distance between the centroids of flanges} \quad \text{[6.2.6.7.(1)]}$$

$$F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$$

$$F_{c,fb,Rd} = 1856,95 \text{ [kN]} \text{ Resistance of the compressed flange and web} \quad \text{[6.2.6.7.(1)]}$$

GEOMETRICAL PARAMETERS OF A CONNECTION

EFFECTIVE LENGTHS AND PARAMETERS - FRONT PLATE

Nr	m	m _x	e	e _x	p	l _{eff,cp}	l _{eff,nc}	l _{eff,1}	l _{eff,2}	l _{eff,cp,g}	l _{eff,nc,g}	l _{eff,1,g}	l _{eff,2,g}
1	37	-	100	-	90	230	292	230	292	205	202	202	202
2	37	-	100	-	90	230	271	230	271	180	90	90	90
3	37	-	100	-	171	230	271	230	271	342	171	171	171
4	37	-	100	-	252	230	271	230	271	367	262	262	262

m – Bolt distance from the web

m_x – Bolt distance from the beam flange

e – Bolt distance from the outer edge

e_x – Bolt distance from the horizontal outer edge

p – Distance between bolts

l_{eff,cp} – Effective length for a single bolt in the circular failure mode

l_{eff,nc} – Effective length for a single bolt in the non-circular failure mode

l_{eff,1} – Effective length for a single bolt for mode 1

l_{eff,2} – Effective length for a single bolt for mode 2

l_{eff,cp,g} – Effective length for a group of bolts in the circular failure mode

l_{eff,nc,g} – Effective length for a group of bolts in the non-circular failure mode

l_{eff,1,g} – Effective length for a group of bolts for mode 1

l_{eff,2,g} – Effective length for a group of bolts for mode 2

CONNECTION RESISTANCE FOR TENSION

$$F_{t,Rd} = 203,33 \text{ [kN]} \text{ Bolt resistance for tension} \quad \text{[Table 3.4]}$$

$$B_{p,Rd} = 665,01 \text{ [kN]} \text{ Punching shear resistance of a bolt} \quad \text{[Table 3.4]}$$

$$N_{j,Rd} = \text{Min} (N_{tb,Rd}, n_v n_h F_{t,Rd}, n_v n_h B_{p,Rd})$$

$$N_{j,Rd} = 1626,62 \text{ [kN]} \text{ Connection resistance for tension} \quad \text{[6.2]}$$

$$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,03 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,03)$$

CONNECTION RESISTANCE FOR BENDING

$$F_{t,Rd} = 203,33 \text{ [kN]} \text{ Bolt resistance for tension} \quad \text{[Table 3.4]}$$

$$B_{p,Rd} = 665,01 \text{ [kN]} \text{ Punching shear resistance of a bolt} \quad \text{[Table 3.4]}$$

F_{t,fc,Rd} – column flange resistance due to bending

F_{t,wc,Rd} – column web resistance due to tension

F_{t,ep,Rd} – resistance of the front plate due to bending

F_{t,wb,Rd} – resistance of the web in tension

$$F_{t,fc,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,fc,Rd}, F_{T,2,fc,Rd}, F_{T,3,fc,Rd}) \quad \text{[6.2.6.4], [Tab.6.2]}$$

$$F_{t,wc,Rd} = \omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} \quad \text{[6.2.6.3.(1)]}$$

$$F_{t,ep,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,ep,Rd}, F_{T,2,ep,Rd}, F_{T,3,ep,Rd}) \quad \text{[6.2.6.5], [Tab.6.2]}$$

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0} \quad \text{[6.2.6.8.(1)]}$$

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 1

F_{t1,Rd,comp} - Formula	F_{t1,Rd,comp}	Component
$F_{t1,Rd} = \text{Min} (F_{t1,Rd,comp})$	406,66	Bolt row resistance
$F_{t,ep,Rd(1)} = 406,66$	406,66	Front plate - tension
$F_{t,wb,Rd(1)} = 904,45$	904,45	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 1330,02$	1330,02	Bolts due to shear punching
$F_{c,fb,Rd} = 1856,95$	1856,95	Beam flange - compression

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 2

F_{t2,Rd,comp} - Formula	F_{t2,Rd,comp}	Component
$F_{t2,Rd} = \text{Min} (F_{t2,Rd,comp})$	406,66	Bolt row resistance
$F_{t,ep,Rd(2)} = 406,66$	406,66	Front plate - tension
$F_{t,wb,Rd(2)} = 904,45$	904,45	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 1330,02$	1330,02	Bolts due to shear punching
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 1856,95 - 406,66$	1450,30	Beam flange - compression
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 813,31 - 406,66$	406,66	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 1149,37 - 406,66$	742,72	Beam web - tension - group

Additional reduction of the bolt row resistance

$$F_{t2,Rd} = F_{t1,Rd} h_2/h_1$$

$$F_{t2,Rd} = 330,94 \text{ [kN]} \quad \text{Reduced bolt row resistance} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 3

F_{t3,Rd,comp} - Formula	F_{t3,Rd,comp}	Component
$F_{t3,Rd} = \text{Min} (F_{t3,Rd,comp})$	406,66	Bolt row resistance
$F_{t,ep,Rd(3)} = 406,66$	406,66	Front plate - tension
$F_{t,wb,Rd(3)} = 904,45$	904,45	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 1330,02$	1330,02	Bolts due to shear punching
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 1856,95 - 737,60$	1119,36	Beam flange - compression
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 804,12 - 330,94$	473,18	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 1028,47 - 330,94$	697,53	Beam web - tension - group
$F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 1219,97 - 737,60$	482,37	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 1823,20 - 737,60$	1085,60	Beam web - tension - group

Additional reduction of the bolt row resistance

$$F_{t3,Rd} = F_{t1,Rd} h_3/h_1$$

$$F_{t3,Rd} = 255,22 \text{ [kN]} \quad \text{Reduced bolt row resistance} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 4

F_{t4,Rd,comp} - Formula	F_{t4,Rd,comp}	Component
$F_{t4,Rd} = \text{Min} (F_{t4,Rd,comp})$	406,66	Bolt row resistance
$F_{t,ep,Rd(4)} = 406,66$	406,66	Front plate - tension
$F_{t,wb,Rd(4)} = 904,45$	904,45	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 1330,02$	1330,02	Bolts due to shear punching
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 1856,95 - 992,82$	864,14	Beam flange - compression
$F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 813,31 - 255,22$	558,09	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 1704,51 - 255,22$	1449,28	Beam web - tension - group
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{ij,Rd} = 1219,97 - 586,16$	633,81	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{ij,Rd} = 2059,15 - 586,16$	1472,99	Beam web - tension - group
$F_{t,ep,Rd(4+3+2+1)} - \sum_3^1 F_{ij,Rd} = 1626,62 - 992,82$	633,81	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(4+3+2+1)} - \sum_3^1 F_{ij,Rd} = 2853,88 - 992,82$	1861,06	Beam web - tension - group

Additional reduction of the bolt row resistance

$$F_{t4,Rd} = F_{t1,Rd} h_4/h_1$$

$$F_{t4,Rd} = 43,22 \text{ [kN]} \quad \text{Reduced bolt row resistance} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

SUMMARY TABLE OF FORCES

Nr	h_j	$F_{tj,Rd}$	$F_{t,fc,Rd}$	$F_{t,wc,Rd}$	$F_{t,ep,Rd}$	$F_{t,wb,Rd}$	$F_{t,Rd}$	$B_{p,Rd}$
1	483	406,66	-	-	406,66	904,45	406,66	1330,02
2	393	330,94	-	-	406,66	904,45	406,66	1330,02
3	303	255,22	-	-	406,66	904,45	406,66	1330,02

Nr	h_j	$F_{tj,Rd}$	$F_{t,fc,Rd}$	$F_{t,wc,Rd}$	$F_{t,ep,Rd}$	$F_{t,wb,Rd}$	$F_{t,Rd}$	$B_{p,Rd}$
4	51	43,22	-	-	406,66	904,45	406,66	1330,02

CONNECTION RESISTANCE FOR BENDING $M_{j,Rd}$

$$M_{j,Rd} = \sum h_j F_{tj,Rd}$$

$$M_{j,Rd} = 406,39 \text{ [kN*m]} \quad \text{Connection resistance for bending} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,62 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,62)$$

CONNECTION RESISTANCE FOR SHEAR

$$\alpha_v = 0,60 \quad \text{Coefficient for calculation of } F_{v,Rd} \quad [\text{Table 3.4}]$$

$$\beta_{Lf} = 0,98 \quad \text{Reduction factor for long connections} \quad [3.8]$$

$$F_{v,Rd} = 171,11 \text{ [kN]} \quad \text{Shear resistance of a single bolt} \quad [\text{Table 3.4}]$$

$$F_{t,Rd,max} = 203,33 \text{ [kN]} \quad \text{Tensile resistance of a single bolt} \quad [\text{Table 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,int} = 531,46 \text{ [kN]} \quad \text{Bearing resistance of an intermediate bolt} \quad [\text{Table 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,ext} = 588,00 \text{ [kN]} \quad \text{Bearing resistance of an outermost bolt} \quad [\text{Table 3.4}]$$

Nr	$F_{tj,Rd,N}$	$F_{tj,Ed,N}$	$F_{tj,Rd,M}$	$F_{tj,Ed,M}$	$F_{tj,Ed}$	$F_{vj,Rd}$
1	406,66	11,05	406,66	250,42	261,47	185,05
2	406,66	11,05	330,94	203,80	214,84	213,08
3	406,66	11,05	255,22	157,17	168,22	241,11
4	406,66	11,05	43,22	26,61	37,66	319,59

$F_{tj,Rd,N}$ – Bolt row resistance for simple tension

$F_{tj,Ed,N}$ – Force due to axial force in a bolt row

$F_{tj,Rd,M}$ – Bolt row resistance for simple bending

$F_{tj,Ed,M}$ – Force due to moment in a bolt row

$F_{tj,Ed}$ – Maximum tensile force in a bolt row

$F_{vj,Rd}$ – Reduced bolt row resistance

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

$$F_{vj,Rd} = \text{Min} (n_h F_{v,Ed} (1 - F_{tj,Ed} / (1.4 n_h F_{t,Rd,max})), n_h F_{v,Rd}, n_h F_{b,Rd})$$

$$V_{j,Rd} = n_h \sum_{i=1}^n F_{vj,Rd} \quad [\text{Table 3.4}]$$

$$V_{j,Rd} = 958,82 \text{ [kN]} \quad \text{Connection resistance for shear} \quad [\text{Table 3.4}]$$

$$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,01 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,01)$$

WELD RESISTANCE

$$A_w = 13789 \text{ [mm}^2\text{]} \quad \text{Area of all welds} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$A_{wy} = 7218 \text{ [mm}^2\text{]} \quad \text{Area of horizontal welds} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$A_{wz} = 6571 \text{ [mm}^2\text{]} \quad \text{Area of vertical welds} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$I_{wy} = 64684774 \text{ [mm}^4\text{]} \quad \text{Moment of inertia of the weld arrangement with respect to the hor. axis} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\sigma_{\perp,max} = \tau_{\perp,max} = 80,09 \text{ [MPa]} \quad \text{Normal stress in a weld} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 67,41 \text{ [MPa]} \quad \text{Stress in a vertical weld} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\tau_{\parallel} = 1,44 \text{ [MPa]} \quad \text{Tangent stress} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\beta_w = 0,90 \quad \text{Correlation coefficient} \quad [4.5.3.2(7)]$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp,max}^2 + 3*(\tau_{\perp,max}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \quad 160,19 < 435,56 \quad \text{verified} \quad (0,37)$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \quad 134,84 < 435,56 \quad \text{verified} \quad (0,31)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0.9 * f_u / \gamma_{M2} \quad 80,09 < 352,80 \quad \text{verified} \quad (0,23)$$

CONNECTION STIFFNESS

$$t_{wash} = 5 \text{ [mm]} \quad \text{Washer thickness} \quad [6.2.6.3.(2)]$$

$t_{wash} =$	5	[mm]	Washer thickness	[6.2.6.3.(2)]
$h_{head} =$	17	[mm]	Bolt head height	[6.2.6.3.(2)]
$h_{nut} =$	24	[mm]	Bolt nut height	[6.2.6.3.(2)]
$L_b =$	73	[mm]	Bolt length	[6.2.6.3.(2)]
$k_{10} =$	8	[mm]	Stiffness coefficient of bolts	[6.3.2.(1)]

STIFFNESSES OF BOLT ROWS

Nr	h_j	k_3	k_4	k_5	$k_{eff,j}$	$k_{eff,j} h_j$	$k_{eff,j} h_j^2$
					Sum	6991	2744943
1	483			58	6	2964	1432565
2	393			26	5	1912	752055
3	303			49	6	1792	543720
4	51			66	6	323	16603

$$k_{eff,j} = 1 / (\sum_3^5 (1 / k_{i,j})) \quad [6.3.3.1.(2)]$$

$$z_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j^2 / \sum_j k_{eff,j} h_j$$

$$z_{eq} = 393 \text{ [mm]} \quad \text{Equivalent force arm} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

$$k_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j / z_{eq}$$

$$k_{eq} = 18 \text{ [mm]} \quad \text{Equivalent stiffness coefficient of a bolt arrangement} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

$$S_{j,ini} = E z_{eq}^2 k_{eq} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_{j,ini} = 562713,29 \text{ [kN*m]} \quad \text{Initial rotational stiffness} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1,00 \quad \text{Stiffness coefficient of a connection} \quad [6.3.1.(6)]$$

$$S_j = S_{j,ini} / \mu \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_j = 562713,29 \text{ [kN*m]} \quad \text{Final rotational stiffness} \quad [6.3.1.(4)]$$

Connection classification due to stiffness.

$$S_{j,rig} = 220153,60 \text{ [kN*m]} \quad \text{Stiffness of a rigid connection} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} = 13759,60 \text{ [kN*m]} \quad \text{Stiffness of a pinned connection} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,ini} \geq S_{j,rig} \text{ RIGID}$$

WEAKEST COMPONENT:

BOLT RUPTURE

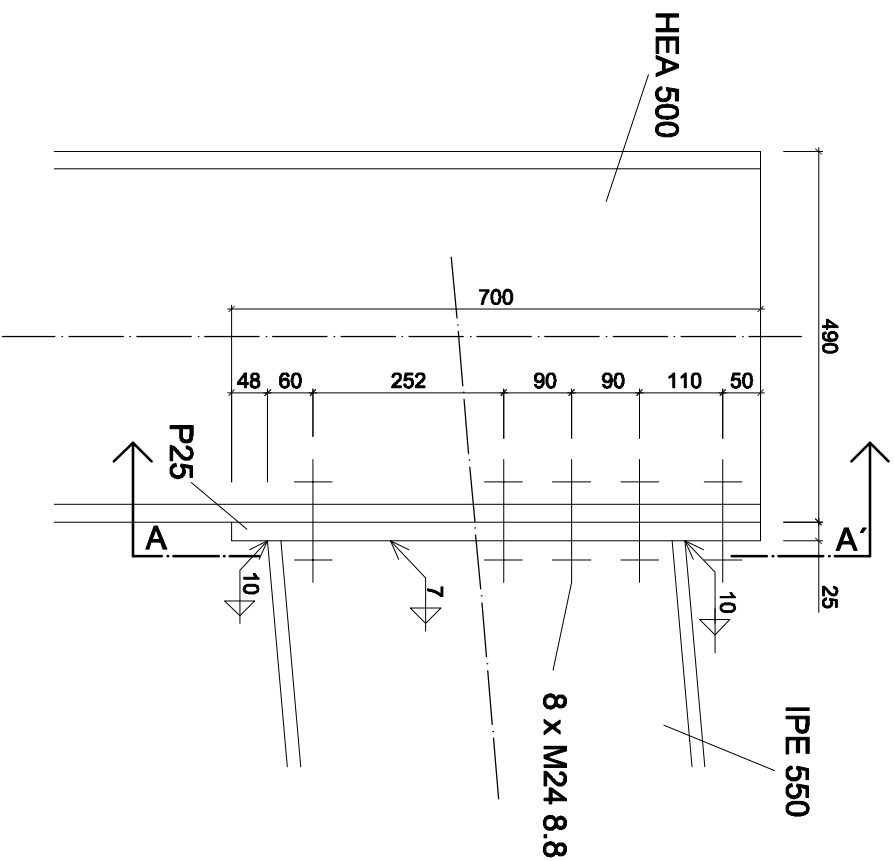
REMARKS

Bolts vertical spacing is too large. 252 [mm] > 200 [mm]

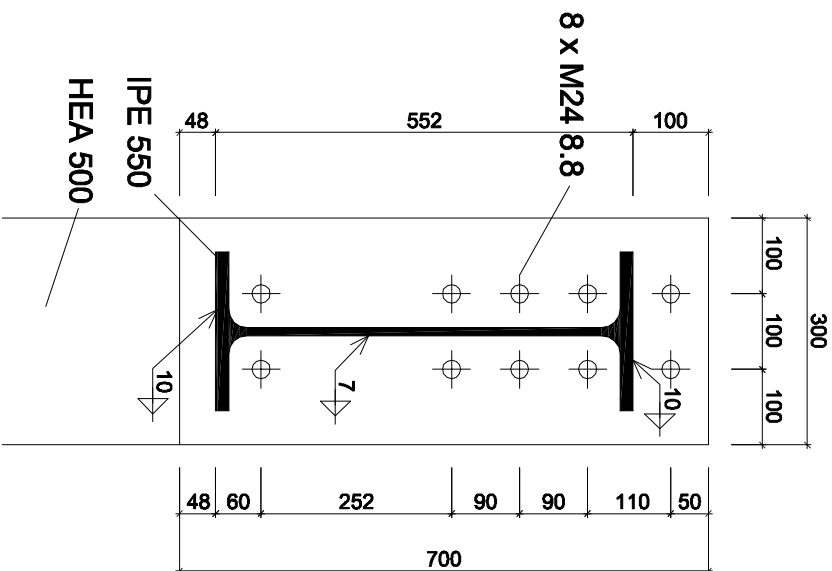
Connection conforms to the code

Ratio 0,62

DETAIL RÁMOVÉHO ROHU



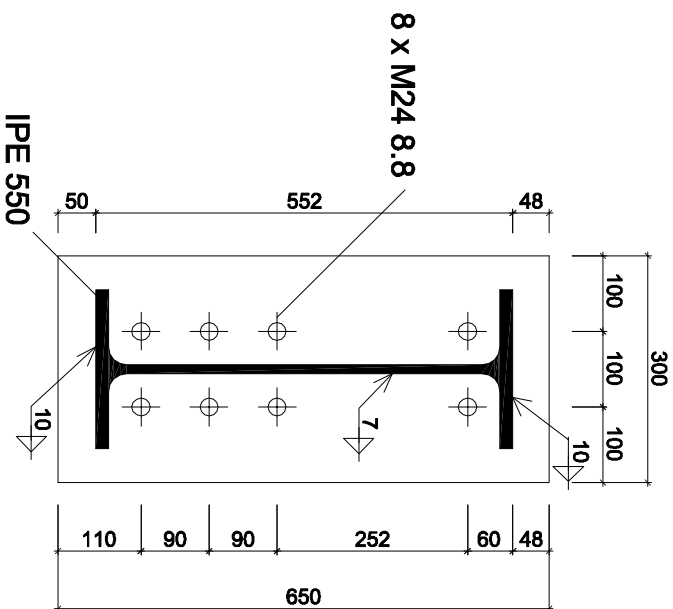
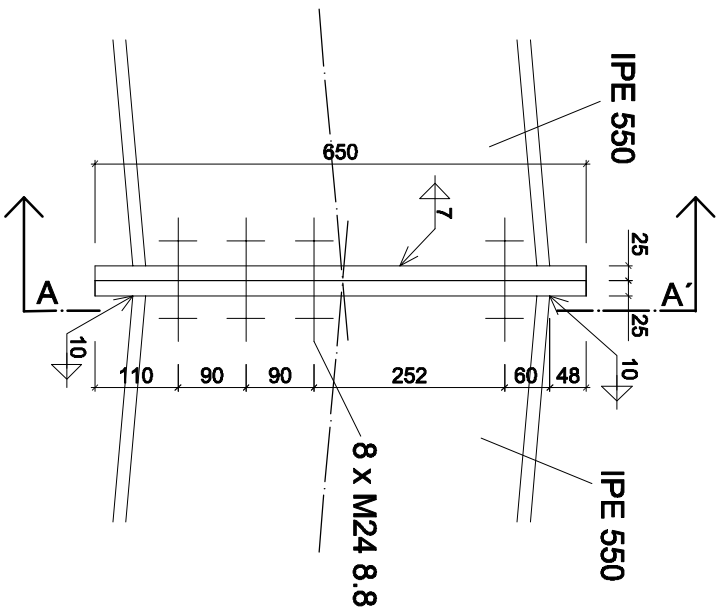
ŘEZ A-A'



OCEL: S355
ŠROUBY: 24M 8.8

Zpracovatel:	JANA BENEŠOVÁ	Školní rok:	2015/2016
Název dílny:	STYČNÍKY RÁMOVÉ HALY	Fakulta stavební	ČVUT
Název výkresu:	DETAIL RÁMOVÉHO ROHU	Datum:	05/2016
		Metřko:	1:10
		Číslo výkresu:	1

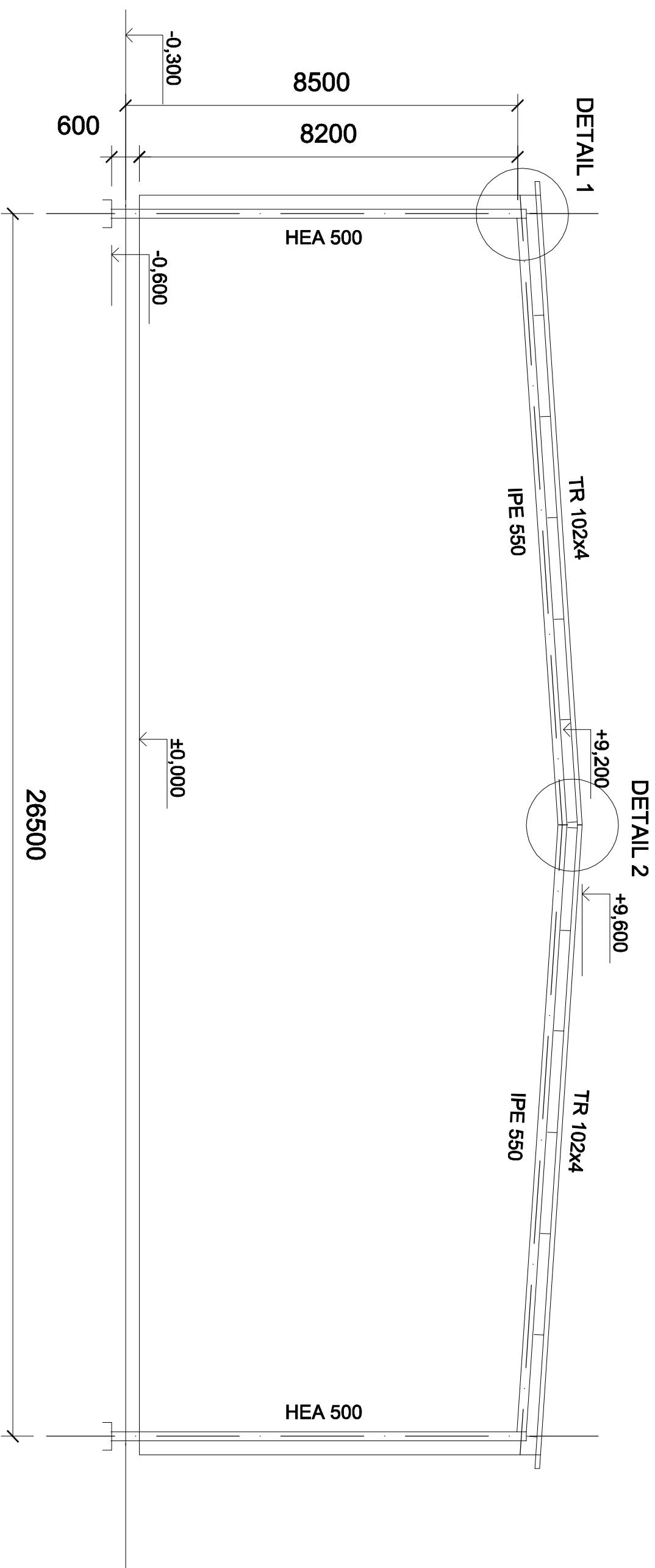
DETAIL VE VRCHOLU



OCEL: S355
ŠROUBY: 24M 8.8

Zpracovala:	JANA BENEŠOVÁ	Šlohit rok:	2015/2016
Název dílny:	STYČNÍKY RÁMOVÉ HALY	Fakulta stavební	ČVUT
Název výkresu:	DETAIL VE VRCHOLU	Datum:	05/2016
		Metřko:	1:10
		Číslo výkresu:	2

ŘEZ



OCEL: S355

Zpracovatel:	JANA BENEŠOVÁ	Skolní rok:	2015/2016	Fakulta stavební
Název dílny:	STYČNÍKY RÁMOVÉ HALY			CVUT
Název výkresu:	ŘEZ HALOU			
		Datum:	05/2016	
		Mřítko:	1:100	
		Číslo výkresu:	3	