

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH
KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ HOKEJOVÉHO HŘIŠTĚ

THE ROOF CONSTRUCTION OF AN ICE-HOCKEY FIELD

D - STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN PAUER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL ŠTRBA, Ph.D.

BRNO 2015

Obsah

1	Model výsledné varianty	5
2	Zatížení	7
2.1	ZS1 – Vlastní tíha.....	7
2.2	ZS2 – Ostatní stálé zatížení.....	7
2.3	ZS3 – zatížení sněhem plným	8
2.4	ZS4 a ZS5 – zatížení sněhem navátým - stav 1	9
2.5	ZS6 a ZS7 – zatížení sněhem navátým – stav 2.....	11
2.6	ZS8 – zatížení větrem příčným na vyšší sloupy.....	12
2.7	ZS 9 – zatížení větrem příčným na nižší sloupy	15
2.8	ZS10 – zatížení větrem podélným.....	17
3	Posouzení konstrukčních prvků.....	19
3.1	Vaznice.....	19
3.2	Horní pás	26
3.3	Dolní pás	30
3.4	Diagonály	35
3.5	Svislice	37
3.6	Průhyb vazníku.....	38
3.7	Sloupy	39
3.8	Podélné ztužidlo	45
3.9	Dolní pás podélného ztužidla	47
3.10	Příčné ztužidlo.....	51
4	Posouzení dalších prvků na MSP	52
5	Posouzení spojů	53
5.1	Připojení diagonál a svislice k dolnímu pásu	53
5.2	Připojení vnitřní svislice k dolnímu pásu vazníku A	57
5.3	Připojení diagonál a svislice k hornímu pásu.....	59

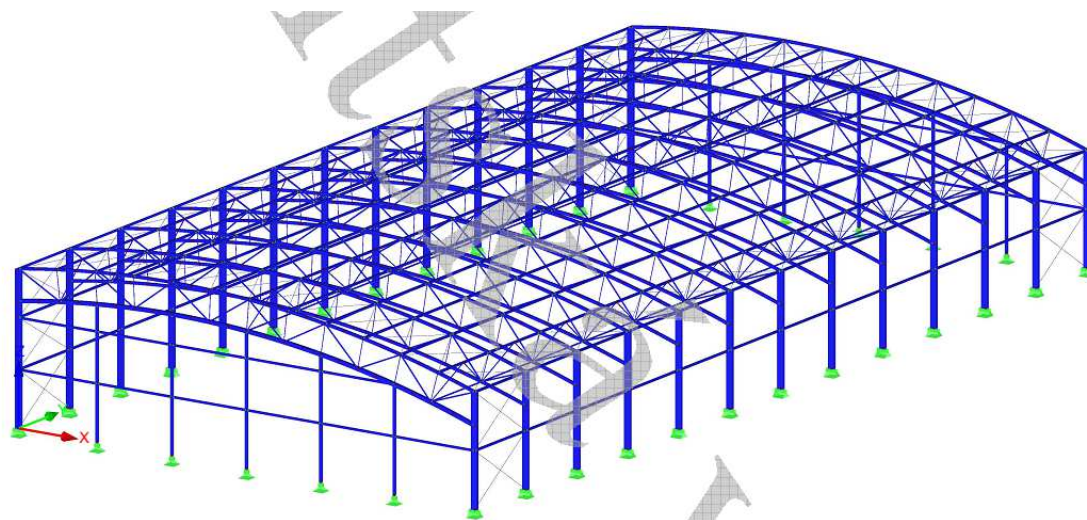
5.4	Připojení vnitřní svislice k hornímu pásu.....	63
5.5	Připojení krajní diagonály k hornímu pásu	65
6	Posouzení montážních spojů	68
6.1	Montážní spoj horního pásu	68
6.2	Montážní spoj dolního pásu	70
6.3	Montážní spoj diagonály vazníku	73
6.4	Připojení vaznice na horní pás vazníku.....	75
6.5	Připojení příčného ztužidla k hornímu pásu vazníku	77
6.6	Připojení vazníku na sloup	79
7	Kotvení sloupu.....	80

Seznam obrázků

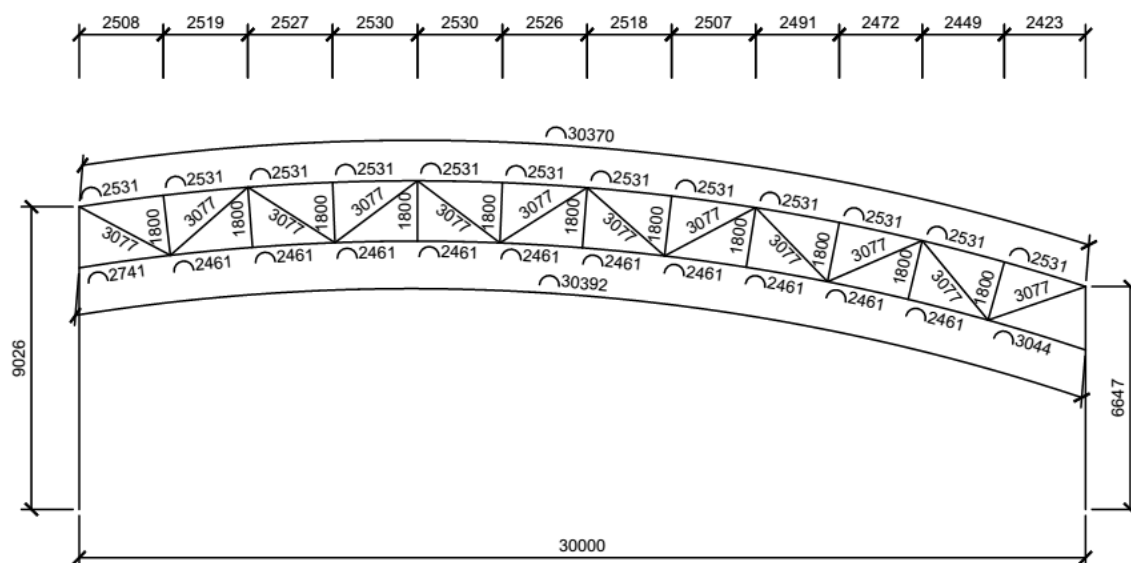
obrázek 1: <i>model výsledné konstrukce</i>	5
obrázek 2: <i>příčný řez</i>	5
obrázek 3: <i>půdorys</i>	6
obrázek 4: <i>schéma zatížení pro ZS3</i>	8
obrázek 5: <i>porovnávané schémata pro sněh navátý</i>	9
obrázek 6: <i>schéma zatížení pro ZS4 a ZS5</i>	10
obrázek 7: <i>schéma zatížení pro ZS6 a ZS7</i>	11
obrázek 8: <i>schéma zatížení pro ZS8</i>	14
obrázek 9: <i>schéma zatížení pro ZS9</i>	16
obrázek 10: <i>rozložení zatěžovacích ploch na střeše pro ZS9</i>	17
obrázek 11: <i>profil vaznice</i>	19
obrázek 12: <i>profil horního pásu</i>	26
obrázek 13: <i>profil dolního pásu</i>	30
obrázek 14: <i>profil diagonály</i>	35
obrázek 15: <i>profil svislice</i>	37
obrázek 16: <i>průhyb vazníku</i>	39
obrázek 17: <i>profil sloupu</i>	39
obrázek 18: <i>profil podélného ztužidla</i>	45
obrázek 19: <i>profil pásu podélného ztužidla</i>	47
obrázek 20: <i>profil příčného ztužidla</i>	51
obrázek 21: <i>KT styčník u dolního pásu</i>	53
obrázek 22: <i>T styčník u dolního pásu</i>	57
obrázek 23: <i>KT styčník u horního pásu</i>	59
obrázek 24: <i>T styčník u horního pásu</i>	63
obrázek 25: <i>připojení diagonály k hornímu pásu</i>	65
obrázek 26: <i>rozdělení montážních dílů</i>	68
obrázek 27: <i>montážní spoj horního pásu</i>	68
obrázek 28: <i>montážní spoj dolního pásu</i>	70
obrázek 29: <i>montážní spoj diagonály</i>	73
obrázek 30: <i>spoj diagonály se styčnickovým plechem</i>	74
obrázek 31: <i>půdorys a řez spoje vaznice na horní pás vazníku</i>	75
obrázek 32: <i>půdorys a řez spoje příčného ztužidla k hornímu pásu vazníku</i> ...	77
obrázek 33: <i>připojení vazníku na sloup</i>	79

1 Model výsledné varianty

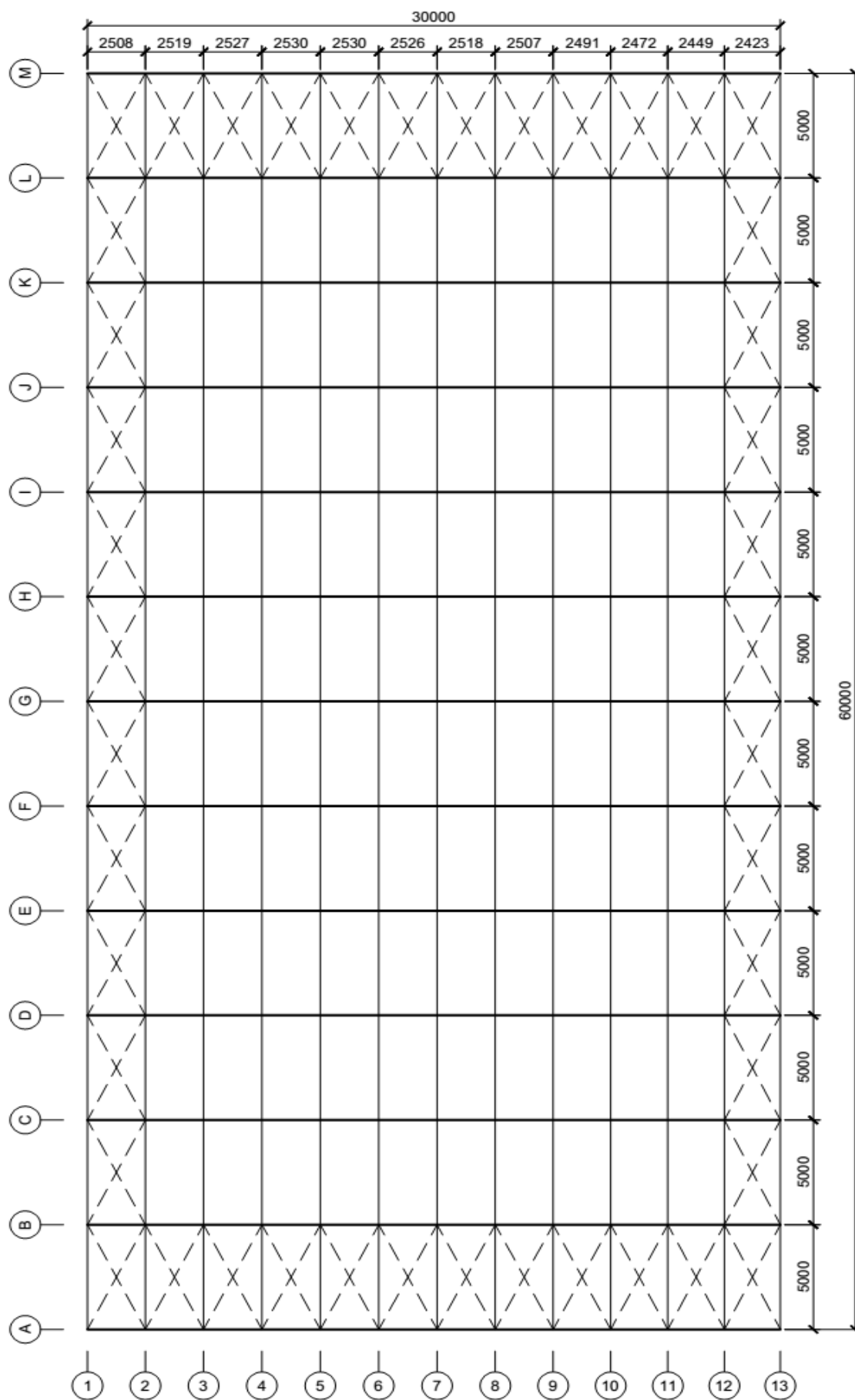
Výpočtový model je vytvořen v programu Dlubal RFEM 5.04 jako 3D prutová konstrukce. Podpory jsou kloubové v podélném směru a vetknutí v příčném směru. Horní pás vazníku je kloubově uložen na sloupy. Připojení dolního pásu na sloupy je kloubové, ale je povolen posun v příčném směru. Výplňové pruty jsou modelovány jako příhradové, umožňující působení pouze normálové síly N. Stejně příhradové pruty jsou použity u podélného ztužidla. Vaznice jsou kloubově připojeny k horním pásům vazníků. Připojení pažďíků na sloupy je kloubové. Příčné ztužidla jsou modelovány jako tahové pruty, spojení se sloupy a horními pásy vazníků je kloubové. Sloupy štítové stěny jsou spojeny s dolním pásem vazníku kloubově s povolením svislého posunu, uloženy jsou na kloubové podpoře.



Obr. 1: model výsledné konstrukce



Obr. 2: příčný řez



Obr. 3: půdorys

2 Zatížení

2.1 ZS1 – Vlastní tíha

Zatížení od vlastní tíhy je spočítáno dle dimenzí jednotlivých prvků v softwaru Dlubal RFEM 5.04.

2.2 ZS2 – Ostatní stálé zatížení

Střešní plášť je navržen ze střešních panelů Kingspan KS1000 RW tloušťky 115 mm.

Skládá se z trapézových plechů a tepelné izolace.

Hmotnost panelu: $11,54 \text{ kg/m}^2 = 0,115 \text{ kN/m}^2$

Opláštění ze stěnových panelů Kingspan KS1000 AWP tloušťky 100 mm.

Hmotnost panelu: $12,83 \text{ kg/m}^2 = 0,128 \text{ kN/m}^2$

Zatížení střešním pláštěm na jednotlivé vaznice:

vaznice	zatěžovací šířka [m]	zatížení [kN/m]
1	1,254	0,144
2	2,513	0,289
3	2,523	0,290
4	2,528	0,291
5	2,530	0,291
6	2,528	0,291
7	2,522	0,290
8	2,513	0,289
9	2,499	0,287
10	2,482	0,285
11	2,461	0,283
12	2,436	0,280
13	1,211	0,139

2.3 ZS3 – zatížení sněhem plným

Město Kyjov se nachází v II sněhové oblasti.

Tvarový součinitel zatížení sněhem $\mu_3 = 0,8$ (válnové střeby)

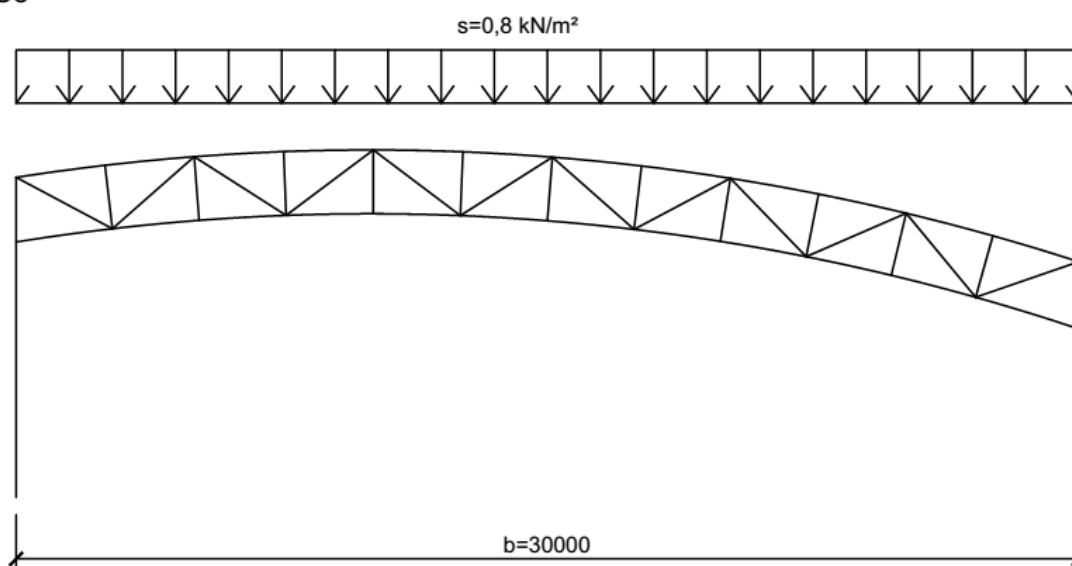
Součinitel expozice $c_e = 1,0$

Teplotní součinitel $C_t = 1,0$

Charakteristická hodnota zatížení sněhem $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$

$$s = \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

ZS3



Obr. 4: schéma zatížení pro ZS3

Zatížení sněhem plným na jednotlivé vaznice:

vaznice	zatěžovací šířka [m]	zatížení [kN/m]
1	1,254	1,003
2	2,513	2,010
3	2,523	2,018
4	2,528	2,022
5	2,530	2,024
6	2,528	2,022
7	2,522	2,018
8	2,513	2,010
9	2,499	1,999
10	2,482	1,986
11	2,461	1,969
12	2,436	1,949
13	1,211	0,969

2.4 ZS4 a ZS5 – zatížení sněhem navátým - stav 1

Tvarový součinitel zatížení sněhem $\mu_3 = 1,25$

Součinitel expozice $c_e = 1,0$

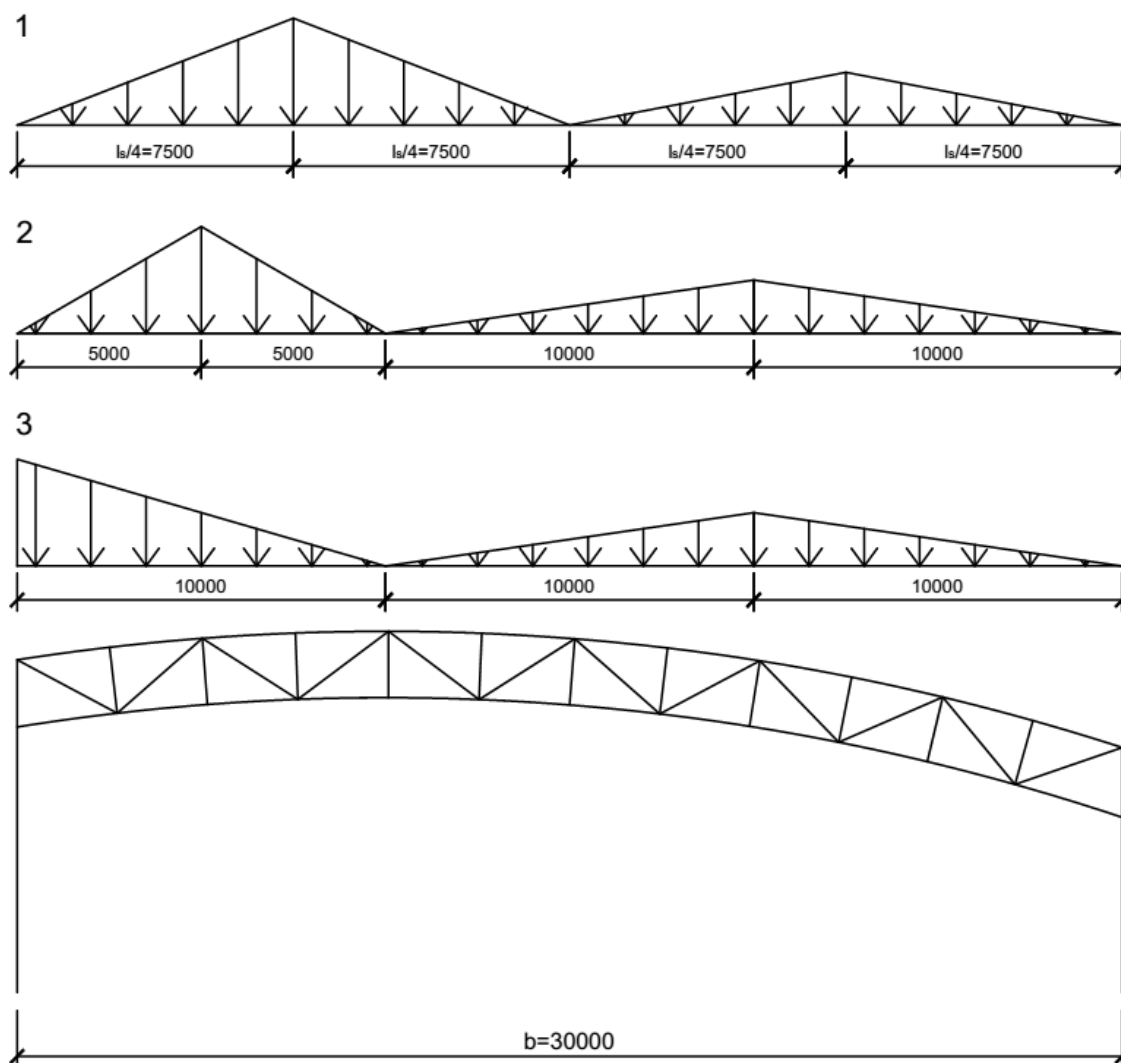
Teplotní součinitel $C_t = 1,0$

Charakteristická hodnota zatížení sněhem $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$

$$s_a = 0,5\mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,625 \text{ kN/m}^2$$

$$s_b = \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 1,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,25 \text{ kN/m}^2$$

Rozložení zatěžovacích obrazců je uvažováno ve třech polohách jako na následujícím obrázku.

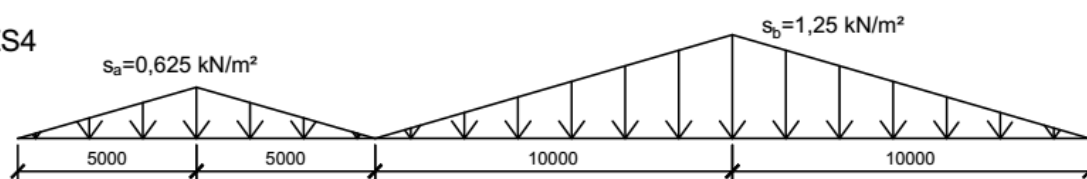


Obr. 5: porovnávané schémata pro sníh navátý

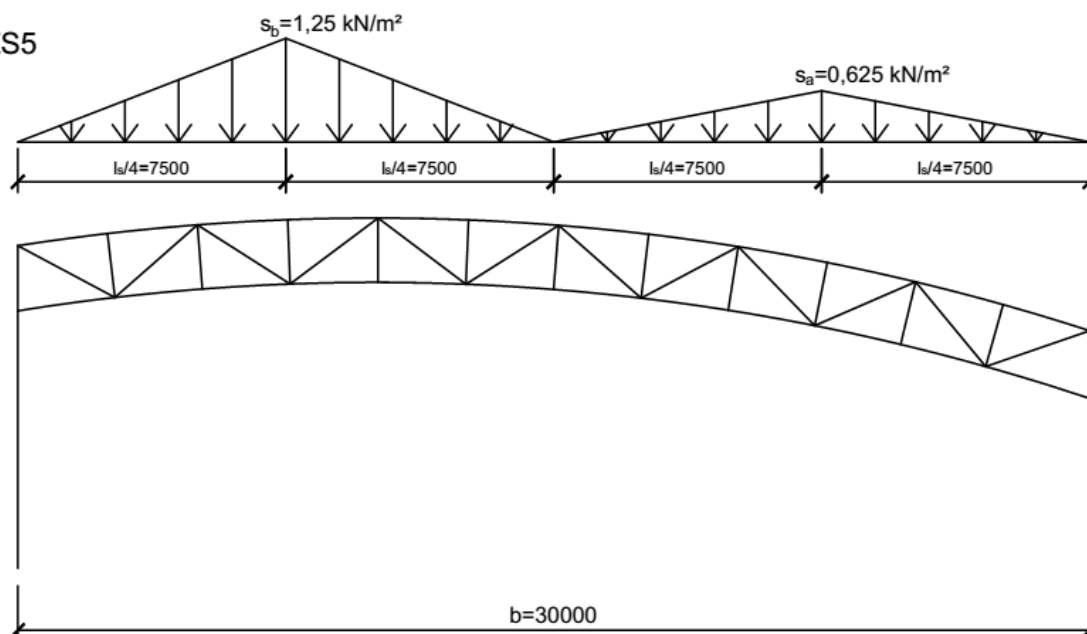
Ve výpočtovém softwaru byly polohy porovnány a následně vybrány nejhorší varianty.

Pro ZS4 a ZS5 jsou to tedy tyto:

ZS4



ZS5



Obr. 6: schéma zatížení pro ZS4 a ZS5

Zatížení sněhem navátým - stav 1 na jednotlivé vaznice:

vaznice	zatěžovací šířka [m]	ZS4 zatížení [kN/m]	ZS5 zatížení [kN/m]
1	1,254	0,098	0,131
2	2,513	0,789	1,052
3	2,523	1,378	2,114
4	2,528	0,773	2,894
5	2,530	0,201	2,073
6	2,528	0,826	1,006
7	2,522	1,620	0,187
8	2,513	2,404	0,556
9	2,499	2,925	1,075
10	2,482	2,280	1,421
11	2,461	1,500	1,000
12	2,436	0,740	0,493
13	1,211	0,092	0,064

2.5 ZS6 a ZS7 – zatížení sněhem navátým – stav 2

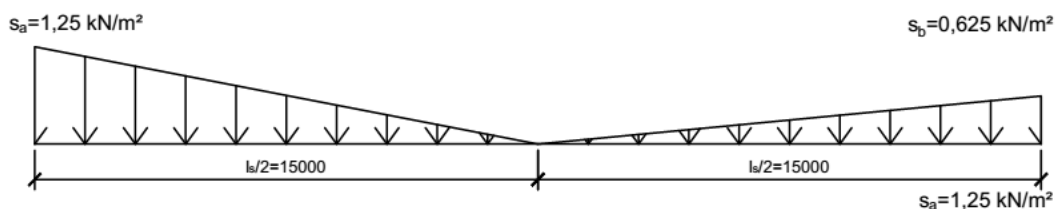
Tvarový součinitel zatížení sněhem	$\mu_3 = 1,25$
Součinitel expozice	$c_e = 1,0$
Teplotní součinitel	$C_t = 1,0$
Charakteristická hodnota zatížení sněhem	$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$

Opět jsou uvažovány tři zatěžovací stavy, z nichž jsou vybrány nejhorší varianty.

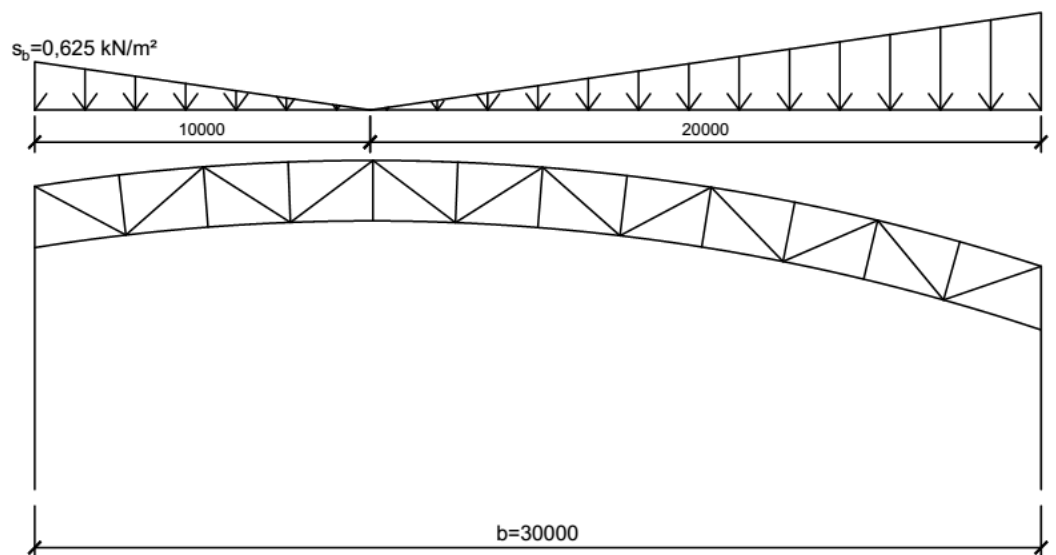
$$s_a = \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 1,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,25 \text{ kN/m}^2$$

$$s_b = 0,5\mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,625 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,625 \text{ kN/m}^2$$

ZS6



ZS7



Obr. 7: schéma zatížení pro ZS6 a ZS7

Zatížení sněhem navátým - stav 2 na jednotlivé vaznice:

vaznice	zatěžovací šířka [m]	ZS6 zatížení [kN/m]	ZS7 zatížení [kN/m]
1	1,254	1,502	0,735
2	2,513	2,616	1,176
3	2,523	2,096	0,784
4	2,528	1,569	0,387
5	2,530	1,037	0,100
6	2,528	0,503	0,413
7	2,522	0,093	0,810
8	2,513	0,278	1,202
9	2,499	0,537	1,587
10	2,482	0,791	1,962
11	2,461	1,038	2,326
12	2,436	1,276	2,675
13	1,211	0,726	1,468

2.6 ZS8 – zatížení větrem příčným na vyšší sloupy

Působení větru je uvažováno kolmo na délku objektu.

Město Kyjov se nachází ve II větrné oblasti.

Výchozí základní rychlost větru $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Součinitel směru větru $c_{dir} = 1,0$

Součinitel ročního období $c_{season} = 1,0$

Kategorie terénu III $z_0 = 0,3 \text{ m}; z_{min} = 5 \text{ m}$

Výška konstrukce nad zemí $z = 9,8 \text{ m}$

Maximální výška nad zemí $z_{max} = 200 \text{ m}$

Součinitel ortografie $c_0(z) = 1,0$

Základní rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

Součinitel terénu:

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$$

Součinitel drsnosti terénu:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,215 \cdot \ln \left(\frac{9,8}{0,3} \right) = 0,75 \quad \text{pro } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

Střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,75 \cdot 1,0 \cdot 25 = 18,75 \text{ m/s}$$

Intenzita turbulence větru:

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{9,8}{0,3}\right)} = 0,287 \quad \text{pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

Maximální dynamický tlak větru:

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,287] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 18,75^2 \\ &= 0,661 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

výška sloupu: $h_1 = 9,026 \text{ m}$

svislá vzdálenost vrcholu oblouku a konce sloupu: $f = 0,774 \text{ m}$

šířka budovy: $d = 30 \text{ m}$

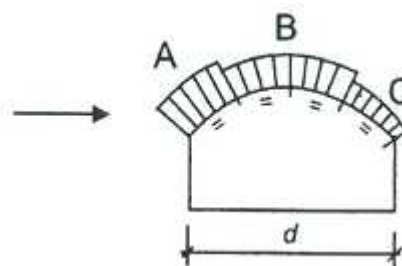
poměr $h_1/d = 0,301$

poměr $f/d = 0,026$

oblast A: $c_{pe, 10, A} = -0,483$

oblast B: $c_{pe, 10, B} = -0,726$

oblast C: $c_{pe, 10, C} = -0,622$



V normě jsou oblasti rozděleny po čtvrtinách na symetrickém střešním oblouku.

Jelikož navržený střešní oblouk je nesymetrický (vrchol oblouku leží v 1/3 šířky budovy) část A nebude dále uvažována. Hodnoty na povrchu pak jsou:

$$w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,B} = 0,661 \cdot (-0,726) = -0,480 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,C} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,C} = 0,661 \cdot (-0,622) = -0,411 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení větrem na podélné stěny

$h_1 = 9,027 \text{ m}$; $h_2 = 6,647 \text{ m}$

$d = 30 \text{ m}$

$h_1/d = 0,301$; $h_2/d = 0,222$

$c_{pe, 10, D} = 0,71$

$c_{pe, 10, E} = -0,3$

$$w_{e,D} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,D} = 0,661 \cdot 0,71 = 0,469 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,E} = 0,661 \cdot (-0,3) = -0,198 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení větrem na štítové stěny

$$e = 19,6 \text{ m}; d = 30 \text{ m}; h = 9,8 \text{ m}$$

$$h/d = 0,327; e < d$$

$$c_{pe,10,A} = -1,2$$

$$c_{pe,10,B} = -0,86$$

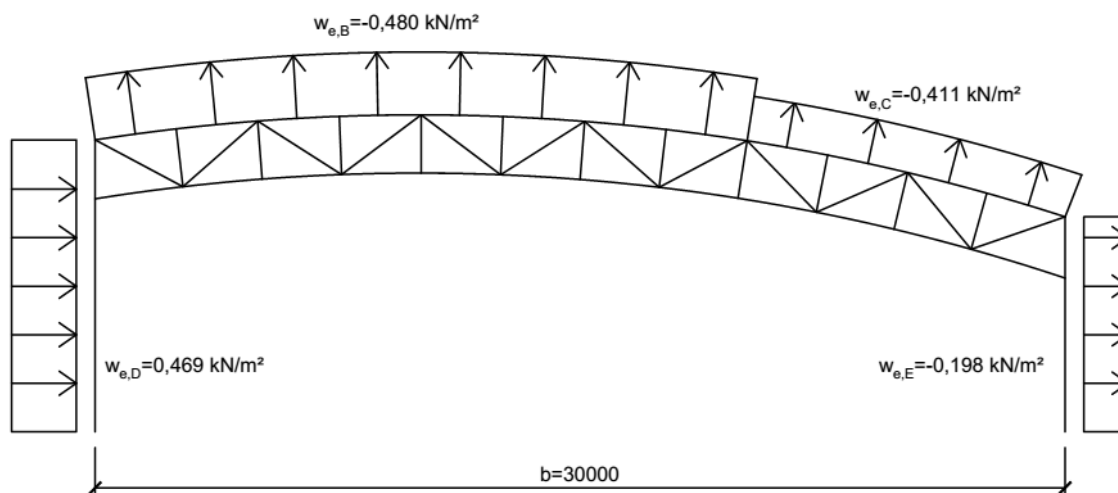
$$c_{pe,10,C} = -0,5$$

$$w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,A} = 0,661 \cdot (-1,2) = -0,793 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,B} = 0,661 \cdot (-0,86) = -0,57 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,C} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,C} = 0,661 \cdot (-0,5) = -0,331 \text{ kN/m}^2$$

ZS8



Obr. 8: schéma zatížení pro ZS8

Zatížení větrem příčným na jednotlivé vaznice:

vaznice	zatěžovací šířka [m]	zatížení [kN/m]
1	1,265	-0,607
2	2,531	-1,215
3	2,531	-1,215
4	2,531	-1,215
5	2,531	-1,215
6	2,531	-1,215
7	2,531	-1,215

8	2,531	-1,215
9	2,531	-1,127
10	2,531	-1,040
11	2,531	-1,040
12	2,531	-1,040
13	1,265	-0,520

2.7 ZS 9 – zatížení větrem příčným na nižší sloupy

výška sloupu: $h_2 = 6,647$ m

svislá vzdálenost vrcholu oblouku a konce sloupu: $f = 3,153$ m

šířka budovy: $d = 30$ m

poměr $h_2/d = 0,222$

poměr $f/d = 0,105$

oblast A: $c_{pe, 10, A} = -0,439$

oblast B: $c_{pe, 10, B} = -0,805$

oblast C: $c_{pe, 10, C} = -0,4$

V normě jsou oblasti rozděleny po čtvrtinách na symetrickém střešním oblouku.

Jelikož navržený střešní oblouk je nesymetrický (vrchol oblouku leží v 1/3 šířky budovy) část C nebude dále uvažována. Hodnoty na povrchu pak jsou:

$$w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,A} = 0,661 \cdot (-0,439) = -0,290 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,B} = 0,661 \cdot (-0,805) = -0,532 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení větrem na podélné stěny

$h_1 = 9,027$ m; $h_2 = 6,647$ m

$d = 30$ m

$h_1/d = 0,301$; $h_2/d = 0,222$

$c_{pe, 10, D} = 0,7$

$c_{pe, 10, E} = -0,31$

$$w_{e,D} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,D} = 0,661 \cdot 0,70 = 0,463 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,E} = 0,661 \cdot (-0,31) = -0,205 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení větrem na štítové stěny

$$e = 19,6 \text{ m}; d = 30 \text{ m}; h = 9,8 \text{ m}; h/d = 0,327; e < d$$

$$c_{pe, 10, A} = -1,2$$

$$c_{pe, 10, B} = -0,86$$

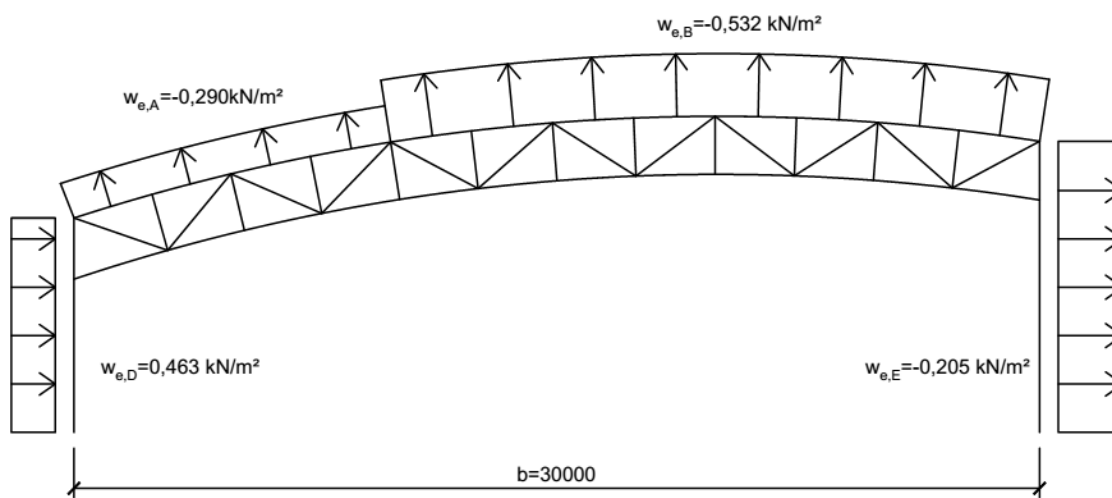
$$c_{pe, 10, C} = -0,5$$

$$w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,A} = 0,661 \cdot (-1,2) = -0,793 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,B} = 0,661 \cdot (-0,86) = -0,57 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,C} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,C} = 0,661 \cdot (-0,5) = -0,331 \text{ kN/m}^2$$

ZS9



Obr. 9: schéma zatížení pro ZS9

Zatížení větrem příčným na jednotlivé vaznice:

vaznice	zatěžovací šířka [m]	zatížení [kN/m]
1	1,265	-0,637
2	2,531	-1,346
3	2,531	-1,346
4	2,531	-1,346
5	2,531	-1,346
6	2,531	-1,346
7	2,531	-1,346
8	2,531	-1,346
9	2,531	-1,040
10	2,531	-0,734
11	2,531	-0,734
12	2,531	-0,734
13	1,265	-0,367

2.8 ZS10 – zatížení větrem podélným

Působení větru je uvažováno

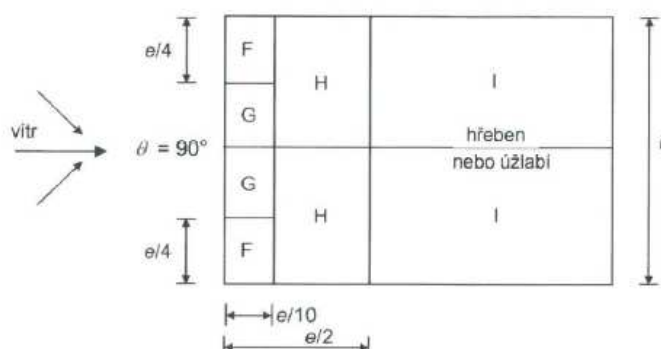
kolmo na šířku objektu.

$b = 30 \text{ m}$

$h = 9,8 \text{ m}$

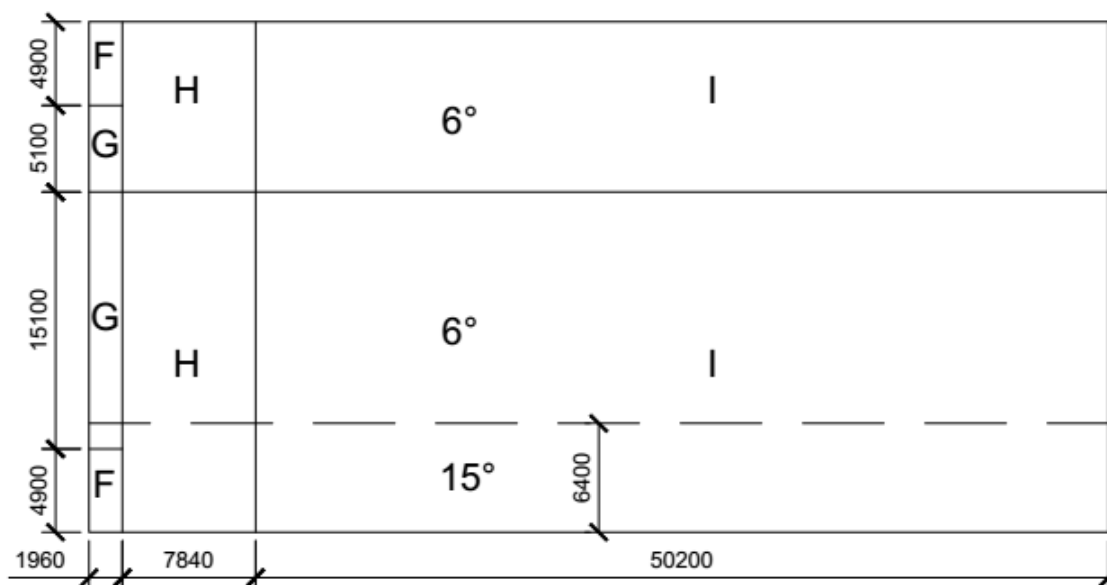
$e \dots$ menší z hodnot b nebo $2h$

$e = 19,6 \text{ m}$



Oblasti střešního pláště jsou vrcholem střechy rozděleny na dvě nesymetrické části, přičemž rozměry oblastí F a H jsou stanoveny podle normy.

Pro oblasti G, H a I v pravé části jsou uvažovány 2 úhly α , v levé části pouze jeden.



Obr. 10: rozložení zatěžovacích ploch na střeše pro ZS9

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe,10}$$

Oblast	F		G		H		I	
úhel	$c_{pe,10}$	w_e	$c_{pe,10}$	w_e	$c_{pe,10}$	w_e	$c_{pe,10}$	w_e
6°	-	-	-1,3	-0,86	-0,69	-0,46	-0,59	-0,39
15°	-1,3	-0,86	-1,3	-0,86	-0,6	-0,4	-0,5	-0,33

Zatížení větrem příčným na jednotlivé vaznice:

vaznice	zatěžovací šířka [m]	zatížení oblast F, G [kN/m]	zatížení oblast H [kN/m]	zatížení oblast I [kN/m]
1	1,265	-1,088	-0,582	-0,493
2	2,531	-2,177	-1,164	-0,987
3	2,531	-2,177	-1,164	-0,987
4	2,531	-2,177	-1,164	-0,987
5	2,531	-2,177	-1,164	-0,987
6	2,531	-2,177	-1,164	-0,987
7	2,531	-2,177	-1,164	-0,987
8	2,531	-2,177	-1,164	-0,987
9	2,531	-2,177	-1,164	-0,987
10	2,531	-2,177	-1,146	-0,969
11	2,531	-2,177	-1,012	-0,835
12	2,531	-2,177	-1,012	-0,835
13	1,265	-1,088	-0,506	-0,417

Zatížení větrem na štítové stěny

$h = 9,8 \text{ m}$; $d = 30 \text{ m}$; $h/d = 0,327$

$c_{pe, 10, D} = 0,71$

$c_{pe, 10, E} = -0,32$

$$w_{e,D} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,D} = 0,661 \cdot 0,71 = 0,469 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,E} = 0,661 \cdot (-0,32) = -0,212 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení větrem na podélné stěny

a) na vyšší stěnu

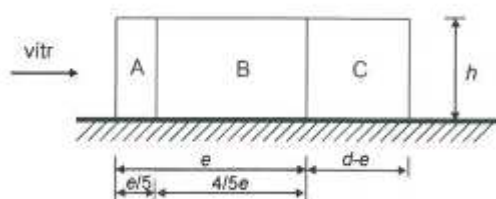
$e = 18,05 \text{ m}$; $d = 30 \text{ m}$; $h = 9,026 \text{ m}$

$h/d = 0,301$; $e < d$

$c_{pe, 10, A} = -1,2$

$c_{pe, 10, B} = -0,84$

$c_{pe, 10, C} = -0,5$



$$w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,A} = 0,661 \cdot (-1,2) = -0,793 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,B} = 0,661 \cdot (-0,84) = -0,555 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,C} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,C} = 0,661 \cdot (-0,5) = -0,331 \text{ kN/m}^2$$

b) na nižší stěnu

$$e = 13,3 \text{ m}; d = 30 \text{ m}; h = 6,647 \text{ m}; h/d = 0,222; e < d$$

$$c_{pe, 10, A} = -1,2$$

$$c_{pe, 10, B} = -0,8$$

$$c_{pe, 10, C} = -0,5$$

$$w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,A} = 0,661 \cdot (-1,2) = -0,793 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,B} = 0,661 \cdot (-0,8) = -0,529 \text{ kN/m}^2$$

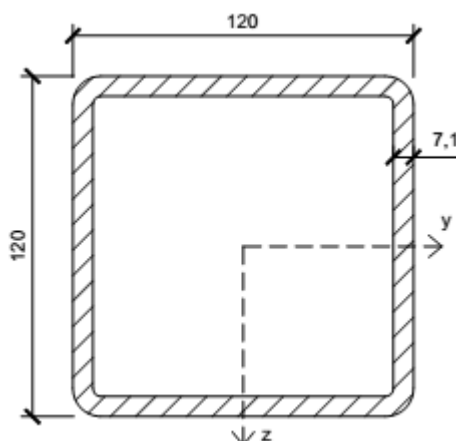
$$w_{e,C} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,C} = 0,661 \cdot (-0,5) = -0,331 \text{ kN/m}^2$$

3 Posouzení konstrukčních prvků

3.1 Vaznice

Průřez:

Jäckl 120/120/7,1 válcovaný za tepla



Obr. 11: profil vaznice

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu: $A = 3,13 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Momenty setrvačnosti: $I_y = 6,58 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$

$$I_z = 6,58 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Plastický průřezový modul: $W_{pl,y} = 1,314 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$$W_{pl,z} = 1,314 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Účinná smyková plocha: $A_{v,y} = 1,565 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$$A_{v,z} = 1,565 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu oceli: $f_y = 355 \text{ MPa}$

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

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

pásnice:

$$c = 100,2 \text{ mm}$$

$$t = 7,1 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{100,2}{7,1} = 14,11 \leq 33\varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \dots \text{třída průřezu 1}$$

stojina:

$$c = 100,2 \text{ mm}$$

$$t = 7,1 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{100,2}{7,1} = 14,11 \leq 33\varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení na vzpěr:

$$\max N_{c,Ed} = 68,419 \text{ kN}$$

Vaznice 7 mezi vazníky L – M, hodnota z kombinace KZ 2.

$$L_{cr,y} = 2,5 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 6,58 \cdot 10^{-6}}{2,5^2} = 2182,051 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3,13 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{2182,05 \cdot 10^3}} = 0,71$$

Křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,71 - 0,2) + 0,71^2] = 0,81$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,81 + \sqrt{0,81^2 - 0,71^2}} = 0,84 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,84 \cdot 3,13 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 934,77 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{68,419}{934,77} = 0,07 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

$$L_{cr,z} = 5 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 6,58 \cdot 10^{-6}}{5^2} = 545,513 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3,13 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{545,513 \cdot 10^3}} = 1,43$$

$$\text{Křivka a} \dots \alpha = 0,21$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,43 - 0,2) + 1,43^2] = 1,65$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,65 + \sqrt{1,65^2 - 1,43^2}} = 0,4 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,4 \cdot 3,13 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 449,872 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{68,419}{449,872} = 0,15 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na tah:

$$\max N_{t,Ed} = 47,135 \text{ kN}$$

Vaznice 7 mezi vazníky B – C, hodnota z kombinace KZ 55.

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,13 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1111,15 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{47,135}{1111,15} = 0,04 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na ohyb:

$$\max M_{y,Ed} = 16,198 \text{ kNm}$$

Vaznice 4 mezi vazníky A – B, hodnota z kombinace KZ 4.

$$\max M_{z,Ed} = 8,173 \text{ kNm}$$

Vaznice 13 mezi vazníky A – B, hodnota z kombinace KZ 70.

$$M_{c,Rd,y} = M_{c,Rd,z} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,314 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 46,647 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd,y}} = \frac{16,198}{46,647} = 0,35 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd,z}} = \frac{8,173}{46,647} = 0,18 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na smyk:

$$\max V_{y,Ed} = 6,621 \text{ kN}$$

Vaznice 13 mezi vazníky A – B, hodnota z kombinace KZ 70.

$$\max V_{z,Ed} = 12,889 \text{ kN}$$

Vaznice 4 mezi vazníky A – B, hodnota z kombinace KZ 4.

$$V_{c,Rd,y} = V_{c,Rd,z} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,565 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 320,761 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,Rd,y}} = \frac{6,621}{320,761} = 0,02 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd,z}} = \frac{12,889}{320,761} = 0,04 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a osového tlaku:

a) maximální N a odpovídající M

$$\max N_{c,Ed} = 68,419 \text{ kN}$$

$$\text{odp } M_{y,Ed} = 2,214 \text{ kNm}$$

$$\text{odp } M_{z,Ed} = 1,031 \text{ kNm}$$

Vaznice 7 mezi vazníky L – M, hodnota z kombinace KZ 2

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3,13 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 1111,15 \text{ kN}$$

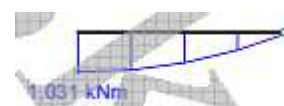
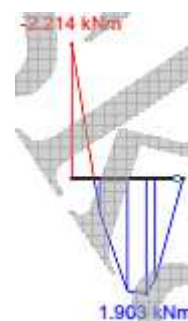
$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,314 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6 = 46,647 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 1,903 \text{ kNm}; M_{h,y} = -2,214 \text{ kNm}; \psi M_{h,y} = 0 \rightarrow \psi = 0$$

$$\alpha_{s,y} = \frac{M_{s,y}}{M_{h,y}} = \frac{1,903}{-2,214} = -0,86$$

$$c_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_{s,y} = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,86) = 0,79 > 0,4$$

$$M_{s,z} = 1,031 \text{ kNm}; M_{h,z} = 0 \text{ kNm}; \psi M_{h,z} = 0 \rightarrow \psi = 0$$



$$\alpha_{h,z} = \frac{M_{h,z}}{M_{s,z}} = \frac{0}{1,028} = 0$$

$$c_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_{h,z} = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

$$c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right) \leq c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right)$$

$$0,79 \cdot \left(1 + (0,71 - 0,2) \cdot \frac{\frac{68,419}{0,84 \cdot 1111,15}}{1,0} \right) \leq 0,79 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{\frac{68,419}{0,84 \cdot 1111,15}}{1,0} \right)$$

$$0,81 < 0,83 \rightarrow k_{yy} = 0,81$$

$$c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right)$$

$$0,95 \cdot \left(1 + (1,43 - 0,2) \cdot \frac{\frac{68,419}{0,4 \cdot 1111,15}}{1,0} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{\frac{68,419}{0,4 \cdot 1111,15}}{1,0} \right)$$

$$1,13 > 1,07 \rightarrow k_{zz} = 1,07$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,07 = 0,64$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,81 = 0,49$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} =$$

$$\frac{\frac{68,419}{0,84 \cdot 1111,15}}{1,0} + 0,81 \cdot \frac{\frac{2,214 + 0}{1,0 \cdot 46,647}}{1,0} + 0,64 \cdot \frac{\frac{1,031 + 0}{46,647}}{1,0} = 0,13$$

$$0,13 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} =$$

$$\frac{\frac{68,419}{0,4 \cdot 1111,15}}{1,0} + 0,49 \cdot \frac{\frac{2,214 + 0}{1,0 \cdot 46,647}}{1,0} + 1,07 \cdot \frac{\frac{1,031 + 0}{46,647}}{1,0} = 0,20$$

$$0,20 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

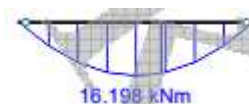
b) maximální M_y odpovídající N

$$\text{odp } N_{c,Ed} = 12,454 \text{ kN}$$

$$\max M_{y,Ed} = 16,198 \text{ kNm}$$

$$\text{odp } M_{z,Ed} = 0,565 \text{ kNm}$$

Vaznice 4 mezi vazníky A – B, hodnota z kombinace KZ 4



$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3,13 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 1111,15 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,314 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6 = 46,647 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 16,198 \text{ kNm}; M_{h,y} = 0 \text{ kNm}; \psi M_{h,y} = 0 \rightarrow \psi = 0$$

$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = \frac{0}{16,198} = 0$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_{h,y} = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

$$M_{s,z} = -0,565 \text{ kNm}; M_{h,z} = 0 \text{ kNm}; \psi M_{h,z} = 0 \rightarrow \psi = 0$$

$$\alpha_{h,z} = \frac{M_{h,z}}{M_{s,z}} = \frac{0}{-0,565} = 0$$



$$c_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_{h,z} = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

$$c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,95 \cdot \left(1 + (0,71 - 0,2) \cdot \frac{12,454}{\frac{0,84 \cdot 1111,15}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{12,454}{\frac{0,84 \cdot 1111,15}{1,0}} \right)$$

$$0,96 = 0,96 \rightarrow k_{yy} = 0,96$$

$$c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,95 \cdot \left(1 + (1,43 - 0,2) \cdot \frac{12,454}{\frac{0,4 \cdot 1111,15}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{12,454}{\frac{0,4 \cdot 1111,15}{1,0}} \right)$$

$$0,98 > 0,97 \rightarrow k_{zz} = 0,97$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,97 = 0,58$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,96 = 0,57$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} =$$

$$\frac{12,454}{\frac{0,84 \cdot 1111,15}{1,0}} + 0,96 \cdot \frac{16,198 + 0}{\frac{1,0 \cdot 46,647}{1,0}} + 0,58 \cdot \frac{0,565 + 0}{\frac{46,647}{1,0}} = 0,41$$

0,41 ≤ 1,0 ... vyhovuje

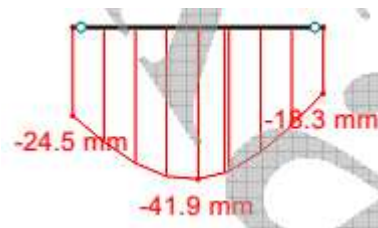
$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} =$$

$$\frac{12,454}{\frac{0,4 \cdot 1111,15}{1,0}} + 0,57 \cdot \frac{16,198 + 0}{\frac{1,0 \cdot 46,647}{1,0}} + 0,97 \cdot \frac{0,565 + 0}{\frac{46,647}{1,0}} = 0,36$$

0,36 ≤ 1,0 ... vyhovuje

Posouzení na průhyb:

Program RFEM zobrazuje lokální deformace
ovlivněné deformacemi jiných prvků. Na obrázku je
lokální deformace vaznice ovlivněna deformací
vazníku.



Vaznice 4 mezi vazníky A – B, hodnota z kombinace KZ 77.

$$\omega = 41,9 - 18,3 = 23,6 \text{ mm}$$

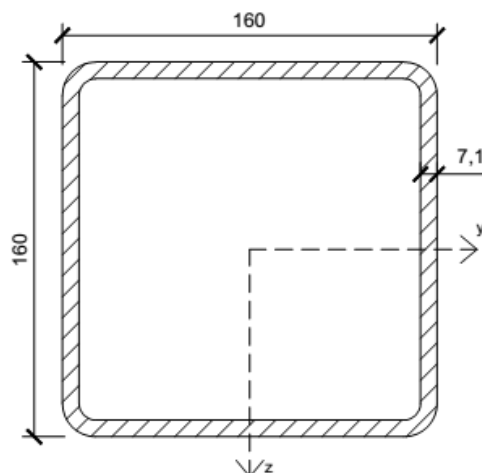
$$\omega_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{5000}{200} = 25 \text{ mm}$$

$\omega_{lim} = 25 \text{ mm} > \omega = 23,6 \dots$ vyhovuje

3.2 Horní pás

Průřez:

Jäckl 160/160/7,1 válcovaný za tepla



Obr. 12: profil horního pásu

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu: $A = 4,21 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,62 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

$I_z = 1,62 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

Plastický průřezový modul: $W_{pl,y} = 2,389 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$W_{pl,z} = 2,389 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Účinná smyková plocha: $A_{v,y} = 2,105 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$A_{v,z} = 2,105 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu oceli: $f_y = 355 \text{ MPa}$

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

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

pásnice:

$c = 131,6 \text{ mm}$

$t = 7,1 \text{ mm}$

$$\frac{c}{t} = \frac{131,6}{7,1} = 18,54 \leq 33\varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \dots \text{třída průřezu 1}$$

stojina:

$$c = 131,6 \text{ mm}$$

$$t = 7,1 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{131,6}{7,1} = 18,54 \leq 33\varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení na vzpěr:

$$\max N_{c,Ed} = 543,51 \text{ kN}$$

Vazník H prvek mezi vaznicemi 8 - 9, hodnota z kombinace KZ 2.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2,531 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,62 \cdot 10^{-5}}{2,531^2} = 5241,43 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{4,21 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{5241,43 \cdot 10^3}} = 0,53$$

Křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\phi_y = \phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,53 - 0,2) + 0,53^2]$$

$$\phi_y = \phi_z = 0,68$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,53^2}} = 0,91 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,91 \cdot 4,21 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1365,089 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{543,51}{1365,089} = 0,40 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na tah:

$$\max N_{t,Ed} = 175,67 \text{ kN}$$

Vazník E prvek mezi vaznicemi 5 - 6, hodnota z kombinace KZ 55.

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,21 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1494,55 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{175,67}{1494,55} = 0,12 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na ohyb:

$$\max M_{y,Ed} = 6,675 \text{ kNm}$$

Vazník F prvek mezi vaznicemi 8 – 9, hodnota z kombinace KZ 2.

$$\max M_{z,Ed} = 2,552 \text{ kNm}$$

Vazník M prvek mezi vaznicemi 6 - 7, hodnota z kombinace KZ 73.

$$M_{c,Rd,y} = M_{c,Rd,z} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,389 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 84,81 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd,y}} = \frac{6,675}{84,81} = 0,08 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd,z}} = \frac{2,552}{84,81} = 0,03 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na smyk:

$$\max V_{y,Ed} = 1,427 \text{ kN}$$

Vazník M prvek mezi vaznicemi 7 – 8, hodnota z kombinace KZ 55.

$$\max V_{z,Ed} = 9,881 \text{ kN}$$

Vazník H prvek mezi vaznicemi 8 - 9, hodnota z kombinace KZ 2.

$$V_{c,Rd,y} = V_{c,Rd,z} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,105 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 431,439 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,Rd,y}} = \frac{1,427}{431,439} = 0,003 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd,z}} = \frac{9,881}{431,439} = 0,02 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a osového tlaku:

$$\max N_{c,Ed} = 543,51 \text{ kN}$$

$$\text{odp } M_{y,Ed} = \max M_{y,Ed} = 6,675 \text{ kNm}$$

$$\text{odp } M_{z,Ed} = 0,194 \text{ kNm}$$

Vazník H prvek mezi vaznicemi 8 – 9, hodnota z kombinace KZ 2

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 4,21 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 1494,55 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 2,389 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6 = 84,81 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} \doteq 0 \text{ kNm}; M_{h,y} = 6,675 \text{ kNm}; \psi M_{h,y} = 5,698 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0,85$$

$$\alpha_{s,y} = \frac{M_{s,y}}{M_{h,y}} = \frac{0}{6,675} = 0$$

$$c_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_{s,y} = 0,2 + 0,8 \cdot 0 = 0,2 < 0,4$$

$$M_z = -0,194 \text{ kNm}; \psi M_z = 0,066 \rightarrow \psi = -0,34$$

$$c_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,34) = 0,46 > 0,4$$

$$c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,4 \cdot \left(1 + (0,53 - 0,2) \cdot \frac{543,51}{\frac{0,91 \cdot 1494,55}{1,0}} \right) \leq 0,4 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{543,51}{\frac{0,91 \cdot 1494,55}{1,0}} \right)$$

$$0,45 < 0,53 \rightarrow k_{yy} = 0,45$$

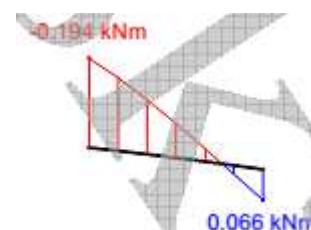
$$c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,46 \cdot \left(1 + (0,53 - 0,2) \cdot \frac{543,51}{\frac{0,91 \cdot 1494,55}{1,0}} \right) \leq 0,46 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{543,51}{\frac{0,91 \cdot 1494,55}{1,0}} \right)$$

$$0,52 < 0,61 \rightarrow k_{zz} = 0,52$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,52 = 0,31$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,45 = 0,27$$



$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} =$$

$$\frac{543,51}{\frac{0,91 \cdot 1494,55}{1,0}} + 0,45 \cdot \frac{6,675 + 0}{\frac{1,0 \cdot 84,81}{1,0}} + 0,31 \cdot \frac{0,194 + 0}{\frac{84,81}{1,0}} = 0,43$$

0,43 ≤ 1,0 ... vyhovuje

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} =$$

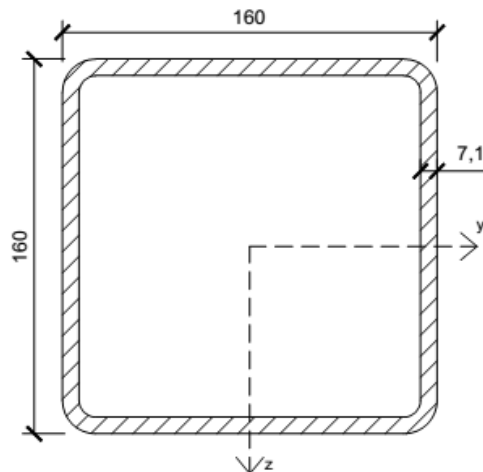
$$\frac{543,51}{\frac{0,91 \cdot 1494,55}{1,0}} + 0,27 \cdot \frac{6,675 + 0}{\frac{1,0 \cdot 84,81}{1,0}} + 0,52 \cdot \frac{0,194 + 0}{\frac{84,81}{1,0}} = 0,42$$

0,42 ≤ 1,0 ... vyhovuje

3.3 Dolní pás

Průřez:

Jäckl 160/160/7,1 válcovaný za tepla



Obr. 13: profil dolního pasu

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu: $A = 4,21 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,62 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

$I_z = 1,62 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

Plastický průřezový modul: $W_{pl,y} = 2,389 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$W_{pl,z} = 2,389 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Účinná smyková plocha: $A_{v,y} = 2,105 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$$A_{v,z} = 2,105 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu oceli: $f_y = 355 \text{ MPa}$

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

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

pásnice:

$$c = 131,6 \text{ mm}$$

$$t = 7,1 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{131,6}{7,1} = 18,54 \leq 33\varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \dots \text{třída průřezu 1}$$

stojina:

$$c = 131,6 \text{ mm}$$

$$t = 7,1 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{131,6}{7,1} = 18,54 \leq 33\varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení na vzpěr:

$$\max N_{c,Ed} = 163,35 \text{ kN}$$

Vazník E prvek mezi vaznicemi 7 - 8, hodnota z kombinace KZ 54.

$$L_{cr,y} = 2,461 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,62 \cdot 10^{-5}}{2,461^2} = 5543,842 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{4,21 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{5543,842 \cdot 10^3}} = 0,52$$

Křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,52 - 0,2) + 0,52^2] = 0,67$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,67 + \sqrt{0,67^2 - 0,52^2}} = 0,92 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,92 \cdot 4,21 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1372,295 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd,y}} = \frac{163,35}{1372,295} = 0,12 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

$$L_{cr,z} = 12,305 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,62 \cdot 10^{-5}}{12,305^2} = 221,754 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{4,21 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{221,754 \cdot 10^3}} = 2,6$$

Křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,6 - 0,2) + 2,6^2] = 4,12$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{4,12 + \sqrt{4,12^2 - 2,6^2}} = 0,14 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,14 \cdot 4,21 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 204,105 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{163,35}{204,105} = 0,80 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na tah:

$$\max N_{t,Ed} = 556,46 \text{ kN}$$

Vazník F prvek mezi vaznicemi 6 - 7, hodnota z kombinace KZ 2.

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,21 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1494,55 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{556,46}{1494,55} = 0,37 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na ohyb:

$$\max M_{y,Ed} = 5,195 \text{ kNm}$$

Vazník G prvek mezi vaznicemi 7 – 8, hodnota z kombinace KZ 2.

$$\max M_{z,Ed} = 0,719 \text{ kNm}$$

Vazník L prvek mezi vaznicemi 1 - 2, hodnota z kombinace KZ 57.

$$M_{c,Rd,y} = M_{c,Rd,z} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,389 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 84,81 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd,y}} = \frac{5,195}{84,81} = 0,06 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd,z}} = \frac{0,719}{84,81} = 0,01 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na smyk:

$$\max V_{y,Ed} = 0,263 \text{ kN}$$

Vazník L prvek mezi vaznicemi 1 – 2, hodnota z kombinace KZ 57.

$$\max V_{z,Ed} = 12,01 \text{ kN}$$

Vazník G prvek mezi vaznicemi 6 - 7, hodnota z kombinace KZ 2.

$$V_{c,Rd,y} = V_{c,Rd,z} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,105 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 431,439 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,Rd,y}} = \frac{0,263}{431,439} = 0,001 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd,z}} = \frac{12,01}{431,439} = 0,03 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a osového tlaku:

maximální N a odpovídající M

$$\max N_{c,Ed} = 163,35 \text{ kN}$$

$$\text{odp } M_{y,Ed} = 1,485 \text{ kNm}$$

$$\text{odp } M_{z,Ed} = 0,155 \text{ kNm}$$

Vazník E prvek mezi vaznicemi 7 – 8, hodnoty z kombinace KZ 54.



$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 4,21 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 1494,55 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 2,389 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6 = 84,81 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = -1,485 \text{ kNm}; M_{h,y} = 0,548 \text{ kNm}; \psi M_{h,y} = -0,179 \text{ kNm} \rightarrow \psi = -0,33$$

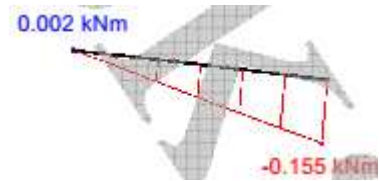
$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = \frac{0,548}{-1,485} = -0,37$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_{h,y} \cdot (1 + 2 \cdot \psi) = 0,95 + 0,05 \cdot$$

$$(-0,37) \cdot (1 + 2 \cdot (-0,33)) = 0,94$$

$$M_z = -0,155; \psi M_z \doteq 0 \text{ kNm}; \psi = 0$$

$$c_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6 \geq 0,4$$



$$c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,94 \cdot \left(1 + (0,52 - 0,2) \cdot \frac{163,35}{\frac{0,92 \cdot 1494,55}{1,0}} \right) \leq 0,94 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{163,35}{\frac{0,92 \cdot 1494,55}{1,0}} \right)$$

$$0,98 < 1,03 \rightarrow k_{yy} = 0,98$$

$$c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,6 \cdot \left(1 + (2,6 - 0,2) \cdot \frac{163,35}{\frac{0,14 \cdot 1494,55}{1,0}} \right) \leq 0,6 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{163,35}{\frac{0,14 \cdot 1494,55}{1,0}} \right)$$

$$1,75 > 0,98 \rightarrow k_{zz} = 0,98$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,98 = 0,59$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,98 = 0,59$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} =$$

$$\frac{163,35}{\frac{0,92 \cdot 1494,55}{1,0}} + 0,98 \cdot \frac{1,485 + 0}{\frac{1,0 \cdot 84,81}{1,0}} + 0,59 \cdot \frac{0,155 + 0}{\frac{84,81}{1,0}} = 0,14$$

$$0,14 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

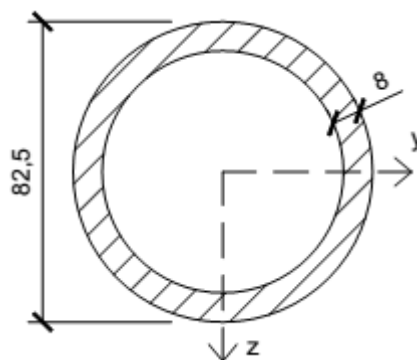
$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} =$$

$$\frac{163,35}{\frac{0,14 \cdot 1494,55}{1,0}} + 0,59 \cdot \frac{1,485 + 0}{\frac{1,0 \cdot 84,81}{1,0}} + 0,98 \cdot \frac{0,155 + 0}{\frac{84,81}{1,0}} = 0,81$$

$$0,81 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

3.4 Diagonály

Průřez: TR 82,5/8 válcovaná za tepla



Obr. 14: profil diagonály

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu: $A = 1,872 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,314 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$

$I_z = 1,314 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$

Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu oceli: $f_y = 355 \text{ MPa}$

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

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{d}{t} = \frac{82,5}{8} = 10,31 < 50\varepsilon = 40,5 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení na vzpěr:

$$\max N_{c,Ed} = 165,84 \text{ kN}$$

Vazník F prvek mezi vaznicemi 2 - 3, hodnota z kombinace KZ 2.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3,077 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,314 \cdot 10^{-6}}{3,077^2} = 287,647 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,872 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{287,647 \cdot 10^3}} = 1,52$$

Křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\phi_y = \phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,52 - 0,2) + 1,52^2]$$

$$\phi_y = \phi_z = 1,79$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,79 + \sqrt{1,79^2 - 1,52^2}} = 0,36 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,36 \cdot 1,872 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 241,987 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{165,84}{241,987} = 0,69 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na tah:

$$\max N_{t,Ed} = 207,94 \text{ kN}$$

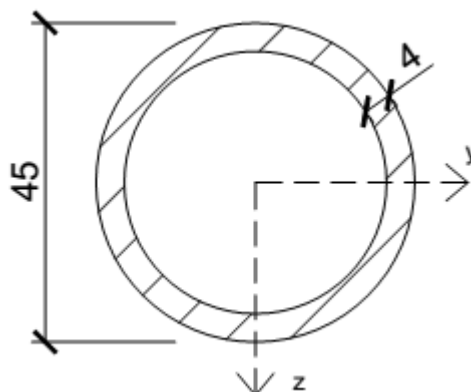
Vazník F prvek mezi vaznicemi 1 - 2, hodnota z kombinace KZ 2.

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,872 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 664,56 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{207,94}{664,56} = 0,31 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

3.5 Svislice

Průřez: TR 45/4 válcovaná za tepla



Obr. 15: profil svislice

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu: $A = 5,152 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,093 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$

$I_z = 1,093 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$

Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu oceli: $f_y = 355 \text{ MPa}$

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

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{d}{t} = \frac{45}{4} = 11,25 < 50\varepsilon = 40,5 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení na vzpěr:

$$\max N_{c,Ed} = 15,438 \text{ kN}$$

Vazník M prvek pod vaznicí 6, hodnota z kombinace KZ 73.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 1,8 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,093 \cdot 10^{-7}}{1,8^2} = 69,919 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5,152 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{69,919 \cdot 10^3}} = 1,62$$

Křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\phi_y = \phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,62 - 0,2) + 1,62^2]$$

$$\phi_y = \phi_z = 1,96$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,96 + \sqrt{1,96^2 - 1,62^2}} = 0,33 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,33 \cdot 5,152 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 59,807 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{15,438}{59,807} = 0,26 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na tah:

$$\max N_{t,Ed} = 43,562 \text{ kN}$$

Vazník A prvek pod vaznicí 8, hodnota z kombinace KZ 2.

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,152 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 182,896 \text{ kN}$$

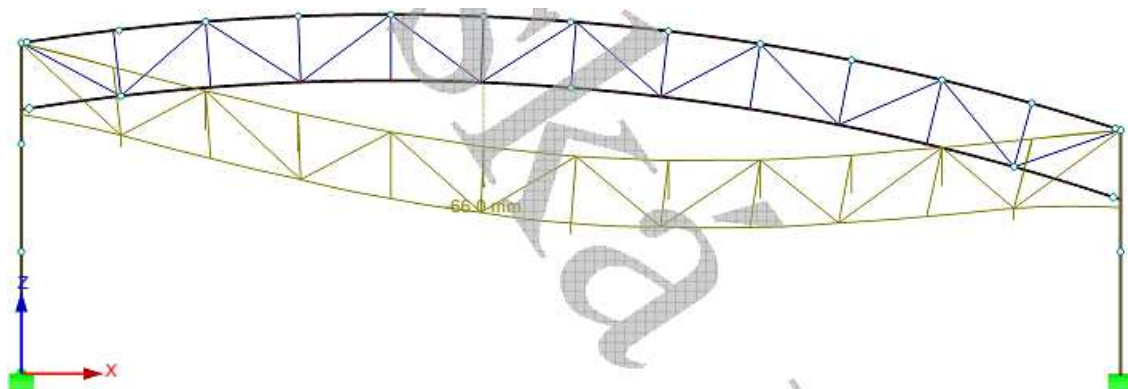
$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{43,562}{182,896} = 0,24 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

3.6 Průhyb vazníku

$$\omega = 66,0 \text{ mm}$$

$$\omega_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{30000}{250} = 120 \text{ mm}$$

$$\omega_{lim} = 120 \text{ mm} > \omega = 66,0 \text{ mm} \dots \text{vyhovuje}$$

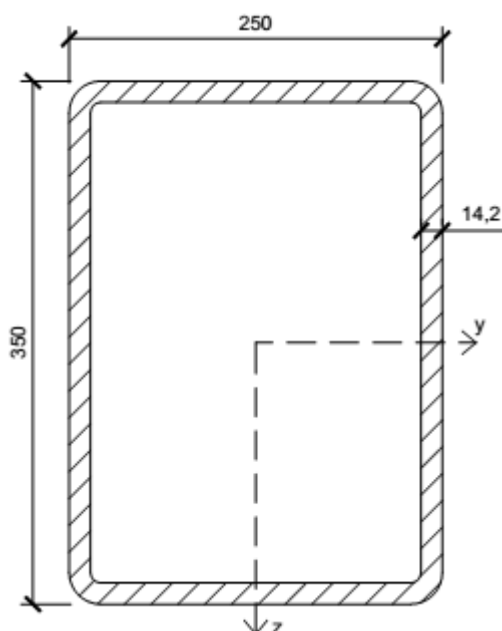


Obr. 16: průhyb vazníku

3.7 Sloupy

Průřez:

Jäckl 350/250/14,2 válcovaný za tepla



Obr. 17: profil sloupu

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu: $A = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$

Momenty setrvačnosti: $I_y = 2,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

$I_z = 1,605 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

Plastický průřezový modul: $W_{pl,y} = 1,887 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

$W_{pl,z} = 1,492 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

Účinná smyková plocha: $A_{v,y} = 6,67 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$A_{v,z} = 9,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Materiálové charakteristiky:Mez kluzu oceli: $f_y = 355 \text{ MPa}$ Modulu pružnosti: $E = 210 \text{ GPa}$ **Klasifikace průřezu:**

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

pásnice:

$$c = 193,2 \text{ mm}$$

$$t = 14,2 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{193,2}{14,2} = 13,61 \leq 33\varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \dots \text{třída průřezu 1}$$

stojina:

$$c = 293,2 \text{ mm}$$

$$t = 14,2 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{310}{12,5} = 20,65 \leq 33\varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení na vzpěr:

$$\max N_{c,Ed} = 158,44 \text{ kN}$$

Sloup na levé straně pod vazníkem F, hodnota z kombinace KZ 2.

$$L_{cr,y} = 2 \cdot 7,204 = 14,408 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 2,72 \cdot 10^{-4}}{14,408^2} = 2715,692 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{2715,692 \cdot 10^3}} = 1,45$$

Křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,45 - 0,2) + 1,45^2] = 1,68$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,68 + \sqrt{1,68^2 - 1,45^2}} = 0,40 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 2249,614 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd,y}} = \frac{158,44}{2249,614} = 0,07 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

$$L_{cr,z} = 3,325 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,605 \cdot 10^{-4}}{3,325^2} = 30089,209 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{30089,209 \cdot 10^3}} = 0,43$$

$$\text{Křivka a} \dots \alpha = 0,21$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,43 - 0,2) + 0,43^2] = 0,62$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,62 + \sqrt{0,62^2 - 0,43^2}} = 0,94 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,94 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 5358,941 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{158,44}{5358,941} = 0,03 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na tah:

$$\max N_{t,Ed} = 47,889 \text{ kN}$$

Sloup na levé straně pod vazníkem A, hodnota z kombinace KZ 72.

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,6 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 5680,0 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{47,889}{5680} = 0,01 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na ohyb:

$$\max M_{y,Ed} = 130,81 \text{ kNm}$$

Sloup na pravé straně pod vazníkem G, hodnota z kombinace KZ 44.

$$\max M_{z,Ed} = 5,142 \text{ kNm}$$

Sloup na pravé straně pod vazníkem A, hodnota z kombinace KZ 62.

$$M_{c,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,887 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 669,885 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd,y}} = \frac{130,81}{669,885} = 0,20 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

$$M_{c,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,492 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 529,66 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd,z}} = \frac{5,142}{529,66} = 0,01 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na smyk:

$$\max V_{y,Ed} = 5,872 \text{ kN}$$

Sloup na levé straně pod vazníkem M, hodnota z kombinace KZ 72

$$\max V_{z,Ed} = 28,852 \text{ kN}$$

Sloup na levé straně pod vazníkem M, hodnota z kombinace KZ 44

$$V_{c,Rd,y} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{6,67 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1367,079 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,Rd,y}} = \frac{5,872}{1367,079} = 0,004 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

$$V_{c,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{9,33 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1912,271 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd,z}} = \frac{28,852}{1912,271} = 0,02 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a osového tlaku:

a) maximální N a odpovídající M

$$\max N_{c,Ed} = 158,44 \text{ kN}$$

$$\text{odp } M_{y,Ed} = 15,755 \text{ kNm}$$

$$\text{odp } M_{z,Ed} \doteq 0 \text{ kNm}$$

Sloup na levé straně pod vazníkem F, hodnota z kombinace KZ 2.

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6 = 5680,0 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,887 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 669,885 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 1,492 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 529,66 \text{ kNm}$$

$$M_y = -15,755 \text{ kNm}; \psi M_y = -10,138 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0,64$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,64 = 0,86 > 0,4$$



$$c_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,86 \cdot \left(1 + (1,45 - 0,2) \cdot \frac{158,44}{\frac{0,4 \cdot 5680}{1,0}} \right) \leq 0,86 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{158,44}{\frac{0,4 \cdot 5680}{1,0}} \right)$$

$$0,94 > 0,91 \rightarrow k_{yy} = 0,91$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,91 = 0,55$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} =$$

$$\frac{158,44}{\frac{0,4 \cdot 5680}{1,0}} + 0,91 \cdot \frac{15,755 + 0}{\frac{1,0 \cdot 669,885}{1,0}} + 0 = 0,09$$

$$0,09 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} =$$

$$\frac{158,44}{\frac{0,94 \cdot 5680}{1,0}} + 0,55 \cdot \frac{15,755 + 0}{\frac{1,0 \cdot 669,885}{1,0}} + 0 = 0,04$$

$$0,04 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

b) maximální M_y a odpovídající N

$$\text{odp } N_{c,Ed} = 28,954 \text{ kN}$$

$$\max M_{y,Ed} = 130,81 \text{ kNm}$$

$$\text{odp } M_{z,Ed} = 0,506 \text{ kNm}$$

Sloup na pravé straně pod vazníkem G, hodnota z kombinace KZ 44.

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6 = 5680,0 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,887 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 669,885 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 1,492 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 529,66 \text{ kNm}$$

$$M_y = 130,81 \text{ kNm}; \psi M_y = 48,89 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0,37$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,37 = 0,75 > 0,4$$

$$M_z = -0,506 \text{ kNm}; \psi M_z = 0 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0$$

$$c_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6 > 0,4$$

$$c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,75 \cdot \left(1 + (1,45 - 0,2) \cdot \frac{28,954}{\frac{0,4 \cdot 5680}{1,0}} \right) \leq 0,75 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{28,954}{\frac{0,4 \cdot 5680}{1,0}} \right)$$

$$0,76 = 0,76 \rightarrow k_{yy} = 0,76$$

$$c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,6 \cdot \left(1 + (0,43 - 0,2) \cdot \frac{28,954}{\frac{0,94 \cdot 5680}{1,0}} \right) \leq 0,6 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{28,954}{\frac{0,94 \cdot 5680}{1,0}} \right)$$

$$0,6 = 0,6 \rightarrow k_{zz} = 0,6$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,6 = 0,36$$

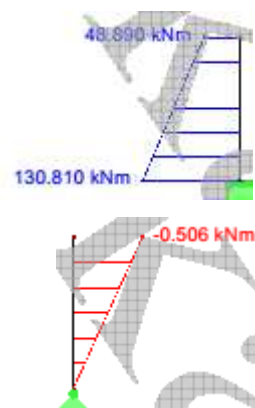
$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,75 = 0,45$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} =$$

$$\frac{28,954}{\frac{0,4 \cdot 5680}{1,0}} + 0,75 \cdot \frac{130,81 + 0}{\frac{1,0 \cdot 669,885}{1,0}} + 0,36 \cdot \frac{0,506 + 0}{\frac{529,66}{1,0}} = 0,22$$

$$0,22 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} =$$



$$\frac{28,954}{\frac{0,94 \cdot 5680}{1,0}} + 0,45 \cdot \frac{130,81 + 0}{\frac{1,0 \cdot 669,885}{1,0}} + 0,6 \cdot \frac{0,506 + 0}{\frac{529,66}{1,0}} = 0,12$$

$$0,12 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

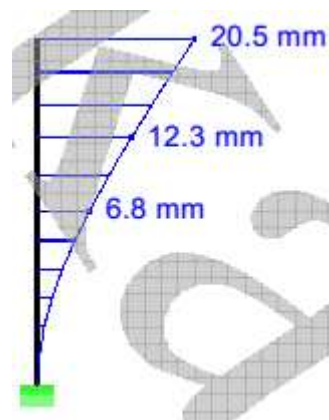
Posouzení na průhyb:

Sloup na pravé straně pod vazníkem G, hodnota z kombinace KZ 117.

$$\omega = 20,5 \text{ mm}$$

$$\omega_{\text{lim}} = \frac{L}{300} = \frac{6647}{300} = 22,2 \text{ mm}$$

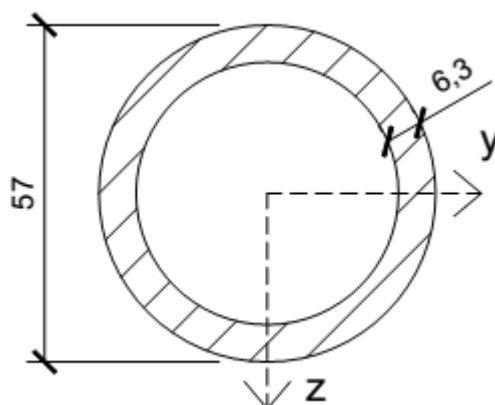
$$\omega_{\text{lim}} = 22,2 \text{ mm} > \omega = 20,5 \text{ mm} \dots \text{vyhovuje}$$



3.8 Podélné ztužidlo

Průřez:

Tr 57/6,3 válcovaná za tepla



Obr. 18: profil podélného ztužidla

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu: $A = 1,004 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Momenty setrvačnosti: $I_y = 3,274 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$

$$I_z = 3,274 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu oceli: $f_y = 355 \text{ MPa}$

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

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{d}{t} = \frac{57}{6,3} = 9,05 < 50\varepsilon = 40,5 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení na vzpěr:

$$\max N_{c,Ed} = 50,843 \text{ kN}$$

Prvek pod vaznicí 7 mezi vazníky A - B, hodnota z kombinace KZ 2.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3,081 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,274 \cdot 10^{-7}}{3,081^2} = 71,485 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,004 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{71,485 \cdot 10^3}} = 2,23$$

Křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\phi_y = \phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,23 - 0,2) + 2,23^2]$$

$$\phi_y = \phi_z = 3,21$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{3,21 + \sqrt{3,21^2 - 2,23^2}} = 0,18 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,18 \cdot 1,004 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 64,715 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{50,843}{64,715} = 0,79 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na tah:

$$\max N_{t,Ed} = 31,533 \text{ kN}$$

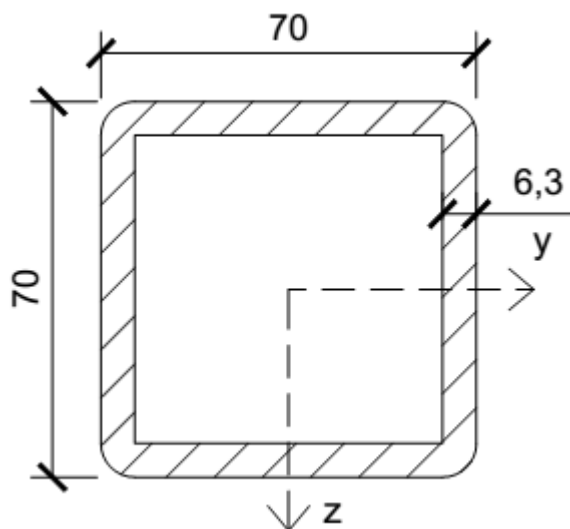
Prvek pod vaznicí 7 mezi vazníky L - M, hodnota z kombinace KZ 73.

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,004 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 356,42 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{31,533}{356,42} = 0,09 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

3.9 Dolní pás podélného ztužidla

Průřez: Jäckl 70/70/6,3 válcovaný za tepla



Obr. 19: profil pásu podélného ztužidla

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu: $A = 1,57 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,06 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$

$$I_z = 1,06 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Plastický průřezový modul: $W_{pl,y} = 3,733 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

$$W_{pl,z} = 3,733 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Účinná smyková plocha: $A_{v,y} = 7,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$$A_{v,z} = 7,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu oceli: $f_y = 355 \text{ MPa}$

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

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

pásnice:

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

$$t = 6,3 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{57,4}{6,3} = 9,11 \leq 33\varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \dots \text{třída průřezu 1}$$

stojina:

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

$$t = 6,3 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{57,4}{6,3} = 9,11 \leq 33\varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení na vzpěr:

$$\max N_{c,Ed} = 42,932 \text{ kN}$$

Prvek pod vaznicí 7 mezi vazníky A - B, hodnota z kombinace KZ 73.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 5,0 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,06 \cdot 10^{-6}}{5,0^2} = 87,879 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,57 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{87,879 \cdot 10^3}} = 2,52$$

Křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\phi_y = \phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,52 - 0,2) + 2,52^2]$$

$$\phi_y = \phi_z = 3,91$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{3,91 + \sqrt{3,91^2 - 2,52^2}} = 0,14 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,14 \cdot 1,57 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 80,641 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{42,932}{80,641} = 0,53 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na tah:

$$\max N_{t,Ed} = 73,843 \text{ kN}$$

Prvek pod vaznicí 7 mezi vazníky B - C, hodnota z kombinace KZ 2.

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,57 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 557,35 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{73,843}{557,35} = 0,13 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na ohyb:

$$\max M_{y,Ed} = 1,144 \text{ kNm}$$

Prvek pod vaznicí 7 mezi vazníky A - B, hodnota z kombinace KZ 73.

$$M_{c,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,733 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 13,252 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd,y}} = \frac{1,144}{13,252} = 0,09 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na smyk:

$$\max V_{z,Ed} = 0,811 \text{ kN}$$

Prvek pod vaznicí 7 mezi vazníky A - B, hodnota z kombinace KZ 73.

$$V_{c,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{7,85 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 160,893 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd,z}} = \frac{0,811}{160,893} = 0,01 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

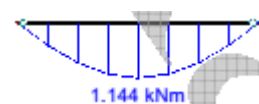
Posouzení na kombinaci ohybu a osového tlaku:

$$\max N_{c,Ed} = 42,932 \text{ kN}$$

$$\text{odp } M_{y,Ed} = \max M_{y,Ed} = 1,144 \text{ kNm}$$

$$\text{odp } M_{z,Ed} = 0 \text{ kNm}$$

Prvek pod vaznicí 7 mezi vazníky A - B, hodnota z kombinace KZ 73.



$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1,57 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 557,35 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 3,733 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^6 = 13,252 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 1,144 \text{ kNm}; M_{h,y} = 0 \text{ kNm}; \psi M_{h,y} = 0 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0$$

$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = \frac{0}{1,144} = 0$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_{h,y} = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

$$c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,95 \cdot \left(1 + (2,52 - 0,2) \cdot \frac{42,932}{\frac{0,14 \cdot 557,35}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{42,932}{\frac{0,14 \cdot 557,35}{1,0}} \right)$$

$$2,12 > 1,35 \rightarrow k_{yy} = 1,35$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,35 = 0,81$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} =$$

$$\frac{42,932}{\frac{0,14 \cdot 557,35}{1,0}} + 1,35 \cdot \frac{1,144 + 0}{\frac{1,0 \cdot 557,35}{1,0}} + 0 = 0,72$$

$$0,72 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} =$$

$$\frac{42,932}{\frac{0,14 \cdot 557,35}{1,0}} + 0,81 \cdot \frac{1,144 + 0}{\frac{1,0 \cdot 557,35}{1,0}} + 0 = 0,60$$

$$0,60 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

3.10 Příčné ztužidlo

Průřez: RD 15



Obr. 20: profil příčného ztužidla

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu: $A = 1,77 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu oceli: $f_y = 355 \text{ MPa}$

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

Posouzení na tah:

$\max N_{t,Ed} = 42,625 \text{ kN}$

Prvek na levé straně pod vazníkem A, hodnota z kombinace KZ 57.

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,77 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 62,835 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{42,625}{62,835} = 0,68 \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

4 Posouzení dalších prvků na MSP

Následující posudky konstrukčních prvků na MSP jsou uvedeny z důvodu maximálního využití při jednotlivých posouzeních.

Paždíky v podélné stěně

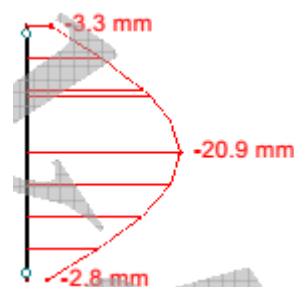
Průřez: Jäckl 120/120/7,1 válcovaný za tepla

Prvek na pravé straně mezi vazníky A - B, hodnota z kombinace KZ 139.

$$\omega = 20,9 - 2,8 = 18,1 \text{ mm}$$

$$\omega_{\text{lim}} = \frac{L}{250} = \frac{5000}{250} = 20 \text{ mm}$$

$$\omega_{\text{lim}} = 20 \text{ mm} > \omega = 18,1 \text{ mm} \dots \text{vyhovuje}$$



Paždíky v čelní stěně

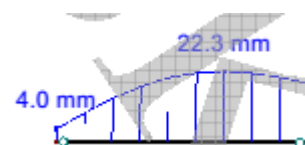
Průřez: Jäckl 120/120/7,1 válcovaný za tepla

Prvek v zadní čelní stěně, hodnota z kombinace KZ 130.

$$\omega = 22,3 - 4,0 = 18,3 \text{ mm}$$

$$\omega_{\text{lim}} = \frac{L}{250} = \frac{5164}{250} = 20,7 \text{ mm}$$

$$\omega_{\text{lim}} = 20,7 \text{ mm} > \omega = 18,3 \text{ mm} \dots \text{vyhovuje}$$



Sloupy v čelní stěně

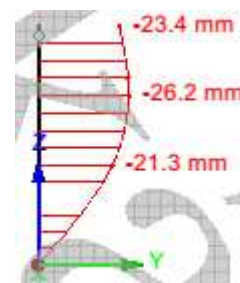
Průřez: Jäckl 220/120/12,5 válcovaný za tepla

Prvek v přední čelní stěně pod vaznicí 5, hodnota z kombinace KZ 146.

$$\omega = 26,2 \text{ mm}$$

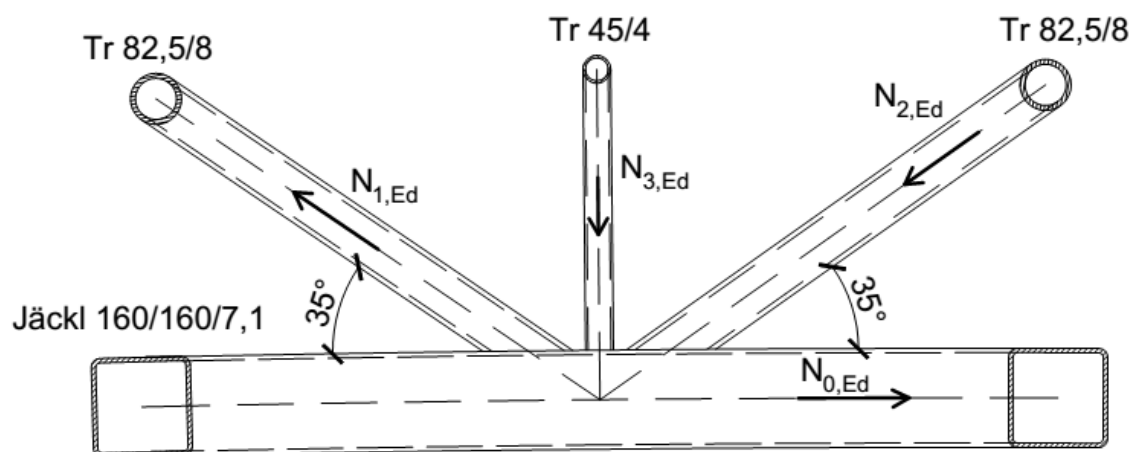
$$\omega_{\text{lim}} = \frac{L}{300} = \frac{8000}{300} = 26,7 \text{ mm}$$

$$\omega_{\text{lim}} = 26,7 \text{ mm} > \omega = 26,2 \text{ mm} \dots \text{vyhovuje}$$



5 Posouzení spojů

5.1 Připojení diagonál a svislice k dolnímu pásu



Obr. 21: KT styčník u dolního pásu

Vnitřní síly

$$N_{0,Ed} = 307,44 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 207,94 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 165,84 \text{ kN}$$

$$N_{3,Ed} = 4,09 \text{ kN}$$

Rozměry

$$t_0 = 7,1 \text{ mm}; t_1 = t_2 = 8 \text{ mm}; t_3 = 4 \text{ mm}$$

$$b_0 = h_0 = 160 \text{ mm}; d_1 = d_2 = 82,5 \text{ mm}; d_3 = 45 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = \theta_2 = 35^\circ; \theta_3 = 90^\circ$$

Posouzení svaru diagonály 1 na dolní pás

$$a_{\min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 7,1 = 8 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = \pi \cdot d_1 = \pi \cdot 82,5 = 259,2 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 259,2 \cdot 4 = 1036,7 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{207,94 \cdot 10^3 \cdot \sin 35}{1036,7 \cdot \sqrt{2}} = 81,35 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{1,Ed} \cdot \cos \theta_1}{A} = \frac{207,94 \cdot 10^3 \cdot \cos 35}{1036,7} = 164,30 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{81,35^2 + 3 \cdot 81,35^2 + 3 \cdot 164,30^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$327,80 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \cdots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$81,35 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$81,35 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \cdots \text{vyhovuje}$$

Posouzení svaru diagonály 2 na dolní pás

$$a_{\min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 7,1 = 8 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = \pi \cdot d_2 = \pi \cdot 82,5 = 259,2 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 259,2 \cdot 4 = 1036,7 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{2,Ed} \cdot \sin \theta_2}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{165,84 \cdot 10^3 \cdot \sin 35}{1036,7 \cdot \sqrt{2}} = 64,88 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{2,Ed} \cdot \cos \theta_2}{A} = \frac{165,84 \cdot 10^3 \cdot \cos 35}{1036,7} = 131,04 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{64,88^2 + 3 \cdot 64,88^2 + 3 \cdot 131,04^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$261,44 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \cdots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$64,88 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$64,88 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \cdots \text{vyhovuje}$$

Posouzení svaru svislice na dolní pás

$$a_{\min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 4 = 4 \text{ mm} \rightarrow a = 3 \text{ mm}$$

$$L = \pi \cdot d_3 = \pi \cdot 45 = 141,4 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 141,4 \cdot 3 = 424,1 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{3,Ed}}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{4,09 \cdot 10^3}{424,1 \cdot \sqrt{2}} = 6,82 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{6,82^2 + 3 \cdot 6,82^2 + 3 \cdot 0} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$13,64 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$13,64 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$13,64 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Rozsah platnosti

$$\frac{d_1}{b_0} = \frac{82,5}{160} = 0,52 \geq 0,25 \dots \text{platí}$$

$$\frac{d_3}{b_0} = \frac{45}{160} = 0,28 \geq 0,25 \dots \text{platí}$$

$$\frac{d_1}{t_1} = \frac{82,5}{8} = 10,3 \leq 35 \dots \text{platí}$$

$$\frac{d_3}{t_3} = \frac{45}{4} = 11,3 \leq 35 \dots \text{platí}$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{160}{7,1} = 22,5 \geq 15 \dots \text{platí}$$

$$0,6 \leq \frac{d_1 + d_2}{2d_1} \leq 1,3 \rightarrow 0,6 \leq 1,0 \leq 1,3 \dots \text{platí}$$

Odolnost proti porušení povrchu dolního pásu

$$\beta = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot b_0} = \frac{82,5 + 82,5 + 45}{3 \cdot 160} = 0,44$$

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{160}{2 \cdot 7,1} = 11,27$$

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{307,44 \cdot 10^3}{4,21 \cdot 10^{-3}} + \frac{2,683 \cdot 10^3}{2,02 \cdot 10^{-4}} = 86,308 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y,0}} = \frac{86,308}{355} = 0,24$$

$$k_n = 1,0 \dots \text{tah}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot k_n \cdot f_{y,0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{Y}}{\sin \theta_1} \cdot \left(\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 7,1^2 \cdot \sqrt{11,27}}{\sin 35} \cdot \left(\frac{82,5 + 82,5 + 45}{3 \cdot 160} \right)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 320,28 \text{ kN}$$

Posouzení

$$N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$207,94 \cdot \sin 35 \leq 320,28 \cdot \sin 35$$

$$119,269 \text{ kN} \leq 183,704 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

$$N_{2,Ed} \cdot \sin \theta_2 + N_{3,Ed} \cdot \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$165,84 \cdot \sin 35 + 4,09 \cdot \sin 90 \leq 320,28 \cdot \sin 35$$

$$99,212 \text{ kN} \leq 183,704 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Odolnost proti porušení mezipásového prutu

Diagonály:

$$b_{\text{eff}} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot \frac{f_{y,0} \cdot t_0}{f_{y,1} \cdot t_1} \cdot d_1 = \frac{10}{\frac{160}{7,1}} \cdot \frac{355 \cdot 10^6 \cdot 7,1}{355 \cdot 10^6 \cdot 8} \cdot 82,5 = 32 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = N_{2,Rd} = \frac{f_{y,1} \cdot t_1 \cdot (2d_1 - 4t_1 + d_1 + b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{1,Rd} = N_{2,Rd} = \frac{355 \cdot 8 \cdot (2 \cdot 82,5 - 4 \cdot 8 + 82,5 + 32)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 553,151 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 207,94 \text{ kN} < N_{1,Rd} = 553,151 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Svislice:

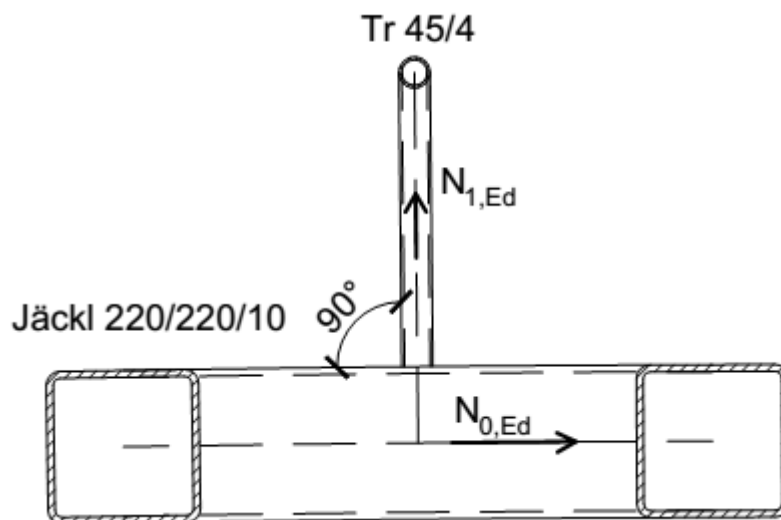
$$b_{\text{eff}} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot \frac{f_{y,0} \cdot t_0}{f_{y,3} \cdot t_3} \cdot d_3 = \frac{10}{\frac{160}{7,1}} \cdot \frac{355 \cdot 10^6 \cdot 7,1}{355 \cdot 10^6 \cdot 4} \cdot 45 = 35 \text{ mm}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{f_{y,3} \cdot t_3 \cdot (2d_3 - 4t_3 + d_3 + b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{355 \cdot 4 \cdot (2 \cdot 45 - 4 \cdot 4 + 45 + 35)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 172,247 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 4,09 \text{ kN} < N_{1,Rd} = 172,247 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

5.2 Připojení vnitřní svislice k dolnímu pásu vazníku A



Obr. 22: T styčník u dolního pásu

Vnitřní síly

$$N_{0,Ed} = 431,6 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 43,562 \text{ kN}$$

Rozměry

$$t_0 = 10 \text{ mm}; t_1 = 4 \text{ mm}$$

$$b_0 = h_0 = 220 \text{ mm}; d_1 = 45 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = 90^\circ$$

Posouzení svaru svislice na dolní pás

$$a_{\min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 4 = 4 \text{ mm} \rightarrow a = 3 \text{ mm}$$

$$L = \pi \cdot d_3 = \pi \cdot 45 = 141,4 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 141,4 \cdot 3 = 424,1 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{1,Ed}}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{43,562 \cdot 10^3}{424,1 \cdot \sqrt{2}} = 72,63 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{72,63^2 + 3 \cdot 72,63^2 + 3 \cdot 0} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$145,26 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \cdots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$72,63 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$72,63 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Rozsah platnosti

$$\frac{d_1}{b_0} = \frac{45}{220} = 0,20 < 0,25 \dots \text{neplatí}$$

$$\frac{d_1}{t_1} = \frac{45}{4} = 11,25 \leq 35 \dots \text{platí}$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{160}{7,1} = 22,5 \geq 15 \dots \text{platí}$$

Nutno uvažovat všechny způsoby porušení.

Odolnost proti porušení povrchu dolního pásu

$$\beta = \frac{d_1}{b_0} = \frac{45}{220} = 0,20$$

$$\eta = \frac{d_1}{b_0} = \frac{45}{220} = 0,20$$

$$k_n = 1,0 \dots \text{tah}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{k_n \cdot f_{y,0} \cdot t_0^2 \cdot \left(\frac{2\eta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1-\beta} \right)}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{1,0 \cdot 355 \cdot 10^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot 0,2}{\sin 90} + 4\sqrt{1-0,2} \right)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 139,39 \text{ kN}$$

$$43,562 \text{ kN} \leq 139,39 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Vybočení boční stěny pásu

$$N_{1,Rd} = \frac{f_b \cdot t_0 \cdot \left(\frac{2 \cdot d_1}{\sin \theta_1} + 10 \cdot t_0 \right)}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{355 \cdot 10 \cdot \left(\frac{2 \cdot 45}{\sin 90} + 10 \cdot 10 \right)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 529,751 \text{ kN}$$

$$43,562 \text{ kN} \leq 529,751 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Odolnost proti porušení mezipásového prutu

$$b_{\text{eff}} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot \frac{f_{y,0} \cdot t_0}{f_{y,1} \cdot t_1} \cdot d_1 = \frac{10}{\frac{220}{10}} \cdot \frac{355 \cdot 10^6 \cdot 10}{355 \cdot 10^6 \cdot 4} \cdot 45 = 51 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y,1} \cdot t_1 \cdot (2d_1 - 4t_1 + 2b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{355 \cdot 4 \cdot (2 \cdot 45 - 4 \cdot 4 + 2 \cdot 51)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 196,287 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 43,562 \text{ kN} < N_{1,Rd} = 196,287 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

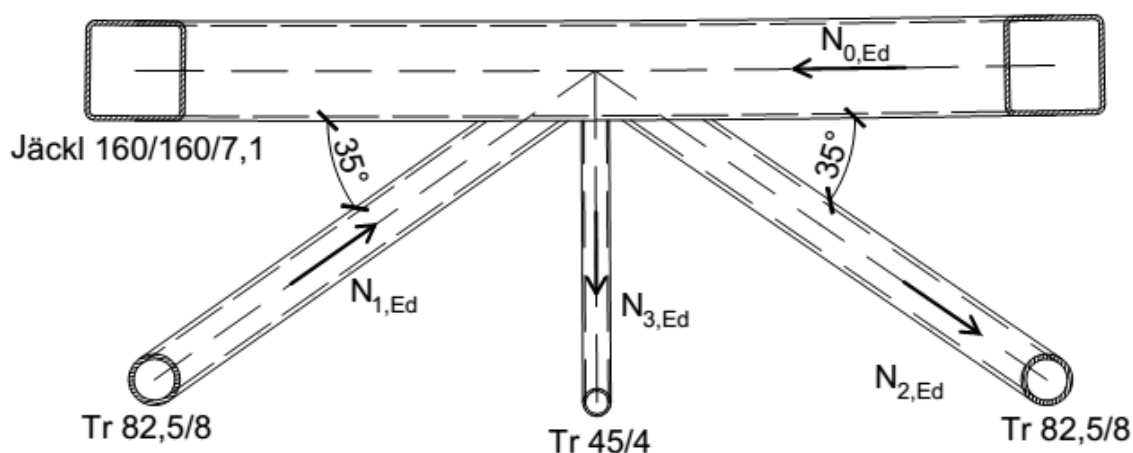
Prolomení smykem

$$b_{e,p} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot d_1 = \frac{10}{\frac{220}{10}} \cdot 45 = 20 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{f_{y,0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin \theta_1} \cdot \left(\frac{2 \cdot d_1}{\sin \theta_1} + 2 \cdot b_{e,p} \right)}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{355 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot \sin 90} \cdot \left(\frac{2 \cdot 45}{\sin 90} + 2 \cdot 20 \right)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 209,267 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 43,562 \text{ kN} < N_{1,Rd} = 209,267 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

5.3 Připojení diagonál a svislice k hornímu pásu

Obr. 23: KT styčnick u horního pásu

Vnitřní síly

$$N_{0,Ed} = 419,95 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 165,84 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 131,86 \text{ kN}$$

$$N_{3,Ed} = 11,02 \text{ kN}$$

Rozměry

$$t_0 = 7,1 \text{ mm}; t_1 = t_2 = 8 \text{ mm}; t_3 = 4 \text{ mm}$$

$$b_0 = h_0 = 160 \text{ mm}; d_1 = d_2 = 82,5 \text{ mm}; d_3 = 45 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = \theta_2 = 35^\circ; \theta_3 = 90^\circ$$

Posouzení svaru diagonály 1 na horní pás

$$a_{\min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 7,1 = 8 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = \pi \cdot d_1 = \pi \cdot 82,5 = 259,2 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 259,2 \cdot 4 = 1036,7 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{165,84 \cdot 10^3 \cdot \sin 35}{1036,7 \cdot \sqrt{2}} = 64,88 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{1,Ed} \cdot \cos \theta_1}{A} = \frac{165,84 \cdot 10^3 \cdot \cos 35}{1036,7} = 131,04 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{64,88^2 + 3 \cdot 64,88^2 + 3 \cdot 131,04^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$261,43 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$64,88 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$64,88 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení svaru diagonály 2 na horní pás

$$a_{\min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 7,1 = 8 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = \pi \cdot d_2 = \pi \cdot 82,5 = 259,2 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 259,2 \cdot 4 = 1036,7 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{2,Ed} \cdot \sin \theta_2}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{131,86 \cdot 10^3 \cdot \sin 35}{1036,7 \cdot \sqrt{2}} = 51,59 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{2,Ed} \cdot \cos \theta_2}{A} = \frac{131,86 \cdot 10^3 \cdot \cos 35}{1036,7} = 104,19 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{51,59^2 + 3 \cdot 51,59^2 + 3 \cdot 104,19^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$207,87 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \cdots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$51,59 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$51,59 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \cdots \text{vyhovuje}$$

Posouzení svaru svislice na horní pás

$$a_{\min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 4 = 4 \text{ mm} \rightarrow a = 3 \text{ mm}$$

$$L = \pi \cdot d_3 = \pi \cdot 45 = 141,4 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 141,4 \cdot 3 = 424,1 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{3,Ed}}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{11,02 \cdot 10^3}{424,1 \cdot \sqrt{2}} = 18,37 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{18,37^2 + 3 \cdot 18,37^2 + 3 \cdot 0} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$36,73 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \cdots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$18,37 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$18,37 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \cdots \text{vyhovuje}$$

Rozsah platnosti

$$\frac{d_1}{b_0} = \frac{82,5}{160} = 0,52 \geq 0,25 \cdots \text{platí}$$

$$\frac{d_3}{b_0} = \frac{45}{160} = 0,28 \geq 0,25 \cdots \text{platí}$$

$$\frac{d_1}{t_1} = \frac{82,5}{8} = 10,3 \leq 35 \cdots \text{platí}$$

$$\frac{d_3}{t_3} = \frac{45}{4} = 11,3 \leq 35 \dots \text{platí}$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{160}{7,1} = 22,5 \geq 15 \dots \text{platí}$$

$$0,6 \leq \frac{d_1 + d_2}{2d_1} \leq 1,3 \rightarrow 0,6 \leq 1,0 \leq 1,3 \dots \text{platí}$$

Odolnost proti porušení povrchu horního pásu

$$\beta = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot b_0} = \frac{82,5 + 82,5 + 45}{3 \cdot 160} = 0,44$$

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{160}{2 \cdot 7,1} = 11,27$$

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{419,95 \cdot 10^3}{4,21 \cdot 10^{-3}} + \frac{5,381 \cdot 10^3}{2,02 \cdot 10^{-4}} = 126,39 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y,0}} = \frac{126,39}{355} = 0,36$$

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4 \cdot n}{\beta} = 1,3 - \frac{0,4 \cdot 0,36}{0,44} = 0,97$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot k_n \cdot f_{y,0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_1} \cdot \left(\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot 0,97 \cdot 355 \cdot 7,1^2 \cdot \sqrt{11,27}}{\sin 35} \cdot \left(\frac{82,5 + 82,5 + 45}{3 \cdot 160} \right)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 312,19 \text{ kN}$$

Posouzení

$$N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$165,84 \cdot \sin 35 \leq 312,19 \cdot \sin 35$$

$$95,122 \text{ kN} \leq 179,018 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

$$N_{2,Ed} \cdot \sin \theta_2 + N_{3,Ed} \cdot \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$131,86 \cdot \sin 35 + 11,02 \cdot \sin 90 \leq 312,19 \cdot \sin 35$$

$$86,647 \text{ kN} \leq 179,018 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Odolnost proti porušení mezipásového prutu

Diagonály:

$$b_{\text{eff}} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot \frac{f_{y,0} \cdot t_0}{f_{y,1} \cdot t_1} \cdot d_1 = \frac{10}{\frac{160}{7,1}} \cdot \frac{355 \cdot 10^6 \cdot 7,1}{355 \cdot 10^6 \cdot 8} \cdot 82,5 = 32 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = N_{2,Rd} = \frac{f_{y,1} \cdot t_1 \cdot (2d_1 - 4t_1 + d_1 + b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{1,Rd} = N_{2,Rd} = \frac{355 \cdot 8 \cdot (2 \cdot 82,5 - 4 \cdot 8 + 82,5 + 32)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 553,151 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 165,84 \text{ kN} < N_{1,Rd} = 553,151 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

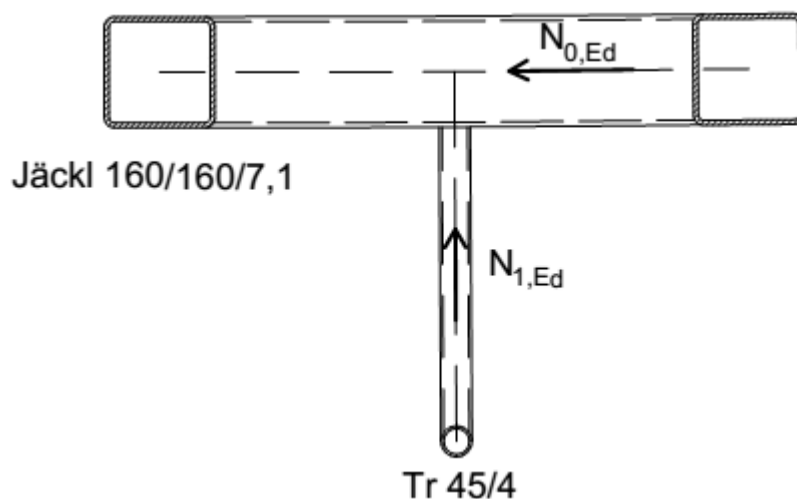
Svislice:

$$b_{\text{eff}} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot \frac{f_{y,0} \cdot t_0}{f_{y,3} \cdot t_3} \cdot d_3 = \frac{10}{\frac{160}{7,1}} \cdot \frac{355 \cdot 10^6 \cdot 7,1}{355 \cdot 10^6 \cdot 4} \cdot 45 = 35 \text{ mm}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{f_{y,3} \cdot t_3 \cdot (2d_3 - 4t_3 + d_3 + b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{355 \cdot 4 \cdot (2 \cdot 45 - 4 \cdot 4 + 45 + 35)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 172,247 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 11,02 \text{ kN} < N_{1,Rd} = 172,247 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

5.4 Připojení vnitřní svislice k hornímu pásu

Obr. 24: T styčník u horního pásu

Vnitřní síly

$$N_{0,Ed} = 303,18 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 13,986 \text{ kN}$$

Rozměry

$$t_0 = 7,1 \text{ mm}; t_1 = 4 \text{ mm}$$

$$b_0 = h_0 = 160 \text{ mm}; d_1 = 45 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = 90^\circ$$

Posouzení svaru svislice na horní pás

$$a_{\min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 4 = 4 \text{ mm} \rightarrow a = 3 \text{ mm}$$

$$L = \pi \cdot d_3 = \pi \cdot 45 = 141,4 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 141,4 \cdot 3 = 424,1 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{1,Ed}}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{13,986 \cdot 10^3}{424,1 \cdot \sqrt{2}} = 23,32 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{23,32^2 + 3 \cdot 23,32^2 + 3 \cdot 0} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$46,64 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$23,32 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$23,32 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Rozsah platnosti

$$\frac{d_1}{b_0} = \frac{45}{160} = 0,28 > 0,25 \dots \text{platí}$$

$$\frac{d_1}{t_1} = \frac{45}{4} = 11,25 \leq 35 \dots \text{platí}$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{160}{7,1} = 22,5 \geq 15 \dots \text{platí}$$

Odolnost proti porušení povrchu horního pásu

$$\beta = \frac{d_1}{b_0} = \frac{45}{160} = 0,28$$

$$\eta = \frac{d_1}{b_0} = \frac{45}{160} = 0,28$$

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{303,18 \cdot 10^3}{4,21 \cdot 10^{-3}} + \frac{4,52 \cdot 10^3}{2,02 \cdot 10^{-4}} = 94,39 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y,0}} = \frac{94,39}{355} = 0,27$$

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4 \cdot n}{\beta} = 1,3 - \frac{0,4 \cdot 0,27}{0,28} = 0,92$$

$$N_{1,Rd} = \frac{k_n \cdot f_{y,0} \cdot t_0^2 \cdot \left(\frac{2\eta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1-\beta} \right)}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{0,92 \cdot 355 \cdot 7,1^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot 0,28}{\sin 90} + 4\sqrt{1-0,28} \right)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 77,31 \text{ kN}$$

$$13,986 \text{ kN} \leq 77,31 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Odolnost proti porušení mezipásového prutu

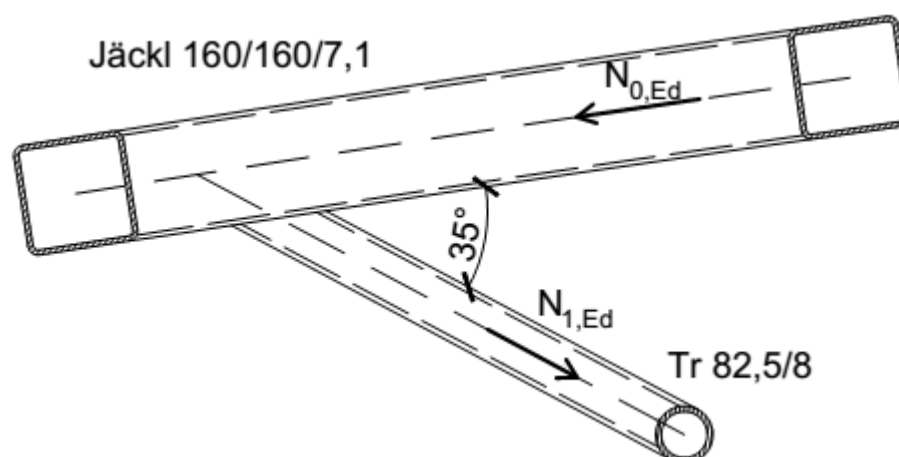
$$b_{eff} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot \frac{f_{y,0} \cdot t_0}{f_{y,1} \cdot t_1} \cdot d_1 = \frac{10}{\frac{160}{7,1}} \cdot \frac{355 \cdot 10^6 \cdot 7,1}{355 \cdot 10^6 \cdot 4} \cdot 45 = 35 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y,1} \cdot t_1 \cdot (2d_1 - 4t_1 + 2b_{eff})}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{355 \cdot 4 \cdot (2 \cdot 45 - 4 \cdot 4 + 2 \cdot 35)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 160,598 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 43,562 \text{ kN} < N_{1,Rd} = 160,598 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

5.5 Připojení krajní diagonály k hornímu pásu



Obr. 25: připojení diagonály k hornímu pásu

Vnitřní síly

$$N_{0,Ed} = 192,81 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 207,94 \text{ kN}$$

Rozměry

$$t_0 = 7,1 \text{ mm}; t_1 = 8 \text{ mm}$$

$$b_0 = h_0 = 160 \text{ mm}; d_1 = 82,5 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = 35^\circ$$

Posouzení svaru diagonály na horní pás

$$a_{\min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 7,1 = 8 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = \pi \cdot d_1 = \pi \cdot 82,5 = 259,2 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 259,2 \cdot 4 = 1036,7 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{207,94 \cdot 10^3 \cdot \sin 35}{1036,7 \cdot \sqrt{2}} = 81,35 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{1,Ed} \cdot \cos \theta_1}{A} = \frac{207,94 \cdot 10^3 \cdot \cos 35}{1036,7} = 164,3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{81,35^2 + 3 \cdot 81,35^2 + 3 \cdot 164,3^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$327,8 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$81,35 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$81,35 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Rozsah platnosti

$$\frac{d_1}{b_0} = \frac{82,5}{160} = 0,52 > 0,25 \dots \text{platí}$$

$$\frac{d_1}{t_1} = \frac{82,5}{8} = 10,3 \leq 35 \dots \text{platí}$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{160}{7,1} = 22,5 \geq 15 \dots \text{platí}$$

Odolnost proti porušení povrchu horního pásu

$$\beta = \frac{d_1}{b_0} = \frac{82,5}{160} = 0,52$$

$$\eta = \frac{d_1}{b_0} = \frac{82,5}{160} = 0,52$$

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{192,81 \cdot 10^3}{4,21 \cdot 10^{-3}} + \frac{2,646 \cdot 10^3}{2,02 \cdot 10^{-4}} = 58,897 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y,0}} = \frac{58,897}{355} = 0,17$$

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4 \cdot n}{\beta} = 1,3 - \frac{0,4 \cdot 0,17}{0,52} = 1,17 \rightarrow k_n = 1,0$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{k_n \cdot f_{y,0} \cdot t_0^2}{(1 - \beta) \cdot \sin \theta_1} \cdot \left(\frac{2\eta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - \beta} \right)}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{1,0 \cdot 355 \cdot 7,1^2}{(1 - 0,52) \cdot \sin 35} \cdot \left(\frac{2 \cdot 0,52}{\sin 35} + 4\sqrt{1 - 0,52} \right)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 231,792 \text{ kN}$$

$$207,94 \text{ kN} \leq 231,792 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Odolnost proti porušení mezipásového prutu

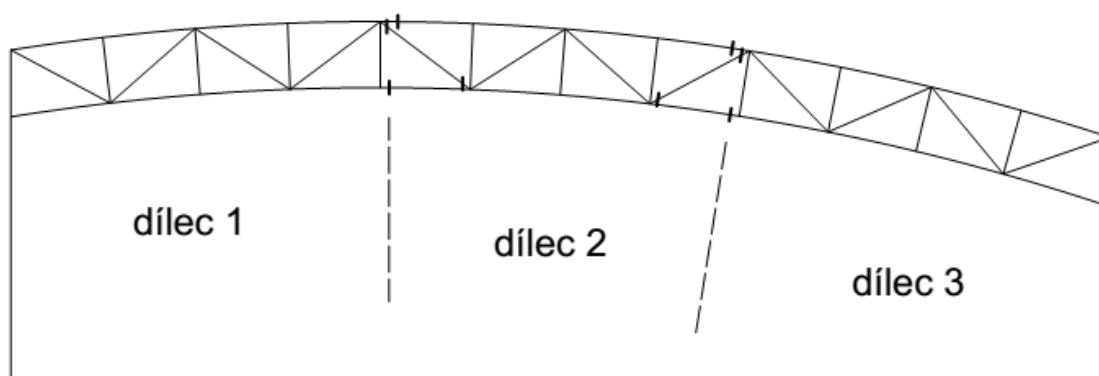
$$b_{eff} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot \frac{f_{y,0} \cdot t_0}{f_{y,1} \cdot t_1} \cdot d_1 = \frac{10}{\frac{160}{7,1}} \cdot \frac{355 \cdot 10^6 \cdot 7,1}{355 \cdot 10^6 \cdot 8} \cdot 82,5 = 32 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y,1} \cdot t_1 \cdot (2d_1 - 4t_1 + 2b_{eff})}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{355 \cdot 8 \cdot (2 \cdot 82,5 - 4 \cdot 8 + 2 \cdot 32)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 439,414 \text{ kN}$$

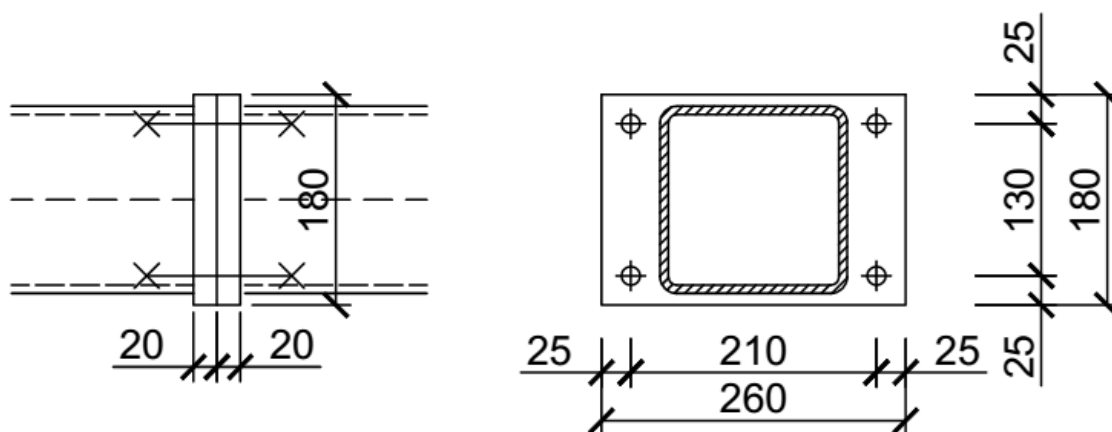
$$N_{1,Ed} = 207,94 \text{ kN} < N_{1,Rd} = 439,414 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

6 Posouzení montážních spojů



Obr. 26: rozdělení montážních dílů

6.1 Montážní spoj horního pásu



Obr. 27: montážní spoj horního pásu

4x šrouby M16 8.8

Vnitřní síly

$$N_{Ed} = 175,67 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 9,793 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 6,656 \text{ kNm}$$

Rozměry a materiálové charakteristiky

$$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}; d_m = 25,9 \text{ mm}; A = 201,1 \text{ mm}^2; A_S = 157 \text{ mm}^2$$

$$t = 20 \text{ mm}; f_{ub} = 800 \text{ MPa}; f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \rightarrow e_1 = 25 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \rightarrow p_1 = 210 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \rightarrow e_2 = 25 \text{ mm}$$

$$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \rightarrow p_2 = 130 \text{ mm}$$

Posouzení na smyk

a) posouzení na stříh

$$\text{síla na jeden šroub } F_{v,1,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{9,793}{4} = 2,448 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 201,1}{1,25} = 77,208 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{2,448}{77,208} = 0,03 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

b) posouzení na otláčení materiálu

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(2,19; 8,41; 2,5) = 2,19$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,46; 3,64; 1,63; 1) = 0,46$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,19 \cdot 0,46 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 20}{1,25} = 127,118 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{2,448}{127,118} = 0,02 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na tah

$$F_{t,1,Ed}' = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{175,67}{4} = 43,918 \text{ kN}$$

vliv páčení

$$b = 25 \text{ mm}; a = 25 \text{ mm}; r = 123,5 \text{ mm}$$

$$t_E = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}} = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{25 \cdot 16^2}{25}} = 27,3$$

$$\gamma_P = 1 + 0,005 \cdot \frac{t_E^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \cdot \frac{27,3^3 - 20^3}{16^2} = 1,24$$

$$F_{1M} = M_{y,Ed} \cdot \frac{r}{\sum r^2} = 6,656 \cdot \frac{123,5}{4 \cdot 123,5^2} = 13,474 \text{ kN}$$

$$F_{t,1,Ed} = \gamma_P \cdot (F_{t,1,Ed}' + F_{1M}) = 1,24 \cdot (43,918 + 13,474) = 71,239 \text{ kN}$$

a) posouzení na přetržení

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_S}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 157}{1,25} = 90,432 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{71,239}{90,432} = 0,79 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

b) posouzení na protržení

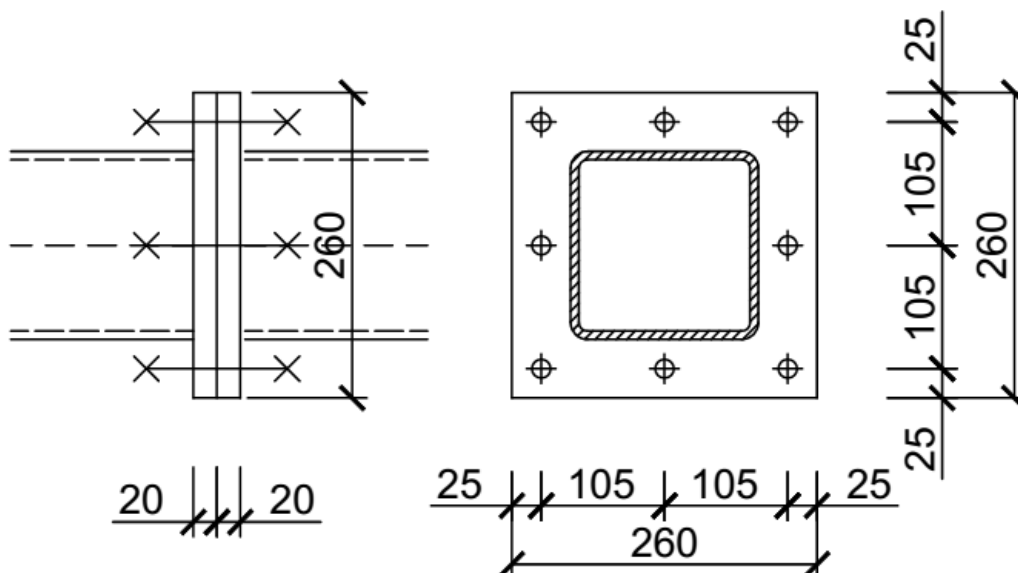
$$B_{P,Rd} = \frac{0,6 \cdot d_m \cdot t \cdot f_u \cdot \pi}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 25,9 \cdot 20 \cdot 490 \cdot \pi}{1,25} = 382,752 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{B_{P,Rd}} = \frac{71,239}{382,752} = 0,19 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Kombinace smyku a tahu

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,1,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{2,448}{77,208} + \frac{71,239}{1,4 \cdot 90,432} = 0,59 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

6.2 Montážní spoj dolního pásu



Obr. 28: montážní spoj dolního pásu

8x šrouby M16 8.8

Vnitřní síly

$$N_{Ed} = 492,66 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 10,708 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 4,291 \text{ kNm}$$

Rozměry a materiálové charakteristiky

$$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}; d_m = 25,9 \text{ mm}; A = 201,1 \text{ mm}^2; A_S = 157 \text{ mm}^2$$

$$t = 20 \text{ mm}; f_{ub} = 800 \text{ MPa}; f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \rightarrow e_1 = 25 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \rightarrow p_1 = 105 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \rightarrow e_2 = 25 \text{ mm}$$

$$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \rightarrow p_2 = 105 \text{ mm}$$

Posouzení na smyk

a) posouzení na stříh

$$\text{síla na jeden šroub } F_{v,1,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{8} = \frac{10,708}{8} = 1,339 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 201,1}{1,25} = 77,208 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{1,339}{77,208} = 0,02 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

b) posouzení na otláčení materiálu

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(2,19; 6,47; 2,5) = 2,19$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,46; 1,69; 1,63; 1) = 0,46$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,19 \cdot 0,46 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 20}{1,25} = 127,118 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{1,339}{127,118} = 0,01 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na tah

$$F_{t,1,Ed}' = \frac{N_{Ed}}{8} = \frac{492,66}{8} = 61,583 \text{ kN}$$

vliv páčení

$$b = 25 \text{ mm}; a = 25 \text{ mm}; r_1 = 105 \text{ mm}; r_2 = 148,5 \text{ mm}$$

$$t_E = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}} = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{25 \cdot 16^2}{25}} = 27,3$$

$$\gamma_P = 1 + 0,005 \cdot \frac{t_E^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \cdot \frac{27,3^3 - 20^3}{16^2} = 1,24$$

$$F_{1M} = M_{y,Ed} \cdot \frac{r_2}{\sum(r_1^2 + r_2^2)} = 4,291 \cdot \frac{148,5}{4 \cdot 105^2 + 4 \cdot 148,5^2} = 4,816 \text{ kN}$$

$$F_{t,1,Ed} = \gamma_P \cdot (F_{t,1,Ed}' + F_{1M}) = 1,24 \cdot (61,583 + 4,816) = 82,42 \text{ kN}$$

a) posouzení na přetržení

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_S}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 157}{1,25} = 90,432 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{82,42}{90,432} = 0,91 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

b) posouzení na protržení

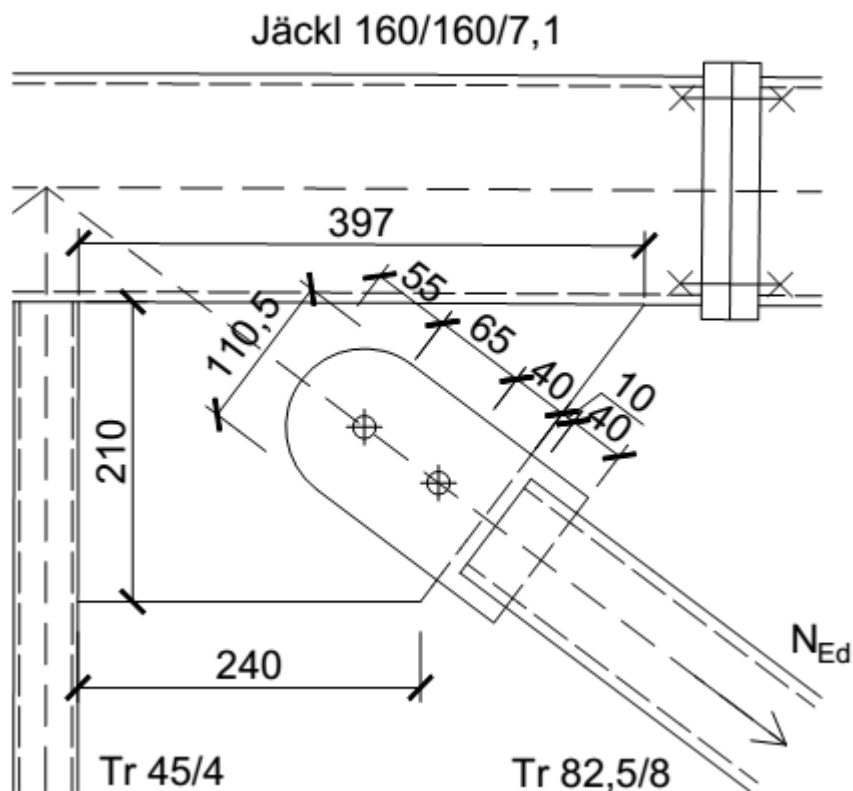
$$B_{P,Rd} = \frac{0,6 \cdot d_m \cdot t \cdot f_u \cdot \pi}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 25,9 \cdot 20 \cdot 490 \cdot \pi}{1,25} = 382,752 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{B_{P,Rd}} = \frac{82,42}{382,752} = 0,22 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Kombinace smyku a tahu

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,1,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{1,339}{77,208} + \frac{82,42}{1,4 \cdot 90,432} = 0,67 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

6.3 Montážní spoj diagonály vazníku



Obr. 29: montážní spoj diagonály

2x šrouby M16 5.6

Vnitřní síly

$$N_{Ed} = 66,246 \text{ kN}$$

Rozměry a materiálové charakteristiky

$$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}; d_m = 25,9 \text{ mm}; A = 201,1 \text{ mm}^2; A_s = 157 \text{ mm}^2$$

$$t = 8 \text{ mm}; f_{ub} = 500 \text{ MPa}; f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \rightarrow e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \rightarrow p_1 = 65 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \rightarrow e_2 = 55 \text{ mm}$$

Posouzení na smyk

c) posouzení na střih

$$\text{síla na jeden šroub } F_{v,1,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{66,246}{2} = 33,123 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201,1}{1,25} = 48,255 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{33,123}{48,255} = 0,69 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

d) posouzení na otláčení materiálu

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(6,86; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(0,74; 0,95; 1,02; 1) = 0,74$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 8}{1,25} = 92,919 \text{ kN}$$

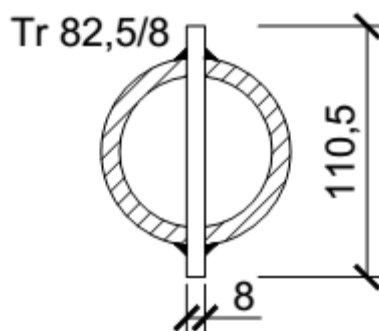
$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{33,123}{92,919} = 0,36 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na oslabení

$$A_{net} = A_p - d_0 \cdot t = 110 \cdot 8 - 18 \cdot 8 = 736 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 736 \cdot 490}{1,25} = 259,66 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{66,246}{259,66} = 0,26 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení svaru diagonála – styčníkový plech

Obr. 30: spoj diagonály se styčníkovým plechem

$$a_{\min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 8 = 9 \text{ mm} \rightarrow a = 3 \text{ mm}$$

$$L = 40 - 2 \cdot a = 40 - 2 \cdot 3 = 34 \text{ mm}$$

$$A = 4 \cdot L \cdot a = 4 \cdot 34 \cdot 3 = 408 \text{ mm}^2$$

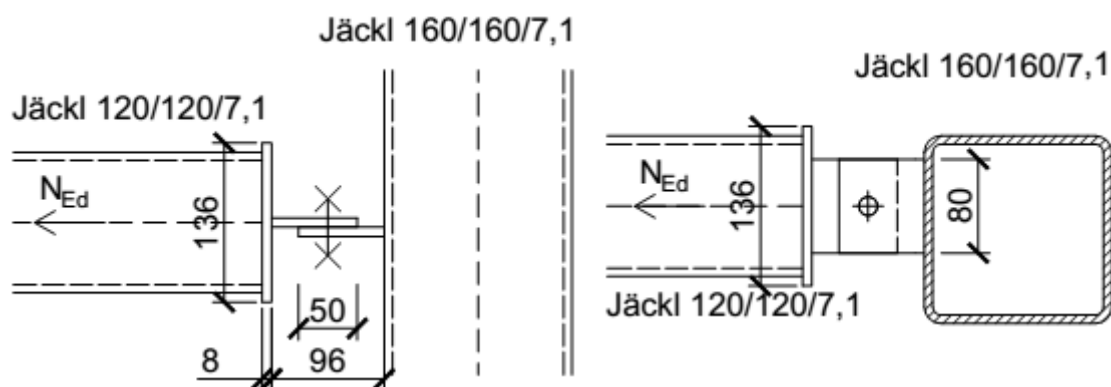
$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{66,246 \cdot 10^3}{408} = 162,368 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0^2 + 3 \cdot 0^2 + 3 \cdot 162,368^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$281,23 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

6.4 Připojení vaznice na horní pás vazníku



Obr. 31: půdorys a řez spoje vaznice na horní pás vazníku

1x šroub M16 8.8

Vnitřní síly

$$N_{Ed} = 47,131 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 3,875 \text{ kN}$$

Rozměry a materiálové charakteristiky

$$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}; d_m = 25,9 \text{ mm}; A = 201,1 \text{ mm}^2; A_s = 157 \text{ mm}^2$$

$$t = 8 \text{ mm}; f_{ub} = 800 \text{ MPa}; f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \rightarrow e_1 = 24 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \rightarrow e_2 = 40 \text{ mm}$$

Posouzení na smyk

a) posouzení na střih

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 201,1}{1,25} = 77,208 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{47,131}{77,208} = 0,61 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

b) posouzení na otláčení materiálu

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(4,52; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(0,44; -; 1,63; 1) = 0,44$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,44 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 8}{1,25} = 55,194 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{47,131}{55,194} = 0,85 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na oslabení

$$A_{net} = A_p - d_0 \cdot t = 80 \cdot 8 - 18 \cdot 8 = 496 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 496 \cdot 490}{1,25} = 174,989 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{47,131}{174,989} = 0,27 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení svaru kolem profilu vaznice

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 7,1 = 8 \text{ mm} \rightarrow a = 3 \text{ mm}$$

$$L_1 = L_2 = 120 - 2 \cdot a = 114 \text{ mm}$$

$$A_1 = A_2 = 2 \cdot L_1 \cdot a = 2 \cdot 114 \cdot 3 = 684 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{A_1 \cdot \sqrt{2}} = \frac{47,131 \cdot 10^3}{684 \cdot \sqrt{2}} = 48,72 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_2} = \frac{3,875 \cdot 10^3}{684} = 5,67 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{48,72^2 + 3 \cdot 48,72^2 + 3 \cdot 5,67^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

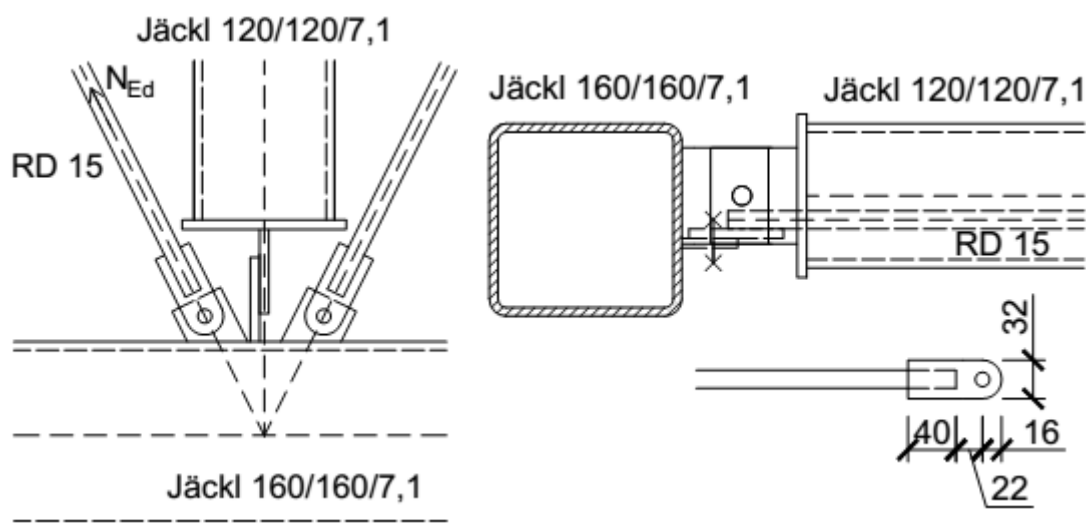
$$97,93 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \cdots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$48,72 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$48,72 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \cdots \text{vyhovuje}$$

6.5 Připojení příčného ztužidla k hornímu pásu vazníku



Obr. 32: půdorys a řez spoje příčného ztužidla k hornímu pásu vazníku

1x šroub M12 5.6

Vnitřní síly

$$N_{Ed} = 22,551 \text{ kN}$$

Rozměry a materiálové charakteristiky

$$d = 12 \text{ mm}; d_0 = 13 \text{ mm}; d_m = 20,5 \text{ mm}; A = 113,1 \text{ mm}^2; A_s = 84,3 \text{ mm}^2$$

$$t = 8 \text{ mm}; f_{ub} = 500 \text{ MPa}; f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \rightarrow e_1 = 16 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \rightarrow e_2 = 16 \text{ mm}$$

Posouzení na smyk

a) posouzení na střih

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 113,1}{1,25} = 27,143 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{22,551}{27,143} = 0,83 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

b) posouzení na otlačení materiálu

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(1,75; -; 2,5) = 1,75$$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(0,41; -; 1,02; 1) = 0,41$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{1,75 \cdot 0,41 \cdot 490 \cdot 12 \cdot 8}{1,25} = 27,01 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{22,551}{27,01} = 0,83 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na oslabení

$$A_{net} = A_p - d_0 \cdot t = 32 \cdot 8 - 13 \cdot 8 = 152 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 152 \cdot 490}{1,25} = 53,626 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{22,551}{53,626} = 0,42 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení svaru styčnickový plech – příčné ztužidlo

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 8 = 9 \text{ mm} \rightarrow a = 3 \text{ mm}$$

$$L = 40 - 2 \cdot a = 34 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 34 \cdot 3 = 204 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$$

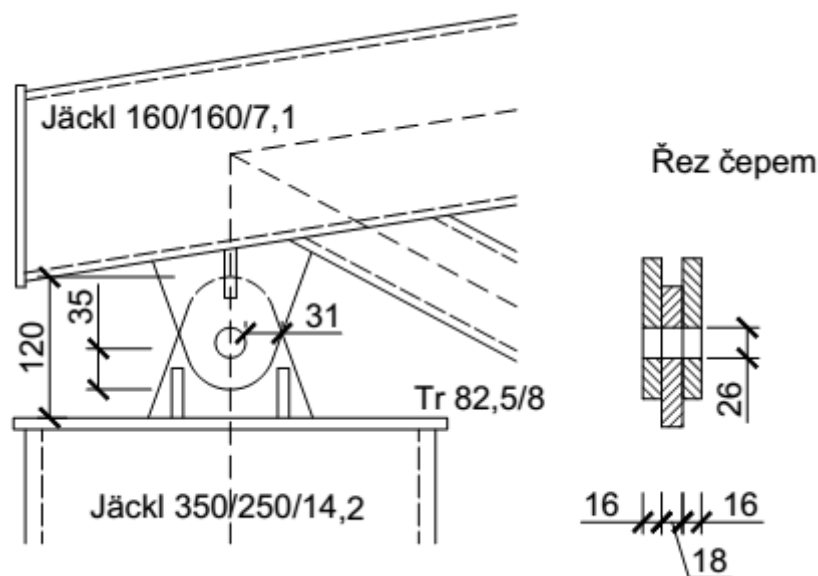
$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{22,551 \cdot 10^3}{204} = 110,544 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0 + 3 \cdot 0 + 3 \cdot 110,544^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$191,47 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

6.6 Připojení vazníku na sloup



Obr. 33: připojení vazníku na sloup

Čep M24 8.8

Vnitřní síly

$$N_{Ed} = 135,46 \text{ kN}$$

Rozměry a materiálové charakteristiky

$$d = 24 \text{ mm}; d_0 = 26 \text{ mm}; A = 452,4 \text{ mm}^2; W_{el} = 1357,2 \text{ mm}^3$$

$$t = 18 \text{ mm}; t_1 = 16 \text{ mm}; f_{up} = 800 \text{ MPa}; f_{yp} = 640 \text{ MPa}$$

Rozteče

$$a > \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{135,46 \cdot 1,0}{2 \cdot 18 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{2 \cdot 26}{3} = 27,9 \rightarrow 35 \text{ mm}$$

$$c > \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{135,46 \cdot 1,0}{2 \cdot 18 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{26}{3} = 19,3 \rightarrow 31 \text{ mm}$$

Posouzení na střih

$n = 2$... počet stříhových rovin

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{up} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 452,4}{1,25} = 347,44 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{135,46}{347,44} = 0,39 < 1,0 \text{ ... vyhovuje}$$

Posouzení na únosnost plechu a čepu v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot f_y \cdot d \cdot t}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 355 \cdot 24 \cdot 18}{1,0} = 230,04 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{135,46}{230,04} = 0,59 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení na únosnost čepu v ohybu

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{8} \cdot (d + 4 \cdot (d_0 - d) + 2 \cdot t_1) = \frac{135,46}{8} \cdot (24 + 4 \cdot 2 + 2 \cdot 16) = 0,98 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 1357,2 \cdot 10^{-9} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 1,3 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{0,98}{1,3} = 0,75 < 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

Kombinace střihu a ohybu

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 = \left[\frac{0,98}{1,3} \right]^2 + \left[\frac{135,46}{347,44} \right]^2 = 0,72 \dots \text{vyhovuje}$$

7 Kotvení sloupů

Kotvení sloupů je navrženo v programu Hilti Profis Anchor. Dokument z programu viz přílohy.