

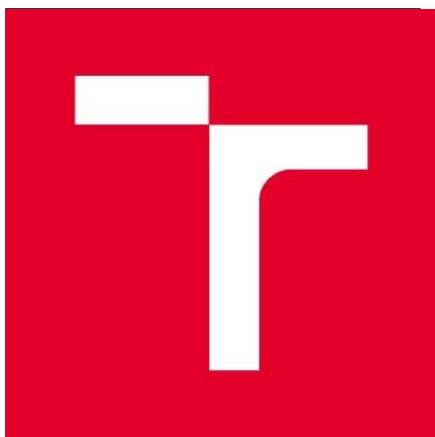
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta stavební

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2022

Kamil Trunek



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

SPORTOVNÍ HALA

THE SPORT HALL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kamil Trunek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. STANISLAV BUCHTA, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

SPORTOVNÍ HALA

THE SPORT HALL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kamil Trunek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. STANISLAV BUCHTA, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608R001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Kamil Trunek
Název	Sportovní hala
Vedoucí práce	Ing. Stanislav Buchta, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

ČSN EN 1991 Zatížení staveb

ČSN EN 1993 Navrhování ocelových konstrukcí

Ocelové konstrukce pozemních staveb, Faltus

Kovové konstrukce - Konstrukce průmyslových budov, Melcher, Straka

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Navrhněte a posuďte nosnou ocelovou konstrukci sportovní haly o půdorysných rozměrech 35x45m a světlé výšce střešní konstrukce 12m. Hala se nachází v lokalitě Brno.

Vypracujte:

Technickou zprávu s alternativami řešení.

Statický výpočet základních nosných prvků.

Výkresovou dokumentaci v rozsahu dispozičních výkresů včetně výkresu směrných detailů.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Stanislav Buchta, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Hlavným cieľom bakalárskej práce je vypracovanie statického návrhu nosnej ocelevej konštrukcie športovej haly.

Pôdorysné rozmery tejto haly sú 45x 35 metrov, pričom výška konštrukcie nad terénom je 17,7 metra.

Hlavná nosná časť je tvorená priečne oblúkovými väzbami, ktoré sú uložené pomocou čapov na betónových blokoch. Tieto oblúky sú navrhnuté ako priehradové s osovou vzdialenosťou 6 metrov. Priestorovou tuhosť zaisťujú pozdĺžne, priečne stužidlá, a tiež väznice. Štítové steny sú tvorené priehradovými stĺpmi, ktoré sú kĺbovo uložené. Prvky sú z ocele triedy S235 JR. Stenové a strešné opláštenie je riešené zo sendvičových panelov. Športová hala je situovaná v lokalite Brno.

KLÍČOVÁ SLOVA

Športová hala , oceleová konštrukcia, statické posúdenie, priehradový oblúk, čapový spoj

ABSTRACT

The aim of bachelor thesis is design a static assessment of steel construction of sport hall.

The floor dimensions of the building are 45x35m and the height of the construction above the ground is 17,7m.

The main load-bearing construction is made of arched truss girders which are laid by pins on the concrete blocks. The range between these arched truss girders is 6m apart. The spatial rigidity of the construction is ensured with bracings and also with purlins. The front walls are formed by lattice columns that are articulated. The main elements of the construction are made of steel class S235 JR. Roof and front walls cladding is made of sandwich panels. Sport hall is situated in Brno.

KEYWORDS

Sport hall, steel construction, static assessment , arched truss girders, pin joint

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Kamil Trunek *Sportovní hala*. Brno, 2022, 207 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Stanislav Buchta, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

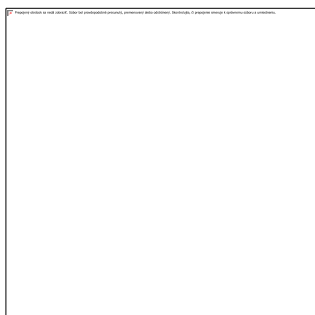
Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Sportovní hala* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 27. 5. 2022

Kamil Trunek
autor práce

POĎAKOVANIE

Chcel by som veľmi poďakovať môjmu vedúcemu bakalárskej práce, pánovi Ing. Stanislavovi Buchtovi, Ph.D. za jeho odborné rady, čas, pomoc a trpezlivosť pri vypracovaní mojej práce.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

SPORTOVNÍ HALA

THE SPORT HALL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kamil Trunek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. STANISLAV BUCHTA, Ph.D.

BRNO 2022

Obsah

1	ÚVOD	7
2	GEOMETRIA	8
2.1	SCHÉMA DISPOZÍCIA HALY	8
2.2	PÔDORYSNÁ SCHÉMA	9
2.3	SCHÉMA PRIEČNEJ VÄZBY	9
2.4	VÝPOČTOVÝ MODEL	10
3	ZAŤAŽENIE	11
3.1	ZAŤAŽENIE STÁLE.....	11
3.1.1	ZS1 VLASTNÁ TIAŽ	11
3.1.2	ZS2 STREŠNÝ A STENOVÝ PLÁŠŤ	11
3.1.3	ZS3 OSTATNÉ STÁLE ZAŤAŽENIE	11
3.2	PREMENNÉ ZATAŽENIE (KLIMATICKÉ) - SNEH	11
3.2.1	ZS4 – SNEH PLNÝ.....	12
3.2.2	ZS5 – SNEH NAVIATÝ P (II A)	12
3.2.3	ZS6 – SNEH NAVIATÝ L (IIB)	13
3.2.4	ZS7 – SNEH NAVIATÝ P (IIIA)	13
3.2.5	ZS8– SNEH NAVIATÝ L (IIIB)	14
3.3	PREMENNÉ ZATAŽENIE (KLIMATICKÉ)- VIETOR.....	14
3.3.1	ZS9– VIETOR PRIEČNÝ P	15
3.3.2	ZS10– VIETOR PRIEČNÝ P.....	16
3.3.3	ZS11 – VIETOR POZDĹŽNY PREDNY	16
3.3.4	ZS12 – VIETOR POZDĹŽNY ZADNY.....	19
3.3.5	ZS13 – ÚŽITNÉ ZAŤAŽENIE – STRECHA	19
3.4	KOMBINÁCIE ZAŤAŽENIA.....	19
3.4.1	KOMBINÁCIE PRE MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI.....	19
3.4.2	KOMBINÁCIE PRE MEDZNÝ STAV POUŽITELNOSTI.....	19
4	POSÚDENIE NA MSÚ	20
4.1	VÄZNICA.....	20
4.1.1	POSÚDENIE NA OHYB OKOLO OSI Z BEZ KLOPENIA	20
4.1.2	POSÚDENIE NA OHYB OKOLO OSI Y BEZ KLOPENIA	21
4.1.3	POSÚDENIE NA ŠMYK:	21
4.1.4	POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU TLAKU A OHYBU	21
4.2	PRIEHRADOVÝ VÄZNÍK.....	26
4.2.1	HORNÝ PÁS	26
4.2.2	POSÚDENIE NA ŤAH.....	27

4.2.3 POSÚDENIE NA VZPER	27
4.2.4 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU	28
4.2.5 DOLNÝ PÁS.....	31
4.2.6 POSÚDENIE NA ŤAH.....	31
4.2.7 POSÚDENIE NA VZPER	31
4.2.8 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU	33
4.2.9 DIAGONÁLY.....	36
4.2.10ŤAHANÁ DIAGONÁLA	36
4.2.11TLAČENÁ DIAGONÁLA POSUDENIE NA VZPER.....	36
4.2.12ZVISLICE	37
4.2.13POSÚDENIE NA ŤAH.....	38
4.2.14POSUDENIE NA VZPER	38
5 GLOBÁLNA STABILITA VÄZNÍKA.....	39
5.1.1 PRIEČNE STUŽIDLO V KRAJNÝCH POLIACH	40
5.1.2 POSÚDENIE NA VZPER	40
5.1.3 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU	42
5.1.4 POZDĹŽNE STUŽIDLO VRCHOLOVÉ.....	44
5.1.5 DIAGONÁLY.....	44
5.1.6 POSÚDENIE NA VZPER	45
5.1.7 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU	45
5.1.8 DOLNÝ PÁS.....	47
5.1.9 POSÚDENIE NA TAH.....	48
5.1.10POSÚDENIE NA VZPER	48
5.1.11POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU	49
5.1.12PRIEČNÉ STREŠNÉ STUŽIDLO VAZNÍC	51
5.1.13POSÚDENIE NA ŤAH.....	51
5.1.14POZDĹŽNE STUŽIDLO DOLNEHO PÁSU VAZNÍKU.....	52
5.1.15POSÚDENIE NA TAH.....	52
5.1.16POZDĹŽNE OKAPOVÉ STUŽIDLO	52
5.1.17POSÚDENIE NA ŤAH.....	53
5.1.18POSÚDENIE NA VZPER	53
5.2 PAŽDÍKY	54
5.2.1 POSÚDENIE NA VZPER	54
5.2.2 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU	55
5.3 PRIEHRADOVÉ STĹPY	58

5.3.1 DOLNÝ PÁS.....	58
5.3.2 POSÚDENIE NA ŤAH.....	58
5.3.3 POSÚDENIE NA VZPER.....	58
5.3.4 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU.....	60
5.3.5 HORNÝ PÁS.....	62
5.3.6 POSÚDENIE NA VZPER.....	63
5.3.7 DIAGONÁLY.....	68
5.3.8 POSÚDENIE NA ŤAH.....	69
5.3.9 POSÚDENIE NA VZPER.....	69
5.4 VZPERKY.....	70
5.4.1 ŤAHANÁ DIAGONÁLA.....	70
5.4.2 TLAČENÁ DIAGONÁLA POSUDENIE NA VZPER.....	71
5.5 STÍP HEB220.....	72
5.5.1 POSÚDENIE NA OHYB OKOLO OSY Y.....	73
5.5.2 POSÚDENIE NA OHYB OKOLO OSY Z.....	73
5.5.3 POSÚDENIE NA VZPER.....	73
5.5.4 VPLYV KLOPENIA.....	75
5.5.5 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU.....	76
5.6 VÄZNÍK HEB280.....	78
5.6.1 POSÚDENIE NA OHYB OKOLO OSI Z BEZ KLOPENIA.....	79
5.6.2 POSÚDENIE NA OHYB OKOLO OSI Y BEZ KLOPENIA.....	79
5.6.3 POSÚDENIE NA ŠMYK:.....	80
5.6.4 POSÚDENIE NA PROSTÝ TLAK.....	80
5.6.5 POSÚDENIE NA PROSTÝ ŤAH.....	80
5.6.6 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU TLAKU A OHYBU.....	81
6 POSÚDENIE NA MPS.....	86
6.1 ZVISLÉ PRIEHYBY.....	86
6.1.1 VÄZNICA.....	86
6.1.2 OBLÚK.....	86
6.2 VODOROVNÉ PRIEHYBY.....	86
6.2.1 PAŽDÍK.....	86
6.3 STÍP.....	86
7 SPOJE.....	87
7.1 PRIPOJ VÄZNICE K HORENÉMU PÁSU VÄZNÍKU DETAIL 1.....	87
7.2 MONTÁŽNY SPOJ HORNÉHO PÁSU – DETAIL 2.....	89

7.3	PRIPOJENIE DIAGONÁLY K DP – K – STYČNÍK DETAIL 5	91
7.3.1	PORUŠENIE POVRCHU PÁSU	92
7.3.2	PORUŠENIE PRELOMENÍM ŠMYKOM	93
7.3.3	POSÚDENIE ZVARU DIAGONÁLA – DP	94
8	KOTVENIE	95
8.1	KOTVENIE K1 ČAPOVÝ SPOJ.....	95
8.1.1	POSÚDENIE ČAPOVÉHO SPOJA.....	95
8.1.2	ÚNOSNOSŤ ČAPU V STRIHU	95
8.1.3	ÚNOSNOSŤ SAMOTNÉHO STYČNÍKOVÉHO PLECHU V OTLAČENÍ	96
8.1.4	ÚNOSNOSŤ DVOJICE STYČNÍKOVÝCH PLECHOV V OTLAČENÍ.....	96
8.1.5	ÚNOSNOSŤ ČAPU V OHYBE	96
8.1.6	ÚNOSNOSŤ NA KOMBINÁCIU STRIHU A OHYBU	96
8.1.7	NÁVRH STYČNÍKOVÉHO PLECHU	97
8.1.8	ÚNOSNOSŤ V ŤAHU	97
8.1.9	VZPERNÁ ÚNOSNOSŤ PLECHU P18.....	97
8.1.10	STYČNÍKOVÝ PLECH- V PÄTE VÄZNÍKU	98
8.1.11	STYČNÍKOVÝ PLECH V PÄTE VÄZNÍKU HORNÝ PÁS.....	98
8.1.12	STYČNÍKOVÝ PLECH V PÄTE VÄZNÍKU DOLNÝ PÁS	99
8.2	KOTVENIE PRIEČNEJ VAZBY K1	100
8.2.1	POSÚDENIE PATKOVÉHO PLECHU	100
8.2.2	POSÚDENIE ŠMYKOVEJ ZARÁŽKY	101
8.2.3	POSÚDENIE ZARÁŽKY NA OHYB.....	101
8.2.4	POSÚDENIE ZVARU ZARÁŽKY.....	101
8.2.5	POSÚDENIE TLAČENÉHO BETÓNU	102
8.2.6	POSÚDENIE KOTEVNÝCH ŠRÓBOV.....	102
8.3	KOTVENIE PRIEČNEJ VÄZBY K2	103
8.3.1	POSÚDENIE PATKOVÉHO PLECHU	104
8.3.2	POSÚDENIE ZVARU - HEB 280 K PÄTNÝ PLECH P20	104
8.3.3	POSÚDENIE ŠMYKOVEJ ZARÁŽKY	106
8.3.4	POSÚDENIE ZARÁŽKY NA OHYB.....	106
8.3.5	POSÚDENIE ZVARU ZARÁŽKY.....	106
8.3.6	POSÚDENIE TLAČENÉHO BETÓNU	107
8.3.7	POSÚDENIE KOTEVNÝCH ŠRÓBOV.....	107
8.4	KOTVENIE PRIEČNEJ VÄZBY K3	108
8.4.1	POSÚDENIE PATKOVÉHO PLECHU	109

8.4.2 POSÚDENIE ZVARU - HEB 220 K PÄTNÝ PLECH P10	109
8.4.3 POSÚDENIE ŠMYKOVEJ ZARÁŽKY	110
8.4.4 POSÚDENIE ZARÁŽKY NA OHYB.....	111
8.4.5 POSÚDENIE ZVARU ZARÁŽKY.....	111
8.4.6 POSÚDENIE TLAČENÉHO BETÓNU.....	112
8.4.7 POSÚDENIE KOTEVNÝCH ŠRÓBOV.....	112
8.5 MONÁŽNE SPOJE VÄZNÍK HEB280	113

1 ÚVOD

Pre oceľovú konštrukciu športovej haly je vypracovaný statický výpočet. Hala sa nachádza v lokalite Brno a má nasledovné rozmery 35,0 x 40,0m pričom výška konštrukcie nad terénom je 17,73m. Maximálna svetlá výška je 15,335m.

Konštrukcia je tvorená desiatimi oblúkovými priečnymi väzbami s osovou vzdialenosťou 5,0m pričom väzby tvoriace štítové steny budú vyhotovené ako plnostenné oblúkové väzníky typu IPE. Medziľahlé väzby tvorí oblúkový priehradový väzník. Väzníky sú uložené do betónových blokov pomocou čapu. Priečne väzby sú navzájom spojené väznicami typu HEA. Uloženie väzníc je uvažované kĺbovo (na hornú hranu väzníkov). Strešný plášť bude kladený na väznice. Stenový plášť štítových stien kotvený na pažďíky, ktoré sú kĺbovo pripojené k stĺpom. Systém priečných a pozdĺžnych stužidiel zaisťuje priestorovú tuhosť a stabilitu konštrukcie. Stĺpy aj stužidlá sú uložené kĺbovo.

2 GEOMETRIA

- délka haly $L = 45 \text{ m}$
- šířka vězníku $b = 35 \text{ m}$
- vazby $a = 5,0 \text{ m}$
- výška konstrukce nad terénem $H = 17,7\text{m}$

2.1 SCHÉMA DISPOZÍCIA HALY

- rozmery ihrísk :

Tenisový kurt

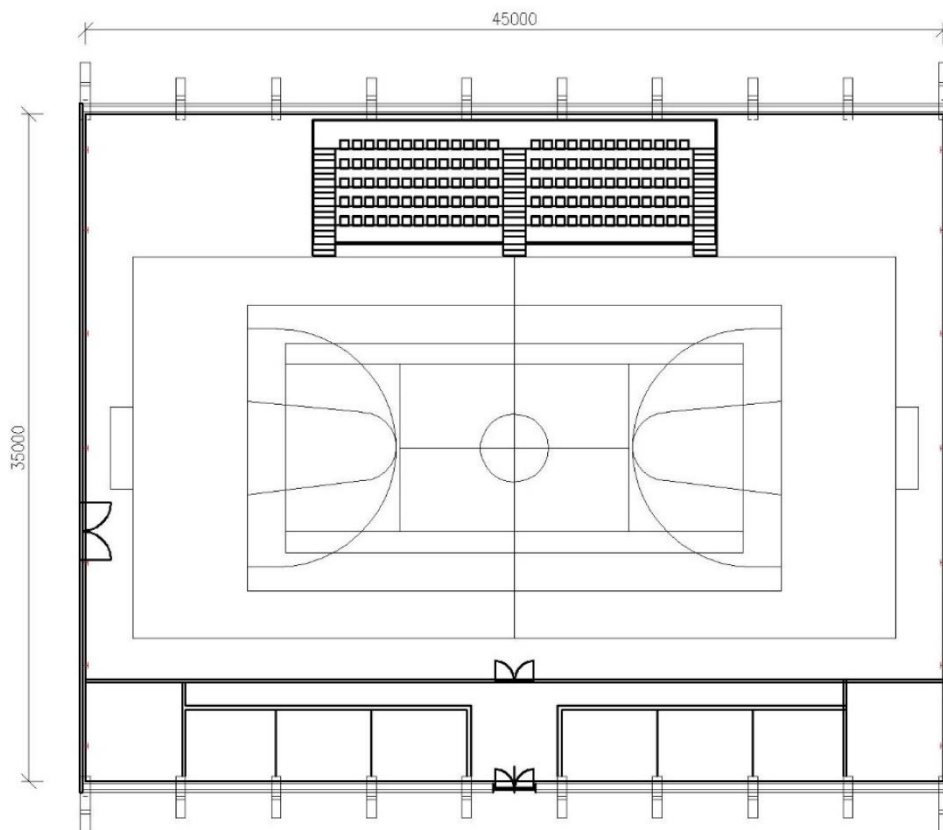
- délka $l = 36,3 \text{ m}$
- šířka $b = 18,3 \text{ m}$
- výška v strede hracej plochy $h_s=12,0\text{m}$
- Minimálna odporúčaná výška 9m

Basketbal

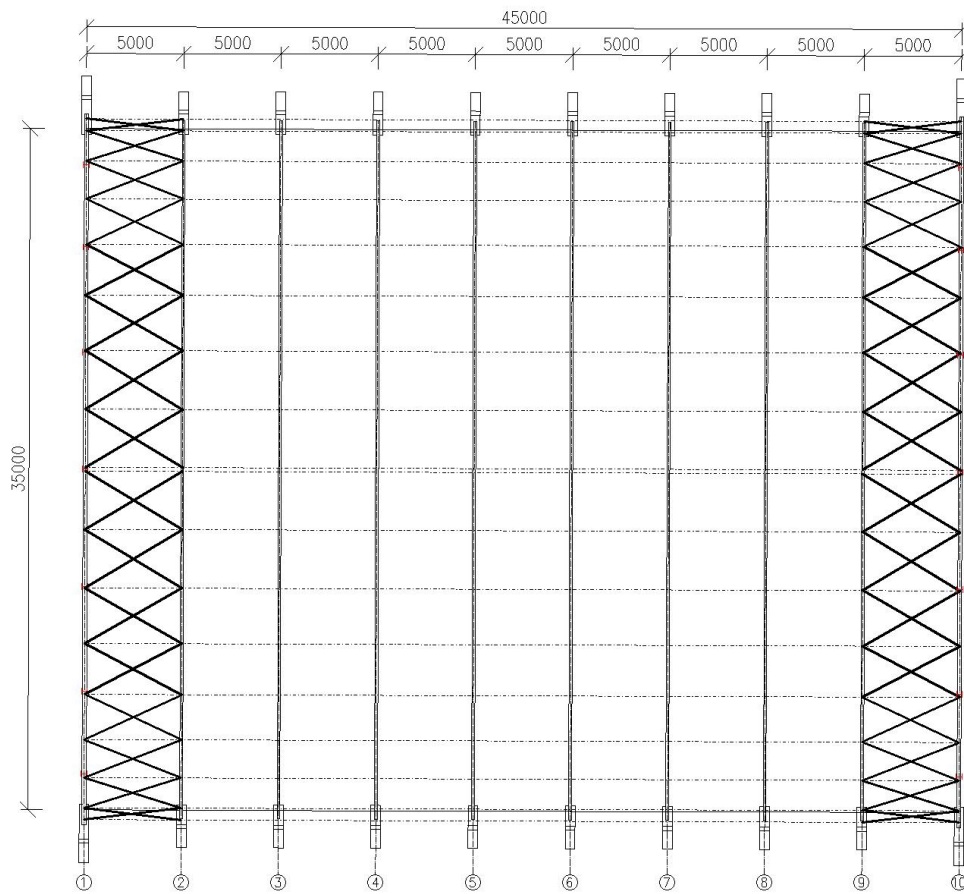
- délka $l = 36,3 \text{ m}$
- šířka $b = 18,3 \text{ m}$
- výška v strede hracej plochy $h_s = 12,0\text{m}$
- odporúčaná výška svietidiel 15m

Hádzaná

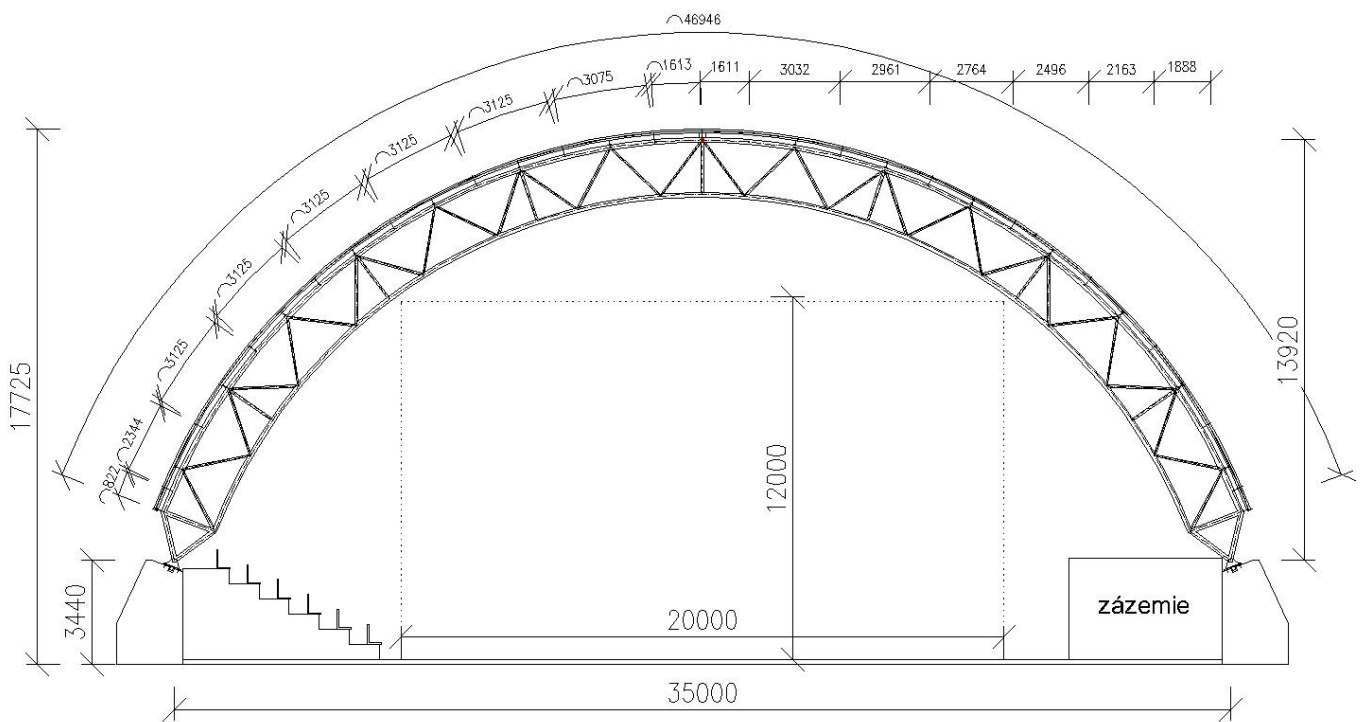
- délka $l = 36,3 \text{ m}$
- šířka $b = 18,3 \text{ m}$
- výška v strede hracej plochy $h_s = 12,0\text{m}$



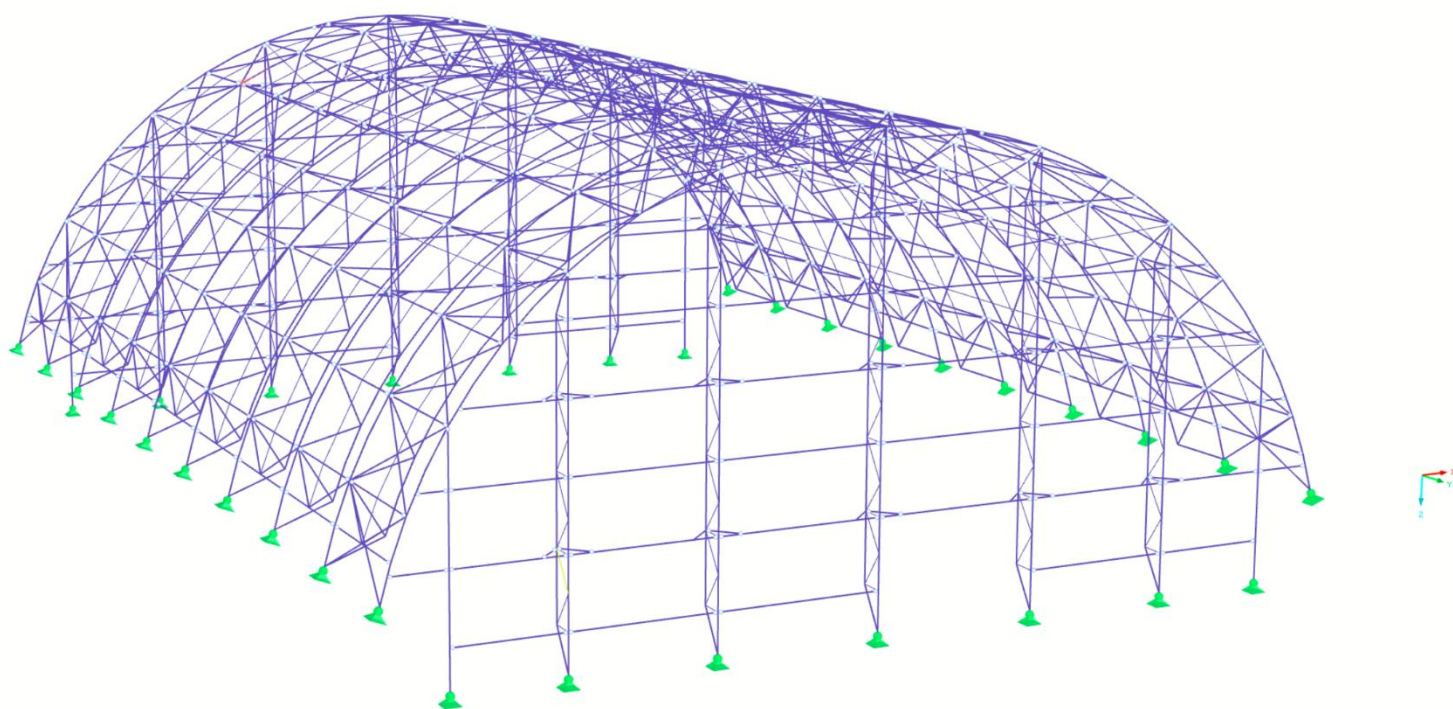
2.2 PÔDORYSNÁ SCHÉMA



2.3 SCHÉMA PRIEČNEJ VÄZBY



2.4 VÝPOČTOVÝ MODEL



3 ZAŤAŽENIE

3.1 ZAŤAŽENIE STÁLE

3.1.1 ZS1 VLASTNÁ TIAŽ

Vlastná tiaž konštrukcie bola spočítaná automaticky programom Dlubal RFEM.

3.1.2 ZS2 STREŠNÝ A STENOVÝ PLÁŠŤ

Strešný plášť je tvorený panelmi KINGSPAN TOP-DEK d (130 mm)

$m = 12,35 \text{ kg/m}^2$. Polomer horného pásu oblúku je 19,099 m

panely budú kladené v priečnom smere.

$m = 12,35 \text{ kg/m}^2 \rightarrow$ Zaťaženie na väznice : $g_k = 0,1235 \text{ kN/m}^2$

Zaťaženie väzníc:

– väznica 1 a 18 $g_k = 0,1235 \cdot 0,822 = 0,102 \text{ kN/mb}$

– väznica 2 a 17 $g_k = 0,1235 \cdot 2,344 = 0,289 \text{ kN/mb}$

– väznica 3 – 7 $g_k = 0,1235 \cdot 3,125 = 0,386 \text{ kN/mb}$

– väznica 8 a 11 $g_k = 0,1235 \cdot 3,075 = 0,380 \text{ kN/mb}$

– väznica 9 – 10 $g_k = 0,1235 \cdot 1,613 = 0,199 \text{ kN/mb}$

Stenový plášť KINGSPAN 1150 NF (120mm) budú použité na štítové steny.

$m = 13,28 \text{ kg/m}^2$ panely budú kladené zvislo.

$m = 13,28 \text{ kg/m}^2 \rightarrow$ Zaťaženie na pažďíky $g_k = 0,1328 \text{ kN/m}^2$

Zaťaženie na pažďíky:

– pažďík $g_k = 0,1328 \cdot 2,5 = 0,332 \text{ kN/mb}$

3.1.3 ZS3 OSTATNÉ STÁLE ZAŤAŽENIE

Tiaž od vzduchotechniky, osvetlenia. Predpoklad hmotnosti 25 kg/m^2

– väznik 1 a 10 $g_k = 0,25 \cdot 2,5 = 0,625 \text{ kN/mb}$

– väznik 2 až 9 $g_k = 0,25 \cdot 5 = 1,25 \text{ kN/mb}$

3.2 PREMENNÉ ZATAŽENIE (KLIMATICKÉ) - SNEH

Lokalita : Brno

Snehová oblast : II

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

Súčiniteľ expozície : $c_e = 1,0$

Tepelný súčiniteľ : $c_t = 1,0$

3.2.1 ZS4 – SNEH PLNÝ

Tvarový súčiniteľ (pre valcové strechy) : $\mu_i = 0,8$

$S_1 = \mu * C_e * C_{t*} * s_k = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$

Zaťaženie na väznice : $s = 0,8 \text{ kN/m}$

Tečný uhol beta $\beta > 60^\circ \rightarrow l_s = 33,83 \text{ m}$

\rightarrow väznice 1,2,17,18 nebudú zaťažené snehom

– väznica 3 a 16 $s_k = 0,8 * 1,888 = 1,510 \text{ kN/mb}$

– väznica 4 a 15 $s_k = 0,8 * 2,163 = 1,730 \text{ kN/mb}$

– väznica 5 a 14 $s_k = 0,8 * 2,496 = 1,997 \text{ kN/mb}$

– väznica 6 a 13 $s_k = 0,8 * 2,764 = 2,211 \text{ kN/mb}$

– väznica 7 a 12 $s_k = 0,8 * 2,961 = 2,369 \text{ kN/mb}$

– väznica 8 a 11 $s_k = 0,8 * 3,032 = 2,456 \text{ kN/mb}$

– väznica 9 a 10 $s_k = 0,8 * 1,611 = 1,289 \text{ kN/mb}$

3.2.2 ZS5 – SNEH NAVIATÝ P (II A)

$h = 13,92 \text{ m}$

$b = 35 \text{ m}$

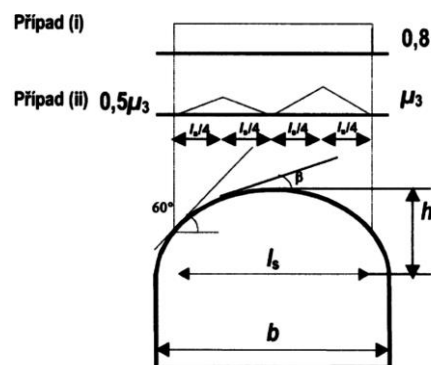
$\frac{h}{b} = \frac{13,92}{35,0} = 0,398 \geq 2,0 \rightarrow \mu_3 = 2,0$

Tečný uhol beta $\beta > 60^\circ \rightarrow l_s = 33,83 \text{ m}$

Tečný uhol beta $\beta > 60^\circ \rightarrow \mu_3 = 0$

Tečný uhol beta $\beta \leq 60^\circ \rightarrow 0,5 \mu_3 = 0,5 * 2 = 1$

$\mu_3 = 2,0$



$S_1 = \mu * C_e * C_{t*} * s_k = 2,0 * 1,0 * 1,0 * 1,0 = 2,0 \text{ kN/m}^2$

$S_2 = 0,5 * \mu * C_e * C_{t*} * s_k = 0,5 * 2,0 * 1,0 * 1,0 * 1,0 = 1,0 \text{ kN/m}^2$

Zaťaženie na väznice :

→ väznice 1,2,17,18 nebudú zaťažené snehom

– väznica 3 $sk = 0,112 \cdot 1,888 = 0,211 \text{ kN/mb}$

– väznica 4 $sk = 0,351 \cdot 2,163 = 0,759 \text{ kN/mb}$

– väznica 5 $sk = 0,672 \cdot 2,496 = 1,677 \text{ kN/mb}$

– väznica 6a $sk = 0,887 \cdot 1,911 = 1,695 \text{ kN/mb}$

– väznica 6 b $sk = 0,950 \cdot 0,854 = 0,811 \text{ kN/mb}$

$$sk = 6a + 6b = 1,695 + 0,811 = 2,506 \text{ kN/mb}$$

– väznica 7 $sk = 0,724 \cdot 2,961 = 2,111 \text{ kN/mb}$

– väznica 8 $sk = 0,370 \cdot 3,032 = 1,122 \text{ kN/mb}$

– väznica 9 $sk = 0,02 \cdot 1,720 = 0,034 \text{ kN/mb}$

– väznica 10 $sk = 0,190 \cdot 1,611 = 0,306 \text{ kN/mb}$

– väznica 11 $sk = 0,739 \cdot 3,032 = 2,241 \text{ kN/mb}$

– väznica 12 $sk = 1,448 \cdot 2,961 = 4,288 \text{ kN/mb}$

– väznica 13a $sk = 1,899 \cdot 0,854 = 1,622 \text{ kN/mb}$

– väznica 13b $sk = 1,774 \cdot 1,911 = 3,390 \text{ kN/mb}$

$$sk = 13a + 13b = 1,622 + 3,390 = 5,012 \text{ kN/mb}$$

– väznica 14 $sk = 1,253 \cdot 2,496 = 3,749 \text{ kN/mb}$

– väznica 15 $sk = 0,702 \cdot 2,163 = 1,518 \text{ kN/mb}$

– väznica 16 $sk = 0,223 \cdot 1,888 = 0,421 \text{ kN/mb}$

3.2.3 ZS6 – SNEH NAVIATÝ L (IIB)

Zaťaženie je symetrické so stavom ZS5

3.2.4 ZS7 – SNEH NAVIATÝ P (IIIA)

$$\frac{h}{b} = \frac{13,92}{40} = 0,398 \geq 2,0 \rightarrow \mu_3 = 2,0$$

$$S_1 = \mu \cdot C_e \cdot C_{t \cdot s_k} = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \mathbf{2,0 \text{ kN/m}^2}$$

$$S_2 = 0,5 \cdot \mu \cdot C_e \cdot C_{t \cdot s_k} = 0,5 \cdot 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \mathbf{1,0 \text{ kN/m}^2}$$

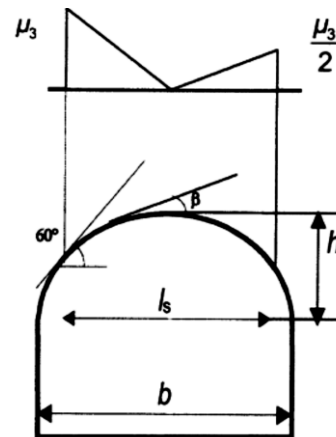
Zaťaženie na väznice :

– väznica 3 $sk = 0,944 \cdot 1,888 = 1,782 \text{ kN/mb}$

– väznica 4 $sk = 0,824 \cdot 2,163 = 1,783 \text{ kN/mb}$

– väznica 5 $sk = 0,687 \cdot 2,496 = 1,715 \text{ kN/mb}$

– väznica 6 $sk = 0,531 \cdot 2,764 = 1,468 \text{ kN/mb}$



- väznica 7 $sk = 0,362 \cdot 2,961 = 1,072 \text{ kN/mb}$
- väznica 8 $sk = 0,185 \cdot 3,032 = 0,561 \text{ kN/mb}$
- väznica 9 $sk = 0,048 \cdot 1,611 = 0,077 \text{ kN/mb}$
- väznica 10 $sk = 0,095 \cdot 1,611 = 0,153 \text{ kN/mb}$
- väznica 11 $sk = 0,370 \cdot 3,032 = 1,122 \text{ kN/mb}$
- väznica 12 $sk = 0,724 \cdot 2,961 = 2,144 \text{ kN/mb}$
- väznica 13 $sk = 1,062 \cdot 2,764 = 2,935 \text{ kN/mb}$
- väznica 14 $sk = 1,373 \cdot 2,496 = 4,070 \text{ kN/mb}$
- väznica 15 $sk = 1,649 \cdot 2,163 = 3,567 \text{ kN/mb}$
- väznica 16 $sk = 1,888 \cdot 1,888 = 3,565 \text{ kN/mb}$

3.2.5 ZS8– SNEH NAVIATÝ L (IIIB)

Zaťaženie je symetrické so stavom ZS7.

3.3 PREMENNÉ ZATAŽENIE (KLIMATICKÉ)- VIETOR

Lokalita : Brno

Veterná oblasť : II

Kategória terénu : II

Parameter drsnosti terénu : $z_0 = 0,05 \text{ m}$

Minimálna výška : $z_{\min} = 2,0 \text{ m}$

Základná rýchlosť vetra : $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Súčiniteľ smeru vetru $c_{\text{dir}} = 1,0$

Súčiniteľ ročného obdobia : $c_{\text{season}} = 1,0$

Súčiniteľ ortografie terénu : $c_0(z) = 1,0$

Výška objektu : $z = 17,73 \text{ m (17,160)}$

Základná rýchlosť vetra 10 m nad terénom : $v_b = c_{\text{dir}} \cdot c_{\text{season}} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$

Súčiniteľ drsnosti terénu : $c_{r(z)} = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{17,73}{0,05}\right) = 1,12 \cdot 1,11$

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

Stredná rýchlosť vetra : $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 1,12 \cdot 1,0 \cdot 25 = 28 \text{ m/s}$

$$\text{Intenzita turbulencie: } I_v(z) = \frac{\sigma v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{17,73}{0,05}\right)} = 0,170$$

Maximálny dynamický tlak: $q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m(z)^2$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,170] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 28^2$$

$$q_p(z) = 1073,1 \text{ Pa} = \mathbf{1,07 \text{ kN/m}^2}$$

3.3.1 ZS9– VIETOR PRIEČNÝ P

Účinky na strešný plášť

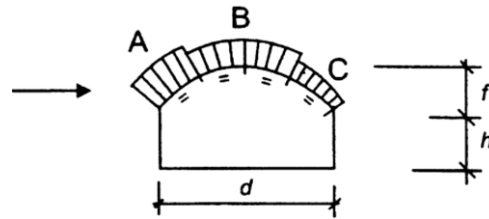
$h = 5,14 \text{ m}$

$d = 35,0 \text{ m}$

$\frac{h}{d} = \frac{5,14}{35} = 0,15 \approx 0$

$\frac{f}{d} = \frac{12,62}{35} = 0,361$

$W_i = q_p(z) \cdot C_{p,10,i}$



Zdroj: norma ČSN EN 1991-1-4 Zatížení větrem

Zdroj: norma ČSN EN 1991-1-4 Zatížení větrem

Oblast' A:

$W_a = q_p(z) \cdot C_{p,10,a} = 1,07 \cdot 0,56 = \mathbf{0,60 \text{ kN/m}^2}$

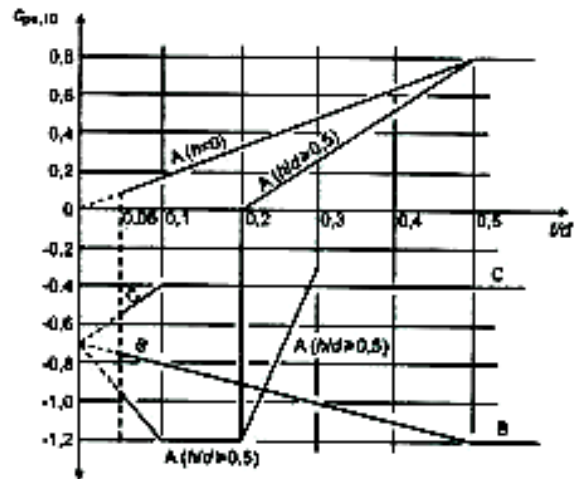
Oblast' B

$W_b = q_p(z) \cdot C_{p,10,b} = 1,07 \cdot (-1,05) = \mathbf{-1,12 \text{ kN/m}^2}$

Zdroj: norma ČSN EN 1991-1-4 Zatížení větrem

Zaťaženie na väznice :

- väznica 1 $sk = -1,12 \cdot 0,822 = -0,921 \text{ kN/mb}$
- väznica 2 $sk = -1,12 \cdot 2,344 = -2,625 \text{ kN/mb}$
- väznica 3 $sk = -1,12 \cdot 3,125 = -3,5 \text{ kN/mb}$
- väznica 4 $sk = -1,12 \cdot 3,125 = -3,5 \text{ kN/mb}$
- väznica 5 $sk = -1,12 \cdot 3,125 = -3,5 \text{ kN/mb}$
- väznica 6 $sk = -1,12 \cdot 3,125 = -3,5 \text{ kN/mb}$
- väznica 7 $sk = -1,12 \cdot 3,125 = -3,5 \text{ kN/mb}$
- väznica 8 $sk = -1,12 \cdot 3,075 = -3,444 \text{ kN/mb}$
- väznica 9 $sk = -1,12 \cdot 1,613 = -1,806 \text{ kN/mb}$
- väznica 10 $sk = -1,12 \cdot 1,613 = -1,806 \text{ kN/mb}$
- väznica 11 $sk = -1,12 \cdot 3,075 = -3,444 \text{ kN/mb}$
- väznica 12 $sk = -1,12 \cdot 3,125 = -3,5 \text{ kN/mb}$
- väznica 13 $sk = -1,12 \cdot 3,125 = -3,5 \text{ kN/mb}$
- väznica 14 $sk = 0,6 \cdot 3,125 = 1,875 \text{ kN/mb}$
- väznica 15 $sk = 0,6 \cdot 3,125 = 1,875 \text{ kN/mb}$



– vřznica 16 $sk = 0,6 \cdot 3,125 = 1,875 \text{ kN/mb}$

– vřznica 17 $sk = 0,6 \cdot 2,344 = 1,406 \text{ kN/mb}$

– vřznica 18 $sk = 0,6 \cdot 0,822 = 0,493 \text{ kN/mb}$

Účinky na řtítové steny

$b = 45,0 \text{ m}$

$d = 35,0 \text{ m}$

$h = 17,73 \text{ m}$

$e = \min\{b; 2h\} \text{ m} = \min\{45,0; 2 \cdot 17,73\} \text{ m} = \min\{45,0; 35,46\} \rightarrow e = 35,46 \text{ m}$

$e < d \dots 35,46 \text{ m} < 35,0 \text{ m} \dots \checkmark$

$e \geq d \dots 35,46 \text{ m} \geq 35,0 \text{ m} \dots \checkmark$ - iba oblasti A,B

Oblast':

$A = 7,092 \text{ m}$

$B = 27,908 \text{ m}$

$$\frac{h}{d} = \frac{17,73}{35} = 0,507$$

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

Oblast' A: $c_{pe,10,(A)} = -1,2$

$$w_{e,A} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,(A)} = 1,07 \cdot (-1,2) = -1,28 \text{ kN/m}^2$$

Oblast' B: $c_{pe,10,(B)} = -1,0056$ (interpolacia z tabulky 5.2)

$$w_{e,B} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,(B)} = 1,07 \cdot (-1,0056) = -1,076 \text{ kN/m}^2$$

– paždík $= -1,28 \cdot 2,5 = -3,2 \text{ kN/mb}$

– paždík $= -1,076 \cdot 2,5 = -2,69 \text{ kN/mb}$

3.3.2 ZS10– VIETOR PRIEČNÝ P

Zaťaženie je symetrické so stavom ZS9.

3.3.3 ZS11 – VIETOR POZDĹŽNY PREDNY

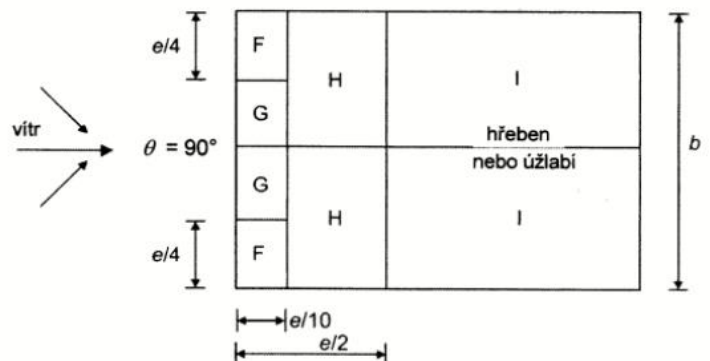
Účinky na strešný plášť

$e = 35,46 \text{ m}$

smer vetra $\theta = 90^\circ$

$$\frac{e}{4} = \frac{35,46}{4} = 8,865 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = \frac{35,46}{10} = 3,546 \text{ m}$$



$$\frac{e}{2} = \frac{35,46}{2} = 17,73 \text{ m}$$

$$W_{e,C} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,i} q_p(z) = \mathbf{1,07 \text{ kN/m}^2}$$

- súčinitele $c_{pe,10,i}$ sú uvedené v nasledujúcej tabuľke

Väznica	$c_{pe,10}$				We [kN/m ²]			
	F	G	H	I	F	G	H	I
väznica 1,18	-1,10		-0,8	-0,50	-1,18	-	-0,86	-0,535
väznica 2,17	-1,10		-0,8	-0,50	-1,18	-	-0,86	-0,535
väznica 3,16	-1,10		-0,83	-0,50	-1,18	-	-0,89	-0,535
väznica 4,15	-1,10		-0,89	-0,50	-1,18	-	-0,95	-0,535
väznica 5,14	-1,10		-0,85	-0,50	-1,18	-	-0,91	-0,535
väznica 6,13	-1,13		-0,77	-0,50	-1,21	-	-0,82	-0,535
väznica 7,12	-	-1,32	-0,65	-0,50	-	-1,42	-0,70	-0,535
väznica 8,11	-	-1,30	-0,66	-0,50	-	-1,39	-0,71	-0,535
väznica 9,10	-	-1,30	-0,70	-0,50	-	-1,39	-0,75	-0,535

– väznica 1 a18 (f) $sk = -1,18 \cdot 0,822 = -0,970 \text{ kN/mb}$

– väznica 1 a18 (h) $sk = -0,86 \cdot 0,822 = -0,707 \text{ kN/mb}$

– väznica 1 a18 (i) $sk = -0,535 \cdot 0,822 = -0,440 \text{ kN/mb}$

– väznica 2 a17 (f) $sk = -1,18 \cdot 2,344 = -4,407 \text{ kN/mb}$

– väznica 2 a17 (h) $sk = -0,86 \cdot 2,344 = -2,016 \text{ kN/mb}$

– väznica 2 a17 (i) $sk = -0,535 \cdot 2,344 = -1,254 \text{ kN/mb}$

– väznica 3 a16 (f) $sk = -1,18 \cdot 3,125 = -3,688 \text{ kN/mb}$

– väznica 3 a16 (h) $sk = -0,89 \cdot 3,125 = -2,781 \text{ kN/mb}$

– väznica 3 a16 (i) $sk = -0,535 \cdot 3,125 = -1,672 \text{ kN/mb}$

– väznica 4 a15 (f) $sk = -1,18 \cdot 3,125 = -3,688 \text{ kN/mb}$

– väznica 4 a15 (h) $sk = -0,95 \cdot 3,125 = -2,970 \text{ kN/mb}$

– väznica 4 a15 (i) $sk = -0,535 \cdot 3,125 = -1,672 \text{ kN/mb}$

– väznica 5 a14 (f) $sk = -1,18 \cdot 3,125 = -3,688 \text{ kN/mb}$

– väznica 5 a14 (h) $sk = -0,91 \cdot 3,125 = -2,844 \text{ kN/mb}$

– väznica 5 a14 (i) $sk = -0,535 \cdot 3,125 = -1,672 \text{ kN/mb}$

$$- \text{vážnica 6 a13 (f)} \quad sk = -1,21 \cdot 1,990 = -2,408 \text{ kN/mb}$$

$$- \text{vážnica 6 a13 (g)} \quad sk = -1,42 \cdot 1,135 = -1,612 \text{ kN/mb}$$

$$- \text{vážnica 6 a13 (h)} \quad sk = -0,82 \cdot 3,125 = -2,563 \text{ kN/mb}$$

$$- \text{vážnica 6 a13 (i)} \quad sk = -0,535 \cdot 3,125 = -1,672 \text{ kN/mb}$$

$$- \text{vážnica 7 a12 (g)} \quad sk = -1,42 \cdot 3,125 = -4,428 \text{ kN/mb}$$

$$- \text{vážnica 7 a12 (h)} \quad sk = -0,70 \cdot 3,125 = -2,188 \text{ kN/mb}$$

$$- \text{vážnica 7 a12 (i)} \quad sk = -0,535 \cdot 3,125 = -1,672 \text{ kN/mb}$$

$$- \text{vážnica 8 a11 (g)} \quad sk = -1,39 \cdot 3,075 = -4,274 \text{ kN/mb}$$

$$- \text{vážnica 8 a11 (h)} \quad sk = -0,71 \cdot 3,075 = -2,183 \text{ kN/mb}$$

$$- \text{vážnica 8 a11 (i)} \quad sk = -0,535 \cdot 3,075 = -1,645 \text{ kN/mb}$$

$$- \text{vážnica 9 a10 (g)} \quad sk = -1,39 \cdot 1,613 = -2,242 \text{ kN/mb}$$

$$- \text{vážnica 9 a10 (h)} \quad sk = -0,75 \cdot 1,613 = -1,210 \text{ kN/mb}$$

$$- \text{vážnica 9 a10 (i)} \quad sk = -0,535 \cdot 1,613 = -0,863 \text{ kN/mb}$$

- Účinky trenia na strešný plášť

$$q_p(Z_e) = 1,07 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{fr} = 0,01 \text{ (pre hladký povrch)}$$

$$d_0 = \min \{2b; 4h\} \text{ m} = \min \{2 \cdot 35,0; 4 \cdot 17,73\} \text{ m} = \min \{70; 70,92\} \text{ m} \rightarrow d_0 = 70 \text{ m}$$

$$d_{fr} = d - d_0 = 45 - 70 = -25 \text{ m} \rightarrow \text{nevznikajú trecie sily od vetra}$$

- Účinky na štítové steny

$$\frac{h}{d} = \frac{17,73}{35} = 0,506 \text{ m} \rightarrow c_{pe,10}$$

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

$$\text{Oblasť D: } c_{pe,10,(D)} = 0,734$$

$$w_{e,D} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,(D)} = 1,07 \cdot 0,734 = \mathbf{0,785 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{Oblasť E: } c_{pe,10,(E)} = -0,368$$

$$w_{e,E} = q_p(z) \cdot c_{pe,10,(E)} = 1,07 \cdot (-0,368) = \mathbf{-0,394 \text{ kN/m}^2}$$

$$- \text{paždík} = 0,785 \cdot 2,5 = 1,963 \text{ kN/mb}$$

$$- \text{paždík} = -0,394 \cdot 2,5 = -0,985 \text{ kN/mb}$$

3.3.4 ZS12 – VIETOR POZDĚŽNY ZADNY

Zaťaženie je symetrické so stavom ZS10.

3.3.5 ZS13 – ÚŽITNÉ ZAŤAŽENIE – STRECHA

Predpoklad, že zaťaženie q_k pôsobí na ploche $A = 10 \text{ m}^2$

Zaťaženie na väznicu: $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$

$q_k = 0,75 \times zš (3,125) = 2,344 \text{ kN/m}^2$

3.4 KOMBINÁCIE ZAŤAŽENIA

3.4.1 KOMBINÁCIE PRE MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI

Kombinácie boli spočítané programom Dlubal RFEM podľa rovnice 6.10 ČSN EN 1990:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

3.4.2 KOMBINÁCIE PRE MEDZNÝ STAV POUŽITELNOSTI

Kombinácie boli spočítané programom Dlubal RFEM podľa rovnice 6.14b, ČSN EN 1990:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

4 POSÚDENIE NA MSÚ

4.1 VÄZNICA

Prierez: HEA 160

Prierezové charakteristiky:

$$A = 3,880 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 1,673 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 6,16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = 2,46 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 1,176 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_w = 3,14 \cdot 10^{-8} \text{ m}^6$$

$$I_t = 1,23 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

Materiálové charakteristiky:

S235 ($f_y = 235 \text{ MPa}$, $f_u = 360 \text{ MPa}$)

$E = 210 \text{ GPa}$

$G = 81 \text{ GPa}$

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$c_2 = \frac{160}{2} - \frac{6}{2} - 15 = 62 \text{ mm}$$

Pásnica:

$$\frac{c_2}{t} = \frac{62}{9} = 6,889 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9 \text{ 1. třída}$$

Stojina:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{134}{6} = 22,333 \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 1 = 72 \text{ 1. třída}$$

4.1.1 POSÚDENIE NA OHYB OKOLO OSI Z BEZ KLOPENIA

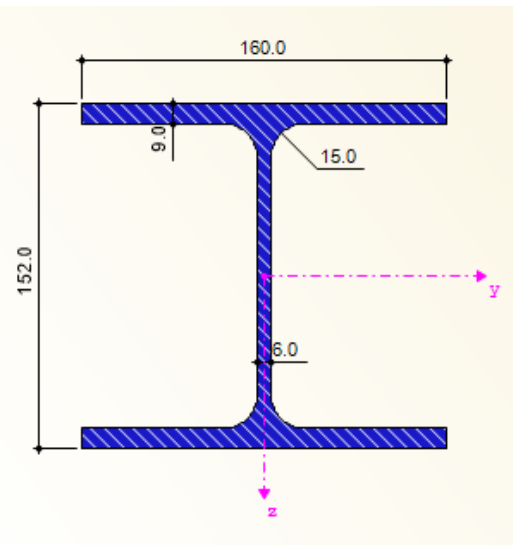
Prút 1555 – KZ45

$M_{z,Ed} = 11,581 \text{ kNm}$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd,z} = \frac{w_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,176 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 27,636 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} = \frac{11,581}{27,363} = 0,42 \leq 1,0$$



4.1.2 POSÚDENIE NA OHYB OKOLO OSI Y BEZ KLOPENIA

Prút 1188 – KZ49

$$M_{y,Ed} = 33,739 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd,y} = \frac{w_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,46 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 57,81 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} = \frac{33,739}{57,81} = 0,58 \leq 1,0$$

0,58 ≤ 1,0 ... vyhovuje

4.1.3 POSÚDENIE NA ŠMYK:

Návrhová hodnota šmykovej sily:

Prút č. 1700 KZ50

$$V_{y,Ed} = 10,704 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 3880 - 2 \cdot 160 \cdot 9 + (6 + 2 \cdot 15) \cdot 9 =$$

$$A_v = 1324 \text{ mm}^2$$

$$V_{y,pl,Rd} = \frac{A_v(f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{1324 \cdot (235 / \sqrt{3})}{1,0} = 179,636 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl,Rd}} = \frac{10,704}{179,636} = 0,06 < 1,0$$

0,06 ≤ 1,0 ... vyhovuje

4.1.4 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU TLAKU A OHYBU

Prút č. 1730 – KZ 49

$$N_{Ed} = -12,466 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 33,716 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -5,313 \text{ kNm}$$

Vzper okolo osy Y

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

$$\frac{h}{b} = \frac{152}{160} = 0,95 < 2 \Rightarrow \text{krivka } b \Rightarrow \alpha = 0,34 \text{ tab 1.3}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2500}{65,7} = 38,05$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,924 \cdot 3,88 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 842,5 \text{ kN}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,617 + \sqrt{0,617^2 - 0,405^2}} = 0,924$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{y,y} - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,405 - 0,2) + 0,405^2] = 0,617$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,88 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{5547,98}} = 0,405 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,673 \cdot 10^{-5}}{2,5^2} = 5547,98 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{12,466}{842,5} = 0,02 \leq 1,0$$

0,02 ≤ 1,0 ... vyhovuje (program RFEM 0,04 ≤ 1,0)

Vzper okolo osy Z

$$\frac{h}{b} = \frac{152}{160} = 0,95 < 1,2 \Rightarrow \text{krivka } c \Rightarrow \alpha = 0,49 \text{ tab 1.3}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,374 \cdot 3,88 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 341,01 \text{ kN}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,671 + \sqrt{1,671^2 - 1,336^2}} = 0,374$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{z,y} - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49(1,336 - 0,2) + 1,336^2] = 1,671$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,88 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{510,69}} = 1,336 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 6,16 \cdot 10^{-6}}{5^2} = 510,69 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{12,466}{341,01} = 0,04 \leq 1,0$$

0,04 ≤ 1,0 ... vyhovuje

Parameter krútenia

$$k_w = 1,0; L = 5,0 \text{ m}$$

$$k_{wt} = \frac{\Pi}{k_w \cdot L} \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\Pi}{1,0 \cdot 5} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 3,14 \cdot 10^{-8}}{81 \cdot 10^9 \cdot 1,23 \cdot 10^{-7}}} = 0,511$$

$$z_j = 0$$

$$\zeta_j = \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = 0$$

$$z_g = 0,076 \text{ m}$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 0,076}{1,5} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 6,16 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^9 \cdot 1,23 \cdot 10^{-7}}} = 0,544$$

Bezrozměrný kritický moment

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

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

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \left[\sqrt{1 + 0,511^2 + (0,46 \cdot 0,544 - 0,53 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 0,544 - 0,53 \cdot 0) \right]$$

$$\mu_{cr} = 1,017$$

Pružný kritický moment při klopení

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,017 \cdot \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 6,16 \cdot 10^{-6} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 1,23 \cdot 10^{-7}}}{5}$$

$$M_{cr} = 72,543 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,46 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{72,543}} = 0,893$$

$$\frac{h}{b} = \frac{152}{160} = 0,95 < 2 \Rightarrow \text{krivka klopenia } a \Rightarrow \alpha_{LT} = 0,21 \quad \text{tab 1.8}$$

$$\phi_{LT} = 0,5(1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,893 - 0,2) + 0,893^2) = 0,971$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,971 + \sqrt{0,971^2 - 0,893^2}} = 0,968$$

Návrhové hodnoty únosnosti:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,739 \cdot 2,46 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 42,722 \text{ kNm}$$

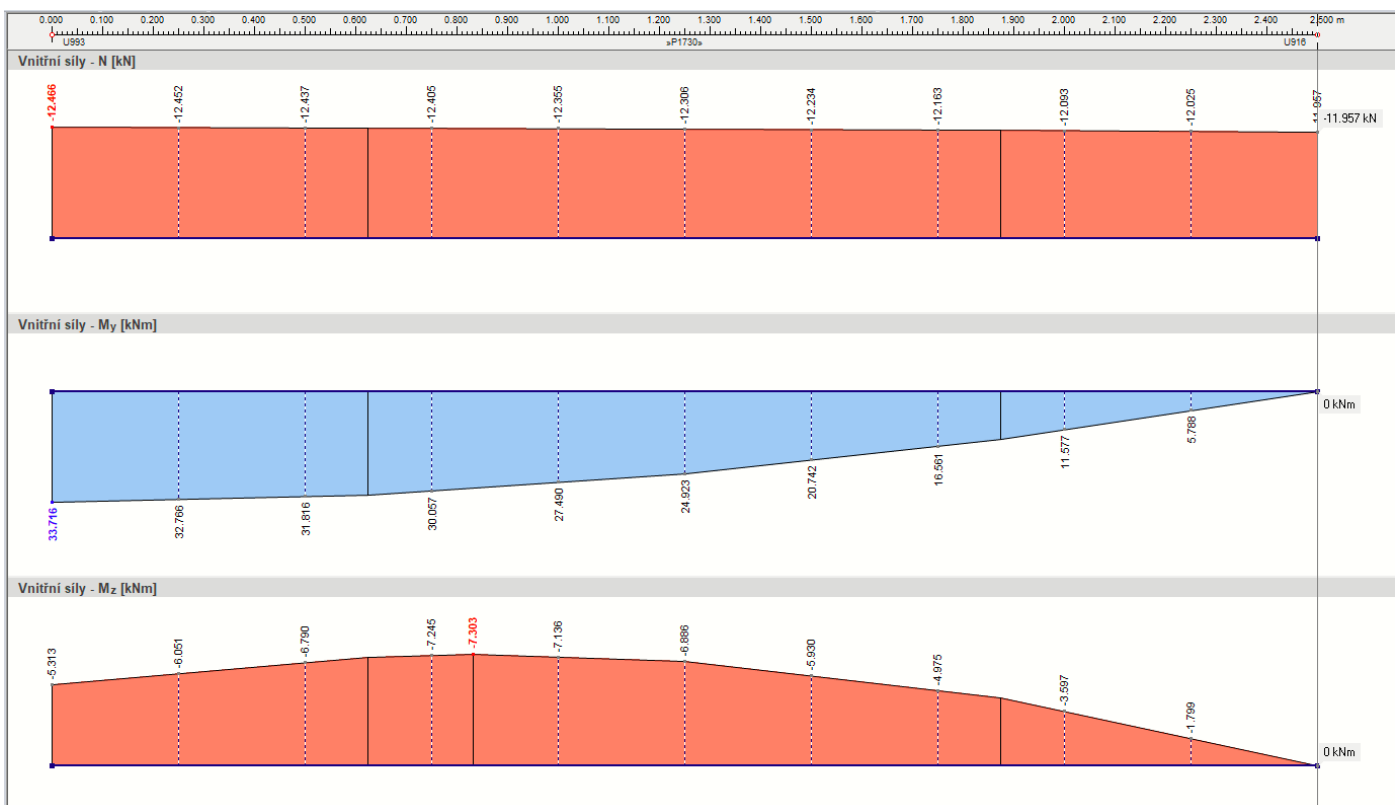
$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{33,716}{42,722} = 0,78 < 1$$

Návrhové hodnoty únosnosti:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,88 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 911,8 \text{ kN}$$

$$M_{Y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,46 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 57,81 \text{ kNm}$$

$$M_{Z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,176 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 27,64 \text{ kNm}$$



$$M_{h,y} = 33,716 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,y} = 0 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{0}{33,716} = 0$$

$$M_{s,y} = 24,923 \text{ kNm}$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{24,923}{33,716} = 0,739$$

$$0 \leq \alpha_s \leq 1$$

$$0 \leq 0,739 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$0 \leq \Psi \leq 1$$

$$0 \leq 0 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s = 0,2 + 0,8 \cdot 0,739 = 0,791 \geq 0,4 \dots \checkmark$$

$$c_{my} = c_{mLT} = 0,791$$

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

$$k_{yy} = 0,791 \cdot \left(1 + (0,405 - 0,2) \cdot \frac{12,466}{\frac{0,924 \cdot 911,8}{1,0}} \right) \leq 0,791 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{12,466}{\frac{0,924 \cdot 911,8}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,793 \leq 0,8 \dots k_{yy} = 0,793$$

Súčiniteľ C_{mz} ekvivalentného konštantného momentu

$$M_{h,z} = -5,313 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,z} = 0 \text{ kNm}$$

$$\Psi = -\frac{0}{5,313} = 0$$

$$M_{s,z} = -6,886 \text{ kNm}$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_d} = \frac{-5,313}{-6,886} = 0,772$$

$$0 \leq \alpha_h \leq 1$$

$$0 \leq 0,772 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq 0 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,772 = 0,989 \geq 0,4 \dots \checkmark$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,989 \cdot \left(1 + (2 \cdot 1,136 - 0,6) \cdot \frac{12,466}{\frac{0,374 \cdot 911,8}{1,0}} \right) \leq 0,989 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{12,466}{\frac{0,374 \cdot 911,8}{1,0}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,049 \leq 1,039 \dots k_{zz} = 1,039$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,039 = 0,623$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right) \geq \left(1 - \frac{0,1}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1 \cdot 1,336}{0,791 - 0,25} \cdot \frac{12,466}{0,374 \cdot 911,8} \right) \geq \left(1 - \frac{0,1}{0,791 - 0,25} \cdot \frac{12,466}{0,374 \cdot 911,8} \right)$$

$$k_{zy} = 0,991 \geq 0,993 \dots k_{zy} = 0,993$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{12,466}{0,924 \cdot 911,8} + 0,793 \cdot \frac{33,716}{0,968 \cdot 57,81} + 0,623 \cdot \frac{5,313}{0,968 \cdot 27,64} \leq 1,0$$

$$0,64 \leq 1,0 \quad (\text{program } 0,64 \leq 1,0)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{12,466}{0,374 \cdot 911,8} + 0,993 \cdot \frac{33,716}{0,968 \cdot 57,81} + 1,039 \cdot \frac{5,313}{0,968 \cdot 27,64} \leq 1,0$$

$$0,84 \leq 1,0 \quad (\text{program } 0,88 \leq 1,0)$$

4.2 PRIHRADOVÝ VÄZNÍK

4.2.1 HORNÝ PÁS

Prierezové charakteristiky:

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

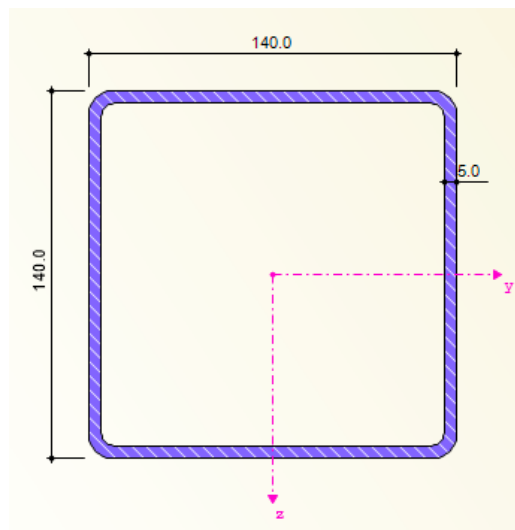
$$t = 5 \text{ mm}$$

$$A = 2640 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 7910000 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 54,8 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 132000 \text{ mm}^3$$



Materiálové charakteristiky:S235 ($f_y = 235\text{MPa}$, $f_u = 360\text{MPa}$) $E = 210\text{GPa}$

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Pre trubkové profily štvorcového tvaru platí

$$\frac{c}{t} = \frac{140 - 10}{5} = 26 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow 1. \text{třída}$$

4.2.2 POSÚDENIE NA ŤAH

Prút č 1116 kz 61

$$N_{Ed} = 178,759\text{kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{2640 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 620,4\text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{178,759}{620,4} \leq 1,0$$

0,29 ≤ 1,0 ... vyhovuje program 0,29**4.2.3 POSÚDENIE NA VZPER**

Prút č 1140 kz 89

$$N_{Ed} = -261,917\text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3,022\text{ m (zaistené väznicami)}$$

 $\alpha = 0,49$ (duté prierezy tvarované za studena – krivka vzpernej pevnosti "c")Vybočenie kolmo k osy y:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3022}{54,8} = 55,14$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,79 \cdot 2640 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 490,116\text{ kN}$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,77 + \sqrt{0,77^2 - 0,59^2}} = 0,79$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,59 - 0,2) + 0,59^2] = 0,77$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2640 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1795,174}} = 0,59 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 7910000 \cdot 10^{-12}}{3,022^2} = 1795,174 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{261,917}{490,16} = 0,53 \leq 1,0$$

0,53 ≤ 1,0 ... vyhovuje (program RFEM 0,27 ≤ 1,0)

4.2.4 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU

Prút č 1140 kz 89

$$N_{Ed} = -261,917 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 8,536 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,021 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

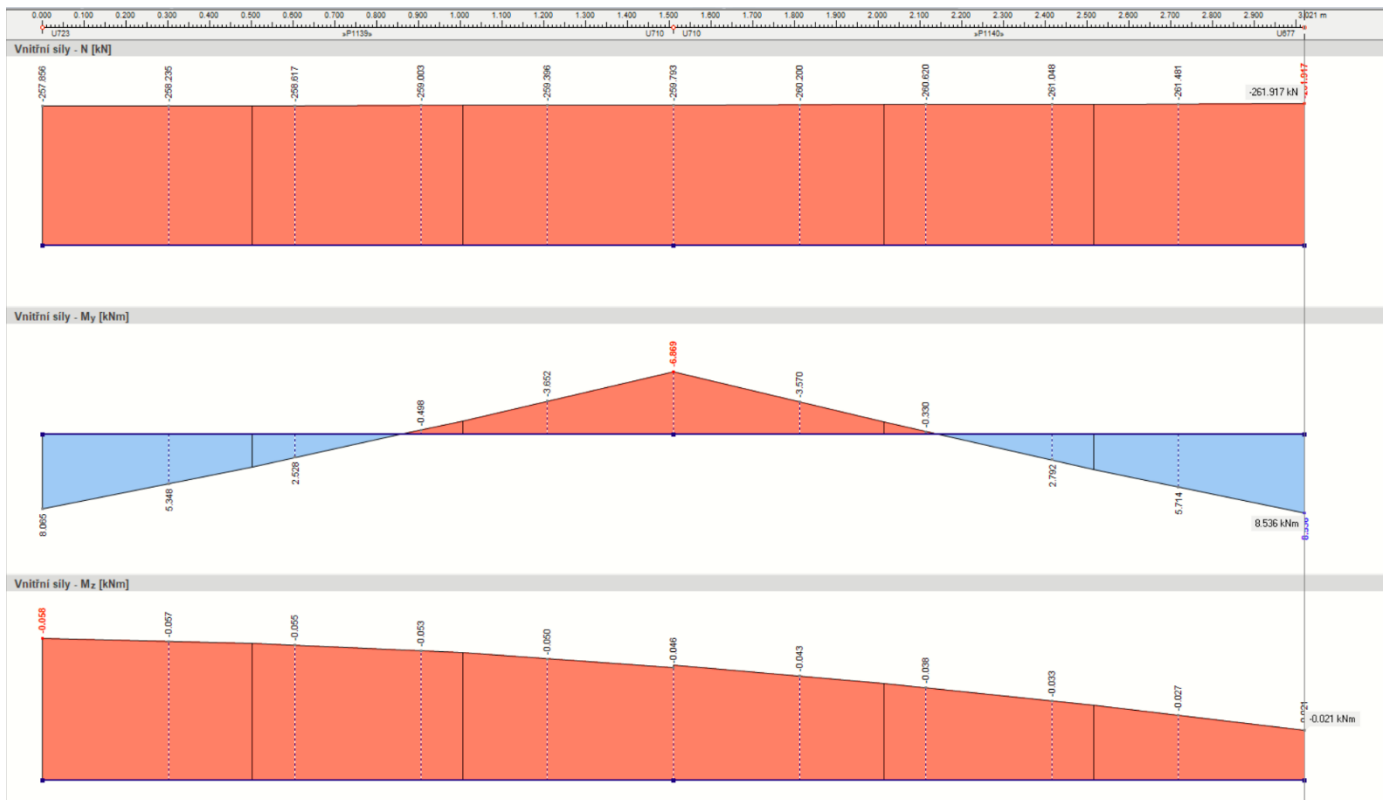
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

Návrhové hodnoty únosnosti:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2640 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 620,4 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{132000 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 31,02 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{132000 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 31,02 \text{ kNm}$$



$$M_{h,y} = 8,536 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,y} = 8,065 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{8,065}{8,536} = 0,95$$

$$M_{s,y} = -6,869 \text{ kNm}$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-6,869}{8,536} = -0,8$$

$$-1 \leq \alpha_s \leq 0$$

$$-1 \leq -0,8 \leq 0 \dots \checkmark$$

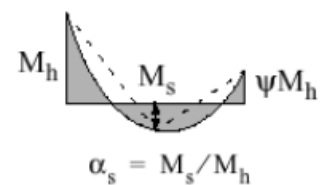
$$0 \leq \Psi \leq 1$$

$$0 \leq 0,95 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot 0,8 = 0,54 \geq 0,4 \dots \checkmark$$

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

$$k_{yy} = 0,54 \cdot \left(1 + (0,59 - 0,2) \cdot \frac{261,917}{\frac{0,79 \cdot 620,48}{1,0}} \right) \leq 0,54 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{261,917}{\frac{0,79 \cdot 620,48}{1,0}} \right)$$



$$k_{yy} = 0,65 \leq 0,77 \dots k_{yy} = 0,65$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,65 = 0,39$$

$$M_{h,z} = -0,058 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,z} = -0,021 \text{ kNm}$$

$$M_{s,z} = -0,046 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{-0,021}{-0,058} = 0,36$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-0,046}{-0,058} = 0,79$$

$$0 \leq \alpha_s \leq 1$$

$$0 \leq 0,79 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq 0,36 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{mz} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s = 0,2 + 0,8 \cdot 0,79 = 0,83 \geq 0,4 \dots \checkmark$$

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

$$k_{zz} = 0,83 \cdot \left(1 + (0,59 - 0,2) \cdot \frac{261,917}{\frac{0,79 \cdot 620,48}{1,0}} \right) \leq 0,83 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{261,917}{\frac{0,79 \cdot 620,48}{1,0}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,003 \leq 1,18 \dots k_{zz} = 1,003$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,003 = 0,602$$

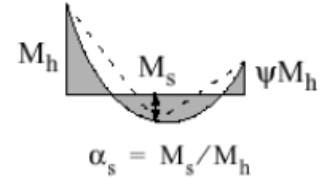
$$\chi_{LT} = 1,0 \text{ (pri uzavretých prierezoch ku klopeniu nedochádza)}$$

$$\frac{261,917}{\frac{0,79 \cdot 620,4}{1,0}} + 0,65 \cdot \frac{8,536 + 0}{\frac{1,0 \cdot 31,02}{1,0}} + 0,39 \cdot \frac{0,021 + 0}{\frac{1,0 \cdot 31,02}{1,0}} \leq 1,0$$

0,71 ≤ 1,0 ... vyhovuje

$$\frac{261,917}{\frac{0,79 \cdot 620,4}{1,0}} + 1,003 \cdot \frac{8,536 + 0}{\frac{1,0 \cdot 31,02}{1,0}} + 0,602 \cdot \frac{0,021 + 0}{\frac{1,0 \cdot 31,02}{1,0}} \leq 1,0$$

0,81 ≤ 1,0 ... vyhovuje



4.2.5 DOLNÝ PÁS

Prierezové charakteristiky:

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

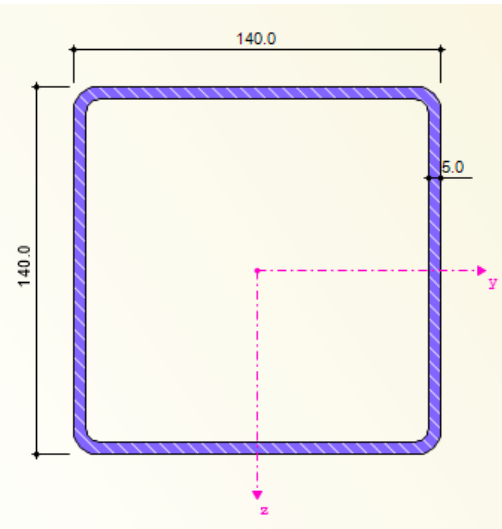
$$t = 5 \text{ mm}$$

$$A = 2640 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 7910000 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 54,8 \text{ mm}$$

$$W_{p,y} = 132000 \text{ mm}^3$$



Materiálové charakteristiky:

$$S235 (f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa})$$

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

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Pre trubkové profily štvorcového tvaru platí

$$\frac{c}{t} = \frac{140 - 10}{5} = 26 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow 1. \text{ trieda}$$

4.2.6 POSÚDENIE NA ŤAH

Prút č 1170 kz 69

$$N_{Ed} = 262,791 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{2640 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 620,4 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{262,791}{620,4} \leq 1,0$$

0,42 ≤ 1,0 ... vyhovuje program 0,42

0,01 ≤ 1,0 ... vyhovuje

4.2.7 POSÚDENIE NA VZPER

Prút č 1150 kz 32

$$N_{Ed} = -236,438 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = 5,44 \text{ m (zaistené styčnými)}$$

$$L_{cr,z} = 2,720m \text{ (zaistené stužidlami, väznicami)}$$

$$\alpha = 0,49 \text{ (duté prierezy tvarované za studena – krivka vzpernej pevnosti "c")}$$

Vybočenie kolmo k osy y:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5440}{54,8} = 99,27$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,53 \cdot 2640 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 328,8 \text{ kN}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,22 + \sqrt{1,22^2 - 1,02^2}} = 0,53$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{y} - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,02 - 0,2) + 1,02^2] = 1,22$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2460 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{554}} = 1,02 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 7910000 \cdot 10^{-12}}{5,44^2} = 554 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{236,438}{328,8} = 0,72 \leq 1,0$$

0,72 ≤ 1,0 ... vyhovuje (

Vybočenie kolmo k osy z:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2720}{54,8} = 49,64$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,83 \cdot 2640 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 514,93 \text{ kN}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,71 + \sqrt{0,71^2 - 0,51^2}} = 0,83$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{zy} - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,51 - 0,2) + 0,51^2] = 0,71$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2460 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{2215,94}} = 0,51 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 7910000 \cdot 10^{-12}}{2,72^2} = 2215,94 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{236,438}{514,93} = 0,46 \leq 1,0$$

0,46 ≤ 1,0 ... vyhovuje (program RFEM 0,09 ≤ 1,0)

4.2.8 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU

Prút č 1150 kz 32

$$N_{Ed} = -236,438 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -9,333 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,018 \text{ kNm}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

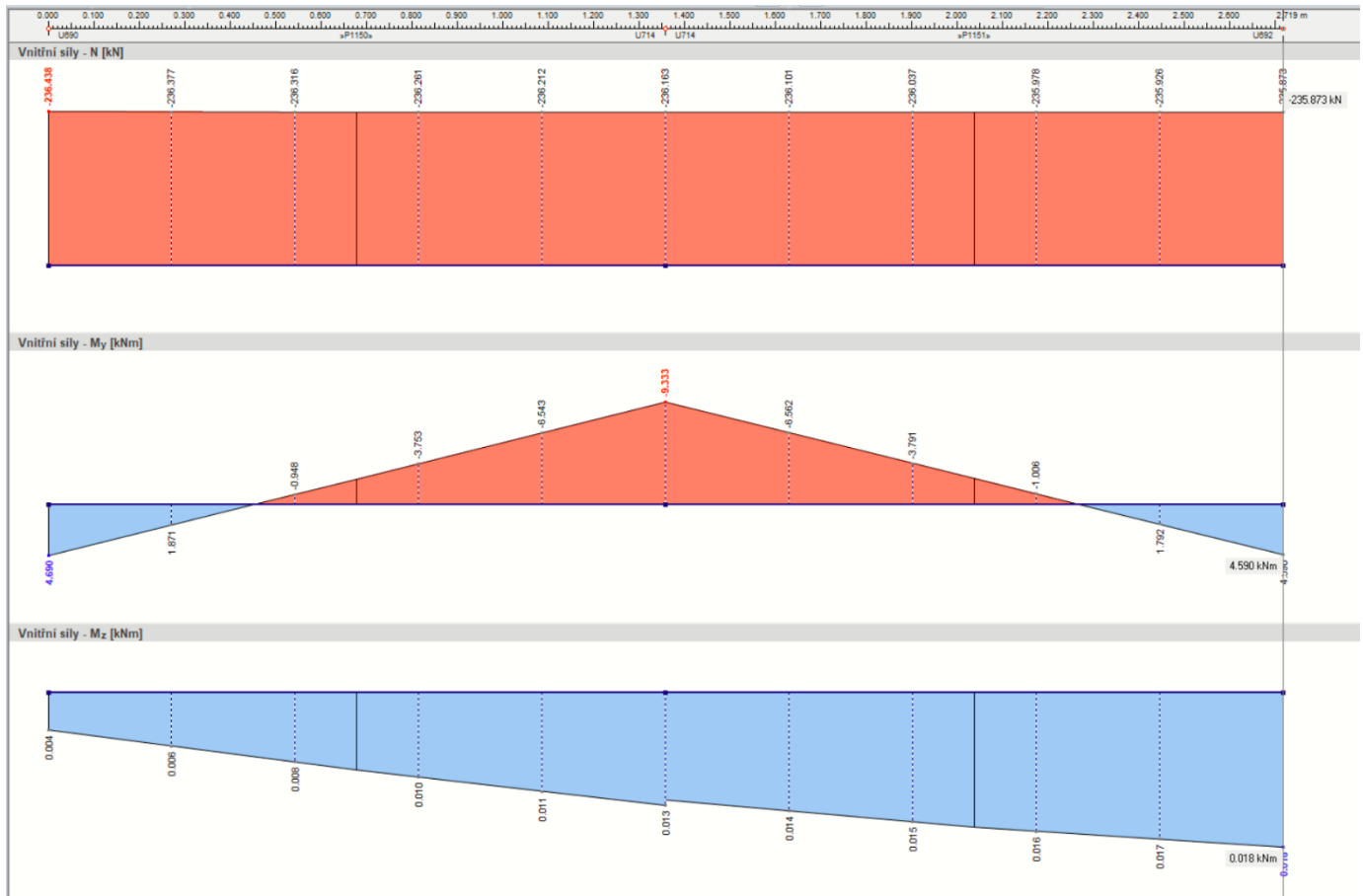
$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

Návrhové hodnoty únosnosti:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2640 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 620,4 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{132000 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 31,02 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{132000 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 31,02 \text{ kNm}$$



Podla tvaru priebehu momentov

linearny

$$M_{h,y} = -9,333 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,y} = 4,590 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{4,590}{-9,333} = -0,49$$

$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq -0,49 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,49 = 0,404 \geq 0,4 \dots \checkmark$$

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

$$k_{yy} = 0,404 \cdot \left(1 + (1,02 - 0,2) \cdot \frac{236,438}{0,53 \cdot 620,4} \right) \leq 0,404 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{236,438}{0,53 \cdot 620,4} \right)$$

$$k_{yy} = 0,646 \leq 0,64 \dots k_{yy} = 0,646$$



$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,646 = 0,39$$

$$M_{h,z} = 0,018 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,z} = 0,004 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 0,013 \text{ kNm}$$

$$\Psi = 0,22$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,013}{0,018} = 0,72$$

$$0 \leq \alpha_s \leq 1$$

$$0 \leq 0,72 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq 0,22 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{mz} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s = 0,2 + 0,8 \cdot 0,72 = 0,78 \geq 0,4 \dots \checkmark$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,78 \cdot \left(1 + (2 \cdot 0,51 - 0,6) \cdot \frac{236,438}{\frac{0,83 \cdot 620,4}{1,0}} \right) \leq 0,78 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{236,438}{\frac{0,83 \cdot 620,4}{1,0}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,93 \leq 1,06 \dots k_{zz} = 0,93$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,93 = 0,56$$

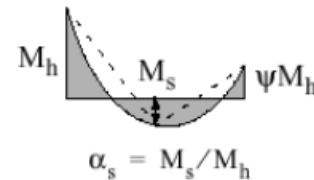
$\chi_{LT} = 1,0$ (pri uzavretých prierezoch ku klopeniu nedochádza)

$$\frac{236,438}{\frac{0,53 \cdot 620,4}{1,0}} + 0,646 \cdot \frac{9,333 + 0}{\frac{1,0 \cdot 31,02}{1,0}} + 0,39 \cdot \frac{0,018 + 0}{\frac{1,0 \cdot 31,02}{1,0}} \leq 1,0$$

0,91 ≤ 1,0 ... vyhovuje program 0,95

$$\frac{236,438}{\frac{0,83 \cdot 620,4}{1,0}} + 0,93 \cdot \frac{9,333 + 0}{\frac{1,0 \cdot 31,02}{1,0}} + 0,56 \cdot \frac{0,018 + 0}{\frac{1,0 \cdot 31,02}{1,0}} \leq 1,0$$

0,74 ≤ 1,0 ... vyhovuje program 0,58



4.2.9 DIAGONÁLY

Prierezové charakteristiky:

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

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

$$A = 781 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 575000 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 27,1 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 19400 \text{ mm}^3$$

Materiálové charakteristiky:

$$S235 (f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa})$$

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

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Pre trubkové profily štvorcového tvaru platí

$$\frac{c}{t} = \frac{70 - 6}{3} = 21,33 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow 1. \text{ trieda}$$

4.2.10 ŤAHANÁ DIAGONÁLA

Prút č 1845 kz 69

$$N_{Ed} = 89,158 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{781 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 183,5 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{89,158}{183,5} \leq 1,0$$

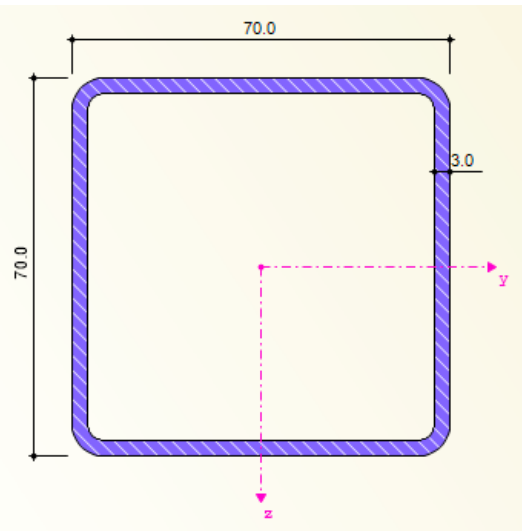
0,48 ≤ 1,0 ... vyhovuje (program RFEM 0,49 ≤ 1,0)

4.2.11 TLAČENÁ DIAGONÁLA POSUDENIE NA VZPER

Prút č 1844 kz 53

$$N_{Ed} = -86,915 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2,3 \text{ m}$$



$\alpha = 0,49$ (duté prierezy tvarované za studena – krivka vzpernej pevnosti "c")

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2300}{27,1} = 84,87$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,597 \cdot 781 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 109,57 \text{ kN}$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,08 + \sqrt{1,08^2 - 0,903^2}} = 0,597$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,903 - 0,2) + 0,903^2] = 1,08$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{781 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{225,28}} = 0,903 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 575000 \cdot 10^{-12}}{2,3^2} = 225,28 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{86,915}{109,57} = 0,79 \leq 1,0$$

0,79 ≤ 1,0 ... vyhovuje (program RFEM 0,48 ≤ 1,0)

4.2.12 ZVISLICE

Prierezové charakteristiky:

$$b = 50 \text{ mm}$$

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

$$A = 541 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 195000 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 19 \text{ mm}$$

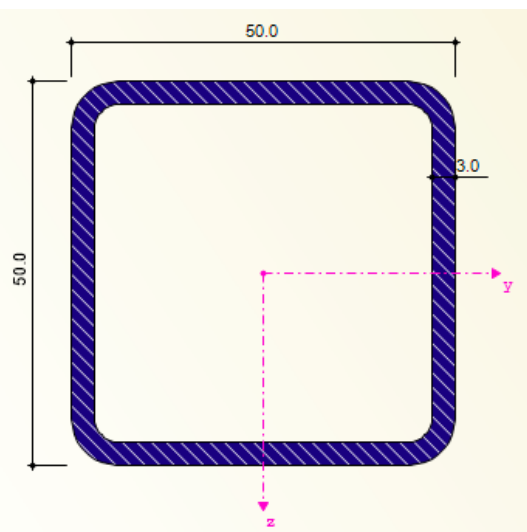
$$W_{pl,y} = 9390 \text{ mm}^3$$

Materiálové charakteristiky:

$$S235 (f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa})$$

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

Trieda prierezu:



$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Pre trubkové profily štvorcového tvaru platí

$$\frac{c}{t} = \frac{50 - 6}{3} = 16,67 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow 1. \text{třída}$$

4.2.13 POSÚDENIE NA ŤAH

Prút č 2715 kz 95

$$N_{Ed} = 16,188 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{541 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 127,135 \text{ kN}$$

$$\frac{16,188}{127,135} \leq 1,0$$

0,013 ≤ 1,0 ... vyhovuje

4.2.14 POSUDENIE NA VZPER

Prút č 1032 kz 69

$$N_{Ed} = 7,588 \text{ kN}$$

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

$\alpha = 0,49$ (duté prierezy tvarované za studena – krivka vzpernej pevnosti "c")

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1800}{19} = 94,7$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,533 \cdot 541 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 67,76 \text{ kN}$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,21 + \sqrt{1,21^2 - 1,01^2}} = 0,533$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,01 - 0,2) + 1,01^2] = 1,21$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{541 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{124,74}} = 1,01 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 195000 \cdot 10^{-12}}{1,8^2} = 124,74 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{7,588}{67,76} = 0,11 \leq 1,0$$

0,11 ≤ 1,0 ... vyhovuje (program RFEM 0,11 ≤ 1,0)

5 GLOBÁLNA STABILITA VÄZNÍKA

Horný pás

$$A_1 = 2640 \text{ mm}^2$$

$$I_1 = 7910000 \text{ mm}^4$$

$$z_1 = 900 \text{ mm}$$

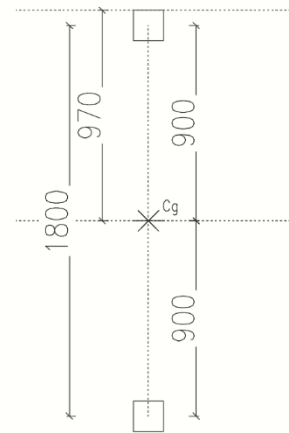
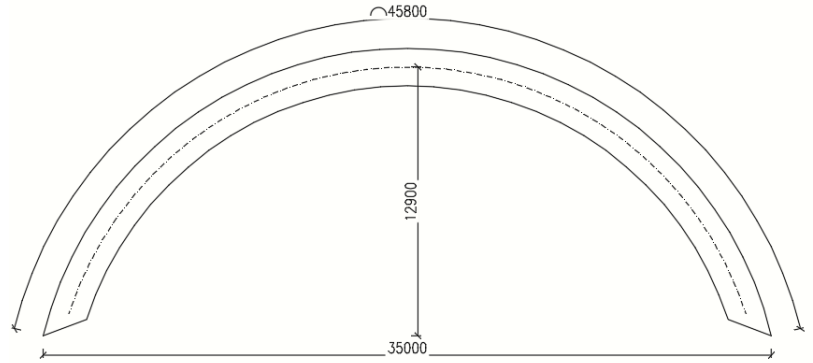
dolný pás

$$A_2 = 2640 \text{ mm}^2$$

$$I_2 = 7910000 \text{ mm}^4$$

$$z_2 = 900 \text{ mm}$$

$$t = \frac{\left(2640 \cdot \frac{140}{2}\right) + \left(2640 \cdot \left(1800 + \frac{140}{2}\right)\right)}{2640 + 2420} = 970 \text{ mm}$$



Idealizovaný prierez:

$$A = A_1 + A_2 = 2640 + 2640 = 5280 \text{ mm}^2$$

$$I = I_1 + I_2 + A_1 \cdot z_1^2 + A_2 \cdot z_2^2 = (7910000 + 7910000 + 2640 \cdot 900^2 + 2640 \cdot 900^2) \cdot 10^{-12} = 4,29 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$L = 45,8 \text{ m}$$

$$\beta: \frac{f}{l} = \frac{12900}{35000} = 0,36 \rightarrow \beta = 1,09$$

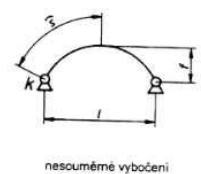
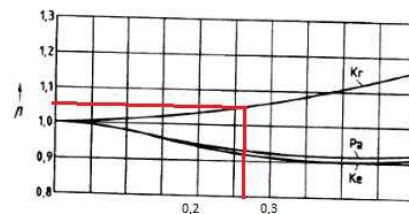
K_r – kruhový tvar

$$L_{cr,y} = \beta \cdot \bar{s} = \beta \cdot \frac{L}{2} = 1,09 \cdot \frac{45,8}{2} = 24,96 \text{ m}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,962 \cdot 5280 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 1193,65 \text{ kN}$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,29^2}} = 0,962$$



$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,29 - 0,2) + 0,29^2] = 0,56$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{5280 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{14272}} = 0,29 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 4,29 \cdot 10^{-3}}{24,96^2} = 14272 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{\max N \text{ tlak}}{1193,65} = 0,04 \leq 1,0$$

0,04 ≤ 1,0 ... vyhovuje (program RFEM 0,04 ≤ 1,0)

5.1.1 PRIEČNE STUŽIDLO V KRAJNÝCH POLIACH

Prierezové charakteristiky:

$$b = 90 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$A = 1330 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 1620000 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 34,8 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 42600 \text{ mm}^3$$

Materiálové charakteristiky:

$$S235 (f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa})$$

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

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Pre trubkové profily štvorcového tvaru platí

$$\frac{c}{t} = \frac{90 - 8}{4} = 20,5 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow 1. \text{trída}$$

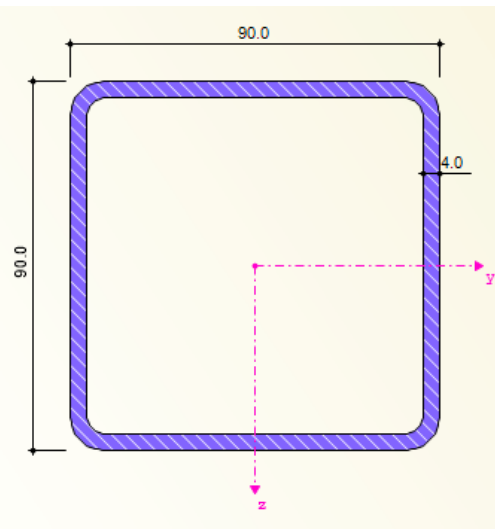
5.1.2 POSÚDENIE NA VZPER

Prút č 2464 kz 87

$$N_{Ed} = 62,272 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = 2,92 \text{ m}$$

$\alpha = 0,49$ (duté prierezy tvarované za studena – krivka vzpernej pevnosti "c")



$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2920}{34,8} = 83,9$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,6 \cdot 1330 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 187,53 \text{ kN}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,07 + \sqrt{1,07^2 - 0,89^2}} = 0,6$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,89 - 0,2) + 0,89^2] = 1,07$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1330 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{393,79}} = 0,89 > 0,2$$

Nemůžeme zanedbat účinky vzperu

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1620000 \cdot 10^{-12}}{2,92^2} = 393,79 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{62,272}{187,53} = 0,33 \leq 1,0$$

0,33 ≤ 1,0 ... vyhovuje

$$L_{cr,z} = 5,84 \text{ m}$$

$\alpha = 0,49$ (duté prierezy tvarované za studena – krivka vzpernej pevnosti "c")

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5840}{34,8} = 167,8$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,24 \cdot 1330 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 75,012 \text{ kN}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,47 + \sqrt{2,47^2 - 1,78^2}} = 0,24$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,78 - 0,2) + 1,78^2] = 2,47$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1330 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{98,45}} = 1,78 > 0,2$$

Nemůžeme zanedbat účinky vzperu

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1620000 \cdot 10^{-12}}{5,84^2} = 98,45 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{62,272}{75,012} = 0,83 \leq 1,0$$

0,83 ≤ 1,0 ... vyhovuje (program RFEM 0,55 ≤ 1,0)

5.1.3 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU

Prút č 53 kz 71

$$N_{Ed} = -61,968 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -0,042 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -0,508 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

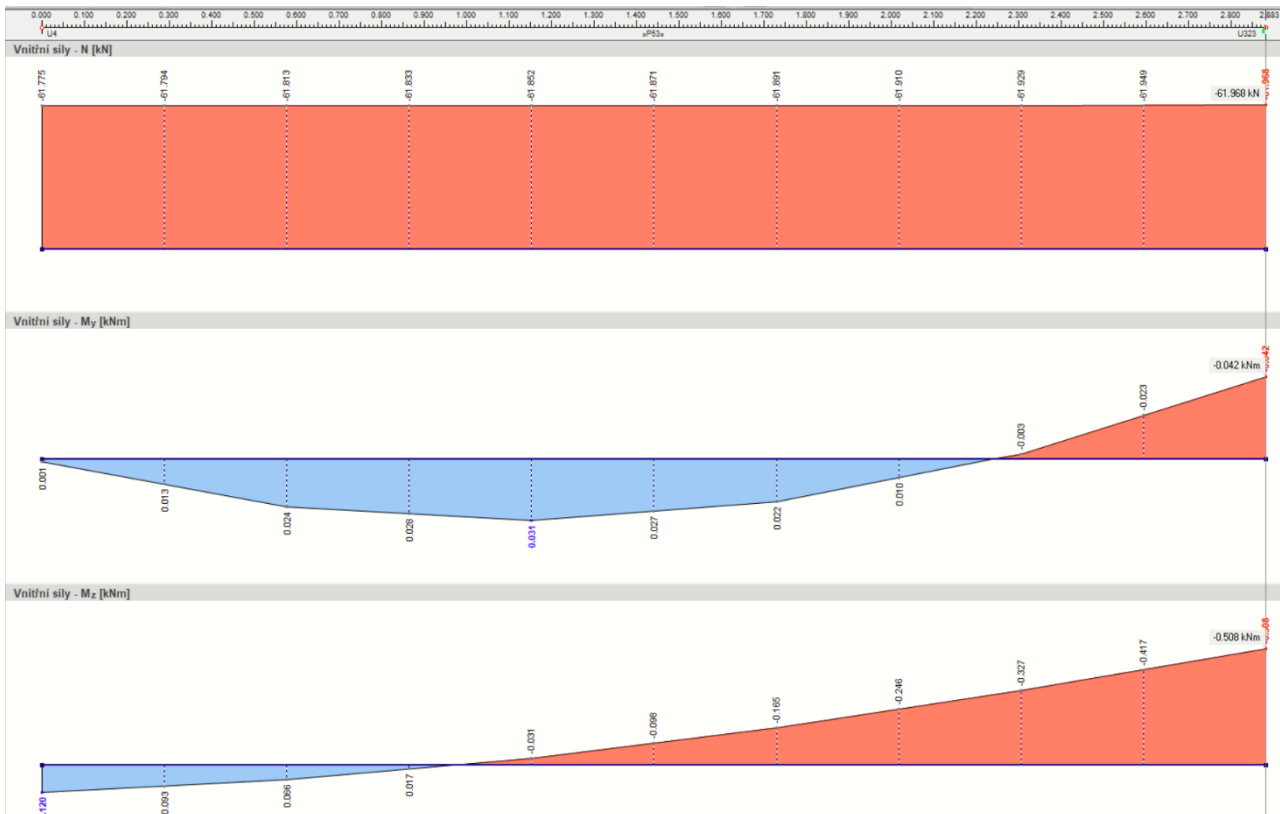
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

Návrhové hodnoty únosnosti:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1330 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 312,55 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{42600 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 10,011 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{42600 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 10,011 \text{ kNm}$$



$$M_{h,y} = -0,042 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,y} = 0,032 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 0,027 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{0,032}{-0,042} = -0,761$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,027}{-0,042} = -0,642$$

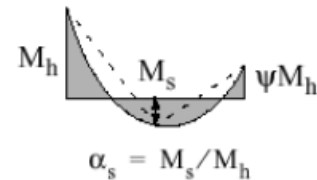
$$-1 \leq \alpha_s \leq 0$$

$$-1 \leq -0,642 \leq 0 \dots \checkmark$$

$$-1 \leq \Psi \leq 0$$

$$-1 \leq -0,761 \leq 0 \dots \checkmark$$

$$c_{my} = 0,1 \cdot (1 - \Psi) - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 \cdot (1 + 0,761) + 0,8 \cdot 0,642 = 0,687 \geq 0,4$$



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

$$k_{yy} = 0,687 \cdot \left(1 + (0,89 - 0,2) \cdot \frac{62,272}{0,6 \cdot 312,55} \right) \leq 0,687 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{62,272}{0,6 \cdot 312,55} \right)$$

$$k_{yy} = 0,844 \leq 0,869 \dots k_{yy} = 0,844$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,844 = 0,506$$

$$M_{h,z} = -0,509 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,z} = 0,120 \text{ kNm}$$

$$M_{s,z} = -0,098 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{0,12}{-0,509} = -0,24$$

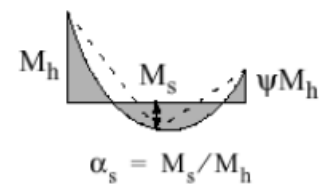
$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-0,098}{-0,509} = +0,193$$

$$0 \leq \alpha_s \leq 1$$

$$0 \leq 0,193 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq -0,24 \leq 1 \dots \checkmark$$



$$c_{mz} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s = 0,2 + 0,8 \cdot 0,193 = 0,354 \geq 0,4 \dots x$$

$$c_{mz} = 0,4$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,4 \cdot \left(1 + (2 \cdot 1,78 - 0,6) \cdot \frac{62,272}{\frac{0,24 \cdot 312,55}{1,0}} \right) \leq 0,4 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{62,272}{\frac{0,24 \cdot 312,55}{1,0}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,38 \leq 0,665 \dots k_{zz} = 0,665$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,665 = 0,4$$

$\chi_{LT} = 1,0$ (pri uzavretých prierezoch ku klopeniu nedochádza)

$$\frac{62,272}{\frac{0,6 \cdot 312,55}{1,0}} + 0,844 \cdot \frac{0,042 + 0}{\frac{1,0 \cdot 10,011}{1,0}} + 0,506 \cdot \frac{0,018 + 0}{\frac{1,0 \cdot 10,011}{1,0}} \leq 1,0$$

0,34 ≤ 1,0 ... vyhovuje program 0,35

$$\frac{62,272}{\frac{0,24 \cdot 312,55}{1,0}} + 0,665 \cdot \frac{0,042 + 0}{\frac{1,0 \cdot 10,011}{1,0}} + 0,4 \cdot \frac{0,508 + 0}{\frac{1,0 \cdot 10,011}{1,0}} \leq 1,0$$

0,84 ≤ 1,0 ... vyhovuje program 0,87

5.1.4 POZDÍŽNE STUŽIDLO VRCHOLOVÉ

5.1.5 DIAGONÁLY

Prierezové charakteristiky:

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

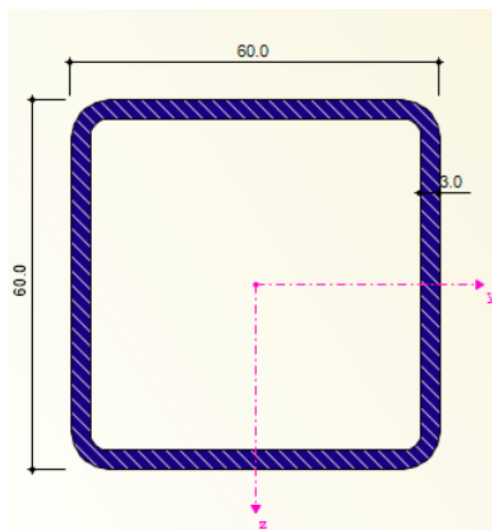
$$t = 3 \text{ mm}$$

$$A = 661 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 351000 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 23,1 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 14000 \text{ mm}^3$$



Materiálové charakteristiky:

$$S235 (f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa})$$

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

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Pre trubkové profily štvorcového tvaru platí

$$\frac{c}{t} = \frac{60 - 6}{3} = 18 \leq 33. \varepsilon = 33.1 = 33 \rightarrow 1. \text{třída}$$

5.1.6 POSÚDENIE NA VZPER

Prút č 2650 kz 60

$$N_{Ed} = 31,743 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3,081 \text{ m (zaistené väznicami)}$$

$\alpha = 0,49$ (duté prierezy tvarované za studena – krivka vzpernej pevnosti "c")

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3081}{23,1} = 133,37$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,34 \cdot 661 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 52,81 \text{ kN}$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,807 + \sqrt{1,807^2 - 1,42^2}} = 0,34$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,42 - 0,2) + 1,42^2] = 1,807$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{661 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{76,638}} = 1,42 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 351000 \cdot 10^{-12}}{3,081^2} = 76,638 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{31,743}{52,81} = 0,60 \leq 1,0$$

0,60 ≤ 1,0 ... vyhovuje (program RFEM 0,60 ≤ 1,0)

5.1.7 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU

Prút č 1032 kz 69

$$N_{Ed} = 31,743 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -0,022 \text{ kNm}$$

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

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} \leq 1,0$$

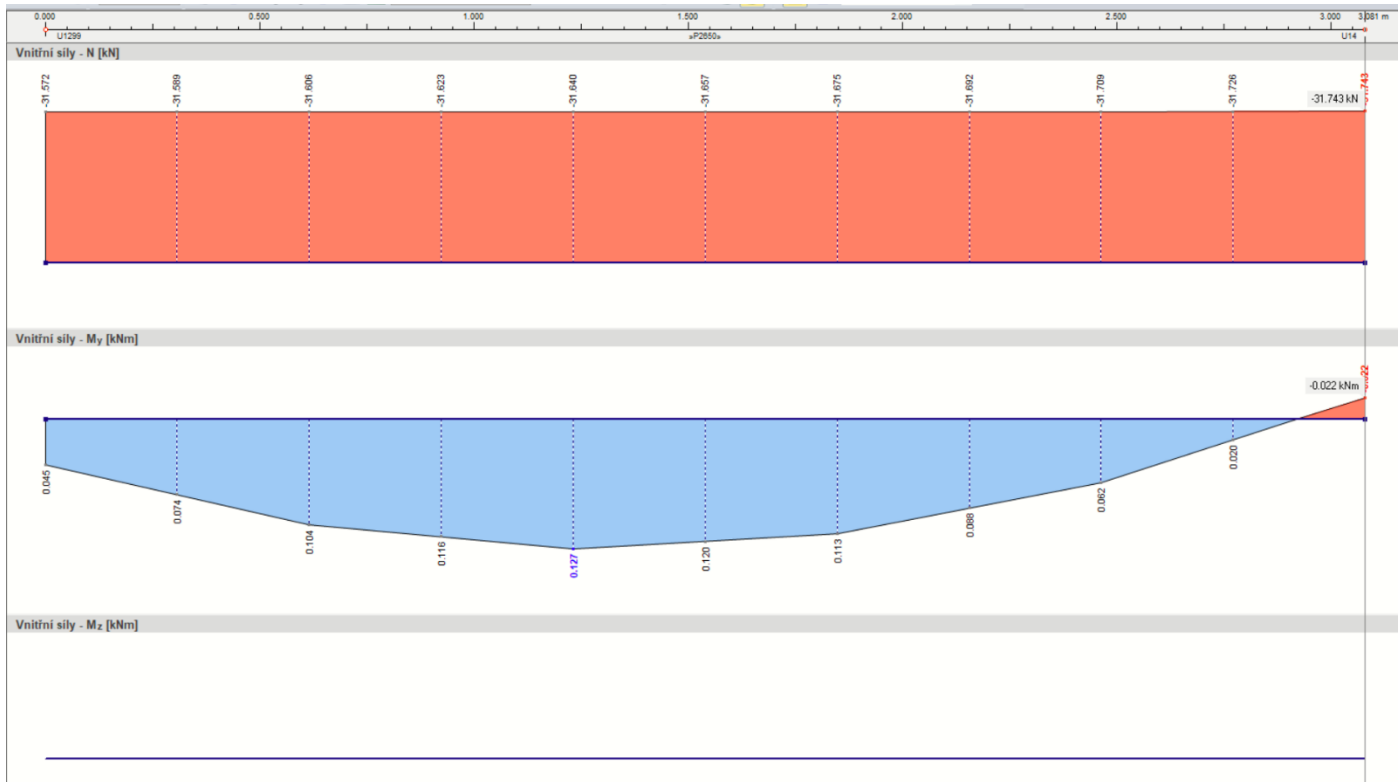
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

Návrhové hodnoty únosnosti:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{661 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 155,335 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{14000 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 3,29 \text{ kNm}$$



$$M_{h,y} = 0,045 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,y} = -0,022 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 0,127 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{-0,022}{0,045} = -0,488$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0,045}{0,127} = 0,354$$

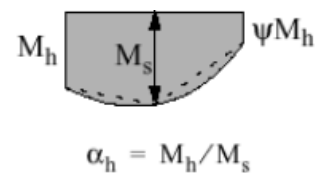
$$0 \leq \alpha_h \leq 1$$

$$0 \leq 0,354 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq -0,488 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,354 = 0,968 \geq 0,4 \dots \checkmark$$



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

$$k_{yy} = 0,968 \cdot \left(1 + (1,42 - 0,2) \cdot \frac{31,743}{\frac{0,34 \cdot 155,335}{1,0}} \right) \leq 0,968 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{31,743}{\frac{0,34 \cdot 155,335}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,678 \leq 1,433 \dots k_{yy} = 1,433$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,433 = 0,86$$

$\chi_{LT} = 1,0$ (pri uzavretých prierezoch ku klopeniu nedochádza)

$$\frac{31,743}{\frac{0,34 + 155,335}{1,0}} + 1,433 \cdot \frac{0,022 + 0}{\frac{1,0 \cdot 3,29}{1,0}} \leq 1,0$$

0,61 ≤ 1,0 ... vyhovuje

$$\frac{31,743}{\frac{0,34 + 155,335}{1,0}} + 0,86 \cdot \frac{0,022 + 0}{\frac{1,0 \cdot 3,29}{1,0}} \leq 1,0$$

0,61 ≤ 1,0 ... vyhovuje

5.1.8 DOLNÝ PÁS

Prierezové charakteristiky:

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

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$A = 1240 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 846000 \text{ mm}^4$$

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

$$W_{pl,y} = 29600 \text{ mm}^3$$

Materiálové charakteristiky:

$$S235 (f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa})$$

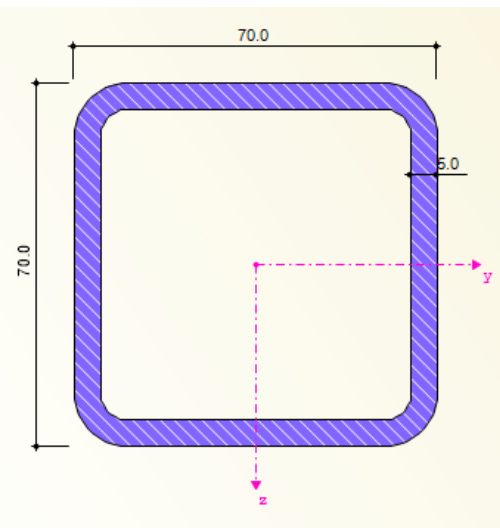
$$E = 210 \text{ GPa}$$

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Pre trubkové profily štvorcového tvaru platí

$$\frac{c}{t} = \frac{70 - 10}{5} = 12 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow 1. \text{trída}$$



5.1.9 POSÚDENIE NA TAH

Prút č 2648 kz 60

$$N_{Ed} = 51,674 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1240 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 291,4 \text{ kN}$$

$$\frac{51,674}{291,4} \leq 1,0$$

0,18 ≤ 1,0 ... vyhovuje**5.1.10 POSÚDENIE NA VZPER**

Prút č 1120 kz 100

$$N_{Ed} = 38,4 \text{ kN}$$

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

 $\alpha = 0,49$ (duté prierezy tvarované za studena – krivka vzpernej pevnosti "c")

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5000}{26,2} = 190,84$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,19 \cdot 1240 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 55,37 \text{ kN}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{3,03 + \sqrt{3,03^2 - 2,04^2}} = 0,19$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,04 - 0,2) + 2,04^2] = 3,03$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1240 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{70,14}} = 2,04 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 846000 \cdot 10^{-12}}{5^2} = 70,14 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{38,4}{55,37} = 0,69 \leq 1,0$$

0,69 ≤ 1,0 ... vyhovuje

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

$\alpha = 0,49$ (duté prierezy tvarované za studena – krivka vzpernej pevnosti "c")

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2500}{26,2} = 95,42$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,53 \cdot 1240 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 154,44 \text{ kN}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,22 + \sqrt{1,22^2 - 1,02^2}} = 0,53$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{z,z} - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,02 - 0,2) + 1,02^2] = 1,22$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1240 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{280,55}} = 1,02 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 846000 \cdot 10^{-12}}{2,5^2} = 280,55 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{38,4}{155,44} = 0,25 \leq 1,0$$

0,25 ≤ 1,0 ... vyhovuje

5.1.11 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU

Prút č 1121 kz 100

$$N_{Ed} = -37,662 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -0,388 \text{ kNm}$$

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

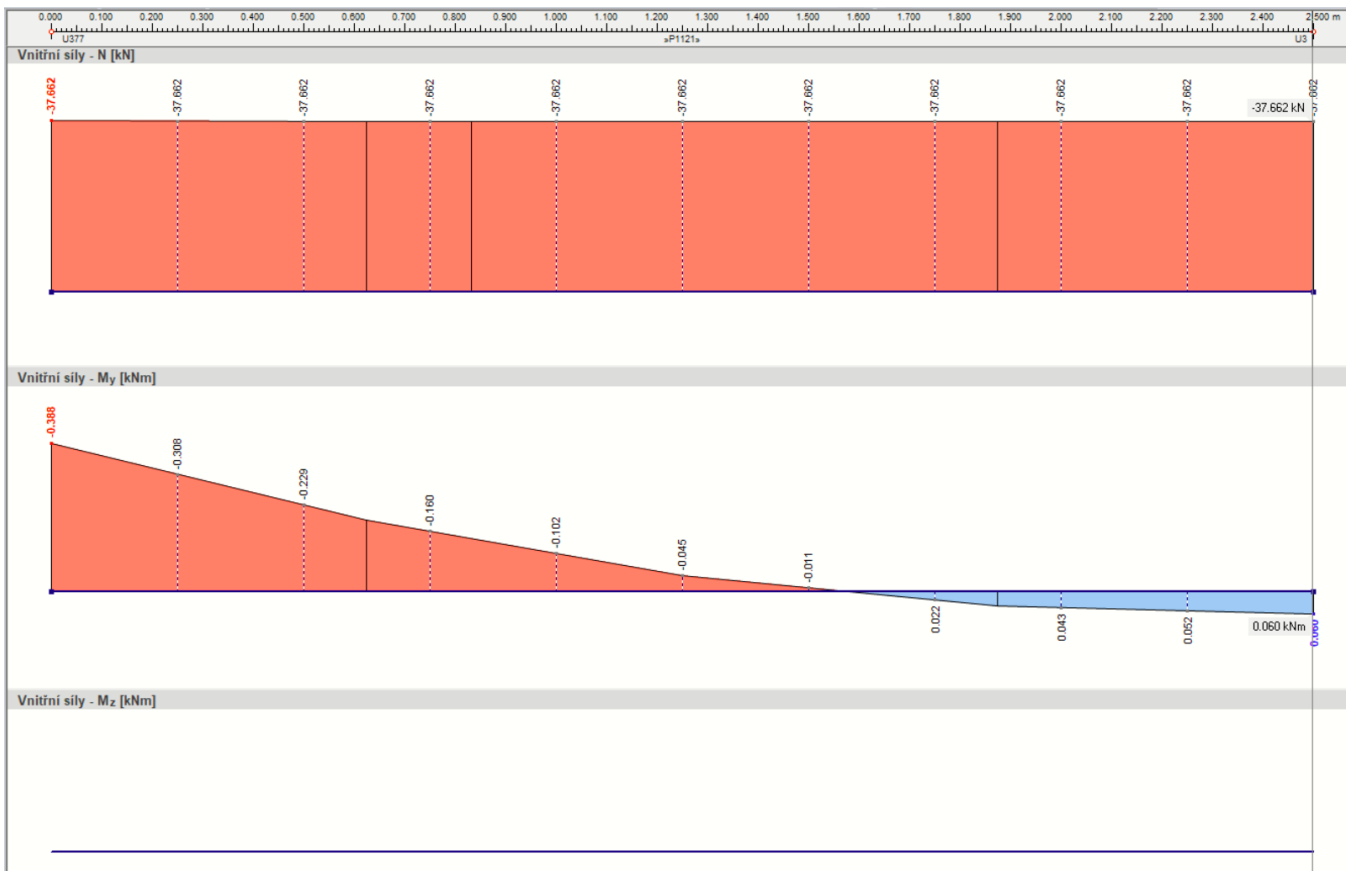
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y + N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z + N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} \leq 1,0$$

Návrhové hodnoty únosnosti:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1240 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 291,4 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{29600 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 6,96 \text{ kNm}$$



$$M_{h,y} = -0,388 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,y} = 0,060 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = -0,045 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{-0,060}{0,388} = -0,155$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-0,045}{-0,388} = 0,116$$

$$0 \leq \alpha_s \leq 1$$

$$0 \leq 0,116 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq -0,115 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s = 0,2 + 0,8 \cdot 0,116 = 0,29 \geq 0,4 \dots x$$

$$c_{my} = 0,4$$

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

$$k_{yy} = 0,4 \cdot \left(1 + (2,04 - 0,2) \cdot \frac{37,662}{\frac{0,19 \cdot 291,4}{1,0}} \right) \leq 0,4 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{37,662}{\frac{0,19 \cdot 291,4}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,901 \leq 0,618 \dots k_{yy} = 0,618$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,618 = 0,371$$

$\chi_{LT} = 1,0$ (pri uzavretých prierezoch ku klopeniu nedochádza)

$$\frac{37,662}{\frac{0,19 + 291,4}{1,0}} + 0,618 \cdot \frac{0,388 + 0}{\frac{1,0 \cdot 6,96}{1,0}} \leq 1,0$$

0,71 ≤ 1,0 ... vyhovuje program 0,86

$$\frac{37,662}{\frac{0,53 + 291,4}{1,0}} + 0,371 \cdot \frac{0,388 + 0}{\frac{1,0 \cdot 6,96}{1,0}} \leq 1,0$$

0,26 ≤ 1,0 ... vyhovuje program 0,27

5.1.12 PRIEČNÉ STREŠNÉ STUŽIDLO VAZNÍC

Prierezové charakteristiky:

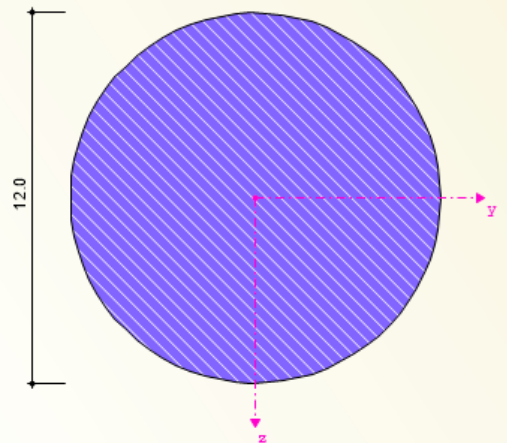
$$A = 113 \text{ mm}^2$$

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

Materiálové charakteristiky:

$$S235 (f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa})$$

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



5.1.13 POSÚDENIE NA ŤAH

Prút č 1750 kz 44

$$N_{Ed} = -21,97 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{113 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 26,561 \text{ kN}$$

$$\frac{21,97}{26,56} \leq 1,0$$

0,83 ≤ 1,0 ... vyhovuje

5.1.14 POZDĚLNÉ STUŽIDLO DOLNEHO PÁSU VAZNÍKU

Prierezové charakteristiky:

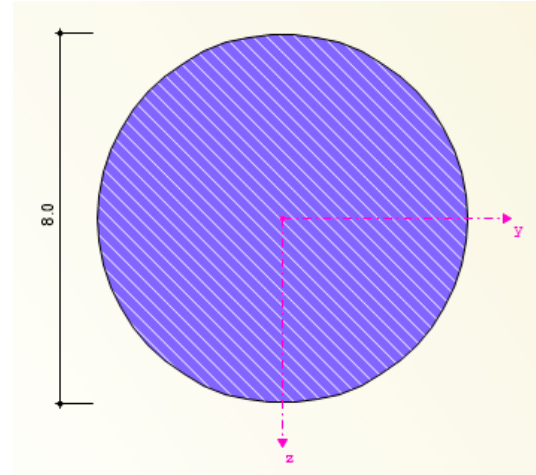
$$A = 50,3 \text{ mm}^2$$

$$d = 8 \text{ mm}$$

Materiálové charakteristiky:

$$S235 (f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa})$$

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



5.1.15 POSÚDENIE NA TAH

Prút č 885 kz 89

$$N_{Ed} = 2,894 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{50,3 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 11,82 \text{ kN}$$

$$\frac{2,894}{11,82} \leq 1,0$$

0,25 ≤ 1,0 ... vyhovuje

5.1.16 POZDĚLNÉ OKAPOVÉ STUŽIDLO

Prierezové charakteristiky:

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

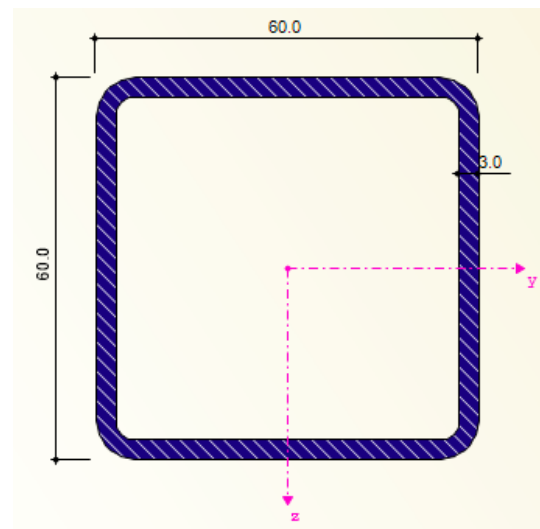
$$t = 3 \text{ mm}$$

$$A = 661 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 351000 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 23,1 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 14000 \text{ mm}^3$$



Materiálové charakteristiky:

$$S235 (f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa})$$

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

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Pre trubkové profily štvorcového tvaru platí

$$\frac{c}{t} = \frac{60 - 6}{3} = 18 \leq 33. \varepsilon = 33.1 = 33 \rightarrow 1. \text{třída}$$

5.1.17 POSÚDENIE NA ŤAH

Prút č 2666 kz 83

$$N_{Ed} = 21,337 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{661 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 155,34 \text{ kN}$$

$$\frac{21,337}{155,34} \leq 1,0$$

0,14 ≤ 1,0 ... vyhovuje

5.1.18 POSÚDENIE NA VZPER

Prút č 2693 kz 55

$$N_{Ed} = -20,633 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2,921 \text{ m (zaistené väznicami)}$$

$\alpha = 0,49$ (duté prierezy tvarované za studena – krivka vzpernej pevnosti "c")

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2921}{23,1} = 126,45$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,37 \cdot 661 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 57,47 \text{ kN}$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,69 + \sqrt{1,69^2 - 1,35^2}} = 0,37$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,35 - 0,2) + 1,35^2] = 1,69$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{661 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{85,26}} = 1,35 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 351000 \cdot 10^{-12}}{2,921^2} = 85,26 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{20,633}{57,47} = 0,36 \leq 1,0$$

0,36 ≤ 1,0 ... vyhovuje

5.2 PAŽDÍKY

Prierezové charakteristiky:

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$t = 8 \text{ mm}$$

$$A = 4320 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 14120000 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 57,1 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 226000 \text{ mm}^3$$

Materiálové charakteristiky:

$$S235 (f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa})$$

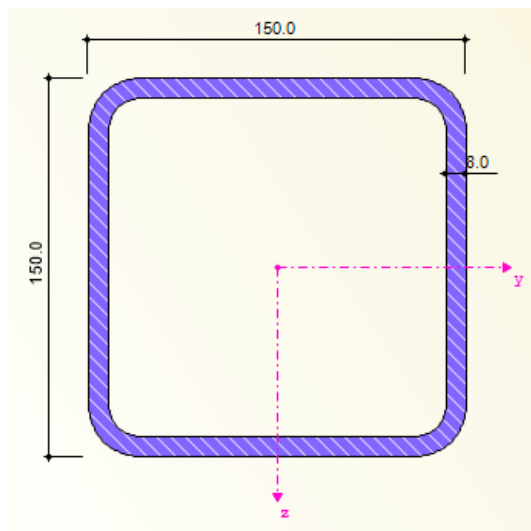
$$E = 210 \text{ GPa}$$

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Pre trubkové profily štvorcového tvaru platí

$$\frac{c}{t} = \frac{150 - 16}{8} = 16,75 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow 1. \text{trída}$$



5.2.1 POSÚDENIE NA VZPER

Prút č 462 kz 54

$$N_{Ed} = -42,464 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 5,932 \text{ m}$$

$\alpha = 0,49$ (duté prierezy tvarované za studena – krivka vzpernej pevnosti "c")

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5932}{57,1} = 103,88$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,49 \cdot 4320 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 469,37 \text{ kN}$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,32 + \sqrt{1,32^2 - 1,1^2}} = 0,49$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{y,y} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,1 - 0,2) + 1,1^2] = 1,32$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{4320 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{831,67}} = 1,10 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 14120000 \cdot 10^{-12}}{5,932^2} = 831,67 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{42,464}{469,37} = 0,09 \leq 1,0$$

0,09 ≤ 1,0 ... vyhovuje

5.2.2 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU

Prút č 466 kz 74

$$N_{Ed} = -19,772 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 4,084 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -18,193 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

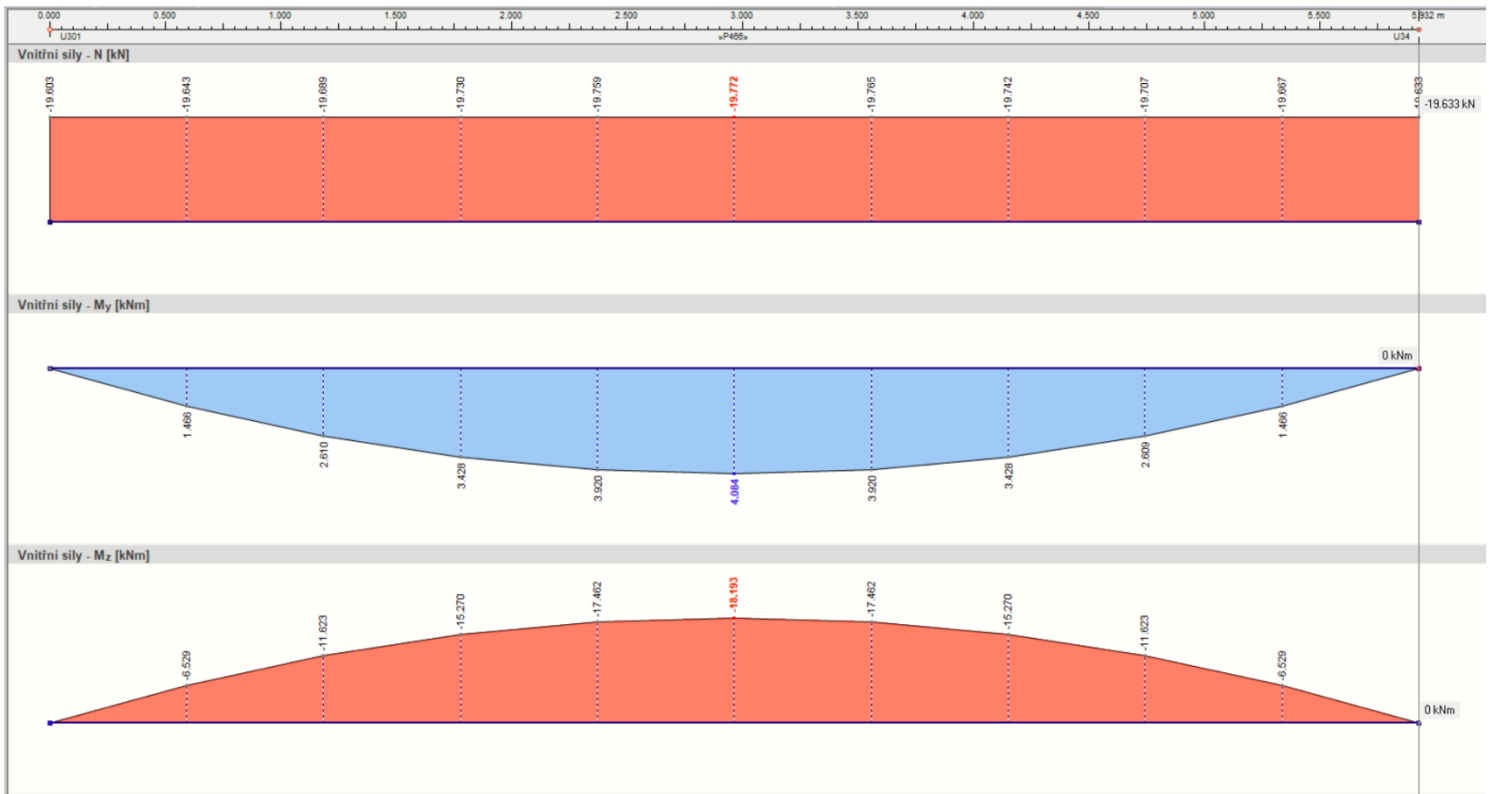
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

Návrhové hodnoty únosnosti:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4320 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 1015,2 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{226000 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 53,11 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,176 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 53,11 \text{ kNm}$$



$$M_{h,y} = 0 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,y} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{S,y} = 4,084 \text{ kNm}$$

$$\Psi = 0$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0$$

$$0 \leq \alpha_h \leq 1$$

$$0 \leq 0 \leq 1 \dots \checkmark$$

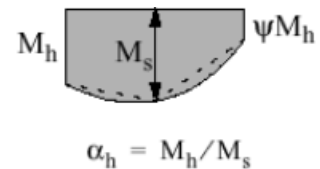
$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq 0 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95 \geq 0,4 \dots \checkmark$$

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left(1 + (1,1 - 0,2) \cdot \frac{19,772}{0,49 \cdot 1015,2} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{19,772}{0,49 \cdot 911,8} \right)$$



$$k_{yy} = 0,984 \leq 0,980 \dots k_{yy} = 0,98$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,98 = 0,588$$

$$M_{h,z} = 0 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,z} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{s,z} = -18,193 \text{ kNm}$$

$$\Psi = 0$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0$$

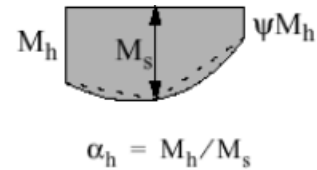
$$0 \leq \alpha_h \leq 1$$

$$0 \leq 0 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq 0 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95 \geq 0,4 \dots \checkmark$$



$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,95 \cdot \left(1 + (2 \cdot 1,1 - 0,6) \cdot \frac{19,772}{\frac{0,49 \cdot 1015,2}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{19,772}{\frac{0,49 \cdot 1015,2}{1,0}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,011 \leq 0,980 \dots k_{zz} = 0,980$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,980 = 0,588$$

$\chi_{LT} = 1,0$ (pri uzavretých prierezoch ku klopeniu nedochádza)

$$\frac{19,772}{\frac{0,49 + 1015,2}{1,0}} + 0,98 \cdot \frac{4,084 + 0}{\frac{1,0 \cdot 53,11}{1,0}} + 0,588 \cdot \frac{18,193 + 0}{\frac{1,0 \cdot 53,11}{1,0}} \leq 1,0$$

0,31 ≤ 1,0 ... vyhovuje

$$\frac{19,772}{\frac{0,49 + 1015,2}{1,0}} + 0,588 \cdot \frac{4,084 + 0}{\frac{1,0 \cdot 53,11}{1,0}} + 0,98 \cdot \frac{18,193 + 0}{\frac{1,0 \cdot 53,11}{1,0}} \leq 1,0$$

0,42 ≤ 1,0 ... vyhovuje

5.3 PRIEHRADOVÉ STĹPY

5.3.1 DOLNÝ PÁS

Prierezové charakteristiky:

$$b = 150 \text{ mm}$$

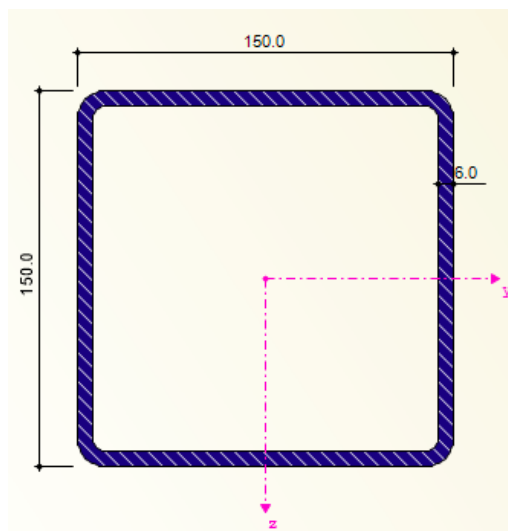
$$t = 6 \text{ mm}$$

$$A = 3360 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 11460000 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 58,4 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 180000 \text{ mm}^3$$



Materiálové charakteristiky:

$$S235 (f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa})$$

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

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Pre trubkové profily štvorcového tvaru platí

$$\frac{c}{t} = \frac{150 - 12}{6} = 23 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow 1. \text{ trieda}$$

5.3.2 POSÚDENIE NA ŤAH

Prút č 332 kz 75

$$N_{Ed} = 246,353 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{3360 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 789,6 \text{ kN}$$

$$\frac{246,353}{789,6} \leq 1,0$$

0,31 ≤ 1,0 ... vyhovuje program 0,31

5.3.3 POSÚDENIE NA VZPER

Prút č 1278 kz 31

$$N_{Ed} = -74,633 \text{ kN}$$

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

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

$\alpha = 0,49$ (duté prierezy tvarované za studena – krivka vzpernej pevnosti "c")

Vybočení kolmo k osy y:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2500}{58,4} = 42,8$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,87 \cdot 3360 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 686,95 \text{ kN}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,66 + \sqrt{0,66^2 - 0,45^2}} = 0,87$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,45 - 0,2) + 0,45^2] = 0,66$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3360 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{3800}} = 0,45 > 0,2$$

Nemůžeme zanedbat účinky vzperu

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 11460000 \cdot 10^{-12}}{2,5^2} = 3800 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{74,633}{686,96} = 0,11 \leq 1,0$$

0,11 ≤ 1,0 ... vyhovuje (program RFEM 0,11 ≤ 1,0)

Vybočení kolmo k osy z:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5000}{58,4} = 85,62$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,59 \cdot 3360 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 465,86 \text{ kN}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,088 + \sqrt{1,088^2 - 0,91^2}} = 0,59$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,91 - 0,2) + 0,91^2] = 1,088$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3360 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{950,09}} = 0,91 > 0,2$$

Nemůžeme zanedbat účinky vzperu

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 11460000 \cdot 10^{-12}}{5^2} = 950,09 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{74,633}{465,86} = 0,16 \leq 1,0$$

0,16 ≤ 1,0 ... vyhovuje (program RFEM 0,16 ≤ 1,0)

5.3.4 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU

Prút č 332 kz 57

$$N_{Ed} = -342,139 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0,297 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -1,910 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

Návrhové hodnoty únosnosti:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3360 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 789,6 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{180000 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 42,3 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{180000 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 42,3 \text{ kNm}$$



$$M_{h,y} = 0,298 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,y} = 0,297 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 0,327 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{0,297}{0,298} = 0,996$$

$$\alpha_h = \frac{0,298}{0,327} = 0,911$$

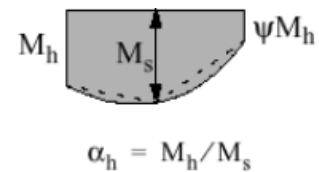
$$0 \leq \alpha_h \leq 1$$

$$0 \leq 0,911 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq 0,996 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,911 = 0,995 \geq 0,4 \dots \checkmark$$



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

$$k_{yy} = 0,995 \cdot \left(1 + (0,45 - 0,2) \cdot \frac{342,139}{0,87 \cdot 789,6} \right) \leq 0,995 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{342,139}{0,87 \cdot 789,6} \right)$$

$$k_{yy} = 1,119 \leq 1,39 \dots k_{yy} = 1,119$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,119 = 0,67$$

$$M_{h,z} = -3,113 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,z} = -1,910 \text{ kNm}$$

$$M_{s,z} = -2,756 \text{ kNm}$$

$$\Psi = 0,614$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-2,756}{-3,113} = 0,885$$

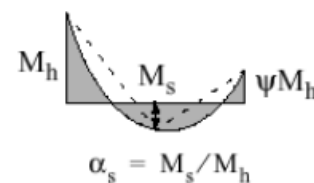
$$0 \leq \alpha_s \leq 1$$

$$0 \leq 0,885 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq 0,614 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{mz} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s = 0,2 + 0,8 \cdot 0,885 = 0,908 \geq 0,4 \dots \checkmark$$



$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,908 \cdot \left(1 + (2 \cdot 0,91 - 0,6) \cdot \frac{342,139}{\frac{0,59 \cdot 789,6}{1,0}} \right) \leq 0,908 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{342,139}{\frac{0,59 \cdot 789,6}{1,0}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,72 \leq 1,44 \dots k_{zz} = 1,44$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,44 = 0,864$$

$\chi_{LT} = 1,0$ (pri uzavretých prierezoch ku klopeniu nedochádza)

$$\frac{342,139}{\frac{0,87 \cdot 789,6}{1,0}} + 1,119 \cdot \frac{0,297 + 0}{\frac{1,0 \cdot 42,3}{1,0}} + 0,864 \cdot \frac{1,910 + 0}{\frac{1,0 \cdot 42,3}{1,0}} \leq 1,0$$

0,54 ≤ 1,0 ... vyhovuje program 0,56

$$\frac{342,139}{\frac{0,59 \cdot 789,6}{1,0}} + 0,67 \cdot \frac{0,297 + 0}{\frac{1,0 \cdot 42,3}{1,0}} + 1,44 \cdot \frac{1,910 + 0}{\frac{1,0 \cdot 42,3}{1,0}} \leq 1,0$$

0,80 ≤ 1,0 ... vyhovuje program 0,83

5.3.5 HORNÝ PÁS

Prierez: HEB 220

Prierezové charakteristiky:

$$h = 220 \text{ mm}$$

$$b = 220 \text{ mm}$$

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

$$t_f = 16 \text{ mm}$$

$$r = 18 \text{ mm}$$

$$A = 9100 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 80900000 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 28400000 \text{ mm}^4$$

$$I_t = 768000 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 295400000000 \text{ mm}^6$$

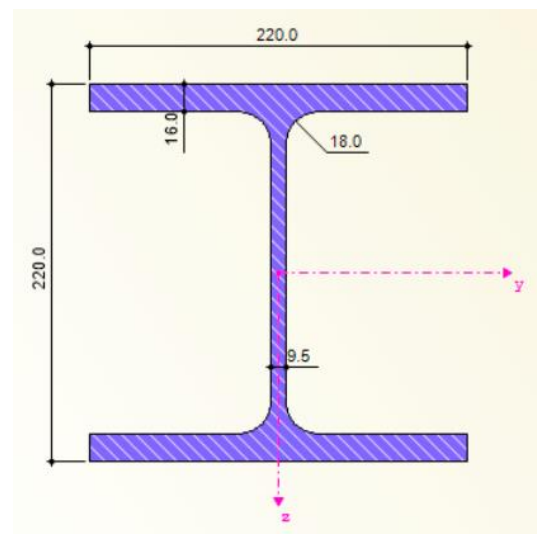
$$I_w = 0,2954 \cdot 10^{12}$$

$$i_y = 94,4 \text{ mm}$$

$$i_z = 55,9 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 828000 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 393881 \text{ mm}^3$$



Materiálové charakteristiky:S235 ($f_y = 235 \text{ MPa}$, $f_u = 360 \text{ MPa}$) $E = 210 \text{ GPa}$ $G = 81 \text{ GPa}$ **Trieda prierezu:**

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Stojina:

$$c_w = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 220 - 2 \cdot 16 - 2 \cdot 18 = 152 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{152}{16} = 9,5$$

$$9,5 \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 1 = 72 \rightarrow 1. \text{trída}$$

Pásnica:

$$c_f = \frac{b - 2 \cdot r - t_w}{2} = \frac{220 - 2 \cdot 18 - 9,5}{2} = 87,25$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{87,25}{16} = 5,45$$

$$5,45 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow 1. \text{trída}$$

5.3.6 POSÚDENIE NA VZPER

Prút 352 – KZ80

 $N_{Ed} = 271,383 \text{ kN}$ **Vzper okolo osy Y** $L_{cr,y} = 1,25 \text{ m}$

$$\frac{h}{b} = \frac{220}{220} = 1 < 1,2 \Rightarrow \text{krivka } b \Rightarrow \alpha = 0,34 \text{ tab 1.9}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1240}{94,4} = 13,13$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,02 \cdot 9100 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 2181 \text{ kN}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,5 + \sqrt{0,5^2 - 0,14^2}} = 1,02$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{zy} - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,14 - 0,2) + 0,14^2] = 0,5$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{9100 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{107311}} = 0,14 > 0,2$$

můžeme zanedbat účinky vzperu

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 80900000 \cdot 10^{-12}}{1,25^2} = 107311 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{271,383}{2181} = 0,12 \leq 1,0$$

0,12 ≤ 1,0 ... vyhovuje

Vzper okolo osy Z

$$\frac{h}{b} = \frac{220}{220} = 1 < 1,2 \Rightarrow \text{krivka c} \Rightarrow \alpha = 0,49 \quad \text{tab 1.3}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,86 \cdot 9100 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 1839 \text{ kN}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,676 + \sqrt{0,676^2 - 0,47^2}} = 0,86$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{zy} - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,47 - 0,2) + 0,47^2] = 0,676$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{9100 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{9417,97}} = 0,47 > 0,2$$

Nemůžeme zanedbat účinky vzperu

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 28400000 \cdot 10^{-12}}{2,5^2} = 9417,97 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{271,383}{1839} = 0,15 \leq 1,0$$

0,15 ≤ 1,0 ... vyhovuje (program RFEM 0,09 ≤ 1,0)

POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU

Prút č. 321 – KZ89

$$N_{Ed} = -262,429 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 9,589 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,034 \text{ kNm}$$

Kombinacia osovej sily a momentu

VPLYV KLOPENIA

Parameter krútenia

$$k_w = 1,0; L = 2,5\text{m}$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 2,5} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,954 \cdot 10^{-7}}{81 \cdot 10^9 \cdot 7,68 \cdot 10^{-7}}} = 1,25$$

$$z_j = 0$$

$$\zeta_j = \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = 0$$

$$z_g = 0,110\text{m}$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 0,110}{1 \cdot 2,5} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,84 \cdot 10^{-5}}{81 \cdot 10^9 \cdot 7,68 \cdot 10^{-7}}} = 1,35$$

Bezrozmerný kritický moment

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

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

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \left[\sqrt{1 + 1,25^2 + (0,46 \cdot 1,35 - 0,53 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 1,35 - 0,53 \cdot 0) \right]$$

$$\mu_{cr} = 1,238$$

Pružný kritický moment pri klopení

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,238 \cdot \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 2,87 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 7,68 \cdot 10^{-7}}}{2,5}$$

$$M_{cr} = 952,59 \text{ kNm}$$

Pomerná štíhlosť

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{8,28 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{952590}} = 0,45$$

$$\frac{h}{b} = \frac{152}{160} = 0,95 < 2 \Rightarrow \text{krivka klopenia } a \Rightarrow \alpha_{LT} = 0,21 \text{ tab 1.8}$$

$$\phi_{LT} = 0,5(1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,45 - 0,2) + 0,45^2) = 0,628$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,628 + \sqrt{0,628^2 - 0,45^2}} = 0,938$$

Návrhové hodnoty únosnosti:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,938 \cdot 8,28 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 182,52 \text{ kNm}$$

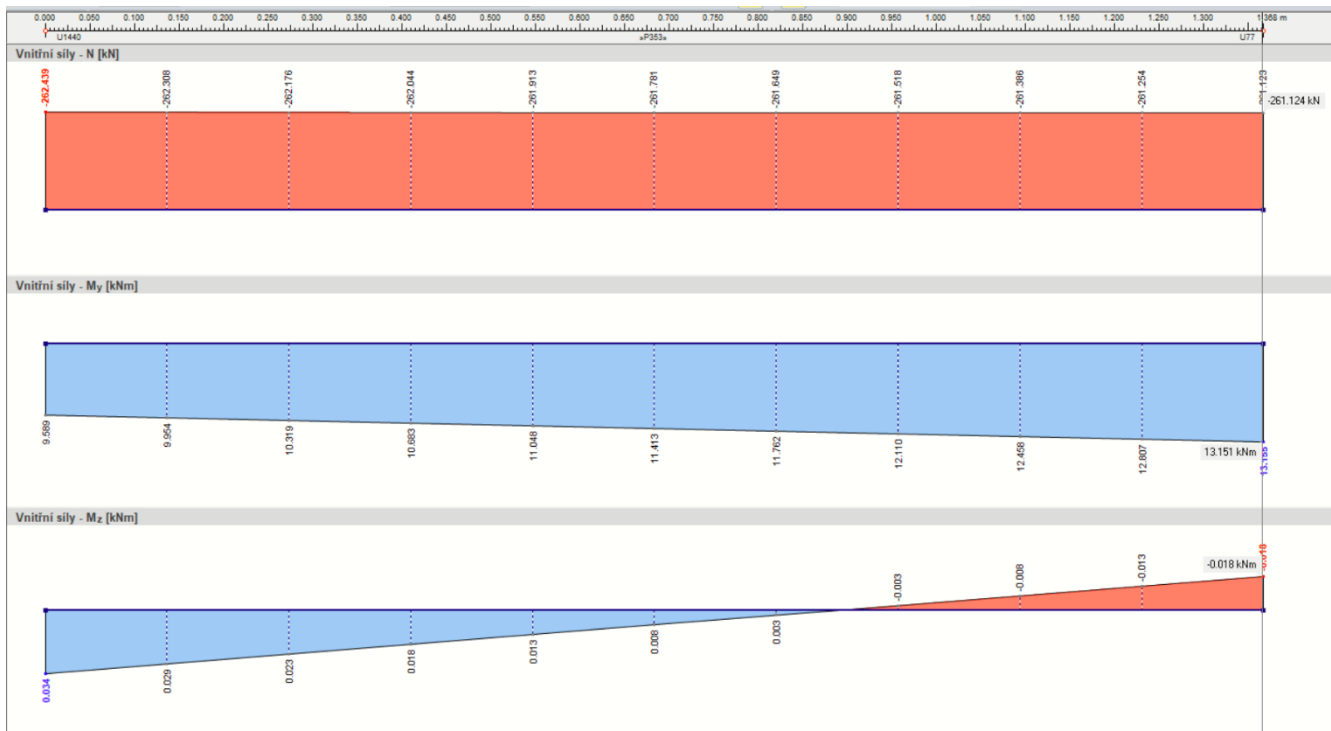
$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{9,589}{182,52} = 0,05 < 1$$

Návrhové hodnoty únosnosti:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9,1 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 2138,5 \text{ kN}$$

$$M_{Y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,28 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 194,58 \text{ kNm}$$

$$M_{Z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,938 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 92,54 \text{ kNm}$$



Súčiniteľ C_{my} ekvivalentného konštantného momentu

$$M_{h,y} = 13,155 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,y} = 9,589 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{9,589}{13,155} = 0,729$$

$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq 0,729 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,729 = 0,892 \geq 0,4 \dots \checkmark$$



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

$$k_{yy} = 0,892 \cdot \left(1 + (0,14 - 0,2) \cdot \frac{262,429}{\frac{1,02 \cdot 2138,58}{1,0}} \right) \leq 0,892 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{262,429}{\frac{1,02 \cdot 2138,5}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,886 \leq 0,977 \dots k_{yy} = 0,886$$

Súčiniteľ C_{mz} ekvivalentného konštantného momentu

$$M_{h,z} = 0,034 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,z} = -0,018 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{-0,018}{0,034} = -0,529$$

$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq -0,529 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 - 0,4 \cdot 0,529 = 0,388 \geq 0,4 \dots x$$

$$c_{mz} = 0,4$$



$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{RK}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{RK}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,4 \cdot \left(1 + (2 \cdot 0,47 - 0,6) \cdot \frac{262,429}{\frac{0,86 \cdot 2138,58}{1,0}} \right) \leq 0,4 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{262,429}{\frac{0,86 \cdot 2138,58}{1,0}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,419 \leq 0,479 \dots k_{zz} = 0,419$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,419 = 0,251$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{RK}}{\gamma_{M1}}} \right) \geq \left(1 - \frac{0,1}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{RK}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1 \cdot 0,47}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{262,429}{\frac{0,86 \cdot 2138,58}{1,0}} \right) \geq \left(1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{262,429}{\frac{0,86 \cdot 2138,58}{1,0}} \right)$$

$$k_{zy} = 0,990 \geq 0,979 \dots k_{zy} = 0,979$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{262,429}{1,02 \cdot 2138,58} + 0,886 \cdot \frac{9,589}{0,938 \cdot 194,58} + 0,251 \cdot \frac{0,034}{0,938 \cdot 92,54} \leq 1,0$$

$$0,17 \leq 1,0 \quad (\text{program } 0,18 \leq 1,0)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{262,429}{0,86 \cdot 2138,58} + 0,979 \cdot \frac{9,589}{0,938 \cdot 194,58} + 0,419 \cdot \frac{0,034}{0,938 \cdot 92,54} \leq 1,0$$

$$0,19 \leq 1,0 \quad (\text{program } 0,21 \leq 1,0)$$

5.3.7 DIAGONÁLY

Prierezové charakteristiky:

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

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

$$A = 661 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 351000 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 23,1 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 14000 \text{ mm}^3$$

Materiálové charakteristiky:

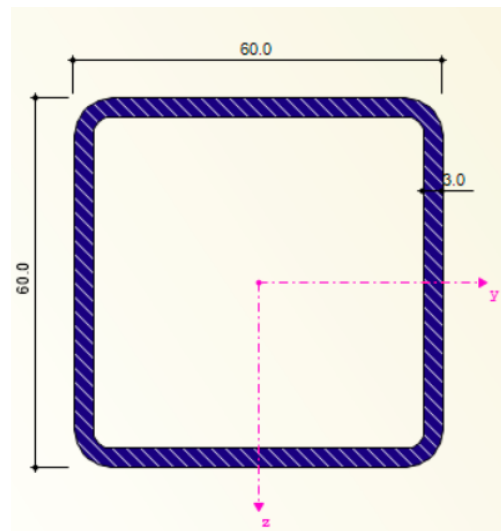
$$S235 (f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa})$$

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

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Pre trubkové profily štvorcového tvaru platí



$$\frac{c}{t} = \frac{60 - 6}{3} = 18 \leq 33. \varepsilon = 33.1 = 33 \rightarrow 1. \text{třída}$$

5.3.8 POSÚDENIE NA ŤAH

Prút č 1287 kz 53

$$N_{Ed} = 74,147 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{661 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 155,33 \text{ kN}$$

$$\frac{74,147}{155,33} \leq 1,0$$

0,47 ≤ 1,0 ... vyhovuje

5.3.9 POSÚDENIE NA VZPER

Prút č 1286 kz 77

$$N_{Ed} = -85,287 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 1,54 \text{ m (zaistené väznicami)}$$

$\alpha = 0,49$ (duté prierezy tvarované za studena – krivka vzpernej pevnosti "c")

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1540}{23,1} = 66,67$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,72 \cdot 661 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 111,84 \text{ kN}$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,877 + \sqrt{0,877^2 - 0,71^2}} = 0,72$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,71 - 0,2) + 0,71^2] = 0,877$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{661 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{306,75}} = 0,71 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 351000 \cdot 10^{-12}}{1,54^2} = 306,75 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{85,287}{111,84} = 0,52 \leq 1,0$$

0,52 ≤ 1,0 ... vyhovuje (program RFEM 0,77 ≤ 1,0)

5.4 VZPERKY

Prierezové charakteristiky:

$$b = 90 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$A = 1330 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 1620000 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 34,8 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 42600 \text{ mm}^3$$

Materiálové charakteristiky:

$$S235 (f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa})$$

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

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Pre trubkové profily štvorcového tvaru platí

$$\frac{c}{t} = \frac{90 - 8}{4} = 20,5 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow 1. \text{ trieda}$$

5.4.1 ŤAHANÁ DIAGONÁLA

Prút č 1233 kz 94

$$N_{Ed} = 28,636 \text{ kN}$$

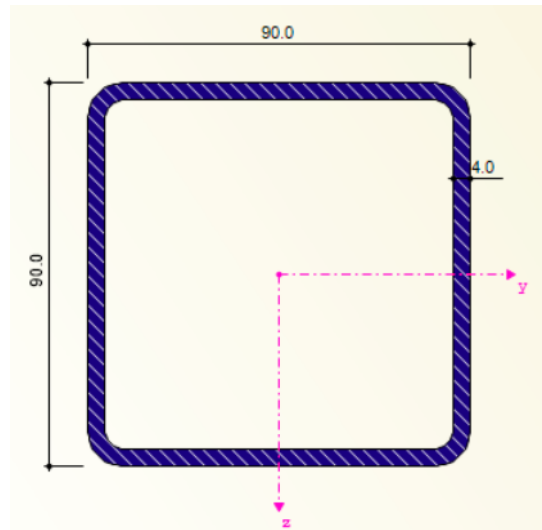
$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1330 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 312,55 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{28,636}{312,55} \leq 1,0$$

0,09 ≤ 1,0 ... vyhovuje



5.4.2 TLAČENÁ DIAGONÁLA POSUDENIE NA VZPER

Prút č 1233 kz 74

$$N_{Ed} = -17,574 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 1,273 \text{ m}$$

$\alpha = 0,49$ (duté prierezy tvarované za studena – krivka vzpernej pevnosti "c")

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1273}{34,8} = 36,58$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,68 \cdot 1330 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 212,53 \text{ kN}$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,93 + \sqrt{0,93^2 - 0,76^2}} = 0,68$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,76 - 0,2) + 0,76^2] = 0,93$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1330 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{544,84}} = 0,76 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 42600 \cdot 10^{-12}}{1,273^2} = 544,84 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{17,574}{212,53} = 0,08 \leq 1,0$$

0,08 ≤ 1,0 ... vyhovuje (program RFEM 0,48 ≤ 1,0)

5.5 STĚP HEB220

Prierez: HEB 220

Prierezové charakteristiky:

$$h = 220 \text{ mm}$$

$$b = 220 \text{ mm}$$

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

$$t_f = 16 \text{ mm}$$

$$r = 18 \text{ mm}$$

$$A = 9100 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 80900000 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 28400000 \text{ mm}^4$$

$$I_t = 768000 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 29540000000 \text{ mm}^6$$

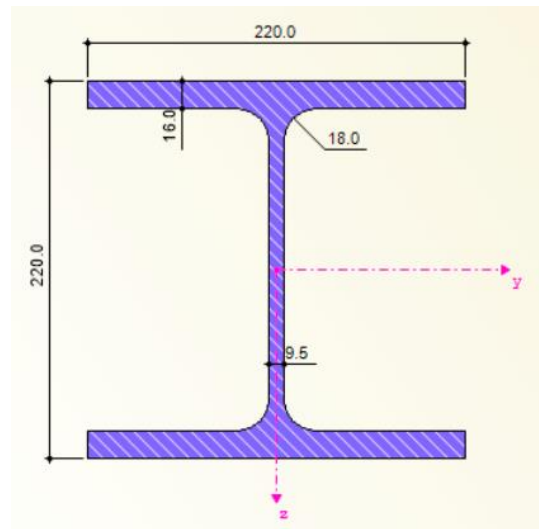
$$I_w = 0,2954 \cdot 10^{12}$$

$$i_y = 94,4 \text{ mm}$$

$$i_z = 55,9 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 828000 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 393881 \text{ mm}^3$$



Materiálové charakteristiky:

S235 ($f_y = 235 \text{ MPa}$, $f_u = 360 \text{ MPa}$)

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

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

Trieda prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Stojina:

$$c_w = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 220 - 2 \cdot 16 - 2 \cdot 18 = 152 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{152}{9,5} = 15,9$$

$$15,9 \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 1 = 72 \rightarrow 1. \text{trída}$$

Pásnica:

$$c_f = \frac{b - 2 \cdot r - t_w}{2} = \frac{220 - 2 \cdot 18 - 9,5}{2} = 87,25$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{87,25}{16} = 5,45$$

$$5,45 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow 1. \text{třída}$$

5.5.1 POSÚDENIE NA OHYB OKOLO OSY Y

Prút 373 – KZ72

$$M_{y,Ed} = 22,234 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,28 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 194,58 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{22,234}{194,58} \leq 1,0$$

0,15 ≤ 1,0 ... vyhovuje (program RFEM 0,11 ≤ 1,0)

5.5.2 POSÚDENIE NA OHYB OKOLO OSY Z

Prút 373 – KZ72

$$M_{y,Ed} = 22,234 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,28 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 194,58 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{22,234}{194,58} \leq 1,0$$

0,15 ≤ 1,0 ... vyhovuje (program RFEM 0,11 ≤ 1,0)

5.5.3 POSÚDENIE NA VZPER

Vzper okolo osy Y

$$L_{cr,y} = 8,411 \text{ m}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{220}{220} = 1 < 1,2 \Rightarrow \text{krivka } b \Rightarrow \alpha = 0,34 \text{ tab 1.9}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{8411}{94,4} = 89,1$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,627 \cdot 9100 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 1346,54 \text{ kN}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,08 + \sqrt{1,08^2 - 0,95^2}} = 0,627$$

,

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{y} - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,95 - 0,2) + 0,95^2] = 1,08$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{9100 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{2370,13}} = 0,95 > 0,2$$

můžem zanedbat účinky vzperu

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 80900000 \cdot 10^{-12}}{8,411^2} = 2370,13 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{185,787}{1346,54} = 0,14 \leq 1,0$$

0,14 ≤ 1,0 ... vyhovuje**Vzper okolo osy Z**

$$\frac{h}{b} = \frac{220}{220} = 1 < 1,2 \Rightarrow \text{krivka } c \Rightarrow \alpha = 0,49 \text{ tab 1.3}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,28 \cdot 9100 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 598,78 \text{ kN}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,12 + \sqrt{2,12^2 - 1,6^2}} = 0,28$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{zy} - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,6 - 0,2) + 1,6^2] = 2,12$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{9100 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{832}} = 1,60 > 0,2$$

Nemůžem zanedbat účinky vzperu

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 28400000 \cdot 10^{-12}}{8,411^2} = 832 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{271,383}{598,78} = 0,45 \leq 1,0$$

0,45 ≤ 1,0 ... vyhovuje

5.5.4 VPLYV KLOPENIA

$$M_{y,Ed} = -38,179 \text{ kNm}$$

Parameter krútenia

$$k_w = 1,0; L = 8,411 \text{ m}$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 8,411} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,954 \cdot 10^{-7}}{81 \cdot 10^9 \cdot 7,68 \cdot 10^{-7}}} = 0,373$$

$$z_j = 0$$

$$\zeta_j = \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = 0$$

$$z_g = 0,110 \text{ m}$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 0,110}{1 \cdot 8,411} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,84 \cdot 10^{-5}}{81 \cdot 10^9 \cdot 7,68 \cdot 10^{-7}}} = 0,403$$

Bezrozmerný kritický moment

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

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

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \left[\sqrt{1 + 0,373^2 + (0,46 \cdot 0,403 - 0,53 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 0,403 - 0,53 \cdot 0) \right]$$

$$\mu_{cr} = 1,015$$

Pružný kritický moment pri klopení

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,015 * \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 2,87 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 7,68 \cdot 10^{-7}}}{8,411}$$

$$M_{cr} = 232,135 \text{ kNm}$$

Pomerná štíhlosť

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{8,28 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{232,135}} = 0,916$$

$$\frac{h}{b} = \frac{220}{220} = 1 < 1,2 \Rightarrow \text{krivka klropenia } a \Rightarrow \alpha_{LT} = 0,21 \text{ tab 1.8}$$

$$\phi_{LT} = 0,5(1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2)) + \bar{\lambda}_{LT}^2 = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,916 - 0,2)) + 0,916^2 = 0,995$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,995 + \sqrt{0,995^2 - 0,916^2}} = 0,723$$

Návrhové hodnoty únosnosti:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,723 \cdot 8,28 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 195,1 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{38,179}{195,1} = 0,20 < 1$$

5.5.5 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU OHYBU A TLAKU

Prút č. 321 – KZ89

$$N_{Ed} = -177,570 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -38,179 \text{ kNm}$$

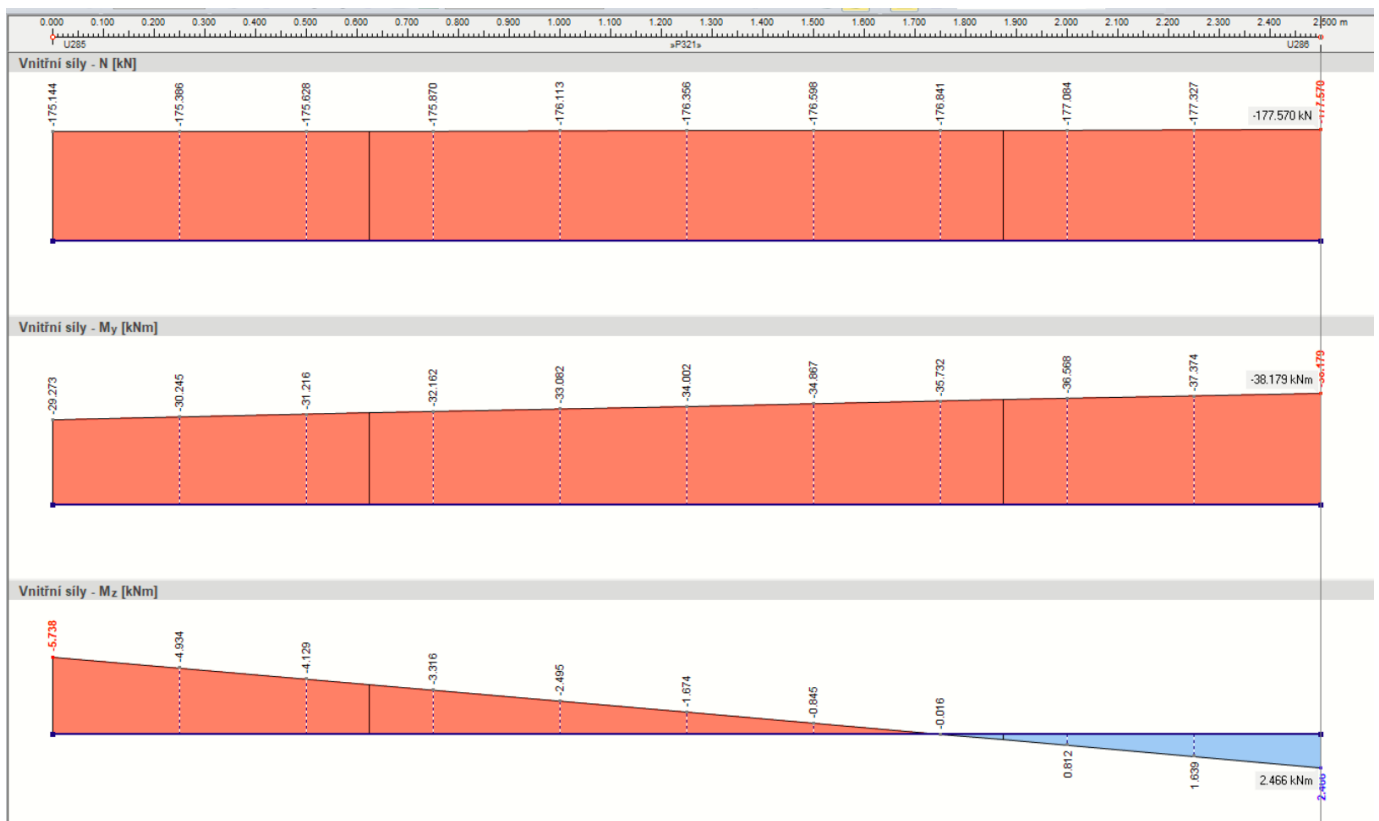
$$M_{z,Ed} = 2,466 \text{ kNm}$$

Návrhové hodnoty únosnosti:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9,1 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 2138,5 \text{ kN}$$

$$M_{Y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,28 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 194,58 \text{ kNm}$$

$$M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,938 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 92,54 \text{ kNm}$$



lentného konštantného momentu

$$M_{h,y} = -38,179 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,y} = -29,273 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{29,273}{38,179} = 0,767$$

$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq 0,767 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,767 = 0,907 \geq 0,4 \dots \checkmark$$

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

$$k_{yy} = 0,907 \cdot \left(1 + (0,95 - 0,2) \cdot \frac{177,570}{\frac{0,627 \cdot 2138,58}{1,0}} \right) \leq 0,907 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{177,570}{\frac{0,627 \cdot 2138,5}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,997 \leq 1,003 \dots k_{yy} = 0,997$$

Súčiniteľ C_{mz} ekvivalentného konštantného momentu

$$M_{h,z} = -5,738 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,z} = 2,466 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{2,466}{-5,738} = -0,429$$

$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq -0,429 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 - 0,4 \cdot 0,429 = 0,428 \geq 0,4 \dots x$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,428 \cdot \left(1 + (2 \cdot 1,6 - 0,6) \cdot \frac{177,570}{\frac{0,28 \cdot 2138,58}{1,0}} \right) \leq 0,428 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{177,570}{\frac{0,28 \cdot 2138,58}{1,0}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,758 \leq 0,606 \dots k_{zz} = 0,606$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,606 = 0,364$$



$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right) \geq \left(1 - \frac{0,1}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1 \cdot 1,6}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{177,570}{0,28 \cdot 2138,58} \right) \geq \left(1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{177,570}{0,28 \cdot 2138,58} \right)$$

$$k_{zy} = 0,932 \geq 0,958 \dots k_{zy} = 0,932$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{177,570}{0,627 \cdot 2138,58} + 0,997 \cdot \frac{38,179}{0,723 \cdot 194,58} + 0,364 \cdot \frac{2,466}{0,723 \cdot 92,54} \leq 1,0$$

$$0,41 \leq 1,0 \quad (\text{program } 0,34 \leq 1,0)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{177,570}{0,28 \cdot 2138,58} + 0,932 \cdot \frac{38,179}{0,723 \cdot 194,58} + 0,606 \cdot \frac{2,466}{0,723 \cdot 92,54} \leq 1,0$$

$$0,57 \leq 1,0 \quad (\text{program } 0,42 \leq 1,0)$$

5.6 VÄZNÍK HEB280

Prierez: HEB 280

Prierezové charakteristiky:

$$A = 13100 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 192700000 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 65900000 \text{ mm}^4$$

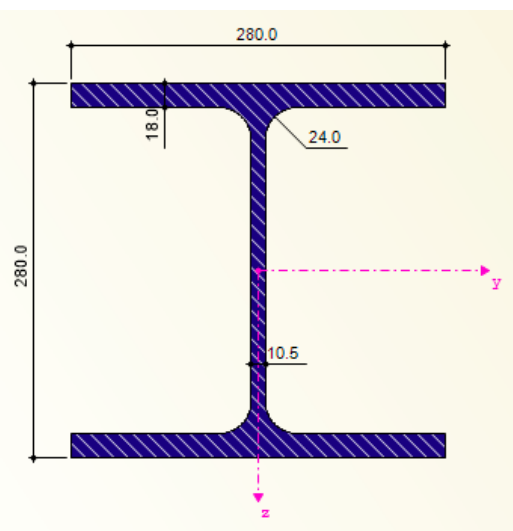
$$I_t = 1440000 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 1130000000000 \text{ mm}^6$$

$$I_w = 0,2954 \cdot 10^{12}$$

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

$$i_z = 70,9 \text{ mm}$$



$$W_{pl,y} = 1534000 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 717572 \text{ mm}^3$$

Materiálové charakteristiky:

$$S235 (f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa})$$

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

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

Trieda prierezu:

Stojina:

$$c_w = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 280 - 2 \cdot 18 - 2 \cdot 24 = 196 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{196}{10,5} = 18,67$$

$$18,67 \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 1 = 72 \rightarrow 1. \text{trída}$$

Pásnica:

$$c_f = \frac{b - 2 \cdot r - t_w}{2} = \frac{280 - 2 \cdot 24 - 10,5}{2} = 110,75$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{110,75}{18} = 6,15$$

$$6,15 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow 1. \text{trída}$$

5.6.1 POSÚDENIE NA OHYB OKOLO OSI Z BEZ KLOPENIA

Prút 302 – KZ98

$$M_{z,Ed} = -8,448 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd,z} = \frac{w_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,534 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 360,49 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} = \frac{8,448}{360,49} = 0,02 \leq 1,0$$

5.6.2 POSÚDENIE NA OHYB OKOLO OSI Y BEZ KLOPENIA

Prút 699 – KZ61

$$M_{y,Ed} = 39,637 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd,y} = \frac{w_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,17 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 168,495 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} = \frac{39,637}{168,495} = 0,24 \leq 1,0$$

0,24 ≤ 1,0 ... vyhovuje

5.6.3 POSÚDENIE NA ŠMYK:

Návrhová hodnota šmykovej sily:

Prút č. 704 KZ69

$$V_{y,Ed} = 34,729$$

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 13100 - 2 * 280 * 18 + (10,5 + 2 * 24) * 18 = 4073$$

$$A_v = 4073 \text{ mm}^2$$

$$V_{y,pl,Rd} = \frac{A_v(f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{4073 * (235 / \sqrt{3})}{1,0} = 552,613 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl,Rd}} = \frac{34,729}{552,613} = 0,06 < 1,0$$

0,06 ≤ 1,0 ... vyhovuje

5.6.4 POSÚDENIE NA PROSTÝ TLAK

Prút 181 – KZ69

$$N_{Ed} = -218,251 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{13,1 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 3078 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{218,251}{3078} \leq 1,0$$

0,07 ≤ 1,0 ... vyhovuje

5.6.5 POSÚDENIE NA PROSTÝ ŤAH

Prút 181 – KZ69

$$N_{Ed} = 287,403 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{13,1 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 3078 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{287,403}{3078} \leq 1,0$$

0,09 ≤ 1,0 ... vyhovuje

5.6.6 POSÚDENIE NA KOMBINÁCIU TLAKU A OHYBU

Prút č. 702 – KZ 81

$$N_{Ed} = -214,182 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -37,506 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -0,969 \text{ kNm}$$

Vzper okolo osy Y

$$L_{cr,y} = 3,022 \text{ m}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{280}{280} = 1 < 1,2 \Rightarrow \text{krivka } b \Rightarrow \alpha = 0,34 \text{ tab 1.3}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3022}{121} = 24,97$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,977 \cdot 13,1 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 3007 \text{ kN}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,546 + \sqrt{0,546^2 - 0,265^2}} = 0,977$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,265 - 0,2) + 0,265^2] = 0,546$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{13,1 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{43733}} = 0,265 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,927 \cdot 10^{-4}}{3,022^2} = 43733 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{214,182}{3007} = 0,07 \leq 1,0$$

0,07 ≤ 1,0 ... vyhovuje

Vzper okolo osy Z

$$\frac{h}{b} = \frac{280}{280} = 1 < 1,2 \Rightarrow \text{krivka } c \Rightarrow \alpha = 0,49 \text{ tab 1.3}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,6 \cdot 13,1 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 1847,1 \text{ kN}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,08 + \sqrt{1,08^2 - 0,907^2}} = 0,6$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{zy} - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,907 - 0,2) + 0,907^2] = 1,08$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{13,1 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{3739000}} = 0,907 > 0,2$$

Nemôžem zanedbať účinky vzperu

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 6,59 \cdot 10^{-5}}{6,044^2} = 3739 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{214,182}{1847,1} = 0,12 \leq 1,0$$

0,12 ≤ 1,0 ... vyhovuje

Parameter krútenia

$$k_w = 1,0; L = 3,022$$

$$k_{wt} = \frac{\Pi}{k_w \cdot L} \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\Pi}{1,0 \cdot 3,022} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 1,13 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^9 \cdot 1,44 \cdot 10^{-6}}} = 1,48$$

$$z_j = 0$$

$$\zeta_j = \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = 0$$

$$z_g = 0,140 \text{ m}$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 0,140}{1 \cdot 3,022} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 6,59 \cdot 10^{-5}}{81 \cdot 10^9 \cdot 1,44 \cdot 10^{-6}}} = 1,595$$

Bezrozmerný kritický moment

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

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

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \left[\sqrt{1 + 1,48^2 + (0,46 \cdot 1,595 - 0,53 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 1,595 - 0,53 \cdot 0) \right]$$

$$\mu_{cr} = 1,35$$

Pružný kritický moment pri klopení

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,35 * \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 6,59 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 1,44 \cdot 10^{-6}}}{3,022}$$

$$M_{cr} = 1783 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{7,17 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1783000}} = 0,307$$

$$\frac{h}{b} = \frac{280}{1280} = 1 < 1,2 \Rightarrow \text{krivka klropenia a} \Rightarrow \alpha_{LT} = 0,21 \quad \text{tab 1.8}$$

$$\phi_{LT} = 0,5(1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,307 - 0,2) + 0,307^2) = 0,558$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,558 + \sqrt{0,558^2 - 0,307^2}} = 0,976$$

Návrhové hodnoty únosnosti:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,976 \cdot 7,17 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 164,45 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{37,506}{164,45} = 0,23 < 1$$

Prút č. 702 – KZ 81

$$N_{Ed} = -214,182 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -37,506 \text{ kNm}$$

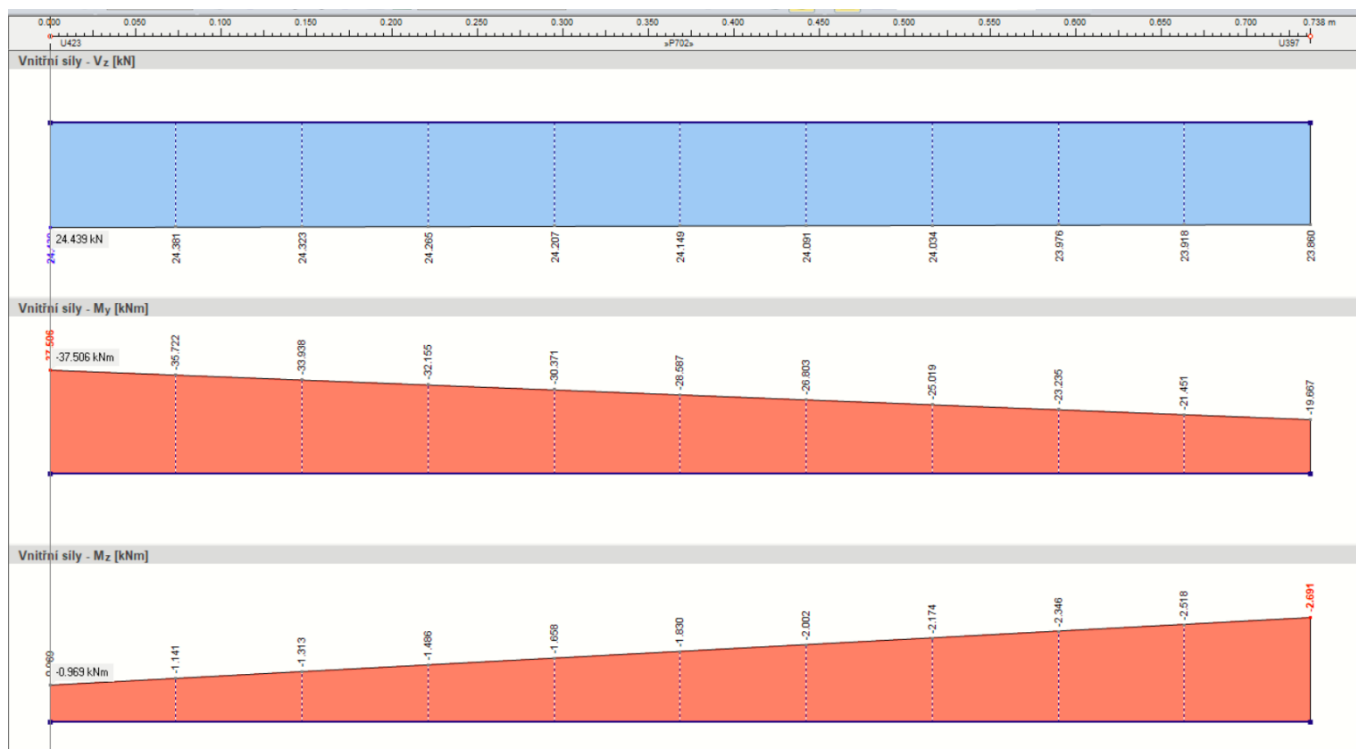
$$M_{z,Ed} = -0,969 \text{ kNm}$$

Návrhové hodnoty únosnosti:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{13,1 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 3078,5 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,17 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 168,495 \text{ kNm}$$

$$M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 352,5 \text{ kNm}$$



$$M_{h,y} = -37,506 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,y} = -19,667 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{-19,667}{-37,506} = 0,524$$

$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq 0,524 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,524 = 0,807 \geq 0,4 \dots \checkmark$$



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

$$k_{yy} = 0,807 \cdot \left(1 + (0,265 - 0,2) \cdot \frac{214,182}{0,977 \cdot 3078,5} \right) \leq 0,807 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{214,182}{0,977 \cdot 3078,5} \right)$$

$$k_{yy} = 0,811 \leq 0,53 \dots k_{yy} = 0,811$$

Súčiniteľ C_{mz} ekvivalentného konštantného momentu

$$M_{h,z} = -2,691 \text{ kNm}$$

$$\Psi M_{h,z} = -0,969 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{-0,969}{-2,691} = 0,360$$

$$-1 \leq \Psi \leq 1$$

$$-1 \leq 0,36 \leq 1 \dots \checkmark$$

$$c_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,36 = 0,744 \geq 0,4 \dots \checkmark$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,744 \cdot \left(1 + (2 \cdot 0,907 - 0,6) \cdot \frac{214,182}{0,6 \cdot \frac{3078,5}{1,0}} \right) \leq 0,744 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{214,182}{0,6 \cdot \frac{3078,5}{1,0}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,848 \leq 0,865 \dots k_{zz} = 0,848$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,848 = 0,509$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{c_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right) \geq \left(1 - \frac{0,1}{c_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1 \cdot 0,907}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{214,182}{0,6 \cdot \frac{3078,5}{1,0}} \right) \geq \left(1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{214,182}{0,6 \cdot \frac{3078,5}{1,0}} \right)$$

$$k_{zy} = 0,985 \geq 0,983 \dots k_{zy} = 0,983$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{214,182}{0,977 \cdot \frac{3078,5}{1,0}} + 0,811 \cdot \frac{37,506}{0,976 \cdot \frac{168,495}{1,0}} + 0,509 \cdot \frac{0,969}{0,976 \cdot \frac{352,5}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,26 \leq 1,0 \quad (\text{program } 0,16 \leq 1,0)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{214,182}{0,6 \cdot \frac{3078,5}{1,0}} + 0,983 \cdot \frac{37,506}{0,976 \cdot \frac{168,495}{1,0}} + 0,848 \cdot \frac{0,969}{0,976 \cdot \frac{352,5}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,34 \leq 1,0 \quad (\text{program } 0,23 \leq 1,0)$$

6 POSÚDENIE NA MPS

Maximálne hodnoty priehybov boli vypočítané programom RFEM

6.1 ZVISLÉ PRIEHYBY

6.1.1 VÄZNICA

$\sigma = 21,4 \text{ mm}$ Hodnoty převzaté z programu Dlubal RFEM

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

$$\sigma \leq \sigma_{lim}$$

$$21,4mm < 25mm$$

6.1.2 OBLÚK

Horný pás $\sigma_{HP} = 24,4mm$

Dolný pás $\sigma_{DP} = 23,4mm$

$$\sigma_{max} = \{\sigma_{HP}; \sigma_{DP}\} = \max\{24,4; 23,4\}mm = 24,4 \text{ mm}$$

$$\sigma \leq \sigma_{lim}$$

$$\sigma_{max} = \frac{L}{250} = \frac{45800}{250} = 183,2mm$$

$$24,4mm < 183,2mm$$

6.2 VODOROVNÉ PRIEHYBY

6.2.1 PAŽDÍK

$\sigma = 22,1 \text{ mm}$ Hodnoty převzaté z programu Dlubal RFEM

$$\sigma_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{5932}{250} = 23,7mm$$

$$\sigma \leq \sigma_{lim}$$

$$22,1mm < 23,7mm$$

6.3 STÍP

$\sigma = 26,9 \text{ mm}$ Hodnoty převzaté z programu Dlubal RFEM

$$\sigma_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{16800}{250} = 67,2mm$$

$$\sigma \leq \sigma_{lim}$$

$$26,9mm < 67,2mm$$

7 SPOJE

vybrané spoje boli posúdené ručne na základe vnútorných síl vypočítaných programom RFEM

7.1 PRIPOJ VÄZNICE K HORENÉMU PÁSU VÄZNÍKU DETAIL 1

Prút č 1032 KZ 69

$$N_{c,Ed} = 50,427 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 7,364 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,726 \text{ kN}$$

$$F_{ed} = \sqrt{N_{c,Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{50,427^2 + 7,363^2} = 50,96 \text{ kN}$$

$$F_{v,ed} = \frac{F_{ed}}{2} = \frac{50,96}{2} = 25,48 \text{ kN}$$

2x M16, 8.8

Nrk udavana výrobcom 68,7 kN

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

minimalne rozteče šróbov

$$e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow 25 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow 25 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm} \rightarrow 45 \text{ mm}$$

Návrhová únosnosť v strihu

$$F_{v,Rd} = \frac{n \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \cdot 0,6 \cdot 800 \cdot 157 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 60,288 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{25,48}{60,288} = 0,42 \leq 1,0$$

0,42 ≤ 1,0 ... vyhovuje

Návrhová únosnosť v otláčení

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{25}{18} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{45}{18} - 1,7; 2,5 \right\}$$

$$= \min\{2,18; 1,8; 2,5\} = 1,8$$

pozn.: pri splnení podmienok pre doporučené rozteče platí že $k_1 = 2,5$

$$\alpha_d = \min\left\{\frac{e_1}{3 \cdot d_o}; \frac{p_1}{3 \cdot d_o} - 0,25;\right\} = \min\left\{\frac{25}{3 \cdot 18}; \frac{45}{3 \cdot 18} - 0,25;\right\} = \min\{0,46; 0,58\} = 0,46$$

súčinitel α_b

$$\alpha_b = \min\left\{\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right\} = \min\left\{0,46; \frac{800}{360}; 1,0\right\} = \min\{0,46; 2,22; 1,0\} = 0,46$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{m_2}} = \frac{1,8 \cdot 0,46 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 8}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 30,523 \text{ KN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{25,48}{30,523} = 0,83 \leq 1,0$$

0,83 ≤ 1,0 ... vyhovuje

Posúdenie zvaru uholník na príložku

Návrh zvaru:

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 8 = 8,8 \text{ mm}$$

$$a_{min} \leq a \leq a_{max}$$

$$3 \text{ mm} \leq 4 \text{ mm} \leq 8,8 \text{ mm}$$

$$L_W = 70 - 2 \cdot a = 70 - 2 \cdot 8 = 54 \text{ mm}$$

$$\beta_W = 0,8$$

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

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a \cdot L_W} = \frac{50,427 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 54} = 116,73 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = \frac{V_{Ed}}{4 \cdot a \cdot L_W} = \frac{7,364 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 54} = 17,05 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_c}{\sqrt{2}} = \frac{17,05}{\sqrt{2}} = 12,06 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

$$12,06 \leq 259,2 \text{ MPa}$$

Zrovnávacie napätie vo zvare

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} \leq \frac{fu}{\beta_w \cdot \gamma_{m_2}}$$

$$\sqrt{12,06^2 + 3 \cdot 12,06^2 + 3 \cdot 116,73^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$203,61 \leq 360 \text{ MPa}$$

7.2 MONTÁŽNY SPOJ HORNÉHO PÁSU – DETAIL 2

Spoj montážnych dielov D1 a D2 (väzba č 6) prut 1886

Kz61

(spoj je použitý na všetky montážne spoje HP)

$$N_{Ed} = 179,866 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 7,588 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 9,945 \text{ kN}$$

Návrh šróbov 4x M20 - 4.6

návrhová pevnosť v ťahu 70,6 kN

$$f_{ub} = 400 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 320 \text{ MPa}$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2$$

Návrh plechov P10 S235

minimalne rozteče šróbov → skutočné

$$e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 20 = 24 \text{ mm} \rightarrow 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 20 = 24 \text{ mm} \rightarrow 30 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 20 = 48 \text{ mm} \rightarrow 200 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 20 = 48 \text{ mm} \rightarrow 200 \text{ mm}$$

Posúdenie únosnosti v strihu

$$F_{V,Rd} = n \cdot \frac{\alpha \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M_2}} = 4 \cdot \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 245 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 188,16 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} = \frac{9,945}{188,16} = 0,05 \leq 1,0$$

0,05 ≤ 1,0 ... vyhovuje

Posúdenie únosnosti v otláčení

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_o} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_o} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{30}{22} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{200}{22} - 1,7; 2,5 \right\}$$

$$= \min \{ 2,18; 11,02; 2,5 \} = 2,18$$

pozn.: pri splnení podmienok pre doporučené rozteče platí že $k_1 = 2,5$

$$\alpha_d = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_o}; \frac{p_1}{3 \cdot d_o} - 0,25; \right\} = \min \left\{ \frac{30}{3 \cdot 22}; \frac{200}{3 \cdot 22} - 0,25; \right\} = \min \{ 0,45; 2,78 \} = 0,45$$

súčinitel α_b

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ 0,45; \frac{800}{360}; 1,0 \right\} = \min \{ 0,45; 2,22; 1,0 \} = 0,45$$

$$F_{b,Rd} = 4 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{m_2}} = 4 \cdot \frac{2,18 \cdot 0,45 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 10}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 226,02 \text{ KN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{9,945}{226,02} = 0,04 \leq 1,0$$

0,04 ≤ 1,0 ... vyhovuje

Posúdenie únosnosti spoja v ťahu s vplyvom páčenia zjednodušený postup

(posúdenie s vplyvom páčenia podľa ČSN 73 14 01)

Najmenšia hrúbka dosky, pri ktorej nedôjde k páčeniu

$$t_e = 4,3 \cdot 3 \sqrt{\frac{b \cdot d^2}{a}} = 4,3 \cdot 3 \sqrt{\frac{30 \cdot 20^2}{30}} = 31,7 \text{ mm}$$

$t < t_e$

$10 < 31,7 \rightarrow$ nastáva páčenie

Návrhová sila $F_{t,Rd}$ v šróbe sa zvyšuje súčiniteľom páčenia γ_p

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \cdot \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \cdot \frac{31,7^3 - 10^3}{20^2}$$

$$\gamma_p = 1,39$$

$$\gamma_p \cdot F_{t,Ed,1} = 1,39 \cdot 179,866 = 250,01 \text{ KN} < 4 \cdot F_{t,Rd,1} =$$

$$250,01 < 4 \cdot 70,6$$

$$250,01 \leq 282,4 \text{ KN}$$

0,88 ≤ 1,0 ... vyhovuje

posúdenie zvaru medzi horným pásom a čelnou doskouNávrh zvaru:

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 5 = 5,5 \text{ mm}$$

$$a_{min} \leq a \leq a_{max}$$

$$3 \text{ mm} \leq 4 \text{ mm} \leq 5,5 \text{ mm}$$

$$L = 4 \cdot b = 4 \cdot 140 = 560 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 560 \cdot 4 = 2240 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{\sqrt{2} \cdot A} = \frac{179,866 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 2240} = 56,78 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot L} = \frac{9,945 \cdot 10^3}{2 \cdot 560} = 8,88 \text{ MPa}$$

Zrovnávacie napätie vo zvare

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} \leq \frac{fu}{\beta_w \cdot \gamma_{m_2}}$$

$$\sqrt{56,78^2 + 3 \cdot 56,78^2 + 3 \cdot 8,88^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$114,6 \leq 360 \text{ MPa}$$

7.3 PRIPOJENIE DIAGONÁLY K DP – K – STYČNÍK DETAIL 3

uzol č. 1007 – KZ 65

$$N_{0,Ed} = 263,792 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,1} = 40,136 \text{ kN} \quad (\text{zodpovedajúca}) \quad \text{max tah } 93,728 \text{ tlak } 91,45$$

$$N_{Ed,2} = -49,391 \text{ kN}$$

$$M_{0,Ed} = -0,165 \text{ kN}$$

$$\theta_1 = \theta_2 = 51^\circ$$

Podmienky:

1)

$$0,2 \leq \frac{d_i}{d_o} \leq 1,0$$

$$0,2 \leq \frac{70}{140} \leq 1,0$$

$$0,2 \leq 0,5 \leq 1,0$$

2)

$$10 \leq \frac{d_o}{t_o} \leq 50$$

$$10 \leq \frac{140}{5} \leq 50$$

$$10 \leq 28 \leq 50$$

3)

$$10 \leq \frac{d_i}{t_i} \leq 50$$

$$10 \leq \frac{70}{3} \leq 50$$

$$10 \leq 23,3 \leq 50$$

4)

$$g \geq t_1 + t_2$$

$$29 \geq 3 + 3$$

$$29 \geq 6$$

Styčnický vyhovuje všetkým kritériám – posudzujem len na vybrané prípady z tabulky

7.2 ČSN EN 1993-1-8

7.3.1 PORUŠENIE POVRCHU PÁSU

Porušenie povrchu pásu – styčnicku K s medzerou alebo prekrytím

Tab. 4.3 Návrhové osové únosnosti zvarovaných styčnickov z trubiek

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot (1,8 + 10,2 \cdot \frac{d_1}{d_0}) = \frac{\quad}{\gamma_{Mj}}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \cdot N_{1,Rd}$$

$$\frac{g}{t_0} = \frac{29}{5} = 5,8$$

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{140}{2 \cdot 5} = 14$$

$$k_g = 2,0$$

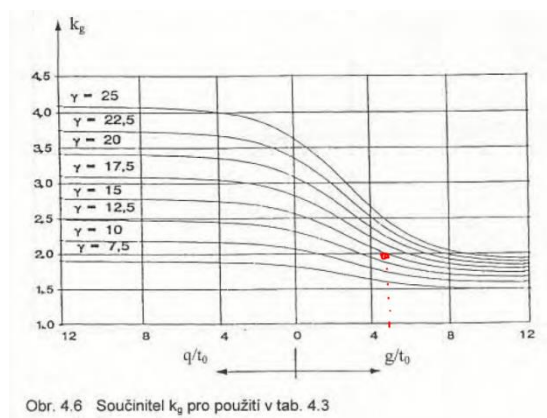
$$k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,29 \cdot (1 + 0,29) = 0,88 \leq 1,0$$

$$n_p = \frac{\frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y0}}}{\gamma_{Mj}} = \frac{\frac{69,6}{235}}{1,0} = 0,29$$

napätie v páse vo styčnicku

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{180,45 \cdot 10^{-3}}{2640 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,165 \cdot 10^{-3}}{132000 \cdot 10^{-9}} = 69,6 \text{ MPa}$$

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum N_{i,Ed} \cdot \cos \theta_1 = 236,792 - ((40,136 \cdot \cos 51) + (49,391 \cdot \cos 51)) = 180,45 \text{ kN}$$



$$N_{1,Rd} = \frac{2,0 \cdot 0,88 \cdot 235 \cdot 5^2}{\sin 51} \cdot (1,8 + 10,2 \cdot \frac{70}{140})}{\gamma_{Mj}} \cdot 10^{-3} = 91,822 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \cdot N_{1,Rd} = \frac{\sin 51}{\sin 51} \cdot 91,822 = 91,288 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,1}}{N_{1,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed,1}}{N_{1,Rd}} = \frac{40,136}{91,288} = 0,44 \leq 1,0$$

0,44 ≤ 1,0 ... vyhovuje

$$\frac{N_{Ed,2}}{N_{2,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed,2}}{N_{2,Rd}} = \frac{49,391}{91,288} = 0,54 \leq 1,0$$

0,54 ≤ 1,0 ... vyhovuje

7.3.2 PORUŠENIE PRELOMENÍM ŠMYKOM

$$d_i \leq d_0 - 2 \cdot t_0$$

$$70 \leq 140 - 2 \cdot 5$$

$$70 \leq 130$$

$$N_{i,Rd} = \frac{\frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_i \cdot \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \cdot \sin \theta_2^2}}{\gamma_{Mj}}$$

$$N_{1,Rd} = N_{2,Rd} = \frac{\frac{235}{\sqrt{3}} \cdot 5 \cdot \pi \cdot 70 \cdot \frac{1 + \sin 51}{2 \cdot \sin 51^2}}{1,00} \cdot 10^{-3} = 219,49 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,1}}{N_{1,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed,1}}{N_{1,Rd}} = \frac{40,136}{219,49} = 0,18 \leq 1,0$$

0,18 ≤ 1,0 ... vyhovuje

$$\frac{N_{Ed,2}}{N_{2,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed,2}}{N_{2,Rd}} = \frac{49,391}{219,49} = 0,23 \leq 1,0$$

0,23 ≤ 1,0 ... vyhovuje

7.3.3 POSÚDENIE ZVARU DIAGONÁLA – DP

Návrh zvaru:

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 5 = 5,5 \text{ mm}$$

$$a_{min} \leq a \leq a_{max}$$

$$3 \text{ mm} \leq 4 \text{ mm} \leq 5,5 \text{ mm}$$

$$L_W = 70 - 2 \cdot a = 70 - 2 \cdot 4 = 62 \text{ mm}$$

$$\beta_W = 0,9$$

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

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed} \cdot \cos \theta}{4 \cdot a \cdot L_W} = \frac{49,391 \cdot 10^3 \cdot \cos 51}{4 \cdot 4 \cdot 62} = 31,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed} \cdot \sin \theta}{4 \cdot a \cdot L_W} = \frac{49,391 \cdot 10^3 \cdot \sin 51}{4 \cdot 4 \cdot 62} = 38,69 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_c}{\sqrt{2}} = \frac{38,69}{\sqrt{2}} = 27,55 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

$$27,55 \leq 259,2 \text{ MPa}$$

Zrovnávacie napätie vo zvare

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

$$\sqrt{27,55^2 + 3 \cdot 27,55^2 + 3 \cdot 31,33^2} \leq \frac{360}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$77,34 \leq 320 \text{ MPa}$$

8 KOTVENIE

8.1 KOTVENIE K1 ČAPOVÝ SPOJ

Uzol 322 KZ 46

Tlak: $R_x = -29,206 \text{ kN}$

$R_y = -43,078 \text{ kN}$

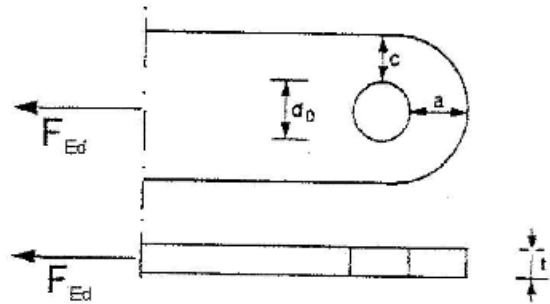
$R_z = 261,01 \text{ kN}$

Tah: $R_x = -51,486 \text{ kN}$

$R_y = 20,572 \text{ kN}$

$R_z = -198,881 \text{ kN}$

8.1.1 POSÚDENIE ČAPOVÉHO SPOJA



Návrh čapu

$d = 50 \text{ mm}$

$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 25^2 = 1963 \text{ mm}^2$

S235 ($f_y = 235 \text{ MPa}$, $f_u = 360 \text{ MPa}$)

Geometrické požiadavky

$$t = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{261,01 \cdot 1,0}{235 \cdot 10^3}} = 0,023 \Rightarrow \text{návrh } t = 30 \text{ mm}$$

$$d_o \leq 2,5 \cdot t = 2,5 \cdot 30 = 75 \text{ mm} \Rightarrow d_o = 52 \text{ mm}$$

$$a \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}$$

$$a \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_o}{3} = \frac{261,01 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 30 \cdot 235} + \frac{2 \cdot 52}{3} = 53,18 \Rightarrow \text{návrh } a = 55 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_o}{3} = \frac{261,01 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 30 \cdot 235} + \frac{52}{3} = 35,84 \Rightarrow \text{návrh } c = 66 \text{ mm}$$

8.1.2 ÚNOSNOSŤ ČAPU V STRIHU

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 360 \cdot 10^3 \cdot 1963 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 339,21 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} = \frac{261,01}{339,21} = 0,77 \leq 1,0$$

0,77 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.1.3 ÚNOSNOST SAMOTNÉHO STYČNÍKOVÉHO PLECHU V OTLAČENÍ

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot f_y \cdot d \cdot t}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 235 \cdot 10^3 \cdot 0,05 \cdot 0,03}{1,0} = 528,75 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{261,01}{528,75} = 0,49 \leq 1,0$$

0,49 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.1.4 ÚNOSNOST DVOJICE STYČNÍKOVÝCH PLECHOV V OTLAČENÍ

$$F_{Ed1} = 0,5 \cdot F_{Ed} = 0,5 \cdot 261,01 = 130,51$$

$$F_{b,Rd1} = \frac{1,5 \cdot f_y \cdot d \cdot t}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 235 \cdot 10^3 \cdot 0,05 \cdot 0,02}{1,0} = 352,5 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed1}}{F_{b,Rd1}} \leq 1,0$$

$$\frac{F_{Ed1}}{F_{b,Rd1}} = \frac{130,51}{352,5} = 0,37 \leq 1,0$$

0,37 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.1.5 ÚNOSNOST ČAPU V OHYBE

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot f_{ub} \cdot W_{el}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 360 \cdot 10^{-6} \cdot \pi \cdot \frac{d^3}{32}}{1,0} = \frac{1,5 \cdot 360 \cdot 10^{-6} \cdot \pi \cdot \frac{50^3}{32}}{1,0} = 6,63 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (t + 4 \cdot t_0 + 2 \cdot t_2) = \frac{261,01}{8} \cdot (0,03 + 4 \cdot 0,005 + 2 \cdot 0,020) = 2,94 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{2,94}{6,63} = 0,44 \leq 1,0$$

0,44 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.1.6 ÚNOSNOST NA KOMBINÁCIU STRIHU A OHYBU

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

$$\left[\frac{2,94}{6,63} \right]^2 + \left[\frac{261,01}{339,21} \right]^2 \leq 1,0$$

0,20 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.1.7 NÁVRH STYČNÍKOVÉHO PLECHU

P18 S235

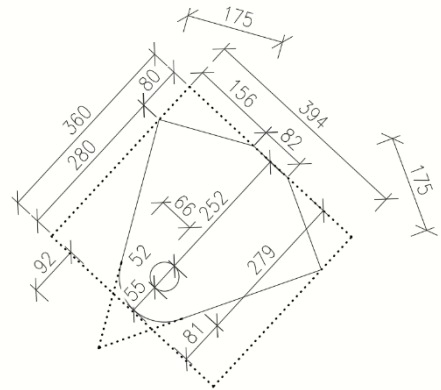
$$A = 2 \cdot t \cdot c + d_0 \cdot t = 2 \cdot 20 \cdot 66 + 52 \cdot 20 = 3680 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 2 \cdot t \cdot c = 2 \cdot 20 \cdot 66 = 2640 \text{ mm}^2$$

P30 S235

$$A = 2 \cdot t \cdot c + d_0 \cdot t = 2 \cdot 30 \cdot 66 + 52 \cdot 30 = 5520 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 2 \cdot t \cdot c = 2 \cdot 30 \cdot 66 = 3960 \text{ mm}^2$$



8.1.8 ÚNOSNOST V ŤAHU

Plech P18:

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 2640 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,25} = 446,69 \text{ kN}$$

Plech P30:

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 3960 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,25} = 670,03 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{198,881}{446,69} = 0,45 \leq 1,0$$

0,45 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.1.9 VZPERNÁ ÚNOSNOST PLECHU P18

Předpokládám rozno síly na šířku b. posuzujem průžok široký 1mm.

$$\sigma_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot t} = \frac{261,01 \cdot 10^3}{245 \cdot 18} = 59,19 \text{ MPa}$$

$$L = 154 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = \beta \cdot L = 2 \cdot 154 = 308 \text{ mm}$$

$$I_Z = \frac{1}{12} \cdot t \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 18^3 = 486 \text{ mm}^4$$

$$i_Z = \sqrt{\frac{I_Z}{A}} = \sqrt{\frac{486}{1 \cdot 18}} = 5,2 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{308}{5,2} = 59,23$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{\lambda_z}{\pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{59,23}{\pi \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9}{235 \cdot 10^6}}} = 0,63$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + a \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,63 - 0,2) + 0,63^2] = 0,80$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,80 + \sqrt{0,80^2 - 0,63^2}} = 0,77$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{\chi_z \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,77 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 181 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{Ed}}{\sigma_{Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{\sigma_{Ed}}{\sigma_{Rd}} = \frac{59,19}{181} = 0,33 \leq 1,0$$

0,33 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.1.10 STYČNÍKOVÝ PLECH- V PĚTE VĀZNÍKU

Priestor medzi plechmi je 30mm. Nie je dostatočný priestor na prevedenie kútového zvaru.

navrhujem tupý plne prevarený zvar tvaru pol V

8.1.11 STYČNÍKOVÝ PLECH V PĚTE VĀZNÍKU HORNÝ PÁS

Prút 1072 KZ52

$$N_{Ed} = -215,473 \text{ KN } 7,062 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} = -3,211 \text{ KN}$$

Návrh zvaru:

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 5 = 5,5 \text{ mm}$$

$$a_{min} \leq a \leq a_{max}$$

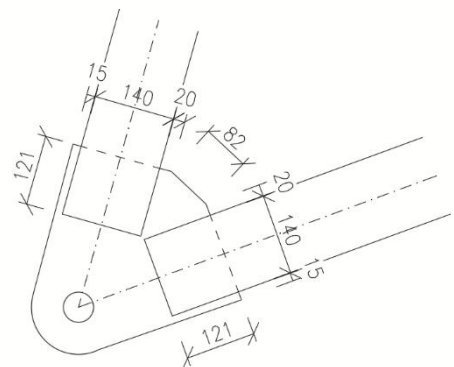
$$3 \text{ mm} \leq 4 \text{ mm} \leq 5,5 \text{ mm}$$

$$L_W = 121 - 2 \cdot a = 121 - 2 \cdot 4 = 113 \text{ mm}$$

$$\beta_W = 0,9$$

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

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot a \cdot L_W} = \frac{215,473 \cdot 10^3}{4 \cdot 4 \cdot 113} = 119,18 \text{ MPa}$$



$$\sigma_c = \frac{V_{Ed}}{4 \cdot a \cdot L_W} = \frac{7,062 \cdot 10^3}{4 \cdot 4 \cdot 113} = 3,906 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_c}{\sqrt{2}} = \frac{3,096 \cdot 10^3}{\sqrt{2}} = 2,762 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

$$3,906 \leq 259,2 \text{ MPa}$$

Zrovnávací napětí ve zvaru

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

$$\sqrt{2,762^2 + 3 \cdot 2,762^2 + 3 \cdot 119,18^2} \leq \frac{360}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$206,5 \leq 320 \text{ MPa}$$

8.1.12 STYČNÍKOVÝ PLECH V PĚTE VÄZNÍKU DOLNÝ PÁS

Prút 1843 KZ32

$$N_{Ed} = -106,027 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 3,773 \text{ kN}$$

Návrh zvaru:

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 5 = 5,5 \text{ mm}$$

$$a_{min} \leq a \leq a_{max}$$

$$3 \text{ mm} \leq 4 \text{ mm} \leq 5,5 \text{ mm}$$

$$L_W = 121 - 2 \cdot a = 121 - 2 \cdot 4 = 113 \text{ mm}$$

$$\beta_w = 0,9$$

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

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot a \cdot L_W} = \frac{106,027 \cdot 10^3}{4 \cdot 4 \cdot 113} = 58,648 \text{ MPa}$$

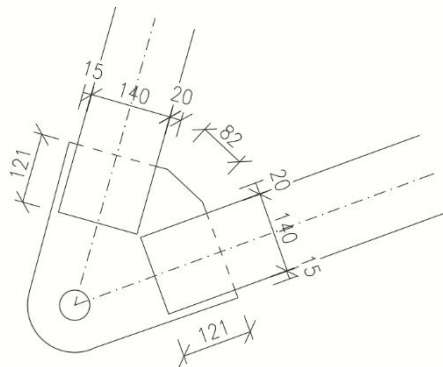
$$\sigma_c = \frac{V_{Ed}}{4 \cdot a \cdot L_W} = \frac{3,773 \cdot 10^3}{4 \cdot 4 \cdot 113} = 2,086 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_c}{\sqrt{2}} = \frac{2,086}{\sqrt{2}} = 1,475 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

$$1,475 \leq 259,2 \text{ MPa}$$

Zrovnávací napětí ve zvaru



$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} \leq \frac{fu}{\beta_w \cdot \gamma_{m_2}}$$

$$\sqrt{1,475^2 + 3 \cdot 1,475^2 + 3 \cdot 58,648^2} \leq \frac{360}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$101,62 \leq 320 \text{ MPa}$$

8.2 KOTVENIE PRIEČNEJ VAZBY K1

Uzol 669 KZ 53

Tlak: $R_x = -29,206 \text{ kN}$

$R_y = -43,078 \text{ kN}$

$R_z = 261,01 \text{ kN}$

Tah: $R_x = -83,834 \text{ kN}$

$R_y = 0,030 \text{ kN}$

$R_z = -26,504 \text{ kN}$

Kotevné bloky z betónu C20/25

$f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

$f_{ck} = 13,33 \text{ MPa}$

Podliatie MC20 hrúbky 30mm

Plech S235

$b_1 = 540 \text{ mm}$

$d_1 = 350 \text{ mm}$

$t = 20 \text{ mm}$

8.2.1 POSÚDENIE PATKOVÉHO PLECHU

$$b_1 = \min \begin{pmatrix} b_1 + 2b_r \\ 3b_1 \\ b_1 + h \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 540 + 2 \cdot 150 \\ 3 \cdot 540 \\ 540 + 800 \end{pmatrix} = 840 \text{ mm}$$

$$d_2 = \min \begin{pmatrix} d_1 + 2d_r \\ 3d_1 \\ d_1 + h \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 350 + 2 \cdot 150 \\ 3 \cdot 350 \\ 350 + 800 \end{pmatrix} = 650 \text{ mm}$$

$$K_j = \sqrt{\frac{b_2 \cdot d_2}{b_1 \cdot d_1}} = \sqrt{\frac{840 \cdot 650}{540 \cdot 350}} = 1,70$$

$$F_{jd} = \frac{\beta_j \cdot K_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot 1,70 \cdot 20 = 18,13 \text{ MPa}$$

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot F_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 18,13 \cdot 1,0}} = 42 \text{ mm}$$

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot F_{jd} = 80696 \cdot 18,13 \cdot 10^{-3} = 1463 \text{ KN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{261,01}{1463} = 0,18 \leq 1,0$$

0,18 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.2.2 POSÚDENIE ŠMYKOVEJ ZARÁŽKY

Výška:

$$\sigma_c = \frac{V_{Ed}}{A_{knot}} \rightarrow h_{min} = \frac{V_{Ed}}{f_{cd} \cdot b} = \frac{83,834 \cdot 10^3}{13,33 \cdot 100} = 63 \text{ mm}$$

$$h = h_{min} + h_{tolerancia} = 63 + 20 = 83 \text{ mm} \dots h = 100 \text{ mm}$$

$$h_{celk} = h + h_{podliatie} = 100 + 30 = 130 \text{ mm}$$

HEB100

$$A_V = 2 \cdot b \cdot t_f = 2 \cdot 100 \cdot 10 = 2000 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2000 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 271,35 \text{ KN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{83,834}{271,35} = 0,31 \leq 1,0$$

0,31 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.2.3 POSÚDENIE ZARÁŽKY NA OHYB

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 83,834 \cdot (0,100/2 + 0,03) = 6,7 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{104000 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 24,44 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{6,7}{24,44} = 0,27 \leq 1,0$$

0,27 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.2.4 POSÚDENIE ZVARU ZARÁŽKY

Návrh zvaru:

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ mm}$$

$$a_{\min} \leq a \leq a_{\max}$$

$$3 \text{ mm} \leq 4 \text{ mm} \leq 11 \text{ mm}$$

$$L_W = 100 - 2 \cdot 10 = 100 - 2 \cdot 10 = 80 \text{ mm}$$

$$\beta_W = 0,9$$

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

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a \cdot L_W} = \frac{83,834 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 80} = 131 \text{ MPa}$$

Moment zotrvačnosti zvarového obrazca

$$I_y = \left[100 \cdot 4 \cdot \left(\frac{(-52 - (-52))^2}{12} \right) + (-52)^2 \right] + \left[100 \cdot 4 \cdot \left(\frac{(52 - 52)^2}{12} \right) + 52^2 \right] =$$

$$= 216,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$W = \frac{I_W}{z} = \frac{216,3 \cdot 10^3}{50} = 43260 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{154,88}{\sqrt{2}} = 109,52 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{6,7 \cdot 10^{-3}}{43260 \cdot 10^{-9}} = 154,88 \text{ MPa}$$

$$109,52 \leq 259,2 \text{ MPa}$$

Zrovnávacie napätie vo zvare

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m_2}}$$

$$\sqrt{109,52^2 + 3 \cdot 109,52^2 + 3 \cdot 131^2} \leq \frac{360}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$315 \leq 320 \text{ MPa}$$

8.2.5 POSÚDENIE TLAČENÉHO BETÓNU

$$\sigma_{Mc} = \frac{V_{Ed}}{h \cdot b} \leq f_{cd}$$

$$\frac{83834}{100 \cdot 100} \leq 13,33 \text{ MPa}$$

$$8,338 \leq 13,33 \text{ MPa}$$

8.2.6 POSÚDENIE KOTEVNÝCH ŠRÓBOV

4x M16, 8.8

Nrk udávaná výrobcem 68,7 kN

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$

$$k_2 = 0,9$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$d_m = 25,9 \text{ mm}$$

$$A = 201 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

Pri návrhu uvažovaná len ťahová sila, šmykové sily budú prenesené zarážkou

POSÚDENIE NA ŤAH

$$F_{Ed,1} = \frac{F_{Ed}}{4} = \frac{198,881}{4} = 49,72 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{K_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 157 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 90,43 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed,1}}{F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{F_{Ed,1}}{F_{t,Rd}} = \frac{49,72}{90,43} = 0,55 \leq 1,0$$

0,55 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.3 KOTVENIE PRIEČNEJ VÄZBY K2

Uzol 418 KZ 81

Tlak: Rx = -10,723 kN

Ry = -0,359 kN

Rz = 218,722 kN

Uzol 417 KZ 53

Tah: Rx = -11,231 kN

Ry = 11,548 kN

Rz = -234,352 kN

Uzol 1346 KZ95

Šmyk: Rx = 15,991 kN

max Ry = -50,295 kN

Rz = 164,589 kN tlak

Uzol 418 KZ88

max Rx = 16,343 kN kz

Ry = 49,392 kN

Rz = 165,882 kN tlak

Kotevné bloky z betónu C20/25

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 13,33 \text{ MPa}$$

Podliatie MC20 hrúbky 30mm

Plech S235

$$b_1 = 500 \text{ mm}$$

$$d_1 = 500 \text{ mm}$$

$$t = 20 \text{ mm}$$

8.3.1 POSÚDENIE PATKOVÉHO PLECHU

$$b_2 = \min \left(\begin{array}{c} b_1 + 2b_r \\ 3b_1 \\ b_1 + h \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 500 + 2 \cdot 150 \\ 3 \cdot 500 \\ 500 + 800 \end{array} \right) = 800 \text{ mm}$$

$$d_2 = \min \left(\begin{array}{c} d_1 + 2d_r \\ 3d_1 \\ d_1 + h \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 500 + 2 \cdot 75 \\ 3 \cdot 500 \\ 500 + 800 \end{array} \right) = 650 \text{ mm}$$

$$K_j = \sqrt{\frac{b_2 \cdot d_2}{b_1 \cdot d_1}} = \sqrt{\frac{800 \cdot 650}{500 \cdot 500}} = 1,44$$

$$F_{jd} = \frac{\beta_j \cdot K_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 1,44 \cdot 20}{1,25} = 15,36 \text{ MPa}$$

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot F_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 15,36 \cdot 1,0}} = 45 \text{ mm}$$

$$N_{Rd} = A_{\text{eff}} \cdot F_{jd} = 95397 \cdot 15,36 \cdot 10^{-3} = 1465 \text{ KN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{218,722}{1465} = 0,15 \leq 1,0$$

0,18 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.3.2 POSÚDENIE ZVARU - HEB 280 K PÄTNÝ PLECH P20

Návrh zvaru:

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$a_{\text{min}} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 10,5 = 11,55 \text{ mm}$$

$$a_{min} \leq a \leq a_{max}$$

$$3 \text{ mm} \leq 4 \text{ mm} \leq 11,55 \text{ mm}$$

$$\text{zvar po celom obvode} \rightarrow L_y = 1098 \text{ mm}, L_z = 524 \text{ mm}$$

$$\beta_w = 0,9$$

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

smer y:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{a \cdot L_w} = \frac{50,295 \cdot 10^3}{4 \cdot 1098} = 11,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{a \cdot L_w} = \frac{218,722 \cdot 10^3}{4 \cdot (1098 + 524)} = 33,71 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_c}{\sqrt{2}} = \frac{33,71}{\sqrt{2}} = 23,84 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

$$23,84 \leq 259,2 \text{ MPa}$$

Zrovnávacie napätie vo zvare

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

$$\sqrt{23,84^2 + 3 \cdot 23,84^2 + 3 \cdot 11,45^2} \leq \frac{360}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$51,64 \leq 320 \text{ MPa}$$

smer z:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{a \cdot L_w} = \frac{16,343 \cdot 10^3}{4 \cdot 524} = 7,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{a \cdot L_w} = \frac{218,722 \cdot 10^3}{4 \cdot (1098 + 524)} = 33,71 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_c}{\sqrt{2}} = \frac{33,71}{\sqrt{2}} = 23,84 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

$$23,84 \leq 259,2 \text{ MPa}$$

Zrovnávacie napätie vo zvare

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

$$\sqrt{23,84^2 + 3 \cdot 23,84^2 + 3 \cdot 7,8^2} \leq \frac{360}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$49,56 \leq 320 \text{ MPa}$$

8.3.3 POSÚDENIE ŠMYKOVEJ ZARÁŽKY

Výška:

$$\sigma_c = \frac{V_{Ed}}{A_{knot}} \rightarrow h_{min} = \frac{V_{Ed}}{f_{cd} \cdot b} = \frac{50,295 \cdot 10^3}{13,33 \cdot 100} = 38 \text{ mm}$$

$$h = h_{min} + h_{tolerancia} = 38 + 20 = 58 \text{ mm} \dots h = 100 \text{ mm}$$

$$h_{celk} = h + h_{podliatie} = 100 + 30 = 130 \text{ mm}$$

HEB100

$$A_V = 2 \cdot b \cdot t_f = 2 \cdot 100 \cdot 10 = 2000 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2000 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 271,35 \text{ KN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{50,295}{271,35} = 0,19 \leq 1,0$$

0,19 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.3.4 POSÚDENIE ZARÁŽKY NA OHYB

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 50,295 \cdot (0,100/2 + 0,03) = 4,02 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{104000 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 24,44 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{4,02}{24,44} = 0,16 \leq 1,0$$

0,16 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.3.5 POSÚDENIE ZVARU ZARÁŽKY

Návrh zvaru:

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ mm}$$

$$a_{min} \leq a \leq a_{max}$$

$$3 \text{ mm} \leq 4 \text{ mm} \leq 11 \text{ mm}$$

$$L_W = 100 - 2 \cdot 10 = 100 - 2 \cdot 10 = 80 \text{ mm}$$

$$\beta_w = 0,9$$

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

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a \cdot L_w} = \frac{50,295 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 80} = 78,59 \text{ MPa}$$

Moment zotrvačnosti zvarového obrazca

$$I_y = \left[100 \cdot 4 \cdot \left(\frac{(-52 - (-52))^2}{12} \right) + (-52)^2 \right] + \left[100 \cdot 4 \cdot \left(\frac{(52 - 52)^2}{12} \right) + 52^2 \right] =$$

$$= 216,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$W = \frac{I_w}{z} = \frac{216,3 \cdot 10^3}{50} = 43260 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{92,93}{\sqrt{2}} = 65,71 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{4,02 \cdot 10^{-3}}{43260 \cdot 10^{-9}} = 92,93 \text{ MPa}$$

$$65,71 \leq 259,2 \text{ MPa}$$

Zrovnávacie napätie vo zvare

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

$$\sqrt{65,71^2 + 3 \cdot 65,71^2 + 3 \cdot 78,59^2} \leq \frac{360}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$183,74 \leq 320 \text{ MPa}$$

8.3.6 POSÚDENIE TLAČENÉHO BETÓNU

$$\sigma_{Mc} = \frac{V_{Ed}}{h \cdot b} \leq f_{cd}$$

$$\frac{50295}{100 \cdot 100} \leq 13,33 \text{ MPa}$$

$$5,02 \leq 13,33 \text{ MPa}$$

8.3.7 POSÚDENIE KOTEVNÝCH ŠRÓBOV

4x M16, 8.8

Nrk udavana výrobcom 68,7 kN

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$

$$k_2 = 0,9$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

POSÚDENIE NA ŤAH

$$F_{Ed,1} = \frac{F_{Ed}}{4} = \frac{234,352}{4} = 58,59 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{K_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 157 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 90,43 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed,1}}{F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{F_{Ed,1}}{F_{t,Rd}} = \frac{58,59}{90,43} = 0,65 \leq 1,0$$

0,65 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.4 KOTVENIE PRIEČNEJ VÄZBY K3

Uzol 386 KZ 89

Tlak: $R_x = 0,416 \text{ kN}$

$R_y = 14,251 \text{ kN}$

$R_z = 187,249 \text{ kN}$

Uzol 382 KZ 61

Tah: $R_x = 0,140 \text{ kN}$

$R_y = 12,016 \text{ kN}$

$R_z = -143,414 \text{ kN}$

Uzol 1315 KZ58

Uzol 338 KZ81

Šmyk : $R_x = 0,455 \text{ kN}$

max $R_x = 1,208 \text{ kN}$ kz

max $R_y = -66,837 \text{ kN}$

$R_y = 55,914 \text{ kN}$

$R_z = 90,165 \text{ kN}$ tlak

$R_z = 111,816 \text{ kN}$ tlak

Kotevné bloky z betónu C20/25

$f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

$f_{ck} = 13,33 \text{ MPa}$

Podliatie MC20 hrúbky 30mm

Plech S235

$b_1 = 400 \text{ mm}$

$d_1 = 350 \text{ mm}$

$t = 10 \text{ mm}$

8.4.1 POSÚDENIE PATKOVÉHO PLECHU

$$b_2 = \min \begin{pmatrix} b_1 + 2b_r \\ 3b_1 \\ b_1 + h \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 400 + 2 \cdot 150 \\ 3 \cdot 400 \\ 400 + 800 \end{pmatrix} = 700 \text{ mm}$$

$$d_2 = \min \begin{pmatrix} d_1 + 2d_r \\ 3d_1 \\ d_1 + h \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 350 + 2 \cdot 150 \\ 3 \cdot 350 \\ 350 + 800 \end{pmatrix} = 650 \text{ mm}$$

$$K_j = \sqrt{\frac{b_2 \cdot d_2}{b_1 \cdot d_1}} = \sqrt{\frac{700 \cdot 650}{400 \cdot 350}} = 1,80$$

$$F_{jd} = \frac{\beta_j \cdot K_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 1,80 \cdot 10}{1,25} = 9,6 \text{ MPa}$$

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot F_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 10 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 9,6 \cdot 1,0}} = 29 \text{ mm}$$

$$N_{Rd} = A_{\text{eff}} \cdot F_{jd} = 49921 \cdot 9,6 \cdot 10^{-3} = 479 \text{ KN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{187,249}{479} = 0,39 \leq 1,0$$

0,39 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.4.2 POSÚDENIE ZVARU - HEB 220 K PÄTNÝ PLECH P10

Návrh zvaru:

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 9,5 = 10,45 \text{ mm}$$

$$a_{\min} \leq a \leq a_{\max}$$

$$3 \text{ mm} \leq 4 \text{ mm} \leq 10,45 \text{ mm}$$

$$\text{zvar po celom obvode} \rightarrow L_y = 860 \text{ mm}, L_z = 408 \text{ mm}$$

$$\beta_w = 0,9$$

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

smer y:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{a \cdot L_w} = \frac{66,837 \cdot 10^3}{4 \cdot 860} = 19,43 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{a \cdot L_w} = \frac{187,249 \cdot 10^3}{4 \cdot (860 + 408)} = 36,92 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_c}{\sqrt{2}} = \frac{36,92}{\sqrt{2}} = 26,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

$$26,1 \leq 259,2 \text{ MPa}$$

Zrovnávacie napätie vo zvare

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} \leq \frac{fu}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{26,1^2 + 3 \cdot 26,1^2 + 3 \cdot 19,43^2} \leq \frac{360}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$62,1 \leq 320 \text{ MPa}$$

smer z:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{a \cdot L_w} = \frac{1,208 \cdot 10^3}{4 \cdot 408} = 0,74 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{a \cdot L_w} = \frac{187,249 \cdot 10^3}{4 \cdot (860 + 408)} = 36,92 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_c}{\sqrt{2}} = \frac{36,92}{\sqrt{2}} = 26,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

$$26,1 \leq 259,2 \text{ MPa}$$

Zrovnávacie napätie vo zvare

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} \leq \frac{fu}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{26,1^2 + 3 \cdot 26,1^2 + 3 \cdot 0,74^2} \leq \frac{360}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$52,2 \leq 320 \text{ MPa}$$

8.4.3 POSÚDENIE ŠMYKOVEJ ZARÁŽKY

Výška:

$$\sigma_c = \frac{V_{Ed}}{A_{knot}} \rightarrow h_{min} = \frac{V_{Ed}}{f_{cd} \cdot b} = \frac{66,837 \cdot 10^3}{13,33 \cdot 100} = 50 \text{ mm}$$

$$h = h_{min} + h_{tolerancia} = 50 + 20 = 70 \text{ mm} \dots h = 100 \text{ mm}$$

$$h_{celk} = h + h_{podliatie} = 100 + 30 = 130 \text{ mm}$$

HEB100

$$A_V = 2 \cdot b \cdot t_f = 2 \cdot 100 \cdot 10 = 2000 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2000 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 271,35 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{66,837}{271,35} = 0,25 \leq 1,0$$

0,25 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.4.4 POSÚDENIE ZARÁŽKY NA OHYB

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 66,837 \cdot (0,100/2 + 0,03) = 5,35 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{104000 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 24,44 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{5,35}{24,44} = 0,22 \leq 1,0$$

0,16 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.4.5 POSÚDENIE ZVARU ZARÁŽKY

Návrh zvaru:

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ mm}$$

$$a_{min} \leq a \leq a_{max}$$

$$3 \text{ mm} \leq 4 \text{ mm} \leq 11 \text{ mm}$$

$$L_W = 100 - 2 \cdot 10 = 100 - 2 \cdot 10 = 80 \text{ mm}$$

$$\beta_W = 0,9$$

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

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot L_W} = \frac{60,837 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 80} = 95,1 \text{ MPa}$$

Moment zotrvačnosti zvarového obrazca

$$I_y = \left[100 \cdot 4 \cdot \left(\frac{(-52 - (-52))^2}{12} \right) + (-52)^2 \right] + \left[100 \cdot 4 \cdot \left(\frac{(52 - 52)^2}{12} \right) + 52^2 \right] =$$

$$= 216,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$W = \frac{I_W}{z} = \frac{216,3 \cdot 10^3}{50} = 43260 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{123,67}{\sqrt{2}} = 87,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{5,35 \cdot 10^{-3}}{43260 \cdot 10^{-9}} = 123,67 \text{ MPa}$$

$$87,45 \leq 259,2 \text{ MPa}$$

Zrovnávacie napätie vo zvare

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

$$\sqrt{65,71^2 + 3 \cdot 65,71^2 + 3 \cdot 78,59^2} \leq \frac{360}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$183,74 \leq 320 \text{ MPa}$$

8.4.6 POSÚDENIE TLAČENÉHO BETÓNU

$$\sigma_{Mc} = \frac{V_{Ed}}{h \cdot b} \leq f_{cd}$$

$$\frac{66837}{100 \cdot 100} \leq 13,33 \text{ MPa}$$

$$6,7 \leq 13,33 \text{ MPa}$$

8.4.7 POSÚDENIE KOTEVNÝCH ŠRÓBOV

2x M16, 8.8

Nrk udavana výrobcom 90,4 kN

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$

$$k_2 = 0,9$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

POSÚDENIE NA ŤAH

$$F_{Ed,1} = \frac{F_{Ed}}{2} = \frac{143,414}{2} = 71,7 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{K_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 157 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 90,43 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed,1}}{F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{F_{Ed,1}}{F_{t,Rd}} = \frac{71,7}{90,43} = 0,79 \leq 1,0$$

0,79 ≤ 1,0 ... vyhovuje

8.5 MONÁŽNE SPOJE VÄZNIK HEB280

Štítový väzník je rozdelený na do troch montážnych dielov, ktoré budú spojené tupými zvarmi s plným prevarením tvaru "poIV"

