



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH
KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

PRŮMYSLOVÁ HALA

STEEL STRUCTURE OF AN INDUSTRIAL BUILDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Josef Jílek

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Josef Jílek
Název	Průmyslová hala
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Karel Sýkora
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce	24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

.....
doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. Prostorové uspořádání haly.
2. ČSN EN 1993 (7314 01), Navrhování ocelových konstrukcí.
3. Literatura podle doporučení vedoucího bakalářské práce.
4. Odborné publikace v časopisech a sbornících, které se vztahují k řešené problematice, podle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Zásady pro vypracování

Vypracujte návrh nosné ocelové konstrukce jednodílné průmyslové haly v souladu s prostorovým uspořádáním objektu o rozpětí 30 m, délky 84 m a výšce odpovídající skladebné výšce konzoly 9,0 m.

V hale uvažujte dva mostové jeřáby o nosnosti 50/12,5 t a 32/8 t.

Konstrukci navrhnete pro oblast Brno.

Předepsané přílohy:

1. Technická zpráva obsahující základní charakteristiky navržené konstrukce, požadavky na materiál, spojovací prostředky, montáž a ochranu.
2. Statický výpočet hlavních nosných prvků a částí konstrukce.
3. Výkresová dokumentace obsahující zejména dispoziční výkres, výkres vybraných konstrukčních dílců, charakteristické detaily podle pokynů vedoucího bakalářské práce.
4. Orientační výkaz spotřeby materiálu.

Předepsané přílohy

.....

Ing. Karel Sýkora
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem nosné ocelové konstrukce jednolodní průmyslové haly v souladu s prostorovým uspořádáním objektu o rozpětí 30 m, délky 84 m a výšce odpovídající skladebné výšce konzoly 9,0 m. V hale jsou uvažovány dva mostové jeřáby o nosnosti 50/12,5 t a 32/8 t. Hlavním nosným prvkem je příčná vazba tvořená příhradovým vazníkem uloženým na plnostěnných sloupech dole příčně vetknutých. Vzdálenost příčných vazeb je 12 m a jsou mezi nimi navrženy zavěšené vaznice.

Konstrukce je navržena pro oblast Brno.

Abstract

This thesis deals with structure of the single-aisle steel industrial hall in accordance with the arrangements of the building with a span of 30 m, a height of 84 m and corresponding height of the cantilever of a crane track girder is 9,0 m. In the hall are considered two cranes with a capacity of 50/12,5 t and 32/8 t. The main bearing element is formed by latic truss stored on solid pillar down anchored in transverse direction. Distance of transversal pillars is 12 m and between them designed hanging purlins.

The structure is designed for the district of Brno.

Klíčová slova

Průmyslová hala, ocelová konstrukce, jeřábová dráha, sloup, vazník, vaznice

Keywords

Industrial hall, steel structure, crane runway, pillar, truss beam, purlin, lattice structure

Bibliografická citace VŠKP

JÍLEK, Josef. *Průmyslová hala*. Brno, 2013. 143 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Karel Sýkora.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24.5.2013

.....
podpis autora

Josef Jílek

Je mi ctí poděkovat panu Ing. Karlu Sýkorovi, vedoucímu mé bakalářské práce, za věnovaný čas a cenné rady ke zpracování mé práce a děkuji rodině a přátelům za podporu ve studiu.

Josef Jílek

OBSAH

Obsah	8
1. Geometrie konstrukce	13
1.1. Příčný řez konstrukcí	13
1.2. Půdorys střechy	14
2. Výpočtový model	15
2.1. Výpočtový model vaznice	15
2.2. Výpočtový model vazníku	15
3. Zatížení konstrukce	16
3.1. Stálé zatížení	16
3.1.1. Zatížení od střešního pláště	16
3.1.2. Zatížení od vaznice	16
3.2. Nahodilé zatížení	16
3.2.1. Zatížení sněhem	16
3.2.2. Zatížení větrem	16
4. Materiál	21
5. Vaznice	21
5.1. Výpočtový model	21
5.2. Zatížení	21
5.3. Kombinace zatížení	22
5.4. Vnitřní síly	22
5.5. Posouzení vaznice – mezní stav únosnosti	23
5.5.1. Vnitřní pole	23
5.5.1.1. Ohyb v ose y	24
5.5.1.2. Ohyb v ose z	25
5.5.1.3. Ohyb ve dvou rovinách bez vlivu klopení	25
5.5.1.4. Kombinace ohybu a osového tlaku	25
5.5.2. Krajní pole	31
5.5.2.1. Ohyb v ose y	32
5.5.2.2. Ohyb v ose z	33
5.5.2.3. Ohyb ve dvou rovinách	33
5.5.2.4. Ohyb a osový tlak	33

5.5.3.	Závěsy	39
5.5.3.1.	Posouzení na tah	39
5.5.3.2.	Vzpěrná únosnost	40
5.6.	Posouzení vaznice – mezní stav použitelnosti	41
6.	Návrh a posouzení táhla mezi vaznicemi	42
6.1.	Zatížení táhla	42
7.	Vazník.....	43
7.1.	Výpočtový model	43
7.3.	Vnitřní síly.....	44
7.4.	Horní pás	45
7.5.	Posouzení dolního pásu	47
7.6.	Posouzení krajní diagonály tažené	48
7.6.1.	Posouzení na tah	49
7.7.	Posouzení krajní diagonály tlačené	49
7.7.1.	Vzpěrná únosnost.....	50
7.8.	Posouzení svislice	52
7.8.1.	Vzpěrná únosnost.....	52
7.9.	Mezní stav použitelnosti.....	54
8.	Jeřábová dráha	55
8.1.	Geometrie	55
8.2.	Základní parametry jeřábů	55
8.3.	Konstrukční řešení jeřábové dráhy.....	56
8.4.	Zatížení jeřábové dráhy	56
8.4.1.	Stálé zatížení	56
8.4.2.	Proměnná zatížení	57
8.4.2.1.	Zatížení jeřáby	57
8.4.2.1.1.	Charakteristické hodnoty statických složek zatížení jeřáby	57
a)	Tíha jeřábu	57
b)	Zatížení kladkostroje	58
c)	Zrychlení mostu jeřábu	58
d)	Příčení mostu jeřábu	60
e)	Zrychlení kočky	61
8.4.2.1.2.	Charakteristické hodnoty zatížení jeřáby	61

8.4.2.1.3.	Kombinační součinitele pro zatížení jeřáby.....	62
8.4.2.2.	Zatížení lávek	63
8.4.2.2.1.	Charakteristické hodnoty zatížení lávek	63
8.4.2.2.2.	Kombinační součinitele pro zatížení lávek	63
8.4.3.	Mimořádné zatížení	63
8.4.3.1.	Síly na nárazníky	63
8.4.4.	Únavové zatížení.....	64
8.5.	Hlavní nosník jeřábové dráhy	66
8.5.1.	Mezní stavy únosnosti STR	66
8.5.1.1.	Výpočet reakcí a vnitřních sil od svislých zatížení	66
8.5.1.1.1.	Účinky svislých tlaků kol obou jeřábů ve skupině zatížení č. 1	66
8.5.1.1.2.	Účinky stálého zatížení	69
8.5.1.1.3.	Kombinované účinky svislých zatížení.....	69
8.5.1.2.	Průřez hlavního nosníku jeřábové dráhy	70
8.5.1.3.	Posouzení rozhodujících průřezů hlavního nosníku	70
8.5.1.3.1.	Posouzení pásnic v krajních vláknech nosníku při normálovém napětí .	70
8.5.1.3.2.	Posouzení stojiny v neutrální ose průřezu při maximálním smykovém napětí.....	71
8.5.1.3.3.	Posouzení stojiny pod kolovým zatížením při interakci napětí	71
8.5.1.3.4.	Brzdné síly ve skupině zatížení č. 1 a jejich účinky	74
8.5.1.3.5.	Posouzení pásnic při jednoosé napjatosti – síly skupiny č. 1	76
8.5.1.3.6.	Posouzení pásnic při dvojosé napjatosti – síly skupiny č. 1	76
8.5.1.4.	Posouzení rozhodujících průřezů hlavního nosníku jeřábové dráhy pro kombinaci zatížení s maximálními bočními rázy	77
8.5.1.4.1.	Svislé tlaky kol.....	77
8.5.1.4.2.	Boční rázy a jejich účinky.....	78
8.5.1.4.3.	Posouzení horní pásnice při jednoosé napjatosti pro kombinaci zatížení se svislými i vodorovnými silami	79
8.5.1.5.	Posouzení hlavního nosníku jeřábové dráhy na klopení	79
8.5.1.6.	Posouzení hlavního nosníku jeřábové dráhy na boulení	80
8.5.1.6.1.	Únosnost průřezu a související parametry	80
8.5.1.6.2.	Posouzení rozhodujících průřezů pro kombinaci zatížení s maximálními svislými tlaky kol.....	83
a)	Případ s významným ohybovým momentem	83

b) Příklad bez ohybového momentu	85
8.5.1.6.3. Posouzení koncových výztuh.....	86
8.5.1.6.4. Posouzení mezilehlých výztuh.....	87
8.5.1.6.5. Posouzení účinného podepření tlačené pásnice stojinou	90
8.5.1.7. Posouzení spoje stojiny a pásnice nosníku (krčních svarů).....	90
8.5.1.7.1. Krční svary pod horní pásnicí	90
8.5.1.7.2. Krční svary nad dolní pásnicí.....	92
8.5.2. Mezní stavy použitelnosti	93
8.5.2.4. Svislé průhyby nosníku	93
8.5.3. Mezní stavy únosnosti FAT	95
8.5.3.1. Únavová pevnost.....	95
8.5.3.2. Posouzení pásnic pro rozkmit normálového napětí od ohybového momentu	95
8.5.3.3. Posouzení stojiny pro rozkmit hlavního napětí od ohybového momentu a posouvající síly.....	99
8.5.3.4. Posouzení krčních svarů pro rozkmit smykového napětí od posouvající síly	103
8.5.3.5. Posouzení krčních svarů pro rozkmit svislého tlakového napětí od tlaků kol	107
9. Návrh a výpočet spojů	110
9.1. Spoje svařované.....	110
9.1.1. Svarový spoj styčnicku příhradového vazníku	110
9.2. Spoje montážní.....	111
9.2.1. Montážní spoj dolního pásu	111
9.2.2. Montážní spoj horního pásu.....	114
9.2.3. Montážní připojení vazníku na sloup.....	114
9.2.3.1. Návrhová únosnost šroubu ve stříhu	114
10. Příčná vazba	115
10.1. Schéma příčné vazby	115
10.2. Předběžný návrh sloupu.....	115
10.3. Statické schéma	116
10.4. Zatížení	116
10.4.1. Zatížení stálé	116
10.4.2. Zatížení nahodilé.....	117

10.4.2.1.	Sníh.....	117
10.4.2.2.	Vítr příčný	117
10.4.3.	Zatížení proměnné.....	117
10.4.3.1.	Zatížení jeřábovou dráhou.....	117
10.5.	Výpočet sloupu	118
10.5.1.	Výpočet špičky sloupu	118
10.5.1.1.	Návrhové hodnoty působícího zatížení a průřezové charakteristiky..	118
10.5.1.2.	Zatřídění průřezu	119
10.5.1.3.	Ohyb a vzpěr.....	120
10.5.2.	Výpočet dřívku sloupu	125
10.5.2.1.	Návrhové hodnoty působícího zatížení a průřezové charakteristiky..	125
10.5.2.2.	Zatřídění průřezu	126
10.5.2.3.	Ohyb a vzpěr.....	126
10.6.	Patka a kotvení sloupu	132
10.6.1.	Vnější zatížení (řez 1)	132
10.6.2.	Třída betonu patky	132
10.6.3.	Rozměry patky	132
10.6.4.	Výpočet sil.....	132
10.6.5.	Výslednice tlakového napětí v betonu	133
10.6.6.	Tahová síla na kotevní šrouby.....	133
10.6.7.	Posouzení betonu.....	133
10.6.8.	Kotevní šrouby	134
10.7.	Patní deska.....	134
10.7.1.	Materiál a rozměry	134
10.7.2.	Tloušťka patního plechu.....	135
10.8.	Posouzení průřezu patky.....	136
10.8.1.	Posouzení v řezu 1.....	136
10.8.2.	Posouzení v řezu 2.....	138
10.9.	Kotevní příčník.....	141
	Seznam použité literatury	143

1. GEOMETRIE KONSTRUKCE

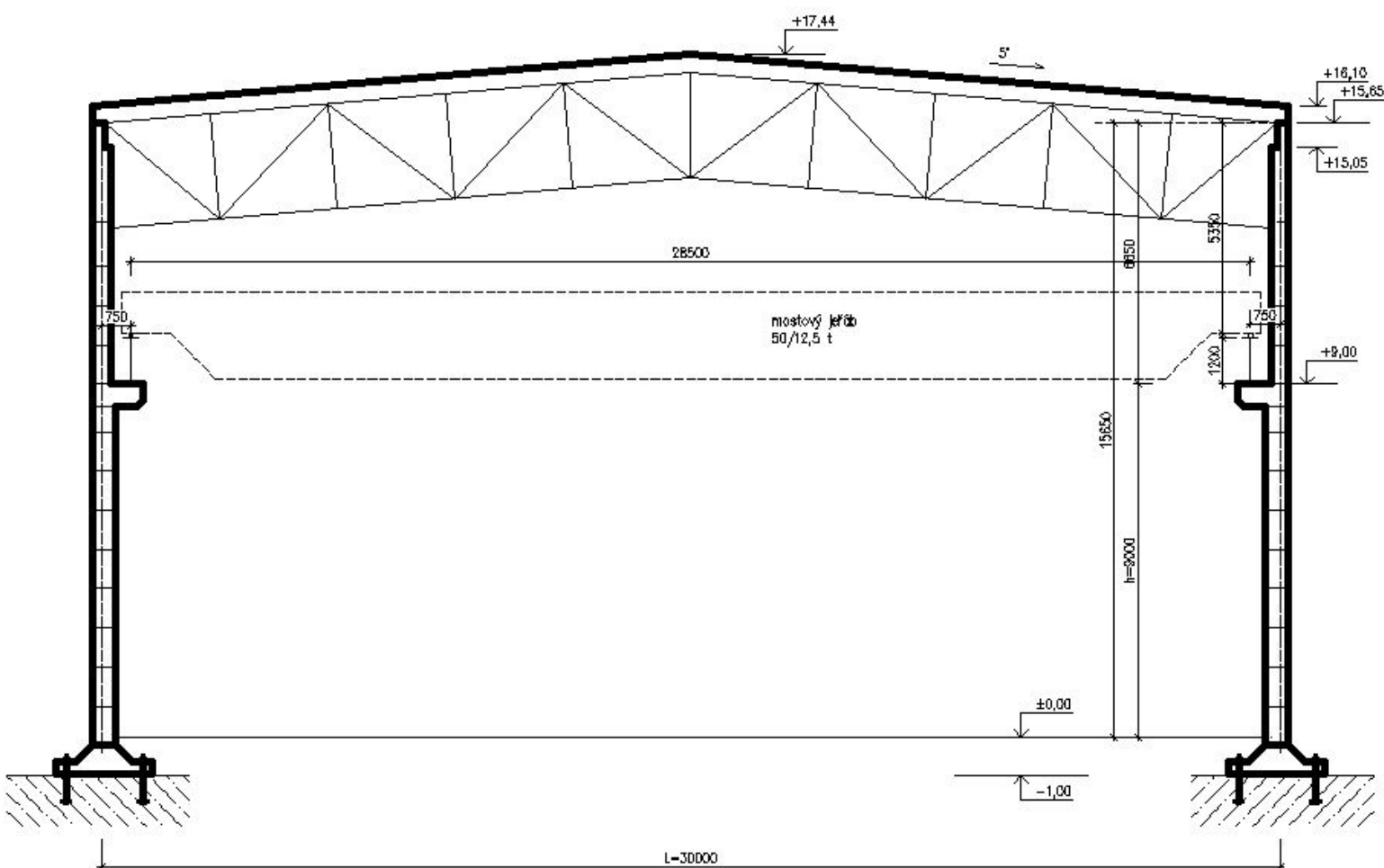
rozpětí vazníku $L = 30,00$ m
zatěžovací šířka $B = 6,00$ m

rozpětí vaznice $l = 12,00$ m
zatěžovací šířka $b = 3,00$ m

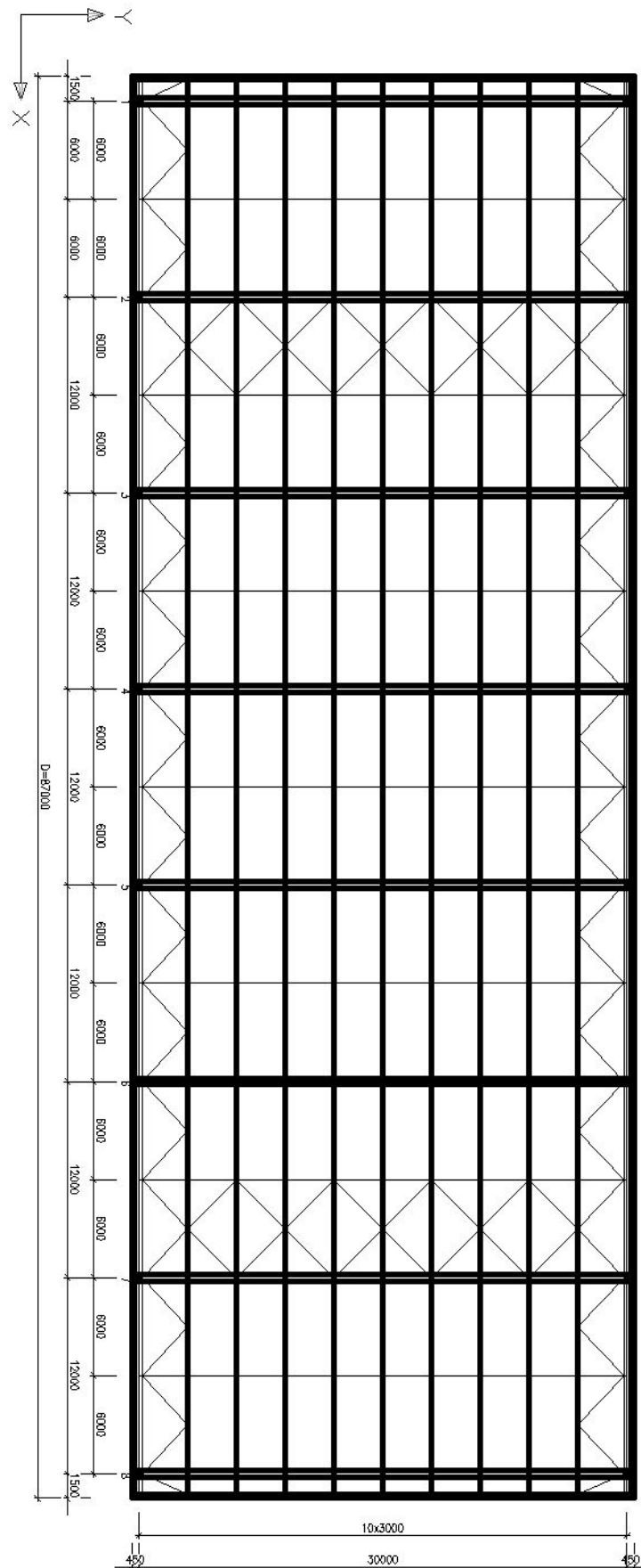
sklon střechy $\alpha = 5^\circ$

skladebná výška konzoly $h = 9,00$ m

1.1. Příčný řez konstrukcí:



1.2. Půdorys střechy

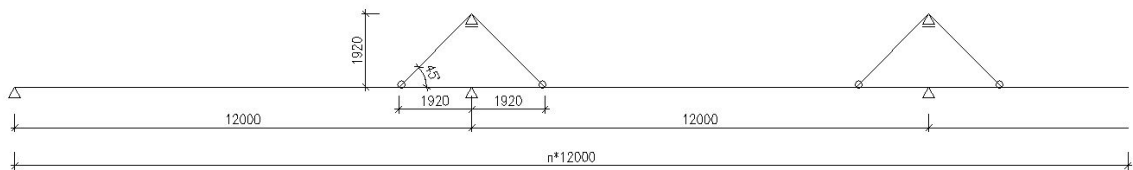


2. VÝPOČTOVÝ MODEL

Konstrukce je řešená jako rovinná.

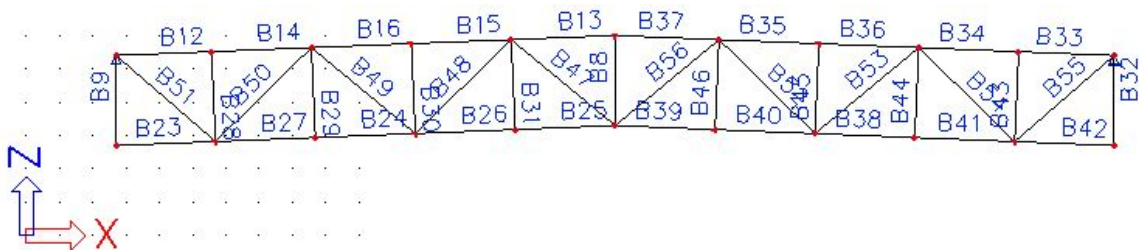
2.1. Výpočtový model vaznice

Vaznice je řešena jako zavěšená délkou polí 12 m. Konstrukce je staticky neurčitá. Výpočet je proveden v programu Scia Engineer.



2.2. Výpočtový model vazníku

Vazník je řešen jako příhradový, svislice kolmo na pásové pruty. Výška vazníku je 2700 mm a je konstantní po celé délce.



3. ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE

3.1. Stálé zatížení

3.1.1. Zatížení od střešního pláště

Střešní plášť Dekroof 15

Popis vrstvy	Tl. (mm)	Zatížení (kN/m ²)
Elastek 50 solo	5,2	0,06
Isover S	80	0,12
Isover T	Min. 140	0,19
Daco KSD R	-	-
Dekprofile TR 150/280/0,75	150	0,11
	Celková tíha střešního pláště	0,48 kN/m²

3.1.2. Zatížení od vaznice

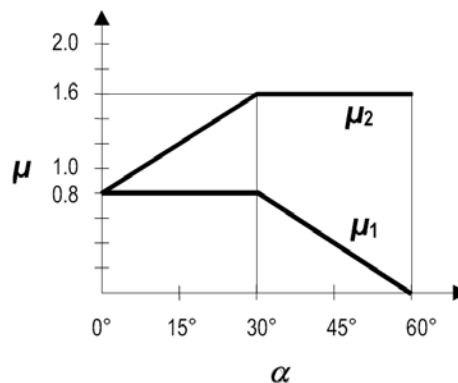
Vlastní tíha – odhad 0,1 kN/m²

*3 m = 0,3 kN/m

3.2. Nahodilé zatížení

3.2.1. Zatížení sněhem

Sněhová oblast	II. (Brno)
S_k	1,0 kN/m ²
Typ krajiny	normální
Součinitel expozice	$C_e = 1,0$
Tepelný součinitel střechy	$C_t = 1,0$
Tvarový součinitel	$\mu = 0,8$
Tvar střechy	plochá
Sklon	$\alpha = 5^\circ$



$$s = s_k \cdot \mu \cdot C_e \cdot C_t = 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = \mathbf{0,8 \text{ kN/m}^2}$$

3.2.2. Zatížení větrem

Lokalita – Brno: II. větrová oblast

Kategorie terénu III – oblast pravidelně pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami

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

Součinitel ročního období
 Součinitel směru větru
 Základní rychlost větru

$$C_{\text{season}} = 1,0$$

$$C_{\text{dir}} = 1,0$$

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

Kategorie drsnosti terénu II.

$$z_0 = 0,30 \text{ m}$$

$$z_{\text{min}} = 5,00 \text{ m}$$

$$z = 15,00 \text{ m}$$

Výška nad terénem

Součinitel terénu

$$kr = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{0,05}\right)^{0,007} = \mathbf{0,215}$$

Součinitel drsnosti

$$Cr(z) = kr \cdot \ln\left(\frac{\max(z; z_{\text{min}})}{z_0}\right) = \mathbf{0,841}$$

Součinitel ortografie

$$C_0(z) = 1,0$$

Charakteristická střední rychlost

$$vm = Cr(z) \cdot C_0(z) \cdot v_b = 0,841 \cdot 1 \cdot 25 = \mathbf{21,03 \text{ m/s}}$$

Měrná hmotnost vzduchu

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

Základní dynamický tlak větru:

$$q_b(z) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot \frac{21,03^2}{1000} = \mathbf{0,276 \text{ kN/m}^2}$$

součinitel turbulence

$$k_i = 1$$

intenzita turbulence

$$Iv(z) = \frac{k_i}{C_0 \cdot \ln\left(\frac{\max(z; z_{\text{min}})}{z_0}\right)} = \mathbf{0,255}$$

součinitel expozice

$$Ce(z) = 1 + 7 \cdot Iv(z) = \mathbf{2,785}$$

maximální dynamický tlak

$$qp(z) = q_b(z) \cdot Ce(z) = 0,276 \cdot 2,785 = \mathbf{0,77 \text{ kN/m}^2}$$

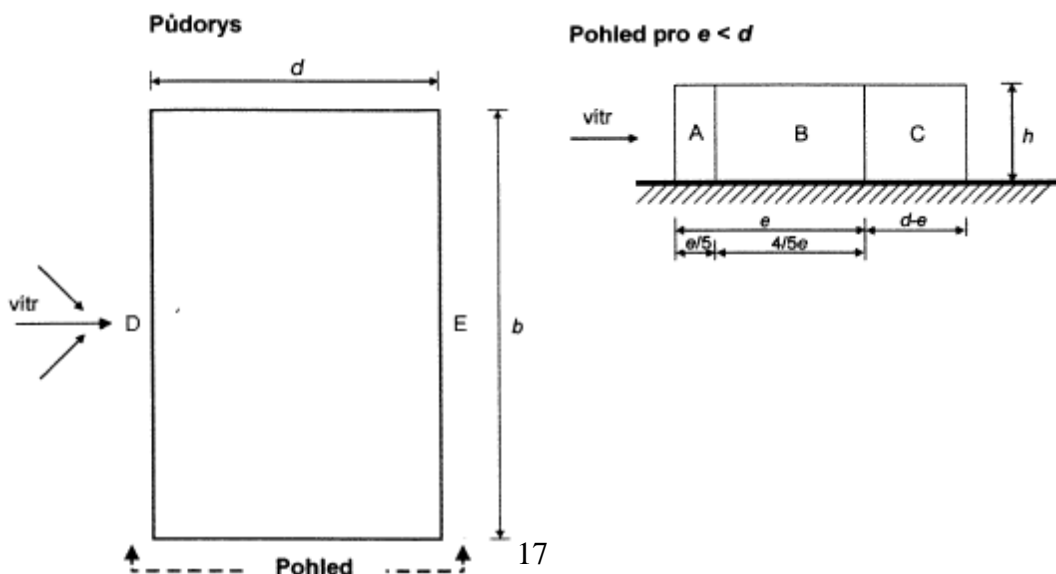
střešní plocha vystavená působení větru $> 10 \text{ m}^2 \Rightarrow c_{pe,10}$

Výpočet působení větru na stěny – směr příčný

Rozměry haly = $30 \cdot 84 \cdot 15 \text{ m}$

$E = \min(b; 2h) = \min(84; 30) = 30 \text{ m}$

$D = 30 \text{ m}$



Stanovení vzdáleností oblastí vnějších tlaků na stěny:

$$A = \frac{e}{5} = \frac{30}{5} = 6 \text{ m}$$

$$B = \frac{4}{5} \cdot e = \frac{4}{5} \cdot 30 = 25 \text{ m}$$

$$C = d - e = 30 - 30 = 0 \text{ m}$$

Oblast	A	B	C	D	E
$h/d = 0,5$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
1	-1,2	-1,4	-0,5	+0,8	-0,5
0,5	-1,2	-1,0	-0,5	+0,73	-0,37
$\leq 0,25$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,7	-0,3

Tlak větru We působící na vnější povrchy konstrukce získáme z výrazu

$$We = qp(z) \cdot C_{pe,10}$$

Oblast A

$$We = -1,2 \cdot 0,5 = -0,6 \text{ kN/m}^2$$

Oblast B

$$We = -1,00 \cdot 0,5 = -0,5 \text{ kN/m}^2$$

Oblast C

$$We = -0,5 \cdot 0,5 = -0,25 \text{ kN/m}^2$$

Oblast D

$$We = +0,73 \cdot 0,5 = +0,37 \text{ kN/m}^2$$

Oblast E

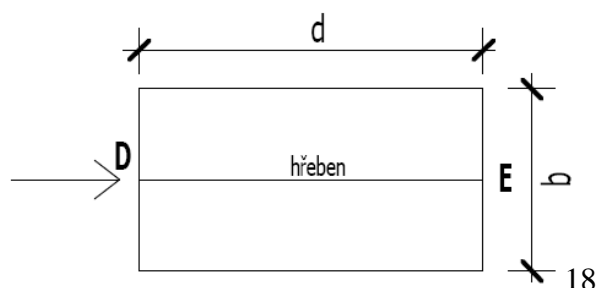
$$We = -0,37 \cdot 0,5 = -0,19 \text{ kN/m}^2$$

Výpočet působení větru na stěny – směr podélný

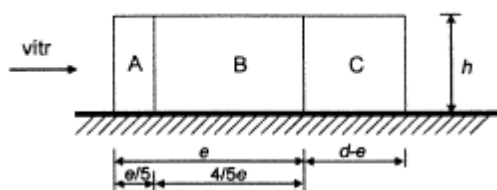
Rozměry haly = $30 \cdot 84 \cdot 15 \text{ m}$

$E = \min(b; 2h) = \min(30; 30) = 30 \text{ m}$

$D = 84 \text{ m}$



Pohled pro $e < d$



Stanovení vzdáleností oblastí vnějších tlaků na stěny:

$$A = \frac{e}{5} = \frac{30}{5} = 6 \text{ m}$$

$$B = \frac{4}{5} \cdot e = \frac{4}{5} \cdot 30 = 25 \text{ m}$$

$$C = d - e = 84 - 30 = 54 \text{ m}$$

Oblast	A	B	C	D	E
$h/d = 0,357$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
1	-1,2	-1,4	-0,5	+0,8	-0,5
0,357	-1,2	-0,884	-0,5	+0,714	-0,328
$\leq 0,25$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,7	-0,3

Oblast A

$$We = -1,2 \cdot 0,357 = -0,43 \text{ kN/m}^2$$

Oblast B

$$We = -0,884 \cdot 0,357 = -0,32 \text{ kN/m}^2$$

Oblast C

$$We = -0,5 \cdot 0,357 = -0,18 \text{ kN/m}^2$$

Oblast D

$$We = +0,714 \cdot 0,357 = +0,26 \text{ kN/m}^2$$

Oblast E

$$We = -0,328 \cdot 0,357 = -0,12 \text{ kN/m}^2$$

Výpočet působení větru na střechu

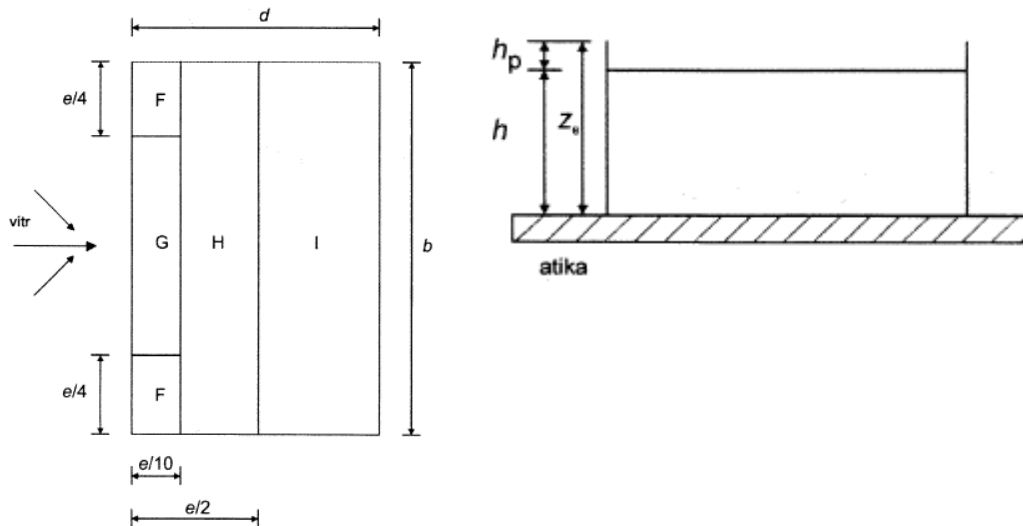
Sklon střechy je uvažován 8,75%, úhel sklonu 5°

Střecha je uvažována jako plochá

Rozměry haly = $30 \cdot 84 \cdot 15 \text{ m}$

$E = \min(b; 2h) = \min(84; 30) = 30 \text{ m}$

$D = 30 \text{ m}$



Stanovení vzdáleností oblastí vnějších tlaků na střechu:

$$F = \frac{e}{4} = \frac{30}{4} = 7,5 \text{ m} - \text{v podélném směru}$$

$$F = \frac{e}{10} = \frac{30}{10} = 3 \text{ m} - \text{v příčném směru}$$

$$G = \frac{e}{10} = \frac{30}{10} = 3 \text{ m} - \text{v příčném směru}$$

$$G = 84 - 2 \cdot F = 84 - 15 = 69 \text{ m} - \text{v podélném směru}$$

$$H = \frac{e}{2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ m}$$

Typ střechy	Oblasti			
	F	G	H	I
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
Bez atiky	-1,4	-0,9	-0,7	$\pm 0,2$

Tlak větru We působící na vnější povrchy konstrukce získáme z výrazu

$$We = qp(z) \cdot C_{pe,10}$$

Oblast F

$$We = -1,4 \cdot 0,5 = -0,7 \text{ kN/m}^2$$

Oblast G

$$We = -0,9 \cdot 0,5 = -0,45 \text{ kN/m}^2$$

Oblast H

$$We = -0,7 \cdot 0,5 = -0,35 \text{ kN/m}^2$$

Oblast I

$$We = +0,2 \cdot 0,5 = +0,1 \text{ kN/m}^2$$

4. MATERIÁL

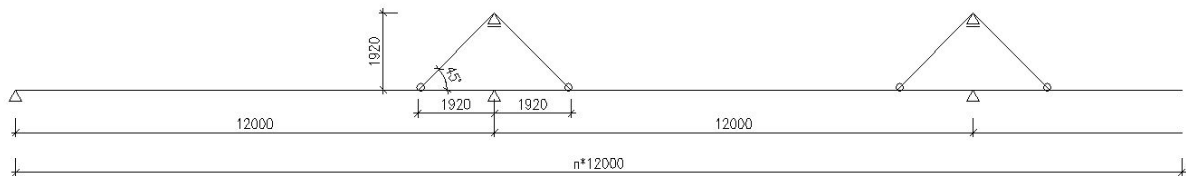
Ocel S355

Mez kluzu:	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Pevnost v tahu:	$f_u = 510 \text{ MPa}$
Modul pružnosti v tahu a tlaku:	$E = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81 \text{ GPa}$
Objemová hmotnost:	$\gamma_s = 78,5 \text{ kN/m}^3$
	$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,814$
součinitel spolehlivosti materiálu:	$\gamma_{M0} = 1,00$
	$\gamma_{M1} = 1,10$
	$\gamma_{M2} = 1,25$

5. VAZNICE

5.1. Výpočtový model

Vaznice zavěšená



Rozpětí vaznice	$l = 12,00 \text{ m}$
Zatěžovací šířka	$b = 3,00 \text{ m}$
Sklon	$\alpha = 5^\circ$

5.2. Zatížení

Zatěžovací šířka 3 m

Sníh	$0,8 \text{ kN/m}^2$	$\cdot 3 \text{ m} = 2,4 \text{ kN/m}$
Střešní plášť	$0,48 \text{ kN/m}^2$	$\cdot 3 \text{ m} = 1,44 \text{ kN/m}$

Účinky větru	-0,7 kN/ m ² (oblast F – sání)	·3 m = -2,1 kN/m
Břemeno	osamělé	= 1,0 kN/m
Vlastní tíha – odhad	0,1 kN/ m ²	·3 m = 0,3 kN/m

Celkem = 3,04 kN/m

5.3. Kombinace zatížení

Z programu Scia Engineer

Název	typ	Zatěžovací stav	Součinitel
CO1	Obálka-únosnost	ZS1-vlastní tíha	1,35
		ZS2-střešní plášť	1,35
		ZS3-vítr	0,9
		ZS4-sníh	1,5
		ZS5-břemeno	1,05
CO2	Obálka-únosnost	ZS1-vlastní tíha	0,9
		ZS2-střešní plášť	0,9
		ZS3-vítr	1,5

Nebezpečné kombinace

CO1: $ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS4 \cdot 1,5 + ZS5 \cdot 1,05$

1. Vnitřní síly na prutu - vnitřní pole

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS
Výběr : B2..B6
Kombinace : CO1

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B6	CO1/1	10,074	-36,32	25,33	-37,85
B6	CO1/1	1,920	15,19	23,24	-27,26
B6	CO1/1	10,074	15,19	-25,84	-37,85
B2	CO1/1	1,920	15,16	25,87	-37,95
B2	CO1/1	1,920	-36,31	-25,42	-37,95
B5	CO1/1	6,000	14,29	0,96	23,83

2. Vnitřní síly na prutu - krajní pole

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS
Výběr : B1,B10
Kombinace : CO1

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B10	CO1/1	0,000	-43,30	-4,96	0,00
B1	CO1/1	0,000	8,24	30,12	0,00
B1	CO1/1	10,080	8,24	-34,44	-20,76
B10	CO1/1	1,914	8,22	34,48	-21,03
B10	CO1/1	1,914	-43,30	-17,02	-21,03
B1	CO1/1	4,800	8,24	-0,12	71,99

3. Vnitřní síly na prutu - diagonály

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS
Výběr : B64,B63,B61,B62,B59,B60,B57,B58,B55,B56,B53,B54
Kombinace : CO1

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B61	CO1/2	0,000	23,02	0,14	0,00
B64	CO1/1	2,711	73,22	-0,25	-0,17
B63	CO1/1	2,720	72,99	-0,25	-0,17
B61	CO1/2	0,679	23,12	0,04	0,06

CO2: $ZS1 \cdot 0,9 + ZS2 \cdot 0,9 + ZS3 \cdot 1,5$

5.4. Vnitřní síly

4. Vnitřní síly na prutu - vnitřní pole

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS
Výběr : B2,B4,B3,B5,B6
Kombinace : CO2

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B6	CO2/3	10,074	-9,61	6,72	-10,10
B6	CO2/4	10,074	8,87	-6,14	8,82
B2	CO2/4	1,920	-3,93	-6,78	8,84
B6	CO2/4	10,074	-3,94	6,78	8,82
B2	CO2/3	1,920	-9,61	-6,74	-10,13
B2	CO2/4	1,920	8,87	6,16	8,84

5. Vnitřní síly na prutu - krajní pole

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS
Výběr : B1,B10
Kombinace : CO2

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
Studentická verze *Studentická verze* *Studentická verze* *Studentická verze* *Studentická verze*					
B10	CO2/4	0,000	-10,77	-9,60	0,00
B1	CO2/3	10,080	2,16	-9,49	-4,18
B10	CO2/3	1,914	2,16	9,50	-4,25
B1	CO2/4	4,200	-2,05	-0,36	-13,41
B1	CO2/3	4,800	2,16	0,02	20,82

6. Vnitřní síly na prutu - diagonály

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS
 Výběr : B63,B64,B61,B62,B59,B60,B57,B58,B55,B56,B53,B54
 Kombinace : CO2

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
Studentická verze *Studentická verze* *Studentická verze* *Studentická verze* *Studentická verze*					
B64	CO2/4	0,000	-18,25	0,10	0,00
B64	CO2/3	2,711	19,33	-0,16	-0,10
B63	CO2/3	2,720	19,27	-0,16	-0,10
B63	CO2/4	0,000	-18,19	0,10	0,00
B63	CO2/4	1,360	-18,07	-0,03	0,05

Tah ve vnitřním poli $N_{ed} = 15,19 \text{ kN}$

Tah v krajním poli $N_{ed} = 8,24 \text{ kN}$

$M_z = 0,719 \text{ kNm}$

Rozhoduje kombinace CO1

5.5. Posouzení vaznice – mezní stav únosnosti

5.5.1. Vnitřní pole

Navržený průřez IPE 220

$$b = 110 \text{ mm}$$

$$h = 220 \text{ mm}$$

$$t_f = 9 \text{ mm}$$

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

$$A = 3,34 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$d = 178 \text{ mm}$$

$$I_y = 27,72 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 2,05 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{el,y} = 25,2 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 28,54 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,z} = 3,72 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 5,81 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 91,1 \text{ mm}$$

$$i_z = 24,8 \text{ mm}$$

$$c_y = 55 \text{ mm}$$

$$c_z = 110 \text{ mm}$$

$$I_t = 90,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 22,67 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

Zatřídění průřezu

Stojina

$$\frac{d}{t_w} \leq 72\varepsilon \qquad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$
$$\frac{178}{9} \leq 72 \cdot 0,81$$

$$19,78 \leq 58,31 \dots 1. \text{ třída}$$

Pásnice

$$\frac{c}{t_f} \leq 9\varepsilon \qquad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$
$$\frac{55}{9} \leq 9 \cdot 0,81$$

$$6,11 \leq 7,29 \dots 1. \text{ třída}$$

5.5.1.1. Ohyb v ose y

Proti ztrátě stability je vaznice zajištěna táhly

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

kde $M_{Ed,y}$ návrhový ohybový moment

$M_{c,Rd,y}$ momentová únosnost prvku

$$M_{c,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} \qquad \text{průřez třídy 1}$$

kde $W_{pl,y}$ plastický průřezový modul

f_y mez kluzu

γ_{M0} dílčí součinitel spolehlivost materiálu

$$M_{c,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{28,54 \cdot 10^4 \cdot 355}{1,00} = \mathbf{101,32 \text{ kNm}}$$

5.5.1.2. Ohyb v ose z

Proti ztrátě stability je vaznice zajištěna táhly po 3 m kolmo k ose z.

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

kde $M_{Ed,z}$ návrhový ohybový moment v ose z

$M_{c,Rd,z}$ momentová únosnost prvku v ose z

$$M_{c,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{průřez třídy 1}$$

kde $W_{pl,z}$ plastický průřezový modul

f_y mez kluzu

γ_{M0} dílčí součinitel spolehlivost materiálu

$$M_{c,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{58,1 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,00} = \quad \mathbf{20,63 \text{ kNm}}$$

5.5.1.3. Ohyb ve dvou rovinách bez vlivu klopení

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

$$\frac{23,83}{101,32} + \frac{0,72}{20,63} \leq 1,0$$

$$0,27 \leq 1,0, \text{ průřez IPE 220}$$

VYHOVUJE

5.5.1.4. Kombinace ohybu a osového tlaku

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

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

kde N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ a $M_{z,Ed}$ jsou návrhové hodnoty tlakové síly a největších momentů k ose y-y a z-z působící na prutu

χ_y a χ_z součinitel vzpěrnosti

χ_{LT} součinitel klopení

γ_{M1} dílčí součinitel spolehlivosti

k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} součinitel interakce

$$N_{Rk} = A \cdot f_y$$

kde A plocha průřezu

f_y mez kluzu

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3340 \cdot 355 = \mathbf{1185,7 \text{ kN}}$$

$$M_{y, Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y$$

kde $W_{pl,y}$ průřezový modul k ose y

f_y mez kluzu

$$M_{y, Rk} = 25,54 \cdot 10^4 \cdot 355 = \mathbf{101,32 \text{ kNm}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}}$$

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

kde α součinitel imperfekce

$\bar{\lambda}_y$ poměrná štíhlost

Válcovaný průřez $h/b \geq 1,2$ – křivka vzpěrné pevnosti:

y-y a $\alpha = \mathbf{0,21}$

z-z b $\alpha = \mathbf{0,34}$

$$\lambda_y = \frac{L_{y,cr}}{i_y}$$

kde $L_{y,cr}$ vzpěrná délka prutu

i_y poloměr setrvačnosti

$$\lambda_y = \frac{12000}{91,1} = \mathbf{131,7}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1}$$

$$\lambda_l = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = \mathbf{76,40}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{131,7}{76,40} = \mathbf{1,757}$$

$$\phi_y = 0,5[1 + 0,21(1,757 - 0,2) + 1,757^2] = \mathbf{2,207}$$

$$\chi_y = \frac{1}{2,207 + \sqrt{2,207^2 - 1,757^2}} = \mathbf{0,282}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}}$$

$$\phi_z = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2]$$

kde α součinitel imperfekce

$\bar{\lambda}_z$ poměrná štíhlost

Válcovaný průřez $h/b \geq 1,2$ – křivka vzpěrné pevnosti:

$$y-y \quad a \quad \alpha = \mathbf{0,21}$$

$$z-z \quad b \quad \alpha = \mathbf{0,34}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{z,cr}}{i_z}$$

kde $L_{z,cr}$ vzpěrná délka prutu

i_z poloměr setrvačnosti

$$\lambda_z = \frac{3000}{28,4} = \mathbf{105,64}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

$$\lambda_l = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = \mathbf{76,40}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{105,64}{76,40} = \mathbf{1,383}$$

$$\phi_z = 0,5[1 + 0,34(1,383 - 0,2) + 1,383^2] = \mathbf{1,657}$$

$$\chi_z = \frac{1}{1,657 + \sqrt{1,657^2 - 1,383^2}} = \mathbf{0,389}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

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

kde α_{LT} součinitel imperfekce

$\alpha_{LT} = 0,21$... vzpěrná křivka a

kde $\bar{\lambda}_{LT}$ poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}}$$

Výpočet kritického momentu

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L}$$

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

$$I_z = 2,05 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

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

$$I_t = 90,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$L = 3000 \text{ mm}$$

$$I_w = 22,67 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

Bezrozměrný kritický moment

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

kde bezrozměrný parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$$

bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$$

Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu

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

C_1, C_2, C_3 součinitele vystihující tvar momentového obrazce

L délka nosníku mezi body zajištěnými proti posunu kolmo z roviny

$$k_z = 1,00$$

$$k_w = 1,00$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 3000} \sqrt{\frac{210 \cdot 22,67 \cdot 10^9}{81 \cdot 90,7 \cdot 10^3}} = 0,84$$

Vzdálenost působíště zatížení od těžiště

$$z_a = 110 \text{ mm}$$

Vzdálenost středu smyku od těžiště

$$z_s = 0,00 \text{ mm}$$

$$z_g = z_a - z_s = 110 \text{ mm}$$

Parametr působíště zatížení

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 0,11}{1 \cdot 3000} \sqrt{\frac{210 \cdot 2,05 \cdot 10^6}{81 \cdot 90,7 \cdot 10^3}} = 0,88$$

Paramert nesymetrie průřezu

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

Průřez je symetrický

$$z_j = 0,00 \Rightarrow \zeta_j = 0,00$$

$$C_1 = 1,85$$

$$C_3 = 1,00$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\begin{aligned}\mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right] \\ &= \frac{1,85}{1,00} \left[\sqrt{1 + 0,84^2 + (-0,41 \cdot 0)^2} - (-0,41 \cdot 0) \right] = 2,42\end{aligned}$$

Kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 2,42 \cdot \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 2,05 \cdot 10^{-6} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 90,7 \cdot 10^{-9}}}{3,00} = 142,52 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,854 \cdot 10^5 \cdot 355}{64,29 \cdot 10^6}} = \mathbf{1,26}$$

$$\begin{aligned}\phi_{LT} &= 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = \\ &= 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,26 - 0,2) + 1,26^2] = \mathbf{1,41}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\chi_{LT} &= \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \\ &= \frac{1}{1,41 + \sqrt{1,41^2 - 1,26^2}} = \mathbf{0,489}\end{aligned}$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,6$$

$$\begin{aligned}k_{yy} &= C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} \right) = \\ &= 0,6 \cdot \left(1 + (1,757 - 0,2) \cdot \frac{36320}{\frac{0,282 \cdot 3340 \cdot 355}{1,10}} \right) = \mathbf{0,71}\end{aligned}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,71 = \mathbf{0,43}$$

$$C_{mz} = C_{mLT} = 0,6$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} \right) =$$

$$= 0,6 \cdot \left(1 + (2 \cdot 1,383 - 0,6) \cdot \frac{36320}{\frac{0,282 \cdot 3340 \cdot 355}{1,10}} \right) = \quad \quad \quad \mathbf{0,76}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,76 \quad \quad \quad = \mathbf{0,46}$$

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

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

$$\frac{36,32}{0,282 \cdot 1185,7} + 0,71 \cdot \frac{37,95}{0,489 \cdot 101,82} + 0,46 \cdot \frac{0,72}{20,63} \leq 1,0$$

$$\frac{36,32}{1,1} + 0,71 \cdot \frac{37,95}{1,1} + 0,46 \cdot \frac{0,72}{1,1} \leq 1,0$$

$$0,73 \leq 1,0$$

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

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

$$\frac{36,32}{0,389 \cdot 1185,7} + 0,43 \cdot \frac{37,95}{0,489 \cdot 101,82} + 0,76 \cdot \frac{0,72}{20,63} \leq 1,0$$

$$\frac{36,32}{1,1} + 0,43 \cdot \frac{37,95}{1,1} + 0,76 \cdot \frac{0,72}{1,1} \leq 1,0$$

$$0,48 \leq 1,0$$

Navržený průřez IPE 220

VYHOVUJE

5.5.2. *Krajní pole*

Navržený průřez IPE 360

b =	170	mm	h =	360	mm
t _f =	12,7	mm	t _w =	8,0	mm
A =	7,273 · 10 ³	mm ²	d =	298,6	mm
I _y =	162,7 · 10 ⁶	mm ⁴	I _z =	10,43 · 10 ⁶	mm ⁴
W _{el,y} =	90,4 · 10 ⁴	mm ³	W _{pl,y} =	101,9 · 10 ⁴	mm ³
W _{el,z} =	12,2 · 10 ⁴	mm ³	W _{pl,z} =	19,1 · 10 ⁴	mm ³
i _y =	149,6	mm	i _z =	37,9	mm
c _y =	85	mm	c _z =	180	mm
I _t =	373,2 · 10 ³	mm ⁴	I _w =	313,6 · 10 ⁹	mm ⁶

Zatřídění průřezu

Stojina

$$\frac{d}{t_w} \leq 72\varepsilon \qquad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{298,6}{8} \leq 72 \cdot 0,81$$

37,3 ≤ 58,31 . . . 1. třída

Pásnice

$$\frac{c}{t_f} \leq 9\varepsilon \qquad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{85}{12,7} \leq 9 \cdot 0,81$$

6,7 ≤ 7,29 . . . 1. třída

5.5.2.1. Ohyb v ose y

Proti ztrátě stability je vaznice zajištěna táhly

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

kde $M_{Ed,y}$ návrhový ohybový moment

$M_{c,Rd,y}$ momentová únosnost prvku

$$M_{c,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} \qquad \text{průřez třídy 1}$$

kde $W_{pl,y}$ plastický průřezový modul

f_y mez kluzu

γ_{M0} dílčí součinitel spolehlivost materiálu

$$M_{c,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{101,9 \cdot 10^4 \cdot 355}{1,00} = \mathbf{361,32 \text{ kNm}}$$

5.5.2.2. Ohyb v ose z

Proti ztrátě stability je vaznice zajištěna táhly

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

kde $M_{Ed,z}$ návrhový ohybový moment v ose z

$M_{c,Rd,z}$ momentová únosnost prvku v ose z

$$M_{c,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{průřez třídy 1}$$

kde $W_{pl,z}$ plastický průřezový modul

f_y mez kluzu

γ_{M0} dílčí součinitel spolehlivost materiálu

$$M_{c,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{191 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,00} = \quad \mathbf{67,81 \text{ kNm}}$$

5.5.2.3. Ohyb ve dvou rovinách

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

$$\frac{71,99}{361,32} + \frac{0,72}{67,81} \leq 1,0$$

$$0,21 \leq 1,0 \quad \text{průřez IPE 360}$$

VYHOVUJE

5.5.2.4. Ohyb a osový tlak

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

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

kde $N_{Ed}, M_{y,Ed}$ a $M_{z,Ed}$ jsou návrhové hodnoty tlakové síly a největších momentů k ose y-y a z-z působící na prutu

χ_y a χ_z součinitel vzpěrnosti

χ_{LT} součinitel klopení

γ_{M1} dílčí součinitel spolehlivosti

$k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$ součinitel interakce

$$N_{Rk} = A \cdot f_y$$

kde A plocha průřezu

f_y mez kluzu

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 7273 \cdot 355 = \quad \mathbf{2581,92 \text{ kN}}$$

$$M_{y, Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y$$

kde $W_{pl,y}$ průřezový modul k ose y

f_y mez kluzu

$$M_{y, Rk} = 101,9 \cdot 10^4 \cdot 355 = \quad \mathbf{361,75 \text{ kNm}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}}$$

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

kde α součinitel imperfekce

$\bar{\lambda}_y$ poměrná štíhlost

Válcovaný průřez $h/b \geq 1,2$ – křivka vzpěrné pevnosti:

y-y a $\alpha = \quad \mathbf{0,21}$

z-z b $\alpha = \quad \mathbf{0,34}$

$$\lambda_y = \frac{L_{y,cr}}{i_y}$$

kde $L_{y,cr}$ vzpěrná délka prutu

i_y poloměr setrvačnosti

$$\lambda_y = \frac{12000}{149,6} = \mathbf{80,2}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = \mathbf{76,40}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{80,2}{76,40} = \mathbf{1,050}$$

$$\phi_y = 0,5[1 + 0,21(1,050 - 0,2) + 1,050^2] = \mathbf{1,141}$$

$$\chi_y = \frac{1}{1,141 + \sqrt{1,141^2 - 1,05^2}} = \mathbf{0,630}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}}$$

$$\phi_z = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2]$$

kde α součinitel imperfekce

$\bar{\lambda}_z$ poměrná štíhlost

Válcovaný průřez $h/b \leq 1,2$ – křivka vzpěrné pevnosti:

$$y-y \quad a \quad \alpha = \mathbf{0,21}$$

$$z-z \quad b \quad \alpha = \mathbf{0,34}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{z,cr}}{i_z}$$

kde $L_{z,cr}$ vzpěrná délka prutu

i_z poloměr setrvačnosti

$$\lambda_z = \frac{3000}{37,9} = \mathbf{79,16}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

$$\lambda_I = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = \quad \mathbf{76,40}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{79,16}{76,40} = \quad \mathbf{1,036}$$

$$\phi_z = 0,5[1 + 0,34(1,036 - 0,2) + 1,036^2] = \quad \mathbf{1,179}$$

$$\chi_z = \frac{1}{1,179 + \sqrt{1,179^2 - 1,036^2}} = \quad \mathbf{0,574}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

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

kde α_{LT} součinitel imperfekce

$$\alpha_{LT} = 0,21 \rightarrow \text{vzpěrná křivka } a$$

kde $\bar{\lambda}_{LT}$ poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}}$$

Výpočet kritického momentu

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L}$$

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

$$I_z = 10,43 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

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

$$I_t = 373,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$L = 3000 \text{ mm}$$

$$I_w = 313,6 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

Bezrozměrný kritický moment

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

kde bezrozměrný parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$$

bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$$

Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu

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

C_1, C_2, C_3 součinitele vystihující tvar momentového obrazce

L délka nosníku mezi body zajištěnými proti posunu kolmo z roviny

$$k_z = 1,00$$

$$k_w = 1,00$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 3000} \sqrt{\frac{210 \cdot 313,6 \cdot 10^9}{81 \cdot 373,2 \cdot 10^3}} = 1,54$$

Vzdálenost působíště zatížení od těžiště

$$z_a = 180 \text{ mm}$$

Vzdálenost středu smyku od těžiště

$$z_s = 0,00 \text{ mm}$$

$$z_g = z_a - z_s = 180 \text{ mm}$$

Parametr působíště zatížení

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 0,18}{1 \cdot 3000} \sqrt{\frac{210 \cdot 10,43 \cdot 10^6}{81 \cdot 373,2 \cdot 10^3}} = 1,61$$

Paramert nesymetrie průřezu

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

Průřez je symetrický

$$z_j = 0,00 \Rightarrow \zeta_j = 0,00$$

$$C_1 = 1,85$$

$$C_3 = 1,00$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right] \\ &= \frac{1,85}{1,00} \left[\sqrt{1 + 1,54^2 + (-1,00 \cdot 0)^2} - (-1,00 \cdot 0) \right] = 3,40 \end{aligned}$$

Kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 3,40 \cdot \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 10,43 \cdot 10^{-6} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 373,2 \cdot 10^{-9}}}{3,00} = 916,16 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{10,19 \cdot 10^5 \cdot 355}{916,16 \cdot 10^6}} = \mathbf{0,955}$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = \\ &= 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,955 - 0,2) + 0,955^2] = \mathbf{1,035} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \chi_{LT} &= \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \\ &= \frac{1}{1,035 + \sqrt{1,035^2 - 0,955^2}} = \mathbf{0,697} \end{aligned}$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,6$$

$$\begin{aligned} k_{yy} &= C_{my} \cdot \left(1 + (1,05 - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} \right) = \\ &= 0,6 \cdot \left(1 + 0,85 \cdot \frac{43300}{\frac{0,63 \cdot 7273 \cdot 355}{1,10}} \right) = \mathbf{0,62} \end{aligned}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,62 = \mathbf{0,37}$$

$$C_{mz} = C_{mLT} = 0,6$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} \right) =$$

$$= 0,6 \cdot \left(1 + (2 \cdot 1,036 - 0,6) \cdot \frac{43300}{\frac{0,574 \cdot 7278 \cdot 355}{1,10}} \right) = \quad \quad \quad \mathbf{0,63}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,63 = \quad \quad \quad \mathbf{0,38}$$

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

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

$$\frac{43,3}{0,63 \cdot 2581,92} + 0,62 \cdot \frac{71,99}{0,697 \cdot 361,75} + 0,38 \cdot \frac{0,72}{67,81} \leq 1,0$$

$$\frac{43,3}{1,1} + 0,62 \cdot \frac{71,99}{1,1} + 0,38 \cdot \frac{0,72}{1,1} \leq 1,0$$

$$0,23 \leq 1,0$$

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

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

$$\frac{43,3}{0,574 \cdot 2581,92} + 0,37 \cdot \frac{71,99}{0,697 \cdot 361,75} + 0,63 \cdot \frac{0,72}{67,81} \leq 1,0$$

$$\frac{43,3}{1,1} + 0,37 \cdot \frac{71,99}{1,1} + 0,63 \cdot \frac{0,72}{1,1} \leq 1,0$$

$$0,16 \leq 1,0$$

Navržený průřez IPE 360

VYHOVUJE

5.5.3. Závěsy

Navržený průřez 2LT 65x65x6

$$A = 1,5 \cdot 10^3 \quad \text{mm}^2$$

5.5.3.1. Posouzení na tah

Tah

$$N_{ed} = 73,22 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{m1} = 484,1 \text{ kN}$$

$$N_{ed} / N_{t,Rd} = 73,22 / 484,1 = \mathbf{0,15} \leq \mathbf{1,00}$$

VYHOVUJE

5.5.3.2. Vzpěrná únosnost

Tlak

$$N_{ed} = 18,25 \text{ kN}$$

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

kde N_{Ed} návrhová normálová síla

$N_{b,Rd}$ návrhová vzpěrná únosnost tlačného prutu

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

kde χ součinitel vzpěrnosti

A plocha průřezu

f_y mez kluzu

γ_{M1} dílčí součinitel spolehlivosti

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

kde α součinitel imperfekce

$\bar{\lambda}$ poměrná štíhlost

Dvojice rovnoramenných úhelníků – křivka vzpěrné pevnosti **a**;

$$\alpha = \mathbf{0,34}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$$

kde L_{cr} vzpěrná délka prutu

i poloměr setrvačnosti

$$\lambda = \frac{1920}{19,7} = \mathbf{97,46}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = \mathbf{76,40}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{97,46}{76,40} = 1,276$$

$$\phi = 0,5[1 + 0,34(1,276 - 0,2) + 1,276^2] = 1,497$$

$$\chi = \frac{1}{1,497 + \sqrt{1,497^2 - 1,276^2}} = 0,439$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,439 \cdot 1500 \cdot 355}{1,10} = 215,52 \text{ kN}$$

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

$$\frac{18,25}{215,52} \leq 1,0$$

0,085 ≤ 1,00, navržený průřez 2LT 65x65x6

VYHOVUJE

5.6. Posouzení vaznice – mezní stav použitelnosti

Skutečný průhyb vaznice je 26,6 mm. Vypočteno pomocí modelu zavěšené vaznice v programu Scia Engineer 2009.

$$\delta_{max} = l/250 = 12000/200 = 60,00 \text{ mm}$$

$$\delta_z \leq \delta_{max}; \mathbf{26,6 \text{ mm} \leq 60,00 \text{ mm}} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

6. NÁVRH A POSOUZENÍ TÁHLA MEZI VAZNICEMI

6.1. Zatížení táhla

S ohledem na zabránění klopení navrhuji táhlo konstrukčně jako kruhovou tyč o průměru 12 mm.

Průřezové charakteristiky:

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

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_s \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

kde $N_{pl,Rd}$ normálová únosnost taženého prvku

A_s plocha účinného průřezu

f_y mez kluzu

γ_{M0} dílčí součinitel spolehlivosti

$$N_{pl,Rd} = \frac{113 \cdot 355}{1,0} = \quad \quad \quad \mathbf{40,1 \text{ kN}}$$

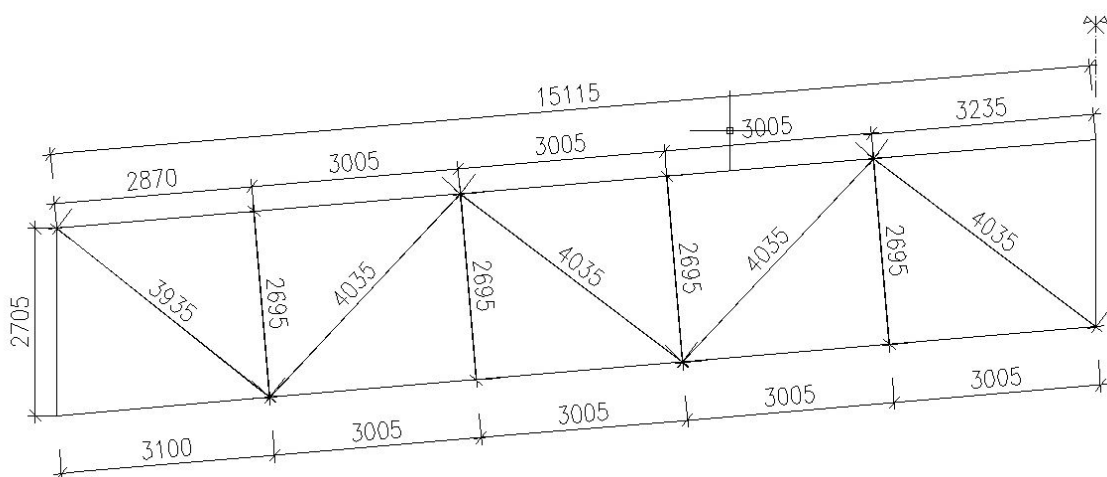
$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{3,17}{40,1} \leq 1,0$$

$0,08 \leq 1,0$, ocelová tyč o průměru 12 mm **VYHOVUJE**

7. VAZNÍK

7.1. Výpočtový model



7.2. Zatížení

Zatížení od vaznic jako bodové zatížení ve styčnicích

Akce od zatížené vaznice

$R_{\max} =$

33,36 kN

7.3. Vnitřní síly

Z programu Scia Engineer

1. Vnitřní síly na prutu - horní pás

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS
Výběr : B12,B14,B16,B15,B13,B37,B35,B36,B34,B33
Kombinace : CO1

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B13	CO1/1	0,000	-509,28	0,77	0,90
B14	CO1/1	3,005	-183,36	-1,18	-0,12
B12	CO1/1	0,000	-184,15	2,31	-2,14
B12	CO1/1	2,870	-184,10	1,14	2,81

2. Vnitřní síly na prutu - dolní pás

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS
Výběr : B27,B24,B23,B26,B25,B39,B40,B38,B41,B42
Kombinace : CO1

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B23	CO1/1	2,992	1,31	-1,39	-1,61
B25	CO1/1	3,005	488,06	-0,50	1,46
B24	CO1/1	0,000	323,98	1,41	-0,44
B24	CO1/1	3,005	324,03	0,19	1,95

3. Vnitřní síly na prutu - diagonála tažená

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS
Výběr : B51,B49,B47,B56,B53,B55
Kombinace : CO1

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B47	CO1/1	0,000	27,22	0,29	0,12
B51	CO1/1	3,949	241,36	-0,26	0,07
B47	CO1/1	4,049	27,72	-0,31	0,08
B51	CO1/1	0,000	240,86	0,32	-0,05
B47	CO1/1	2,024	27,47	-0,01	0,40

4. Vnitřní síly na prutu - diagonála tlačená

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS
Výběr : B50,B48,B52,B54
Kombinace : CO1

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B50	CO1/1	4,028	-195,78	-0,39	0,49
B48	CO1/1	0,000	-82,51	0,32	0,04
B50	CO1/1	0,000	-194,64	0,78	-0,30
B50	CO1/1	2,685	-195,40	0,00	0,75

5. Vnitřní síly na prutu - svislice

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS
Výběr : B28..B31,B8,B46,B45,B44,B43
Kombinace : CO1

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B30	CO1/1	2,698	-33,84	-0,74	-0,96
B8	CO1/1	2,700	6,35	0,00	0,00
B28	CO1/1	2,698	-32,75	-0,84	-1,00
B8	CO1/1	0,000	5,83	0,00	0,00
B28	CO1/1	0,000	-32,23	-0,81	1,22

7.4. Horní pás

1. Vnitřní síly na prutu - horní pás

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS
Výběr : B12,B14,B16,B15,B13,B37,B35,B36,B34,B33
Kombinace : CO1

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B13	CO1/1	0,000	-509,28	0,77	0,90
B14	CO1/1	3,005	-183,36	-1,18	-0,12
B12	CO1/1	0,000	-184,15	2,31	-2,14
B12	CO1/1	2,870	-184,10	1,14	2,81

Zatížení horního pásu

tlak

Ned =

509,28 kN

Navržena trubka bezešvá, 133x8

Průřezové charakteristiky:

$$D = 133 \text{ mm} \quad t = 8 \text{ mm}$$

$$A = 3140 \text{ mm}^2$$

$$I = 6,16 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i = 44,29 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3235 \text{ mm}$$

Zatřídění průřezu

$$\frac{D}{t} \leq 50\varepsilon^2 \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{133}{8} \leq 50 \cdot 0,81^2$$

$$16,6 \leq 32,81 \dots 1. \text{ třída}$$

7.4.1. Posouzení tlačného prutu

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

kde N_{Ed} návrhová normálová síla

$N_{b,Rd}$ návrhová vzpěrná únosnost tlačeneho prutu

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

- kde χ součinitel vzpěrnosti
 A plocha průřezu
 f_y mez kluzu
 γ_{M1} dílčí součinitel spolehlivosti

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

- kde α součinitel imperfekce
 $\bar{\lambda}$ poměrná štíhlost

Trubka válcovaná za tepla – křivka vzpěrné pevnosti **a**;

$$\alpha = \mathbf{0,21}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i}$$

- kde $L_{cr,y}$ vzpěrná délka prutu k ose y

i poloměr setrvačnosti

$$\lambda = \frac{3235}{44,29} = \mathbf{73,04}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = \mathbf{76,40}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{73,04}{76,40} = \mathbf{0,956}$$

$$\phi = 0,5[1 + 0,21(0,956 - 0,2) + 0,956^2] = \mathbf{1,036}$$

$$\chi = \frac{1}{1,036 + \sqrt{1,036^2 - 0,956^2}} = \mathbf{0,697}$$

$N_{t,Rd}$ návrhová únosnost průřezu v tahu

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

kde $N_{pl,Rd}$ normálová únosnost taženého prvku

A plocha účinného průřezu

f_y mez kluzu

γ_{M0} dílčí součinitel spolehlivosti

$$N_{pl,Rd} = \frac{2362 \cdot 355}{1,0} = \mathbf{838,51 \text{ kN}}$$

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

$$\frac{488,06}{838,51} \leq 1,0$$

0,58 ≤ 1,00, navržená trubka 102x8,0 **VYHOVUJE**

7.6. Posouzení krajní diagonály tažené

3. Vnitřní síly na prutu - diagonála tažená

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS
Výběr : B51,B49,B47,B56,B53,B55
Kombinace : CO1

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B47	CO1/1	0,000	27,22	0,29	0,12
B51	CO1/1	3,949	241,36	-0,26	0,07
B47	CO1/1	4,049	27,72	-0,31	0,08
B51	CO1/1	0,000	240,86	0,32	-0,05
B47	CO1/1	2,024	27,47	-0,01	0,40

Navržená trubka bezešvá, 102x4,0

Průřezové charakteristiky:

D = 102 mm t = 4 mm

A = 1232 mm²

Zatížení diagonály D1

tah

$N_{Ed} =$

241,36 kN

7.6.1. Posouzení na tah

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

kde N_{Ed} návrhová normálová síla

$N_{t,Rd}$ návrhová únosnost průřezu v tahu

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

kde $N_{pl,Rd}$ normálová únosnost taženého prvku

A plocha účinného průřezu

f_y mez kluzu

γ_{M0} dílčí součinitel spolehlivosti

$$N_{pl,Rd} = \frac{1232 \cdot 355}{1,0} = \mathbf{437,36 \text{ kN}}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq \frac{241,36}{437,36} \leq 1,0$$

0,55 ≤ 1,00, navržená trubka 102x4,0

VYHOVUJE

7.7. Posouzení krajní diagonály tlačené

4. Vnitřní síly na prutu - diagonála tlačená

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS

Výběr : B50,B48,B52,B54

Kombinace : CO1

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B50	CO1/1	4,028	-195,78	-0,39	0,49
B48	CO1/1	0,000	-82,51	0,32	0,04
B50	CO1/1	0,000	-194,64	0,78	-0,30
B50	CO1/1	2,685	-195,40	0,00	0,75

Navržený profil: trubka 102x8,0

Průřezové charakteristiky:

$$D = 102 \text{ mm} \quad t = 8 \text{ mm}$$

$$A = 2362 \text{ mm}^2$$

$$I = 2,63 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i = 33,37 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 4028 \text{ mm}$$

Zatížení diagonály D2

Tlak

$$N_{Ed} = \mathbf{195,78 \text{ kN}}$$

7.7.1. Vzpěrná únosnost

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

kde N_{Ed} návrhová normálová síla

$N_{b,Rd}$ návrhová vzpěrná únosnost tlačенého prutu

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

kde χ součinitel vzpěrnosti

A plocha průřezu

f_y mez kluzu

γ_{M1} dílčí součinitel spolehlivosti

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

kde α součinitel imperfekce

$\bar{\lambda}$ poměrná štíhlost

Trubka válcovaná za tepla – křivka vzpěrné pevnosti a;

$$\alpha = 0,21$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i}$$

kde $L_{cr,y}$ vzpěrná délka prutu k ose y

i poloměr setrvačnosti

$$\lambda = \frac{4028}{33,37} = 120,7$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$$

$$\bar{\lambda} = \frac{120,7}{76,40} = 1,580$$

$$\phi = 0,5[1 + 0,21(1,580 - 0,2) + 1,580^2] = 1,893$$

$$\chi = \frac{1}{1,893 + \sqrt{1,893^2 - 1,580^2}} = 0,34$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,34 \cdot 2362 \cdot 355}{1,10} = 259,18 \text{ kN}$$

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

$$\frac{195,78}{259,18} \leq 1,0$$

0,76 ≤ 1,00, navržená trubka 102x8,0 **VYHOVUJE**

7.8. Posouzení svsllice

5. Vnitřní síly na prutu - svsllice

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS

Výběr : B28..B31,B8,B46,B45,B44,B43

Kombinace : CO1

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B30	CO1/1	2,698	-33,84	-0,74	-0,96
B8	CO1/1	2,700	6,35	0,00	0,00
B28	CO1/1	2,698	-32,75	-0,84	-1,00
B8	CO1/1	0,000	5,83	0,00	0,00
B28	CO1/1	0,000	-32,23	-0,81	1,22

Navržena trubka bezešvá, 63,5x4

Průřezové charakteristiky:

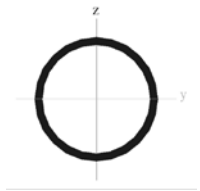
$$D = 63,5 \text{ mm} \quad t = 4 \text{ mm}$$

$$A = 748 \text{ mm}^2$$

$$I = 3,32 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$i = 21,07 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,y} = 2700 \text{ mm}$$



Zatřídění průřezu

$$\frac{D}{t} \leq 50 \varepsilon^2 \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{63,5}{4} \leq 50 \cdot 0,81^2$$

$$15,88 \leq 32,81 \dots 1. \text{třída}$$

Zatížení svsllic

tlak

$$\max. N_{Ed} = 33,78 \text{ kN}$$

7.8.1. Vzpěrná únosnost

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

kde N_{Ed} návrhová normálová síla
 $N_{b,Rd}$ návrhová vzpěrná únosnost tlačенého prutu

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

kde χ součinitel vzpěrnosti
 A plocha průřezu
 f_y mez kluzu
 γ_{M1} dílčí součinitel spolehlivosti

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

kde α součinitel imperfekce
 $\bar{\lambda}$ poměrná štíhlost

Trubka válcovaná za tepla – křivka vzpěrné pevnosti **a**;

$$\alpha = \mathbf{0,21}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i}$$

kde $L_{cr,y}$ vzpěrná délka prutu
 i poloměr setrvačnosti

$$\lambda = \frac{2700}{21,07} = \mathbf{128,14}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = \mathbf{76,40}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{128,14}{76,40} = \mathbf{1,677}$$

$$\phi = 0,5[1 + 0,21(1,677 - 0,2) + 1,677^2] = \mathbf{2,061}$$

$$\chi = \frac{1}{2,061 + \sqrt{2,061^2 - 1,677^2}} = \quad \mathbf{0,306}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,306 \cdot 748 \cdot 355}{1,10} = \quad \mathbf{73,87 \text{ kN}}$$

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

$$\frac{33,78}{73,87} \leq 1,0$$

$$\mathbf{0,45 \leq 1,00}$$
, navržená trubka 63,5x4

VYHOVUJE

7.9. Mezní stav použitelnosti

Skutečný průhyb vazníku je 39 mm. Vypočteno pomocí modelu vazníku v programu Scia Engineer 2009.

$$\delta_{max} = l/250 = 30000/250 = \quad 120,00 \text{ mm}$$

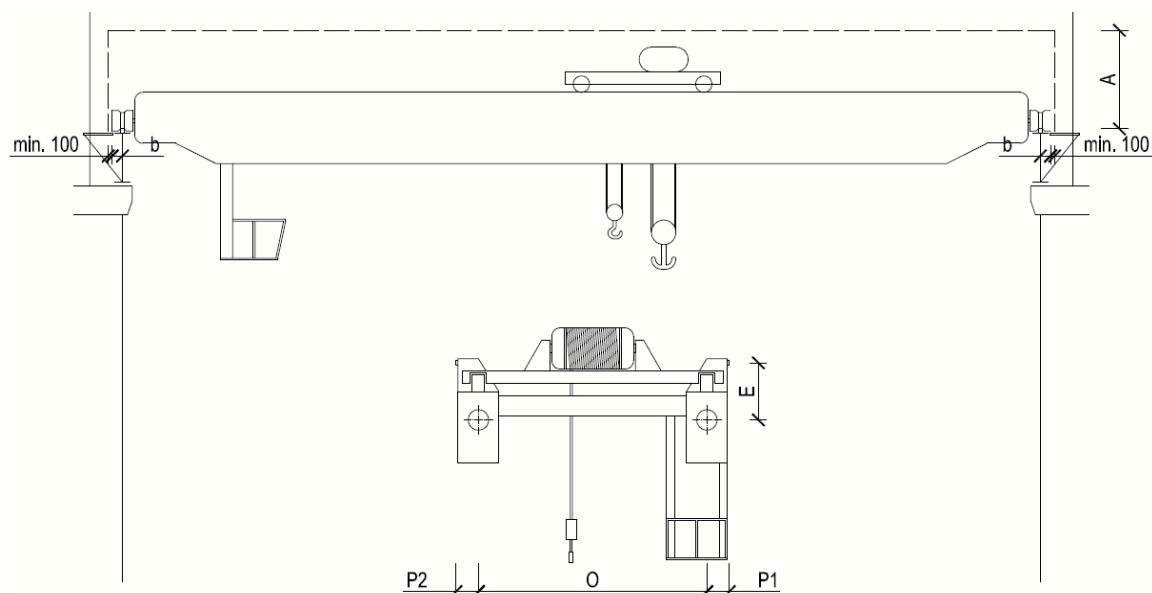
$$\delta_z \leq \delta_{max}; \quad \mathbf{39 \text{ mm} \leq 120,00 \text{ mm}} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

8. JEŘÁBOVÁ DRÁHA

8.1. Geometrie

V hale jsou dva elektrické jeřáby. Jeden o nosnosti 50/12,5 t a druhý o nosnosti 32/8 t.

Jeřábová dráha je navržena jako plnostěnný nosník výšky 1300 mm. Rozpětí jednoho pole je 12 m. Nosníky jeřábové dráhy jsou uloženy jako prosté nosníky. Kolejnice pro pojezd jeřábů je umístěna na nosníku a má rozměry 100 x 100 mm. Nosník jeřábové dráhy je podepřen vodorovným příhradovým nosníkem, který zachycuje příčné síly působící na nosník.



8.2. Základní parametry jeřábů

		Jeřáb 32/8 t	Jeřáb 50/12,5 t
Zdvihová třída / kategorie únavových účinků		HC2/S5	HC2/S5
Rozpětí jeřábu	s	28,5 m	28,5 m
Vzdálenost obrysu jeřábu od osy kolejnice	a	Uvažovat pro jeřáb 50/12,5 t	300 mm
Minimální světlá výška mezi horní hranou kolejnice a dolním obrysem střešní konstrukce	z	Uvažovat pro jeřáb 50/12,5 t	2700 mm
Výška nárazníku	e	Uvažovat pro jeřáb 50/12,5 t	1070 mm
Rozvor kol	b	4500 mm	5600 mm
Minimální vzdálenost dvou sousedních kol sjetých jeřábů		$p_2 + p_1 = 780 + 750 = 1530$ mm	

Vodorovný dojezd háku	c	2050 mm	2250 mm
Šířka hlavy kolejnice	b _r	Uvažovat pro jeřáb 50/12,5 t	100 mm
Tíha břemene	Q _n	320 kN	500 kN
Tíha kočky	Q _t	84 kN	113 kN
Tíha jeřábu s kočkou	Q _c	349 kN	476 kN
Rychlost zdvihu kladkostroje	V _h	0,133 m s ⁻¹	0,083 m s ⁻¹
Rychlost pojezdu jeřábu	V _c	1,333 m s ⁻¹	1,333 m s ⁻¹
Konstanta tuhosti nárazníku	SB	435 kN m ⁻¹	1349 kN m ⁻¹

Některé konstrukční parametry jeřábu, potřebné pro výpočet

Konstrukční parametr	Uvažuje se v řešeném příkladě
Počet dvojic kol	n = 2
Pohon hnacích kol	Separátní
Počet pohonů jednotlivých kol	m _w = 2
Kombinace dvojic kol	Nezávislá kola
Uložení kol vzhledem k bočním pohybům	Pevné / pevné
Vedení jeřábu na jeřábové dráze	Oboustranné nákolky

8.3. Konstrukční řešení jeřábové dráhy

Nosník kolejnicové dráhy se skládá z hlavního nosníku, vodorovného výztužného nosníku a šikmého výztužného nosníku. Ze statického hlediska se jedná o prostý nosník s podporami v místech hlavních sloupů budovy.

Hlavní nosník se navrhuje jako svařovaný jednoose symetrický průřez I. Vodorovný výztužný nosník je příhradový – jedním pásem je horní pás hlavního nosníku a druhý pás je dvojice úhelníků.

8.4. Zatížení jeřábové dráhy

8.4.1. Stálé zatížení

- Kolejnice jeřábové dráhy 100 x 100 mm
0,8 kN m⁻¹
- Vlastní tíha nosníku jeřábové dráhy (odhad)
4,0 kN m⁻¹
- Vlastní tíha vodorovného nosníku jeřábové dráhy a lávky (odhad)
1,5 kN m⁻¹

Stálé zatížení celkem
g = 6,3 kN m⁻¹

Dílčí součinitel zatížení pro trvalou a dočasnou návrhovou situaci
γ_{G,sup} = 1,35

8.4.2. Proměnná zatížení

Proměnnými zatíženími jsou:

- Zatížení jeřáby
- Zatížení lávek, plošin, schodišť a zábradlí

8.4.2.1. Zatížení jeřáby

8.4.2.1.1. Charakteristické hodnoty statických složek zatížení jeřáby

a) Tíha jeřábu

Svislé síly od kol zatíženého jeřábu způsobené jeho vlastní tíhou lze vypočítat ze vztahů

Jeřáb 32/8 t

$$Q_{C,r,max} = \frac{1}{n} \left[\frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t(s-c)}{s} \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{349-84}{2} + \frac{84 \cdot (28,5-2,05)}{28,5} \right] = 105,2 \text{ kN}$$

$$Q_{C,r,(max)} = \frac{1}{n} \left[\frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t c}{s} \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{349-84}{2} + \frac{84 \cdot 2,05}{28,5} \right] = 69,3 \text{ kN}$$

$$Q_{C,r,min} = Q_{C,r,(max)} = 69,3 \text{ kN}$$

$$Q_{C,r,(min)} = Q_{C,r,max} = 105,2 \text{ kN}$$

Jeřáb 50/12,5 t

$$Q_{C,r,max} = \frac{1}{n} \left[\frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t(s-c)}{s} \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{476-113}{2} + \frac{113 \cdot (28,5-2,25)}{28,5} \right] = 142,8 \text{ kN}$$

$$Q_{C,r,(max)} = \frac{1}{n} \left[\frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t c}{s} \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{476-113}{2} + \frac{113 \cdot 2,25}{28,5} \right] = 95,2 \text{ kN}$$

$$Q_{C,r,min} = Q_{C,r,(max)} = 95,2 \text{ kN}$$

$$Q_{C,r,(min)} = Q_{C,r,max} = 142,8 \text{ kN}$$

- kde $Q_{C,r,max}$ maximální zatížení jedním kolem zatíženého jeřábu
 $Q_{C,r,(max)}$ doprovodné zatížení jedním kolem zatíženého jeřábu
 Q_c tíha jeřábu
 Q_t tíha kočky
 s rozchod dráhy
 c vodorovný dojezd háku
 n počet dvojic kol

b) Zatížení kladkostroje

Svislé síly kol nezatíženého jeřábu lze vypočítat ze vztahů

Jeřáb 32/8 t

$$Q_{H,r,max} = \frac{1}{n} * \frac{Qh*(s-c)}{s} = \frac{1}{2} * \frac{320*(28,5-2,05)}{28,5} = 148,49 \text{ kN}$$

$$Q_{H,r,(max)} = \frac{1}{n} * \frac{Qh*c}{s} = \frac{1}{2} * \frac{500*2,05}{28,5} = 17,98 \text{ kN}$$

Jeřáb 50/12,5 t

$$Q_{H,r,max} = \frac{1}{n} * \frac{Qh*(s-c)}{s} = \frac{1}{2} * \frac{500*(28,5-2,25)}{28,5} = 230,26 \text{ kN}$$

$$Q_{H,r,(max)} = \frac{1}{n} * \frac{Qh*c}{s} = \frac{1}{2} * \frac{500*2,25}{28,5} = 19,73 \text{ kN}$$

Kde $Q_{H,r,max}$ je maximální zatížení od kladkostroje jedním kolem
 $Q_{H,r,(max)}$ doprovodné zatížení od kladkostroje jedním kolem
 s rozchod dráhy – rozpětí jeřábu
 c vodorovný dojezd háku
 n počet dvojic kol

c) Zrychlení mostu jeřábu

Zrychlení mostu způsobuje

- Podélné vodorovné síly $H_{L,i}$
- Příčné vodorovné síly $H_{T,i}$

Hnací síla se vypočítá ze vztahu

$$K = \mu * m_w * Q_{C,r,min} = 0,2 * 2 * 69,3 = \mathbf{27,72 \text{ kN}} \quad \text{pro jeřáb 32/8 t}$$
$$= 0,2 * 2 * 95,2 = \mathbf{38,08 \text{ kN}} \quad \text{pro jeřáb 50/12,5 t}$$

Kde $\mu = 0,2$ je součinitel tření pro kombinaci ocel – ocel
 $m_w = 2$ počet pohonů jednotlivých kol
 $Q_{C,r,min}$ minimální svislé zatížení od kola nezatíženého jeřábu

Síly v podélném směru $H_{L,i}$ způsobené rozjezdem nebo brzděním jeřábu se vypočítají ze vztahu

$$H_{L,i} = H_{L,1} = H_{L,2} = \frac{K}{n_r} = \frac{27,72}{2} = 13,86 \text{ kN} \quad \text{pro jeřáb 32/8 t}$$

$$= \frac{38,08}{2} = 19,04 \text{ kN} \quad \text{pro jeřáb 50/12,5 t}$$

Kde $n_r = 2$ je počet větví jeřábové dráhy
 K hnací síla
index i značí větev jeřábové dráhy

Uspořádání podélných vodorovných sil od rozjezdu nebo brzdění jeřábu

Síly v příčném směru $H_{T,i}$ pro každou větev zvlášť

$$H_{T,1} = \xi_1 \frac{M}{b} = 0,760 \cdot \frac{205,41}{4,5} = 34,69 \text{ kNm}$$

$$H_{T,2} = \xi_2 \frac{M}{b} = 0,240 \cdot \frac{205,41}{4,5} = 10,96 \text{ kNm} \quad \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

$$H_{T,1} = \xi_1 \frac{M}{b} = 0,765 \cdot \frac{287,5}{4,5} = 48,88 \text{ kNm}$$

$$H_{T,2} = \xi_2 \frac{M}{b} = 0,235 \cdot \frac{287,5}{4,5} = 15,02 \text{ kNm} \quad \dots \text{pro } 50/12,5 \text{ t}$$

Kde M je statický moment hnací síly vzhledem k těžišti jeřábu
 B rozvor kol
 $\xi_{1,2}$ podíl vzdálenosti těžiště jeřábu od osy jeřábové kolejnice a rozpětí jeřábu

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r} = \frac{508,2}{669} = 0,760$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,760 = 0,240 \quad \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r} = \frac{746,2}{976} = 0,765$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,765 = 0,235 \quad \dots \text{pro } 50/12,5 \text{ t}$$

$$\Sigma Q_{r,max} = n = n (Q_{C,r,max} + Q_{H,r,max}) = 2 \cdot (105,2 + 148,9) = 508,2 \text{ kN} \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

$$\Sigma Q_{r,max} = n = n (Q_{C,r,max} + Q_{H,r,max}) = 2 \cdot (142,8 + 230,3) = 746,2 \text{ kN} \dots \text{pro } 50/12,5 \text{ t}$$

Součet maximálních svislých zatížení od kol zatíženého jeřábu na jedné větvi jeřábové dráhy

$$\Sigma Q_r = Q_c + Q_h = 349 + 320 = 669 \text{ kN} \quad \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

$$\Sigma Q_r = Q_c + Q_h = 476 + 500 = 976 \text{ kN} \quad \dots \text{pro } 50/12,5 \text{ t}$$

Součet svislých zatížení od kol zatíženého jeřábu na obou větvích jeřábové dráhy

kde n je počet dvojic kol

$Q_{C,r,max}$	maximální zatížení jedním kolem zatíženého jeřábu
$Q_{H,r,max}$	maximální zatížení od kladkostroje jedním kolem
Q_c	tíha jeřábu s kočkou
Q_h	zatížení kladkostroje

Moment hnací síly k těžišti jeřábu

$$M = K \cdot l_s = 27,72 \cdot 7,41 = 205,41 \text{ kNm} \quad \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

$$M = K \cdot l_s = 38,08 \cdot 7,55 = 287,50 \text{ kNm} \quad \dots \text{pro } 50/12,5 \text{ t}$$

Kde K je hnací síla

l_s vychýlení těžiště zatíženého jeřábu od poloviny jeho rozpětí

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) \cdot s = (0,760 - 0,5) \cdot 28,5 = 7,41 \text{ m} \quad \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) \cdot s = (0,765 - 0,5) \cdot 28,5 = 7,55 \text{ m} \quad \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

Kde s je rozchod dráhy

d) Příčení mostu jeřábu

Při vedení jeřábu na dráze nákolky stačí vypočítat jen nenulové složky sil od kol

$$H_{S,1,T} = f \lambda_{S,1,T} \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,120 \cdot 669 = 24,084 \text{ kN}$$

$$H_{S,2,T} = f \lambda_{S,2,T} \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,380 \cdot 669 = 76,266 \text{ kN} \quad \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

$$H_{S,1,T} = f \lambda_{S,1,T} \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,118 \cdot 976 = 34,55 \text{ kN}$$

$$H_{S,2,T} = f \lambda_{S,2,T} \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,383 \cdot 976 = 112,14 \text{ kN} \quad \dots \text{pro } 50/12,5 \text{ t}$$

kde $f = 0,3$ je součinitel reakcí při příčení závislý na α

$\lambda_{S,i,j,k}$ součinitel síly (od kola)

$\sum Q_r$ součet svislých zatížení od kol zatíženého jeřábu na obou větvích jeřábové dráhy

$$\lambda_{S,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_1}{h} \right) = \frac{\xi_2}{n} = \frac{0,240}{2} = 0,120$$

$$\lambda_{S,2,1,T} = \frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_1}{h} \right) = \frac{\xi_1}{n} = \frac{0,760}{2} = 0,380 \quad \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

$$\lambda_{S,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_1}{h} \right) = \frac{\xi_2}{n} = \frac{0,235}{2} = 0,118$$

$$\lambda_{s,2,1,T} = \frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_1}{h} \right) = \frac{\xi_1}{n} = \frac{0,765}{2} = 0,383 \quad \dots \text{pro } 50/12,5 \text{ t}$$

kde ξ_i je podíl vzdálenosti těžiště jeřábu od osy jeřábové kolejnice a rozpětí jeřábu
 n počet dvojic kol

Síla od vodícího prostředku způsobena přičením jeřábu se vypočítá ze vztahu

$$S = f \lambda_s \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,5 \cdot 669 = 100,35 \text{ kN} \quad \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

$$S = f \lambda_s \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,5 \cdot 976 = 146,4 \text{ kN} \quad \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

kde f je součinitel reakcí při přičení

λ_s součinitel síly (od vodícího prostředku)

$\sum Q_r$ součet svislých zatížení od kol zatíženého jeřábu na obou větvích jeřábové dráhy

$$\lambda_s = 1 - \frac{\sum e_j}{n h} = 1 - \frac{1}{n} = 1 - \frac{1}{2} = 0,5$$

e) Zrychlení kočky

Zrychlení kočky při jejím pohybu podél jeřábového mostu způsobuje příčné vodorovné síly $H_{T3,1,2}$, které se vypočítají ze vztahu

$$H_{T3,1} = H_{T3,2} = \frac{0,1}{2 n} (Q_h + Q_t) = \frac{0,1}{2 \cdot 2} (320 + 84) = 10,1 \text{ kN} \quad \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

$$H_{T3,1} = H_{T3,2} = \frac{0,1}{2 n} (Q_h + Q_t) = \frac{0,1}{2 \cdot 2} (500 + 113) = 15,33 \text{ kN} \quad \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

kde Q_h je zatížení kladkostroje
 Q_t tíha kočky
 n počet dvojic kol

8.4.2.1.2. Charakteristické hodnoty zatížení jeřáby

Dynamickým součinitelem φ_i vyjadřuje dynamickou složku zatížení, kterým násobíme charakteristickou hodnotu zatížení.

a) Dynamický součinitel φ_1 – upravuje vlastní tíhu jeřábu

$$\varphi_1 = 1,1$$

b) Dynamický součinitel φ_2 – použije se pro zatížení kladkostroje, vypočítá se ze vztahu

$$\phi_2 = \phi_{2,\min} + \beta_2 v_h = 1,10 + 0,34 \cdot 0,133 = 1,15 \quad \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

$$\phi_2 = \phi_{2,\min} + \beta_2 v_h = 1,10 + 0,34 \cdot 0,083 = 1,13 \quad \dots \text{pro } 50/12,5 \text{ t}$$

kde v_h je ustálená rychlost zvedání v m s^{-1}

Pro zdvihovou třídu HC2

$$\phi_{2,\min} = 1,10$$

$$\beta_2 = 0,34 \quad \dots \text{pro oba jeřáby}$$

c) Dynamický součinitel ϕ_4 – pro vlastní tíhu jeřábu a zatížení kladkostroje

$$\phi_4 = 1,0$$

d) Dynamický součinitel ϕ_5 – uvažujeme pro hnací síly

$$\phi_5 = 1,5$$

Skupiny zatížení a dynamických součinitelů uvažovaných jako jedno charakteristické zatížení od jeřábu

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

8.4.2.1.3. Kombinační součinitele pro zatížení jeřáby

Pro jediný jeřáb nebo pro skupiny jeřábů jsou kombinační součinitele

$$\psi_0 = 1,0$$

$$\psi_1 = 0,9$$

$$\psi_2 = \frac{Q_c}{Q_c + Q_h} = \frac{349}{349 + 320} = 0,52 \quad \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

$$\psi_2 = \frac{Q_c}{Q_c + Q_h} = \frac{476}{476 + 500} = 0,49 \quad \dots \text{pro } 50/12,5 \text{ t}$$

kde Q_c je tíha jeřábu s kočkou,
 Q_h zatížení kladkostroje

8.4.2.1.4. Návrhové hodnoty zatížení jeřáby

Pro trvalou a dočasnou návrhovou situaci je dílčí součinitel

$$\gamma_Q = 1,35$$

Pro mimořádnou návrhovou situaci je dílčí součinitel zatížení

$$\gamma_Q = 1,00$$

8.4.2.2. Zatížení lávek

8.4.2.2.1. Charakteristické hodnoty zatížení lávek

Předpokládá se, že zatížení lávek působí na čtvercové ploše o straně 0,3 m

– v případě uložení materiálu

$$Q_k = 3 \text{ kN}$$

8.4.2.2.2. Kombinační součinitele pro zatížení lávek

Pro užité zatížení kategorie E2 jsou kombinační součinitele

$$\psi_0 = 1,0$$

$$\psi_1 = 0,9$$

$$\psi_2 = 0,8$$

Dílčí součinitelé

$$\gamma_Q = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,00$$

8.4.3. Mimořádné zatížení

8.4.3.1. Síly na nárazníky

Síly vznikající při nárazu na nárazníky se mají vypočítat z kinetické energie všech příslušných částí jeřábu, pohybujícího se rychlostí odpovídající 0,7 až 1,0 násobku jmenovité rychlosti.

Síly na nárazníky lze vypočítat při uvážení rozdělení příslušných hmot ze vztahu

$$H_{B,1} = \frac{v_1 \sqrt{m_c S_B}}{n_r} = \frac{0,933 \cdot \sqrt{66,9 \cdot 10^3 \cdot 435 \cdot 10^3}}{2} = 79,6 \text{ kN} \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

$$H_{B,1} = \frac{v_1 \sqrt{m_c S_B}}{n_r} = \frac{0,933 \cdot \sqrt{97,6 \cdot 10^3 \cdot 1349 \cdot 10^3}}{2} = 169 \text{ kN} \dots \text{pro } 50/12,5 \text{ t}$$

kde v_1 je 70 % rychlosti podélného pojezdu v m s^{-1} ,
 m_c hmotnost jeřábu a břemene v kg,
 S_B konstanta tuhosti nárazníku v N m^{-1}
 $n_r = 2$ počet větví jeřábové dráhy.

Rychlost pojezdu jeřábu v okamžiku nárazu

$$v_1 = 0,7 v_c = 0,7 \cdot 1,333 = 0,933 \text{ m s}^{-1} \dots \text{pro oba jeřáby}$$

kde v_c je jmenovitá rychlost pojezdu jeřábu

Hmotnost jeřábu i s břemenem

$$m_c = 100 (Q_c + Q_h) = 100 \cdot (349 + 320) = 66,9 \cdot 10^3 \text{ kg} \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

$$m_c = 100 (Q_c + Q_h) = 100 \cdot (476 + 500) = 97,6 \cdot 10^3 \text{ kg} \dots \text{pro } 50/12,5 \text{ t}$$

kde Q_c je tíha jeřábu s kočkou v kN,
 Q_h zatížení kladkostroje v kN.

8.4.4. Únavové zatížení

Vyjadřuje se formou ekvivalentní únavového zatížení jedním kolem zatíženého jeřábu Q_e pro počet zatěžovacích cyklů k referenční hodnotě $N = 2,0 \cdot 10^6$.

Vypočítá se ze vztahu (viz rovnice (2.16) ČSN EN 1991-3)

$$Q_e = \varphi_{fat} \lambda Q_{r,max}$$

kde φ_{fat} je dynamický součinitel pro ekvivalentní poškození rázem
 λ součinitel ekvivalentního poškození
 $Q_{r,max}$ maximální zatížení jedním kolem zatíženého jeřábu

Pro obvyklé podmínky lze dynamický součinitel vypočítat ze vztahu

$$\varphi_{fat,1} = \frac{1 + \varphi_1}{2} = \frac{1 + 1,1}{2} = 1,05 \dots \text{pro oba jeřáby}$$

$$\varphi_{fat,2} = \frac{1 + \varphi_2}{2} = \frac{1 + 1,15}{2} = 1,08 \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

$$\varphi_{fat,2} = \frac{1 + \varphi_2}{2} = \frac{1 + 1,13}{2} = 1,07 \dots \text{pro } 50/12,5 \text{ t}$$

kde φ_1, φ_2 jsou dynamické součinitele vyjadřující dynamické účinky jeřábu při zdvihání břemene ze země k jeřábu

Součinitel ekvivalentního poškození λ uvažujeme pro kategorii únavových účinků S_5 hodnotou

$$\lambda_\sigma = 0,630$$

$$\lambda_\tau = 0,758$$

Ekvivalentní zatížení pro poškození únavou je dáno

$$Q_{e,\sigma} = \varphi_{fat,1} \lambda_\sigma Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \lambda_\sigma Q_{H,r,max} = 1,05 \cdot 0,630 \cdot 105,2 + 1,08 \cdot 0,630 \cdot 148,49 = 170,62 \text{ kN}$$

$$Q_{e,\tau} = \phi_{fat,1} \lambda_{\tau} Q_{C,r,max} + \phi_{fat,2} \lambda_{\tau} Q_{H,r,max} = 1,05 \cdot 0,758 \cdot 105,2 + 1,08 \cdot 0,758 \cdot 148,49 = 205,29 \text{ kN}$$

...pro 32/8 t

$$Q_{e,\sigma} = \phi_{fat,1} \lambda_{\sigma} Q_{C,r,max} + \phi_{fat,2} \lambda_{\sigma} Q_{H,r,max} = 1,05 \cdot 0,630 \cdot 142,8 + 1,07 \cdot 0,630 \cdot 230,26 = 249,68 \text{ kN}$$

$$Q_{e,\tau} = \phi_{fat,1} \lambda_{\tau} Q_{C,r,max} + \phi_{fat,2} \lambda_{\tau} Q_{H,r,max} = 1,05 \cdot 0,758 \cdot 142,8 + 1,07 \cdot 0,758 \cdot 230,26 = 300,41 \text{ kN}$$

...pro 50/12,5 t

kde $Q_{C,r,max}$ je zatížení jedním kolem od tíhy jeřábu
 $Q_{H,r,max}$ zatížení jedním kolem od tíhy kladkostroje

Příslušné ekvivalentní zatížení pro dva jeřáby se získá s použitím součinitele ekvivalentního poškození

$$\lambda_{\sigma,dup} = 0,397$$

$$\lambda_{\tau,dup} = 0,575$$

$$Q_{e,\sigma,dup} = \phi_{fat,1} \lambda_{\sigma,dup} Q_{C,r,max} + \phi_{fat,2} \lambda_{\sigma,dup} Q_{H,r,max} = 1,05 \cdot 0,397 \cdot 105,2 + 1,08 \cdot 0,397 \cdot 148,49 = 107,52 \text{ kN}$$

$$Q_{e,\tau,dup} = \phi_{fat,1} \lambda_{\tau,dup} Q_{C,r,max} + \phi_{fat,2} \lambda_{\tau,dup} Q_{H,r,max} = 1,05 \cdot 0,575 \cdot 105,2 + 1,08 \cdot 0,575 \cdot 148,49 = 155,73 \text{ kN}$$

...pro 32/8 t

$$Q_{e,\sigma,dup} = \phi_{fat,1} \lambda_{\sigma,dup} Q_{C,r,max} + \phi_{fat,2} \lambda_{\sigma,dup} Q_{H,r,max} = 1,05 \cdot 0,397 \cdot 148,2 + 1,07 \cdot 0,397 \cdot 230,26 = 160,50 \text{ kN}$$

$$Q_{e,\tau,dup} = \phi_{fat,1} \lambda_{\tau,dup} Q_{C,r,max} + \phi_{fat,2} \lambda_{\tau,dup} Q_{H,r,max} = 1,05 \cdot 0,575 \cdot 142,8 + 1,07 \cdot 0,575 \cdot 230,36 = 227,95 \text{ kN}$$

...pro 50/12,5 t

Při posouzení na lokální účinky od kolového zatížení se počet cyklů napětí bere jako dvojnásobný oproti počtu pracovních cyklů jeřábu. Součinitel ekvivalentního poškození pro kategorii S6 (viz odst. 9.3.2(4) ČSN EN 1993-6 a tab. 2.11 ČSN EN 1991-3)

$$\lambda_{\sigma,loc} = 0,794$$

$$\lambda_{\tau,loc} = 0,871$$

Ekvivalentní zatížení pro poškození únavou je dáno

$$Q_{e,\sigma,loc} = \phi_{fat,1} \lambda_{\sigma,loc} Q_{C,r,max} + \phi_{fat,2} \lambda_{\sigma,loc} Q_{H,r,max} = 1,05 \cdot 0,794 \cdot 105,2 + 1,08 \cdot 0,794 \cdot 148,49 = 217,54 \text{ kN}$$

$$Q_{e,\tau,loc} = \phi_{fat,1} \lambda_{\tau,loc} Q_{C,r,max} + \phi_{fat,2} \lambda_{\tau,loc} Q_{H,r,max} = 1,05 \cdot 0,871 \cdot 105,2 + 1,08 \cdot 0,871 \cdot 148,49 = 235,89 \text{ kN} \quad \dots\text{pro } 32/8 \text{ t}$$

$$Q_{e,\sigma,loc} = \phi_{fat,1} \lambda_{\sigma,loc} Q_{C,r,max} + \phi_{fat,2} \lambda_{\sigma,loc} Q_{H,r,max} = 1,05 \cdot 0,794 \cdot 142,8 + 1,07 \cdot 0,794 \cdot 230,26 = 314,68 \text{ kN}$$

$$Q_{e,\tau,loc} = \phi_{fat,1} \lambda_{\tau,loc} Q_{C,r,max} + \phi_{fat,2} \lambda_{\tau,loc} Q_{H,r,max} = 1,05 \cdot 0,871 \cdot 142,8 + 1,07 \cdot 0,871 \cdot 230,26 = 345,19 \text{ kN} \quad \dots\text{pro } 50/12,5 \text{ t}$$

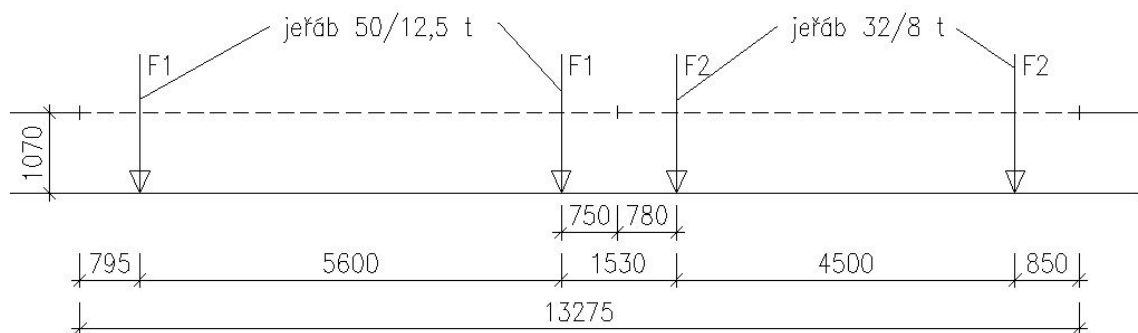
8.5. Hlavní nosník jeřábové dráhy

Při návrhu hlavního nosníku jeřábové dráhy je třeba vycházet ze zásad ČSN EN 1993-1-1, ČSN EN 1993-1-5, ČSN EN 1993-1-8, ČSN EN 1993-1-9 a ČSN EN 1993-6.

8.5.1. Mezní stavy únosnosti STR

8.5.1.1. Výpočet reakcí a vnitřních sil od svislých zatížení

8.5.1.1.1. Účinky svislých tlaků kol obou jeřábů ve skupině zatížení č. 1



Zatěžovací schéma nosníku od svislých tlaků kol jeřábu

Návrhové hodnoty maximálních svislých tlaků kol se určí ze vztahu

Pro jeřáb 50/12,5 t

$$F_1 = \gamma_Q (\phi_1 Q_{C,r,max} + \phi_2 Q_{H,r,max}) = 1,35 \cdot (1,1 \cdot 148,2 + 1,13 \cdot 230,26) = 571 \text{ kN}$$

Pro jeřáb 32/8 t

$$F_2 = \gamma_Q (\phi_1 Q_{C,r,max} + \phi_2 Q_{H,r,max}) = 1,35 \cdot (1,1 \cdot 105,2 + 1,15 \cdot 148,49) = 387 \text{ kN}$$

kde $Q_{C,r,max}$ je maximální svislé zatížení od kola jeřábu způsobené jeho vlastní tíhou

$Q_{H,r,max}$ maximální svislé zatížení od kola jeřábu způsobené zatížením kladkostroje

ϕ_1, ϕ_2 dynamické součinitele vyjadřující dynamické účinky jeřábu při zdvihání břemene ze země k jeřábu

γ_Q dílčí součinitel proměnného zatížení

Výslednice soustavy svislých břemen

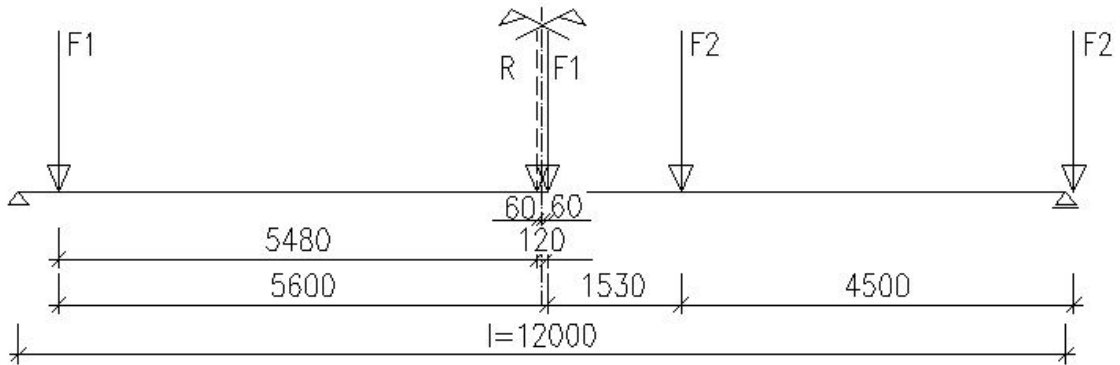
$$R = 2 F_1 + 2 F_2 = 2 \cdot 571 + 2 \cdot 387 = 1916 \text{ kN}$$

Působíště od břemene F_1

$$a = \frac{F_1 \cdot 5,6 + F_2 \cdot (7,13 + 11,63)}{R} = \frac{571 \cdot 5,6 + 387 \cdot 18,76}{1916} = 5,48 \text{ m}$$

Dle Winklerova kritéria musí být splněna podmínka $\sum_{i=1}^{c-1} F_i \leq 0,5R \leq \sum_{i=1}^c F_i$.

V mém případě se přičtením druhého břemene F_1 překračuje hodnota $0,5R = 958 \text{ kN}$.

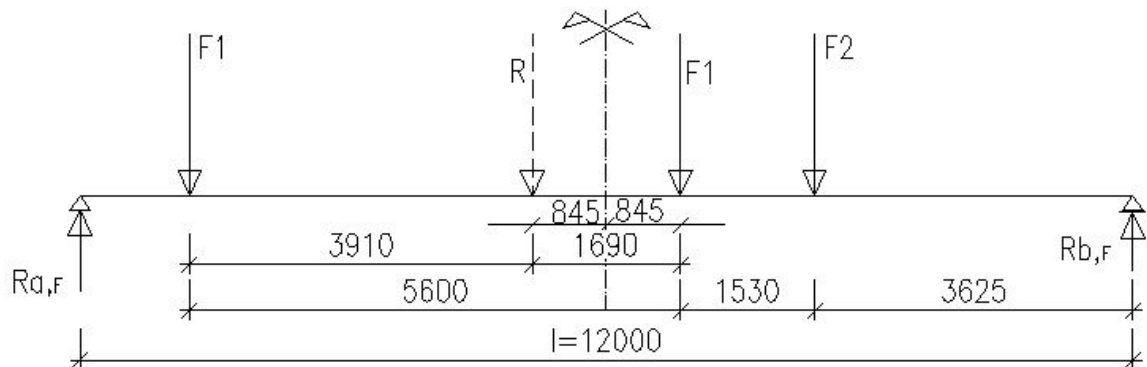


Provádím výpočet ještě jednou pouze pro tři břemena. Výslednice soustavy tří břemen $R = 2F_1 + F_2 = 2 \cdot 571 + 387 = 1529 \text{ kN}$

a působí ve vzdálenosti

$$a = \frac{F_1 \cdot 5,6 + F_2 \cdot 7,13}{R} = \frac{571 \cdot 5,6 + 387 \cdot 7,13}{1529} = 3,91 \text{ m}$$

od prvního břemene zleva. Polovinu hodnoty výslednice $0,5R = 764 \text{ kN}$ překračují druhým břemenem soustavy, které je aritmeticky středním.



Příslušné reakce určené pro návrhové zatížení svislými tlaky kol jsou

$$R_{a,F} = \frac{571 \cdot (10,755 + 5,155) + 387 \cdot 3,625}{12,0} = 873 \text{ kN}$$

$$R_{b,F} = \frac{571 \cdot (1,245 + 6,845) + 387 \cdot 8,375}{12,0} = 656 \text{ kN}$$

Ohybový moment $M_{max,F}$ pro návrhové zatížení svislými tlaky kol jeřábů

$$M_{max,F} = R_{a,F} \cdot 6,845 - F_1 \cdot 5,6 = 873 \cdot 6,845 - 571 \cdot 5,6 = 2613 \text{ kNm}$$

Příslušná posouvající síla před průřezem

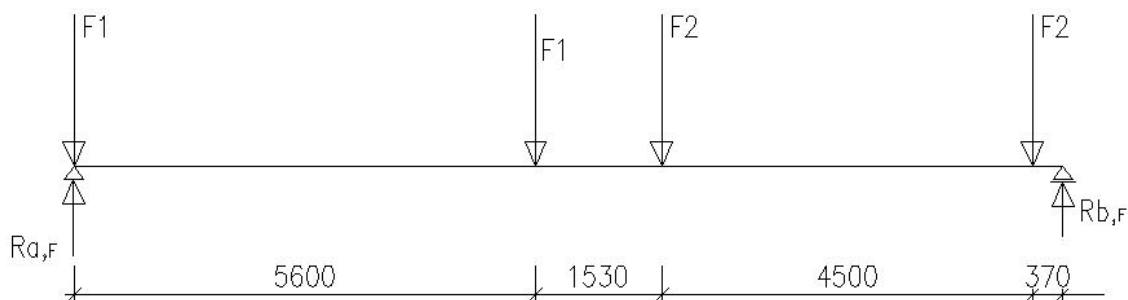
$$V_{1,F} = R_{a,F} - F_1 = 873 - 571 = 302 \text{ kN}$$

a za průřezem

$$V_{2,F} = R_{a,F} - 2F_1 = 873 - 2 \cdot 571 = 269 \text{ kN}$$

Největší reakci na nosníku vyhodnotíme podle nejnepříznivější polohy soustavy břemen.

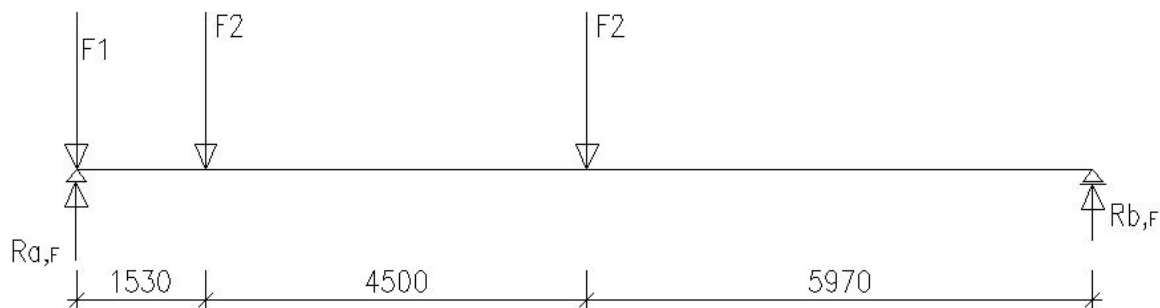
V poloze a) jsou reakce



$$R_{a,F} = F_1 + \frac{F_1 \cdot 6,4 + F_2 \cdot (4,87 + 0,37)}{12,0} = 571 + \frac{571 \cdot 6,4 + 387 \cdot 5,24}{12,0} = 1044 \text{ kN}$$

$$R_{b,F} = 2F_1 + 2F_2 - R_{a,F} = 872 \text{ kN}$$

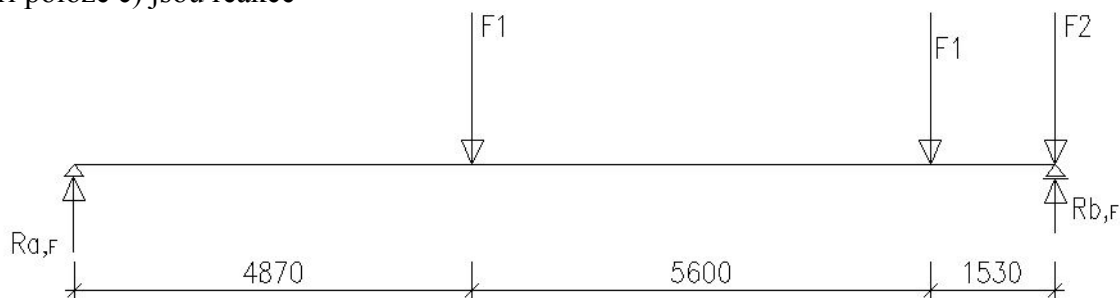
V poloze b) jsou reakce



$$R_{a,F} = F_1 + \frac{F_2 \cdot (10,47 + 5,97)}{12,0} = 571 + \frac{387 \cdot 16,44}{12,0} = 1101 \text{ kN}$$

$$R_{b,F} = F_1 + 2F_2 - R_{a,F} = 244 \text{ kN}$$

Při poloze c) jsou reakce



$$R_{a,F} = \frac{F_1 \cdot (7,13 + 1,53)}{12,0} = \frac{571 \cdot 8,66}{12,0} = 400 \text{ kN}$$

$$R_{b,F} = 2F_1 + F_2 - R_{a,F} = 1129 \text{ kN}$$

Maximální reakce má hodnotu 1129 kN ze soustavy c).

8.5.1.1.2. Účinky stálého zatížení

Návrhová hodnota stálého zatížení se určí dle vztahu

$$g_d = \gamma_{G,sup} g = 1,35 \cdot 6,3 = 8,51 \text{ kN m}^{-1}$$

Ohybový moment od stálého zatížení

$$M_g = \frac{1}{8} g_d l^2 = \frac{1}{8} \cdot 8,51 \cdot 12,0^2 = 153 \text{ kNm}$$

Obě reakce jsou

$$R_{a,g} = R_{b,g} = \frac{1}{2} g_d l = \frac{1}{2} \cdot 8,51 \cdot 12,0 = 51,1 \text{ kN}$$

8.5.1.1.3. Kombinované účinky svislých zatížení

Návrhová hodnota ohybového momentu

$$M_{Ed} = M_g + M_{max,F} = 153 + 2613 = 2766 \text{ kNm}$$

Návrhová hodnota příslušné posouvající síly

$$V_{Ed} = V_{1,F} = 302 \text{ kN}$$

Příslušné reakce

$$R_{a,Ed} = R_{a,g} + R_{a,F} = 51,1 + 873 = 924 \text{ kN}$$

$$R_{b,Ed} = R_{b,g} + R_{b,F} = 51,1 + 656 = 707 \text{ kN}$$

Maximální reakce

$$R_{b,Ed} = R_{b,g} + R_{b,max,F} = 51,1 + 1129 = 1180 \text{ kN}$$

8.5.1.2. Průřez hlavního nosníku jeřábové dráhy

Průřezové charakteristiky:

$$A = 45,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 11,5 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$e_1 = 562 \text{ mm}$$

$$e_2 = 638 \text{ mm}$$

$$W_{el,y,1} = \frac{I_y}{e_1} = 20,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,y,2} = \frac{I_y}{e_2} = 18,0 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Tíha hlavního nosníku

$$\gamma A = 78,5 \cdot 45,7 \cdot 10^{-3} = 3,59 \text{ kN m}^{-1}$$

Ocel S235 - $f_y = 235 \text{ MPa}$

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

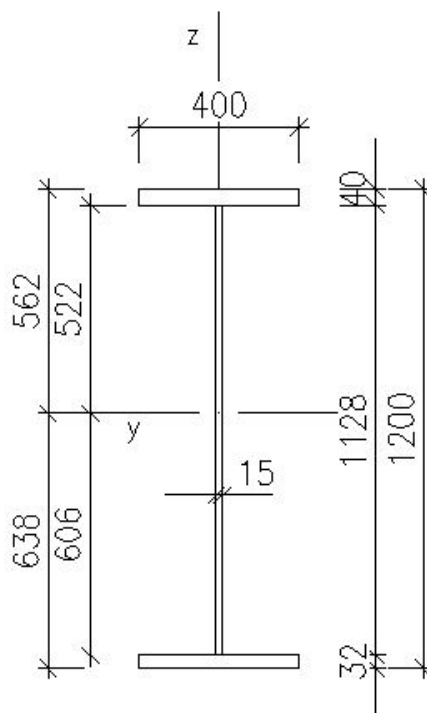
$$E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

Součinitelé spolehlivosti

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

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

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



8.5.1.3. Posouzení rozhodujících průřezů hlavního nosníku

8.5.1.3.1. Posouzení pásnic v krajních vláknech nosníku při normálovém napětí

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

Štíhlost pásnice:

$$\frac{b - t_w}{2 t_{f1}} = \frac{400 - 15}{2 \cdot 40} = 4,81 \leq 9 \varepsilon = 9 \dots \text{odpovídá pevnostní třídě 1}$$

Štíhlost stojiny:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{1128}{15} = 75,2 \leq 62 \varepsilon \left(1 + \frac{h_{w2}}{h_{w1}}\right) \cdot \sqrt{\frac{h_{w2}}{h_{w1}}} = 62 \cdot \left(1 + \frac{606}{522}\right) \cdot \sqrt{\frac{606}{522}} = 144$$

... odpovídá pevnostní třídě 3

Ohybové normálové napětí v krajním vlákně průřezu:

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,1}} = \frac{2766 \cdot 10^6}{20,5 \cdot 10^6} = 135 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,2}} = \frac{2766 \cdot 10^6}{18,0 \cdot 10^6} = 154 \text{ MPa}$$

kde M_{Ed} je návrhová hodnota ohybového momentu
 $W_{el,y,2}$, $W_{el,y,2}$ průřezový modul pro horní, resp. dolní vlákna nosníku

Podmínka spolehlivosti pro krajní vlákna $\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed}$:

$$135 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVÍ}$$

$$154 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVÍ}$$

8.5.1.3.2. Posouzení stojiny v neutrální ose průřezu při maximálním smykovém napětí

Dsad

Smykové napětí lze určit podle vztahu

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed} S_y}{I_y t_w} = \frac{1129 \cdot 10^3 \cdot 10,7 \cdot 10^6}{11,5 \cdot 10^9 \cdot 15} = 70 \text{ MPa}$$

kde V_{Ed} je návrhová hodnota posouvající síly
 I_y moment setrvačnosti celého průřezu k vlastní těžišťové ose y
 t_w tloušťka stojiny
 S_y statický moment části průřezu nad těžišťovou osou y vzhledem k této ose

$$S_y = \frac{1}{2} (b e_1^2 - (b - t_w) h_{w1}^2) = \frac{1}{2} \cdot (400 \cdot 562^2 - (400 - 15) \cdot 522^2) = 10,7 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

kde b je šířka pásnice
 e_1 , h_{w1} vzdálenost vnější, resp. vnitřní hrany horní pásnice od těžišťové osy y

Únosnost průřezu při jednoosé napjatosti podle podmínky spolehlivosti $\tau_{Ed} =$
 $\tau_{v,Ed}$

$$70 \cdot \frac{\sqrt{3}}{235} = 0,52 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVÍ}$$

8.5.1.3.3. Posouzení stojiny pod kolovým zatížením při interakci napětí

a) Posuzuji v místě s maximálním ohybovým momentem

$$M_{Ed} = 2766 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 302 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} \equiv F_1 = 571 \text{ kN}$$

Globální ohybové napětí

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{I_y} h_{w,1} = \frac{2766 \cdot 10^6}{11,5 \cdot 10^9} \cdot 522 = 126 \text{ MPa}$$

kde M_{Ed} je návrhová hodnota ohybového momentu
 I_y moment setrvačnosti průřezu hlavního nosníku
 $h_{w,I}$ výška tlačené části stojiny

Globální smykové napětí (viz odst. 6.2.6(4) ČSN EN 1993-1-1)

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed} S_{f,y}}{I_y t_w} = \frac{302 \cdot 10^3 \cdot 8,67 \cdot 10^6}{11,5 \cdot 10^9 \cdot 15} = 15,2 \text{ MPa}$$

kde V_{Ed} je návrhová hodnota posouvající síly
 I_y moment setrvačnosti celého průřezu k vlastní těžišťové ose
 y
 t_w tloušťka stojiny
 $S_{f,y}$ statický moment pásnice k těžišťové ose y

$$S_{f,y} = \frac{1}{2} b t_{f1} (2e_1 - t_{f1}) = \frac{1}{2} \cdot 400 \cdot 40 \cdot (2 \cdot 562 - 40) = 8,67 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

kde b, t_f jsou šířka a tloušťka pásnice
 e_1 vzdálenost horního krajního vlákna nosníku od těžišťové osy y

Lokální svislé tlakové napětí (viz odst. 5.7.1(1) ČSN EN 1993-6)

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{Ed}}{l_{eff} t_w} = \frac{571 \cdot 10^3}{288 \cdot 15} = 132,2 \text{ MPa}$$

kde F_{Ed} je návrhová hodnota kolového zatížení
 l_{eff} účinná roznášecí délka
 t_w tloušťka stojiny

Účinná roznášecí délka

$$l_{eff} = 4,25 \sqrt[3]{\frac{I_r + I_{f,eff}}{t_w}} = 4,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{3,52 \cdot 10^6 + 1,15 \cdot 10^6}{15}} = 288 \text{ mm}$$

kde $I_r, I_{f,eff}$ jsou momenty setrvačnosti kolejnice a horní pásnice k vlastním vodorovným těžišťovým osám

Moment setrvačnosti kolejnice, včetně opotřebení 25 % tloušťky materiálu pod pojižděným povrchem

$$I_r = \frac{1}{12} b_r (0,75 h_r)^3 = \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot (0,75 \cdot 100)^3 = 3,52 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

kde b_r, h_r jsou šířka a výška čtvercové kolejnice (55 × 40 mm)

Moment setrvačnosti horní pásnice je dán vztahem

$$I_{f,eff} = \frac{1}{12} b_{eff} t_f^3 = \frac{1}{12} \cdot 215 \cdot 40^3 = 1,15 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

kde t_f je tloušťka horní pásnice
 b_{eff} účinná šířka pásnice (viz tab. 5.1 ČSN EN 1993-6)
 $b_{eff} = b_r + 0,75 h_r + t_f = 100 + 0,75 \cdot 100 + 40 = 215 \text{ mm} \leq b = 400 \text{ mm}$

Největší hodnota lokálního smykového napětí, viz odst. 5.7.2(1) ČSN EN 1993-6

$$\tau_{\text{oxz},Ed} = 0,2 \sigma_{\text{oz},Ed} = 0,2 \cdot 132 = 26,4 \text{ MPa}$$

Lokální ohybové napětí (viz odst. 5.7.3(1) ČSN EN 1993-6)

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 T_{Ed}}{a t_w^2} \eta \operatorname{tgh} \eta = \frac{6 \cdot 14,3 \cdot 10^6}{1500 \cdot 15^2} \cdot 0,504 \cdot \operatorname{tgh} 0,504 = 58,4 \text{ MPa}$$

kde T_{Ed} je kroučící moment způsobený příčnou excentricitou kolového zatížení
 a vzdálenost příčných výztuh stojiny, předpoklad $a = 1500 \text{ mm}$
 t_w tloušťka stojiny

$$\eta = \sqrt{\frac{0,75 a t_w^3 \sinh^2\left(\frac{\pi h_w}{a}\right)}{I_{f,t} \left[\sinh\left(\frac{2\pi h_w}{a}\right) - \frac{2\pi h_w}{a} \right]}} =$$

$$\eta = \sqrt{\frac{0,75 \cdot 1500 \cdot 15^3 \sinh^2\left(\frac{\pi \cdot 1128}{1500}\right)}{8,00 \cdot 10^6 \left[\sinh\left(\frac{2\pi \cdot 1128}{1500}\right) - \frac{2\pi \cdot 1128}{1500} \right]}} = 0,504$$

kde h_w je výška stojiny mezi pásnicemi
 $I_{f,t}$ moment tuhosti v prostém kroucení horní pásnice

$$I_{f,t} = \frac{1}{3} (b - 0,63 t_f) t_f^3 = \frac{1}{3} \cdot (400 - 0,63 \cdot 40) \cdot 40^3 = 8,00 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

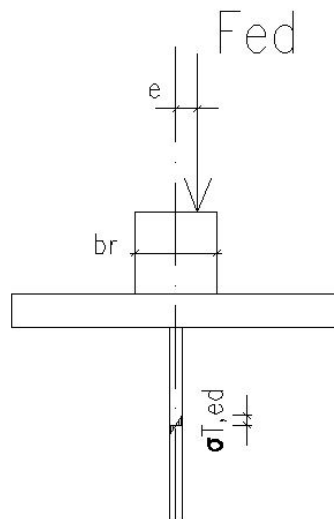
kde b, t_f jsou šířka a tloušťka horní pásnice

Kroučící moment, viz odst. 5.7.3(2) ČSN EN 1993-6)

$$T_{Ed} = F_{Ed} e = 571 \cdot 10^3 \cdot 25 = 14,3 \text{ kNm}$$

kde F_{Ed} je návrhová hodnota kolového zatížení
 e excentricita kolového zatížení

$$e = 0,25 b_r = 0,25 \cdot 100 = 25 \text{ mm}, \text{ s omezením } e \geq 0,5 t_w, 25 \text{ mm} \geq 7,5 \text{ mm}$$



Únosnost horního okraje stojiny při dvojosé napjatosti

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} = 126 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{oz,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 132,2 + 58,4 = 190,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{oxz,Ed} = 15,2 + 26,4 = 41,6 \text{ MPa}$$

kde $\sigma_{m,Ed} = 126 \text{ MPa}$

$$\sigma_{oz,Ed} = 132,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{T,Ed} = 58,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,Ed} = 15,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{oxz,Ed} = 26,4 \text{ MPa}$$

Podmínka spolehlivosti

$$\left(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2 \right) \cdot \left(\frac{1}{f_y} \right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(126^2 + 190,6^2 - 126 \cdot 190,6 + 3 \cdot 41,6^2 \right) \cdot \left(\frac{1,00}{235} \right)^2 = 0,61 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVÍ}$$

b) Posuzuji pro postavení vyvozující velkou posouvající sílu současně s osamělým břemenem

$$V_{Ed} = R_{a,F} + R_{a,g} = 1101 + 51,1 = 1152,1 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = F_1 = 571 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0$$

Globální smykové napětí

$$\tau_{v,Ed} = \frac{1152,1 \cdot 10^3 \cdot 8,67 \cdot 10^6}{11,5 \cdot 10^9 \cdot 15} = 57,1 \text{ MPa}$$

Únosnost horního okraje stojiny při dvojosé napjatosti

$$\sigma_{x,Ed} = 0$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{oz,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 132,2 + 58,4 = 190,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{oxz,Ed} = 15,2 + 26,4 = 41,6 \text{ MPa}$$

Podmínka spolehlivosti

$$\left(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2 \right) \cdot \left(\frac{1}{f_y} \right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(0^2 + 190,6^2 - 0 \cdot 190,6 + 3 \cdot 41,6^2 \right) \cdot \left(\frac{1,00}{235} \right)^2 = 0,76 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVÍ}$$

8.5.1.3.4. Brzdné síly ve skupině zatížení č. 1 a jejich účinky

Návrhová hodnota brzdné síly podélného pojezdu

$$F_L = \gamma_Q \phi_s \sum H_{L,2} = 1,35 \cdot 1,5 \cdot (13,9 + 19) = 66,7 \text{ kN}$$

kde $H_{L,2}$ je podélná vodorovná síla od rozjezdu nebo brzdění jeřábu

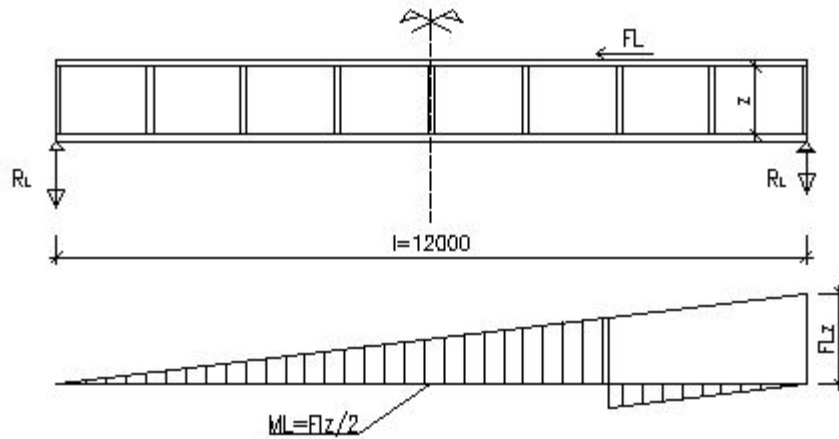
ϕ_5 dynamický součinitel pro hnací síly

γ_Q dílčí součinitel proměnného zatížení

Svislá vzdálenost temene kolejnice od podpory je

$$z = h + h_r = 1200 + 100 = 1300 \text{ mm}$$

kde h, h_r jsou výška hlavního nosníku jeřabové dráhy a výška čtvercové kolejnice



Podporová reakce

$$R_L = \frac{1}{l} F_L z = \frac{1}{12,0} \cdot 66,7 \cdot 1,3 = 7,30 \text{ kN}$$

Moment uprostřed rozpětí nosníku

$$M_L = \frac{1}{2} F_L z = \frac{1}{2} \cdot 66,7 \cdot 1,3 = 43,8 \text{ kNm}$$

Globální ohybové napětí od momentu

$$\sigma_{m1,Ed} = \frac{M_L}{W_{el,y,1}} = \frac{43,8 \cdot 10^6}{20,5 \cdot 10^6} = 2,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m1,Ed} = \frac{M_L}{W_{el,y,2}} = \frac{43,8 \cdot 10^6}{18,0 \cdot 10^6} = 2,4 \text{ MPa}$$

kde $W_{el,y,1}, W_{el,y,2}$ je průřezový modul

Globální tlakové napětí

$$\sigma_{c,Ed} = \frac{F_L}{A} = \frac{66,7 \cdot 10^3}{45,7 \cdot 10^3} = 1,5 \text{ MPa}$$

kde A je průřezová plocha hlavního nosníku

Návrhová hodnota příčné síly

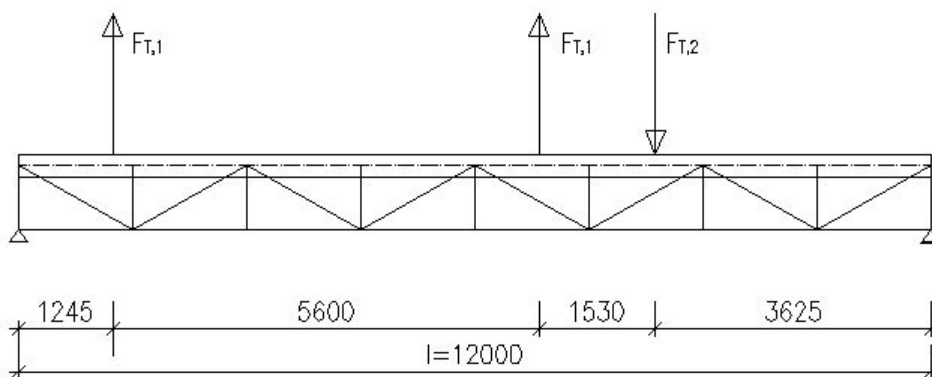
$$F_T = \gamma_Q \phi_5 H_{T,2} = 1,35 \cdot 1,5 \cdot 15,02 = 30,4 \text{ kN} \quad \dots \text{pro } 50/12,5 \text{ t}$$

$$F_T = \gamma_Q \phi_5 H_{T,2} = 1,35 \cdot 1,5 \cdot 10,96 = 22,2 \text{ kN} \quad \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

kde $H_{T,2}$ je příčná vodorovná síla od rozjezdu nebo brzdění jeřábu

ϕ_5 dynamický součinitel

γ_Q dílčí součinitel proměnného zatížení



Ohybový moment M_T vlivem mimostyčného zatížení silami $F_{T,1} = 19,6$ kN a $F_{T,2} = 17,7$ kN

$$M_T = 0,8 \frac{F_T a}{4} = 0,8 \cdot \frac{30,2 \cdot 1,5}{4} = 9,06 \text{ kNm}$$

Ohybové napětí v horní pásnici

$$\sigma_{mt,Ed} = \frac{M_T}{W_{f,pl,z}} = \frac{6 M_T}{t_f b^2} = \frac{6 \cdot 9,06 \cdot 10^6}{40 \cdot 400^2} = 8,5 \text{ MPa}$$

kde $W_{f,pl,z}$ je průřezový modul horní pásnice
 b, t_f šířka a tloušťka horní pásnice

8.5.1.3.5. Posouzení pásnic při jednoosé napjatosti – síly skupiny č. 1

Únosnost pásnic při jednoosé napjatosti ověříme podle podmínky spolehlivosti
 – za účinek zatížení v horní pásnici

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ml,Ed} + \sigma_{c,Ed} + \sigma_{mt,Ed}$$

– za účinek zatížení ve spodní pásnici

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ml,Ed} + \sigma_{c,Ed}$$

kde $\sigma_{m,Ed} = 135$ MPa, resp. $\sigma_{m,Ed} = 154$ MPa

$\sigma_{ml,Ed} = 2,1$ MPa, resp. $\sigma_{ml,Ed} = 2,4$ MPa

$\sigma_{c,Ed} = 1,5$ MPa

$\sigma_{mt,Ed} = 8,5$ MPa

Podmínka spolehlivosti je

– pro horní pásnici

$$135 + 2,1 + 1,5 + 8,5 = 147 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVÍ}$$

– pro spodní pásnici

$$154 + 2,4 + 1,5 = 157,9 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVÍ}$$

8.5.1.3.6. Posouzení pásnic při dvojosé napjatosti – síly skupiny č. 1

Únosnost horního okraje stojiny při dvojosé napjatosti ověříme podle podmínky

spolehlivosti

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ml,Ed} + \sigma_{c,Ed} = 135 + 2,1 + 1,5 = 138,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{oz,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 132,2 + 58,4 = 190,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{oxz,Ed} = 15,2 + 26,4 = 41,6 \text{ MPa}$$

kde $\sigma_{m,Ed} = 135 \text{ MPa}$

$$\sigma_{ml,Ed} = 2,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,Ed} = 1,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{oz,Ed} = 132,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{T,Ed} = 58,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,Ed} = 15,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{oxz,Ed} = 26,4 \text{ MPa}$$

Podmínka spolehlivosti

$$\left(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2 \right) \cdot \left(\frac{1}{f_y} \right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(138,6^2 + 190,6^2 - 138,6 \cdot 190,6 + 3 \cdot 41,6^2 \right) \cdot \left(\frac{1}{235} \right)^2 = 0,62 \leq 1,0$$

...VYHOVUJE

8.5.1.4. Posouzení rozhodujících průřezů hlavního nosníku jeřábové dráhy pro kombinaci zatížení s maximálními bočními rázy

8.5.1.4.1. Svislé tlaky kol

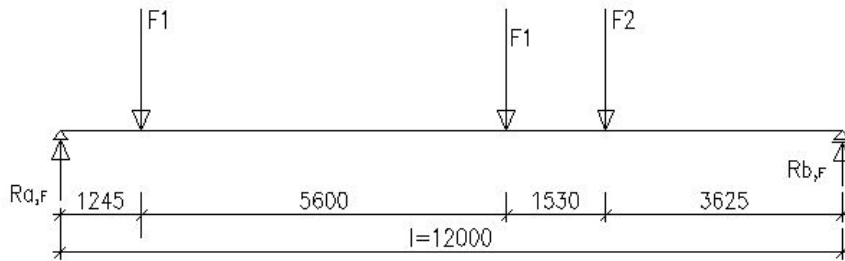
Rozhodující stálé zatížení a zatížení skupiny č. 5. Návrhové hodnoty:

$$F_1 = \gamma_Q (\phi_4 Q_{C,r,max} + \phi_4 Q_{H,r,max}) = 1,35 \cdot (1,0 \cdot 142,8 + 1,0 \cdot 230,26) = 498 \text{ kN}$$

...pro 50/12,5 t

$$F_2 = \gamma_Q (\phi_4 Q_{C,r,max} + \phi_4 Q_{H,r,max}) = 1,35 \cdot (1,0 \cdot 105,2 + 1,0 \cdot 148,49) = 340 \text{ kN}$$

kde $Q_{C,r,max}$ je maximální svislé zatížení od kola jeřábu způsobené jeho vlastní tíhou
 $Q_{H,r,max}$ maximální svislé zatížení od kola jeřábu způsobené zatížením kladkostroje
 ϕ_4 dynamický součinitel vyjadřující dynamické účinky vznikající při pojezdu jeřábu na jeřábové dráze
 γ_Q dílčí součinitel proměnného zatížení



Příslušné reakce určené pro návrhové zatížení svislými tlaky kol jsou

$$R_{a,F} = \frac{498 \cdot (10,755 + 5,155) + 340 \cdot 3,625}{12,0} = 758 \text{ kN}$$

Ohybový moment $M_{max,F}$

$$M_{max,F} = R_{a,F} \cdot 6,845 - F_1 \cdot 5,6 = 758 \cdot 6,845 - 498 \cdot 5,6 = 2417 \text{ kNm}$$

Návrhová hodnota ohybového momentu od kombinace se stálým zatížením

$$M_{Ed} = M_g + M_{max,F} = 153 + 2417 = 2570 \text{ kNm}$$

Globální ohybové napětí od M_{Ed}

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y}} = \frac{2570 \cdot 10^6}{20,5 \cdot 10^6} = 125 \text{ MPa}$$

8.5.1.4.2. Boční rázy a jejich účinky

Návrhová hodnota vodorovné příčné síly od přičení jeřábu

$$F_{T,1} = \gamma_Q H_{S,2,T} = 1,35 \cdot 112 = 149 \text{ kN} \quad \dots \text{pro } 50/12,5 \text{ t}$$

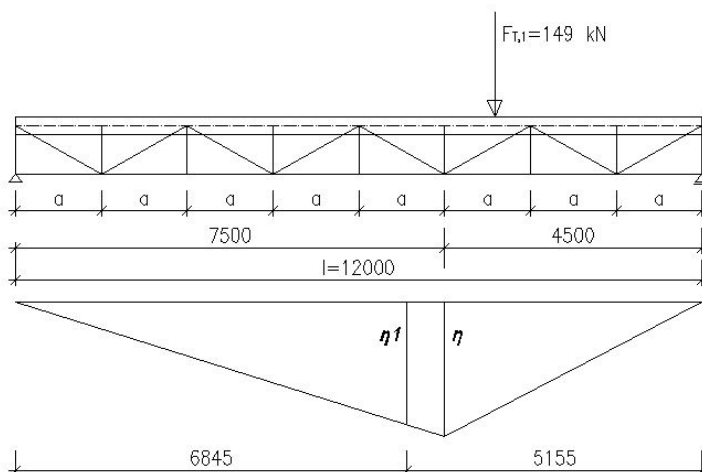
$$F_{T,2} = \gamma_Q H_{S,2,T} = 1,35 \cdot 76 = 101 \text{ kN} \quad \dots \text{pro } 32/8 \text{ t}$$

kde $H_{S,2,T}$ je příčná vodorovná síla od kola způsobená přičením jeřábu
 γ_Q dílčí součinitel proměnného zatížení

Teoretická výška nosníku je $h_{sg} = 1,2$ m, pořadnice příčinkové čáry osové síly N_T jsou

$$\eta = \frac{x \cdot x'}{l} \cdot \frac{1}{h_{sg}} = \frac{7,5 \cdot 4,5}{12,0} \cdot \frac{1}{1,2} = 2,344$$

$$\eta_1 = 2,344 \cdot \frac{6,845}{7,5} = 2,139$$



Osová síla v horním páse hlavního nosníku jeřábové dráhy

$$N_T = F_{T,1} \eta_1 = 149 \cdot 2,139 = 319 \text{ kN}$$

Průřezová plocha pásu přenášejícího osovou sílu (dle 9.1(2) ČSN EN 1993-1-5)

$$A_{ch} = b t_f + 15 \varepsilon t_w^2 = 400 \cdot 40 + 15 \cdot 1,0 \cdot 15^2 = 19,40 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Tlakové napětí v průřezu od síly $N_T = 319 \text{ kN}$

$$\sigma_{ct,Ed} = \frac{N_T}{A_{ch}} = \frac{319 \cdot 10^3}{19,4 \cdot 10^3} = 16,4 \text{ MPa}$$

Místní ohybový moment M_T vlivem mimostýčného zatížení silou F_T

$$M_T = 0,8 \frac{F_{T,1} a}{4} = 0,8 \cdot \frac{149 \cdot 1,5}{4} = 44,7 \text{ kNm}$$

Ohybové napětí krajních pásnic

$$\sigma_{mt,Ed} = \frac{M_T}{W_{f,pl,z}} = \frac{6 M_T}{t_f b^2} = \frac{6 \cdot 44,7 \cdot 10^6}{40 \cdot 400^2} = 41,9 \text{ MPa}$$

kde $W_{f,pl,z}$ je průřezový modul pásnice
 b, t_f šířka a tloušťka pásnice

8.5.1.4.3. Posouzení horní pásnice při jednoosé napjatosti pro kombinaci zatížení se svislými i vodorovnými silami

Únosnost horní pásnice horní pásnice ověříme podle podmínky spolehlivosti

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ct,Ed} + \sigma_{mt,Ed}$$

$$135 + 16,4 + 41,9 = 193,3 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa} \dots \text{ VYHOVÍ}$$

kde $\sigma_{m,Ed} = 135 \text{ MPa}$

$$\sigma_{ct,Ed} = 16,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{mt,Ed} = 41,9 \text{ MPa}$$

8.5.1.5. Posouzení hlavního nosníku jeřábové dráhy na klopení

Tlakovou osovou sílu konvenčního tlačného pásu lze uvažovat rovnou ohybovému momentu od svislého zatížení vydělenému vzdáleností těžišť pásnic.

Vzdálenost průřezů tlačného pásu L_c zajištěných proti vybočení z roviny prvotního ohybu je rovna délce příhrady vodorovného výztužného nosníku $a = 1500 \text{ mm}$.

Plocha a moment setrvačnosti konvenčního tlačného pásu

$$A_c = b t_{f1} + \frac{1}{5} h_w t_w = 400 \cdot 40 + \frac{1}{5} \cdot 1128 \cdot 15 = 19,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$I_c = \frac{1}{12} \left(t_{f1} b^3 + \frac{1}{5} h_w t_w^3 \right) = \frac{1}{12} \cdot \left(40 \cdot 400^3 + \frac{1}{5} \cdot 1128 \cdot 15^3 \right) = 213 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Poměrná štíhlost pásu (viz odst. 6.3.1.3(1) ČSN EN 1993-1-1)

$$\bar{\lambda}_f = \frac{L_c}{\pi} \sqrt{\frac{f_y A_c}{E I_c}} = \frac{1500}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{235 \cdot 19,4 \cdot 10^3}{210\,000 \cdot 213 \cdot 10^6}} = 0,15$$

kde f_y je mez kluzu
 E modul pružnosti v tahu a tlaku, roven 210 000 MPa (viz odst. 3.2.6(1) ČSN EN 1993-1-1)

$$\bar{\lambda}_f \leq 0,2 \quad \dots \text{klopení není nutné uvažovat (viz odst. 6.3.1.2.(4) ČSN EN 1993-1-1)}$$

8.5.1.6. Posouzení hlavního nosníku jeřábové dráhy na boulení

8.5.1.6.1. Únosnost průřezu a souvisící parametry

a) Rozmístění příčných výztuh

- koncové působící jako netuhé ve smyslu odst. 9.3.2(1) ČSN EN 1993-1-5,
- mezilehlé, rozmístěné ve vzdálenostech $a = 1500$ mm (viz obr. 5.15), působící jako tuhé ve smyslu odst. 9.3.3(3) ČSN EN 1993-1-5

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{1128}{15} = 75,2 > \frac{72 \varepsilon}{\eta} = \frac{72 \cdot 1,00}{1,20} = 60$$

kde h_w, t_w jsou výška a tloušťka stojiny
 $\eta = 1,20$ pro ocel S 235 (viz odst. 5.1(2) ČSN EN 1993-1-5),
 $\varepsilon = 1,00$ pro ocel S 235

b) Únosnost ve smyku

Příspěvek k únosnosti ve smyku zahrnující působení částečného tahového pole stojiny se určí podle vztahu (viz rovnici (5.2) ČSN EN 1993-1-5)

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w h_w t_w f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = \frac{1,14 \cdot 1128 \cdot 15 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 2617 \text{ kN}$$

kde h_w, t_w jsou výška a tloušťka stojiny
 f_y, γ_{M1} mez kluzu a dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
 χ_w součinitel boulení, který se pro stojinu s netuhou koncovou výztuhou získá ze vztahu (viz tab. 5.1 ČSN EN 1993-1-5)

$$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{0,73} = 1,14, \text{ s omezením } \chi_w \leq \eta$$

kde $\eta = 1,20$ pro ocel S 235
 $\bar{\lambda}_w$ je poměrná štíhlost, která se pro stojinu s mezilehlými příčnými výztuhami bere (viz rovnici (5.6) ČSN EN 1993-1-5)

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 t_w \varepsilon \sqrt{k_\tau}} = \frac{1128}{37,4 \cdot 15 \cdot 1,00 \cdot \sqrt{7,60}} = 0,73$$

kde ε je parametr
 k_τ součinitel kritického napětí, který se pro stranový poměr $\alpha = a / h_w \geq 1,0$ získá ze vztahu (viz odst. A.3(1) ČSN EN 1993-1-5)

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{1128}{1500} \right)^2 = 7,60$$

kde a je vzdálenost mezi sousedními příčnými výztuhami

Příspěvek k únosnosti ve smyku zahrnující zvětšení účinků tahového pole v důsledku lokální ohybové únosnosti pásnic se stanoví ze vztahu (viz odst. 5.4(1) ČSN EN 1993-1-5)

$$V_{bf,Rd} = \frac{b t_f^2 f_y}{c \gamma_{M1}} = \frac{400 \cdot 32^2 \cdot 235}{427 \cdot 1,00} = 225 \text{ kN}$$

kde b, t_f jsou šířka a tloušťka spodní pásnice
 c délka ukotvení tahového pole v pásnici, která se vypočte ze vztahu

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b t_f^2}{t_w h_w^2} \right) = 1500 \cdot \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot 400 \cdot 32^2}{15 \cdot 1128^2} \right) = 427 \text{ mm}$$

c) Únosnost při místním příčném zatížení

$$F_{Rd} = \frac{\chi_F l_y t_w f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,595 \cdot 810 \cdot 15 \cdot 235}{1,00} = 1699 \text{ kN}$$

kde l_y je účinná zatěžovací délka,
 t_w tloušťka stojiny
 f_y, γ_{M1} mez kluzu a dílčí součinitel spolehlivosti materiálu (viz (5.36), (5.39)),

χ_F součinitel boulení (viz rovnice (6.3) ČSN EN 1993-1-5)

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,84} = 0,595, \chi_F \leq 1,0$$

kde $\bar{\lambda}_F$ je poměrná štíhlost, která se bere (viz rovnice (6.4) ČSN EN 1993-1-5)

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_y}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{810 \cdot 15 \cdot 235}{4032 \cdot 10^3}} = 0,84$$

kde F_{cr} je kritická síla (viz rovnice (6.5) ČSN EN 1993-5)

$$F_{cr} = 0,9 k_F E \frac{t_w^3}{h_w} = 0,9 \cdot 7,13 \cdot 210\,000 \cdot \frac{15^3}{1128} = 4032 \text{ kN}$$

kde h_w je výška stojiny mezi pásnicemi
 E modul pružnosti v tahu a tlaku, roven 210 000 MPa
 k_F součinitel kritické síly pro přenos příčného zatížení smykovými silami ve stojině (viz obr. 6.1(a) ČSN EN 1993-1-5)

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 6 + 2 \cdot \left(\frac{1128}{1500} \right)^2 = 7,13$$

kde a je vzdálenost mezi sousedními příčnými výztuhami

Účinná zatěžovací délka se pro přenos příčného zatížení smykovými silami ve stojině vypočte ze vztahu (viz odst. 6.5(2) ČSN EN 1993-1-5)

$$l_y = s_s + 2 t_f \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right) = 208 + 2 \cdot 40 \cdot \left(1 + \sqrt{26,7 + 15,9} \right) = 810 \text{ mm},$$

$l_y \leq a$

kde s_s je roznášecí délka příčného zatížení,
 t_f tloušťka horní čili zatížené pásnice (viz obr. 5.5),
 m_1, m_2 bezrozměrné parametry (viz odst. 6.5(1) ČSN EN 1993-1-5)

$$m_1 = \frac{b}{t_w} = \frac{400}{15} = 26,7$$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2 = 0,02 \cdot \left(\frac{1128}{40} \right)^2 = 15,9 \quad \text{pro } \bar{\lambda}_F > 0,5, \text{ jinak } m_2 = 0$$

Roznášecí délka na horním povrchu horní pásnice od zatížení kolem jeřábu působícím na kolejnici (viz odst. 6.5.2(1) ČSN EN 1993-6)

$$s_s = l_{eff} - 2 t_f = 288 - 2 \cdot 40 = 208 \text{ mm}$$

kde l_{eff} je účinná roznášecí délka na spodním povrchu horní pásnice

d) Únosnost při působení normálových napětí

Zatříděním průřezu kritérii do třídy 3 je možno vytvořit plastický moment únosností, boulení tedy není třeba uvažovat (viz odst. 5.5.2(1) ČSN EN 1993-1-1). Průřez se posuzuje pouze na prostou pevnost s použitím průřezových charakteristik neredukovaného průřezu.

Návrhová plastická momentová únosnost průřezu složeného pouze z účinných ploch pásnic (viz odst. 7.1(3) ČSN EN 1993-1-5)

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{f,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{14,9 \cdot 10^6 \cdot 235}{1,00} = 3502 \text{ kNm}$$

kde f_y, γ_{M0} jsou mez kluzu a dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
 $W_{f,y}$ plastický modul průřezu složeného z účinných ploch pásnic, který se může vzít jako součin účinné plochy pásnice s menší osovou únosností a vzdálenosti mezi těžišti pásnic, tj.

$$W_{f,y} = \frac{1}{2} b t_f (h + h_w) = \frac{1}{2} \cdot 400 \cdot 32 \cdot (1200 + 1128) = 14,9 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

kde b, t_f jsou šířka a tloušťka pásnice
 h, h_w výška nosníku a výška stojiny mezi pásnicemi

Návrhová plastická momentová únosnost průřezu složeného z účinných ploch pásnic a plné plochy stojiny (viz rovnici (6.13) ČSN EN 1993-1-1)

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{21,4 \cdot 10^6 \cdot 235}{1,00} = 5029 \text{ kNm}$$

kde $W_{pl,y}$ je plastický průřezový modul, který se vypočte ze vztahu

$$W_{pl,y} = t_w x (2 e_1 - x) + t_{f1} (b - t_w) (2 e_1 - t_{f1}) =$$

$$= 15 \cdot 497 \cdot (2 \cdot 562 - 497) + 40 \cdot (400 - 15) \cdot (2 \cdot 562 - 40) = 21,4 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

kde t_{f1} je tloušťka horní pásnice,

t_w tloušťka stojiny,

e_1 vzdálenost horního krajního vlákna nosníku od těžišťové osy y

$$x = \frac{1}{2} \left(h - (t_{f1} - t_{f2}) \left(\frac{b}{t_w} - 1 \right) \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(1200 - (40 - 32) \left(\frac{400}{15} - 1 \right) \right) = 497 \text{ mm}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{16,8 \cdot 10^6 \cdot 235}{1,00} = 3948 \text{ kNm}$$

Návrhová osová únosnost průřezu složeného pouze z pásnic pro korekční součinitel

$$\frac{(A_{f1} + A_{f2}) f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(t_{f1} + t_{f2}) b f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(40 + 32) \cdot 400 \cdot 235}{1,00} = 6768 \text{ kN}$$

8.5.1.6.2. Posouzení rozhodujících průřezů pro kombinaci zatížení s maximálními svislými tlaky kol

a) Příklad s významným ohybovým momentem

Maximální ohybový moment M_{max} ve vzdálenosti $x = a - a_m = 1500 - 564 = 936 \text{ mm}$ od kraje nosníku

$$a_m = \min \{0,4 a; 0,5 h_w\} = \{0,4 \cdot 1500; 0,5 \cdot 1128\} = 564 \text{ mm}$$

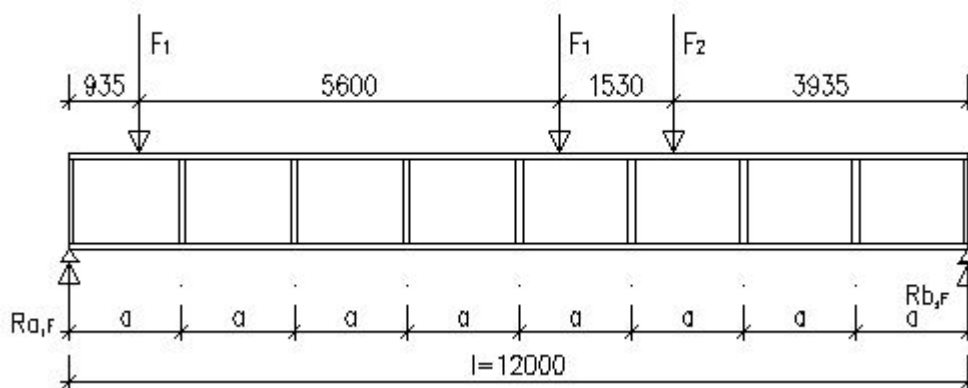
kde a_m je vzdálenost od příčné výztuhy na více namáhané straně pole (viz odst. 4.6(3) ČSN EN 1993-1-5)

Výslednice

$$R = 2 F_1 + F_2 = 2 \cdot 571 + 387 = 1529 \text{ kN}$$

Reakce viz obr. 5.1a,b

$$R_{a,F} = \frac{571 \cdot (11,064 + 5,464) + 387 \cdot 3,934}{12,0} = 896 \text{ kN}$$



Síly v koncovém poli

$$M_{Ed} = R_{a,F} \cdot x = 896 \cdot 0,936 = 831 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = F_L = 67,4 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = M_T = 9,06 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = R_{a,q} + R_{a,F} = 51,1 + 896 = 947 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = F_1 = 571 \text{ kN}$$

Únosnost průřezu při působení normálových napětí ověříme podle podmínky spolehlivosti (viz odst. 4.6(1) ČSN EN 1993-1-5 a 6.2.9.3(2), 6.2.9.3(1) ČSN

EN 1993-1-1)

$$\sigma_{s,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y}} + \sigma_{c,Ed} + \sigma_{mt,Ed} = \frac{831 \cdot 10^6}{20,5 \cdot 10^6} + 1,5 + 5,5 = 47,5 \text{ MPa}$$

kde M_{Ed} je návrhová hodnota ohybového momentu od svislých tlaků kol,

$W_{pl,y}$ průřezový modul pro krajní vlákno nosníku
 $\sigma_{c,Ed}$ tlakové napětí od návrhové osové síly $N_{Ed} = F_L$
 $\sigma_{mt,Ed}$ ohybové napětí od návrhového vodorovného ohybového momentu $M_{z,Ed} = M_T$

Podmínka spolehlivosti

$$\sigma_{s,Ed} = 47,5 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVÍ}$$

Únosnost průřezu ve smyku ověříme podle podmínky spolehlivosti (viz odst. 5.5(1), 5.2(1) ČSN EN 1993-1-5)

$$\frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd}} = \frac{947}{2617 + 225} = 0,34 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVÍ}$$

Únosnost průřezu při místním příčném zatížení ověříme podle podmínky spolehlivosti (viz odst. 6.6(1), 6.2(1) ČSN EN 1993-1-5)

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{571}{1699} = 0,34 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVÍ}$$

Únosnost průřezu při interakci ohybu a smyku ověříme podle podmínek spolehlivosti (viz odst. 5.5(1), 5.2(1), 5.4(1), odst. 7.1(1) ČSN EN 1993-1-5)

$$M_{Ed} \leq M_{f,Rd} \wedge V_{Ed} \leq V_{bw,Rd}$$

$$831 \text{ kNm} \leq 3502 \text{ kNm} \dots \text{VYHOVÍ}$$

$$947 \text{ kN} \leq 2617 \text{ kN} \dots \text{VYHOVÍ}$$

Únosnost průřezu při interakci ohybu, tlaku a smyku ověříme podle podmínek spolehlivosti s použitím korekčního součinitele

$$M_{Ed} \leq M_{f,Rd} \wedge V_{Ed} \leq V_{bw,Rd}$$

$$831 \text{ kNm} \leq \left(1 - \frac{67,4}{6768}\right) \cdot 3502 = 3467 \text{ kNm} \dots \text{VYHOVÍ}$$

$$947 \text{ kN} \leq 2617 \text{ kN} \dots \text{VYHOVÍ}$$

$$M_{Ed} = 831 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 67,4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 947 \text{ kN}$$

$$M_{f,Rd} = 3502 \text{ kNm}$$

$$(A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_y / \gamma_{M0} = 6768 \text{ kN} \dots (\text{viz odst. 5.4(2) ČSN EN 1993-1-5})$$

$$V_{bw,Rd} = 2617 \text{ kN}$$

Únosnost průřezu při interakci ohybu, tlaku a osamělé příčné síly ověříme podle podmínky spolehlivosti (viz odst. 7.2(1), 6.6(1), 6.2(1), 4.6(1) ČSN EN 1993-1-5 a 6.2.9.3(2), 6.2.9.3(1) ČSN EN 1993-1-1)

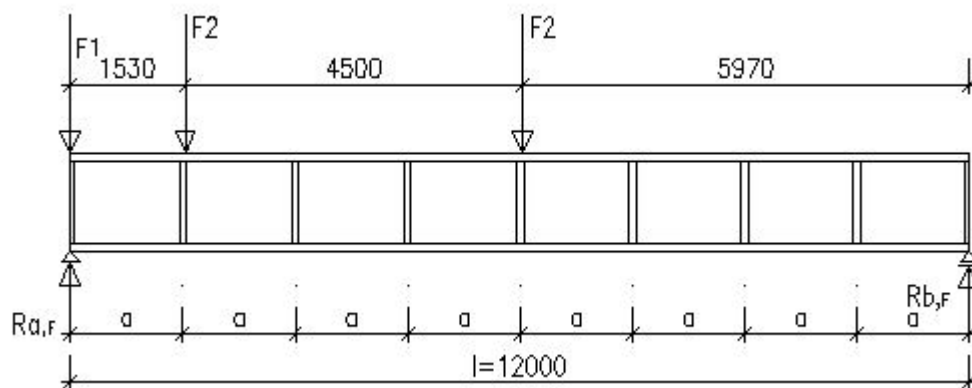
$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} + 0,8 \sigma_{x,Ed} \frac{\gamma_{M0}}{f_y} = \frac{571}{1699} + 0,8 \cdot \frac{47,5}{235} = 0,49 \leq 1,4 \dots \text{VYHOVÍ}$$

$$\sigma_{x,Ed} = 47,5 \text{ MPa}$$

$$F_{Ed} = 571 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 1699 \text{ kN}$$

b) Příklad bez ohybového momentu



Posouzení uvažovaného pole stojiny na tyto účinky

$$V_{Ed} = R_{a,q} + R_{a,F} = 51,1 + 1101 = 1152,1 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = F_1 = 571 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = F_L = 67,4 \text{ kN}$$

Únosnost průřezu při působení normálových napětí netřeba ověřovat, protože se počítá s menší hodnotou návrhového normálového napětí $\sigma_{x,Ed} = \sigma_{c,Ed} = 1,5$ MPa. Respektive i při interakci tlaku a osamělé příčné síly.

Únosnost průřezu ve smyku ověříme podle podmínky spolehlivosti

$$\frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd}} = \frac{1151,1}{2617 + 225} = 0,41 \leq 1,0$$

Únosnost průřezu při interakci tlaku a smyku ověříme podle podmínek spolehlivosti s použitím korekčního součinitele

$$M_{Ed} \leq M_{f,Rd} \wedge V_{Ed} \leq V_{bw,Rd}$$

$$0 \text{ kNm} \leq \left(1 - \frac{67,4}{6768}\right) \cdot 3502 = 3467 \text{ kNm} \dots \text{VYHOVÍ}$$

$$1151,1 \text{ kN} \leq 2617 \text{ kN} \dots \text{VYHOVÍ}$$

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

$$N_{Ed} = 67,4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1151,1 \text{ kN}$$

$$M_{f,Rd} = 3502 \text{ kNm}$$

$$(A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_y / \gamma_{M0} = 6768 \text{ kN} \dots (\text{viz odst. 5.4(2) ČSN EN 1993-1-5})$$

$$V_{bw,Rd} = 2617 \text{ kN}$$

8.5.1.6.3. Posouzení koncových výztuh

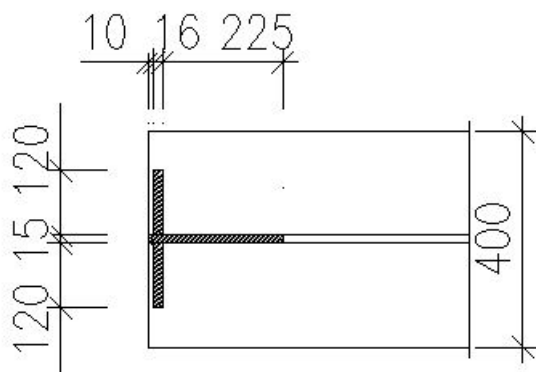
Návrh $2 \times \text{PLO } 120 \times 16$ (viz obr. 5.2). Připojovací svary mají tloušťku 6 mm. Do průřezu výztuhy se započítává průřez vlastních výztužných prvků a spolupůsobící část stojiny o šířce $15 \varepsilon t_w$. Vnitřní spolupůsobící šířka stojiny $s_1 = 15 \cdot 1,0 \cdot 15 = 225$ mm, přečnívající šířka stojiny $s_0 = 10$ mm.

Průřezová plocha koncové výztuhy

$$A_{st} = t_{st} (2 b_{st} + t_w) + (s_1 + s_0) t_w = 16 \cdot (2 \cdot 120 + 15) + (225 + 10) \cdot 15 = 7,61 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti koncové výztuhy k ose totožné se střednicí stojiny

$$\begin{aligned} I_{st} &= \frac{1}{12} (t_{st} (2 b_{st} + t_w)^3 + (s_1 + s_0) t_w^3) = \\ &= \frac{1}{12} \cdot (16 \cdot (2 \cdot 120 + 15)^3 + (225 + 10) \cdot 15^3) = 22,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



Posouzení na vzpěr jako tlačенý prut (viz odst. 9.3.2(1) ČSN EN 1993-1-5).

Výztuhu posuzují na působení maximální reakce $R_{Ed} = 1129$ kN

Podmínka spolehlivosti je (viz odst. 6.3.1.1(1) ČSN EN 1993-1-1)

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

kde $N_{st,b,Rd}$ je návrhová vzpěrná únosnost fiktivního prutu (viz odst. 6.3.1.1(3) ČSN EN 1993-1-1)

$$N_{st,b,Rd} = \frac{\chi A_{st} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 7,61 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,00} = 1788 \text{ kN}$$

kde A_{st} je plocha účinného průřezu výztuhy

χ součinitel vzpěrnosti (viz odst. 6.3.1.2(1) ČSN EN 1993-1-1)

$$\bar{\lambda} = \frac{l_{st,cr}}{\pi} \sqrt{\frac{f_y A_{st}}{E I_{st}}} = \frac{846}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{235 \cdot 7,61 \cdot 10^3}{210\,000 \cdot 22,2 \cdot 10^6}} = 0,17 \dots \bar{\lambda} \leq 0,2 \rightarrow \chi = 1,0$$

(viz obr. 6.4 ČSN EN 1993-1-1)

kde E je modul pružnosti v tahu a tlaku, roven 210 000 MPa

I_{st} moment setrvačnosti účinného průřezu výztuhy

$l_{st,cr}$ vzpěrná délka výztuhy (viz odst. 9.4(2) ČSN EN 1993-1-5)

$$l_{st,cr} = 0,75 h_w = 0,75 \cdot 1128 = 846 \text{ mm}$$

kde h_w je výška stojiny mezi pásnicemi

Podmínka spolehlivosti

$$\frac{R_{Ed}}{N_{st,b,Rd}} = \frac{1129}{1788} = 0,63 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVÍ}$$

8.5.1.6.4. Posouzení mezilehlých výztuh

Návrh $2 \times \text{PLO } 120 \times 10$. Připojovací svary mají tloušťku 4 mm.

Spolupůsobící šířka stojiny $s_1 = 15 \cdot 1,0 \cdot 15 = 225 \text{ mm}$.

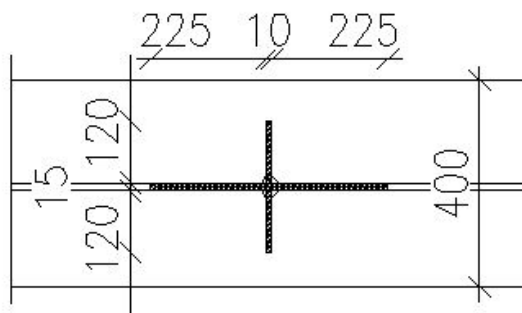
Průřezová plocha

$$A_{st} = t_{st} (2 b_{st} + t_w) + 2 s_1 t_w = 10 \cdot (2 \cdot 120 + 15) + 2 \cdot 225 \cdot 15 = 9,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti

$$I_{st} = \frac{1}{12} (t_{st} (2 b_{st} + t_w)^3 + 2 s_1 t_w^3) =$$

$$= \frac{1}{12} \cdot (12 \cdot (2 \cdot 120 + 15)^3 + 2 \cdot 225 \cdot 15^3) = 13,9 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



a) Posouzení na normálová napětí v nosníku dle čl. 9.2.1 ČSN EN 1993-1-5

– minimální tuhost v ohybu podle odst. 9.2.1(5)

– minimální tuhost v kroucení podle odst. 9.2.1(8)

Stojina je zatříděná do třídy 2, tzn. že není k náchylná k boulení a netřeba ověřovat tuhosti viz výše.

b) Posouzení na smyk a osamělou příčnou sílu

Ověření tuhosti

Moment setrvačnosti účinného průřezu mezilehlé výztuhy působící jako nepoddajná podpora pole stojiny má být při stranovém poměru (viz odst. 9.3.3(3) ČSN EN 1993-1-5)

$$\alpha = a/h_w < \sqrt{2} \quad \alpha = 1500/1128 = 1,33 \leq \sqrt{2}$$

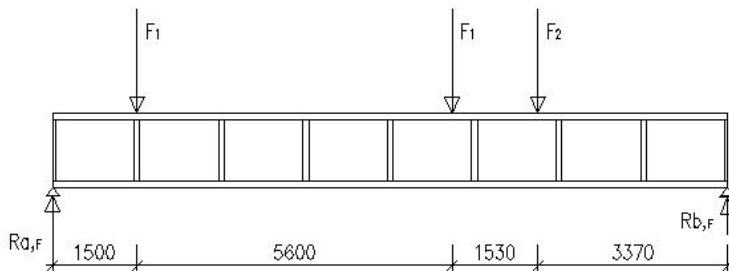
$$I_{st} \geq 1,5 \cdot \frac{h_w^3 \cdot t_w^3}{a^2}$$

$I_{sr} = 13,9 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \geq 1,5 \cdot \frac{1128^3 \cdot 15^3}{1500^2} = 3,23 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \dots \text{VYHOVÍ NA TUHOST}$
 kde h_w, t_w jsou výška a tloušťka stojiny

Ověření pevnosti

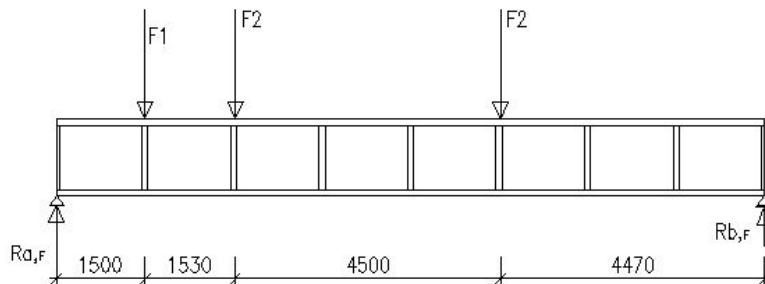
Maximální reakce od postavení břemen v poloze a)

$$R_{a,F} = \frac{571 \cdot (10,5 + 4,9) + 387 \cdot 3,37}{12,0} = 818 \text{ kN}$$



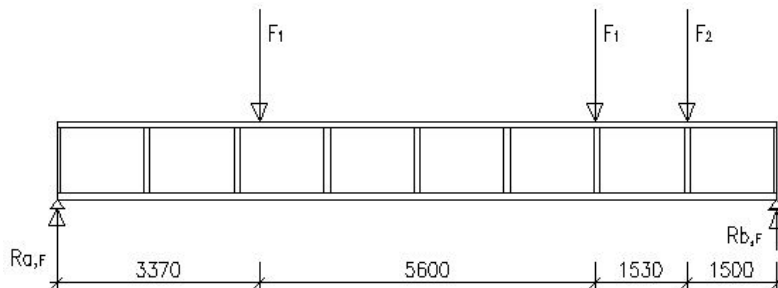
v poloze b)

$$R_{a,F} = \frac{571 \cdot 10,5 + 387 \cdot (8,97 + 4,47)}{12,0} = 910 \text{ kN}$$



v poloze c) je reakce

$$R_{a,F} = \frac{571 \cdot (3,37 + 8,97) + 387 \cdot 10,5}{12,0} = 902 \text{ kN}$$



Posouvající síla

$$V_{Ed} = R_{a,q} + R_{a,F} = 51,1 + 910 = 961 \text{ kN}$$

Mezilehlá výztuha se posuzuje na vzpěrnou únosnost pro osovou sílu (viz odst. 9.4(2), 9.3.3(3) a 9.2.1(6) ČSN EN 1993-1-5)

$$N_{st,Ed} = F_{Ed} + N_{st,ten} + \Delta N_{st} = 571 + 0 + 0 = 571 \text{ kN}$$

kde F_{Ed} je místní příčná síla působící v místě výztuhy
 $N_{st,ten}$ tlaková síla vyvolaná pokritickým působením stojiny ve smyku,

ΔN_{st} přírůstek tlakové síly zahrnující přídavné účinky pokritického působení stojiny v tlaku nebo ohybu.

Tlakovou sílu $N_{st,ten}$ lze brát

$$N_{st,ten} = V_{Ed} \frac{h_w t_w}{\bar{\lambda}_w^2} \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = V_{Ed} \frac{h_w t_w}{\bar{\lambda}_w^2} \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 961 \cdot 10^3 \frac{1128 \cdot 15}{0,73^2} \frac{235}{\sqrt{3} \cdot 1,00} =$$

$$= -3347 \text{ kN} < 0 \rightarrow N_{st,ten} = 0$$

kde V_{Ed} je větší z posouvajících sil po obou stranách výztuhy,
 f_y, γ_{M1} mez kluzu a dílčí součinitel spolehlivosti materiálu (viz (5.36), (5.39)),

$\bar{\lambda}_w$ poměrná štíhlost stojiny ve smyku

Složku tlakové síly ΔN_{st} lze pro stojinu třídy 2 zanedbat

Mezilehlá výztuha se posuzuje na vzpěr jako tlačенý prut podle podmínky spolehlivosti (viz odst. 6.3.1.1(1) ČSN EN 1993-1-1)

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

kde $N_{st,b,Rd}$ je návrhová vzpěrná únosnost fiktivního prutu, kde dosadíme průřezovou plochu A_{st} a moment setrvačnosti I_{st}

Vyčíslení

$$l_{st,cr} = 0,75 \cdot 1128 = 846 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{l_{st,cr}}{\pi} \sqrt{\frac{f_y A_{st}}{E I_{st}}} = \frac{846}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{235 \cdot 9,30 \cdot 10^3}{210\,000 \cdot 13,9 \cdot 10^6}} = 0,23$$

V případě, že $\bar{\lambda} \leq 0,2$, pak $\chi = 1,0$ (viz obr. 6.4 ČSN EN 1993-1-1)

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,23 - 0,2) + 0,23^2] = 0,534$$

$$\chi = \frac{1}{0,534 + \sqrt{0,534^2 - 0,23^2}} = 0,984$$

$$N_{st,b,Rd} = \frac{0,984 \cdot 9,30 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,00} = 2151 \text{ kN}$$

Podmínky spolehlivosti

$$\frac{N_{st,Ed}}{N_{st,b,Rd}} = \frac{571}{2151} = 0,26 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVÍ}$$

8.5.1.6.5. Posouzení účinného podepření tlačené pásnice stojinou

Poměr rozměrů stojiny h_w / t_w splňovat podmínku (viz odst. 8(1) ČSN EN 1993-1-5)

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{k E}{f_y} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

$$\frac{1128}{15} = 75,2 \leq \frac{0,3 \cdot 210\,000}{235} \cdot \sqrt{\frac{1128 \cdot 15}{400 \cdot 40}} = 276 \dots \text{VYHOVÍ NA VTLAČENÍ}$$

kde k je součinitel, který má hodnotu $k = 0,3$ pro pásnici třídy 1
 E modul pružnosti v tahu a tlaku, roven 210 000 MPa
 f_y mez kluzu
 A_w plná plocha stojiny, $A_w = h_w t_w$,
 A_{fc} účinná plocha tlačené pásnice, $A_{fc} = b t_f$

8.5.1.7. Posouzení spoje stojiny a pásnice nosníku (krčních svarů)

8.5.1.7.1. Krční svary pod horní pásnicí

Návrh koutových svarů pod horní pásnicí o účinné tloušťce $a = 16$ mm, nad spodní pásnicí o účinné tloušťce $a = 8$ mm. Posuzuji pro složky napětí σ_{\perp} , τ_{\perp} a τ_{\parallel} (viz čl. 4.5.3.2 ČSN EN 1993-1-8) podle podmínek spolehlivosti

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

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

kde σ_{\perp} je normálové napětí kolmé k účinnému průřezu svaru
 τ_{\perp} smykové napětí (v rovině účinného průřezu) kolmé k ose svaru
 τ_{\parallel} smykové napětí (v rovině účinného průřezu) rovnoběžné s osou svaru

f_u mez pevnosti

γ_{M2} dílčí součinitel spolehlivosti materiálu

β_w korelační součinitel, který se pro ocel S 355 uvažuje hodnotou $\beta_w = 0,90$ (viz tab. 4.1 ČSN EN 1993-1-8).

Krční svary při levé podpoře posuzuji na síly zatížení stálého a skupiny č. 1

$$V_{Ed} = R_{a,q} + R_{a,F} = 51,1 + 1075 = 1126 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = F_1 = 571 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 14,3 \text{ kNm}$$

Je-li $V_{Ed} = 1126 \text{ kN} \leq V_{bw,Rd} = 2617 \text{ kN}$ pak leze uvažovat smykový tok (viz odst. 9.3.5(1) ČSN EN 1993-1-5)

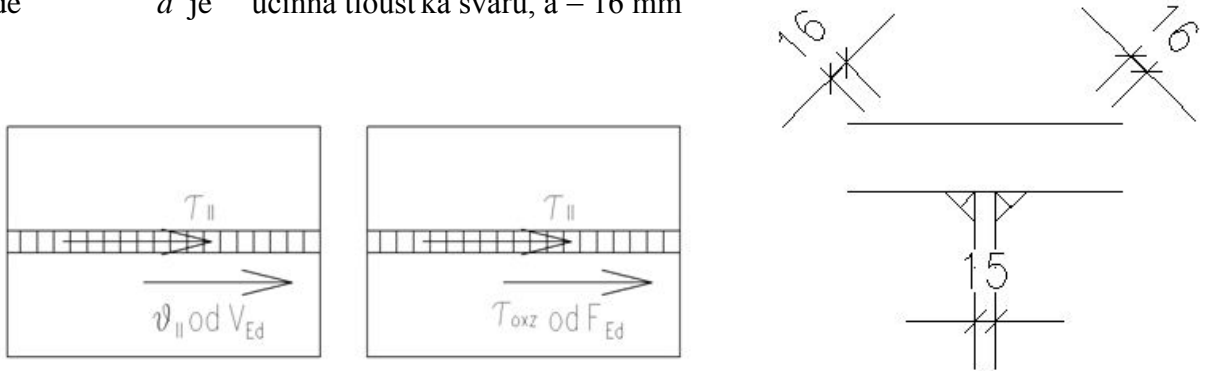
$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{h_w} = \frac{1126 \cdot 10^3}{1128} = 998 \text{ N mm}^{-1}$$

kde h_w je výška stojiny mezi pásnicemi

Vodorovné napětí ve svarech od posouvající síly lze určit podle vztahu

$$\tau_{||} = \frac{v_{Ed}}{2a} = \frac{998}{2 \cdot 16} = 31,2 \text{ MPa}$$

Kde a je účinná tloušťka svaru, $a = 16 \text{ mm}$



Kolové zatížení F_{Ed} působící na horní pásnici vyvoluje v krčních svarech

- svislé napětí σ , jsoucí výslednicí složek σ_{\perp}
- vodorovné napětí neboli smykové napětí rovnoběžné s osou svaru $\tau_{||}$

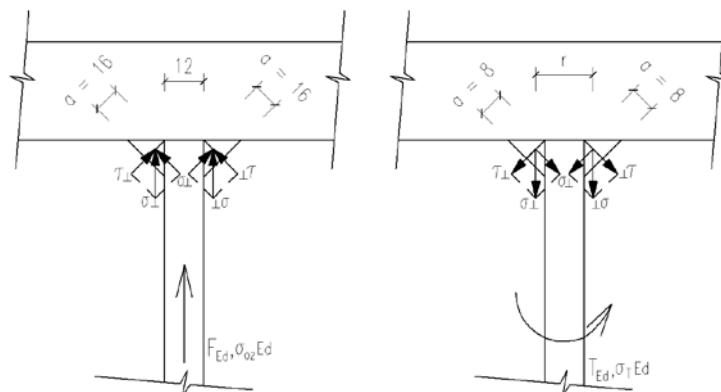
Svislé napětí ve svarech od kolového zatížení

$$\sigma = \sigma_{oz,Ed} \frac{t_w}{2a} = 132,2 \cdot \frac{15}{2 \cdot 16 + 15} = 41,3 \text{ MPa}$$

kde $\sigma_{oz,Ed}$ je lokální svislé tlakové napětí ve stojně
 t_w tloušťka stojiny
 a účinná tloušťka svaru, $a = 16 \text{ mm}$

Napětí σ rozložíme do složek kolmé a rovnoběžné s rovinou účinného průřezu svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{41,3}{\sqrt{2}} = 29,2 \text{ MPa}$$



Vodorovné napětí ve svarech od kolového zatížení

$$\tau_{\parallel} = \tau_{oxz,Ed} \frac{t_w}{2a} = 26,4 \cdot \frac{15}{2 \cdot 16} = 12,4 \text{ MPa}$$

kde $\tau_{oxz,Ed}$ je lokální smykové napětí ve stojině
 t_w tloušťka stojiny
 a účinná tloušťka svaru, $a = 16 \text{ mm}$

Krouticí moment T_{Ed} způsobený příčnou excentricitou kolového zatížení vyvozuje v krčních svarech svislé napětí σ

Svislé napětí ve svarech od krouticího momentu

$$\sigma = \frac{\sigma_{T,Ed} t_w^2}{6 \cdot W} = \frac{58,4 \cdot 15^2}{6 \cdot 328} = 6,8 \text{ MPa}$$

$$W = 1,0 \cdot \frac{\sqrt{2}(t_w + \sqrt{2}a)^3 - (\sqrt{2}-1)t_w^3}{6(t_w + \sqrt{2}a)} = 1,0 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot (15 + \sqrt{2} \cdot 16)^3 - (\sqrt{2}-1) \cdot 15^3}{6 \cdot (15 + \sqrt{2} \cdot 16)} = 328 \text{ mm}^2$$

kde $\sigma_{T,Ed}$ je lokální ohybové napětí ve stojině
 t_w tloušťka stojiny
 W průřezový modul oboustranného koutového svaru včetně stojiny

Napětí σ rozložíme do složek kolmé a rovnoběžné s rovinou účinného průřezu svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{6,8}{\sqrt{2}} = 4,8 \text{ MPa}$$

Jednotlivé složky napětí

$$\sigma_{\perp} = 29,2 + 4,8 = 34 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = 29,2 + 4,8 = 34 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 31,2 + 12,4 = 43,6 \text{ MPa}$$

Podmínky spolehlivosti

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

$$\sqrt{34^2 + 3 \cdot (34^2 + 43,6^2)} = 103 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0,80 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

...SVARY VYHOVÍ

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

$$34 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259 \text{ MPa} \dots \text{SVARY VYHOVÍ}$$

8.5.1.7.2. Krční svary nad dolní pásnicí

Posuzujeme opět na kombinaci zatížení zahrnující stálé zatížení a skupinu zatížení č. 1 oběma jeřáby, jakožto hlavní proměnné zatížení.

$$v_{Ed} = \frac{1180 \cdot 10^3}{1128} = 1016 \text{ N mm}^{-1}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{1016}{2 \cdot 8} = 63,5 \text{ MPa}$$

Podmínka spolehlivosti

$$\sqrt{0^2 + 3 \cdot (0^2 + 63,5^2)} = 110 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0,80 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

... SVARY VYHOVÍ

8.5.2. Mezní stavy použitelnosti

8.5.2.4. Svislé průhyby nosníku

Svislé průhyby hlavního nosníku jeřábové dráhy se mají ověřit podle podmínky spolehlivosti (viz odst. 7.3(1) ČSN EN 1993-6)

$$\delta_{Ed} \leq \delta_{Cd}$$

kde δ_{Ed} je pružné přetvoření od charakteristické kombinace zatížení bez jakýchkoliv dynamických součinitelů
 δ_{Cd} doporučená mezní hodnota přetvoření, tzv. návrhové kritérium použitelnosti (viz též odst. 6.5.1(1) ČSN EN 1990)

Návrhovými kritérii použitelnosti (viz tab. 7.2 ČSN EN 1993-6)

– pro zabránění nadměrného sklonu jeřábové dráhy mezní hodnota svislého průhybu nosníku jeřábové dráhy

$$\delta_{z,Cd} = \frac{l}{600} = \frac{12000}{600} = 20 \text{ mm}$$

– pro vyloučení nadměrných vibrací nosníku jeřábové dráhy mezní hodnota svislého průhybu nosníku jeřábové dráhy

$$\delta_{z,Cd} = 25 \text{ mm}$$

– pro zabránění nadměrného naklonění jeřábu mezní hodnota rozdílu svislých průhybů dvou nosníků tvořících jeřábovou dráhu

$$\Delta h_{c,Cd} = \frac{s}{600} = \frac{28500}{600} = 47,5 \text{ mm}$$

Charakteristické hodnoty statických složek maximálních tlaků kol

Pro jeřáb 50/12,5 t

$$F = Q_{C,r,max} + Q_{H,r,max} = 142,8 + 230,26 = 373 \text{ kN}$$

Pro jeřáb 32/8 t

$$F = Q_{C,r,max} + Q_{H,r,max} = 105,2 + 148,49 = 254 \text{ kN}$$

Charakteristické hodnoty statických složek minimálních tlaků kol

Pro jeřáb 50/12,5 t

$$F = Q_{C,r,(max)} + Q_{H,r,(max)} = 95,2 + 19,73 = 115 \text{ kN}$$

Pro jeřáb 32/8 t

$$F = Q_{C,r,(max)} + Q_{H,r,(max)} = 69,3 + 17,98 = 88 \text{ kN}$$

Průhyb v mm uprostřed rozpětí určíme ze vzorce

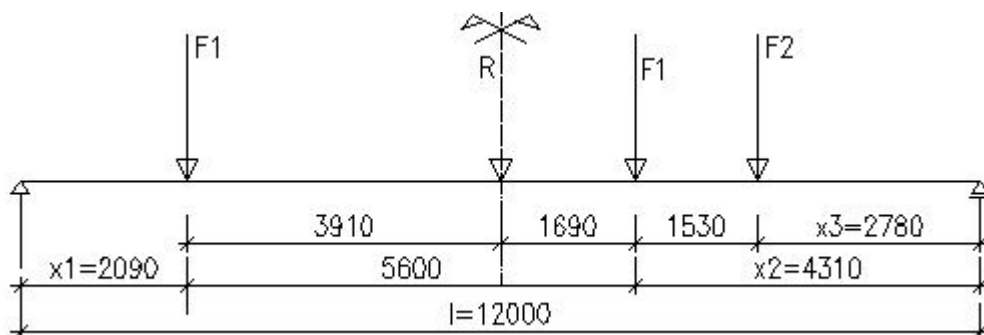
$$\delta = \frac{l^3}{I_y} \sum_{i=1}^n F_i \eta_i$$

kde l je rozpětí nosníku v m

I_y moment setrvačnosti v mm^4

F_i i -té břemeno v kN,

η_i pořadnice příčinkové čáry průhybu pod i -tým břemenem



Postavení pohyblivé soustavy břemen vyvolující maximální svislý průhyb

Pořadnice příčinkové čáry průhybu

- pro poměr $\frac{x_1}{l} = \frac{2,09}{12} = 0,174$ je pořadnice příčinkové čáry $\eta_1 = 49690$

- pro poměr $\frac{x_2}{l} = \frac{4,31}{12} = 0,359$ je pořadnice příčinkové čáry $\eta_2 = 88480$

- pro poměr $\frac{x_3}{l} = \frac{2,78}{12} = 0,232$ je pořadnice příčinkové čáry $\eta_3 = 64080$

Průhyb vyvolaný maximálními svislými tlaky kol F

$$\delta_{F,max} = \frac{12,0^3}{11,5 \cdot 10^9} \cdot (373 \cdot 49690 + 373 \cdot 88480 + 254 \cdot 64080) = 10,2 \text{ mm}$$

Průhyb vyvolaný minimálními svislými tlaky kol F

$$\delta_{F,(\max)} = \frac{12,0^3}{11,5 \cdot 10^9} \cdot (115 \cdot 49690 + 115 \cdot 88480 + 88 \cdot 64080) = 3,4 \text{ mm}$$

Průhyb od stálého zatížení určíme ze vzorce

$$\delta_g = \frac{5}{384} \frac{g l^4}{EI} = \frac{5}{384} \frac{6,3 \cdot 10^3 \cdot 12000^4}{210000 \cdot 10^9} = 0,7 \text{ mm}$$

Výsledné hodnoty průhybů

$$\delta_z = \delta_{F, \max} + \delta_g = 10,2 + 0,7 = 10,9 \text{ mm}$$

$$\Delta h_c = \delta_{F, \max} - \delta_{F,(\max)} = 10,2 - 3,4 = 6,8 \text{ mm}$$

Porovnání v podmínce spolehlivosti s návrhovými kritérii použitelnosti

$$\delta_z = 10,9 \text{ mm} \leq \delta_{z, Cd} = \min \left\{ \begin{array}{l} 20 \text{ mm} \\ 25 \text{ mm} \end{array} \right\} \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\Delta h_c = 6,8 \text{ mm} \leq \Delta h_{c, Cd} = 37,5 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

8.5.3. Mezní stavy únosnosti FAT

8.5.3.1. Únavová pevnost

Materiál hlavního nosníku jeřábové dráhy je ovlivněn vruby v místech připojení příčných výztuh ke stojině a tlačené pásnici, v místě připojení styčnickových plechů vodorovného výztužného nosníku k horní pásnici, v místě průběžného svarového spoje stojiny s pásnicemi a v místě přivaření zarážek k horní pásnici zajišťujících polohu kolejnice.

8.5.3.2. Posouzení pásnic pro rozkmit normálového napětí od ohybového momentu

Rozhodujícími detaily pro posouzení na únavu přenášející maximální rozkmit napětí, jsou

- na horní pásnici připojení zarážek koutovými svary, s referenční únavovou pevností $\Delta\sigma_C = 80 \text{ MPa}$,
- na spodní pásnici průběžné krční koutové svary, s referenční únavovou pevností $\Delta\sigma_C = 112 \text{ MPa}$

Břemeno představující konstantní rozkmit proměnlivého zatížení v ekvivalentním návrhovém spektru zatížení jsou

- Pro jeřáby 50/12,5 t a 32/8 t pracující samostatně, nezávisle na sobě

$$F_1 = Q_{e,\sigma} = 250 \text{ kN}$$

$$F_2 = Q_{e,\sigma} = 171 \text{ kN}$$

- Pro jeřáby 50/12,5 t a 32/8 t pracující společně jako spřažené

$$F_1 = Q_{e,\sigma, \text{dup}} = 161 \text{ kN}$$

$$F_2 = Q_{e,\sigma, \text{dup}} = 108 \text{ kN}$$

kde $Q_{e,\sigma}$ je ekvivalentní zatížení pro poškození únavou způsobené jedním, samostatně působícím jeřábem

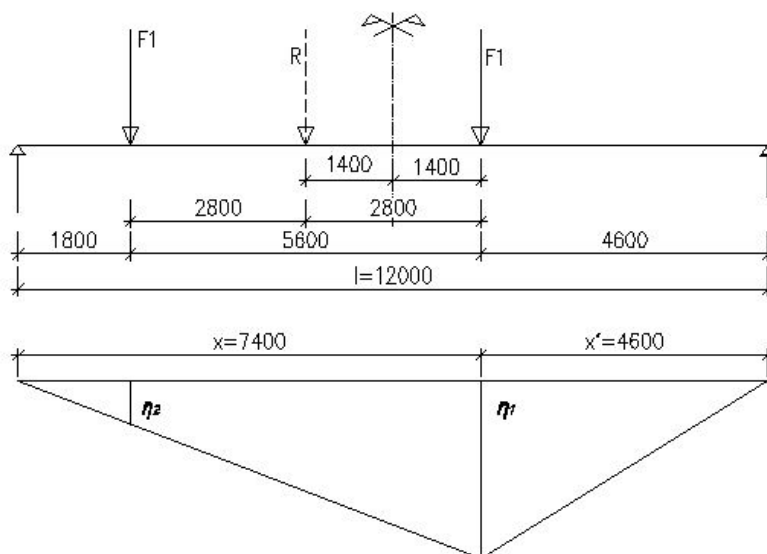
$Q_{e,\sigma,dup}$ ekvivalentní zatížení pro poškození únavou způsobené dvěma jeřáby příležitostně působícími současně

Pořadnice příčinkové čáry ohybového momentu jsou:

- Při postavení břemen od samostatně působícího jeřábu 50/12,5 t

$$\eta_1 = \frac{x \cdot x'}{l} = \frac{7,400 \cdot 4,600}{12,0} = 2,837 \text{ m}$$

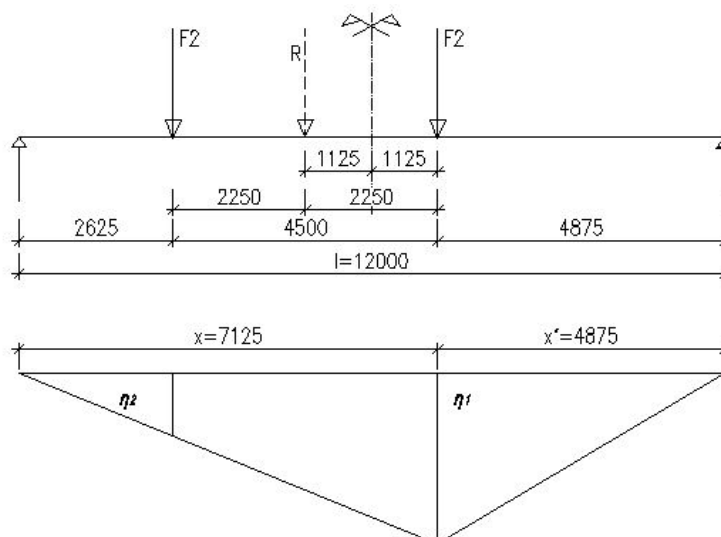
$$\eta_2 = 2,837 \cdot \frac{1,800}{7,400} = 0,690 \text{ m}$$



- Při postavení břemen od samostatně působícího jeřábu 32/8 t

$$\eta_1 = \frac{x \cdot x'}{l} = \frac{7,125 \cdot 4,875}{12,0} = 2,895 \text{ m}$$

$$\eta_2 = 2,895 \cdot \frac{2,625}{7,125} = 1,067 \text{ m}$$

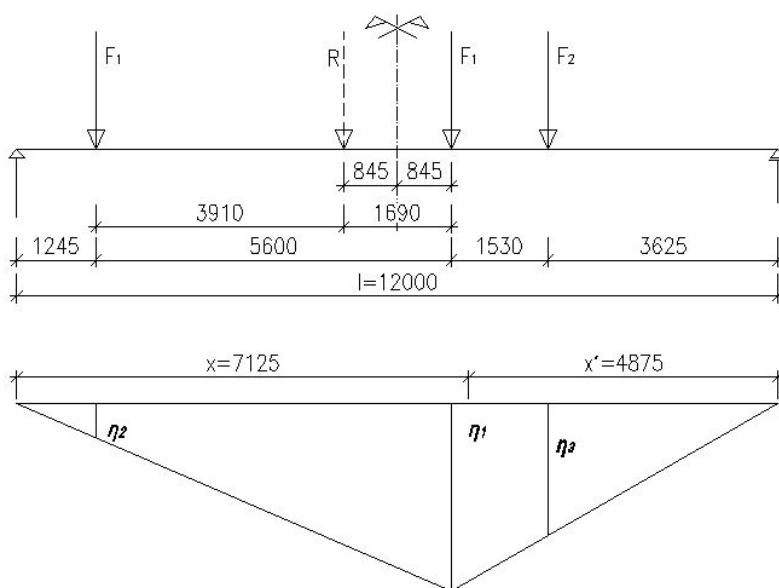


- Při postavení břemen od současně působících jeřábů 50/12,5 t a 32/8 t

$$\eta_1 = \frac{x \cdot x'}{l} = \frac{6,845 \cdot 5,155}{12,0} = 2,940 \text{ m}$$

$$\eta_2 = 2,940 \cdot \frac{1,245}{6,845} = 0,535 \text{ m}$$

$$\eta_3 = 2,940 \cdot \frac{3,625}{5,155} = 2,067 \text{ m}$$



Ekvivalentní rozkmity ohybového momentu činí

- Od samostatně působícího jeřábu 50/12,5 t
 $\Delta M_{E2,1} = F_1 (\eta_2 + \eta_1) = 250 \cdot (0,690 + 2,837) = 882 \text{ kN}$
- Od samostatně působícího jeřábu 32/8 t
 $\Delta M_{E2,2} = F_2 (\eta_2 + \eta_1) = 171 \cdot (1,067 + 2,895) = 678 \text{ kN}$
- Od současně působících jeřábů 32/8 t a 50/12,5 t
 $\Delta M_{E2,dup} = F_1 (\eta_2 + \eta_1) + F_2 \cdot \eta_3 = 161 \cdot (0,535 + 2,940) + 108 \cdot 2,067 = 783 \text{ kN}$

Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého normálového napětí lze stanovit

- V horní pásnici v oblasti připojení zarážek pro vedení kolejnice

$$\Delta \sigma_{E2} = \frac{\Delta M_{E2}}{W_{el,y,1}}$$

- V dolní pásnici v oblasti krčných svarů

$$\Delta \sigma_{E2} = \frac{\Delta M_{E2}}{I_y} \cdot h_{w2}$$

kde ΔM_{E2} je ekvivalentní rozkmit ohybového momentu
 $W_{el,y,1}$ průřezový modul pro krajní vlákno nosníku
 I_y moment setrvačnosti průřezu hlavního nosníku
 h_{w2} výška tažené části stojiny

Rozkmity v detailu na horní pásnici

- Od samostatně působícího jeřábu 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{E2,1} = \frac{882 \cdot 10^6}{20,5 \cdot 10^6} = 43 \text{ MPa}$$

- Od samostatně působícího jeřábu 32/8 t

$$\Delta\sigma_{E2,2} = \frac{678 \cdot 10^6}{20,5 \cdot 10^6} = 33 \text{ MPa}$$

- Od současně působících jeřábů 32/8 t a 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{E2,\text{dup}} = \frac{783 \cdot 10^6}{20,5 \cdot 10^6} = 38,2 \text{ MPa}$$

Rozkmity v detailu na dolní pásnici

- Od samostatně působícího jeřábu 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{E2,1} = \frac{882 \cdot 10^6}{11,5 \cdot 10^6} \cdot 606 = 46,5 \text{ MPa}$$

- Od samostatně působícího jeřábu 32/8 t

$$\Delta\sigma_{E2,2} = \frac{678 \cdot 10^6}{11,5 \cdot 10^6} \cdot 606 = 35,8 \text{ MPa}$$

- Od současně působících jeřábů 32/8 t a 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{E2,\text{dup}} = \frac{783 \cdot 10^6}{11,5 \cdot 10^6} \cdot 606 = 41,3 \text{ MPa}$$

Výpočet únavového poškození D_σ , zahrnujícího únavových poškození

$D_{\sigma,1}$, $D_{\sigma,2}$ a $D_{\sigma,\text{dup}}$ způsobených rozkmity napětí $\Delta\sigma_{E2,1}$, $\Delta\sigma_{E2,2}$ a $\Delta\sigma_{E2,\text{dup}}$, provedeme pro tyto rozkmity

$$D_\sigma = \gamma_{Ff}^3 \cdot (\Delta\sigma_{E2,1}^3 + \Delta\sigma_{E2,2}^3 + \Delta\sigma_{E2,\text{dup}}^3) \cdot \left(\frac{\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_C} \right)^3$$

kde $\Delta\sigma_{E2,i}$ je rozkmit normálového napětí od i-tého samostatně působícího jeřábu

$\Delta\sigma_{E2,\text{dup}}$ rozkmit normálového napětí od dvou současně působících jeřábů

γ_{Ff} dílčí součinitel únavového zatížení jeřáby

$\Delta\sigma_C$ referenční únavová pevnost

γ_{Mf} dílčí součinitel spolehlivosti únavové pevnosti

Únavové poškození

- V horní pásnici v oblasti připojení zarážek pro vedení kolejnice

$$D_\sigma = 1,00^3 \cdot (43^3 + 33^3 + 38,2^3) \cdot \left(\frac{1,35}{80} \right)^3 = 0,82$$

- V dolní pásnici v oblasti krčních svarů

$$D_\sigma = 1,00^3 \cdot (46,5^3 + 35,8^3 + 41,3^3) \cdot \left(\frac{1,35}{112} \right)^3 = 0,38$$

Ověření únavové pevnosti spodní pásnice podle podmínky spolehlivosti

- Pro horní pásnici
 $0,82 \leq 1,0 \dots$ VYHOVÍ
- Pro dolní pásnici
 $0,38 \leq 1,0 \dots$ VYHOVÍ

8.5.3.3. Posouzení stojiny pro rozkmit hlavního napětí od ohybového momentu a posouvající síly

Rozhodujícím detailem přenášející maximální rozkmit napětí, je ukončení svarového přípoje příčné výztuhy v úrovni 150 mm nad spodní pásnicí. Referenční únavová pevnost je $\Delta\sigma_C = 80$ MPa. Břemena představující konstantní rozkmit proměnlivého zatížení v ekvivalentním návrhovém spektru zatížení jsou

- Pro jeřáby 50/12,5 t a 32/8 t pracující samostatně, nezávisle na sobě
 $F_1 = Q_{e,\sigma} = 250$ kN
 $F_2 = Q_{e,\sigma} = 171$ kN
- Pro jeřáby 50/12,5 t a 32/8 t pracující společně jako spřažené
 $F_1 = Q_{e,\sigma,dup} = 161$ kN
 $F_2 = Q_{e,\sigma,dup} = 108$ kN

Pořadnice příčinkové čáry ohybového momentu jsou:

- Při postavení břemen od samostatně působícího jeřábu 50/12,5 t
$$\eta_1 = \frac{x \cdot x'}{l} = \frac{7,500 \cdot 4,500}{12,0} = 2,813$$

$$\eta_2 = 2,813 \cdot \frac{1,900}{7,500} = 0,713$$
- Při postavení břemen od samostatně působícího jeřábu 32/8 t
$$\eta_1 = 2,813$$

$$\eta_2 = 2,813 \cdot \frac{3,000}{7,500} = 1,125$$
- Při postavení břemen od současně působících jeřábů 50/12,5 t a 32/8 t
$$\eta_1 = 2,813$$

$$\eta_2 = 0,713$$

$$\eta_3 = 2,813 \cdot \frac{2,97}{4,50} = 1,897$$

Pořadnice příčinkové čáry posouvající síly od postavení břemen jeřábu

- Při postavení břemen od samostatně působícího jeřábu 50/12,5 t
$$\eta_4 = \frac{x}{l} = \frac{7,5}{12,0} = 0,625$$

$$\eta_5 = \frac{x'}{l} = \frac{4,5}{12,0} = 0,375$$

$$\eta_6 = 0,625 \cdot \frac{1,90}{7,50} = 0,158$$

- Při postavení břemen od samostatně působícího jeřábu 32/8 t

$$\eta_4 = 0,625$$

$$\eta_5 = 0,375$$

$$\eta_6 = 0,625 \cdot \frac{3,00}{7,50} = 0,250$$

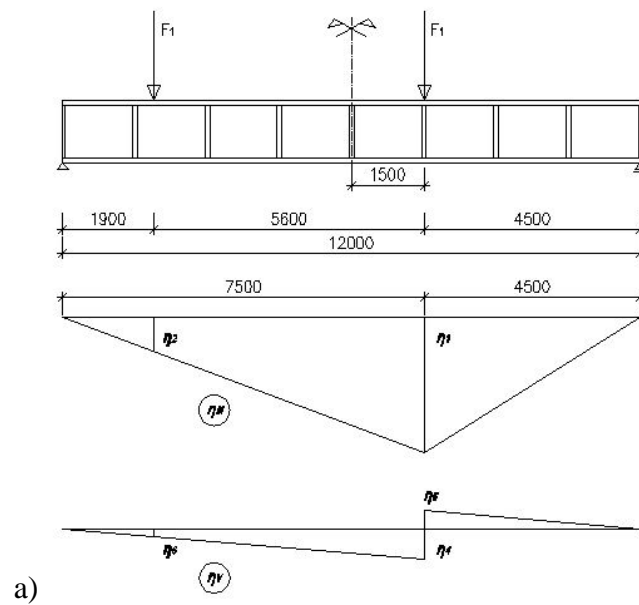
- Při postavení břemen od současně působících jeřábů 50/12,5 t a 32/8 t

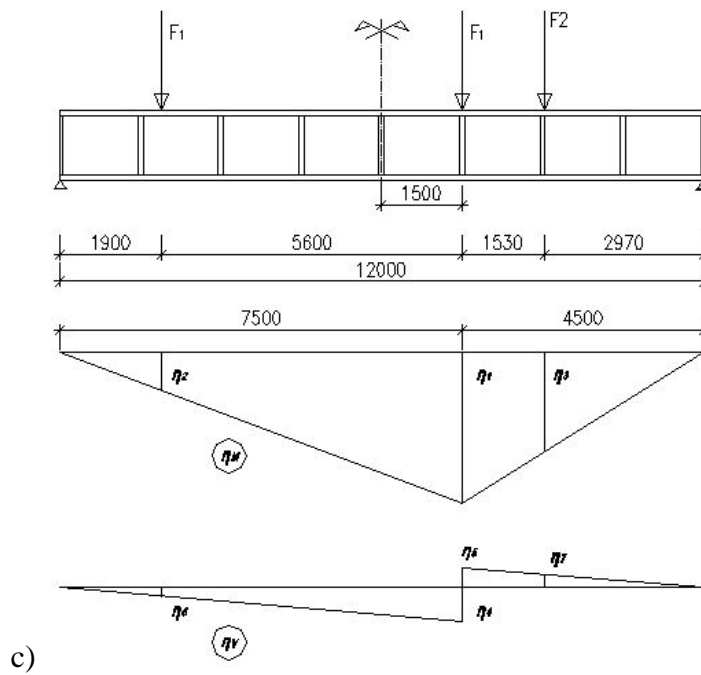
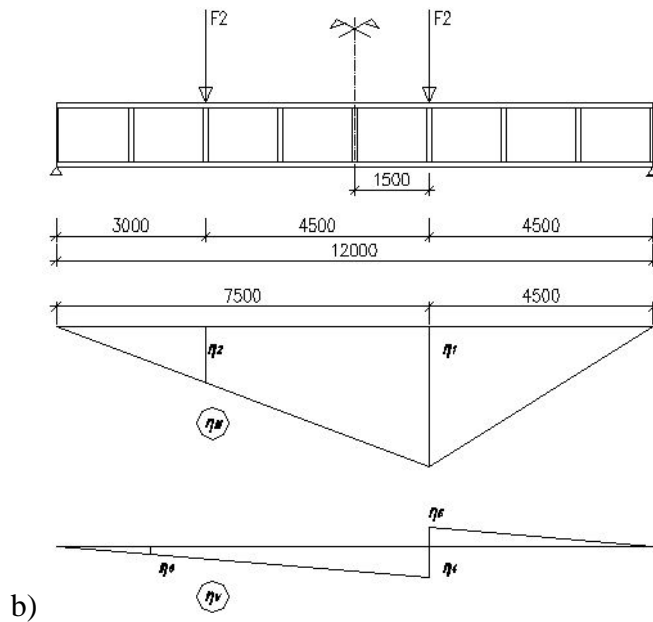
$$\eta_4 = 0,625$$

$$\eta_5 = 0,375$$

$$\eta_6 = 0,158$$

$$\eta_7 = 0,375 \cdot \frac{2,97}{4,50} = 0,248$$





Ekvivalentní rozkmit ohybového momentu činí

- Od samostatně působícího jeřábu 50/12,5 t
 $\Delta M_{E2,1} = F_1 (\eta_2 + \eta_1) = 250 \cdot (0,713 + 2,813) = 882 \text{ kN}$
- Od samostatně působícího jeřábu 32/8 t
 $\Delta M_{E2,2} = F_2 (\eta_2 + \eta_1) = 171 \cdot (1,125 + 2,813) = 673 \text{ kN}$
- Od současně působících jeřábů 32/8 t a 50/12,5 t
 $\Delta M_{E2,\text{dup}} = F_1 (\eta_2 + \eta_1) + F_2 \cdot \eta_3 = 161 \cdot (0,713 + 2,813) + 108 \cdot 1,857 = 768 \text{ kN}$

Ekvivalentní rozkmit posouvající síly

- Od samostatně působícího jeřábu 50/12,5 t

$$\Delta V_{E2,1} = F_1 (\eta_6 + \eta_4) = 250 \cdot (0,158 + 0,625) = 196 \text{ kN}$$

- Od samostatně působícího jeřábu 32/8 t

$$\Delta V_{E2,2} = F_2 (\eta_6 + \eta_4) = 171 \cdot (0,250 + 0,625) = 150 \text{ kN}$$

- Od současně působících jeřábů 32/8 t a 50/12,5 t

$$\Delta V_{E2,dup} = F_1 (\eta_6 + \eta_4) - F_2 \eta_7 = 161 \cdot (0,158 + 0,625) - 108 \cdot 0,248 = 99 \text{ kN}$$

Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého normálového napětí v detailu na stojině

- Od samostatně působícího jeřábu 50/12,5 t

$$\Delta \sigma_{E2,1} = \frac{\Delta M_{E2}}{I_y} z = \frac{882 \cdot 10^6}{11,5 \cdot 10^9} \cdot 456 = 35 \text{ MPa}$$

- Od samostatně působícího jeřábu 32/8 t

$$\Delta \sigma_{E2,2} = \frac{\Delta M_{E2}}{I_y} z = \frac{673 \cdot 10^6}{11,5 \cdot 10^9} \cdot 456 = 26,7 \text{ MPa}$$

- Od současně působících jeřábů 32/8 t a 50/12,5 t

$$\Delta \sigma_{E2,dup} = \frac{\Delta M_{E2}}{I_y} z = \frac{768 \cdot 10^6}{11,5 \cdot 10^9} \cdot 456 = 30,5 \text{ MPa}$$

kde ΔM_{E2} je ekvivalentní rozkmit ohybového momentu

I_y moment setrvačnosti průřezu hlavního nosníku k vlastní těžišťové ose

z z-ová souřadnice posuzovaného detailu.

$$z = h_w - 150 = 606 - 150 = 456 \text{ mm}$$

Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého smykového napětí v detailu na stojině

- Od samostatně působícího jeřábu 50/12,5 t

$$\tau_{E2,1} = \frac{\Delta V_{E2} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{196 \cdot 10^3 \cdot 9,16 \cdot 10^6}{11,5 \cdot 10^9 \cdot 15} = 10,4 \text{ MPa}$$

- Od samostatně působícího jeřábu 32/8 t

$$\tau_{E2,2} = \frac{\Delta V_{E2} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{150 \cdot 10^3 \cdot 9,16 \cdot 10^6}{11,5 \cdot 10^9 \cdot 15} = 8,0 \text{ MPa}$$

- Od současně působících jeřábů 32/8 t a 50/12,5 t

$$\tau_{E2,1} = \frac{\Delta V_{E2} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{99 \cdot 10^3 \cdot 9,16 \cdot 10^6}{11,5 \cdot 10^9 \cdot 15} = 5,2 \text{ MPa}$$

kde ΔV_{E2} je ekvivalentní rozkmit posouvající síly

t_w tloušťka stojiny

S_y statický moment části průřezu pod posuzovaným detailem k těžišťové ose y

$$S_y = \frac{1}{2} \cdot (b(e_2^2 - h_{w2}^2) + t_w(h_{w2}^2 - z^2)) = \frac{1}{2} \cdot (400 \cdot (638^2 - 606^2) + 15 \cdot (606^2 - 456^2)) = 9,16 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

kde b je šířka spodní pásnice

e vzdálenost spodního krajního vlákna nosníku od těžišťové osy y

h_w výška tažené části stojiny

Rozkmit hlavního napětí určíme podle vztahu

$$\Delta\sigma_{eq,E2} = \frac{1}{2} \left(\Delta\sigma_{E2} + \sqrt{\Delta\sigma_{E2}^2 + 4 \Delta\tau_{E2}^2} \right)$$

- Od samostatně působícího jeřábu 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{eq,E2} = \frac{1}{2} \left(35 + \sqrt{35^2 + 4 \cdot 10,4^2} \right) = 37,9 \text{ MPa}$$

- Od samostatně působícího jeřábu 32/8 t

$$\Delta\sigma_{eq,E2} = \frac{1}{2} \left(26,7 + \sqrt{26,7^2 + 4 \cdot 8,0^2} \right) = 28,9 \text{ MPa}$$

- Od současně působících jeřábů 32/8 t a 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{eq,E2} = \frac{1}{2} \left(30,5 + \sqrt{30,5^2 + 4 \cdot 5,2^2} \right) = 31,4 \text{ MPa}$$

Výpočet únavového poškození D_σ , zahrnujícího únavových poškození $D_{\sigma,1}$, $D_{\sigma,2}$ a $D_{\sigma,dup}$ způsobených rozkmit napětí $\Delta\sigma_{E2,1}$, $\Delta\sigma_{E2,2}$ a $\Delta\sigma_{E2,dup}$, provedeme pro tyto rozkmit

$$D_\sigma = \gamma_{Ff}^3 \cdot (\Delta\sigma_{E2,1}^3 + \Delta\sigma_{E2,2}^3 + \Delta\sigma_{E2,dup}^3) \cdot \left(\frac{\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_C} \right)^3$$

kde $\Delta\sigma_{E2,i}$ je rozkmit normálového napětí od i-tého samostatně působícího jeřábu

$\Delta\sigma_{E2,dup}$ rozkmit normálového napětí od dvou současně působících jeřábů

γ_{Ff} dílčí součinitel únavového zatížení jeřáby

$\Delta\sigma_C$ referenční únavová pevnost

γ_{Mf} dílčí součinitel spolehlivosti únavové pevnosti

Únavové poškození stojiny v oblasti ukončení svarového přípoje příčné výztuhy je

$$D_\sigma = 1,00^3 \cdot (37,9^3 + 28,9^3 + 31,4^3) \cdot \left(\frac{1,35}{80} \right)^3 = 0,53$$

Ověření únavové pevnosti spodní pásnice podle podmínky spolehlivosti

$$0,53 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVÍ}$$

8.5.3.4. Posouzení krčných svarů pro rozkmit smykového napětí od posouvající síly

Pro posouzení svarů pod horní pásnicí i nad spodní pásnicí pomocí ekvivalentní únavového zatížení. Referenční únavovou pevnost $\Delta\tau_C = 80 \text{ MPa}$.

Břemena představující konstantní rozkmit proměnlivého zatížení v ekvivalentním návrhovém spektru zatížení jsou

- Pro jeřáby 50/12,5 t a 32/8 t pracující samostatně, nezávisle na sobě

$$F_1 = Q_{e,\tau} = 300 \text{ kN}$$

$$F_2 = Q_{e,\tau} = 205 \text{ kN}$$

- Pro jeřáby 50/12,5 t a 32/8 t pracující společně jako spřažené

$$F_1 = Q_{e,\tau,dup} = 228 \text{ kN}$$

$$F_2 = Q_{e,\tau,dup} = 156 \text{ kN}$$

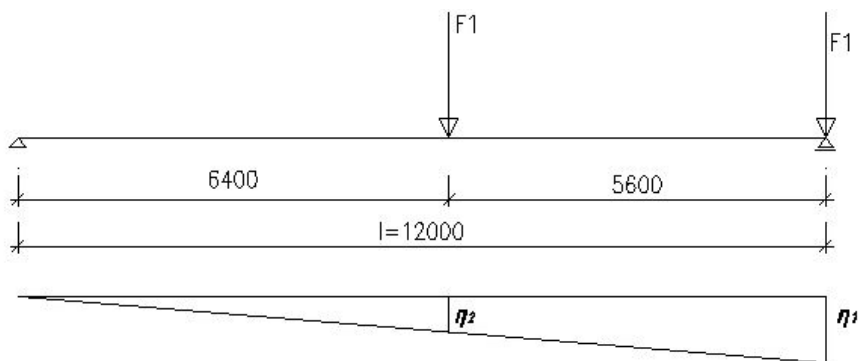
kde $Q_{e,\tau}$ je ekvivalentní zatížení pro poškození únavou způsobené jedním, samostatně působícím jeřábem
 $Q_{e,\tau,dup}$ ekvivalentní zatížení pro poškození únavou způsobené dvěma jeřáby příležitostně působícími současně

Pořadnice příčinkové čáry posouvající síly od postavení břemen jeřábu

- Při postavení břemen od samostatně působícího jeřábu 50/12,5 t

$$\eta_1 = 1,000$$

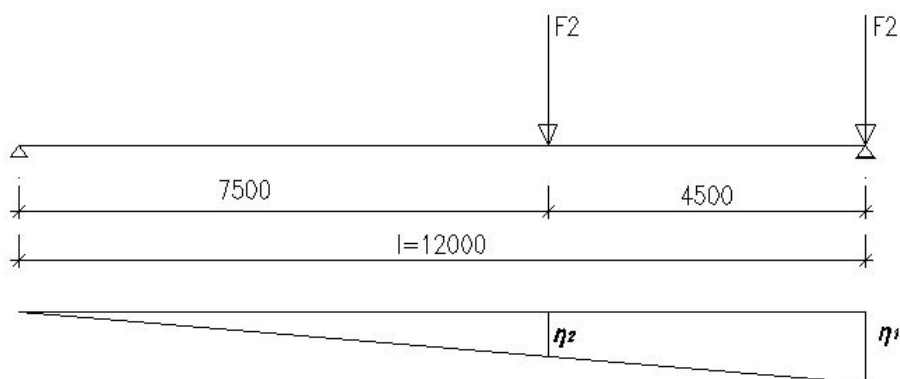
$$\eta_2 = 1,000 \cdot \frac{6,4}{12,0} = 0,533$$



- Při postavení břemen od samostatně působícího jeřábu 32/8 t

$$\eta_1 = 1,000$$

$$\eta_2 = 1,000 \cdot \frac{7,5}{12,0} = 0,625$$

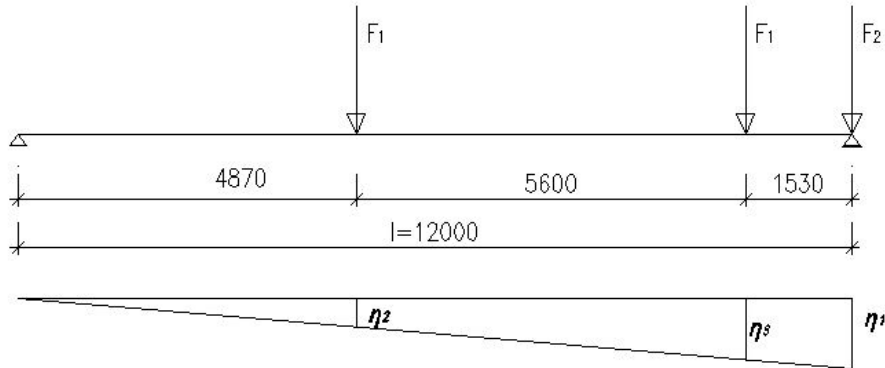


- Při postavení břemen od současně působících jeřábů 50/12,5 t a 32/8 t

$$\eta_1 = 1,000$$

$$\eta_2 = 1,000 \cdot \frac{4,87}{12,0} = 0,406$$

$$\eta_3 = 1,000 \cdot \frac{10,47}{12,0} = 0,873$$



Ekvivalentní rozkmity posouvající síly

- Při postavení břemen od samostatně působícího jeřábu 50/12,5 t
 $\Delta V_{E2,1} = F_1 (\eta_2 + \eta_1) = 300 \cdot (0,533 + 1,000) = 459 \text{ kN}$
- Při postavení břemen od samostatně působícího jeřábu 32/8 t
 $\Delta V_{E2,2} = F_2 (\eta_2 + \eta_1) = 205 \cdot (0,625 + 1,000) = 333 \text{ kN}$
- Při postavení břemen od současně působících jeřábů 50/12,5 t a 32/8 t
 $\Delta V_{E2,dup} = F_1 (\eta_2 + \eta_3) - F_2 \eta_1 = 228 \cdot (0,406 + 0,873) + 156 \cdot 1,000 = 448 \text{ kN}$

Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého smykového napětí lze stanovit v krčnících svarech pod horní pásnici

- Od samostatně působícího jeřábu 50/12,5 t

$$\tau_{\parallel,E2,1} = \frac{\Delta V_{E2} \cdot S_{f1,y}}{2 \cdot I_y \cdot a} = \frac{459 \cdot 10^3 \cdot 8,67 \cdot 10^6}{2 \cdot 11,5 \cdot 10^9 \cdot 16} = 10,8 \text{ MPa}$$
- Od samostatně působícího jeřábu 32/8 t

$$\tau_{\parallel,E2,2} = \frac{\Delta V_{E2} \cdot S_{f1,y}}{2 \cdot I_y \cdot a} = \frac{333 \cdot 10^3 \cdot 8,67 \cdot 10^6}{2 \cdot 11,5 \cdot 10^9 \cdot 16} = 7,9 \text{ MPa}$$
- Od současně působících jeřábů 32/8 t a 50/12,5 t

$$\tau_{\parallel,E2,dup} = \frac{\Delta V_{E2} \cdot S_{f1,y}}{2 \cdot I_y \cdot a} = \frac{448 \cdot 10^3 \cdot 8,67 \cdot 10^6}{2 \cdot 11,5 \cdot 10^9 \cdot 16} = 10,6 \text{ MPa}$$

Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého smykového napětí lze stanovit v krčnících svarech pod spodní pásnici ze vztahu

- Od samostatně působícího jeřábu 50/12,5 t

$$\tau_{\parallel,E2,1} = \frac{\Delta V_{E2} \cdot S_{f2,y}}{2 \cdot I_y \cdot a} = \frac{459 \cdot 10^3 \cdot 7,96 \cdot 10^6}{2 \cdot 11,5 \cdot 10^9 \cdot 8} = 19,9 \text{ MPa}$$
- Od samostatně působícího jeřábu 32/8 t

$$\tau_{\parallel,E2,2} = \frac{\Delta V_{E2} \cdot S_{f2,y}}{2 \cdot I_y \cdot a} = \frac{333 \cdot 10^3 \cdot 7,96 \cdot 10^6}{2 \cdot 11,5 \cdot 10^9 \cdot 8} = 14,4 \text{ MPa}$$
- Od současně působících jeřábů 32/8 t a 50/12,5 t

$$\tau_{\parallel, E2, \text{dup}} = \frac{\Delta V_{E2} \cdot S_{f2, y}}{2 \cdot I_y \cdot a} = \frac{448 \cdot 10^3 \cdot 7,96 \cdot 10^6}{2 \cdot 11,5 \cdot 10^9 \cdot 8} = 19,4 \text{ MPa}$$

kde ΔV_{E2} je ekvivalentní rozkmit posouvající síly
 I_y moment setrvačnosti průřezu hlavního nosníku k vlastní těžišťové ose y
 a účinná tloušťka svaru pod horní pásnicí, $a = 16 \text{ mm}$
 $S_{f1, y}, S_{f2, y}$ statický moment horní a spodní pásnice k těžišťové ose y

$$S_{f1, y} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot t_{f1} \cdot (2e_1 - t_{f1}) = \frac{1}{2} \cdot 400 \cdot 40 \cdot (2 \cdot 562 - 40) = 8,67 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$S_{f2, y} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot t_{f2} \cdot (2e_2 - t_{f2}) = \frac{1}{2} \cdot 400 \cdot 32 \cdot (2 \cdot 638 - 32) = 7,96 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

kde b je šířka pásnice
 e_1, e_2 vzdálenost horního krajního vlákna a spodního krajního vlákna nosníku od těžišťové osy y
 h_w výška tažené části stojiny

Výpočet únavového poškození D_τ , zahrnujícího lineární kumulaci únavových poškození $D_{\tau,1}, D_{\tau,2}$ a $D_{\tau, \text{dup}}$ způsobených rozkmity napětí $\Delta \tau_{E2,1}, \Delta \tau_{E2,2}$ a $\Delta \tau_{E2, \text{dup}}$, provedeme pro tyto rozkmity

$$D_\tau = \gamma_{Ff}^5 \cdot (\Delta \tau_{\parallel, E2,1}^5 + \Delta \tau_{\parallel, E2,2}^5 + \Delta \tau_{\parallel, E2, \text{dup}}^5) \cdot \left(\frac{\gamma_{Mf}}{\tau_C} \right)^5$$

kde $\Delta \tau_{E2, i}$ je rozkmit normálového napětí od i-tého samostatně působícího jeřábu
 $\Delta \tau_{E2, \text{dup}}$ rozkmit normálového napětí od dvou současně působících jeřábů
 γ_{Ff} dílčí součinitel únavového zatížení jeřáby
 $\Delta \tau_C$ referenční únavová pevnost
 γ_{Mf} dílčí součinitel spolehlivosti únavové pevnosti

Únavové poškození

- Krčnicích svarů pod horní pásnicí je

$$D_\tau = 1,00^5 \cdot (10,8^5 + 7,9^5 + 10,6^5) \cdot \left(\frac{1,35}{80} \right)^5 = 4,3 \cdot 10^{-4}$$

- Krčnicích svarů pod spodní pásnicí je

$$D_\tau = 1,00^5 \cdot (19,9^5 + 11,4^5 + 19,4^5) \cdot \left(\frac{1,35}{80} \right)^5 = 8,3 \cdot 10^{-3}$$

OVĚŘENÍ ÚNAVOVÉ PEVNOSTI podle podmínky spolehlivosti pro

- horní pásnicí

$$4,3 \cdot 10^{-4} \leq 1,0 \dots \text{VYHOVÍ}$$

- spodní pásnicí

$$8,3 \cdot 10^{-3} \leq 1,0 \dots \text{VYHOVÍ}$$

8.5.3.5. Posouzení krčních svarů pro rozkmit svislého tlakového napětí od tlaků kol

Krční koutové svary pod horní pásnicí přenášející smykový tok od posouvající síly pomocí ekvivalentního únavového zatížení. Svary vykazují referenční únavovou pevnost $\Delta\sigma_C = 36 \text{ MPa}$.

Konstantní rozkmit proměnlivého zatížení je

- Pro jeřáb 50/12,5 t

$$\Delta F_{E,2,1} = Q_{e,\sigma,loc} = 315 \text{ kN}$$

- Pro jeřáb 50/12,5 t

$$\Delta F_{E,2,2} = Q_{e,\sigma,loc} = 218 \text{ kN}$$

kde $Q_{e,\sigma,loc}$ je ekvivalentní zatížení pro poškození únavou

Ekvivalentní rozkmit kroutícího momentu

- Pro jeřáb 50/12,5 t

$$\Delta T_{E2,1} = \Delta F_{E,2,1} \cdot e = 315 \cdot 10^3 \cdot 25 = 7,88 \text{ kNm}$$

- Pro jeřáb 32/8 t

$$\Delta T_{E2,2} = \Delta F_{E,2,2} \cdot e = 218 \cdot 10^3 \cdot 25 = 5,45 \text{ kNm}$$

kde e je excentricita kolového zatížení

Ekvivalentní konstantní rozkmit lokálního svislého tlakového napětí ve stojině

- Od jeřábu 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{oz,E2,1} = \frac{\Delta F_{E,2,1}}{l_{eff} \cdot t_w} = \frac{315 \cdot 10^3}{326 \cdot 15} = 64,4 \text{ MPa}$$

- Od jeřábu 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{oz,E2,2} = \frac{\Delta F_{E,2,2}}{l_{eff} \cdot t_w} = \frac{218 \cdot 10^3}{326 \cdot 15} = 44,6 \text{ MPa}$$

kde $\Delta F_{E2,1}, \Delta F_{E2,2}$ je ekvivalentní rozkmit místní příčné síly
 t_w tloušťka stojiny
 l_{eff} účinná roznášecí délka

Účinná roznášecí délka

$$l_{eff} = 4,25 \sqrt[3]{\frac{I_r + I_{f,eff}}{t_w}} = 4,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{5,58 \cdot 10^6 + 1,22 \cdot 10^6}{12}} = 326 \text{ mm}$$

kde $I_r, I_{f,eff}$ jsou momenty setrvačnosti kolejnice a horní pásnice k vlastním vodorovným těžišťovým osám

Moment setrvačnosti kolejnice, včetně opotřebení 12,5 % tloušťky materiálu pod pojižděným povrchem (viz tab. 5.1 a odst.5.6.2(3) ČSN EN 1993-6)

$$I_r = \frac{1}{12} b_r (0,875 h_r)^3 = \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot (0,875 \cdot 100)^3 = 5,58 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

kde b_r, h_r jsou šířka a výška čtvercové kolejnice (100 × 100 mm)

Moment setrvačnosti horní pásnice je dán vztahem

$$I_{f,eff} = \frac{1}{12} b_{eff} t_f^3 = \frac{1}{12} \cdot 228 \cdot 40^3 = 1,22 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

kde t_f je tloušťka horní pásnice
 b_{eff} účinná šířka pásnice, která se vypočte ze vztahu (viz tab. 5.1 ČSN EN 1993-6)

$$b_{eff} = b_r + 0,875 h_r + t_f = 100 + 0,875 \cdot 100 + 40 = 228 \text{ mm}$$

Ekvivalentní rozkmit lokálního ohybového napětí ve stojně

- Od jeřábu 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{T,E2,1} = \frac{6 \Delta T_{E,2}}{a \cdot t_w^2} \eta \operatorname{tgh} \eta = \frac{6 \cdot 7,88 \cdot 10^6}{1500 \cdot 15^2} 0,504 \operatorname{tgh} 0,504 = 33,3 \text{ MPa}$$

- Od jeřábu 32/8 t

$$\Delta\sigma_{T,E2,2} = \frac{6 \Delta T_{E,2}}{a \cdot t_w^2} \eta \operatorname{tgh} \eta = \frac{6 \cdot 5,45 \cdot 10^6}{1500 \cdot 15^2} 0,504 \operatorname{tgh} 0,504 = 23,1 \text{ MPa}$$

kde ΔT_{E2} je ekvivalentní rozkmit krouticího momentu
 a vzdálenost příčných výztuh stojiny
 t_w tloušťka stojiny
 η parametr

Ekvivalentní rozkmit svislého tlakového napětí ve svarech od místní příčné síly

- Od jeřábu 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{vert,E2,1} = \Delta\sigma_{oz,E2,1} \frac{t_w}{2a + t_w} = 64,4 \cdot \frac{15}{2 \cdot 16 + 15} = 20,4 \text{ MPa}$$

- Od jeřábu 32/8 t

$$\Delta\sigma_{vert,E2,2} = \Delta\sigma_{oz,E2,2} \frac{t_w}{2a + t_w} = 44,6 \cdot \frac{15}{2 \cdot 16 + 15} = 14,2 \text{ MPa}$$

kde a je účinná tloušťka svaru pod horní pásnicí, $a = 16 \text{ mm}$

Ekvivalentní rozkmit svislého tlakového napětí ve svarech od krouticího momentu

- Od jeřábu 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{vert,E2,1} = \Delta\sigma_{T,E2,1} \frac{1,0 t_w^2}{6W} = 33,3 \cdot \frac{1,0 \cdot 15^2}{6 \cdot 328} = 3,8 \text{ MPa}$$

- Od jeřábu 32/8 t

$$\Delta\sigma_{vert,E2,2} = \Delta\sigma_{T,E2,2} \frac{1,0 t_w^2}{6W} = 23,1 \cdot \frac{1,0 \cdot 15^2}{6 \cdot 328} = 2,6 \text{ MPa}$$

kde W je průřezový modul oboustranného koutového svaru včetně stojiny (viz 8.5.1.7.1.)

$\Delta\sigma_{T,E2}$ ekvivalentní rozkmit lokálního ohybového napětí ve stojně

Rozkmit napětí $\Delta\sigma_{vert,E2}$ získáme superpozicí

- Pro jeřáb 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{vert,E2,1} = 20,4 + 3,8 = 24,2 \text{ MPa}$$

- Pro jeřáb 32/8 t

$$\Delta\sigma_{vert,E2,2} = 14,2 + 2,6 = 16,8 \text{ MPa}$$

Výpočet únavového poškození D_σ , zahrnujícího únavové poškození $D_{\sigma,1}$, $D_{\sigma,2}$ způsobených rozkmit napětí $\Delta\sigma_{vert,E1}$, $\Delta\sigma_{vert,E2}$, provedeme podle vztahu

$$D_\sigma = \gamma_{Ff}^3 \cdot (\Delta\sigma_{vert,E2,1}^3 + \Delta\sigma_{vert,E2,2}^3) \cdot \left(\frac{\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_C} \right)^3 = 1,0^3 \cdot (24,2^3 + 16,8^3) \cdot \left(\frac{1,35}{36} \right)^3 = 1,00$$

kde $\Delta\sigma_{vert,E2}$ je rozkmit svislého tlakového napětí
 γ_{Ff} dílčí součinitel únavového zatížení jeřáby
 $\Delta\sigma_C$ referenční únavová pevnost
 γ_{Mf} dílčí součinitel spolehlivosti únavové pevnosti

Ověření únavové pevnosti spodní pásnice podle podmínky spolehlivosti
 $1,0 \leq 1,0 \dots$ VYHOVÍ

9. NÁVRH A VÝPOČET SPOJŮ

9.1. Spoje svařované

9.1.1. Svarový spoj styčnicku příhradového vazníku

Úhel připojení $\alpha = 42^\circ$

Výška svaru $a = 3 \text{ mm}$

Účinná délka svaru $L = 415 \text{ mm}$

Účinná plocha svaru: $A = a \cdot L = 3 \cdot 381 = \mathbf{1245 \text{ mm}^2}$

$\max. N_{Ed,1} = \mathbf{241,36 \text{ kN}}$

$N_{Ed,1,y} = N_{Ed,1} \cdot \cos \alpha = 241,36 \cdot \cos 42 = \mathbf{179,37 \text{ kN}}$

$N_{Ed,1,z} = N_{Ed,1} \cdot \sin \alpha = 241,36 \cdot \sin 42 = \mathbf{161,50 \text{ kN}}$

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

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

kde σ_{\perp} normálové napětí kolmé k rovině průřezu

τ_{\perp} smykové napětí kolmé k ose svaru

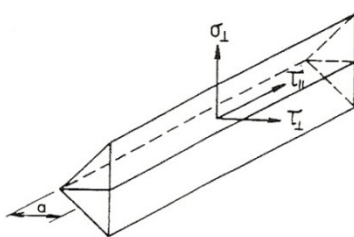
τ_{\parallel} smykové napětí rovnoběžné s osou svaru

f_u jmenovitá hodnota meze pevnosti

β_w součinitel korelace pro pevnostní třídu oceli

γ_{M2} dílčí součinitel spolehlivosti

β_w pevnostní třída oceli S355 : $\beta_w = 0,9$



Napětí v koutovém svaru

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed,1,z}}{A} = \frac{161,5 \cdot 10^3}{1143} = \mathbf{99,91 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed,1,y}}{A} = \frac{179,37 \cdot 10^3}{1143} = \mathbf{156,93 \text{ MPa}}$$

$$\sqrt{99,91^2 + 3 \cdot (99,91^2 + 156,93^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$337,36 \text{ MPa} \leq 453,33 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$99,91 \leq 0,9 \cdot \frac{510}{1,25}$$

$$99,91 \text{ MPa} \leq 367,20 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\text{Navržený svar} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Svar výšky 3 mm bude proveden na všech prutech.

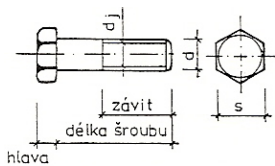
9.2. Spoje montážní

9.2.1. Montážní spoj dolního pásu

$$N_{Ed} = 488,06 \text{ kN}$$

Návrh šroubů

Navrženo 6x M20 (5.6)



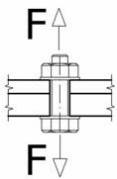
$$f_{yb} = 300 \text{ Mpa} \quad f_{ub} = 500 \text{ Mpa}$$

$$d = 20 \text{ mm} \quad d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$A = 314 \text{ mm} \quad A_s = 245 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost šroubu v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$



kde $F_{t,Rd}$ návrhová únosnost v tahu jednoho šroubu

f_{ub} mez pevnosti šroubu

$$k_2 = 0,9$$

A_s plocha oslabeného průřezu (plocha jádra šroubu)

γ_{M2} dílčí součinitel spolehlivosti

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 245}{1,25} = 88,20 \text{ kN}$$

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

$$\frac{488,06}{6 \cdot 88,2} \leq 1,0$$

$$0,92 \leq 1,0, \text{ navržený šroub na tah} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Návrhová únosnost s vlivem páčení

$$f_y = 355 \text{ Mpa} \quad F_{t,Rd} = 88,2 \text{ kN}$$

$$m = 30 \text{ mm} \quad n = e = 30 \text{ mm}$$

$$\alpha = 6,5 \text{ (z grafu)}$$

$$\lambda_1 = m/(m + e) = 30/(30 + 30) = 0,43$$

$$\lambda_2 = \lambda_1$$

Návrh tloušťky desky $t_f = 22 \text{ mm}$

Vliv páčení uvažujeme pro dva způsoby namáhání:

1. Úplná plastifikace náhradního T – profilu

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m}$$

2. Porušení šroubů a plastifikací náhradního T – profilu

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

kde $M_{pl,i,Rd}$ návrhový moment vlivem páčení

m vzdálenost šroubu od profilu

n vzdálenost šroubu od okraje desky

$F_{t,Rd}$ návrhová únosnost v tahu jednoho šroubu

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

kde $l_{eff,1}$ účinná délka

t_f tloušťka desky

f_y jmenovitá hodnota meze kluzu

γ_{M0} dílčí součinitel spolehlivosti

Účinné délky pro kruhové porušení

$$l_{eff,1} = \min(2 \cdot \pi \cdot m, \pi \cdot m + 2 \cdot e, \alpha \cdot m + 2 \cdot m + 0,625 \cdot 2 \cdot e)$$

$$l_{eff,1} = \min(188,5; 154,2; 270) = \mathbf{154,2 \text{ mm}}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot 154,2 \cdot 22^2 \cdot \frac{355}{1,0} = \mathbf{6,62 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot 6,62 \cdot 10^6}{30} = \quad \quad \quad \mathbf{882,66 \text{ kN}}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$l_{eff,2} = \alpha \cdot m + 2 \cdot n + 0,625 \cdot e + e$$

$$l_{eff,2} = 6,5 \cdot 30 + 2 \cdot 30 + 0,625 \cdot 30 + 30 = \mathbf{303,75 \text{ mm}}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \cdot 303,75 \cdot 22^2 \cdot \frac{355}{1,0} = \quad \quad \quad \mathbf{13,05 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot 13,05 \cdot 10^6 + 30 \cdot 2 \cdot 88,2 \cdot 10^3}{30+30} = \quad \quad \quad \mathbf{523,12 \text{ kN}}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}) = \quad \quad \quad \mathbf{523,12 \text{ kN}}$$

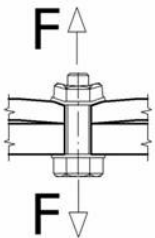
$$\frac{N_{Ed}}{F_{T,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{488,06}{523,12} \leq 1,0$$

0,93 ≤ 1,0, navržený přípoj na páčení

VYHOVUJE

Návrhová únosnost v protlačení



$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

kde $B_{p,Rd}$ návrhová únosnost v protlačení

d_m referenční rozměr matice

t_p tloušťka desky

f_u jmenovitá hodnota meze pevnosti

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 32,3 \cdot 22 \cdot 510}{1,25} = \quad \quad \quad \mathbf{546,5 \text{ kN}}$$

$$\frac{N_{Ed}/n}{B_{p,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{488,06/6}{546,5} \leq 1,0$$

0,15 ≤ 1,0, navržený přípoj na protlačení **VYHOVUJE**

9.2.2. Montážní spoj horního pásu

Montážní spoj bude proveden přírubovou deskou se čtyřmi šrouby M22 (5.6) k zajištění polohy a spojitosti pásu.

9.2.3. Montážní připojení vazníku na sloup

$$V_{Ed} = 509,28 \text{ kN}$$

Navrženo 4xM36

$$\begin{array}{ll} f_{yb} = 300 \text{ MPa} & f_{ub} = 500 \text{ MPa} \\ d = 36 \text{ mm} & d_0 = 38 \text{ mm} \\ A = 1017 \text{ mm}^2 & A_s = 817 \text{ mm}^2 \end{array}$$

9.2.3.1. Návrhová únosnost šroubu ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

kde $F_{v,Rd}$ návrhová únosnost ve střihu jednoho šroubu

f_{ub} mez pevnosti šroubu

A_s plocha oslabeného průřezu (plocha jádra šroubu)

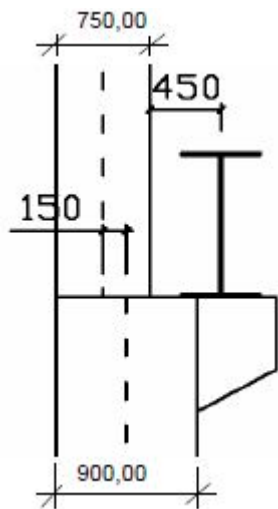
γ_{M2} dílčí součinitel spolehlivosti

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 817}{1,25} = \mathbf{196,08 \text{ kN}}$$

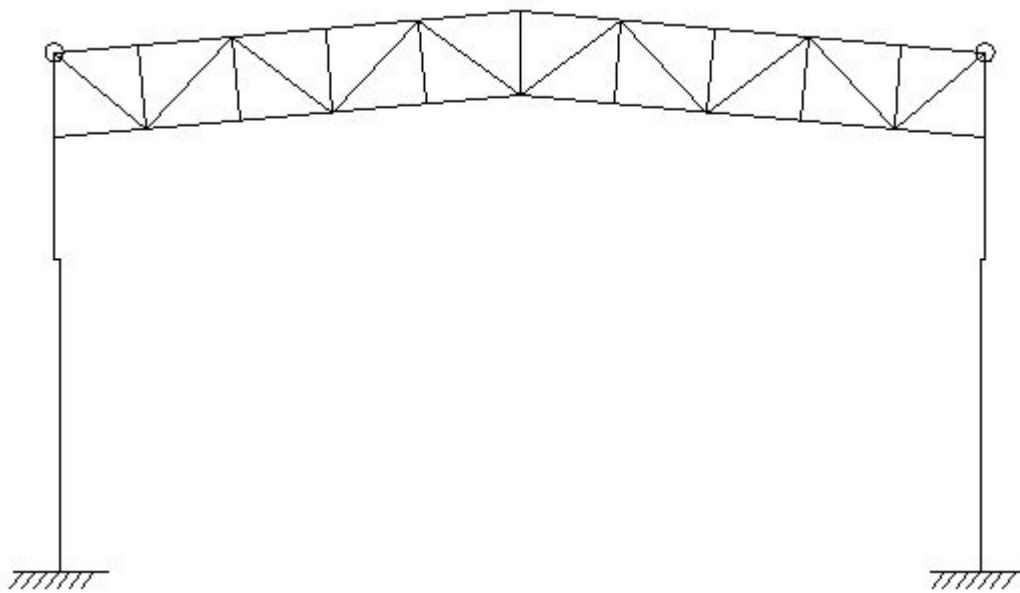
$$\frac{V_{Ed}}{n \cdot F_{v,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{509,28}{4 \cdot 196,08} \leq 1,0$$

$0,65 \leq 1,0$, navržený šroub na střih **VYHOVUJE**



10.3. Statické schéma



10.4. Zatížení

10.4.1. Zatížení stálé

	Char. hodnota zatížení (kN/m)	l (m)	g_k
Vlastní tíha špičky	2,00	6,65	13,3
Vlastní tíha dříku	3,00	10	30
Tíha od vaznic (6 ks)	0,3*6	12	21,6
Tíha od vazníku	1,5	12	18
Jeřábová dráha	6,3	12	75,6
Obvodové panely	0,115*16	12	22,1
Střešní plášť	0,48*15	12	86,4

Celkem 267 kN

10.4.2. Zatížení nahodilé

10.4.2.1. Sníh

Sníh 0,8 kN/m²

Viz výpočet klimatického zatížení

10.4.2.2. Větr příčný

Větr zleva (zprava) tlak 0,6 kN/m²

sání 0,4 kN/m²

viz výpočet klimatického zatížení

10.4.3. Zatížení proměnné

10.4.3.1. Zatížení jeřábovou dráhou

Svislé

Maximální tlak na sloup od svislých akcí jeřábů 1129 kN

Maximální tlak na sloup od svislých akcí jeřábů 400 kN

Vodorovné

Síla od přičení 112 kN

Výpočet proveden v programu Scia Engineer 2010

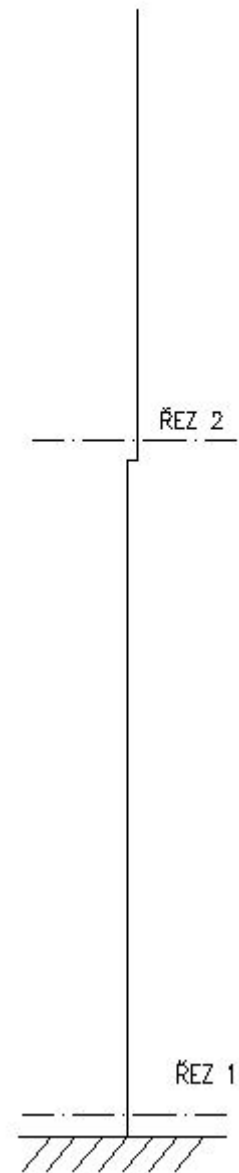
1. Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Prvek, Systém : LSS

Výběr : Vše

Kombinace : CO1

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B1	CO1/1	10,000	-2174,36	-47,30	-491,74
B1	CO1/2	10,000	-54,08	0,46	5,03
B1	CO1/3	0,000	-1789,16	-113,53	781,19
B1	CO1/4	0,000	-414,44	174,69	-1339,48
B2	CO1/5	6,650	-535,81	4,41	0,00
B2	CO1/2	6,650	-37,21	0,46	0,00
B2	CO1/6	6,650	-37,21	-9,08	0,00
B2	CO1/1	0,000	-480,48	120,70	-563,84
B2	CO1/6	4,987	-41,33	8,88	0,17
B3	CO1/6	0,000	-9,08	37,21	0,00
B3	CO1/7	0,000	58,42	244,21	0,00
B3	CO1/1	30,000	48,88	-244,21	0,00
B3	CO1/5	0,000	4,41	244,21	0,00
B3	CO1/1	15,000	48,88	0,00	1831,56
B4	CO1/1	0,000	-120,70	-480,48	563,84
B4	CO1/2	0,000	-0,46	-53,70	3,06
B4	CO1/5	0,150	-4,41	-480,86	-42,78
B4	CO1/8	0,000	-116,75	-53,70	537,58
B7	CO1/1	0,000	-1194,26	-239,00	1947,06
B7	CO1/2	10,000	-54,08	0,46	5,03
B7	CO1/8	0,000	-695,66	-242,95	1938,02
B7	CO1/5	0,000	-594,26	4,41	9,47
B7	CO1/3	10,000	-654,08	-113,53	-354,13
B8	CO1/5	0,000	-552,30	4,41	-29,32
B8	CO1/2	6,650	-37,21	0,46	0,00
B8	CO1/6	0,000	-53,70	-56,96	219,58
B8	CO1/7	0,000	-552,30	58,42	-388,47
B9	CO1/7	0,000	-58,42	-552,30	388,47
B9	CO1/6	0,000	56,96	-53,70	-219,58
B9	CO1/1	0,150	-1,00	-552,68	82,96
B9	CO1/2	0,000	-0,46	-53,70	3,06
B9	CO1/4	0,150	53,01	-552,68	-276,19



	N (kN)	V (kN)	M (kNm)
Řez 1	2175	243	1947
Řez 2	552	121	564

10.5. Výpočet sloupu

10.5.1. Výpočet špičky sloupu

10.5.1.1. Návrhové hodnoty působícího zatížení a průřezové charakteristiky

Ned = 552 kN

Med = 564 kNm

Navrhuji profil HEB 500

Délka špičky $l_s = 6,65$ m

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$t_f = 28 \text{ mm}$$

$$t_w = 14,5 \text{ mm}$$

$$A = 23,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$d = 390 \text{ mm}$$

$$I_y = 10,70 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 126,00 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{el,y} = 428,0 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 482,00 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,z} = 84,13 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 129,2 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 212 \text{ mm}$$

$$i_z = 72,7 \text{ mm}$$

$$c = 265,75 \text{ mm}$$

$$I_t = 90,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 22,67 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

Kritické délky

$$L_{y,cr} = 3 \cdot 6,65 = 19,95 \text{ m}$$

$$L_{z,cr} = 6,65 \text{ m}$$

Materiálové charakteristiky

Ocel S235

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

$$\varepsilon = 1,00$$

10.5.1.2. Zatřídění průřezu

Stojina

$$\frac{d}{t_w} \leq 33\varepsilon$$
$$\frac{390}{14,5} \leq 33$$

$$26,9 \leq 33 \dots 1. \text{ třída}$$

Pásnice

$$\frac{c}{t_f} \leq 10\varepsilon$$
$$\frac{265,75}{28} \leq 10$$

$$9,49 \leq 10 \dots 2. \text{ třída}$$

10.5.1.3. Ohyb a vzpěr

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

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

- kde N_{Ed} návrhová normálová síla
 $M_{y,Ed}$ návrhová momentová síla
 χ_y, χ_z součinitel vzpěrnosti
 χ_{LT} součinitel klopení
 γ_{M1} dílčí součinitel spolehlivosti
 k_{yy}, k_{zy} součinitel interakce

$$N_{Rk} = A \cdot f_y$$

- kde A plocha průřezu

$$f_y \text{ mez kluzu}$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 23900 \cdot 235 = \mathbf{5616,5 \text{ kN}}$$

$$M_{y, Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y$$

- kde $W_{pl,y}$ průřezový modul k ose y

$$f_y \text{ mez kluzu}$$

$$M_{y, Rk} = 4,82 \cdot 10^6 \cdot 235 = \mathbf{1132,7 \text{ kNm}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}}$$

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

- kde α součinitel imperfekce

$$\bar{\lambda}_y \text{ poměrná štíhlost}$$

kde $L_{z,cr}$ vzpěrná délka prutu

i_z poloměr setrvačnosti

$$\lambda_z = \frac{6650}{72,61} = \mathbf{91,59}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = \mathbf{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{91,59}{93,9} = \mathbf{0,975}$$

$$\phi_z = 0,5[1 + 0,34(0,975 - 0,2) + 0,975^2] = \mathbf{1,107}$$

$$\chi_z = \frac{1}{1,107 + \sqrt{1,107^2 - 0,975^2}} = \mathbf{0,613}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

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

kde α_{LT} součinitel imperfekce

$\alpha_{LT} = 0,49 \rightarrow$ vzpěrná křivka c

kde $\bar{\lambda}_{LT}$ poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}}$$

Výpočet kritického momentu

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L}$$

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

$$I_z = 126 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

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

$$I_t = 5,38 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$L = 6650 \text{ mm}$$

$$I_w = 7,07 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6$$

Bezrozměrný kritický moment

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

kde bezrozměrný parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$$

bezrozměrný parametr působivosti zatížení vzhledem ke středu smyku

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$$

Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu

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

C_1, C_2, C_3 součinitele vystihující tvar momentového obrazce

L délka nosníku mezi body zajištěnými proti posunu kolmo z roviny

$$k_z = 1,00$$

$$k_w = 1,00$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 6650} \sqrt{\frac{210 \cdot 7,07 \cdot 10^{12}}{81 \cdot 5,38 \cdot 10^6}} = 0,87$$

Vzdálenost působivosti zatížení od těžiště

$$z_a = 250 \text{ mm}$$

Vzdálenost středu smyku od těžiště

$$z_s = 0,00 \text{ mm}$$

$$z_g = z_a - z_s = 250 \text{ mm}$$

Parametr působivosti zatížení

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 0,25}{1 \cdot 6650} \sqrt{\frac{210 \cdot 126 \cdot 10^6}{81 \cdot 5,38 \cdot 10^6}} = 0,92$$

Parametr nesymetrie průřezu

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

Průřez je symetrický

$$z_j = 0,00 \Rightarrow \zeta_j = 0,00$$

$$C_1 = 1,36$$

$$C_2 = 0,55$$

$$C_3 = 0,41$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right] \\ &= \frac{1,36}{1,00} \left[\sqrt{1 + 0,87^2 + (0,55 \cdot 0,92 - 0,41 \cdot 0)^2} - (0,55 \cdot 0,92 - 0,41 \cdot 0) \right] = 1,241 \end{aligned}$$

Kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 1,241 \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 126 \cdot 10^{-6} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 5,38 \cdot 10^{-6}}}{6,65} = 1990,8 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4,82 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,99 \cdot 10^6}} = \mathbf{0,76}$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = \\ &= 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,76 - 0,2) + 0,76^2] = \mathbf{0,88} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \chi_{LT} &= \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \\ &= \frac{1}{0,88 + \sqrt{0,88^2 - 0,76^2}} = \mathbf{0,76} \end{aligned}$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,6$$

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

$$= 0,6 \cdot \left(1 + (1,088 - 0,2) \cdot \frac{552000}{\frac{0,663 \cdot 23900 \cdot 235}{1,10}} \right) = \quad \mathbf{0,69}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,69 = \quad \mathbf{0,41}$$

$$\frac{552}{\frac{0,663 \cdot 5616,5}{1,10}} + 0,69 \cdot \frac{564}{\frac{0,76 \cdot 1132,7}{1,10}} = \quad \mathbf{0,66 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}}$$

$$\frac{552}{\frac{0,613 \cdot 5616,5}{1,10}} + 0,41 \cdot \frac{564}{\frac{0,76 \cdot 1132,7}{1,10}} = \quad \mathbf{0,47 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}}$$

Navržený průřez HEB 500 **VYHOVUJE**

10.5.2. Výpočet dřívku sloupu

10.5.2.1. Návrhové hodnoty působícího zatížení a průřezové charakteristiky

Ned = 2175 kN

Med = 1947 kNm

Navrhuji profil HEB 1000

Délka dřívku $l_d = 10,00$ m

b = 300 mm

h = 1000 mm

t_f = 36 mm

t_w = 19 mm

A = 40,0 · 10³ mm²

d = 868 mm

I_y = 64,50 · 10⁸ mm⁴

I_z = 163,00 · 10⁶ mm⁴

W_{el,y} = 1290,0 · 10⁴ mm³

W_{pl,y} = 1486,00 · 10⁴ mm³

W_{el,z} = 108,53 · 10⁴ mm³

W_{pl,z} = 171,6 · 10⁴ mm³

i_y = 402 mm

i_z = 63,8 mm

c = 260,50 mm

I_t = 12,5 · 10⁶ mm⁴

I_w = 38,8 · 10¹² mm⁶

Kritické délky

$$L_{y,cr} = 3 \cdot 10,0 = 30,0 \text{ m}$$

$$L_{z,cr} = 10,0 \text{ m}$$

Materiálové charakteristiky

Ocel S235

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

$$\varepsilon = 1,00$$

10.5.2.2. Zatřídění průřezu

Stojina

Napětí v horních vláknech

$$\sigma_h = \frac{-N}{A} + \frac{M}{W} = -\frac{2175 \cdot 10^3}{40 \cdot 10^{-3}} + \frac{1947 \cdot 10^3}{12,9 \cdot 10^{-3}} = 96,56 \text{ MPa}$$

Napětí v dolních vláknech

$$\sigma_h = \frac{-N}{A} + \frac{M}{W} = -\frac{2175 \cdot 10^3}{40 \cdot 10^{-3}} + \frac{1947 \cdot 10^3}{12,9 \cdot 10^{-3}} = 96,56 \text{ MPa}$$

$$\alpha = \frac{|\sigma_d|}{|\sigma_d| + |\sigma_h|} = \frac{96,56}{96,56 + 96,56} = 0,5$$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\frac{868}{19} \leq \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0,5 - 1}$$

$$45,68 \leq 72 \dots 1. \text{ třída}$$

Pásnice

$$\frac{c}{t_f} \leq 10\varepsilon$$

$$\frac{260,5}{36} \leq 10$$

$$7,24 \leq 10 \dots 1. \text{ třída}$$

10.5.2.3. Ohyb a vzpěr

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

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

- kde N_{Ed} návrhová normálová síla
 $M_{y,Ed}$ návrhová momentová síla
 χ_y, χ_z součinitel vzpěrnosti
 χ_{LT} součinitel klopení
 γ_{M1} dílčí součinitel spolehlivosti
 k_{yy}, k_{zy} součinitel interakce

$$N_{Rk} = A \cdot f_y$$

- kde A plocha průřezu

$$f_y \text{ mez kluzu}$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 40000 \cdot 235 = \mathbf{9400 \text{ kN}}$$

$$M_{y, Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y$$

- kde $W_{pl,y}$ průřezový modul k ose y

$$f_y \text{ mez kluzu}$$

$$M_{y, Rk} = 14,86 \cdot 10^3 \cdot 235 = \mathbf{3492,1 \text{ kNm}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}}$$

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

- kde α součinitel imperfekce

$$\bar{\lambda}_y \text{ poměrná štíhlost}$$

Válcovaný průřez $h/2 \geq 1,2$ – křivka vzpěrné pevnosti:

$$y-y \quad a \quad \alpha = \quad \mathbf{0,21}$$

$$z-z \quad b \quad \alpha = \quad \mathbf{0,34}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{y,cr}}{i_y}$$

kde $L_{y,cr}$ vzpěrná délka prutu

i_y poloměr setrvačnosti

$$\lambda_y = \frac{30000}{402} = \quad \mathbf{74,63}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = \quad \mathbf{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{74,63}{93,9} = \quad \mathbf{0,795}$$

$$\phi_y = 0,5[1 + 0,21(0,795 - 0,2) + 0,795^2] = \quad \mathbf{0,878}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,878 + \sqrt{0,878^2 - 0,795^2}} = \quad \mathbf{0,800}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}}$$

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

kde α součinitel imperfekce

$\bar{\lambda}_z$ poměrná štíhlost

Válcovaný průřez $h/2 \geq 1,2$ – křivka vzpěrné pevnosti:

$$y-y \quad a \quad \alpha = \quad \mathbf{0,21}$$

$$z-z \quad b \quad \alpha = \quad \mathbf{0,34}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{z,cr}}{i_z}$$

kde $L_{z,cr}$ vzpěrná délka prutu

i_z poloměr setrvačnosti

$$\lambda_z = \frac{10000}{63,8} = \mathbf{156,8}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = \mathbf{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{156,8}{93,9} = \mathbf{1,669}$$

$$\phi_z = 0,5[1 + 0,34(1,669 - 0,2) + 1,669^2] = \mathbf{2,140}$$

$$\chi_z = \frac{1}{2,140 + \sqrt{2,140^2 - 1,669^2}} = \mathbf{0,288}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

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

kde α_{LT} součinitel imperfekce

$$\alpha_{LT} = 0,34 \rightarrow \text{vzpěrná křivka } b$$

kde $\bar{\lambda}_{LT}$ poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}}$$

Výpočet kritického momentu

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L}$$

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

$$I_z = 163 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

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

$$I_t = 12,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$L = 6650 \text{ mm}$$

$$I_w = 38,8 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6$$

Bezrozměrný kritický moment

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

kde bezrozměrný parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$$

bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$$

Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu

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

C_1, C_2, C_3 součinitele vystihující tvar momentového obrazce

L délka nosníku mezi body zajištěnými proti posunu kolmo z roviny

$$k_z = 1,00$$

$$k_w = 1,00$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 10000} \sqrt{\frac{210 \cdot 38,8 \cdot 10^{12}}{81 \cdot 12,5 \cdot 10^6}} = 0,89$$

Vzdálenost působíště zatížení od těžiště

$$z_a = 500 \text{ mm}$$

Vzdálenost středu smyku od těžiště

$$z_s = 0,00 \text{ mm}$$

$$z_g = z_a - z_s = 500 \text{ mm}$$

Parametr působíště zatížení

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 0,5}{1 \cdot 10000} \sqrt{\frac{210 \cdot 163 \cdot 10^6}{81 \cdot 12,5 \cdot 10^6}} = 0,91$$

Paramert nesymetrie průřezu

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

Průřez je symetrický

$$z_j = 0,00 \Rightarrow \zeta_j = 0,00$$

$$C_1 = 1,36$$

$$C_2 = 0,55$$

$$C_3 = 0,41$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right] \\ &= \frac{1,36}{1,00} \left[\sqrt{1 + 0,89^2 + (0,55 \cdot 0,91 - 0,41 \cdot 0)^2} - (0,55 \cdot 0,91 - 0,41 \cdot 0) \right] = 1,44 \end{aligned}$$

Kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 1,44 \cdot \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 163 \cdot 10^{-6} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 12,5 \cdot 10^{-6}}}{10,0} = 2669,31 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{14,9 \cdot 10^3 \cdot 235}{2,66931 \cdot 10^6}} = \mathbf{1,15}$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = \\ &= 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,15 - 0,2) + 1,15^2] = \mathbf{1,32} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \chi_{LT} &= \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \\ &= \frac{1}{1,32 + \sqrt{1,32^2 - 1,15^2}} = \mathbf{0,51} \end{aligned}$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,6$$

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

$$= 0,6 \cdot \left(1 + (0,69 - 0,2) \cdot \frac{2175000}{\frac{0,86 \cdot 40000 \cdot 235}{1,10}} \right) = \quad \mathbf{0,69}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,69 = \quad \mathbf{0,41}$$

$$\frac{2175}{\frac{0,86 \cdot 9400}{1,10}} + 0,69 \cdot \frac{1947}{\frac{0,51 \cdot 3492,1}{1,10}} = \mathbf{0,95} \leq \mathbf{1,00} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{2175}{\frac{0,678 \cdot 9400}{1,10}} + 0,41 \cdot \frac{1947}{\frac{0,51 \cdot 3492,1}{1,10}} = \mathbf{0,87} \leq \mathbf{1,00} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

Navržený průřez HEB 1000 **VYHOVUJE**

10.6. Patka a kotvení sloupu

10.6.1. Vnější zatížení (řez 1)

$$N_{ed} = 2175 \text{ kNm}$$

$$M_{ed} = 1947 \text{ kNm}$$

10.6.2. Třída betonu patky

Třída betonu C 16/20

$$f_{ck} = 16 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,50$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{16}{1,5} = 10,67 \text{ MPa}$$

10.6.3. Rozměry patky

Délka patky $d = 2000 \text{ mm}$

Šířka patky $b_p = 640 \text{ mm}$

Vzdálenost kotevních šroubů od okraje patky

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

10.6.4. Výpočet sil

Excentricita normálové síly

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{1947}{2175} = 895 \text{ mm}$$

$$\frac{e}{d} = \frac{895}{2000} = 0,448$$

Tvarový součinitel $\zeta = \frac{x}{d} = 0,5$

Délka tlačené oblasti betonu

$$x = \zeta \cdot d = 0,5 \cdot 2000 = 1000 \text{ mm}$$

Vzdálenost výslednice T_b od tažených šroubů (rameno vnitřních sil)

$$r = d - a - \frac{x}{3} = 2000 - 150 - \frac{1000}{3} = 1517 \text{ mm}$$

10.6.5. Výslednice tlakového napětí v betonu

$$T_b = \frac{N_{Ed} \cdot \left(c + \frac{d}{2} - a \right)}{r} = \frac{2175 \cdot \left(895 + \frac{2000}{2} - 150 \right)}{1517} = 2502 \text{ kN}$$

10.6.6. Tahová síla na kotevní šrouby

$$Z = T_b - N_{Ed} = 2502 - 2175 = 327 \text{ kN}$$

Počet kotevních šroubů na každé straně

$$n = 2, \text{ celkem 4 šrouby na patku}$$

Tahová síla připadající na jeden šroub

$$F_{t,Ed} = \frac{1}{n} \cdot Z \cdot 1,2 = \frac{1}{2} \cdot 327 \cdot 1,2 = 196,2 \text{ kN}$$

10.6.7. Posouzení betonu

Maximální napětí v betonu

$$\sigma_{b,\max} = \frac{2 \cdot T_b}{x \cdot b_p} = \frac{2 \cdot 2502 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,64} = 7,82 \text{ MPa}$$

Posouzení betonu

$$\sigma_{b,\max} \leq f_{cd}$$

7,82 MPa ≤ 10,67 MPa ... **VYHOVUJE**

10.6.8. Kotevní šrouby

Návrh kotevních šroubů

$$\gamma_M = 1,25$$

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

Návrh: M 45x4

$$A_s = 1272 \text{ mm}^2$$

Únosnost šroubu při přetržení

$$F_{t,Rd} = \frac{A_s \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{1272 \cdot 235}{1,25} = 239 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$$

$$196,2 \leq 239 \text{ kN}$$

$$\frac{196,2}{239} = 0,82 \leq 1,00 \dots \text{VYHOVUJE}$$

10.7. Patní deska

10.7.1. Materiál a rozměry

Materiál desky – ocel S235

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

Rozměry průřezu sloupu (HEB 1000)

Délka průřezu sloupu 1000 mm, šířka průřezu sloupu 300 mm

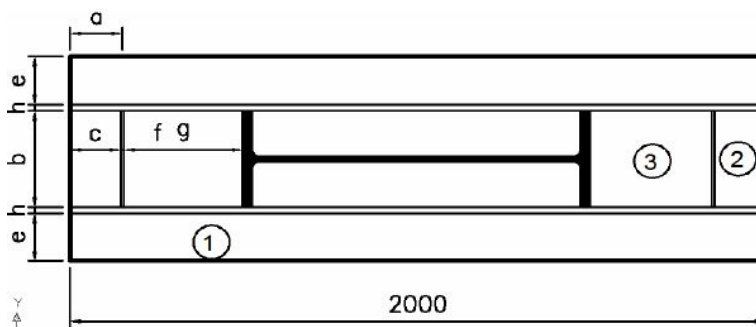
Rozměry patní desky

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

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$c = 145 \text{ mm}$$

$$d = 2000 \text{ mm}$$



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

$$f = 10 \text{ mm}$$

$$g = 345 \text{ mm}$$

$$h = 20 \text{ mm}$$

10.7.2. Tloušťka patního plechu

Oblast 1 – přečnávající konec patního plechu

Plech je namáhaný odporem betonu jako konzola o vyložení $e = 150 \text{ mm}$

Minimální tloušťka patního plechu

$$d_{p1} = 1,73 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{b,\max}}{f_y}} = 1,73 \cdot 150 \cdot \sqrt{\frac{7,82}{235}} = 47,34 \text{ mm}$$

Oblast 2 – deska podepřená po třech stranách obvodu

$$\frac{c}{b} = \frac{145}{300} = 0,48 \leq 0,5 \dots \text{posoudí se jako konzola}$$

$$d_{p2} = 1,73 \cdot c \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{b,\max}}{f_y}} = 1,73 \cdot 145 \cdot \sqrt{\frac{7,82}{235}} = 45,76 \text{ mm}$$

Oblast 3 – deska podepřená po celém obvodě

Menší z rozměrů b a g $A = 300 \text{ mm}$

Větší z rozměrů b a g $B = 345 \text{ mm}$

$$\frac{B}{A} = \frac{345}{300} = 1,15$$

B / A	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	∞
α_3	0,536	0,615	0,670	0,718	0,748	0,774	0,815

$$\alpha_3 = 0,594$$

$$d_{p3} = 1,73 \cdot A \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{b,\max}}{f_y}} = 0,594 \cdot 300 \cdot \sqrt{\frac{7,82}{235}} = 32,51 \text{ mm}$$

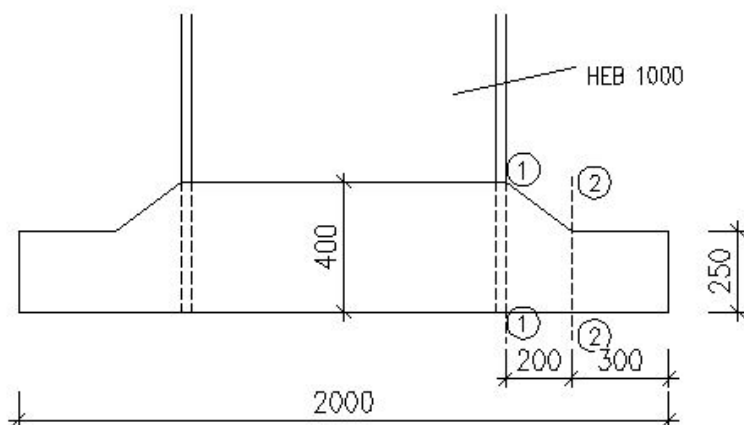
Nutná tloušťka patního plechu

$$d_p = \max(d_{p1}; d_{p2}; d_{p3}) = \max(47,34; 45,76; 32,51) = 47,34 \text{ mm}$$

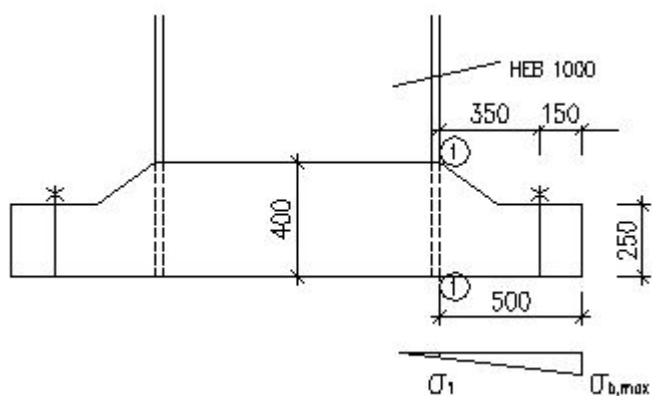
Navržená tloušťka patního plechu $d_p = 50,0 \text{ mm}$

10.8. Posouzení průřezu patky

Provedeno v řezech 1 a 2



10.8.1. Posouzení v řezu 1



$$d_1 = 500 \text{ mm}$$

Napětí v betonu na okraji patky $\sigma_{b,\max} = 7,82 \text{ MPa}$

Napětí v betonu v řezu 1

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{b,\max} \cdot (x - d_1)}{x} = \frac{7,82 \cdot (1000 - 500)}{1000} = 3,91 \text{ MPa}$$

Vnitřní síly od tlaku betonu

$$M_b = \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{2} \cdot d_1 \cdot \frac{d_1}{2} \cdot b_p = \frac{7,82 + 3,91}{2} \cdot 0,5 \cdot \frac{0,5}{2} \cdot 0,64 = 469 \text{ kNm}$$

$$V_b = \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{2} \cdot d_1 \cdot b_p = \frac{7,82 + 3,91}{2} \cdot 0,5 \cdot 0,64 = 1877 \text{ kN}$$

Vnitřní síly od tahu v kotevních šroubech

Rameno $r_1 = 350 \text{ mm}$

$$M_z = Z \cdot r_1 = 327 \cdot 0,35 = 115 \text{ kNm}$$

$$V_z = Z = 327 \text{ kN}$$

Maximální účinky sil

$$M = \max(M_b; M_z) = \max(469; 115) = 469 \text{ kNm}$$

$$V = \max(V_b; V_z) = \max(1877; 327) = 1877 \text{ kN}$$

Průřez patky v řezu 1

$$b_p = 640 \text{ mm}$$

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

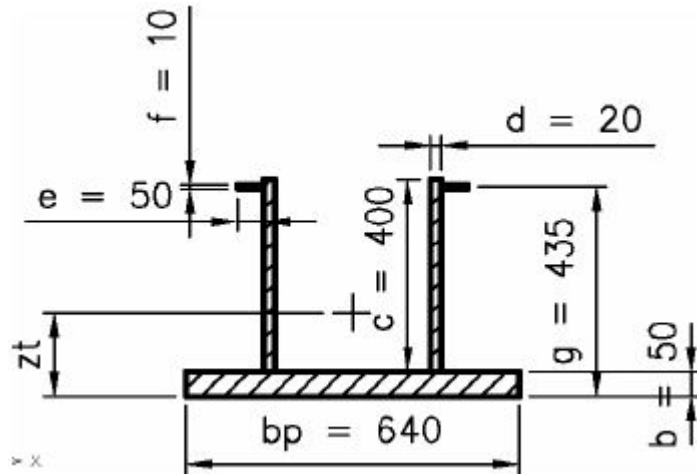
$$c = 400 \text{ mm}$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

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

$$f = 10 \text{ mm}$$

$$g = 435 \text{ mm}$$



Průřezové charakteristiky

$$A = 49 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$z_t = 106,84 \text{ mm}$$

$$z_{t2} = 450 - 106,84 = 343,16 \text{ mm}$$

$$I_y = 8,70 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$W_{yd} = \frac{I_y}{z_t} = \frac{8,7 \cdot 10^8}{106,84} = 8,142 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{yh} = \frac{I_y}{z_{t2}} = \frac{8,7 \cdot 10^8}{343,16} = 2,535 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Napětí

$$\sigma_h = \frac{M}{W_{yh}} = \frac{469 \cdot 10^3}{2,535 \cdot 10^{-3}} = 185,0 \text{ MPa}$$

185 ≤ 235 MPa ... **VYHOVUJE**

$$\sigma_d = \frac{M}{W_{yd}} = \frac{469 \cdot 10^3}{8,142 \cdot 10^{-3}} = 57,6 \text{ MPa}$$

57,6 ≤ 235 MPa ... **VYHOVUJE**

Smyková plocha

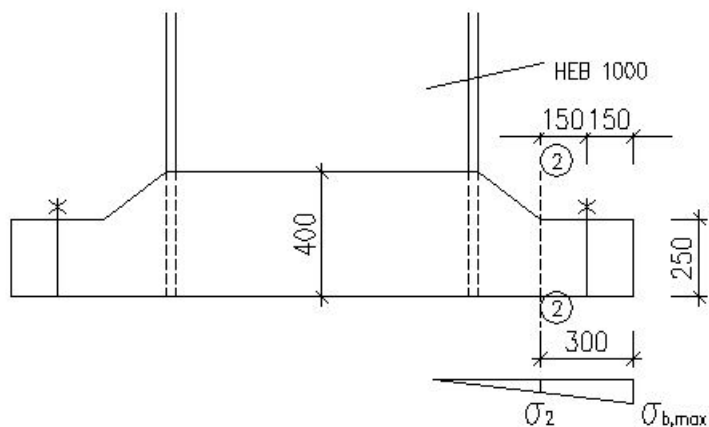
$$A_v = 2 \cdot 400 \cdot 20 = 16 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} = \frac{16 \cdot 10^3 \cdot 235}{1 \cdot \sqrt{3}} = 2171 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

1877 ≤ 2171 kN ... **VYHOVUJE**

10.8.2. Posouzení v řezu 2



$$d_2 = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Napětí v betonu na okraji patky} \quad \sigma_{b,\max} = 7,82 \text{ MPa}$$

Napětí v betonu v řezu 1

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{b,\max} \cdot (x - d_2)}{x} = \frac{7,82 \cdot (1000 - 300)}{1000} = 5,47 \text{ MPa}$$

Vnitřní síly od tlaku betonu

$$M_b = \frac{\sigma_0 + \sigma_2}{2} \cdot d_2 \cdot \frac{d_2}{2} \cdot b_p = \frac{7,82 + 5,47}{2} \cdot 0,3 \cdot \frac{0,3}{2} \cdot 0,64 = 191 \text{ kNm}$$

$$V_b = \frac{\sigma_0 + \sigma_2}{2} \cdot d_2 \cdot b_p = \frac{7,82 + 5,47}{2} \cdot 0,3 \cdot 0,64 = 1276 \text{ kN}$$

Vnitřní síly od tahu v kotevních šroubech

$$\text{Rameno } r_2 = 150 \text{ mm}$$

$$M_z = Z \cdot r_2 = 327 \cdot 0,15 = 49 \text{ kNm}$$

$$V_z = Z = 327 \text{ kN}$$

Maximální účinky sil

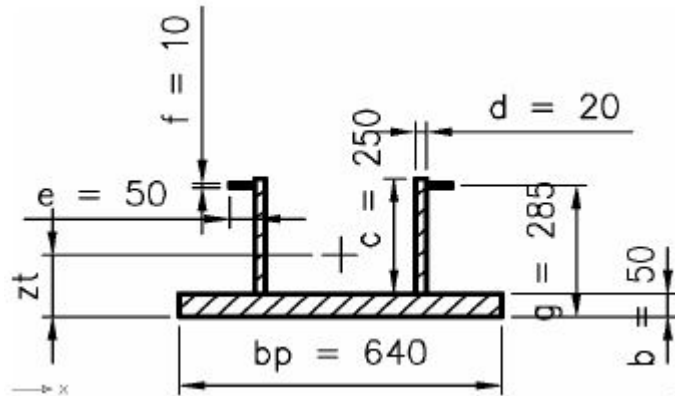
$$M = \max(M_b; M_z) = \max(191; 49) = 191 \text{ kNm}$$

$$V = \max(V_b; V_z) = \max(1276; 327) = 1276 \text{ kN}$$

Průřez patky v řezu 2

$$b_p = 640 \text{ mm}$$

$b = 50 \text{ mm}$
 $c = 250 \text{ mm}$
 $d = 20 \text{ mm}$
 $e = 50 \text{ mm}$
 $f = 10 \text{ mm}$
 $g = 285 \text{ mm}$



Průřezové charakteristiky

$$A = 43 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$z_t = 65,93 \text{ mm}$$

$$z_{t2} = 300 - 65,93 = 235,07 \text{ mm}$$

$$I_y = 2,79 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$W_{yd} = \frac{I_y}{z_t} = \frac{2,79 \cdot 10^8}{65,93} = 4,237 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{yh} = \frac{I_y}{z_{t2}} = \frac{2,79 \cdot 10^8}{234,07} = 1,193 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Napětí

$$\sigma_h = \frac{M}{W_{yh}} = \frac{191 \cdot 10^3}{1,193 \cdot 10^{-3}} = 160,1 \text{ MPa}$$

$160,1 \leq 235 \text{ MPa} \dots \mathbf{VYHOVUJE}$

$$\sigma_d = \frac{M}{W_{yd}} = \frac{191 \cdot 10^3}{4,237 \cdot 10^{-3}} = 45,1 \text{ MPa}$$

$45,1 \leq 235 \text{ MPa} \dots \mathbf{VYHOVUJE}$

Smyková plocha

$$A_v = 2 \cdot 250 \cdot 20 = 10 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 235}{1 \cdot \sqrt{3}} = 1357 \text{ kN}$$

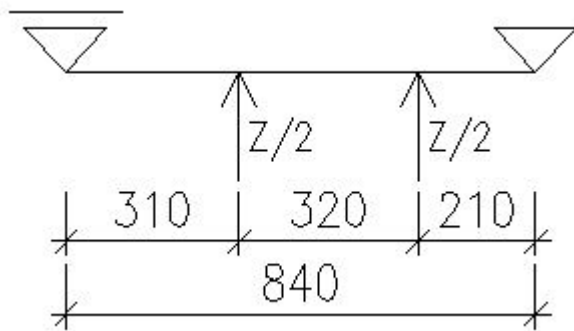
$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

1276 ≤ 1357 kN ... **VYHOVUJE**

10.9. Kotevní příčník

Možný posun patní desky minimálně 50 mm

Navrhuj příčník podle statického schéma



Kde $Z/2 = 327/2 = 163,5 \text{ kN}$

Vnitřní síly

$$M_{\max} = e \cdot Z/2 = 0,310 \cdot 163,5 = 50,7 \text{ kNm}$$

$$V_{\max} = 183 \text{ kNm}$$

Návrh průřezu 2xU 260

$$A = 9785 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 0,755 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Posouzení na ohyb

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_y} = \frac{50,7 \cdot 10^3}{0,755 \cdot 10^{-3}} = 67,2 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V_{\max}}{A} = \frac{183 \cdot 10^3}{9,785 \cdot 10^{-3}} = 18,7 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{67,2^2 + 3 \cdot 18,7^2} = 74,6 \text{ MPa}$$

74,6 ≤ 235 MPa ...**VYHOVUJE**

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN EN 1990 - Zásady navrhování
- [2] ČSN EN 1991 – Zatížení konstrukcí
 - Část 1-1: Obecná zatížení
 - Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení
- [3] ČSN EN 1993 – Navrhování ocelových konstrukcí
 - Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby
 - Část 1-5: Boulení stěn
 - Část 1-6: Jeřabové dráhy
 - Část 1-8: Navrhování styčníků
 - Část 1-9: Únava
 - Část 6: Jeřabové dráhy
- [4] ČSN 73 1401 – Navrhování ocelových konstrukcí
- [5] Konstrukce průmyslových budov; Doc. Ing. Jindřich Melcher, Ing. Bohumil Straka, Praha, 1985
- [6] Ocelová konstrukce průmyslové haly, bakalářská práce; Ivan Balász, Brno, 2009
- [7] Kovové konstrukce – Výpočet jeřabové dráhy pro mostové jeřáby podle ČSN EN 1991-3 a ČSN EN 1993-6; Ing. Milan Pilgr Ph.D.; Akademické nakladatelství CERM, s.r.o.; Brno; 2012