

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

SLOUPOVÝ VÝLOŽNÍKOVÝ JEŘÁB

PILLAR JIB CRANE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Martinka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: Tomáš Martinka
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Sloupový výložníkový jeřáb

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh alternativní netypické konstrukce sloupového jeřábu včetně důležitých pevnostních výpočtů dle zadaných parametrů:

- délka vyložení ramene 4 000 mm,
- výška zdvihu 8 500 mm,
- nosnost 2 000 kg.

Cíle bakalářské práce:

Vypracování technické zprávy s rozбором konstrukce, s výběrem vhodného kladkostroje a s důležitými výpočty.

Nakreslení konstrukčního výkresu sestavy sloupového jeřábu dle zadaných parametrů a detailního výkresu sloupu.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

BIGOŠ, Peter, Jozef KULKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.

POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLISKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.

KOVÁČ, Milan a Vladimír KLAPITA. Manipulácia s materiálom v doprave. 1. vyd. V Žiline: EDIS, 2003. ISBN 8080701741.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem alternativní netypické konstrukce sloupového jeřábu včetně důležitých pevnostních výpočtů dle zadaných parametrů: délka vyložení ramene 4000 mm, výška zdvihu 8500 mm, nosnost 2000 kg. Součástí práce je vypracování technické zprávy s rozbohem konstrukce, výběrem vhodného kladkostroje s důležitými výpočty. Práce se rovněž skládá z konstrukčního výkresu sestavy sloupového jeřábu dle zadaných parametrů a detailního výkresu sloupu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sloupový jeřáb, výložník, zdvihací zařízení, konstrukční návrh, pevnostní výpočet.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of an alternative atypical construction of a column crane including important strength calculations according to specified parameters: arm extension length 4000 mm, lift height 8500 mm, load capacity 2000 kg. Part of this work is also elaboration of technical report with analysis of construction, selection of suitable hoist with important calculations. Further draw a construction drawing of the column crane assembly according to the entered parameters and a detailed drawing of the column.

KEYWORDS

Jib crane, boom, lifting equipment, construction design, strength calculation.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MARTINKA, Tomáš. *Sloupový výložníkový jeřáb*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124992>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 57 s . Vedoucí práce Jiří Malášek.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Maláška, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. června 2020

.....

Tomáš Martinka



PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval doc. Ing. Jířímu Maláškovi, Ph.D. za odborné rady a příkladné vedení bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým za podporu při studiu.

OBSAH

Úvod	10
1 Přehled typů konstrukcí sloupových výložníkových jeřábů	11
1.1 S výložníkem uloženým v patkách s horní podpěrou	11
1.2 S výložníkem uloženým v patkách se spodní podpěrou	11
1.3 S výložníkem uloženým v čepu v ose sloupu se spodní podpěrou pomocí opěrných kroužků	12
2 Volba zdvihového ústrojí	13
3 Volba profilů materiálů	15
4 Zatížení konstrukce	16
4.1 Určení zatěžujících sil	16
4.1.1 Výpočet návrhové hmotnosti výložníku	16
4.1.2 Výpočet návrhové hmotnosti kladkostroje	16
4.1.3 Výpočet návrhové hmotnosti břemene	16
4.1.4 Zatížení vlivem zrychlení pohonu zdvihu břemene	16
4.1.5 Zatížení způsobené nárazem do nárazníku	17
4.1.6 Dílčí součinitel pro hmotnost jeřábu	17
4.1.7 Zatížení způsobené tíhovou silou od hmotnosti výložníku	17
4.1.8 Zatížení způsobené tíhovou silou od hmotnosti břemene a kladkostroje	17
4.2 Vnitřní Výsledné Účinky (VVÚ)	18
4.2.1 Statický rozbor	19
4.2.2 Určení reakčních sil	19
4.2.3 Výpočet VVÚ sloupu (těleso 2)	21
4.2.4 Výpočet VVÚ výložníku (těleso 3)	24
5 Výpočet součástí konstrukce	27
5.1 Volba typu a výpočet velikosti ložisek	27
5.1.1 Spodní ložisko	27
5.1.2 Horní ložisko	28
5.2 Výpočet rozměrů konstrukce	29
5.2.1 Výpočet IPE profilu výložníku	29
5.2.2 Kontrola výložníku na klopení	30
5.2.3 Výpočet trubky sloupu	32
5.2.4 Výpočet horní patky	33
5.2.5 Výpočet spodní patky	34
5.2.6 Výpočet velikosti šroubů ložiskových těles	34
5.2.7 Výpočet kotevních šroubů	36

5.3	Výpočet svarů	39
5.3.1	Návrh svarů horní patky a sloupu.....	39
5.3.2	Návrh svarů spodní patky a sloupu.....	40
5.3.3	Návrh svarů ložiskových čepů a výložníku.....	42
6	Volba dodatečných součástí jeřábu	44
6.1	Břemenový hák	44
6.2	Elektronický dvoupolohový vypínač zdvihu	44
6.3	Upínací nárazníky	44
6.4	Proudový unášec kočky	45
6.5	Počítadlo provozních hodin	46
6.6	Rádiové ovládání tiger G2	46
	Závěr.....	47
	Seznam příloh.....	57



ÚVOD

Jeřáb je dopravní stroj užívaný pro zvedání a přemísťování předmětů, nazývaných také břemen. Používá se napříč všemi odvětvími a k uchopování břemen musí být opatřen hákem, drapákem, elektromagnetem, či jiným zařízením. Jeřáby, jako skupina strojů, jsou rozděleny do několika skupin. Můžeme je dělit např. podle druhu pohonu, podle způsobu přemístění nebo podle možnosti otáčení ramene.

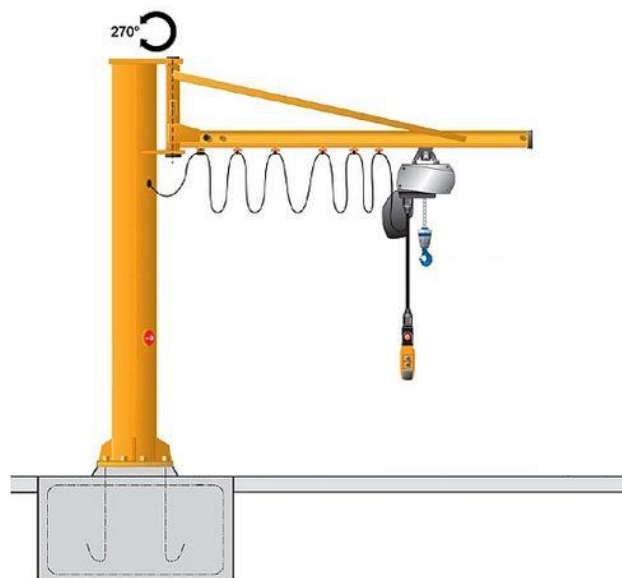
Tato bakalářská práce obsahuje konstrukční návrh stacionárního sloupového výložníkového jeřábu s omezeným úhlem otáčení, daným zvolenou konstrukcí. Jeřáb je dle volby opatřen řetězovým zdvihacím zařízením. Zaručená výška zdvihu jeřábu je 8500 mm a délka vyložení ramene je 4000 mm. Nutností je ukotvení jeřábu na připravený podklad pomocí kotevních šroubů. Součástí práce je rovněž výkresová dokumentace sestavy a svařenec sloupu. Mezi hlavní části konstrukce patří výložník, sloup, ložiska umožňující otáčení výložníku a kladkostroj.

1 PŘEHLED TYPŮ KONSTRUKCÍ SLOUPOVÝCH VÝLOŽNÍKOVÝCH JEŘÁBŮ

Konstrukce sloupových výložníkových jeřábů se liší zejména způsobem uchycení výložníku ke sloupu. Dle tohoto kritéria jsou 3 způsoby užívané různými výrobci.

1.1 S VÝLOŽNÍKEM ULOŽENÝM V PATKÁCH S HORNÍ PODPĚROU

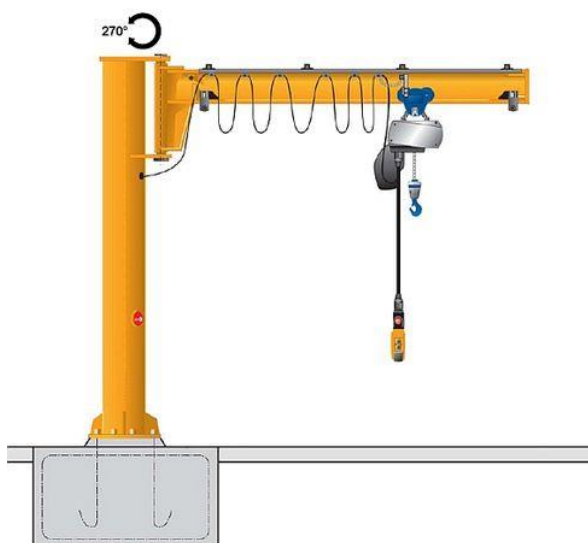
Tento typ uložení se nejčastěji používá na maximální nosnosti do 1000 kg. Výložník bývá tvořen dutým C-profilem. Důležitým pevnostním prvkem je prut spojující výložník s příčnickem výložníku. Úhel otáčení výložníku je omezen na přibližně 270°.



Obrázek 1 Typ konstrukce s výložníkem uloženým v patkách se spodní podpěrou [2]

1.2 S VÝLOŽNÍKEM ULOŽENÝM V PATKÁCH SE SPODNÍ PODPĚROU

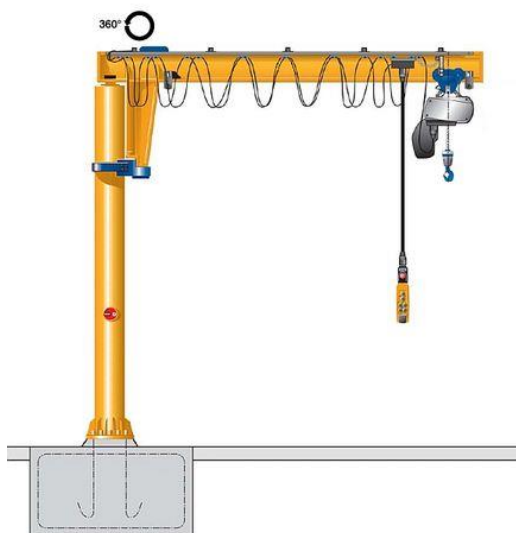
Tento typ konstrukce je nejčastěji užíván na nosnosti do 3000 kg. Úhel otáčení výložníku je omezen jako u předchozího typu, rovněž na hodnotu přibližně 270°. Důležitým funkčním prvkem na konstrukci výložníku je spodní podpěra (výztuha), která rozloží napětí od ohybového momentu způsobené tíhou břemene a samotného výložníku.



Obrázek 2 Typ konstrukce s výložníkem uloženým v patkách s horní podpěrou [2]

1.3 S VÝLOŽNÍKEM ULOŽENÝM V ČEPU V OSE SLOUPU SE SPODNÍ PODPĚROU POMOCÍ OPĚRNÝCH KROUŽKŮ

Užití pro nosnosti 2000-10000 kg. Úhel otáčení výložníku je 360° a je omezen pouze vedením elektrické kabeláže pro napájení pohonu kladkostroje nebo. U těchto jeřábů může být použit pohon pro otáčení výložníku.



Obrázek 3 Typ konstrukce s výložníkem uloženým v ose sloupu se spodní podpěrou [2]

2 VOLBA ZDVIHOVÉHO ÚSTROJÍ

Vedle konstrukce, nosnosti, výšky a rychlosti zdvihu je při výběru zdvihacího ústrojí důležitým kritériem i provozní skupina pohonu, přizpůsobená určitému druhu použití. Ke zjištění provozní skupiny pohonu je vedle střední doby chodu t_m , vypočtené ze vzorce (1), nutný správný odhad, příp. zjištění kolektivu břemene. [3]

$$t_m = \frac{2 \cdot h_s \cdot n_z \cdot t_d}{60 \cdot v_z} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 8 \cdot 15}{60 \cdot 4} = 4 \text{ [h/den]} \quad (1)$$

Tab. 1 Skupiny zatížení [3]

Skupina zatížení	Definice skupiny zatížení		Střední doba chodu t_m za jeden pracovní den v hodinách				
1 (lehký)	($k \leq 0,50$) Jen výjimečně nejvyšší namáhání, převážně velmi malé namáhání, malá mrtvá zátěž		≤ 2	2 – 4	4 – 8	8 – 16	> 16
2 (střední)	($0,50 < k \leq 0,63$) Častější nejvyšší namáhání, běžně malé namáhání, střední mrtvá zátěž		≤ 1	1 – 2	2 – 4	4 – 8	8 – 16
3 (těžký)	($0,63 < k \leq 0,80$) Často nejvyšší namáhání, běžně střední namáhání, velká mrtvá zátěž		$\leq 0,5$	0,5 – 1	1 – 2	2 – 4	4 – 8
4 (velmi těžký)	($0,80 < k \leq 1$) Pravidelně nejvyšší namáhání, velmi vysoká mrtvá zátěž		$\leq 0,25$	0,25 – 0,5	0,5 – 1	1 – 2	2 – 4
Skupina hnacího ústrojí dle DIN 15020, příp. FEM 9.511			1Bm	1Am	2m	3m	4m

Byla zvolena skupina zatížení 2. Na základě výpočtu t_m a zařazení jeřábu do skupiny zatížení 2(střední) se jedná o provozní skupinu pohonů 3m. V tabulce 2 je uvedena teoretická životnost D v hodinách, která pro skupinu 3m a střední třídu je 12 500 h.

Tab. 2 Teoretická životnost [3]

	Provozní	1Bm/M3	1Am/M4	2m/M5	3m/M6	4m/M7
Řádek	Skupina zatížení	Teoretická životnost D (h)				
1	lehký	3 200	6 300	12 500	25 000	50 000
2	střední	1 600	3 200	6 300	12 500	25 000
3	těžký	800	1 600	3 200	6 300	12 500
4	velmi těžký	400	800	1 600	3 200	6 300



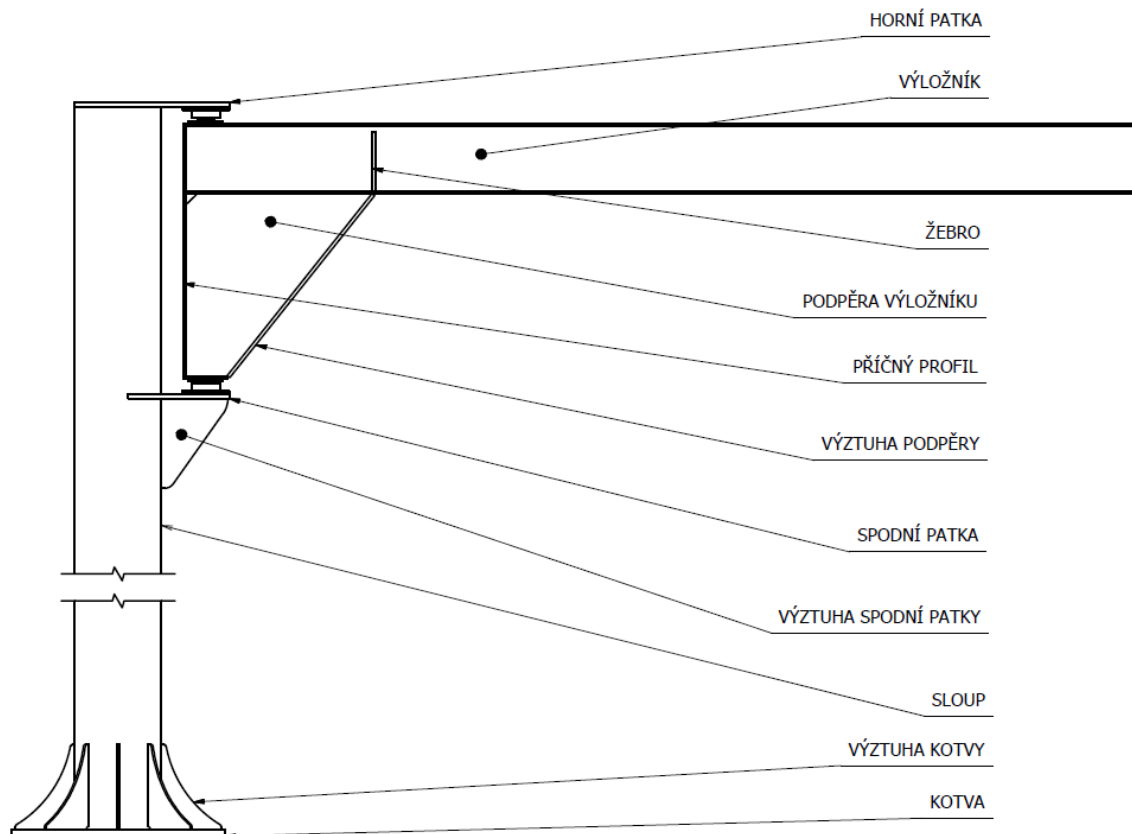
V běžně dostupných katalozích byla nabízena velká spousta zdvihacích zařízení. Výchozími parametry pro výběr byla provozní skupina pohonu 3m/M6 a nosnost 2000kg. Ostatní parametry jsou porovnány v tabulce.

Tab. 3 Přehled kladkostrojů

Výrobce	Giga	Abus	Abus	Liftket
Typ	GHM 4000-20-2/1	GM 8 2000,5-2	GM 820	0,91/52
Druh navíjeného elementu	Lano	Řetěz	Lano	Řetěz
Počet nosných průřezů(řetězů)	2	2	4	2
Rychlost zdvihu	10/1,6	5/0,8	6,3/1	5/1,25
Výkon motoru zdvihu	4,9/0,8	2/0,33		1,8/0,45
Výška Zdvihu	9	10	9	

Pro tento typ konstrukce byl vybrán řetězový kladkostroj Abus GM 8 2000,5-2. Mezi důvody výběru patří nízká rychlost pomalejšího zdvihu k jednoduššímu přesnému pokládání břemene a také bezproblémová modifikace celku doplňkových součástí od stejného českého výrobce Abus.

3 VOLBA PROFILŮ MATERIÁLŮ



Obrázek 4 Popis hlavních součástí konstrukce jeřábu

Materiály voleny dle [5]
Specifikace materiálu dle [10]

Horní patka – plech, S355J2+N (1.0577) dle 10025-2
 Výložník - IPE profil, S355J2 (1.0577) dle EN 10025-2
 Žebro – plochý profil, S355J2 (1.0577) dle EN 10025-2
 Podpěra výložníku – S355J2+N (1.0577) dle EN 10025-2
 Příčný profil - plochý profil, S355J2 (1.0577) dle EN 10025-2
 Výztuha podpěry - plochý profil, S355J2 (1.0577) dle EN 10025-2
 Spodní patka - plech, S355J2+N (1.0577) dle 10025-2
 Výztuha spodní patky – plech, S355J2+N (1.0577) dle EN 10025-2
 Sloup – bezešvá konstrukční trubka, S355J2H (1.0576) dle EN 10210-1
 Výztuha kotvy – plech, S355J2+N (1.0577) dle EN 10025-2
 Kotva - plech, S355J2+N (1.0577) dle 10025-2

4 ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE

4.1 URČENÍ ZATĚŽUJÍCÍCH SIL

Jelikož byl tento výpočet proveden dle statické únosnosti, figurují ve výpočtech součinitele nahrazující působení jiných druhů zatížení. Výpočet kapitoly 4 proveden dle [6].

4.1.1 VÝPOČET NÁVRHOVÉ HMOTNOSTI VÝLOŽNÍKU

$$m_{NV} = m_V \cdot \phi_1 = 343,7 \cdot 1,1 = 378,1 \text{ kg} \quad (2)$$

$$m_V = 343,7 \text{ kg}$$

$$\phi_1 = 1 + \delta = 1 + 0,1 = 1,1 \quad (3)$$

$$\delta = 0,1$$

4.1.2 VÝPOČET NÁVRHOVÉ HMOTNOSTI KLDKOSTROJE

$$m_{NK} = m_K \cdot \phi_1 = 108,2 \cdot 1,1 = 119 \text{ kg} \quad (4)$$

$$m_K = 108,2 \text{ kg}$$

4.1.3 VÝPOČET NÁVRHOVÉ HMOTNOSTI BŘEMENE

$$m_{NB} = m_B \cdot \phi_2 = 2000 \cdot 1,9 = 3800 \text{ kg} \quad (5)$$

$$\phi_2 = \phi_{2min} + \beta_1 \cdot v_{nmax} = 1,05 + 0,17 \cdot 5 = 1,9 \quad (6)$$

$$m_B = 2000 \text{ kg}$$

$$\phi_{2min} = 1,05$$

$$\beta_1 = 0,17$$

$$v_{nmax} = 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

4.1.4 ZATÍŽENÍ VLIVEM ZRYCHLENÍ POHONU ZDVIHU BŘEMENE

$$F_{NB} = F_1 + \phi_3 \cdot \Delta F = 37278 + 1,5 \cdot 1140 = 38988 \text{ N} \quad (7)$$

$$\Delta F = F_2 - F_1 = 38418 - 37278 = 1140 \text{ N} \quad (8)$$

$$F_1 = m_{NB} \cdot g = 3800 \cdot 9,81 = 37278 \text{ N} \quad (9)$$

$$F_2 = m_{NB} \cdot g + m_{NB} \cdot a_{Kmax} \quad (10)$$

$$F_2 = 3800 \cdot 9,81 + 3800 \cdot 0,3 = 38418 \text{ N}$$

Zrychlení zdvihu $a_{Kmax} \leq 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. [4] str.129

Ve výpočtu je uvažována nejvyšší hodnota

$$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

4.1.5 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÉ NÁRAZEM DO NÁRAZNÍKU

Součinitel zatížení způsobeným nárazem kladkostroje do nárazníku pojezdu po výložníku. Hodnota součinitele vybrána dle charakteristiky pružení materiálu nárazníku.

$$\phi_4 = 1,25$$

4.1.6 DÍLČÍ SOUČINITEL PRO HMOTNOST JEŘÁBU

Dílčí součinitel hmotnosti jeřábu zvolen dle metody určení hmotnosti jeřábu

$$\gamma_P = 1,22$$

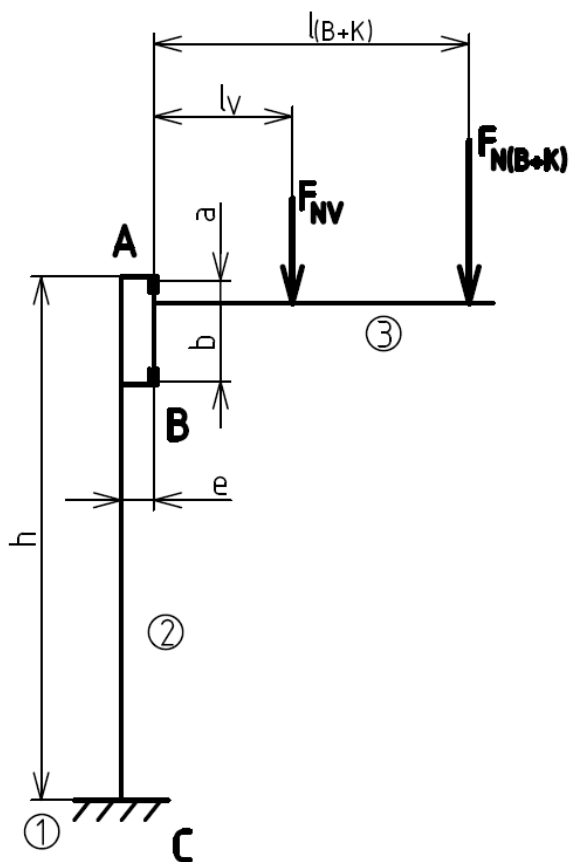
4.1.7 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÉ TÍHOVOU SÍLOU OD HMOTNOSTI VÝLOŽNÍKU

$$F_{NV} = m_{NV} \cdot g \cdot \gamma_P = 378,1 \cdot 9,81 \cdot 1,22 = 4632 \text{ N} \quad (11)$$

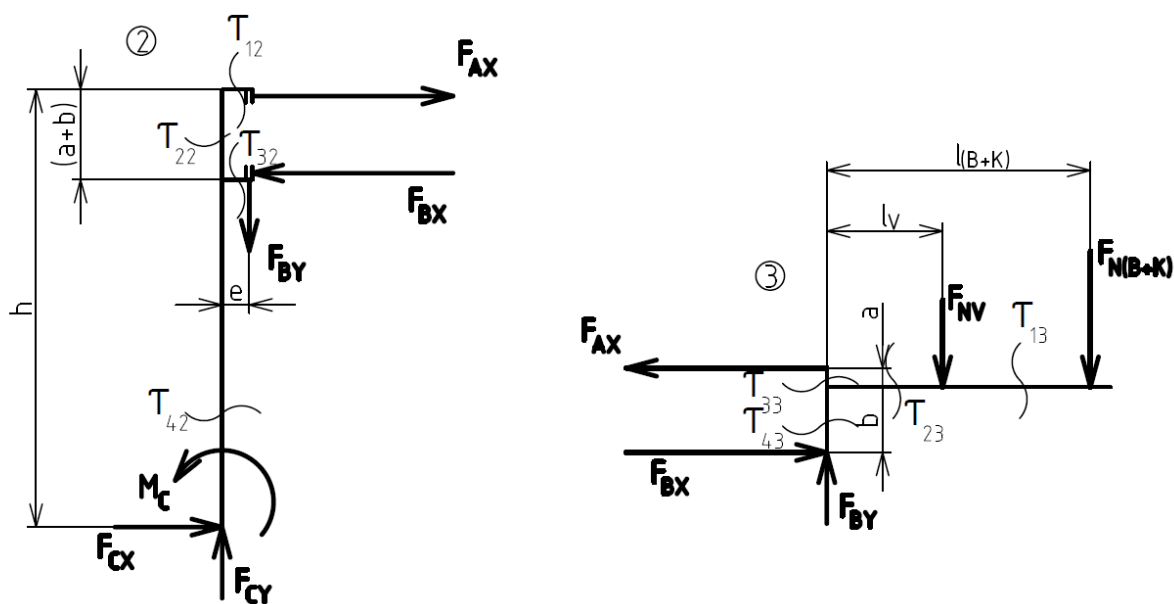
4.1.8 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÉ TÍHOVOU SÍLOU OD HMOTNOSTI BŘEMENE A KLADKOSTROJE

$$\begin{aligned} F_{N(B+K)} &= F_{NB} \cdot \phi_4 + m_{NK} \cdot g \cdot \gamma_P \\ F_{N(B+K)} &= 38988 \cdot 1,25 + 119 \cdot 9,81 \cdot 1,22 = 50160 \text{ N} \end{aligned} \quad (12)$$

4.2 VNITŘNÍ VÝSLEDNÉ ÚČINKY (VVÚ)



Obrázek 5 Schématické zakreslení vazeb



Obrázek 6 Uvolnění jednotlivých vazeb

4.2.1 STATICKÝ ROZBOR

Počet neznámých parametrů

NP: $[F_{AX}; F_{BX}; F_{BY}; F_{CX}; F_{CY}; M_C]$

$\mu_F = 5$; $\mu_M = 1$; $\mu_r = 0$

$$\begin{aligned}\mu &= \mu_F + \mu_M + \mu_r \\ \mu &= 5 + 1 + 0 = 6\end{aligned}\tag{13}$$

Počet řešitelných rovnic

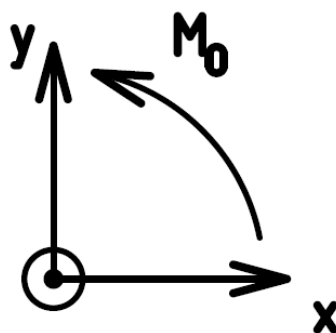
$v_F = 4$; $v_M = 2$

$$\begin{aligned}v &= v_F + v_M \\ v &= 4 + 2 = 6\end{aligned}\tag{14}$$

Podmínka statické určitosti

$$\begin{aligned}v &= \mu \wedge \mu_r + \mu_M \leq v_M \\ 6 &= 6 \wedge 0 + 1 \leq 2\end{aligned}\tag{15}$$

4.2.2 URČENÍ REAKČNÍCH SIL



Obrázek 7 Směr kladných smyslů v rovině



Rovnice silové rovnováhy pro těleso 3

$$\Sigma F_{Y3} = 0$$

$$F_{BY} - F_{NV} - F_{N(B+K)} = 0 \quad (16)$$

$$F_{BY} = 50160 + 4632 = 54792 \text{ N}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$F_{BX} \cdot (a + b) - F_{NV} \cdot l_V - F_{N(B+K)} \cdot l_{(B+K)} = 0 \quad (17)$$

$$F_{BX} = \frac{F_{NV} \cdot l_V + F_{N(B+K)} \cdot l_{(B+K)}}{(a + b)}$$

$$F_{BX} = \frac{4632 \cdot 1452,12 + 50160 \cdot 4000}{(218 + 1057)} = 162640 \text{ N}$$

$$\Sigma F_{X3} = 0$$

$$F_{BX} - F_{AX} = 0 \quad (18)$$

$$F_{BX} = F_{AX} = 162640 \text{ N}$$

Rovnice silové rovnováhy pro těleso 2

$$\Sigma F_{X2} = 0$$

$$F_{CX} + F_{AX} - F_{BX} = 0 \quad (19)$$

$$F_{CX} = F_{BX} - F_{AX} = 162640 - 162640 = 0 \text{ N}$$

$$\Sigma F_{Y2} = 0$$

$$F_{CY} - F_{BY} = 0 \quad (20)$$

$$F_{CY} = F_{BY} = 54792 \text{ N}$$

$$\Sigma M_C = 0$$

$$M_C + F_{BX} \cdot (h - a - b) - F_{AX} \cdot h - F_{BY} \cdot e = 0 \quad (21)$$

$$M_C = F_{BY} \cdot e + F_{AX} \cdot h - F_{BX} \cdot (h - a - b)$$

$$M_C = 54792 \cdot 0,41 + 162640 \cdot 9,632 - 162640 \cdot$$

$$\quad \cdot (9,632 - 0,218 - 1,057)$$

$$M_C = 229830,7 \text{ Nm}$$

4.2.3 VÝPOČET VVÚ SLOUPU (TĚLESO 2)

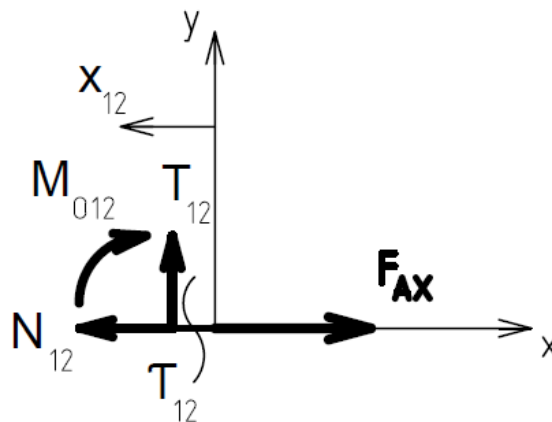
Řešení v intervalu τ_{12}

$$x_{12} \in < 0; e >$$

$$\begin{aligned} N_{12} &= F_{AX} \\ N_{12} &= 162640 \text{ N} \end{aligned} \quad (22)$$

$$T_{12} = 0 \text{ N} \quad (23)$$

$$M_{O12} = 0 \text{ Nm} \quad (24)$$



Obrázek 8 Řešení VVÚ v intervalu τ_{12}

Řešení v intervalu τ_{22}

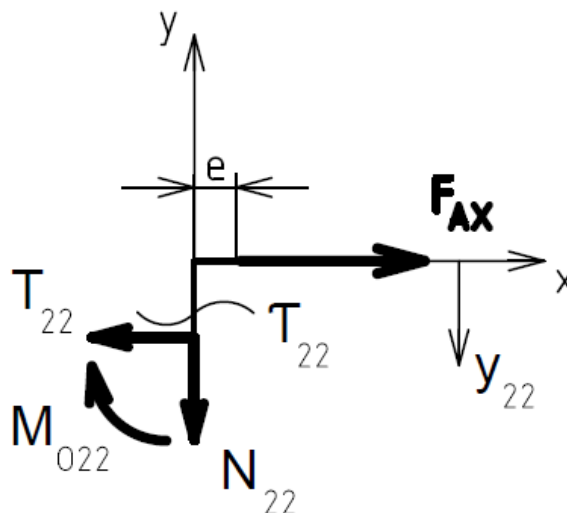
$$y_{22} \in < 0; (a + b) >$$

$$y_{22} \in < 0; (a + b) >$$

$$N_{22} = 0 \text{ N} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} T_{22} &= F_{AX} \\ T_{22} &= 162640 \text{ N} \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} M_{O22} &= F_{AX} \cdot y_{22} \\ M_{O22} &= -162640 \cdot < 0; 1,275 > \\ M_{O22} &= < 0; -207366 \text{ Nm} > \end{aligned} \quad (27)$$



Obrázek 9 Řešení VVÚ v intervalu τ_{22}

Řešení v intervalu τ_{32}

$$x_{32} \in < 0; e >$$

$$N_{32} = -F_{BX} \quad (28)$$

$$N_{32} = -162640 \text{ N}$$

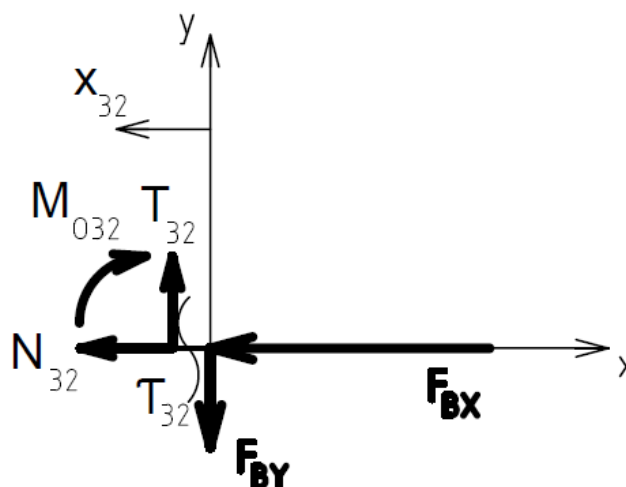
$$T_{32} = F_{BY} \quad (29)$$

$$T_{32} = 54792 \text{ N}$$

$$M_{O32} = F_{BY} \cdot x_{32} \quad (30)$$

$$M_{O32} = -F_{BY} \cdot < 0; 0,410 >$$

$$M_{O32} = < 0; -22465 \text{ Nm} >$$



Obrázek 10 Řešení VVÚ v intervalu τ_{32}

Řešení v intervalu τ_{42}

$$y_{42} \in < 0; h - (a + b) >$$

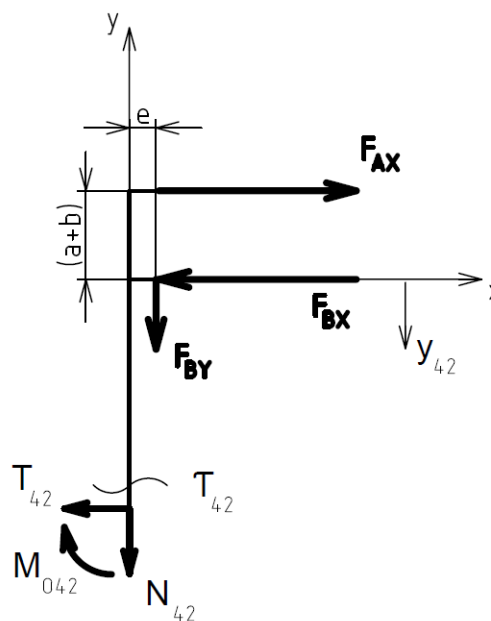
$$N_{42} = -F_{BY} \quad (31)$$

$$N_{42} = -54792 \text{ N}$$

$$T_{42} = F_{AX} - F_{BX} \quad (32)$$

$$T_{42} = 162640 - 162640$$

$$T_{42} = 0 \text{ N}$$



Obrázek 11 Řešení VVÚ v intervalu τ_{42}

$$M_{O42} = -F_{AX} \cdot [(a + b) + y_{42}] + F_{BX} \cdot y_{42} - F_{BY} \cdot e \quad (33)$$

$$M_{O42} = -162640[(1,057 + 0,218) + < 0; 8,837 >] +$$

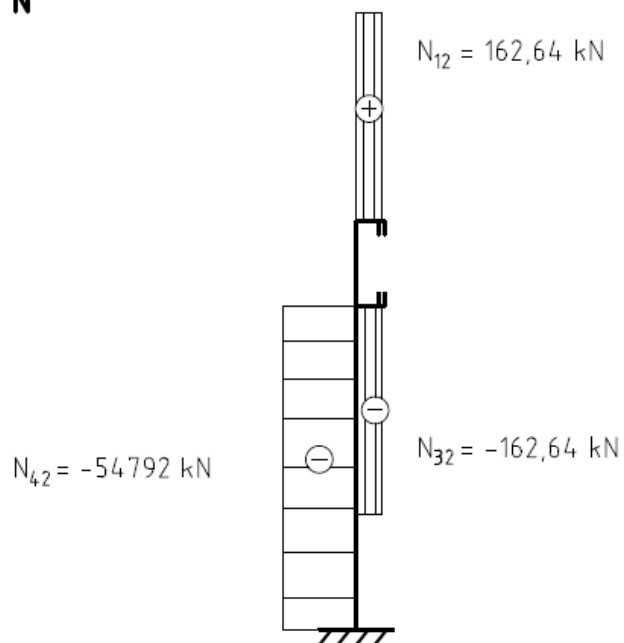
$$+ 162640 \cdot < 0; 8,837 > - 54792 \cdot 0,410$$

$$M_{O42} = < -229831 \text{ Nm}; -229831 \text{ Nm} >$$

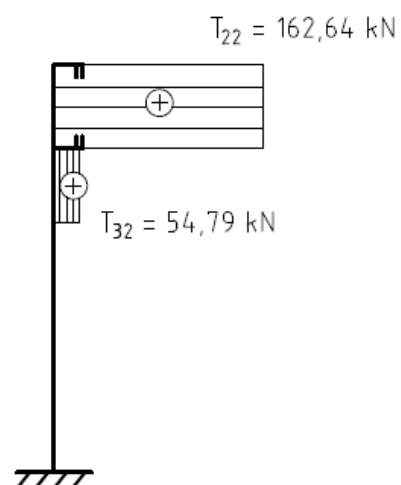


VVÚ sloupu

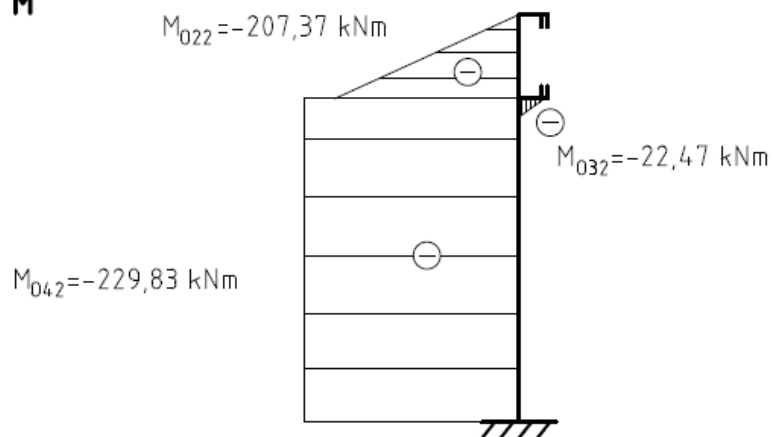
N



T



M



Obrázek 12 Výsledné VVÚ sloupu

4.2.4 VÝPOČET VVÚ VÝLOŽNÍKU (TĚLESO 3)

Řešení v intervalu τ_{13}

$$x_{13} \in \langle 0; l_{(B+K)} - l_V \rangle$$

$$N_{13} = 0 \text{ N} \quad (34)$$

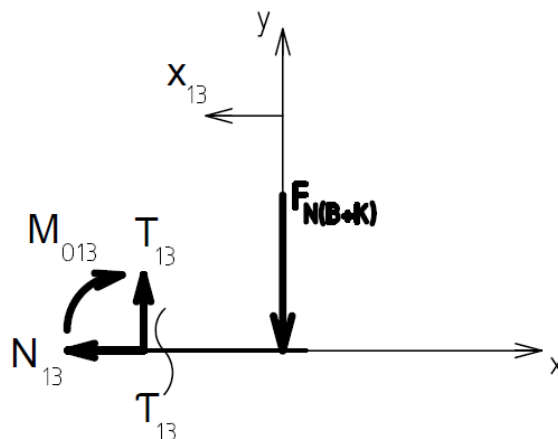
$$T_{13} = F_{N(B+K)} \quad (35)$$

$$T_{13} = 50160 \text{ N}$$

$$M_{O13} = -F_{N(B+K)} \cdot x_{13} \quad (36)$$

$$M_{O13} = -50160 \cdot \langle 0; 2,548 \rangle$$

$$M_{O13} = \langle 0; -127808 \text{ Nm} \rangle$$



Obrázek 13 Řešení VVÚ v intervalu τ_{13}

Řešení v intervalu τ_{23}

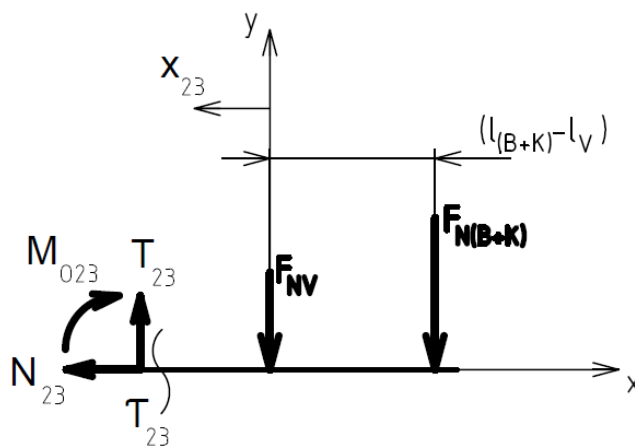
$$x_{23} \in \langle 0; l_V \rangle$$

$$N_{23} = 0 \text{ N} \quad (37)$$

$$T_{23} = F_{N(B+K)} + F_{NV} \quad (38)$$

$$T_{23} = 50160 + 4632$$

$$T_{23} = 54792 \text{ N}$$



Obrázek 14 Řešení VVÚ v intervalu τ_{23}

$$M_{O23} = -F_{N(B+K)} \cdot [(l_{(B+K)} - l_V) + x_{23}] - F_{NV} \cdot x_{23} \quad (39)$$

$$M_{O23} = -50160 \cdot [2,548 + \langle 0; 1,452 \rangle] - 4632 \cdot \langle 0; 1,452 \rangle$$

$$M_{O23} = \langle -127808 \text{ Nm}; -207366 \text{ Nm} \rangle$$

Řešení v intervalu τ_{33}

$$y_{33} \in \langle 0; a \rangle$$

$$N_{33} = 0 \text{ N} \quad (40)$$

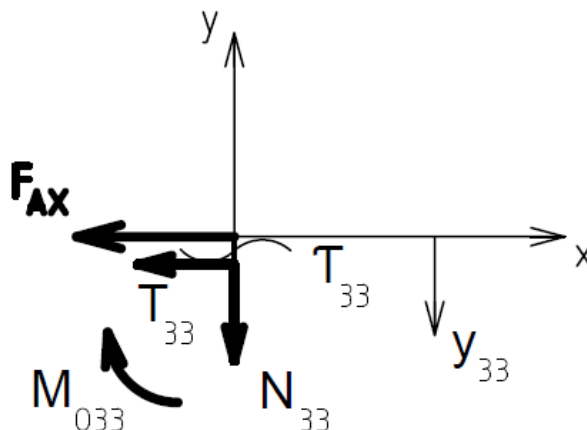
$$T_{33} = -F_{AX} \quad (41)$$

$$T_{33} = -162640 \text{ N}$$

$$M_{O33} = F_{AX} \cdot y_{33} \quad (42)$$

$$M_{O33} = 162640 \cdot \langle 0; 0,218 \rangle$$

$$M_{O33} = \langle 0; 35455 \text{ Nm} \rangle$$

Obrázek 15 Řešení VVÚ v intervalu τ_{33} **Řešení v intervalu τ_{43}**

$$y_{43} \in \langle 0; b \rangle$$

$$N_{43} = -F_{BY} \quad (43)$$

$$N_{43} = -54792 \text{ N}$$

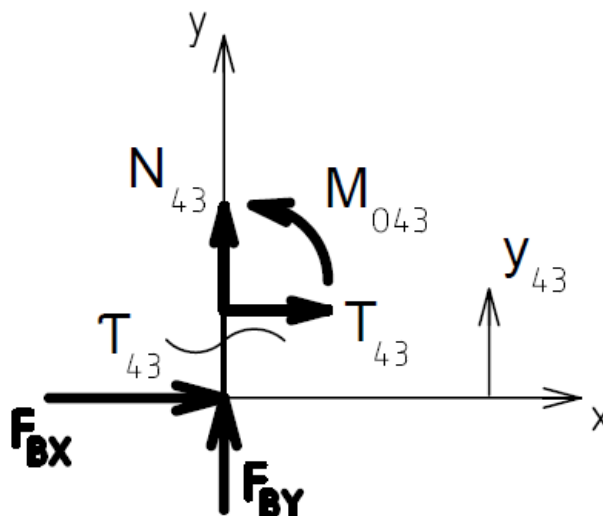
$$T_{43} = -F_{BX} \quad (44)$$

$$T_{43} = -162640 \text{ N}$$

$$M_{O43} = -F_{BX} \cdot y_{43} \quad (45)$$

$$M_{O43} = -162640 \cdot \langle 0; 1,057 \rangle$$

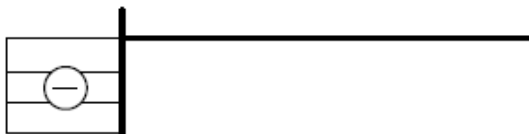
$$M_{O43} = -171911 \text{ Nm}$$

Obrázek 16 Řešení VVÚ v intervalu τ_{43}

VVÚ výložníku

N

$$N_{43} = -54,79 \text{ kN}$$



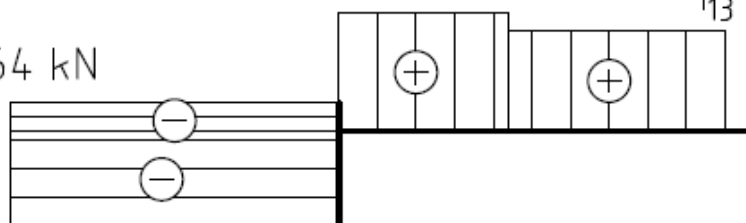
T

$$T_{33} = -162,64 \text{ kN}$$

$$T_{23} = 54,79 \text{ kN}$$

$$T_{13} = 50,2 \text{ kN}$$

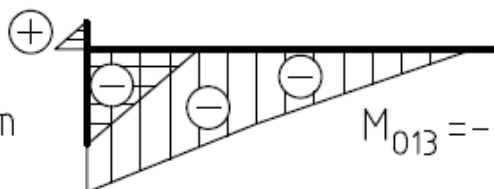
$$T_{43} = -162,64 \text{ kN}$$



M

$$M_{033} = 35,46 \text{ kNm}$$

$$M_{043} = -171,91 \text{ kNm}$$



$$M_{013} = -127,8 \text{ kNm}$$

$$M_{023} = -207,4 \text{ kNm}$$

Obrázek 17 Výsledné VVÚ výložníku

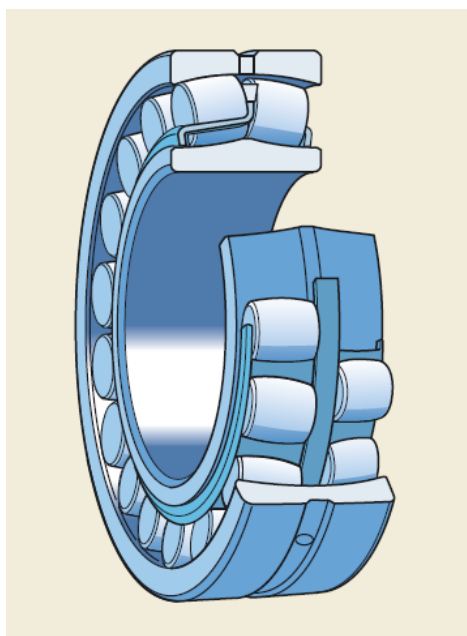
5 VÝPOČET SOUČÁSTÍ KONSTRUKCE

5.1 VOLBA TYPU A VÝPOČET VELIKOSTI LOŽISEK

5.1.1 SPODNÍ LOŽISKO

Volba typu spodního ložiska

Ložisko je namáháno jak radiální, tak axiální silou, přičemž radiální síla je asi 3krát větší, než axiální. Pro tento druh namáhání bylo zvoleno soudečkové ložisko s válcovou dírou.



Obrázek 18 Soudečkové ložisko [7]

Výpočet parametrů spodního ložiska

Z důvodu, že se jedná o ložisko s nízkou frekvencí otáčení, výpočet ložisek byl proveden na statickou únosnost. Součinitele získány v [7]

$$\begin{aligned} P_{0B} &= F_{rB} + Y_{0B} \cdot F_{aB} \\ P_{0B} &= 162,64 + 2,8 \cdot 54,79 \\ P_{0B} &= 316,1 \text{ kN} \end{aligned} \tag{46}$$

$$Y_{0B} = 2,8$$



$$\begin{aligned}C_{0B} &= P_{0B} \cdot s_{0B} \\C_{0B} &= 316,1 \cdot 1,5 = 474,2 \text{ kN}\end{aligned}\quad (47)$$

$$s_{0B} = 1,5$$

Zvoleno ložisko *22316 E s hlavními rozměry $d_{SL} = 80 \text{ mm}$, $D_{SL} = 170 \text{ mm}$, $b_{SL} = 58 \text{ mm}$ [7]

5.1.2 HORNÍ LOŽISKO

Volba typu horního ložiska

Horní ložisko je namáháno pouze radiálním zatížením, avšak lze předpokládat velkou hodnotu radiálního zatížení, tudíž bylo pro toto použití opět zvoleno soudečkové ložisko.

Výpočet parametrů horního ložiska

$$\begin{aligned}P_{0A} &= F_{rA} + Y_{0A} \cdot F_{aA} \\P_{0A} &= 162,64 + 2,8 \cdot 0 \\P_{0A} &= 162,64 \text{ kN}\end{aligned}\quad (48)$$

$$Y_{0A} = 2,8$$

$$\begin{aligned}C_{0A} &= P_{0A} \cdot s_{0A} \\C_{0A} &= 162,64 \cdot 1,5 = 246,96 \text{ kN}\end{aligned}\quad (49)$$

$$s_{0A} = 1,5$$

Z důvodu možnosti použití stejného čepu, stejného ložiskového tělesa a především z důvodu vyšší statické únosnosti bylo spodní ložisko zvoleno rovněž *22316 E s hlavními rozměry $d_{HL}=80\text{mm}$, $D_{HL}=170\text{mm}$, $b_{HL}=58$. [7]

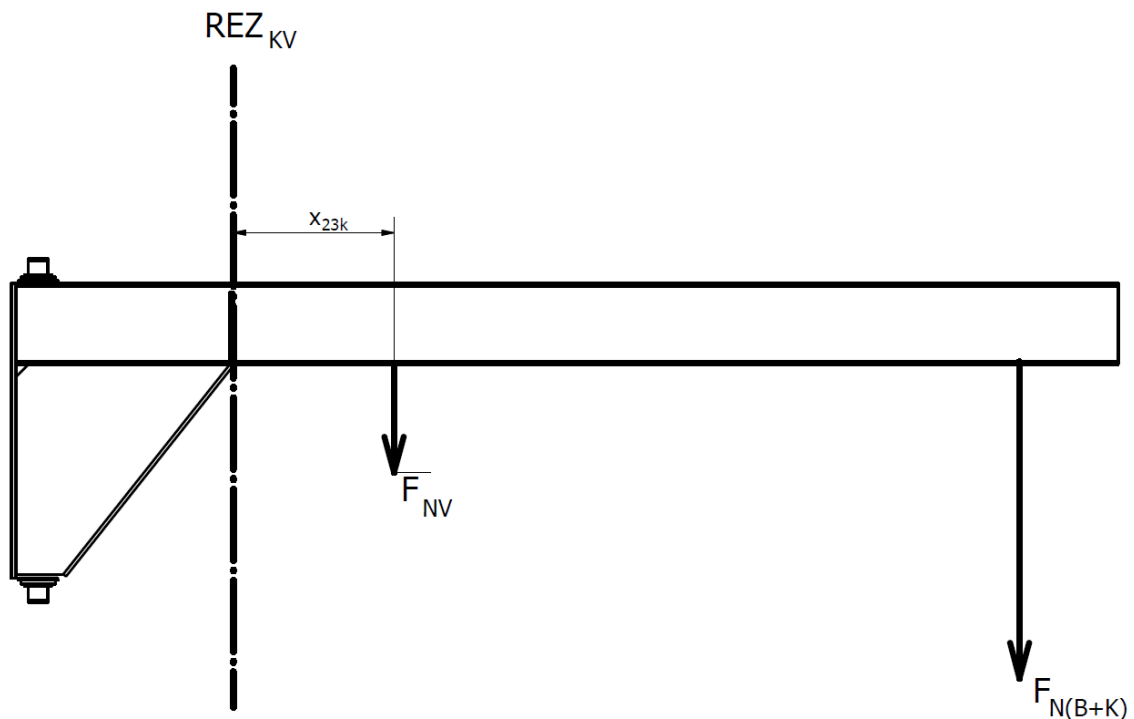
5.2 VÝPOČET ROZMĚRŮ KONSTRUKCE

S ohledem na to, že v kapitole 4 byly uvažovány součinitele pro gravitační zatížení jeřábu, gravitační zatížení břemene, dynamické zatížení, zatížení způsobené nárazem do nárazníku a součinitel hmotnosti jeřábu, návrhový součinitel pro konstrukční výpočty byl zvolen $k_n = 1,5$.

5.2.1 VÝPOČET IPE PROFILU VÝLOŽNÍKU

Výpočet zatížení v kritickém průřezu

$$x_{23k} = 657,2 \text{ mm}$$



Obrázek 19 Zatížení výložníku

$$\begin{aligned}
 M_{O23k} &= -F_{N(B+K)} \cdot [(l_{(B+K)} - l_V) + x_{23}] - F_{NV} \cdot x_{23} \\
 M_{O23k} &= -50160 \cdot [2547,8 + 657,2] - 4632 \cdot 657,2 \\
 M_{O23k} &= -163807 \text{ Nm}
 \end{aligned}
 \tag{50}$$



Návrhové smykové napětí IPE profilu výložníku

Jako základní materiál výložníku je IPE profil, S355J2 (1.0577) dle EN 10025-2 s mezí kluzu $R_{eV} = 355 \text{ MPa}$ [10]

$$\begin{aligned}\sigma_{NOV} &= \frac{R_{eV}}{k_n} \\ \sigma_{NOV} &= \frac{355}{1,5} = 236,7 \text{ MPa}\end{aligned}\quad (51)$$

Výpočet modulu průřezu v ohybu IPE profilu

$$\begin{aligned}W_{NOV} &= \frac{M_{023k}}{\sigma_{NOV}} \\ W_{NOV} &= \frac{163807 \cdot 10^3}{236,7} = 0,692 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\ W_{NOV} &= 692 \text{ cm}^3\end{aligned}\quad (52)$$

Byl zvolen IPE profil s nejbližším vyšším modulem průřezu v ohybu, tudíž IPE 330 s $W_{OV} = 713 \text{ cm}^3$

5.2.2 KONTROLA VÝLOŽNÍKU NA KLOPENÍ

Klopením rozumíme ztrátu stability při ohybu, při které dojde k vybočení prutu z roviny jeho prvotního ohybu. Kontrola výložníku na klopení provedena dle [8]

Základní podmínka

Podstatou kontroly je podmínka, kdy hodnota návrhového ohybového momentu nesmí přesáhnout hodnotu momentové únosnosti při klopení.

$$M_{OV,kK} \leq M_{b,Rd} \quad (53)$$

Momentová únosnost

Průřezy IPE náleží do třídy 1, tudíž vzorec pro výpočet je:

$$\begin{aligned}M_{b,Rd} &= \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \\ M_{b,Rd} &= 0,81052 \cdot \frac{804,3 \cdot 10^3 \cdot 355}{1} = 231424,94 \text{ Nm}\end{aligned}\quad (54)$$

**Posuzování stability prutů**

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,788759 + \sqrt{0,788759^2 - 0,65123^2}} \quad (55)$$

$$\chi_{LT} = 0,81052$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] \quad (56)$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,65123 - 0,2) + 0,65123^2]$$

$$\phi = 0,788759$$

$$\gamma_{M1} = 1$$

$$W_{pl,y} = 804,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 [10]$$

$$\alpha_1 = 0,34$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{804,3 \cdot 10^3 \cdot 355}{673252400,1}} = 0,65123 \quad (57)$$

$$f_y = R_{eV} = 355 \text{ MPa}$$

Pružný kritický moment

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\Pi^2 \cdot E \cdot I_Z}{L_Z^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{L_Z}{L_\omega}\right)^2 \cdot \frac{I_\omega}{I_Z} + \frac{L_Z^2 \cdot G \cdot I_t}{\Pi^2 \cdot E \cdot I_Z} + (C_2 \cdot e_z)^2} + C_2 \cdot e_z \right] \quad (58)$$

$$M_{cr} = 1,365 \cdot \frac{\Pi^2 \cdot 21 \cdot 10^4 \cdot 7,88 \cdot 10^6}{3205^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{3205}{3205}\right)^2 \cdot \frac{199 \cdot 10^9}{7,88 \cdot 10^6} + \frac{3205^2 \cdot 8,1 \cdot 10^7 \cdot 282}{\Pi^2 \cdot 21 \cdot 10^{10} \cdot 7,88} + (0,553 \cdot 165)^2} + 0,553 \cdot 165 \right]$$

$$M_{cr} = 673252400,1 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$C_1 = 1,365$$

$$C_2 = 0,553$$

$$E = 21 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

$$G = 8,1 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

$$I_Z = 7,88 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



$$I_{\omega} = 199 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

$$I_t = 282 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$L_Z = 3205 \text{ mm}$$

$$L_{\omega} = 3205 \text{ mm}$$

$$e_z = \frac{h}{2} = \frac{330}{2} = 165 \text{ mm}$$

$$M_{b,Rd} = 231425 \text{ Nm}$$

Ohybový moment v kritickém průřezu IPE profilu

Největší ohybový moment působící na výložník v místě bez vyztužení.

$$M_{0V,kK} = |M_{023k}| = 163807 \text{ Nm}$$

$$\begin{aligned} M_{0V,kK} &\leq M_{b,Rd} \\ 163807 &\leq 231425 \end{aligned} \quad (59)$$

Profil IPE 330 vyhovuje na klopení.

Maximální ohybový moment výložníku

Maximální ohybový moment působí na výložník v místech opatřených vyztužením. Opatření vyztuhami jde provedeno za účelem eliminace napětí v ohybu a odolnost vůči vybočení z vertikální příčné roviny IPE profilu. Z tohoto důvodu nebylo nutné v tomto místě provádět kontrolu na klopení.

5.2.3 VÝPOČET TRUBKY SLOUPU

$$M_{NOS} = M_{042} \in \langle -229831 \text{ Nm}; -229831 \text{ Nm} \rangle$$

Návrhové smykové napětí trubky sloupu

Sloup tvoří bezešvá konstrukční trubka, S355J2H (1.0576) dle EN 10210-1 s mezí kluzu $R_{eS} = 355 \text{ MPa}$

$$\sigma_{NOS} = \frac{R_{eS}}{k_n} = \frac{355}{1,5} = 236,7 \text{ [MPa]} \quad (60)$$

Výpočet modulu průřezu v ohybu trubky sloupu

$$\begin{aligned} W_{NOS} &= \frac{M_{NOS}}{\sigma_{OD}} = \frac{229831}{236700000} = 0,971 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}^3 \\ W_{NOS} &= 971 \text{ cm}^3 \end{aligned} \quad (61)$$

Byla zvolena trubka 406,4x12,5 vnějším průměrem $D_{sl} = 406,4$ a s modulem průřezu v ohybu $W_{OS} = 1477,9 \text{ cm}^3$.

5.2.4 VÝPOČET HORNÍ PATKY

U horní patky bylo uvažováno zatížení pouze tahem.

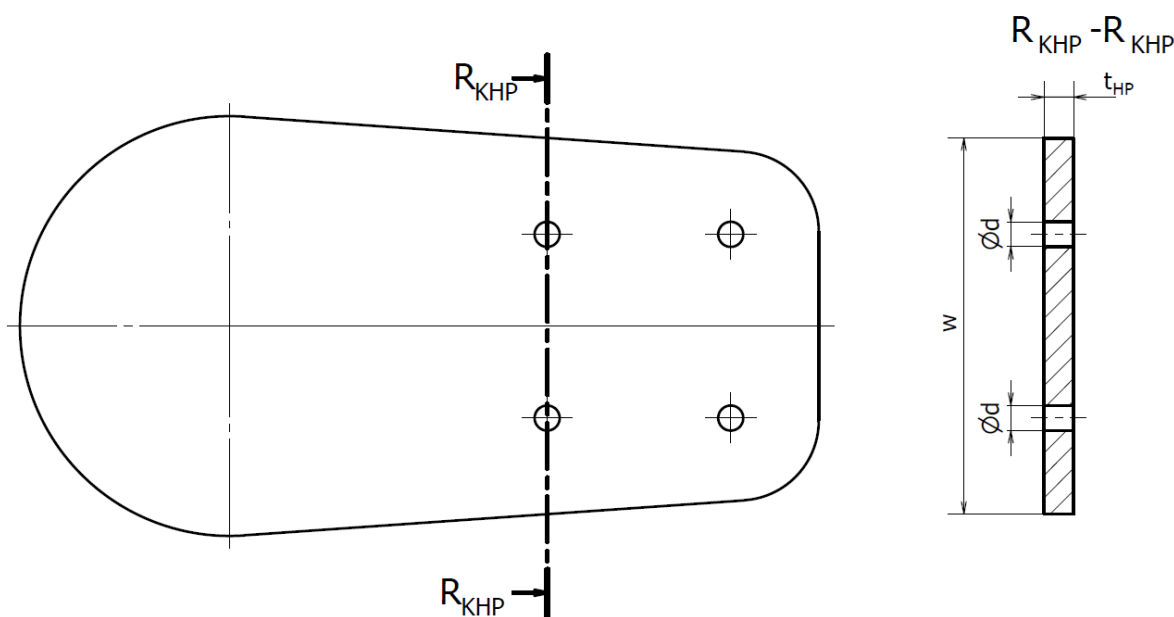
Horní patka je zhotovena z plechu S355J2+N (1.0577) dle 10025-2 s mezí kluzu

$R_{eHP} = 345$ určenou podle předběžně zvolené tloušťku materiálu v rozmezí $t \in (16; 40 > [5]$

Návrhové normálové napětí horní patky

$$\tau_{NHP} = \frac{R_{eHP}}{k_n} = \frac{345}{1,5} = 230 \text{ [MPa]} \quad (62)$$

Zobrazení kritického řezu



Obrázek 20 Tvar horní patky

Výpočet vrubového součinitele

Výpočet vrubového součinitele je proveden podle [1] str. 161

$$\alpha = 1,227 \cdot \left(\frac{d}{w}\right)^{-0,935} = 1,227 \cdot \left(\frac{24}{371}\right)^{-0,935} = 15,87 \quad (63)$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha - 1) \cdot \sqrt{a}}{\alpha \cdot \sqrt{r}}} = \frac{15,87}{1 + \frac{2 \cdot (15,87 - 1) \cdot 0,3551}{15,87 \cdot \sqrt{12}}} = 13,313 \quad (64)$$

$$w = 371 \text{ mm}$$

$$d = 24 \text{ mm}$$

$$\sqrt{a} = \frac{174}{R_{mHP}} = \frac{174}{490} = 0,5043 \sqrt{\text{mm}}$$

$$R_{mHP} = 0,3551 \text{ MPa}$$

Výpočet tloušťky plechu horní patky

$$\tau_{NHP} = \frac{N_{12}}{S_{KHP}} \cdot \beta = \frac{N_{12}}{t_{HPN} \cdot (w - 2 \cdot d)} \cdot \beta \quad (65)$$

$$t_{HPN} = \frac{N_{12}}{\tau_{NHP} \cdot (w - 2 \cdot d)} \cdot \beta = \frac{162640}{230000 \cdot (371 - 2 \cdot 24)} \cdot 13,313$$

$$t_{HPN} = 0,029 \text{ m} = 29 \text{ mm}$$

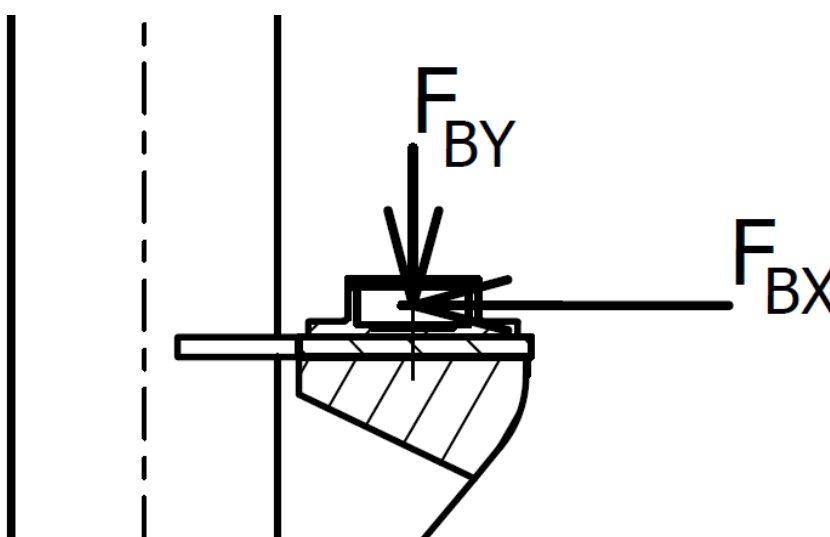
Volba výsledné tloušťky plechu horní patky je $t_{HP} = 30 \text{ mm}$.

5.2.5 VÝPOČET SPODNÍ PATKY

U spodní patky bylo uvažováno namáhání tlakem a ohybem. Ohyb je způsoben tíhovou silou břemene a výložníku. Kvůli působení ohybového momentu a lepšímu rozložení tlakové síly na sloup byla konstrukce spodní patky opatřena výztuhou. Díky této výztuze lze předpokládat dostatečně velkou bezpečnost konstrukce. Materiál i jeho tloušťka byly zvoleny totožné jako u horní patky a to plech, S355J2+N (1.0577) dle 10025-2

$$t_{SP} = 30 \text{ mm}$$

5.2.6 VÝPOČET VELIKOSTI ŠROUBŮ LOŽISKOVÝCH TĚLES



Obrázek 21 Zatížení ložiskových těles

Velikost zátěžující síly

$$F_{S\check{s}} = F_{BX} = 162640 \text{ MPa}$$

Z důvodu velkého zatížení šroubového spoje byly zvoleny lícované šrouby s pevností třídy 8.8 $R_{eL\check{s}} = 640 \text{ MPa}$. [9]

Návrhové smykové napětí šroubového spoje

$$\tau_{NS} = \frac{R_{eL\check{s}}}{k_N} = \frac{640}{1,5} = 426,7 \text{ MPa} \quad (66)$$

Výpočet průměru šroubů

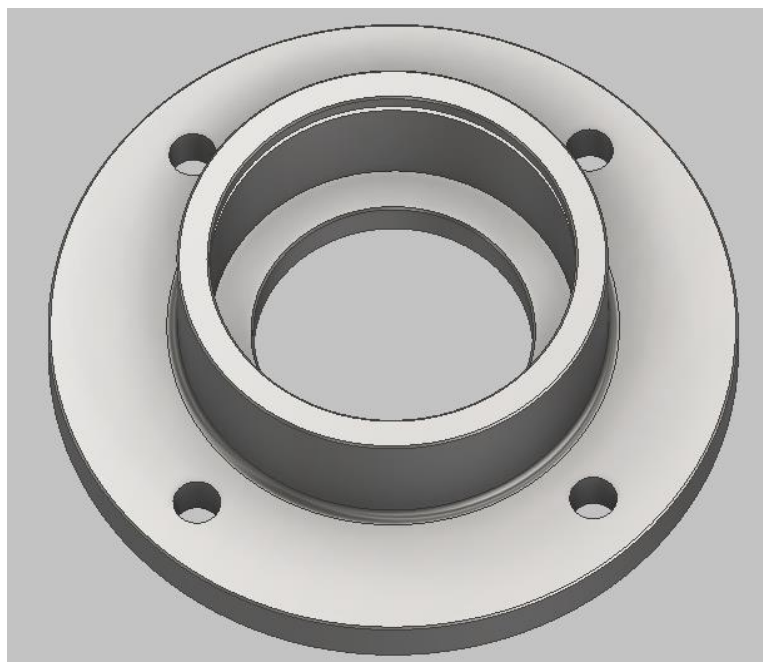
$$\tau_{NS} = \frac{F_{S\check{s}}}{S_{S\check{s}} \cdot i_{\check{s}}} = \frac{F_{S\check{s}}}{\frac{\pi \cdot d_{S\check{s}}^2}{4} \cdot i_{\check{s}}} \quad (67)$$

$$d_{S\check{s}N} = \sqrt{\frac{F_{S\check{s}}}{\frac{\pi \cdot \tau_{NS}}{4} \cdot i_{\check{s}}}} = \sqrt{\frac{162640}{\frac{\pi \cdot 426,7}{4} \cdot 4}} = 11,01 \text{ mm}$$

$$i_{\check{s}} = 4$$

Velikost střížných šroubů byla zvolena M24 s průměrem dřívku $d_{S\check{s}} = 25 \text{ mm}$.

Ložiskové tělesa jsou vyrobena z kruhové ocelové tyče S355J2 (1.0577) dle EN 10025-2



Obrázek 22 Tvar ložiskového tělesa

Dovolený tlak v styčných plochách lícovaného šroubu

$$p_{DO\check{s}} = 115 \text{ MPa [9]}$$

Návrhový dovolený tlak v styčných plochách lícovaného šroubu

$$p_{NO\check{s}} = \frac{p_{DO}}{k_n} = \frac{115}{1,5} = 76,7 \text{ MPa} \quad (68)$$

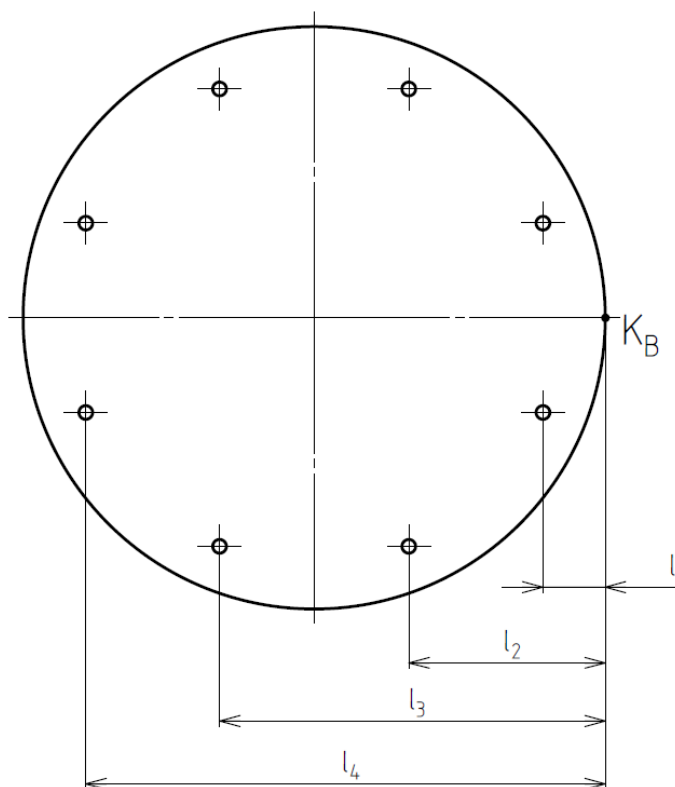
Výpočet skutečné hodnoty otláčení styčných ploch

$$p_{SO} = \frac{F_{S\check{s}}}{S_{OT} \cdot i_{\check{S}LT}} = \frac{F_{S\check{s}}}{d_{S\check{s}} \cdot t_{LT} \cdot i_{\check{S}LT}} = \frac{162640}{25 \cdot 25 \cdot 4} = 65 \text{ MPa} \quad (69)$$

$$p_{NO\check{s}} \geq p_{SO}$$

$$76,7 \geq 65$$

Šrouby vyhovují na otláčení

5.2.7 VÝPOČET KOTEVNÍCH ŠROUBŮ**Vzdálenosti šroubů od klopného bodu K_B** 

Obrázek 23 *Vzdálenosti šroubů od klopného bodu*

$$l_1 = 107,4 \text{ mm}$$

$$l_2 = 337,4 \text{ mm}$$

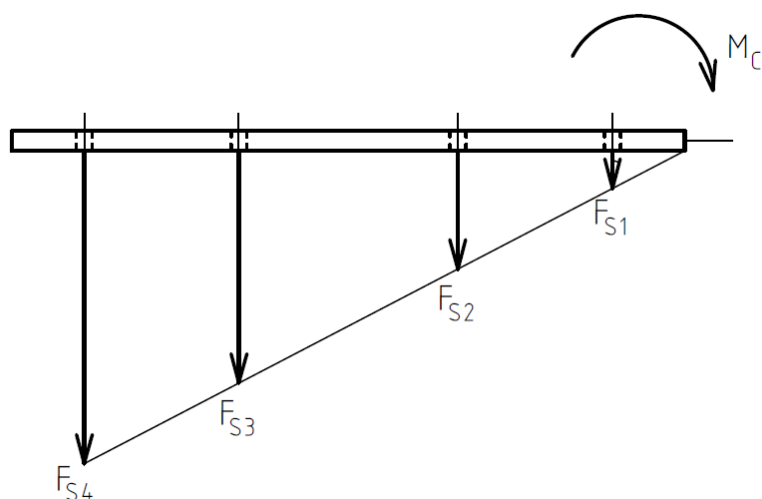
$$l_3 = 662,6 \text{ mm}$$

$$l_4 = 892,6 \text{ mm}$$

Klopný moment

$$M_{O42} = < -229831 \text{ Nm}; -229831 \text{ Nm} >$$

$$M_C = M_{O42} = 229831 \text{ N}$$



Obrázek 24 Zatížení roznášecí desky

Vyjádření sil působících na šrouby

$$F_{S1} = k_l \cdot l_1 \tag{70}$$

$$F_{S2} = k_l \cdot l_2 \tag{71}$$

$$F_{S3} = k_l \cdot l_3 \tag{72}$$

$$F_{S4} = k_l \cdot l_4 \tag{73}$$



Soustava sil byla zjednodušena na polovinu, jelikož namáhání ukotvení je symetrické. Uvažujeme tudíž každou sil o dvojnásobné velikosti.

$$\begin{aligned} M_{CN} &= 2 \cdot k_l \cdot l_1^2 + 2 \cdot k_l \cdot l_2^2 + 2 \cdot k_l \cdot l_3^2 + 2 \cdot k_l \cdot l_4^2 \\ M_{CN} &= 2 \cdot k_l \cdot (l_1^2 + l_2^2 + l_3^2 + l_4^2) \end{aligned} \quad (74)$$

$$\begin{aligned} k_l &= \frac{M_{CN}}{2 \cdot (l_1^2 + l_2^2 + l_3^2 + l_4^2)} \\ k_l &= \frac{229831}{2 \cdot (0,1074^2 + 0,33374^2 + 0,6626^2 + 0,8926^2)} \\ k_l &= 84425,5 \text{ [N} \cdot \text{m}^{-1}] \end{aligned}$$

Maximální síla působící na šroub

$$F_{S4} = k_l \cdot l_4 = 84425,5 \cdot 0,8926 = 75358,2 \text{ [N]} \quad (75)$$

Návrhové dovolené napětí šroubu ukotvení

Pro ukotvení byl zvolen šroub s hrubou roztečí o pevnosti ISO 8.8. Pro šrouby větší než M16 je mez kluzu $R_e = 660 \text{ MPa}$ [1] str. 442

$$\sigma_{\text{NTŠ}} = \frac{R_{eKš}}{k_n} = \frac{660}{1,5} = 440 \text{ [N]} \quad (76)$$

Výpočet velikosti šroubu

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{NTŠ}} &= \frac{F_{S4}}{A_{SK}} \\ A_{SK} &= \frac{F_{Kn}}{R_{eKš}} = \frac{75358,3}{440} = 171,3 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (77)$$

Zvolen šroub s nejbližším vyšším průřezem A_S řady 1, tudíž M20 s $A_S = 245 \text{ mm}^2$. [1] str. 420

Kotevní šrouby byly zvoleny HAS-RTZ M20x170/40. Jedná se o kotvení chemickými patronami pro beton s trhlinami. Garantovaná únosnost chemického spoje je vyšší než únosnost šroubu. [12]



Obrázek 25 Kotevní šroub HAS-RTZ M20X170/40 [12]

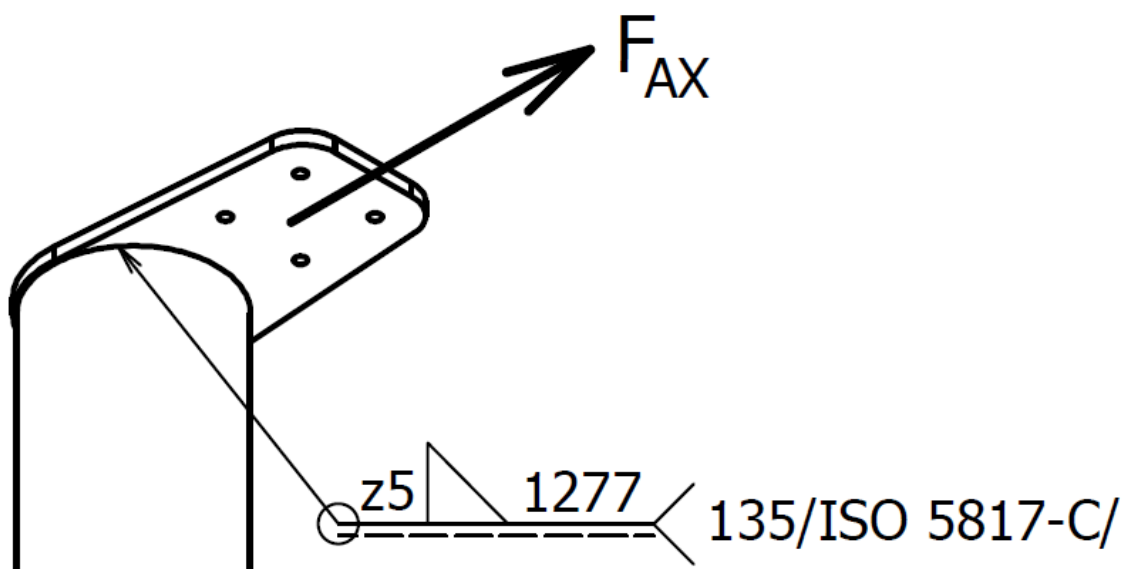
5.3 VÝPOČET SVARŮ

Svary byly navrženy pro elektrodu OK Aristod 13.12-Prospekt s mezí pevnosti v tahu $R_{MS} = 580 \text{ MPa}$ a mezí kluzu $R_{eE} = 450 \text{ MPa}$.s. [11]

Jedná se o svařovací drát pro svařování v ochranné atmosféře EN 80Ar/20CO₂(M21)

V této kapitole je proveden výpočet svarů na statickou únostnost, návrhový součinitel $k_{NS} = 1,5$. Ostatní vlivy jsou zahrnuty v hodnotách zatížení, jsou vypočteny v kapitole 4. Ve výpočtu dovolených návrhových napětí ve svaru byly uvažovány nejnižší z mezí kluzu spojovaných materiálů.

5.3.1 NÁVRH SVARŮ HORNÍ PATKY A SLOUPU



Obrázek 26 Zatížení horní patky

Materiálové vlastnosti horní patky

Horní patka je zhotovena z materiálu S355J2+N (1.0577) dle 10025-2 se jmenovitou mezí kluzu $R_{eHP} = 345 \text{ MPa}$ pro $16 < t \leq 40$ [5]

Materiálové vlastnosti sloupu

Sloup je zhotoven z materiálu S355J2H (1.0576) dle EN 10210-1 s mezí kluzu $R_{eS} = 355 \text{ MPa}$. [10]

Dovolené návrhové napětí ve svaru

$$\tau_{NSHP} = \frac{R_{eHP}}{k_{NS}} = \frac{345}{1,5} = 230 \text{ MPa} \quad (78)$$

Výpočet minimální tloušťky svaru

$$\tau_{NSHP} = \frac{N_{12}}{S_{SHP}} = \frac{N_{12}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot [(D_{sl} + 2 \cdot z \cdot 0,707)^2 - D_{sl}^2]} \quad (79)$$

$$z_{NHP} = \frac{\sqrt{\frac{N_{12}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot \tau_{SHP}} + D_{sl}^2} - D_{sl}}{2 \cdot 0,707}$$

$$z_{NHP} = \frac{\sqrt{\frac{162640}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot 230} + 406,4^2} - 406,4}{2 \cdot 0,707} = 0,78 \text{ mm}$$

Dle [5] musí být velikosti svarů $a \leq 3$.

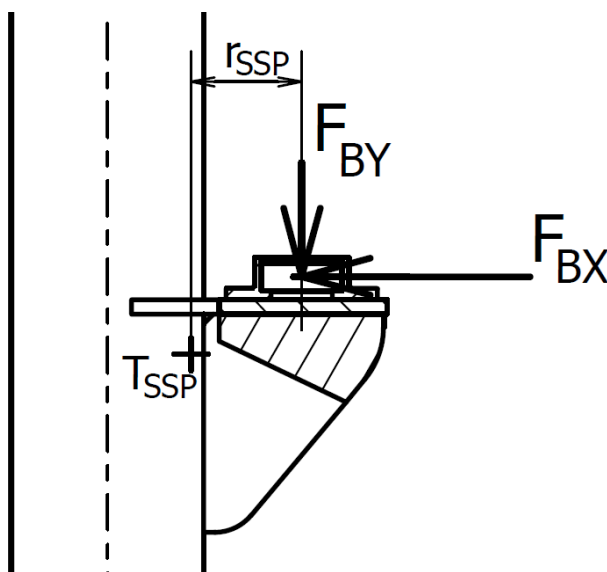
$$z_{Smin} = \frac{a_{Smin}}{0,707} = \frac{3}{0,707} = 4,24 \text{ mm} \quad (80)$$

Zvolená velikost svaru horní patky

$$z_{HP} = 5 \text{ mm}$$

5.3.2 NÁVRH SVARŮ SPODNÍ PATKY A SLOUPU

Ve výpočtu svarů spodní patky je uvažováno namáhání smykem od zatížení silou F_{BY} . Rameno r_{SSP} je vzdálenost mezi zatěžující silou a těžištěm svarového obrazce T_{SSP} .



Obrázek 27 Návrhové zatížení spodní patky

Materiálové vlastnosti spodní patky

Samotná spodní patka je zhotovena z materiálu S355J2+N (1.0577) dle 10025-2 se jmenovitou mezí kluzu $R_{eSP} = 345 \text{ MPa}$ pro $16 < t \leq 40$ [5]. Druhá část spodní patky je její výztuha z materiálu z téhož materiálu o mezi kluzu $R_{eVSP} = 355 \text{ MPa}$.

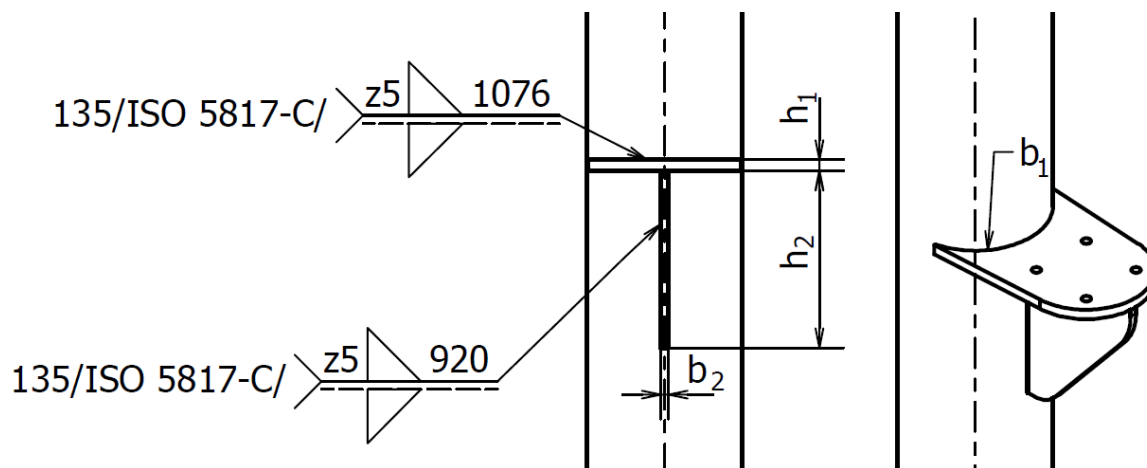
Materiálové vlastnosti sloupu

$$R_{eS} = 355 \text{ MPa} [10]$$

Dovolené návrhové napětí ve svaru

$$\tau_{NSSP} = \frac{R_{eSP}}{k_{NS}} = \frac{345}{1,5} = 230 \text{ MPa} \quad (81)$$

Výpočet minimální tloušťky svaru



Obrázek 28 Rozměry svaru spodní patky

Výpočet proveden dle [1] str. 514

$$\tau' = \frac{T_{32}}{S_{SSP}} = \frac{T_{32}}{0,707 \cdot z_{NSP} \cdot l_S} \quad (82)$$

$$\tau'' = \frac{M_{SSP}}{J_z} = \frac{T_{32} \cdot r_{SSP}}{0,707 \cdot z_{NSP} \cdot J_{zu}} \quad (83)$$

$$J_{zu} = \frac{b_1 \cdot h_1^2}{2} + 2 \cdot b_1 \cdot y_1^2 + \frac{h_2^3}{6} + 2 \cdot h_2 \cdot y_2^2 \quad (84)$$

$$J_{zu} = \frac{537,3 \cdot 30^2}{2} + 2 \cdot 537,3 \cdot (-113)^2 + \frac{460^3}{6} + 2 \cdot 460 \cdot 132^2 \quad (85)$$

$$J_{zu} = 46216099,1 \text{ mm}^3 \quad (86)$$

$$y_1 = -113 \text{ mm}$$

$$y_2 = 132 \text{ mm}$$

$$\tau_{SHP} = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} = \sqrt{\left(\frac{T_{32}}{0,707 \cdot z_{NSP} \cdot l_S}\right)^2 + \left(\frac{T_{32} \cdot r_{SSP}}{0,707 \cdot z_{NSP} \cdot J_{Zu}}\right)^2} \quad (87)$$

$$z_{NSP} = \frac{T_{32}}{0,707 \cdot \tau_{SHP}} \cdot \left(\frac{1}{l_S} + \frac{r_{SSP}}{J_{Zu}}\right)$$

$$z_{NSP} = \frac{54790}{0,707 \cdot 230} \cdot \left(\frac{1}{1994,6} + \frac{234}{46216099,1}\right) = 0,186 \text{ mm}$$

$$l_S = 2 \cdot b_1 + 2 \cdot h_2 = 2 \cdot 537,3 + 2 \cdot 460 = 1994,6 \text{ mm} \quad (88)$$

$$r_{SSP} = e - \frac{D_{Sl}}{2} = 410 - \frac{406,4}{2} = 206,8 \text{ mm} \quad (89)$$

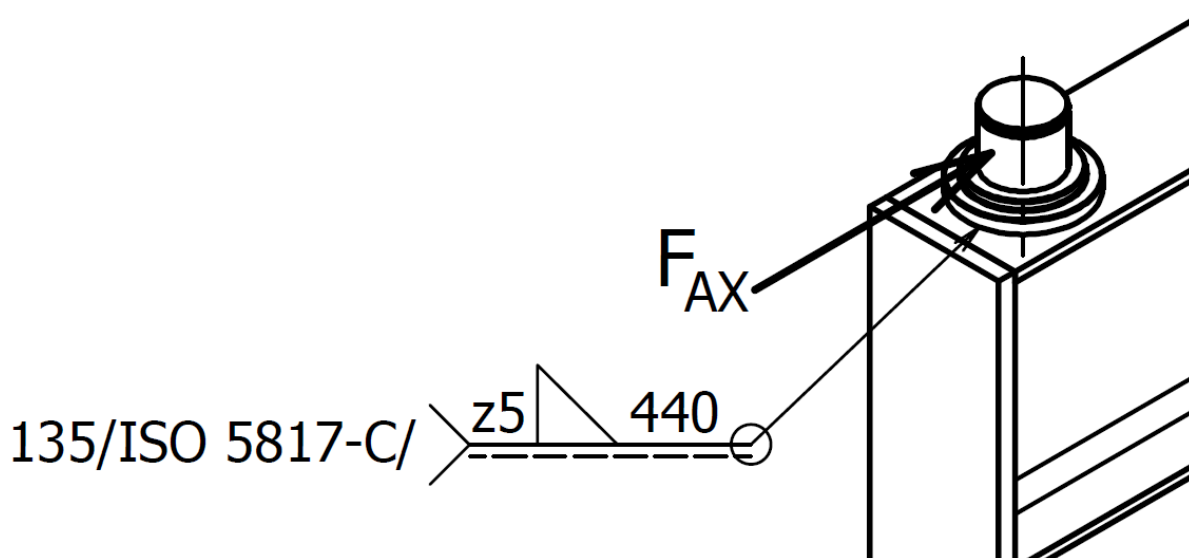
Zvolená velikost svaru spodní patky

$$a_{Smin} \leq 3 \text{ mm}; z_{Smin} \leq 4,24 \text{ mm} \quad [5]$$

$$z_{SP} = 5 \text{ mm}$$

5.3.3 NÁVRH SVARŮ LOŽISKOVÝCH ČEPŮ A VÝLOŽNÍKU

V návrhu bylo vzhledem k zatížení, uložení a zjednodušení uvažováno pouze smykové napětí



Obrázek 29 Zatížení čepů výložníku



Materiálové vlastnosti výložníku

Výložník má 2 ložiskové čepy. Jeden je přivařen k horní pásnici IPE profilu z materiálu S355J2 (1.0577) dle EN 10025-2 o mezi kluzu

$R_{eV} = 345 \text{ MPa}$ a druhý je ve spodní části výložníku přivařen k plochému profilu 160x20 z materiálu S355J2 (1.0577) dle EN 10025-2 s mezi kluzu $R_{eVS} = 355 \text{ MPa}$ $16 < t \leq 40$ dle [5].

Materiálové vlastnosti ložiskového čepu

Ložiskový čep je zhotoven z materiálu E355(1.0060) dle EN 10025-2 s mezi kluzu $R_{eLC} = 355 \text{ MPa}$

Dovolené návrhové napětí ve svaru

$$\tau_{SLC} = \frac{R_{eVS}}{k_{NS}} = \frac{355}{1,5} = 230 \text{ MPa} \quad (90)$$

Výpočet minimální tloušťky svaru

$$\tau_{SLC} = \frac{T_{43}}{S_{SLC}} = \frac{T_{43}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot [(D_C + 2 \cdot z_{SLC} \cdot 0,707)^2 - D_C^2]} \quad (91)$$

$$z_{SLC} = \frac{\sqrt{\frac{T_{43}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot \tau_{SLC}} + D_C^2} - D_C}{2 \cdot 0,707}$$

$$z_{SLC} = \frac{\sqrt{\frac{162640}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot 236,6} + 140^2} - 140}{2 \cdot 0,707} = 2,19 \text{ mm}$$

Zvolená velikost svaru spodní patky

$$a_{smin} \leq 3 \text{ mm}; z_{smin} \leq 4,24 \quad [5]$$

$$z_{LC} = 5 \text{ mm}$$

6 VOLBA DODATEČNÝCH SOUČÁSTÍ JEŘÁBU

Dodatečné součásti jeřábu voleny dle [3]

6.1 BŘEMENOVÝ HÁK

Jedná se o břemenový hák Abus BKT 13-10 opatřený pojistkou. Háček má nosnost 2000kg.



Obrázek 30 Břemenový háček Abus [3]

6.2 ELEKTRONICKÝ DVOUPOLOHOVÝ VYPÍNAČ ZDVIHU

Elektronický koncový vypínač zdvihu zvyšuje bezpečnost provozu díky dvěma volně volitelným vypínacím bodům. Po dosažení příslušného vypínacího bodu se zvedání nebo spouštění v daném směru pohybu vypne.

6.3 UPÍNACÍ NÁRAZNÍKY

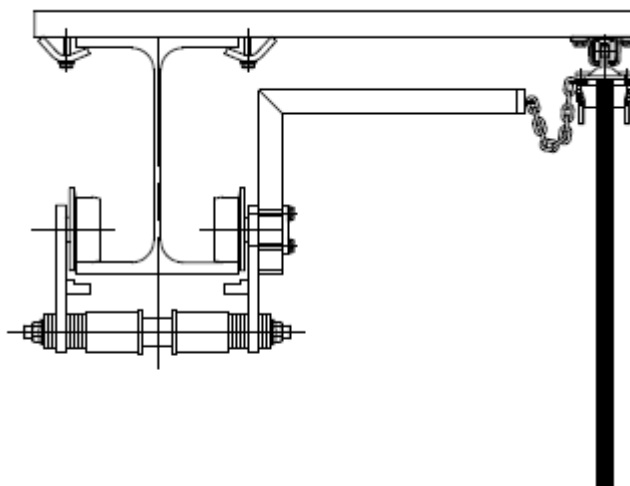
Důležitá součást jeřábu ovlivňující bezpečný provoz. Dorazy horizontálního pojezdu zdvihacího zařízení byly zvoleny ve velikostním provedení Alfa pro IPE profil s tloušťkou pásnice 11,5 až 30 mm.



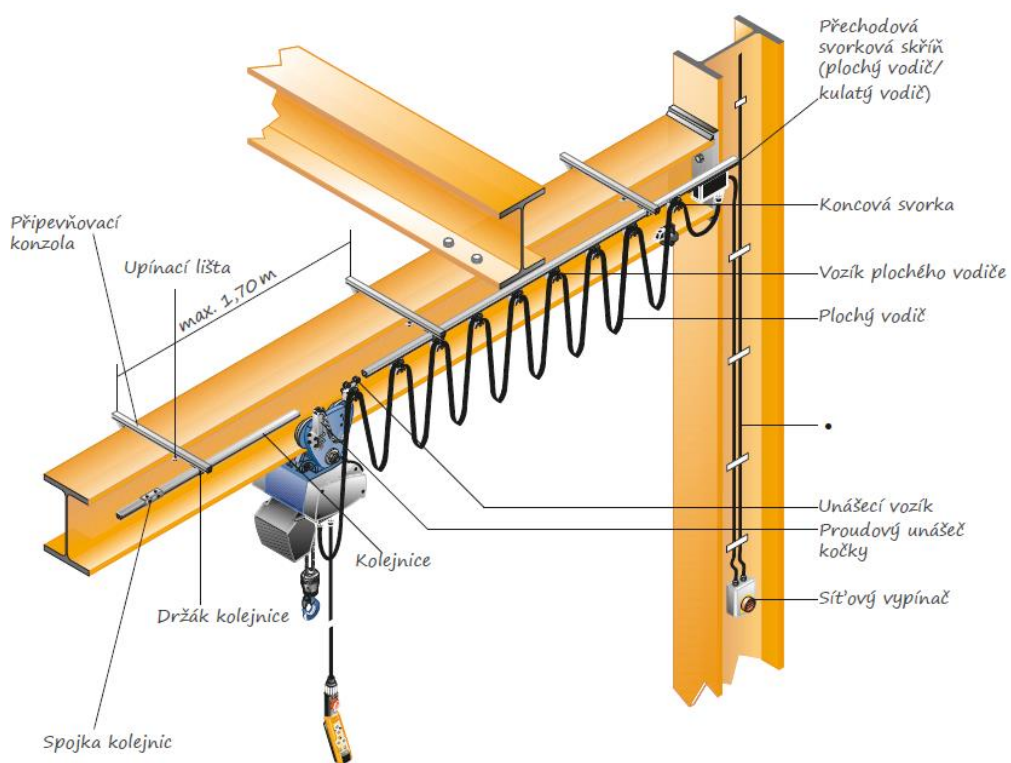
Obrázek 31 Upínací nárazník [3]

6.4 PROUDOVÝ UNAŠEČ KOČKY

Jedná se o proudový unašeč vlečného kabelu napájení zdvihacího zařízení.



Obrázek 32 Unašeč vlečného kabelu Abus [3]



Obrázek 33 Zobrazení komponent souvisejících s proudovým unašečem kočky [3]

6.5 POČÍTADLO PROVOZNÍCH HODIN

Počítadlo provozních hodin slouží k reálnému zjišťování odpracovaných hodin zdvihacího ústrojí. Z hodnoty dané počítadlem lze vyhodnotit zbytkovou životnost zdvihacího ústrojí.



3/

6.6 RÁDIOVÉ OVLÁDÁNÍ TIGER G2

Rádiem řízená ovládací jednotka Tiger G2 má dosah 50m. Ovládací jednotka se skládá z lehkého ručního vysílače s dobíjecí baterií, klipsu na opasek a přijímače se zabudovanou houkačkou. Systém pracuje pouze s 48V napětím.



Obrázek 35 Rádiové ovládání Tiger G2



ZÁVĚR

Předmětem této bakalářské práce je návrh konstrukce sloupového výložníkového jeřábu vhodného především na dílenskou manipulaci s břemeny.

Nejprve byl zvolen typ konstrukce výložníkového jeřábu s výložníkem uloženým v patkách se spodní podpěrou. Dalším krokem byla volba kladkostroje, která následovala přibližnou konstrukcí tvaru samotné konstrukce jeřábu. Po zkonstruování přibližného tvaru a určení profilů bylo v této práci určeno návrhové zatížení konstrukce určeno dle normy ČSN EN 13001-3-1+A2/ Jeřáby - Návrh všeobecně. Pomocí hodnot zatížení byly doloženy reakční síly vazeb a poté výpočet vnitřních výsledných účinků (VVÚ). Díky vypracování VVÚ byla zjištěna všechna zatížení potřebná k samotnému návrhu.

Samotný návrh je složen z volby typů a výpočtu rozměrů ložisek výložníku, výpočtu velikostí profilů konstrukce. Návrh rovněž disponuje výpočtem lícovacích šroubů spojujících ložisková tělesa a patky sloupu a výpočtem šroubů upevňujících jeřáb k podlaze. Ve výpočtu je zahrnut také výpočet svarů horní patky, spodní patky a ložiskových čepů.

V závěru práce je volba dodatečných součástí jeřábu jako upínací nárazníky montované na výložník, proudový unašeč kočky, rádiové ovládání kladkostroje a jiné.

Součástí této práce je výkresová dokumentace sestavy jeřábu a detailní výkres sloupu. Součástí jako podpěra výložníku, výztuha spodní patky nebo výztuha kotvy jsou vyrobené vypalováním z plechu. Ve výkresu svařence sloupu jsou předepsány tolerance souososti děr pro šrouby u horní a u spodní patky. Tyto tolerance zajišťují správnou funkci jeřábu, především stabilita polohy výložníku.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Shigley, Joseph Edward, Charles R. Mischke, and Richard Gordon Budynas. *Konstruování strojních součástí*. 2010 ed. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Print. Překlady vysokoškolských učebnic
- [2] Stránky TEDOX: Produkty: Jeřáby: [online], [15.6.2020], dostupné z: <https://www.tedox.cz/sloupove-jeraby>
- [3] Stránky ITECO: Ke stažení: Katalogy: Lanové kladkostroje: [online], [15.6.2020], dostupné z: <https://www.iteco.cz/files/ckeditor/downloads/catalogues/lanove-kladkostroje/01-lanove-kladkostroje.pdf>
- [4] BIGOŠ, Peter, Jozef KULKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.
- [5] ČSN EN 13001-3-1+A2. Jeřáby - Návrh všeobecně.: Klasifikace. Část 3-1: Mezní stavy prokázání způsobilosti ocelových konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019, 98s. Třídící znak 27 0105
- [6] ČSN EN 13001-2. Jeřáby – Návrh všeobecně.: Klasifikace. Část 2: Účinky zatížení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015, 60s. Třídící znak 27 0105
- [7] Stránky SKF: Výrobky: Valivá ložiska: [online], [15.6.2020], dostupné z: https://www.skf.com/binaries/pub54/Images/0901d1968096351e-Rolling-bearings---17000_1-CS_tcm_54-121486.pdf#cid-121486
- [8] ČSN EN 1993-1-1. Jeřáby – National Annex-Eurocode 3: Design of steel structures. Část 1-1: General rules and rules for buildings. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, 12s. Třídící znak 73 1401
- [9] ČSN 02 1111. Lícované šrouby s dlouhým závitem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013, 12s. Třídící znak 02 1111
- [10] Stránky FERONA: Produkty: [online], [15.6.2020], dostupné z: <https://online.ferona.cz/>
- [11] Stránky ESAB: Přídavné svařovací dráty: Svařovací dráty MIG/MAG: Nízkolegované oceli [online], [15.6.2020], dostupné z: <http://olsa-opp.cz/pdf/PDF-1-Katalog-pridavnych/D-draty/OK-AristoRod-1312.pdf>



- [12] Stránky HILTI: Produkty: Připevňovací prvky: Kotevní šrouby a prvky: HAS-RTZ: [online], [25.6.2020] , dostupné z:
https://www.hilti.cz/c/CLS_FASTENER_7135/CLS_ANCHOR_RODS_ELEMENTS_7135/r1066?CHA_GLOBAL_ANC_SIZE=M20&CHD_ANCHOR_LENGTH=269%20mm&combo_content=ff621612fe4ac8f9ba08af10bebed8e6&salespackquantity=4%20ks&itemCode=335944#nav%2Fclose

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$\bar{\lambda}_{LT}$	[-]	Poměrná štíhlost při klopení
Φ_1	[-]	Dynamický součinitel pro působení hmotnosti jeřábu
Φ_2	[-]	Dynamický součinitel působící na břemeno při zvedání ležícího břemena
Φ_{2min}	[-]	Výraz používaný při výpočtu Φ_2
Φ_3	[0]	Součinitel zatížení způsobeného akcelerací jeřábu
Φ_4	[-]	Součinitel zatížení způsobeného nárazem do nárazníku
\sqrt{a}	[-]	Heywoodův parametr
A_{SK}	[mm^2]	Nosný průřez závitu šroubu kotvy
h_1	[mm]	Tloušťka spodní patky
h_2	[mm]	Výška výztuhy spodní patky
h_s	[m]	Střední výška zdvihu
K_B	[-]	Klopný bod
k_1	[$N \cdot m^{-1}$]	Lineární zatížení působící na kotvu
l_1	[mm]	Vzdálenost první dvojice šroubů od klopného bodu
l_2	[mm]	Vzdálenost druhé dvojice šroubů od klopného bodu
l_3	[mm]	Vzdálenost třetí dvojice šroubů od klopného bodu
l_4	[mm]	Vzdálenost čtvrté dvojice šroubů od klopného bodu
REZ_{KV}	[-]	Kritický řez výložníku
R_{KHP}	[-]	Řez kritickým průřezem horní patky
S_{KHP}	[mm^2]	Plocha horní patky v kritickém průřezu
T_{SSP}	[-]	Těžiště svarového obrazce spodní patky
γ_{M1}	[-]	Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
C_{0A}	[kN]	Statická únosnost ložiska v bodě A
C_{0B}	[kN]	Statická únosnost ložiska v bodě B
C_1	[-]	Součinitel vystihující tvar momentového obrazce
C_2	[-]	Součinitel vystihující tvar momentového obrazce
D_C	[MPa]	Velký průměr ložiskového čepu
D_{HL}	[mm]	Vnější průměr osazení horního ložiska
D_{SL}	[mm]	Vnější průměr osazení spodního ložiska
D_{sl}	[mm]	Vnější průměr sloupu



F_1	[N]	Počáteční hnací síla
F_2	[N]	Koncová hnací síla
F_{AX}	[N]	Síla ve vazbě A působící ve směru osy x
F_{BX}	[N]	Síla ve vazbě B působící ve směru osy x
F_{BY}	[N]	Síla ve vazbě B působící ve směru osy y
F_{CX}	[N]	Síla ve vazbě C působící ve směru osy x
F_{CY}	[N]	Síla ve vazbě C působící ve směru osy y
$F_{N(B+K)}$	[N]	Návrhová síla od hmotnosti břemene a kladkostroje
F_{NB}	[N]	Návrhová tíhová síla břemene
F_{NV}	[N]	Návrhová síla od hmotnosti výložníku
F_{S4}	[N]	Maximální síla působící na šroub ukotvení
$F_{S\dot{S}}$	[N]	Síla působící na šroubový spoj ložiskového tělesa
F_{aA}	[kN]	Axiální zatížení ložiska v bodě A
F_{aB}	[kN]	Axiální zatížení ložiska v bodě B
F_{rA}	[kN]	Radiální zatížení ložiska v bodě A
F_{rB}	[kN]	Radiální zatížení ložiska v bodě B
I_Z	[mm ⁴]	Moment setrvačnosti k měkké ose
I_t	[mm ⁴]	Moment tuhosti v prostém kroucení
I_ω	[mm ⁶]	Výsečový moment setrvačnosti
J_z	[mm ⁴]	Kvadratický moment svarového obrazce spodní patky a sloupu
J_{zu}	[mm ³]	Jednotkový kvadratický moment svarového obrazce spodní patky a sloupu
L_Z	[mm]	Vzpěrná délka pro vybočení tlačného pásu z roviny ohybu
L_ω	[mm]	Vzpěrná délka pro zkroucení nosníku
$M_{0V,kK}$	[Nm]	Ohybový moment výložníku kritický na klopení
M_C	[Nm]	Moment působící ve vazbě C
M_{NOS}	[Nm]	Návrhový ohybový moment sloupu
M_{012}	[Nm]	Ohybový moment v prvním délkovém intervalu druhého tělesa
M_{013}	[Nm]	Ohybový moment v prvním délkovém intervalu třetího tělesa
M_{022}	[Nm]	Ohybový moment ve druhém délkovém intervalu druhého tělesa
M_{023}	[Nm]	Ohybový moment ve druhém délkovém intervalu třetího tělesa
M_{023k}	[Nm]	Ohybový moment v místě x_{23k}
M_{032}	[Nm]	Ohybový moment ve třetím délkovém intervalu druhého tělesa
M_{033}	[Nm]	Ohybový moment ve třetím délkovém intervalu třetího tělesa



M_{O42}	[Nm]	Ohybový moment ve čtvrtém délkovém intervalu druhého tělesa
M_{O43}	[Nm]	Ohybový moment ve čtvrtém délkovém intervalu třetího tělesa
M_{SSP}	[Nm]	Moment působící na svar spodní patky
$M_{b,Rd}$	[Nm]	Momentová únosnost výložníku při klopení
M_{cr}	[Nm]	Pružný kritický moment
N_{12}	[N]	Normálová síla v prvním délkovém intervalu druhého tělesa
N_{13}	[N]	Normálová síla v prvním délkovém intervalu třetího tělesa
N_{22}	[N]	Normálová síla ve druhém délkovém intervalu druhého tělesa
N_{23}	[N]	Normálová síla ve druhém délkovém intervalu třetího tělesa
N_{32}	[N]	Normálová síla ve třetím délkovém intervalu druhého tělesa
N_{33}	[N]	Normálová síla ve třetím délkovém intervalu třetího tělesa
N_{42}	[N]	Normálová síla ve čtvrtém délkovém intervalu druhého tělesa
N_{43}	[N]	Normálová síla ve čtvrtém délkovém intervalu třetího tělesa
P_{0A}	[kN]	Ekvivalentní statické zatížení ložiska v bodě A
P_{0B}	[kN]	Ekvivalentní statické zatížení ložiska v bodě B
R_{MS}	[MPa]	Mez pevnosti v tahu materiálu elektrody
R_{eE}	[MPa]	Mez kluzu materiálu elektrody
R_{eHP}	[MPa]	Mez kluzu materiálu horní patky
R_{eHP}	[MPa]	Mez kluzu materiálu horní patky
$R_{eKš}$	[MPa]	Mez kluzu šroubu kotvy
$R_{eLš}$	[MPa]	Mez kluzu střížných šroubů
R_{eLC}	[MPa]	Mez kluzu materiálu ložiskových čepů
R_{eS}	[MPa]	Mez kluzu materiálu sloupu
R_{eS}	[MPa]	Mez kluzu materiálu sloupu
R_{eSP}	[MPa]	Mez kluzu materiálu spodní patky
R_{eV}	[MPa]	Mez kluzu materiálu výložníku
R_{eVS}	[MPa]	Mez kluzu plochého profilu výložníku
R_{eVSP}	[MPa]	Mez kluzu materiálu výztuhy spodní patky
R_{mHP}	[MPa]	Mez pevnosti materiálu horní patky
S_{OT}	[mm ²]	Plocha šroubu namáhaná na otláčení
$S_{Sš}$	[mm ²]	Střížná plocha šroubu
S_{SHP}	[mm ²]	Plocha svaru horní patky a sloupu
S_{SSP}	[mm ²]	Plocha svaru spodní patky



T_{12}	[N]	Tečná síla v prvním délkovém intervalu druhého tělesa
T_{13}	[N]	Tečná síla v prvním délkovém intervalu třetího tělesa
T_{22}	[N]	Tečná síla ve druhém délkovém intervalu druhého tělesa
T_{23}	[N]	Tečná síla ve druhém délkovém intervalu třetího tělesa
T_{32}	[N]	Tečná síla ve třetím délkovém intervalu druhého tělesa
T_{33}	[N]	Tečná síla ve třetím délkovém intervalu třetího tělesa
T_{42}	[N]	Tečná síla ve čtvrtém délkovém intervalu druhého tělesa
T_{43}	[N]	Tečná síla ve čtvrtém délkovém intervalu třetího tělesa
W_{NOS}	[m^3]	Návrhový modul průřezu v ohybu
W_{NOV}	[cm^3]	Návrhový modul průřezu v ohybu
W_{OS}	[cm^3]	Modul průřezu v ohybu zvoleného profilu
W_{OV}	[cm^3]	Modul průřezu v ohybu zvoleného profilu
$W_{pl,y}$	[mm^3]	Plastický průřezový modul
Y_{0A}	[-]	Součinitel axiálního zatížení pro ložisko v bodě A
Y_{0B}	[-]	Součinitel axiálního zatížení pro ložisko v bodě B
a_{Kmax}	[$m \cdot s^{-2}$]	Maximální zrychlení zdvihu jeřábu
a_{Smin}	[mm]	Minimální tloušťka svaru daná normou
b_1	[mm]	Délka styčné plochy spodní patky a sloupu
b_2	[mm]	Tloušťka výztuhy spodní patky
b_{HL}	[mm]	Šířka horního ložiska
b_{SL}	[mm]	Šířka spodního ložiska
d_{HL}	[mm]	Vnitřní průměr osazení horního ložiska
$d_{S\check{S}}$	[mm]	Zvolený průměr šroubu
$d_{S\check{S}N}$	[mm]	Návrhový průměr šroubu
d_{SL}	[mm]	Vnitřní průměr osazení spodního ložiska
f_y	[MPa]	Mez kluzu IPE profilu
$i_{\check{S}LT}$	[-]	Počet šroubů ložiskového tělesa
k_{NS}	[-]	Návrhový součinitel svarů
k_n	[-]	Návrhový koeficient
$l_{(B+K)}$	[m]	Vzdálenost půs. tíh. síly břemene a kladkostroje od osy otáčení výložníku
l_S	[mm]	Délka svarů spodní patky
l_V	[m]	Vzdálenost působiště tíhové síly výložníku od osy otáčení výložníku
m_B	[kg]	Hmotnost břemene

m_K	[kg]	Hmotnost kladkostroje
m_{NB}	[kg]	Návrhová hmotnost břemene
m_{NK}	[kg]	Návrhová hmotnost kladkostroje
m_{NV}	[kg]	Návrhová hmotnost výložníku
m_V	[kg]	Hmotnost výložníku
n_z	[h ⁻¹]	Průměrný počet zdvihů za hodinu
$p_{NOŠ}$	[MPa]	Návrhový dovolený tlak ve šroubu
$p_{DOŠ}$	[MPa]	Dovolené tlakové napětí šroubu
p_{SO}	[MPa]	Skutečné tlakové napětí ve šroubu
r_{SSP}	[mm]	Vzdálenost působíště síly k těžišti svarového obrazce
s_{0A}	[-]	Statická bezpečnost ložiska v bodě A
s_{0B}	[-]	Statická bezpečnost ložiska v bodě B
t_{LT}	[mm]	Tloušťka ložiskového tělesa
t_{HP}	[mm]	Tloušťka horní patky
t_{SP}	[mm]	Tloušťka spodní patky
t_d	[h/den]	Pracovní doba za 1 den
t_m	[h/den]	Střední doba chodu
v_{nmax}	[m·s ⁻¹]	Maximální rychlost zdvihu kladkostroje
v_z	[m·min ⁻¹]	Průměrná rychlost zdvihu
x_{12}	[m]	Interval prvního délkového intervalu druhého tělesa
x_{13}	[m]	Interval prvního délkového intervalu třetího tělesa
x_{22}	[m]	Interval druhého délkového intervalu druhého tělesa
x_{23}	[m]	Interval druhého délkového intervalu třetího tělesa
x_{23k}	[mm]	Hodnota x_{23} udávající polohu kritického průřezu
x_{32}	[m]	Interval třetího délkového intervalu druhého tělesa
x_{33}	[m]	Interval třetího délkového intervalu třetího tělesa
x_{42}	[m]	Interval čtvrtého délkového intervalu druhého tělesa
y_1	[mm]	Vzdálenost těžiště spodní patky k těžišti svarového obrazce spodní patky
y_2	[mm]	Vzdálenost těžiště výztuhy s. p. k těžišti svarového obrazce s. p.
z_{HP}	[mm]	Zvolená šířka svaru horní patky a sloupu
z_{LC}	[MPa]	Zvolená šířka svaru spodní patky
z_{NHP}	[mm]	Návrhová šířka svaru horní patky
z_{NSP}	[mm]	Návrhová šířka svaru spodní patky

z_{NSP}	[mm]	Zvolená šířka svarů spodní patky
z_{SLC}	[MPa]	Návrhová šířka svaru spodní patky
z_{Smin}	[mm]	Minimální šířka svaru daná normou
α_1	[-]	Součinitel imperfekce
β_1	[-]	Součinitel závislý na třídě tuhosti jeřábu
γ_P	[-]	Dílčí součinitel bezpečnosti
μ_F	[-]	Počet neznámých silových parametrů
μ_M	[-]	Počet neznámých momentových parametrů
μ_r	[-]	Počet neznámých rozměrových parametrů
$\sigma_{NT\check{S}}$	[MPa]	Návrhové dovolené napětí šroubu ukotvení
σ_{NOS}	[MPa]	Návrhové smykové napětí sloupu
σ_{NOV}	[MPa]	Návrhové smykové napětí výložníku
τ_{NHP}	[MPa]	Návrhové normálové napětí horní patky
τ_{NS}	[MPa]	Návrhové napětí ve stříhu
τ_{NSHP}	[MPa]	Návrhové smykové napětí ve svaru horní patky a sloupu
τ_{NSSP}	[MPa]	Návrhové napětí ve svaru spodní patky a sloupu
τ_{SHP}	[MPa]	Kombinované smykové napětí svarů spodní patky a sloupu
τ_{SLC}	[MPa]	Smykové napětí ve svarech ložiskových čepů
u_F	[-]	Počet řešitelných rovnic pro síly
u_M	[-]	Počet řešitelných rovnic pro momenty
χ_{LT}	[-]	Součinitel vzpěrnosti při klopení
τ_{12}	[-]	Řez prvního délkového intervalu druhého tělesa
τ_{13}	[-]	Řez prvního délkového intervalu třetího tělesa
τ_{22}	[-]	Řez druhého délkového intervalu druhého tělesa
τ_{23}	[-]	Řez druhého délkového intervalu třetího tělesa
τ_{32}	[-]	Řez třetího délkového intervalu druhého tělesa
τ_{33}	[-]	Řez třetího délkového intervalu třetího tělesa
τ_{42}	[-]	Řez čtvrtého délkového intervalu druhého tělesa
τ_{43}	[-]	Řez čtvrtého délkového intervalu třetího tělesa
ΔF	[N]	Rozdíl hnacích sil
$\sum F_{X2}$	[N]	Součet sil působících ve směru osy x pro 2. těleso
$\sum F_{X3}$	[N]	Součet sil působících ve směru osy x pro 3. těleso
$\sum F_{Y2}$	[N]	Součet sil působících ve směru osy y pro 2. těleso



ΣF_{Y3}	[N]	Součet sil působících ve směru osy y pro 3. těleso
ΣM_A	[N]	Součet momentů k vazbě A působících na 3. těleso
ΣM_C	[N]	Součet momentů k vazbě C působících 2. těleso
a	[m]	Rozměr jeřábu použit ve výpočtech
b	[m]	Rozměr jeřábu použit ve výpočtech
e	[m]	Rozměr jeřábu použit ve výpočtech
E	[MPa]	Modul pružnosti v tahu, tlaku
G	[MPa]	Modul pružnosti ve smyku
h	[m]	Rozměr jeřábu použit ve výpočtech
r	[mm]	Poloměr díry pro šrouby v horní patce
d	[mm]	Průměr díry pro šrouby v horní patce
g	[m·s ⁻²]	Tíhové zrychlení
w	[mm]	Šířka průřezu horní patky
α	[-]	Součinitel tvaru vrubu
β	[-]	Součinitel vrubové napjatosti
δ	[-]	Výraz používaný při výpočtu Φ_1
μ	[-]	Počet neznámých parametrů
τ'	[MPa]	Smykové napětí ve svaru od posouvající síly
τ''	[MPa]	Smykové napětí svarů od ohybového momentu
v	[-]	Počet řešitelných rovnic
ϕ	[-]	Štíhlostní součinitel



SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace:

200488-00: Výkres sestavy sloupového výložníkového jeřábu

200488-01: Výkres svařence sloupu