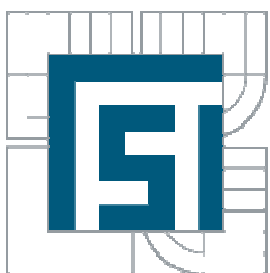


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

**ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KONCEPČNÍ NÁVRH SLOUPOVÉHO JEŘÁBU 600 KG

CONCEPTUAL DESIGN OF JIB CRANE 600KG

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL MLEJNEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARTIN KUBÍN

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student (ka): Pavel Mlejnek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

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:

Koncepční návrh sloupového jeřábu 600 kg

v anglickém jazyce:

Conceptual design of jib crane 600 kg

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je koncepční návrh sloupového jeřábu.

Cíle bakalářské práce:

Cíle bakalářské práce:

Proveďte koncepční návrh sloupového jeřábu. Navrhněte jeho hlavní parametry (výška zdvihu,...).

Základní technické parametry:

- maximální nosnost... 600 kg

Vypracujte:

- technickou zprávu

- výkres koncepčního návrhu

- dále dle pokynů vedoucího BP

Seznam odborné literatury:

[1] MYNÁŘ, B., KAŠPÁREK, J.: Dopravní a manipulační zařízení, Brno, Skriptum pro bakalářské studium

[2] REMTA, F., KUPKA, L., DRAŽAN, F.: Jeřáby, 2., přeprac. a dopln. vyd., SNTL Praha, 1975

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Kubín

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 8. 11. 2010

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.

Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá koncepčním návrhem sloupového jeřábu. Cílem je zvolení hlavních rozměrů a základních parametrů sloupového jeřábu pomocí návrhového výpočtu a kontrola pomocí kontrolního výpočtu. Ke koncepčnímu návrhu patří také volba kladkostroje, pojezdového ústrojí, pomocného zařízení a výkresová dokumentace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sloupový jeřáb, výložník, sloup jeřábu, řetězový kladkostroj, pojezdové ústrojí.

ABSTRACT

This Bachelor thesis deals with a conceptual design of column jib crane. The aim is to select the key dimensions and basic parameters of the column jib crane with the column design calculations and to check using the check calculation. This conceptual design also includes the choice of the hoist, running gear, auxiliary equipment and technical drawings.

KEYWORDS

Column jib crane, boom, pillar crane, chain hoist, running gear.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MLEJNEK, P. Koncepční návrh sloupového jeřábu 600 kg. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Kubín.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Martina Kubína a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. května 2011

.....

Pavel Mlejnek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Ing. Martinu Kubínovi za odbornou pomoc a věcné rady. Dále bych chtěl poděkovat svému nejbližšímu okolí za podporu ve studiu.

OBSAH

Úvod	10
1 Rozdělení sloupových jeřábů.....	11
1.1 Sloupový otočný jeřáb LS.....	11
1.2 Sloupový otočný jeřáb LSX.....	11
1.3 Sloupový otočný jeřáb VS	12
2 Volba jeřábu	13
2.1 Volba zvolené varianty a hlavních rozměrů jeřábu	13
2.2 Volba zdvihového a pojezdového ústrojí.....	14
2.3 Volba příslušenství	14
3 Výpočet jeřábu.....	15
3.1 Kinematický rozbor soustavy	16
3.1.1 Určení pohyblivosti soustavy	16
3.1.2 Uvolnění těles	16
3.2 Statický rozbor	18
3.2.1 Silová rovnováha 2. člen	18
3.2.2 Silová rovnováha 3. členu	19
3.3 Výsledné vnitřní účinky.....	20
3.3.1 Výsledné vnitřní účinky – výložník	20
3.3.2 Výsledné vnitřní účinky – sloup.....	21
3.4 Návrhový výpočet výložníku.....	21
3.4.1 Výpočet průřezu 1	22
3.4.2 Výpočet průřezu 2	24
3.4.3 Uložení výložníku	25
3.5 Sloup jeřábu	26
3.6 Horní patka	27
3.7 Dolní patka.....	29
3.7.1 Výpočet napětí v průřezu 1.....	30
3.7.2 Výpočet napětí v průřezu 2.....	32
3.8 Upevnění sloupového jeřábu.....	33
4 Kontrolní výpočet	37
4.1 Kontrola ložisek.....	37
4.1.1 Volba ložiska v bodě A	37
4.1.2 Volba ložiska v bodě B.....	38
4.2 Kontrola svarů.....	38
4.2.1 Kontrola svaru výložníku	38

4.2.2	Kontrola svaru horní patky	42
4.2.3	Kontrola svaru dolní patky	43
	Závěr	45
	Seznam použitých zkratek a symbolů	47
	Seznam příloh	52

ÚVOD

S rozvojem průmyslu a činností člověka se začaly vyrábět rozměrné součásti či výrobky, se kterými už nemohlo být manipulováno z důvodu hmotnosti nebo rozměrnosti pouze člověkem. Za tímto účelem, pro ulehčení práce, člověk začal používat zdvihací zařízení – jeřáby. Jeřáby jsou zařízení, která slouží k manipulaci s materiálem vodorovným a svislým směrem a jsou používány tam, kde je lidská síla nedostačující.

Jeřábová technika je pomocníkem člověka a představuje efektivní faktor každodenního provozu. Vzhledem k častému provozu je důležité použití kvalitních materiálů a kvalitní zpracování při zachování jednoduchosti a účelnosti konstrukce. Opatření způsobenému provozem nemůžeme zabránit, a proto je doporučována pravidelná odborná údržba.

V současné době mají jeřáby široké využití. Ve strojírenské praxi se nejčastěji setkáme s mostovými a sloupovými jeřáby. Mostové jeřáby se používají pro přemísťování nejtěžších součástí většinou při přepravě mezi pracovišti. Sloupové jeřáby pak slouží k manipulaci na jednotlivých pracovištích. Oba typy mohou být individuálně přizpůsobeny specifickým požadavkům místa použití. V současnosti nám výrobci jako například ITECO a Liebherr umožňují velký výběr jeřábů a doplňkových zařízení, jako je například počítadlo provozních hodin zdvihacího ústrojí, dálkové ovládání a další.

Vývoj jeřábů bude jistě dále pokračovat, proto jsem navrhl jeden z možných typů sloupových jeřábů, který je možno použít.



Obr. 1 Otočný jeřáb v provozu [7]

1 ROZDĚLENÍ SLOUPOVÝCH JEŘÁBŮ

Sloupové jeřáby jsou rozděleny dle firmy ITECO – ABUS [7].

1.1 SLOUPOVÝ OTOČNÝ JEŘÁB LS

Čtvercový jeřábový sloup je pevně připevněn k podlaze pomocí kotevního upevňovacího systému. Výložník je vyroben z dutých ocelových profilů a rozsah otáčení je 270°. Nosnost do 500 kg a vyložení do 7 m [7].



Obr. 2 Sloupový otočný jeřáb LS [7]

1.2 SLOUPOVÝ OTOČNÝ JEŘÁB LSX

Sloup je pevně připevněn k podlaze pomocí kotevního upevňovacího systému. Výložník je vyroben z plnostěnného profilu. Tento typ umožňuje dobrý zdvih vzhledem k celkové výšce jeřábu. Rozsah otáčení je 270° a nebo 180°. Nosnost do 500 kg a vyložení do 7 m [7].



Obr. 3 Sloupový otočný jeřáb LSX [7]

1.3 SLOUPOVÝ OTOČNÝ JEŘÁB VS

Sloup je pevně připevněn k podlaze pomocí kotevního upevňovacího systému. Výložník je vyroben z plnostěnného profilu. Má dobrý zdvih vzhledem k celkové výšce jeřábu. Rozsah otáčení je 360° a je realizován pomocí kroužkového sběrače. Nosnost do 4000 kg a vyložení do 10 m [7].

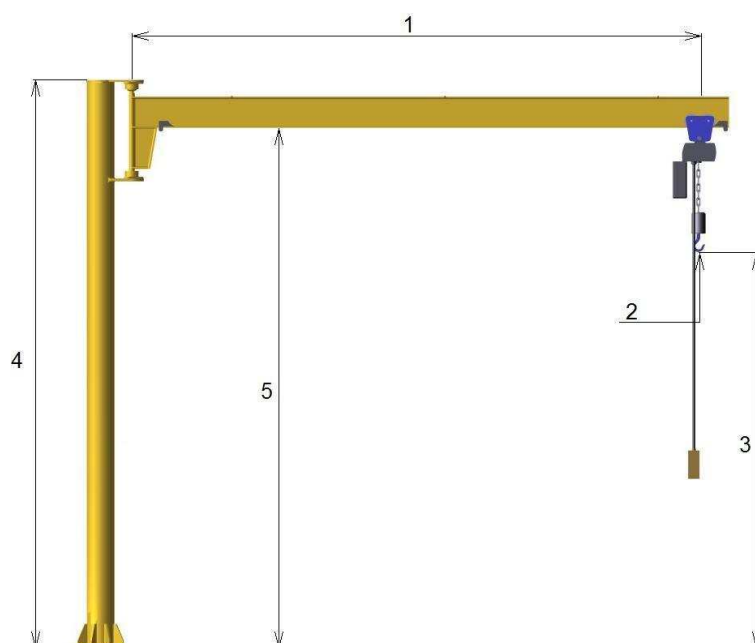


Obr. 4 Sloupový otočný jeřáb VS [7]

2 VOLBA JEŘÁBU

2.1 VOLBA ZVOLENÉ VARIANTY A HLAVNÍCH ROZMĚRŮ JEŘÁBU

Navrhuji sloupový jeřáb, který i v menších prostorech poskytuje dostatečnou možnost horizontálního a vertikálního pohybu břemene. Proto volím konstrukční variantu LSX. Pojezd jeřábové kočky a otáčení výložníku je realizováno tlačáním břemene zavěšeného na jeřábové kočce. Tato varianta je vhodná například do zkušeben nebo pracovišť s omezenou výškou stropu. Hlavní parametry jsou délka vyložení 1, nosnost 2, nejvyšší poloha háku 3, světlá výška prostoru 4, výška spodní hrany výložníku 5 a úhel otáčení výložníku.



Obr. 5 Sloupový jeřáb s hlavními parametry

Délka vyložení: 4000 mm

Nosnost: 630 kg

Nejvyšší poloha háku: 3200 mm

Světlá výška prostoru: 4000 mm

Výška spodní hrany výložníku: 3690 mm

Úhel otáčení výložníku: 270°

2.2 VOLBA ZDVIHOVÉHO A POJEZDOVÉHO ÚSTROJÍ

Pojezdové a zdvihové ústrojí je vybráno podle současných výrobců.

Při výběru zdvihového ústrojí je nutné dodržet minimální nosnost jeřábu a to je 600 kg. Proto volím elektrický řetězový kladkostroj ABUCompact GM 2 630.3 – 2, s maximální nosností 630 kg, dle [8].



Obr. 6 ABUCompact GM 2 [8]

Při výběru pojezdového ústrojí je nutno dodržet celkovou nosnost a způsob pohonu. Pojezd je realizován tlačáním břemene zavěšeného na jeřábové kočce, tedy proto volím pojezdové ústrojí HF 14 s maximální nosností 1400 kg, dle [8].



Obr. 7 Pojezdové ústrojí HF 14 [8]

2.3 VOLBA PŘÍSLUŠENSTVÍ

Příslušenství tomuto jeřábu bych volil upínací nárazník ABUS alpha a elektrický přívod ABUS [8].

3 VÝPOČET JEŘÁBU

Do výpočtu bude zahrnuta hmotnost břemene, vlastní hmotnost jeřábu, pojezdového ústrojí a kladkostroje. Hmotnost břemene bude uvažována při výpočtu 630 kg, z důvodu maximálního využití zdvihového ústrojí.

Součinitel bezpečnosti volím $k_k = 2$.

Skutečné zatížení je počítáno dle ČSN 27 0103 [6]. Kombinace zatížení – základní.

SPECIFIKACE JEŘÁBU [6]

Zdvihová třída	H 2
Druh provozu	D 3
Spektrum napětí	S 2
Provozní skupina	J 4

ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÉ JMENOVITÝM BŘEMENEM [6]

Toto zatížení bude působit na jeřáb při maximálním zatížení.

$$F_b = (m + m_{pú} + m_{zú}) \cdot g \cdot \gamma_{lo} \cdot \delta_h \quad (3.1)$$

$$F_b = (630 + 11,9 + 25,1) \cdot 9,81 \cdot 1,4 \cdot 1,2$$

$$F_b = 10992,7 \text{ N}$$

kde:

γ_{lo} ... součinitel zatížení od jmenovitého břemena [6]

δ_h ... dynamický součinitel zdvihový [6]

ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÉ VLASTNÍ HMOTNOSTÍ [6]

Toto zatížení je způsobené pouze vlastní hmotností výložníku.

$$F_g = m_g \cdot g \cdot \gamma_g \cdot \delta_t \quad (3.2)$$

$$F_g = 119,3 \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 1,1$$

$$F_g = 1416,1 \text{ N}$$

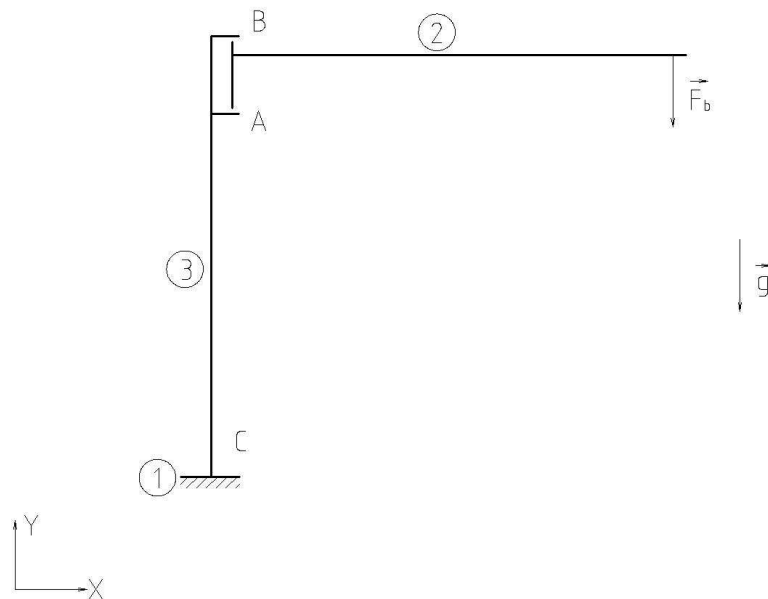
kde:

γ_g ... součinitel zatížení [6]

δ_t ... dynamický součinitel pojezdový [6]

3.1 KINEMATICKÝ ROZBOR SOUSTAVY

V kinematickém rozboru se označí jednotlivá tělesa a označí a určí jednotlivé vazby.



Obr. 8 Schéma jeřábu

A – 2x obecná vazba $\zeta_A = 2$

B – obecná vazba $\zeta_B = 1$

C – vetknutí $\zeta_C = 3$

3.1.1 URČENÍ POHYBLIVOSTI SOUSTAVY

Počet stupňů volnosti soustavy těles je počet všech nezávislých složek pohybu tělesa jako celku, které mohou vykonávat jednotlivá tělesa soustavy.

$$i = (n - 1) \cdot i_V - (\zeta_A - \zeta_B - \zeta_C - \eta) \quad (3.3)$$

$$i = (3 - 1) \cdot 3 - (2 + 1 + 3 - 0)$$

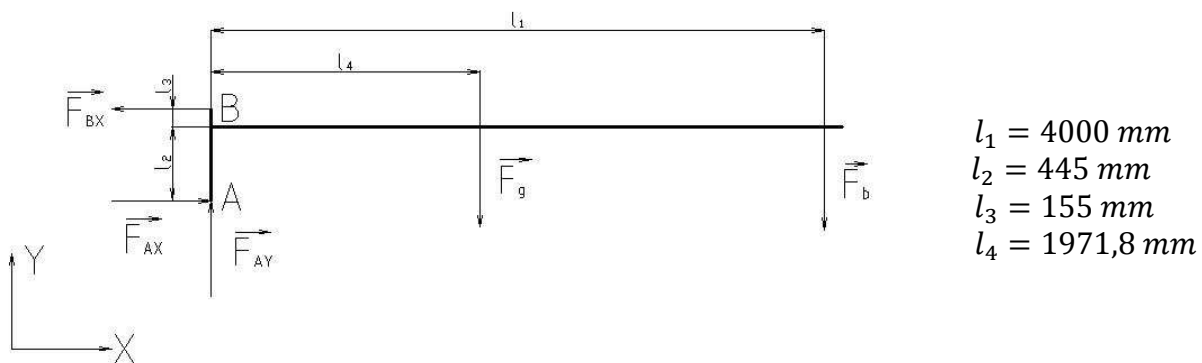
$$i = 6 - 6 = 0$$

V rovině XY je soustava uložena nepohyblivě, výložník se může otáčet kolem osy Y.

3.1.2 UVOLNĚNÍ TĚLES

Uvolnění těles je odstranění vazeb a nahrazení vazeb silovým působením, tak aby byla zachována funkce tělesa.

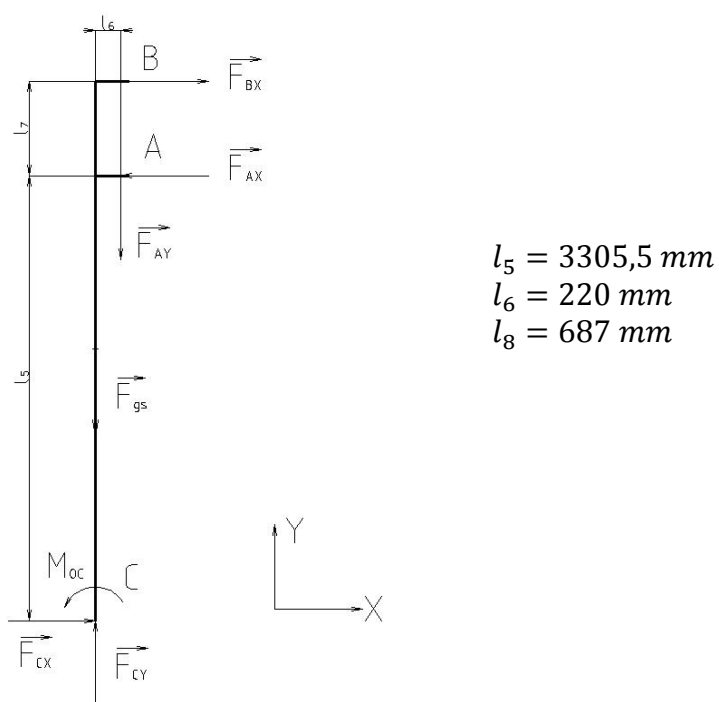
UVOLNĚNÍ VÝLOŽNÍKU



Obr. 9 Uvolnění výložníku

UVOLNĚNÍ SLOUPU JEŘÁBU

Výložník je uložen v ložiskových domečcích, proto je vzdálenost patek sloupu l_7 , větší než součet délek l_2 a l_3 .



Obr. 10 Uvolnění sloupu jeřábu

3.2 STATICKÝ ROZBOR

Statický rozbor se skládá z volby souřadného systému, určení množiny neznámých parametrů a nutné podmínky statické určitosti.

POČET NEZNÁMÝCH PARAMETRŮ

$$NP = \{F_{BX}, F_{AX}, F_{AY}, F_{CX}, F_{CY}, M_{OC}\}$$

$$\mu_F = 5$$

$$\mu_M = 1$$

$$\mu_r = 0$$

POČET NEZNÁMÝCH NEZÁVISLÝCH PARAMETRŮ

$$\mu = \mu_F + \mu_M + \mu_r \quad (3.4)$$

$$\mu = 5 + 1 + 0$$

$$\mu = 6$$

POČET POUŽITELNÝCH PODMÍNEK STATICKÉ ROVNOVÁHY

$$\nu = (n - 1) \cdot (\nu_F + \nu_M) \quad (3.5)$$

$$\nu = (3 - 1) \cdot (2 + 1)$$

$$\nu = 6$$

NUTNÁ PODMÍNKA STATICKÉ URČITOSTI

$$\nu = \mu \quad (3.6)$$

$$6=6$$

a

$$\mu_r + \mu_M \leq \nu_M \quad (3.7)$$

$$0 + 1 \leq 2$$

$$1 \leq 2$$

Úloha je staticky určitá.

3.2.1 SILOVÁ ROVNOVÁHA 2. ČLEN

$$\Sigma F_X = 0$$

$$F_{AX} - F_{BX} = 0 \quad (3.8)$$

$$F_{AX} = F_{BX} = 77938,4 \text{ N}$$

$$\Sigma F_Y = 0$$

$$F_{AY} - F_b - F_g = 0 \quad (3.9)$$

$$F_{AY} = F_b + F_g$$

$$F_{AY} = 10992,7 + 1416,1$$

$$F_{AY} = 12408,8 \text{ N}$$

$$\Sigma M_{OA} = 0$$

$$F_{BX} \cdot (l_2 + l_3) - F_b \cdot l_1 - F_g \cdot l_4 = 0 \quad (3.10)$$

$$F_{BX} = \frac{F_b \cdot l_1 + F_g \cdot l_7}{l_2 + l_3}$$

$$F_{BX} = \frac{10992,7 \cdot 4000 + 1416,1 \cdot 1971,8}{445 + 155}$$

$$F_{BX} = 77938,4 \text{ N}$$

3.2.2 SILOVÁ ROVNOVÁHA 3. ČLENU

$$\Sigma F_X = 0$$

$$F_{BX} - F_{AX} + F_{CX} = 0 \quad (3.11)$$

$$F_{CX} = F_{AX} - F_{BX}$$

$$F_{CY} = 77938,4 - 77938,4$$

$$F_{CY} = 0 \text{ N}$$

$$\Sigma F_Y = 0$$

$$F_{CY} - F_{AY} - F_{gs} = 0 \quad (3.12)$$

$$F_{CY} = F_{AY} + F_{gs}$$

$$F_{CY} = 12408,8 + 4392,9$$

$$F_{CY} = 16801,7 \text{ N}$$

$$\Sigma M_{OC} = 0$$

$$M_{OC} + F_{AX} \cdot l_5 - F_{AY} \cdot l_6 - F_{BX} \cdot (l_5 + l_7) = 0 \quad (3.13)$$

$$M_{OC} = F_{AY} \cdot l_6 + F_{BX} \cdot (l_5 + l_7) - F_{AX} \cdot l_5$$

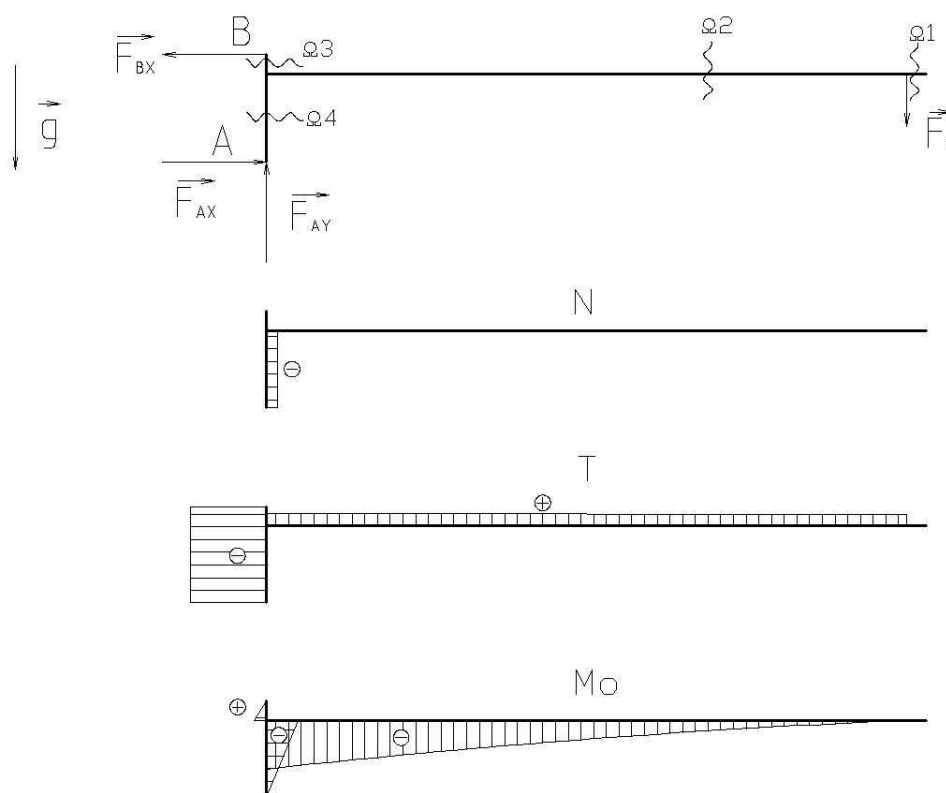
$$M_{OC} = 12408,8 \cdot 220 + 77938,4 \cdot (3305,5 + 687) - 77938,4 \cdot 3305,5$$

$$M_{OC} = 56273,6 \text{ Nm}$$

3.3 VÝSLEDNÉ VNITŘNÍ ÚČINKY

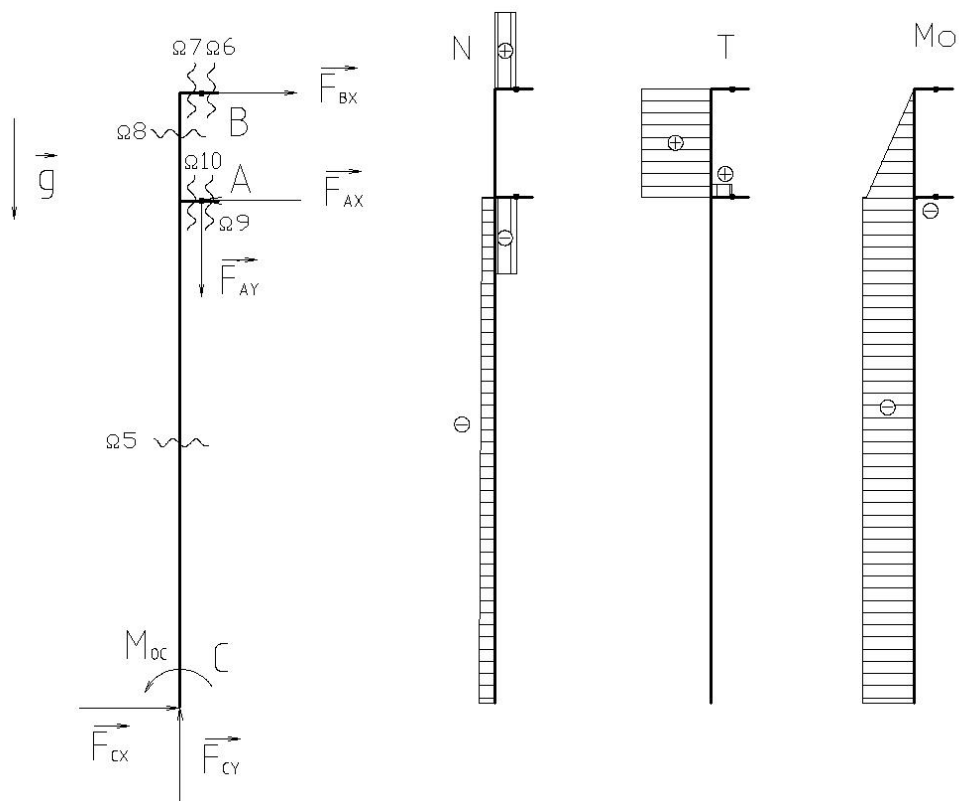
Velmi důležité je určení výsledných vnitřních účinků. Pomocí dílčích řezů se zjistí působení napětí v jednotlivých řezech a místa s největšími napětími budou zkontrolovány. V některých řezech porušují prutové předpoklady, například délka střednice je minimálně stejně velká jako největší rozměr příčného průřezu, z důvodu zjednodušení a použití analytického výpočtu.

3.3.1 VÝSLEDNÉ VNITŘNÍ ÚČINKY – VÝLOŽNÍK



Obr. 11 Výsledné vnitřní účinky - výložník

3.3.2 VÝSLEDNÉ VNITŘNÍ ÚČINKY – SLOUP

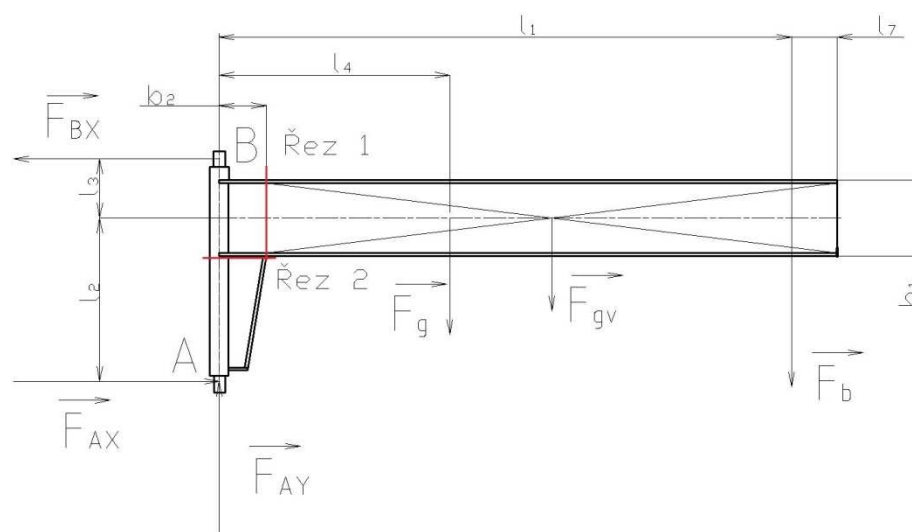


Obr. 12 Výsledné vnitřní účinky - sloup

3.4 NÁVRHOVÝ VÝPOČET VÝLOŽNÍKU

V návrhovém výpočtu určím 2 nebezpečná místa průřezu (obr. 13), která následně zkontroluji k meznímu stavu pružnosti. Při výpočtu budu uvažovat statické namáhání.

Volím materiál výložníku 11523.0 dle ČSN 42 0002, 1.0570 dle ČSN EN 10 027-2 [1].



Obr. 13 Kritická místa výložníku

3.4.1 VÝPOČET PRŮŘEZU 1

VÝPOČET DOVOLENÉHO NAPĚTÍ V OHYBU VÝLOŽNÍKU

$$k_k = \frac{R_e}{\sigma_{OD}} \rightarrow \sigma_{OD} = \frac{R_e}{k_k} \quad (3.14)$$

$$\sigma_{OD} = \frac{355}{2}$$

$$\sigma_{OD} = 177,5 \text{ MPa}$$

VÝPOČET NÁVRHOVÉHO PRŮŘEZOVÉHO MODULU V OHYBU V PRŮŘEZU 1

$$\sigma_{OD} = \frac{M_{O1}}{W_{O1N}} = \frac{F_b \cdot (l_1 - b_2) + F_{gv} \cdot \frac{l_1 + l_7 - b_2}{2}}{W_{O1N}} \quad (3.15)$$

$$W_{O1N} = \frac{F_b \cdot (l_1 - b_2) + F_{gv} \cdot \frac{l_1 + l_7 - b_2}{2}}{\sigma_{OD}}$$

$$W_{O1N} = \frac{10992,7 \cdot (4000 - 200) + 1244 \cdot \frac{4000 + 200 - 200}{2}}{177,5}$$

$$W_{O1N} = 249,4 \text{ cm}^3$$

VÝPOČET SÍLY VYVOLANÉ TÍHOU VÝLOŽNÍKU V ŘEZU 1

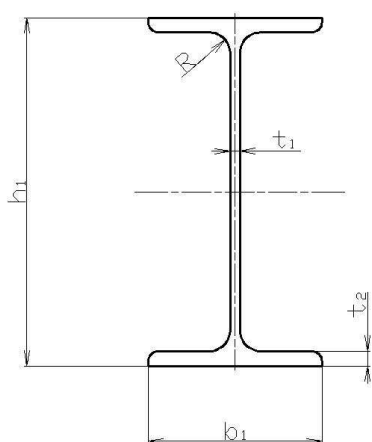
$$F_{gv} = m_{gv1} \cdot (l_1 + l_7 - b_2) \cdot g \cdot \gamma_g \cdot \delta_t \quad (3.16)$$

$$F_{gv} = 26,2 \cdot (4000 + 200 - 200) \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 1,1$$

$$F_{gv} = 1244,0 \text{ N}$$

Dle [5], volím větší průřezový modul W_{O1} než $W_{O1N} \rightarrow W_{O1} = 252 \text{ cm}^3$.

Profil: IPE 220 ČSN 42 5553 – 11 523.0 – ČSN 42 0135.00.



$$h1 = 220 \text{ mm}$$

$$b1 = 110 \text{ mm}$$

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

$$t1 = 5,9 \text{ mm}$$

$$t2 = 9,2 \text{ mm}$$

$$m_{gv1} = 26,2 \text{ kg}$$

Obr. 14 Profil IPE 220[5]

SKUTEČNÉ OHYBOVÉ NAPĚTÍ V PRŮŘEZU 1

$$\sigma_{O1} = \frac{M_{O1}}{W_{O1}} = \frac{F_b \cdot (l_1 - b_2) + F_{gv} \cdot \frac{l_1 + l_7 - b_2}{2}}{W_{O1}} \quad (3.17)$$

$$\sigma_{O1} = \frac{10992,7 \cdot (4000 - 200) + 1244 \cdot \frac{4000 + 200 - 200}{2}}{249,5 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{O1} = 177,4 \text{ MPa}$$

Ohybové napětí v průřezu 1 σ_{O1} je menší než σ_{OD} dovolené napětí výložníku v ohybu, vyhovuje.

3.4.2 VÝPOČET PRŮŘEZU 2

$$\sigma_{OD} = \frac{M_{O2}}{W_{O2N}} = \frac{F_{AX} \cdot \left(l_2 - \frac{h_1}{2}\right)}{W_{O2N}} \quad (3.18)$$

$$W_{O2N} = \frac{F_{AX} \cdot \left(l_2 - \frac{h_1}{2}\right)}{\sigma_{OD}}$$

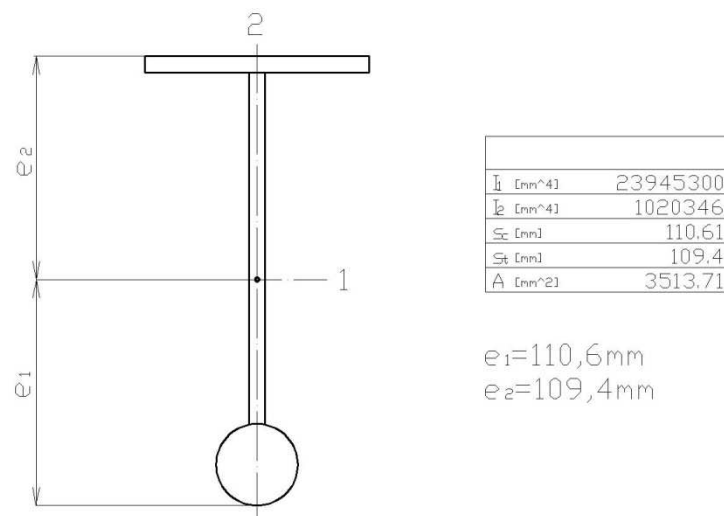
$$W_{O2N} = \frac{77938,4 \cdot \left(445 - \frac{220}{2}\right)}{177,5}$$

$$W_{O2N} = 147,1 \text{ cm}^3$$

Volím větší průřezový modul W_{O2} než W_{O2N} .

VÝPOČET PRŮŘEZOVÉHO MODULU V OHYBU V PRŮŘEZU 2 W_{O2}

Kvadratický moment průřezu 2 (obr. 15) jsem zjistil pomocí grafického editoru.



Obr. 15 Řez 2 výložníku

$$W_{O2} = \frac{I_1}{e_1} \quad (3.19)$$

$$W_{O2} = \frac{23945300}{110,6}$$

$$W_{O2} = 216,5 \text{ cm}^3$$

SKUTEČNÉ OHYBOVÉ NAPĚTÍ V PRŮŘEZU 2

$$\sigma_{O2} = \frac{M_{O2}}{W_{O2}} = \frac{F_{AX} \cdot \left(l_2 - \frac{h_1}{2}\right)}{W_{O2}} \quad (3.20)$$

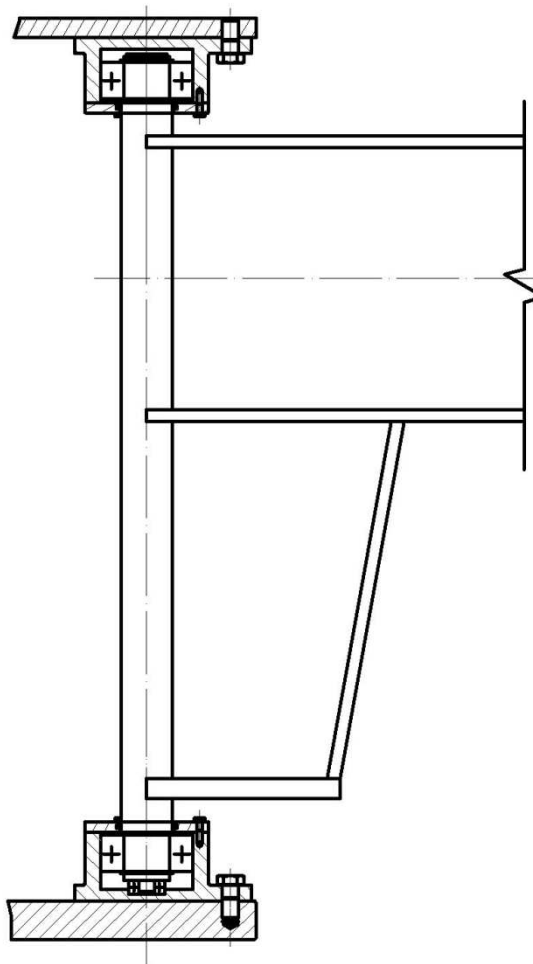
$$\sigma_{O2} = \frac{77938,4 \cdot \left(445 - \frac{220}{2}\right)}{216,5 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{O2} = 120,6 \text{ MPa}$$

Ohybové napětí v průřezu 2 σ_{O2} je menší než σ_{OD} dovolené napětí výložníku v ohybu, vyhovuje.

3.4.3 ULOŽENÍ VÝLOŽNÍKU

Výložník je uložen ve třech ložiscích, dvou radiálních a jednom axiálním.



Obr. 16 Uložení výložníku

3.5 SLOUP JEŘÁBU

Sloup je namáhám ohybem a tlakem, namáhání tlakem je zanedbatelné, proto ho při výpočtu nebudu uvažovat.

Volím materiál sloupu 11353.1 dle ČSN 42 0002, 1.0308 dle ČSN EN 10 027-2 [11].

DOVOLENÉ OHYBOVÉ NAPĚTÍ SLOUPU

$$k_k = \frac{R_{es}}{\sigma_{ODS1}} \quad (3.21)$$

$$\sigma_{ODSl} = \frac{R_{esl}}{k_k}$$

$$\sigma_{ODSl} = \frac{235}{2}$$

$$\sigma_{ODSl} = 117,5 \text{ MPa}$$

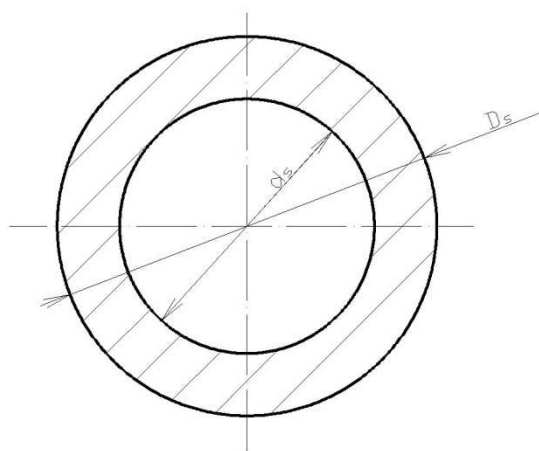
PRŮŘEZOVÝ MODUL V OHYBU

$$\sigma_{ODSl} = \frac{M_{OC}}{W_{OSN}} \rightarrow W_{OSN} = \frac{M_{OC}}{\sigma_{ODSl}} \quad (3.22)$$

$$W_{OSN} = \frac{56273,6}{117,5}$$

$$W_{OSN} = 478,9 \text{ cm}^3$$

Volím kruhovou hladkou bezešvou trubku [11], $D_S = 194 \text{ mm}$, $d_S = 144 \text{ mm}$.



Obr. 17 Řez sloupu

$$W_{OS} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_S^4 - d_S^4}{D_S} \quad (3.23)$$

$$W_{OS} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{194^4 - 144^4}{194}$$

$$W_{OS} = 499,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

SKUTEČNÉ OHYBOVÉHO NAPĚTÍ VE SLOUPU

$$\sigma_{OS} = \frac{M_{OC}}{W_{OS}} \quad (3.24)$$

$$\sigma_{OS} = \frac{56273,6}{499,2 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{OS} = 112,7 \text{ MPa}$$

Ohybové napětí ve sloupu σ_{OS} je menší než σ_{ODS} dovolené ohybové napětí sloupu, vyhovuje.

3.6 HORNÍ PATKA

Horní patka je namáhána na tah.

Volím materiál horní i dolní patky 11523.0 dle ČSN 42 0002, 1.0570 dle ČSN EN 10 027-2[1].

VÝPOČET DOVOLENÉHO NAPĚTÍ V PATCE

$$k_k = \frac{R_{eP}}{\sigma_{ODP}} \quad (3.25)$$

$$\sigma_{ODP} = \frac{R_{eP}}{k_k}$$

$$\sigma_{ODP} = \frac{355}{2}$$

$$\sigma_{ODP} = 177,5 \text{ MPa}$$

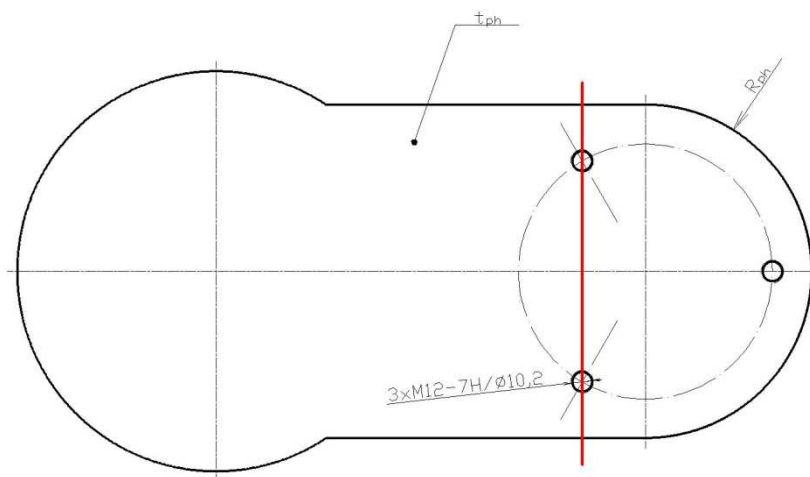
VÝPOČET DOVOLENÉHO MEZE V PEVNOSTI V PATCE

$$R_{mP} = \frac{R_m}{k_k} \quad (3.26)$$

$$R_{mP} = \frac{490}{2}$$

$$R_{mP} = 245 \text{ MPa}$$

Volím horní patku dle obrázku.



$$R_{ph} = 85 \text{ mm}$$

$$t_{ph} = 15 \text{ mm}$$

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

Obr. 18 Horní patka - kritické místo

Šířku t_{ph} volím 15 mm, aby bylo možné uchycení ložiskového tělesa.

V kritickém místě jsou 2 závity, které působí jako koncentrátoři napětí.

SOUČINITEL TVARU

$$\frac{d}{w} = \frac{2 \cdot d}{2 \cdot R_{ph}} \quad (3.27)$$

$$\frac{d}{w} = \frac{2 \cdot 12}{2 \cdot 85}$$

$$\frac{d}{w} = 0,14$$

Dle [1], str. 1113, obr. A- 15-1 součinitel tvaru $\alpha = 2,65$.

SOUČINITEL VRUBU

Součinitel vrubu je vypočítán dle [1].

$$\beta = \frac{\alpha}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha - 1)}{\alpha} \cdot \frac{\sqrt{\frac{174}{R_{mP}}}}{\sqrt{\frac{2 \cdot d_3}{2}}}} \quad (3.28)$$

$$\beta = \frac{2,65}{1 + \frac{2 \cdot (2,65 - 1)}{2,65} \cdot \frac{\sqrt{\frac{174}{245}}}{\sqrt{\frac{2 \cdot 12}{2}}}}$$

$$\beta = 2$$

NÁVRHOVÝ PRŮŘEZ

$$\sigma_{ODP} = \frac{F_{BX}}{S_{PHN}} \cdot \beta \quad (3.29)$$

$$S_{PHN} = \frac{F_{BX}}{\sigma_{ODP}} \cdot \beta$$

$$S_{PHN} = \frac{77938,4}{142,5} \cdot 2$$

$$S_{PHN} = 1093,9 \text{ mm}^2$$

SKUTEČNÁ PLOCHA KRITICKÉHO PRŮŘEZU

$$S_{PH} = (2 \cdot R_{PH} - 2 \cdot d) \cdot t_{PH} \quad (3.30)$$

$$S_{PH} = (2 \cdot 85 - 2 \cdot 12) \cdot 15$$

$$S_{PH} = 2190 \text{ mm}^2$$

SKUTEČNÉ NAPĚTÍ V KRITICKÉM PRŮŘEZU

$$\sigma_{OPH} = \frac{F_{BX}}{S_{PH}} \cdot \beta \quad (3.31)$$

$$\sigma_{OPH} = \frac{77938,4}{2190} \cdot 2$$

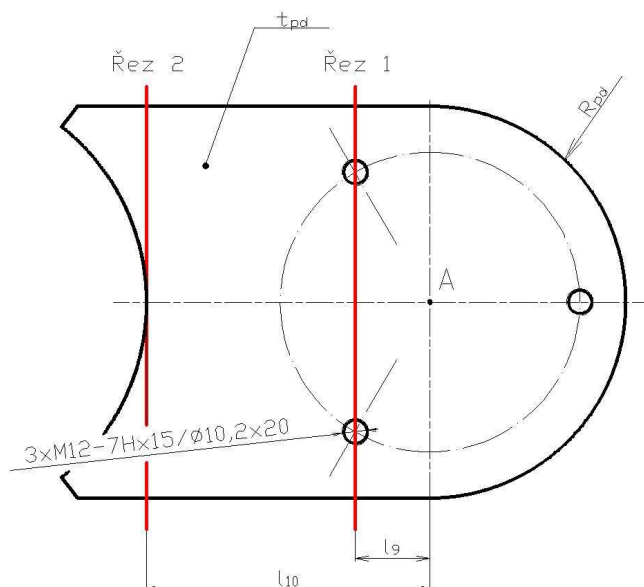
$$\sigma_{OPH} = 71,2 \text{ MPa}$$

Celkové napětí v dolní patce σ_{OPH} je menší než dovolené napětí v patce σ_{ODP} , tedy vyhovuje.

3.7 DOLNÍ PATKA

Dolní patka je namáhána kombinovaným namáháním, tlakem od síly F_{AX} a ohybem od síly F_{AY} . Materiál je stejný jako u horní patky.

Tvar volím obdobný jako u horní patky, tloušťku volím 30 mm.



$$R_{pd} = 85 \text{ mm}$$

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

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

$$l_9 = 32,5 \text{ mm}$$

$$l_{10} = 123 \text{ mm}$$

$$l_{11} = 15 \text{ mm}$$

Obr. 19 Dolní patka - kritická místa

3.7.1 VÝPOČET NAPĚTÍ V PRŮŘEZU 1

V kritickém řezu 1 jsou 2 závity, které při výpočtu budu uvažovat jako koncentrátoři.

Protože má horní a dolní patka stejný tvar i materiál, součinitelé tvaru a vrubu jsou stejné.

SOUČINITEL TVARU V OHYBU

Poměr d/w

$$\frac{d}{w} = \frac{2 \cdot d}{2 \cdot R_{pd}} \quad (3.32)$$

$$\frac{d}{w} = \frac{2 \cdot 12}{2 \cdot 85}$$

$$\frac{d}{w} = 0,14$$

Poměr d/h

$$\frac{d}{h} = \frac{2 \cdot d}{t_{pd}} \quad (3.33)$$

$$\frac{d}{h} = \frac{2 \cdot 12}{30}$$

$$\frac{d}{h} = 0,8$$

Dle [1], str. 1113, obr. A- 15-2 součinitel tvaru v ohybu $\alpha_o = 2,1$.

SOUČINITEL VRUBU V OHYBU

Součinitel vrubu je vypočítán dle [1], str. 354, vztah 7-35.

$$\beta_o = \frac{\alpha_o}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_o - 1)}{\alpha_o} \cdot \sqrt{\frac{174}{R_{mP}} \cdot \frac{2 \cdot d}{2}}} \quad (3.34)$$

$$\beta_o = \frac{2,1}{1 + \frac{2 \cdot (2,1 - 1)}{2,1} \cdot \sqrt{\frac{174}{245} \cdot \frac{2 \cdot 12}{2}}}$$

$$\beta_o = 1,67$$

PLOCHA KRITICKÉHO PRŮŘEZU 1

$$S_{PD1} = 2 \cdot R_{pd} \cdot t_{pd} - 2 \cdot d \cdot l_{11} \quad (3.35)$$

$$S_{PD1} = 2 \cdot 85 \cdot 30 - 2 \cdot 12 \cdot 15$$

$$S_{PD1} = 4740 \text{ mm}^2$$

TLAKOVÉ NAPĚTÍ V KRITICKÉM PRŮŘEZU 1

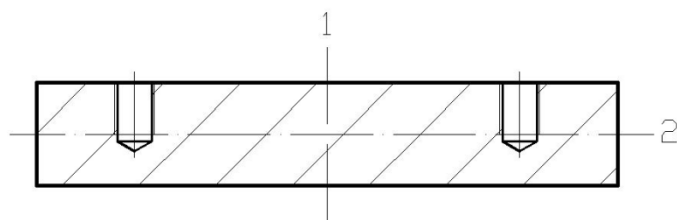
$$\sigma_{tPD1} = \frac{F_{AX}}{S_{PD1}} \cdot \beta \quad (3.36)$$

$$\sigma_{tPD1} = \frac{77938,4}{4740} \cdot 2$$

$$\sigma_{tPD1} = 32,9 \text{ MPa}$$

NAPĚTÍ V OHYBU V KRITICKÉM PRŮŘEZU 1

Kvadratický moment průřezu 1 (obr. 19) jsem zjistil pomocí grafického editoru.



I_x [mm ⁴]	10947580
I_y [mm ⁴]	354680
S_x [mm]	14.47
S_y [mm]	15.531
A [mm ²]	4680,112

Obr. 20 Řez 1 dolní patkou

$$\sigma_{OPD1} = \frac{M_{OPD1}}{W_{O21}} \cdot \beta_o = \frac{F_{AY} \cdot l_9}{\frac{I_2}{\frac{t_{pd}}{2}}} \cdot \beta_o \quad (3.37)$$

$$\sigma_{OPD1} = \frac{12408,8 \cdot 32,5}{\frac{354680}{\frac{30}{2}}} \cdot 1,65$$

$$\sigma_{OPD1} = 28,1 \text{ MPa}$$

CELKOVÉ NAPĚTÍ V KRITICKÉM PRŮŘEZU 1

$$\sigma_{DP1} = \sigma_{tPD1} + \sigma_{OPD1} \quad (3.38)$$

$$\sigma_{DP} = 32,9 + 28,2$$

$$\sigma_{DP} = 61,2 \text{ MPa}$$

Celkové napětí v dolní patce σ_{DP2} je menší než dovolené napětí v patce σ_{ODP} , tedy vyhovuje.

3.7.2 VÝPOČET NAPĚTÍ V PRŮŘEZU 2

V kritickém průřezu 2 nejsou žádné koncentrátoři napětí, ale působí zde největší ohybový moment a také posouvající síla.

PLOCHA KRITICKÉHO PRŮŘEZU 2

$$S_{PD2} = 2 \cdot R_{pd} \cdot t_{pd} \quad (3.39)$$

$$S_{PD2} = 2 \cdot 85 \cdot 30$$

$$S_{PD2} = 5100 \text{ mm}^2$$

TLAKOVÉ NAPĚTÍ V KRITICKÉM PRŮŘEZU 2

$$\sigma_{tPD2} = \frac{F_{AX}}{S_{PD2}} \quad (3.40)$$

$$\sigma_{tPD2} = \frac{77938,4}{5100}$$

$$\sigma_{tPD2} = 15,3 \text{ MPa}$$

NAPĚTÍ V OHYBU V KRITICKÉM PRŮŘEZU 2

$$\sigma_{OPD2} = \frac{M_{OPD2}}{W_{O22}} = \frac{F_{AY} \cdot 123}{\frac{1}{6} \cdot 2 \cdot R_{pd} \cdot t_{pd}^2} \quad (3.41)$$

$$\sigma_{OPD2} = \frac{12408,8 \cdot 123}{\frac{1}{6} \cdot 2 \cdot 85 \cdot 30^2}$$

$$\sigma_{OPD2} = 59,9 \text{ MPa}$$

CELKOVÉ NAPĚTÍ V KRITICKÉM PRŮŘEZU 2

$$\sigma_{DP2} = \sigma_{tPD2} + \sigma_{OPD2} \quad (3.42)$$

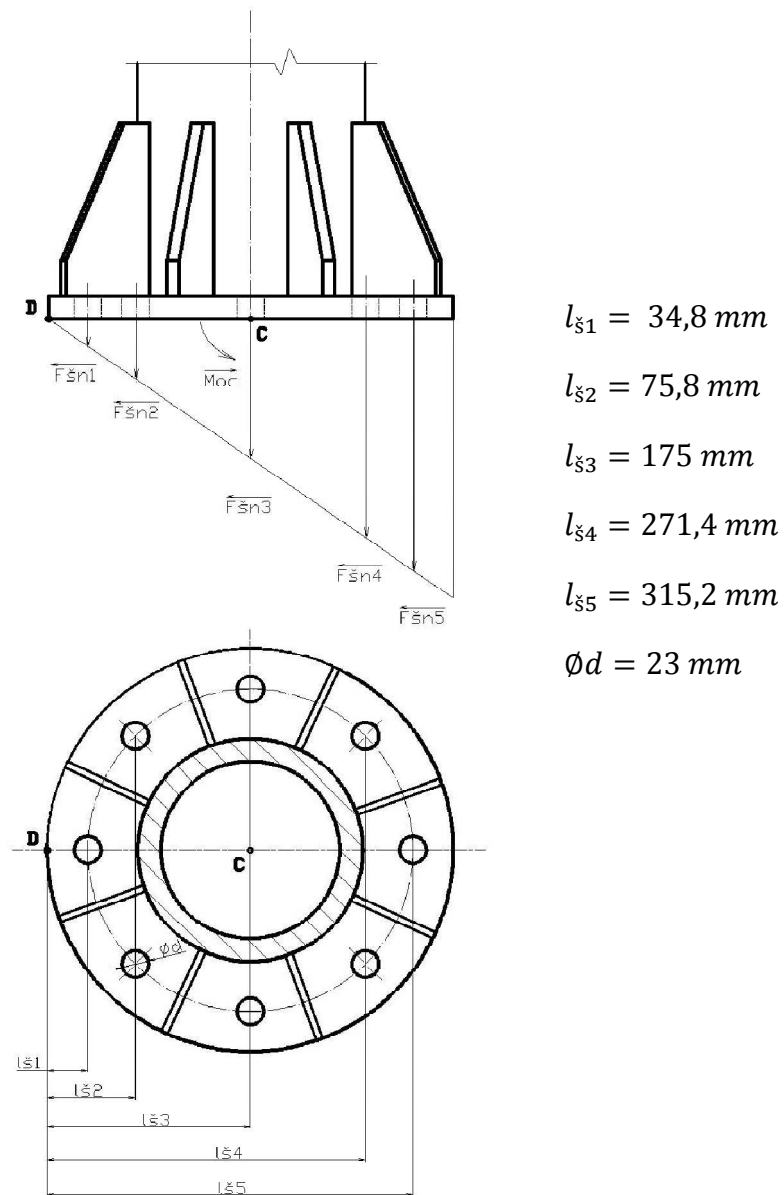
$$\sigma_{DP2} = 15,3 + 59,9$$

$$\sigma_{DP2} = 75,2 \text{ MPa}$$

Největší napětí v dolní patce je tedy v kritickém průřezu 2. Celkové napětí v kritickém průřezu 2 σ_{DP2} je menší než dovolené napětí v patce σ_{ODP} , tedy vyhovuje.

3.8 UPEVNĚNÍ SLOUPOVÉHO JEŘÁBU

Upevnění sloupového jeřábu je provedeno pomocí základu s kotevními šrouby s pevností 8.8.



Obr. 21 Upevnění sloupu jeřábu a silové zatížení šroubů

DOVOLENÉ NAPĚTÍ VE ŠROUBU

$$k_K = \frac{R_{eš}}{\sigma_{ODš}} \quad (3.43)$$

$$\sigma_{ODš} = \frac{R_{eš}}{k_K}$$

$$\sigma_{ODš} = \frac{640}{2}$$

$$\sigma_{ODš} = 320 \text{ MPa}$$

URČENÍ SMĚRNICE ZATÍŽENÍ

$$k = \frac{F_{\text{šn1}}}{l_{\text{š1}}} = \frac{F_{\text{šn2}}}{l_{\text{š2}}} = \frac{F_{\text{šn3}}}{l_{\text{š3}}} = \frac{F_{\text{šn4}}}{l_{\text{š4}}} = \frac{F_{\text{šn5}}}{l_{\text{š5}}} \quad (3.44)$$

URČENÍ SIL VE ŠROUBECH

$$\begin{aligned} F_{\text{šn1}} &= k \cdot l_{\text{š1}} \\ F_{\text{šn2}} &= k \cdot l_{\text{š2}} \\ F_{\text{šn3}} &= k \cdot l_{\text{š3}} \\ F_{\text{šn4}} &= k \cdot l_{\text{š4}} \\ F_{\text{šn5}} &= k \cdot l_{\text{š5}} \end{aligned} \quad (3.45)$$

VÝPOČET SMĚRNICE ZATÍŽENÍ

$$\Sigma M_{OD} = 0$$

$$-M_{OC} + F_{\text{šn1}} \cdot l_{\text{š1}} + F_{\text{šn2}} \cdot l_{\text{š2}} + F_{\text{šn3}} \cdot l_{\text{š3}} + F_{\text{šn4}} \cdot l_{\text{š4}} + F_{\text{šn}} \cdot l_{\text{š5}} = 0 \quad (3.46)$$

$$M_{OC} = F_{\text{šn1}} \cdot l_{\text{š1}} + F_{\text{šn2}} \cdot l_{\text{š2}} + F_{\text{šn3}} \cdot l_{\text{š3}} + F_{\text{šn4}} \cdot l_{\text{š4}} + F_{\text{šn}} \cdot l_{\text{š5}}$$

dosazením vztahu 3.45 dostaneme:

$$M_{OC} = k \cdot l_{\text{š1}}^2 + k \cdot l_{\text{š2}}^2 + k \cdot l_{\text{š3}}^2 + k \cdot l_{\text{š4}}^2 + k \cdot l_{\text{š5}}^2 \quad (3.47)$$

$$k = \frac{M_{OC}}{l_{\text{š1}}^2 + l_{\text{š2}}^2 + l_{\text{š3}}^2 + l_{\text{š4}}^2 + l_{\text{š5}}^2}$$

$$k = \frac{56273,6}{34,8^2 + 75,8^2 + 175^2 + 271,4^2 + 315,2^2}$$

$$k = 267217,9 \frac{N}{m}$$

VÝPOČET NEJVĚTŠÍ SÍLY PŮSOBÍCÍ VE ŠROUBECH

$$F_{\text{šn5}} = k \cdot l_{\text{š5}}^2 \quad (3.48)$$

$$F_{\text{šn5}} = 267217,9 \cdot 315,2^2$$

$$F_{\text{šn5}} = 84227,1 \text{ N}$$

NÁVRHOVÝ PRŮŘEZU ŠROUBU

$$\sigma_{OD\text{š}} = \frac{F_{\text{šn5}}}{A_{\text{šn}}} \quad (3.49)$$

$$A_{\text{šn}} = \frac{F_{\text{šn5}}}{\sigma_{OD\text{š}}}$$

$$A_{\text{šn}} = \frac{84227,1}{320}$$

$$A_{\text{šn}} = 263,2 \text{ mm}^2$$

Volím dle [1], str. 420, Tab. 8-1 jmenovitý průměr závitu M 22x1, $A_{\text{š}} = 338,9 \text{ mm}^2$.

SKUTEČNÁ NAPĚTÍ VE ŠROUBU

$$\sigma_{O\text{š}} = \frac{F_{\text{šn5}}}{A_{\text{š}}} \quad (3.50)$$

$$\sigma_{O\text{š}} = \frac{84227,1}{338,9}$$

$$\sigma_{O\text{š}} = 248,5 \text{ MPa}$$

Skutečné napětí ve šroubu $\sigma_{O\text{š}}$ je menší než dovolené napětí ve šroubu $\sigma_{OD\text{š}}$, tedy vyhovuje.

4 KONTROLNÍ VÝPOČET

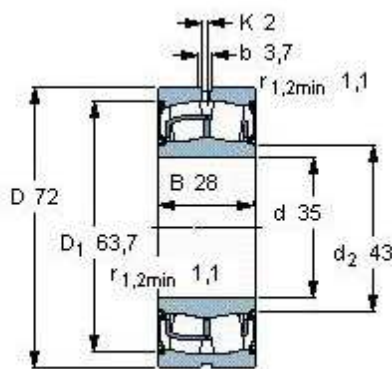
4.1 KONTROLA LOŽISEK

Kontrola ložisek spočívá pouze v kontrole na statickou únosnost, protože otáčky výložníku jsou zanedbatelné.

4.1.1 VOLBA LOŽISKA V BODĚ A

Radiální soudečkové ložisko volím od výrobce SKF: BS2-2207-2CS/VT143 [10].

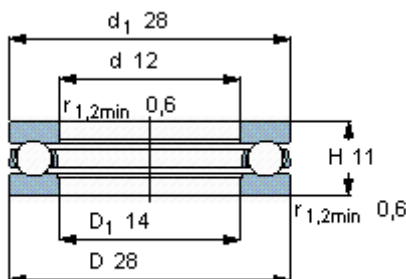
Statická únosnost $C = 85 \text{ kN}$, radiální síla působící na ložisko $F_{AX} = 77938,4 \text{ N}$. Ložisko tedy vydrží dané zatížení.



Obr. 22 Ložisko BS2-2207-2CS/VT143 [9]

Axiální kuličkové ložisko volím od výrobce SKF: 51201 [9].

Statická únosnost $C = 20,8 \text{ kN}$, axiální síla působící na ložisko $F_{AY} = 12408,8 \text{ N}$. Ložisko tedy vydrží dané zatížení.



Obr. 23 Ložisko 51201 [9]

4.1.2 VOLBA LOŽISKA V BODĚ B

V bodě B volím stejné radiální soudečkové ložisko jako v bodě A, tedy ložisko SKF: BS2-2207-2CS/VT143 [10].

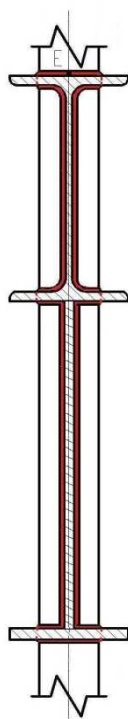
4.2 KONTROLA SVARŮ

4.2.1 KONTROLA SVARU VÝLOŽNÍKU

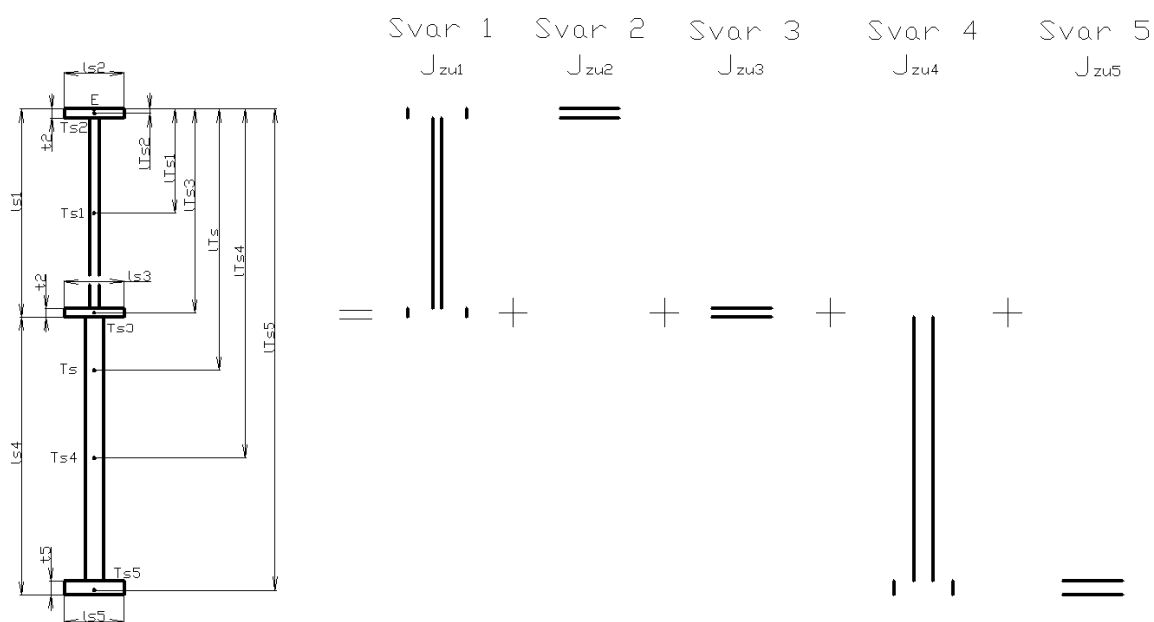
Svar je namáhán posouvající silou a ohybovým momentem.

Šířka koutového svaru 1, 2 a 3 je $z_v = 4 \text{ mm}$.

Šířka koutového svaru 4 a 5 je $z_k = 6 \text{ mm}$.



Obr. 24 Umístění svarů na výložníku



Obr. 25 Zjednodušení svarů pro výpočet

ROZMĚRY SVARU VÝLOŽNÍKU

Délka a rozměry svaru Vzdálenost těžiště svaru od bodu E

$$l_{s1} = 220 \text{ mm} \quad l_{TS1} = 110 \text{ mm}$$

$$l_{s2} = 55 \text{ mm} \quad l_{TS2} = 4,6 \text{ mm}$$

$$l_{s3} = 55 \text{ mm} \quad l_{TS3} = 215,4 \text{ mm}$$

$$l_{s4} = 290 \text{ mm} \quad l_{TS4} = 365 \text{ mm}$$

$$l_{s5} = 50 \text{ mm} \quad l_{TS5} = 505 \text{ mm}$$

$$t_2 = 9,2 \text{ mm}$$

$$t_5 = 10 \text{ mm}$$

POLOHA TĚŽIŠTĚ SVARU

$$l_{TS} = \frac{1,414 \cdot (z_v \cdot l_{s1} \cdot l_{TS1} + z_v \cdot l_{s2} \cdot l_{TS2} + z_v \cdot l_{s3} \cdot l_{TS3} + z_k \cdot l_{s4} \cdot l_{TS4} + z_k \cdot l_{s5} \cdot l_{TS5})}{1,414 \cdot (z_v \cdot l_{s1} + z_v \cdot l_{s2} + z_v \cdot l_{s3} + z_k \cdot l_{s4} + z_k \cdot l_{s5})} \quad (4.1)$$

$$l_{TS} = \frac{1,414 \cdot (4 \cdot 220 \cdot 110 + 4 \cdot 55 \cdot 4,6 + 4 \cdot 55 \cdot 215,4 + 6 \cdot 290 \cdot 365 + 6 \cdot 50 \cdot 505)}{1,414 \cdot (4 \cdot 220 + 4 \cdot 55 + 4 \cdot 55 + 6 \cdot 290 + 6 \cdot 50)}$$

$$l_{TS} = 277,3 \text{ mm}$$

VÝPOČET SMYKOVÉHO NAPĚTÍ OD POSOUVAJÍCÍ SÍLY

$$\tau' = \frac{F_b + F_g}{S_s} = \frac{F_b + F_g}{1,414 \cdot (z_v \cdot l_{s1} + z_v \cdot l_{s2} + z_v \cdot l_{s3} + z_k \cdot l_{s4} + z_k \cdot l_{s5})} \quad (4.2)$$

$$\tau' = \frac{10992,7 + 1439,8}{1,414 \cdot (4 \cdot 220 + 4 \cdot 55 + 4 \cdot 55 + 6 \cdot 290 + 6 \cdot 50)}$$

$$\tau' = 3,7 \text{ MPa}$$

VÝPOČET SMYKOVÉHO NAPĚTÍ OD OHYBOVÉHO MOMENTU

Výpočet jednotkového osového kvadratického momentu účinného průřezu svaru 1 J_{ZU1}

$$J_{ZU1} = \frac{l_{s1}^3}{6} + 1,41 \cdot z_v \cdot l_{s1} \cdot (l_{Ts} - l_{Ts1})^2 \quad (4.3)$$

$$J_{ZU1} = \frac{220^3}{6} + 1,41 \cdot 4 \cdot 220 \cdot (277,3 - 110)^2$$

$$J_{ZU1} = 36503777,7 \text{ mm}^3$$

Výpočet jednotkového osového kvadratického momentu účinného průřezu svaru 2 J_{ZU2}

$$J_{ZU2} = \frac{l_{s2} \cdot t_2^2}{2} + 1,41 \cdot z_v \cdot (l_{Ts} - l_{Ts2})^2 \quad (4.4)$$

$$J_{ZU2} = \frac{55 \cdot 9,2^2}{2} + 1,41 \cdot 4 \cdot (277,3 - 4,6)^2$$

$$J_{ZU2} = 23070440,6 \text{ mm}^3$$

Výpočet jednotkového osového kvadratického momentu účinného průřezu svaru 3 J_{ZU3}

$$J_{ZU3} = \frac{l_{s3} \cdot t_2^2}{2} + 1,41 \cdot z_v \cdot (l_{Ts} - l_{Ts3})^2 \quad (4.5)$$

$$J_{ZU3} = \frac{55 \cdot 9,2^2}{2} + 1,41 \cdot 4 \cdot (277,3 - 215,4)^2$$

$$J_{ZU3} = 1190893 \text{ mm}^3$$

Výpočet jednotkového osového kvadratického momentu účinného průřezu svaru 4 J_{ZU4}

$$J_{ZU4} = \frac{l_{s4}^3}{6} + 1,41 \cdot z_k \cdot l_{s4} \cdot (l_{Ts} - l_{Ts4})^2 \quad (4.6)$$

$$J_{ZU4} = \frac{290^3}{6} + 1,41 \cdot 6 \cdot 290 \cdot (277,3 - 365)^2$$

$$J_{ZU4} = 22934644,2 \text{ mm}^3$$

Výpočet jednotkového osového kvadratického momentu účinného průřezu svaru 5 J_{ZU5}

$$J_{ZU5} = \frac{l_{s5} \cdot t_5^2}{2} + 1,41 \cdot z_k \cdot (l_{Ts} - l_{Ts5})^2 \quad (4.7)$$

$$J_{ZU5} = \frac{50 \cdot 10^2}{2} + 1,41 \cdot 6 \cdot (277,3 - 505)^2$$

$$J_{ZU5} = 21933903,7 \text{ mm}^3$$

VZDÁLENOST KRAJNÍHO VLÁKNA OD TĚŽIŠTĚ

$$c = l_{Ts} = 277,3 \text{ mm}$$

VÝPOČET SMYKOVÉHO NAPĚTÍ OD OHYBOVÉHO MOMENTU

$$\tau'' = \frac{M_{OSV} \cdot c}{0,707 \cdot [z_v \cdot (J_{ZU1} + J_{ZU2} + J_{ZU3}) + z_k \cdot (J_{ZU4} + J_{ZU5})]} \quad (4.8)$$

$$\tau'' = \frac{(F_b \cdot l_1 + F_g \cdot l_4) \cdot c}{0,707 \cdot [z_v \cdot (J_{ZU1} + J_{ZU2} + J_{ZU3}) + z_k \cdot (J_{ZU4} + J_{ZU5})]}$$

$$\tau'' = \frac{(10992,7 \cdot 4000 + 1416,1 \cdot 1971,8) \cdot 277,3}{0,707 \cdot [4 \cdot (36503777,7 + 23070440,6 + 1190893) + 6 \cdot (22934644,2 + 21933903,7)]}$$

$$\tau'' = 36 \text{ MPa}$$

VÝSLEDNÉ SMYKOVÉ NAPĚTÍ VE SVARU VÝLOŽNÍKU

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} \quad (4.9)$$

$$\tau = \sqrt{3,7^2 + 36^2}$$

$$\tau = 36,2 \text{ MPa}$$

Meze kluzu ve smyku

$$R_{se} = 0,577 \cdot R_e \quad (4.10)$$

$$R_{se} = 0,577 \cdot 355$$

$$R_{se} = 204,8 \text{ MPa}$$

SOUČINITEL BEZPEČNOSTI SVARU VÝLOŽNÍKU

$$k_{sv1} = \frac{R_{se}}{\tau} \quad (4.11)$$

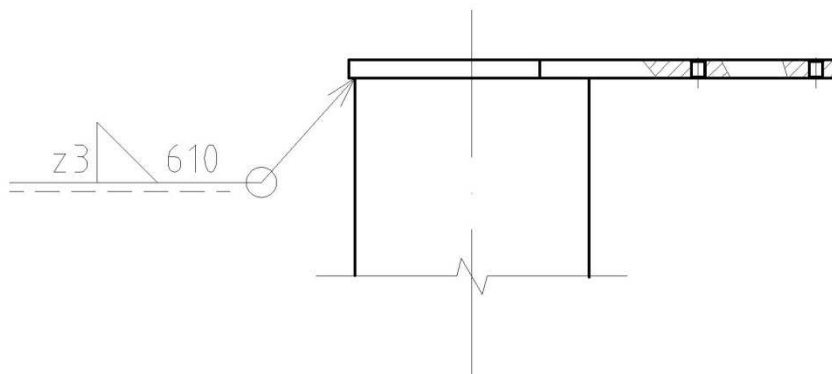
$$k_{sv1} = \frac{204,8}{36,2}$$

$$k_{sv1} = 5,6 > k_k = 2$$

Podmínka bezpečnosti vyhovuje.

4.2.2 KONTROLA SVARU HORNÍ PATKY

Svar horní patky je namáhána pouze na smyk od síly F_{BX} . Patka je vyrobena ze stejného materiálu jako výložník, proto mohou použít stejnou mez kluzu ve smyku R_{se} .



Obr. 26 Svar horní patky

VÝSLEDNÉ SMYKOVÉ NAPĚTÍ VE SVARU HORNÍ PATKY

$$\tau'_2 = \frac{F_{BX}}{\frac{\pi}{4} \cdot \left[(D_s + 2 \cdot 0,707 \cdot z_{ph})^2 - D_s^2 \right]} \quad (4.12)$$

$$\tau'_2 = \frac{77938,4}{\frac{\pi}{4} \cdot [(194 + 2 \cdot 0,707 \cdot 3)^2 - 194^2]}$$

$$\tau'_2 = 59,6 \text{ MPa}$$

SOUČINITEL BEZPEČNOSTI SVARU HORNÍ PATKY

$$k_{sv2} = \frac{R_{se}}{\tau'_2} \quad (4.13)$$

$$k_{sv2} = \frac{204,8}{59,6}$$

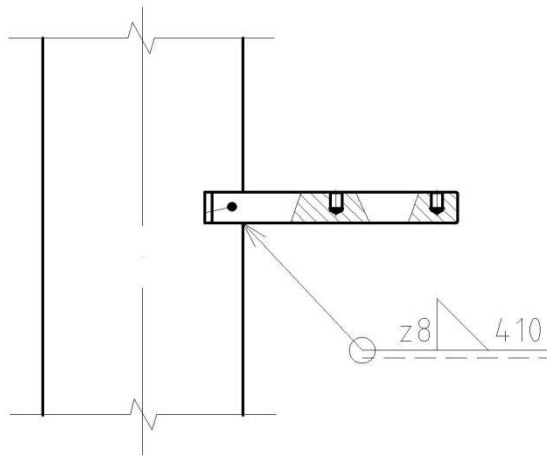
$$k_{sv2} = 3,4$$

$$k_{sv2} = 3,4 > k_k = 2$$

Podmínka bezpečnosti vyhovuje.

4.2.3 KONTROLA SVARU DOLNÍ PATKY

Svar dolní patky je namáhán ohybem od síly F_{AY} . Patka je vyrobena ze stejného materiálu jako výložník, proto mohu použít stejnou mez kluzu ve smyku R_{se} .



Obr. 27 Svar dolní patky

SMYKOVÉ NAPĚTÍ VYVOLANÉ POSOUVAJÍCÍ SÍLOU F_{AY}

$$\tau'_3 = \frac{F_{AY}}{1,414 \cdot z_{pd} \cdot (l_{sv3} + t_{pd})} \quad (4.14)$$

$$\tau'_3 = \frac{12408,8}{1,414 \cdot 8 \cdot (174,4 + 30)}$$

$$\tau'_3 = 5,4 \text{ MPa}$$

SMYKOVÉ NAPĚTÍ VYVOLANÉ OHYBOVÝM MOMENTEM

$$\tau''_3 = \frac{M_{osv3} \cdot c_3}{0,707 \cdot z_{pd} \cdot J_{zu3}} = \frac{F_{AY} \cdot \left(l_6 - \frac{D_s}{2}\right) \cdot \frac{t_{pd}}{2}}{0,707 \cdot z_{pd} \cdot \frac{t_{pd}^2}{6} \cdot (3 \cdot l_{sv3} + t_{pd})} \quad (4.15)$$

$$\tau''_3 = \frac{12408,8 \cdot \left(220 - \frac{194}{2}\right) \cdot \frac{30}{2}}{0,707 \cdot 8 \cdot \frac{30^2}{6} \cdot (3 \cdot 174,4 + 30)}$$

$$\tau''_3 = 48,9 \text{ MPa}$$

VÝSLEDNÉ SMYKOVÉ NAPĚTÍ VE SVARU DOLNÍ PATKY

$$\tau_3 = \sqrt{\tau'^2_3 + \tau''^2_3} \quad (4.16)$$

$$\tau_3 = \sqrt{5,4^2 + 48,9^2}$$

$$\tau_3 = 49,2 \text{ MPa}$$

SOUČINITEL BEZPEČNOSTI SVARU DOLNÍ PATKY

$$k_{sv3} = \frac{R_{se}}{\tau_3} \quad (4.17)$$

$$k_{sv3} = \frac{204,8}{49,2}$$

$$k_{sv3} = 4,2 > k_k = 2$$

Podmínka bezpečnosti vyhovuje.

ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo vytvořit koncepční návrh sloupového jeřábu 600 kg, navrhnout jeho základních rozměrů a kompletní výkresová dokumentace.

Tato práce obsahuje výběr zdvihacího a pojezdového ústrojí. Pojezd jeřábové kočky a otáčení výložníku je realizováno tlačáním břemene zavěšeného na jeřábové kočce. Pojezd zdvihového ústrojí je možný také pomocí elektromotoru. Výpočet jeřábu je proveden dle ČSN 27 0103.

V návrhovém výpočtu jsem dle výsledných vnitřních účinků určil nebezpečná místa výložníku, patek, sloupu jeřábu a upevnění jeřábu k podlaze. Výložník bude tvořen profilem IPE 220, sloup jeřábu kruhovou hladkou bezešvou trubicí o vnějším průměru 194 mm a upevněn k zemi 8 šrouby M 22x1.

V kontrolním výpočtu jsem zkontroloval použítá ložiska a svary.

V příloze této práce je vypracována kompletní výkresová dokumentace a 3D model jeřábu.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SHINGLEY, J. E., MISCHKE, CH. R., BUDYNAS, R. G.: Konstruování strojních součástí. Brno. Nakladatelství VUTIUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [2] SVOBODA, P., BRANDEJS, J., DVOŘÁČEK, J., PROKEŠ, F.: Základy konstruování, Druhé vydání. Brno. Akademické nakladatelství CERM, 2008. 234 s. ISBN 978-80-7204-584-6.
- [3] FLORIAN, Z., ONDRÁČEK, E., PŘIKRYL, K.: Mechanika těles statika. Druhé vydání. Brno. Akademické nakladatelství CERM, 2007. 182 s. ISBN 978-80-214-3440-0.
- [4] JANÍČEK, P., FLORIAN, Z.: Mechanika těles: úlohy z pružnosti a pevnosti I. První vydání. Brno, Akademické nakladatelství CERM, 2004. 170 s. ISBN 80-214-2655-1.
- [5] LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: Strojnické tabulky. 2. vyd. Úvaly, ALBRA, 2005. 907 s. ISBN 80-7361-011-6.
- [6] ČSN 27 0103. Navrhování ocelových konstrukcí jeřábů: výpočet podle mezních stavů, Praha. Vydavatelství norem, 1990. 68 s.
- [7] Katalog ITECO: Otočné jeřáby [online], [21. 01. 2011], Dostupné z: <http://www.iteco.cz/create_file.php?id=1>.
- [8] Katalog ITECO: Elektrické řetězové kladkostroje [online], [21. 01. 2011], Dostupné z: <http://www.iteco.cz/create_file.php?id=4>.
- [9] Katalog SKF: Axiální kuličková ložiska [online], [11. 02. 2011], Dostupné z: <<http://www.skf.com/skf/productcatalogue/Forwarder?action=PPP&lang=cs&imperial=false&windowName=null&perfid=161001&prodid=1610011201>>.
- [10] Katalog SKF: Soudečková ložiska [online], [11. 02. 2011], Dostupné z: <<http://www.skf.com/skf/productcatalogue/Forwarder?action=PPP&lang=cs&imperial=false&windowName=null&perfid=155018&prodid=1550182207>>.
- [11] Katalog Feron: Trubka bezešvá hladká kruhová [online], [11. 02. 2011], Dostupné z: <<http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=32265>>.
- [12] Katalog ITECO: Výrobní program ABUS [online], [11. 02. 2011], Dostupné z: <http://www.iteco.cz/create_file.php?id=5>.
- [13] SVOBODA, P., BRANDEJS, J., PROKEŠ, F.: Výběr z norem pro konstrukční cvičení. Druhé vydání. Brno, Akademické nakladatelství CERM, 2007. 223 s. ISBN 978-80-7204-534-1
- [14] Katalog: Výrobní program ploché a široké oceli [online], [03. 05. 2011], Dostupné z: <[http://www.trz.cz/TRZ/Prilohy.nsf/%28viewPublic%29/KATALOG/\\$FILE/PlochSirokaOcel_2010.pdf](http://www.trz.cz/TRZ/Prilohy.nsf/%28viewPublic%29/KATALOG/$FILE/PlochSirokaOcel_2010.pdf)>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A_s	[mm ²]	skutečný průřez šroubu
A_{sn}	[mm ²]	návrhový průřez šroubu
b_1	[mm]	šířka profilu výložníku
b_2	[mm]	šířka horní části krakorce
C	[kN]	statická únosnost ložiska
c	[mm]	vzdálenost krajního vlákna svaru od těžiště
c_3	[mm]	vzdálenost krajního vlákna svaru dolní patky
d/h	[1]	poměr průměru díry a tloušťky dolní patky
d/w	[1]	poměr průměru díry závitu a šířky patky
d	[mm]	průměr závitu
D_s	[mm]	vnější průměr sloupu
d_s	[mm]	vnitřní průměr sloupu
e_1	[mm]	vzdálenost krajního vlákna 1 od těžiště
e_2	[mm]	vzdálenost krajního vlákna 2 od těžiště
F_{AX}	[N]	síla v bodě A působící v ose x
F_{AY}	[N]	síla v bodě A působící v ose y
F_b	[N]	zatížení způsobené jmenovitým břemenem
F_{BX}	[N]	síla v bodě B působící v ose x
F_{CX}	[N]	síla v bodě C působící v ose x
F_{CY}	[N]	síla v bodě C působící v ose y
F_g	[N]	zatížení způsobené vlastní hmotností
F_{gs}	[N]	zatížení způsobené vlastní hmotností sloupu
F_{gv}	[N]	síla vyvolaná tíhou výložníku v řezu 1
$F_{sn1...5}$	[N]	návrhová síla ve šroubu 1 až 5
g	[m/s ²]	tíhové zrychlení
h_1	[mm]	výška profilu výložníku
i	[1]	počet stupňů volnosti soustavy v rovině
I_1	[mm ⁴]	kvadratický moment průřezu k ose 1
I_2	[mm ⁴]	kvadratický moment průřezu k ose 2
i_v	[1]	počet stupňů volnosti tělesa v rovině
J_{ZU}	[mm ³]	jednotkový osový kvadratický moment účinného průřezu svaru
$J_{ZU1..5}$	[mm ³]	jednotkový osový kvadratický moment účinného průřezu svaru 1 až 5

k	[Nm ⁻¹]	směrnice zatížení
k_k	[1]	součinitel bezpečnosti
k_{sv1}	[1]	součinitel bezpečnosti svaru výložníku
k_{sv2}	[1]	součinitel bezpečnosti svaru horní patky
k_{sv3}	[1]	součinitel bezpečnosti svaru dolní patky
l_1	[mm]	délka vyložení jeřábu
l_2	[mm]	vzdálenost působení síly F_{AX} od osy výložníku
l_3	[mm]	vzdálenost působení síly F_{BX} od osy výložníku
l_4	[mm]	vzdálenost působení síly F_g od osy otáčení výložníku
l_5	[mm]	vzdálenost působení síly F_{AX} od bodu C
l_6	[mm]	vzdálenost osy sloupu k ose otáčení výložníku
l_7	[mm]	přesazení výložníku
l_8	[mm]	vzájemná vzdálenost patek
l_9	[mm]	vzdálenost kritického průřezu 1 od bodu A
l_{10}	[mm]	vzdálenost kritického průřezu 2 od bodu A
l_{11}	[mm]	délka závitu
l_s	[mm]	délka svarů
$l_{s1...5}$	[mm]	délka svaru 1 až 5
$l_{s1...5}$	[mm]	vzdálenost bodu D od šroubů 1 až 5
l_{Ts}	[mm]	vzdálenost bodu E od těžiště svarů
$l_{Ts1...5}$	[mm]	vzdálenost bodu E od těžiště svaru 1 až 5
m	[kg]	nosnost jeřábu
m_g	[kg]	hmotnost výložníku
m_{gv1}	[kg]	hmotnost 1m výložníku
M_{o1}	[Nm]	ohybový moment působící v průřezu 1
M_{o2}	[Nm]	ohybový moment působící v průřezu 2
M_{OC}	[Nm]	moment působící v bodě C
M_{OD}	[Nm]	moment působící v bodě D
M_{OPD}	[Nm]	ohybový moment v kritickém místě v dolní patce
M_{OSV}	[Nm]	ohybový moment zatěžující svar
M_{osv3}	[Nm]	ohybový moment namáhající svar dolní patky
$m_{pú}$	[kg]	hmotnost pojezdového ústrojí
$m_{zú}$	[kg]	hmotnost zdvihového ústrojí

n	[1]	počet členů soustavy
NP	[1]	počet neznámých parametrů
R	[mm]	poloměr zaoblení profilu IPE
R_e	[MPa]	mez kluzu výložníku
R_{es}	[MPa]	mez kluzu sloupu
$R_{eš}$	[MPa]	mez kluzu šroubu
R_{mP}	[MPa]	skutečná mez pevnosti patky
R_{pd}	[mm]	poloměr zaoblení dolní patky
R_{ph}	[mm]	poloměr zaoblení horní patky
R_{se}	[MPa]	mez kluzu výložníku ve smyku
R_{eP}	[MPa]	mez kluzu patek
R_m	[MPa]	mez pevnosti výložníku
$S_{PD1,2}$	[mm ²]	plocha kritického průřezu dolní patky 1 a 2
S_{PH}	[mm ²]	plocha kritického průřezu horní patky
S_{PHN}	[mm ²]	návrhová plocha kritického průřezu
S_S	[mm ²]	účinný průřez svarů
t_1	[mm]	tloušťka těla profilu IPE
t_2	[mm]	tloušťka základny profilu IPE
t_5	[mm]	tloušťka svaru 5
t_{pd}	[mm]	tloušťka dolní patky
t_{ph}	[mm]	tloušťka horní patky
W_{o1}	[cm ³]	průřezový modul v ohybu v průřezu 1
W_{o1N}	[cm ³]	návrhový průřezový modul v ohybu v průřezu 1
W_{o2}	[cm ³]	průřezový modul v ohybu v průřezu 2
W_{o2N}	[cm ³]	návrhový průřezový modul v ohybu v průřezu 2
W_{OPD}	[mm ³]	průřezový modul v ohybu v kritickém místě
W_{OS}	[cm ³]	průřezový modul sloupu v ohybu
W_{OSN}	[cm ³]	návrhový průřezový modul sloupu v ohybu
z	[mm]	šířka svaru
z_k	[mm]	šířka svaru krakorce
z_{pd}	[mm]	šířka svaru dolní patky
z_{ph}	[mm]	šířka svaru horní patky
z_v	[mm]	šířka svaru výložníku

α	[1]	součinitel tvaru
α_o	[1]	součinitel tvaru v ohybu
β	[1]	součinitel vrubu
β_o	[1]	součinitel vrubu v ohybu
γ_g	[1]	součinitel zatížení
γ_{lo}	[1]	součinitel zatížení od jmenovitého břemena
δ_h	[1]	dynamický součinitel zdvihový
δ_t	[1]	dynamický pojezdový součinitel
ζ_A	[1]	počet odebraných složek mechanického pohybu vazbou A
ζ_B	[1]	počet odebraných složek mechanického pohybu vazbou B
ζ_C	[1]	počet odebraných složek mechanického pohybu vazbou C
η	[1]	počet omezených deformačních parametrů
μ	[1]	počet neznámých nezávislých parametrů
μ_F	[1]	počet silových neznámých nezávislých parametrů
μ_M	[1]	počet momentových neznámých nezávislých parametrů
μ_r	[1]	počet polohových neznámých nezávislých parametrů
v	[1]	počet použitelných podmínek statické rovnováhy
v_F	[1]	počet silových podmínek statické rovnováhy
v_M	[1]	počet momentových podmínek statické rovnováhy
ΣM_{OC}	[Nm]	součet momentů působících v bodě C
ΣF_X	[N]	součet sil působících v ose x
ΣF_Y	[N]	součet sil působících v ose y
ΣM_{OA}	[Nm]	součet momentů působících v bodě A
ΣM_{OD}	[Nm]	součet momentů působících v bodě D
$\sigma_{O1,2}$	[MPa]	ohybové napětí v průřezu 1 a 2
σ_{OD}	[MPa]	dovolené napětí výložníku v ohybu
σ_{ODP}	[MPa]	dovolené napětí v patce
σ_{ODS1}	[MPa]	dovolené ohybové napětí ve sloupu
$\sigma_{OD\check{s}}$	[MPa]	dovolené napětí šroubu
$\sigma_{OD1,2}$	[MPa]	ohybové napětí v dolní patce v kritickém místě 1 a 2
σ_{OS}	[MPa]	ohybové napětí ve sloupu
$\sigma_{O\check{s}}$	[MPa]	skutečné napětí ve šroubu
$\sigma_{PD1,2}$	[MPa]	největší napětí v dolní patce v kritickém průřezu 1 a 2

$\sigma_{tPD1,2}$	[MPa]	tlakové napětí v dolní patce v kritickém průřezu 1 a 2
τ	[MPa]	výsledné smykové napětí ve svaru výložníku
τ'	[MPa]	smykové napětí vyvolané posouvající silou
τ''	[MPa]	smykové napětí vyvolané ohybovým momentem
τ'''_3	[MPa]	smykové napětí ve svaru dolní patky vyvolané ohybovým momentem
τ'_2	[MPa]	smykové napětí ve svaru horní patky
τ'_3	[MPa]	smykové napětí ve svaru dolní patky vyvolané posouvající silou
τ_3	[MPa]	výsledné smykové napětí ve svaru dolní patky
$\Omega_{1...11}$	[-]	označení řezu 1 až 11

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1- 3D model sloupového jeřábu

SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

SLOUPOVÝ JEŘÁB 630 kg	3-P21-07-00
VÝLOŽNÍK	3-P21-07-01
RAMENO	3-P21-07-02
SLOUP	3-P21-07-03
PŘIRUBA SLOUPU	3-P21-07-04
ŽEBRO	3-P21-07-05
HORNÍ PATKA	3-P21-07-06
DOLNÍ PATKA	3-P21-07-07
ČEP VÝLOŽNÍKU	3-P21-07-08
LOŽISKOVÝ DOMEK HORNÍ	3-P21-07-09
LOŽISKOVÝ DOMEK DOLNÍ	3-P21-07-10
TĚSNÍCÍ VÍČKO	3-P21-07-11
KRAKOREC 1	3-P21-07-12
KRAKOREC 2	3-P21-07-13
KRAKOREC 3	3-P21-07-14
VÍČKO VÝLOŽNÍKU	3-P21-07-15

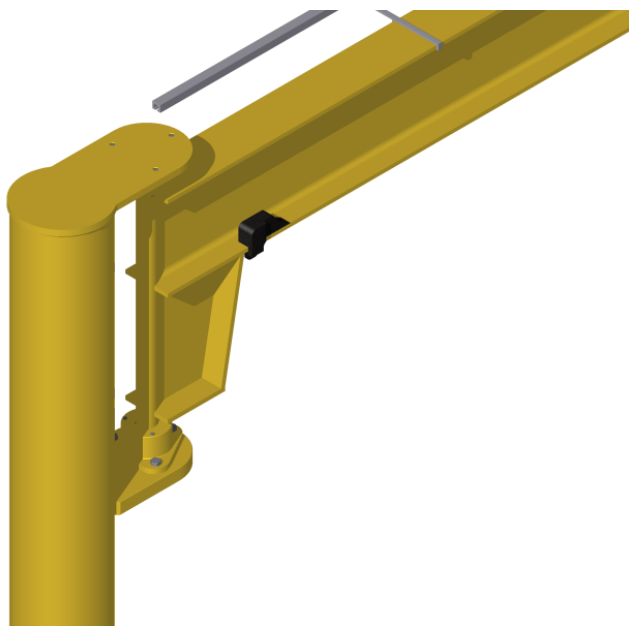
Příloha 1



Obrázek 1: 3D model sloupového jeřábu



Obrázek 2: 3D model sloupového jeřábu



Obrázek 3: 3D model sloupového jeřábu