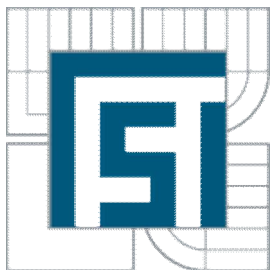




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NÁVRH NAKLÁDACÍHO JEŘÁBU PROJECT OF LOADER CRANE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAROSLAV STOKLASA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Doc. Ing. JIŘÍ MALÁŠEK, Ph.D

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok. 2012/13

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jaroslav Stoklasa

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:

Návrh nakládacího jeřábu

v anglickém jazyce:

Project of loader crane

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proveďte konstrukční návrh včetně pevnostního výpočtu nakládacího jeřábu pro mobilní zařízení.

Nosnost 1500kg

Vodorovné natočení ramena 240°

Svislé natočení ramene 90°

Cíle bakalářské práce:

Vypracovat technickou zprávu včetně důležitých pevnostních výpočtů, nakreslit schéma hydraulického obvodu,
nakreslit sestavný výkres zařízení a důležité detailní výkresy.

Seznam odborné literatury:

1. Gajdůšek, J., Škopán, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení.
2. Remta, F., Kupka, L., Dražan, F.: Jeřáby.
3. Cvekl, Z., Dražan, F.: Teoretické základy transportních zařízení.
4. Jančík, L.: Části a mechanismy strojů, ČVUT Praha, 2004.
5. Klimeš P.: Části a mechanismy strojů I, II, VUT Brno 2003.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 19.11.2012

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.

Děkan



Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na kontrakční návrh nakládajícího jeřábu pro mobilní zařízení. Cílem práce jsou pevnostní výpočty, výkresová dokumentace, nákres hydraulického obvodu, 2D sestava a dílčí výrobní výkresy. Nakládací jeřáb má maximální nosnost 1500 kg a umožňuje vodorovné i svislé natočení ramene.

Klíčová slova

Nakládací jeřáb, hydraulické rameno, přímočarý hydromotor, rotační hydromotor, otevřený hydraulický okruh.

Abstract

This bachelors thesis focuses on a project of a loading crane for mobile devices. Its goals are material strength calculations, drawing documentation, drawing of a hydraulic circuit, 2D assembly and partial production sheets. The loading crane maximum carrying capacity is 1500 kg and enables horizontal and vertical rotation of the crane-arm.

Keywords

Loader crane, hydraulic arm, linear hydraulic motor, rotator, open hydraulic circuit.



Bibliografická citace

STOKLASA, J. *Návrh nakládacího jeřábu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 48 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.



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 24. května 2013

Jaroslav Stoklasa



Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. za ochotu a trpělivost při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za poskytnutí studijního prostředí.



OBSAH

Úvod	10
1 Zadání	11
2 Rozdělení jeřábu	12
2.1 jeřáby s otočným sloupem	12
2.2 jeřáby nástěnné	12
2.3 vozidlové jeřáby	13
2.3.1 jeřáby s vozem na pneumatikách	13
3 Popis nakládacího jeřábu	14
3.1 sloup	14
3.2 rameno	14
3.3 výložník	15
3.4 úchyt	15
3.5 boční plech	15
3.6 hydromotory	16
3.7 kryty	16
4 Rozbor sil	17
4.1 určení pohyblivosti	17
4.2 podmínka statické určitosti	18
4.3 rozbor sil	18
4.3.1 rozbor sil ve střední poloze nakladače	18
4.3.2 rozbor sil v horní poloze nakladače	19
4.3.3 rozbor sil ve spodní poloze nakladače	19
4.4 úplné uvolnění	19
5 Výpočty VVÚ	21
5.1 výpočet VVÚ ramene	21
5.2 výpočet VVÚ sloupu	23
5.3 návrh profilu sloupu	25
5.4 návrh profilu ramene	26
5.5 návrh profilu výložníku	26
5.6 návrh kluzných plastů	26
6 Návrh hydromotoru	27
6.1 návrh hlavního hydromotoru	27
6.2 návrh vedlejšího hydromotoru	28
6.3 návrh rotačního hydromotoru	28
6.4 návrh hydraulického rozvaděče	29



6.5	ostatní hydraulické komponenty	30
7	Návrh čepů	31
7.1	návrh hlavního čepu	31
7.2	návrh spodního čepu hlavního hydraulického válce	32
7.3	návrh čepu pro hák	34
8	Kontrolní výpočty	36
8.1	kontrola hlavního přímočarého hydromotoru	36
8.2	kontrola šroubů	37
8.3	kontrola hlavního hydromotoru	39
9	Popis konstrukce nakládacího jeřábu	40
9.1	volba materiálu	40
9.2	volba konstrukce	40
10	Hydraulický obvod	41
	Závěr	43
	Použité informační zdroje	44
	Použité informační zdroje z internetu	44
	Seznam použitých zkratk a symbolů	46
	Seznam příloh	48



ÚVOD

Jeřáby definujeme jako zdvihací zařízení, kterým se přemísťují břemena svislým a vodorovným pohybem na vymezené vzdálenosti. Jeřáby pro zvedání či přemísťování předmětů, materiálů jsou zpravidla opatřeny hákem, nebo drapákem. [4]

Vzhledem ke konstrukci jeřábů jsou využívány ve velkém množství odvětví a v současné době jsou používány ve všech oblastech, které jsou spojené s manipulací materiálem. Hydraulické jeřáby nalezneme jak v lehkém strojírenství, přemísťující palety s výrobky, tak v těžkém průmyslu. Hydraulické jeřáby mají pohon zajištěný tlakovou kapalinou. Ta je pomocí hydrogenerátoru tlačena do hydraulických motorů a tím vykonává práci. Hydraulické motory mohou být přímočaré a rotační. [13]

Nakládací jeřáby mohou díky své konstrukci výložníku (teleskopické vysouvání) a kinematice drapáku (rotace a rozevření) plnit pracovní operace lépe, než například lidská ruka. Vzhledem k tomu, že je na trhu k dispozici velké množství těchto jeřábů, může si každý uživatel opatřit konfiguraci technologických a technických parametrů „přímo na tělo“ dopravního prostředku, resp. pro potřebu převládajícího charakteru ložných operací. Nakládací jeřáby se obvykle montují na kolové, pásové nebo kolejové podvozky dopravní a manipulační techniky. Na nákladních automobilech jsou buď vepředu za kabinou řidiče, vzadu za zadní nápravou nebo posuvné ve středu vozidla. [13].



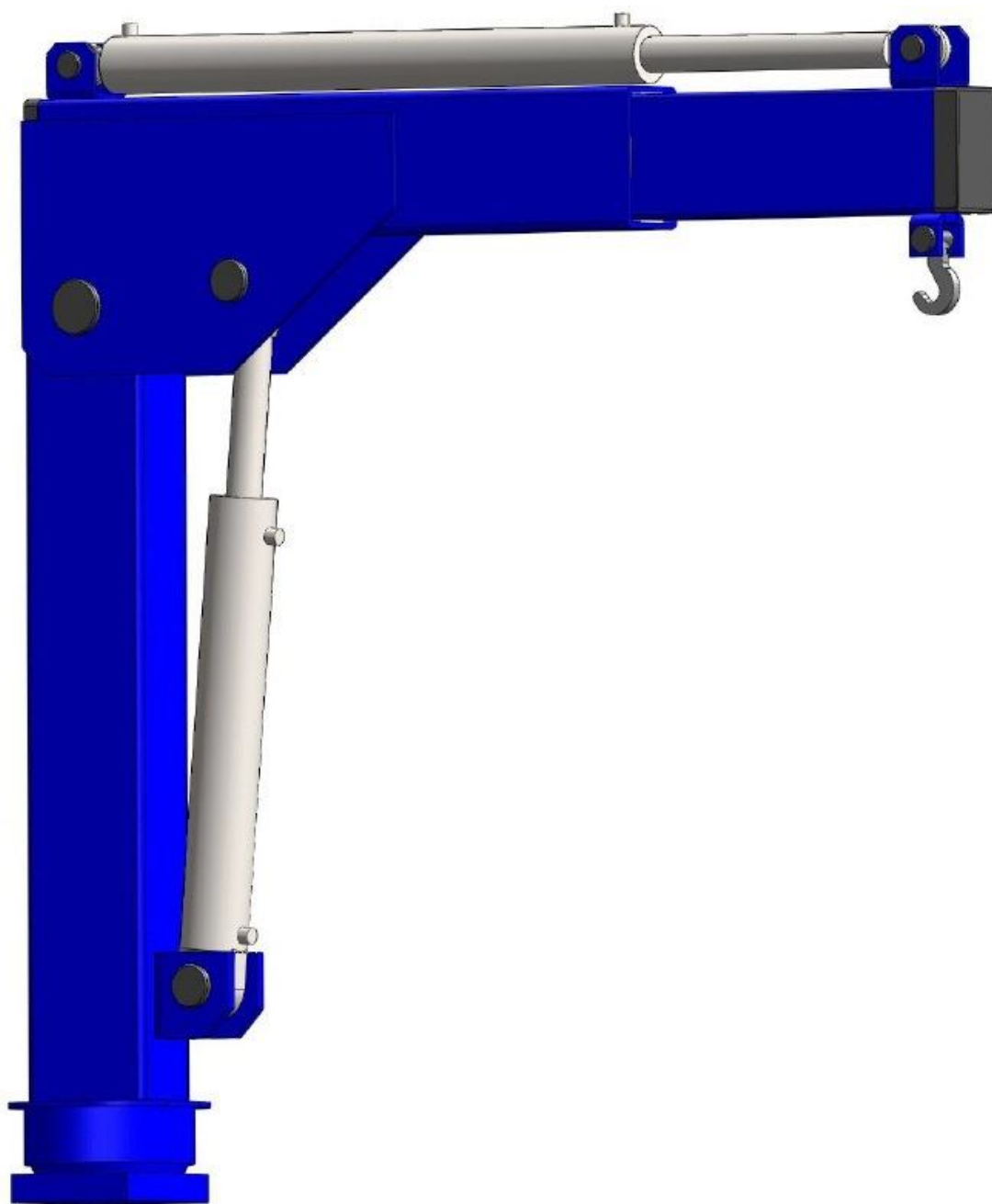
1 ZADÁNÍ

Proveďte konstrukční návrh včetně pevnostních výpočtů nakládacího jeřábu pro mobilní zařízení.

Nosnost: 1500 kg

Vodorovné natočení ramene: 240°

Svislé natočení ramene: 90°



Obr. 1.1: 3D model navrhnutého nakladače.



2 ROZDĚLENÍ JEŘÁBU

Sloupové jeřáby patří spolu s jeřáby točnicovými k nejstarším druhům jeřábů, neboť jeřáby otočné jsou historicky mnohem starší než jeřáby pojízdné. Otočením výložníku kolem osy svislého sloupu při současném sklápění nebo vztyčování může jeřáb dosáhnout částečně nebo úplně plochu kruhu, jehož poloměr je dán největším vyložení jeřábu. [1]

2.1 JEŘÁBY S OTOČNÝM SLOUPEM

Výložník je pevně spojen se sloupem, který se otáčí ve dvou ložiscích: v horním, zatíženém jen radiálně, a dolním, které přenáší jak radiální, tak axiální sílu. [1]

2.2 JEŘÁBY NÁSTĚNNÉ

Výložník je otočný zpravidla v rozmezí do 180°, na rozích zdí nebo jiných nosných konstrukcí až do 270°. Nástěnné jeřáby mají nosnost od 1 do 3t. Nástěnných jeřábů se používá na skládkách, ve skladištích, na rampách skladišť a přístavech. [1]



Obr. 3.1: Nástěnný jeřáb [6].



2.3 VOZIDLOVÉ JEŘÁBY

Otočné jeřáby točnicové, někdy také sloupové, obvykle se stavitelným výložníkem, uložené na vozidlech zvlášť pro ně konstruovaných, s nimiž tvoří celek. Vozidlové jeřáby nemají zvláštní samostatné jeřábové dráhy jako ostatní druhy pojízdných jeřábů a pojíždějí po takových cestách, pro které je konstruován jejich vůz. [1]

2.3.1 JEŘÁBY S VOZEM NA PNEUMATIKÁCH

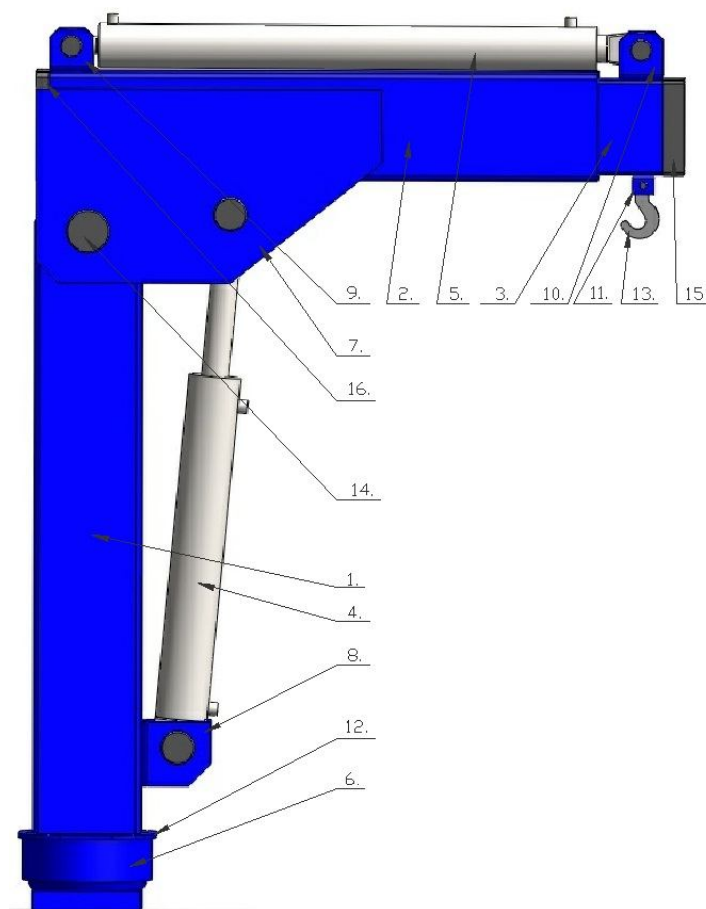
Vozidlové jeřáby většinou pracují ve značně velkém a proměnném okruhu působnosti, neboť se mohou rychle přemísťovat i na větší vzdálenosti. Mají obvykle vlastní zdroj poháněcí energie, např. spalovací nebo elektrický motor. [1]



Obr. 2.3: Nakládací jeřáb na valníku [7].



3 POPIS NAKLÁDACÍHO JEŘÁBU



Obr. 3.1: Popis jeřábu.

1- sloup, 2-rameno, 3-výložník, 4-vertikální přímočarý hydromotor, 5-horizontální přímočarý hydromotor, 6-rotační hydromotor, 7-bočnice, 8-11-úchyty, 12-kotevní deska, 13-hák, 14-čep, 15-přední kryt výložníku, 16-zadní kryt ramene

3.1 SLOUP

Sloup (poz. 1) je navržen z obdélníkového uzavřeného profilu 250x150x10 mm. U paty sloupu je přivařena kotevní deska pro připojení rotačního hydromotoru. Na druhém konci je vyvrtaná díra pro čep a v ní přivařená distanční trubka, která dodává tuhost celé soustavě.

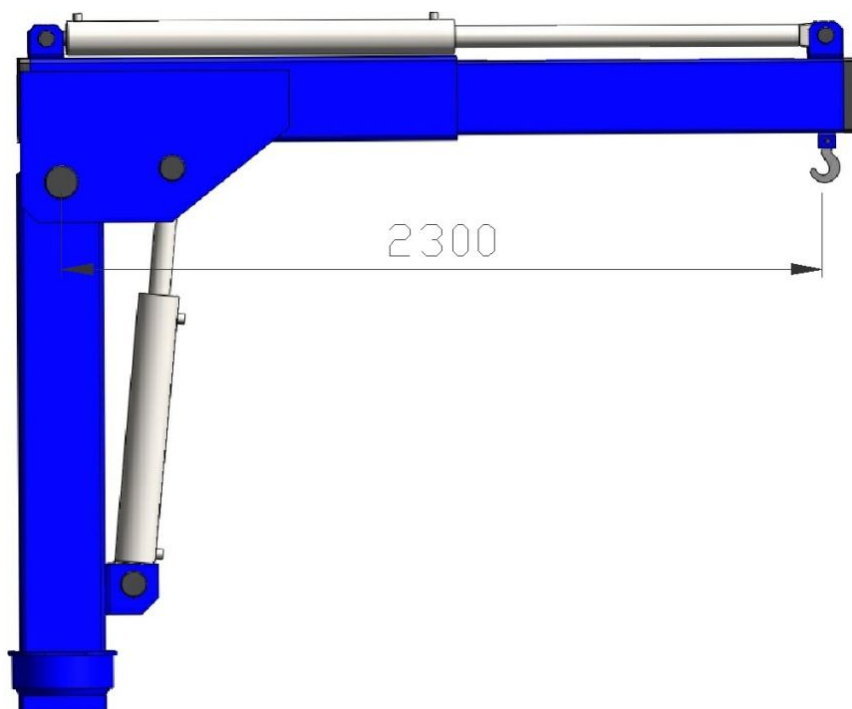
3.2 RAMENO

Rameno je navrženo z obdélníkového uzavřeného profilu 250x150x10 mm, do kterého je zasouván výložník (poz. 3) pomocí horizontálního přímočarého hydromotoru (poz. 5). Uvnitř příčnicku jsou přichyceny kluzné plasty pro vedení výložníku a lepší kluzné vlastnosti. Na boku příčnicku jsou přivařeny boční plechy (poz. 7), které slouží k připojení ke sloupu pomocí hlavního čepu (poz. 14) a pro připojení vertikálního přímočarého hydromotoru u (poz. 4).



3.3 VÝLOŽNÍK

Výložník je navržen z uzavřeného obdélníkového profilu 220x120x6 mm. Na horní straně výložníku je přivařen úchop pro horizontální přímočarý hydromotor (poz. 5), výložník je vysouván pomocí tohoto přímočarého hydromotoru o 1000 mm. Výložník je opatřen úchytem pro hák (poz. 11) a hákem (poz. 13) na zavěšení břemene.



Obr. 3.2: Maximální vyložení jeřábu.

3.4 ÚCHYT

Úchyty (poz. 8-11) slouží k přichycení přímočarých hydromotorů ke sloupu, příčníku a výložníku. Úchyt (poz. 8) je vyroben z pásoviny tloušťky 20 mm, úchyt (poz. 11) je vyroben z pásoviny tloušťky 16 mm a ostatní úchyty (poz. 9,10) jsou vyrobeny z pásoviny tloušťky 10 mm.

3.5 BOČNÍ PLECH

Boční plechy (poz. 7) jsou přivařeny k bokům příčníku (poz. 2). Boční plechy jsou opatřeny děrami pro připojení ke sloupu (poz. 1) a vertikálnímu přímočarému hydromotoru (poz. 4) pomocí čepů. Mezi plechy je vložena distanční trubka, která slouží jako výztuha celé soustavy.

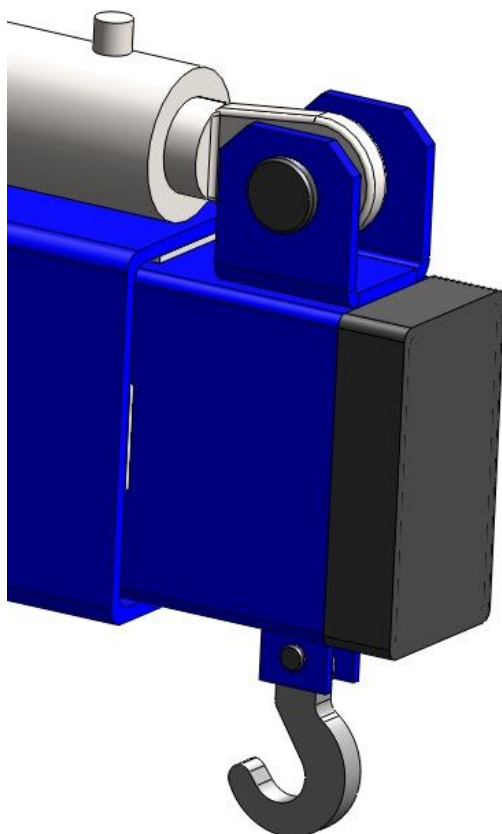


3.6 HYDROMOTORY

Nakládací jeřáb je vybaven 2 přímočarými hydromotory a 1 rotačním hydromotorem. Vertikální přímočarý hydromotor (poz. 4) zajišťuje svislé natočení příčnicku o 90°. Horizontální přímočarý hydromotor (poz. 5) zajišťuje vysouvání a zasouvání výložníku o 1000 mm. Tyto hydromotory jsou připojeny přes úchyty (poz. 8-10) k jeřábu pomocí čepů a zajištěné pojistným kroužkem. Rotační hydromotor (poz. 6) otáčí celým jeřábem o 270°, tento hydromotor je k jeřábu připojen pomocí kotevní desky (poz. 12) a 10 šroubů M16. Hydromotory jsou připojeny k hydraulickému okruhu pomocí vysokotlakých hadic.

3.7 KRYTY

Jelikož se tento nakládací jeřáb konstruován pro mobilní zařízení, musí se zajistit krytování dutých profilů. Na konci výložníku je nasazen plastový kryt (poz. 15), který zabrání vnikání hrubých nečistot dovnitř výložníku. Na druhé straně ramene je umístěn další kryt (poz. 16), ten je navrhnut také proti vniknutí hrubých nečistot.

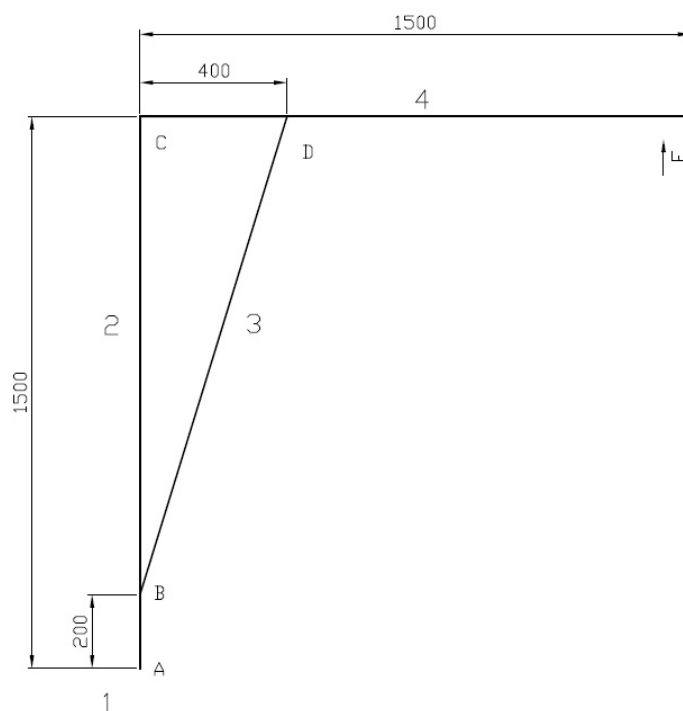


Obr. 3.3: Kryt výložníku.



4 ROZBOR SIL

Síly ve vazbách byly řešeny pomocí grafické metody. Při uvolnění tělesa pro grafické řešení je třeba znázornit známé geometrické útvary grafického zobrazení statické úlohy, které vyplývají z úplně zadané soustavy a z uložení tělesa.



Obr. 4.1: Základní rozměry.

4.1 URČENÍ POHYBLIVOSTI

Vazby: A – vetknutí $\xi_A = 3$

B – rotační $\xi_B = 2$

C – rotační $\xi_C = 2$

D – rotační $\xi_D = 2$

$$i = (n - 1) \cdot i_v - (\sum \xi_i - \eta) = (3 \cdot 3) - (9 - 0) = 0 \quad (4.1 - 1)$$

Těleso je uloženo nepohyblivě bez omezení deformačních parametrů



4.2 PODMÍNKA STATICKE URČITOSTI

Neznámé parametry: F_{ax} , F_{ay} , M_a , F_{bx} , F_{by} , F_{cx} , F_{cy} , F_{dx} , F_{dy}

$$\nu = 3 \cdot 3 = 9$$

$$\mu = 9$$

$$\mu = \nu \wedge \mu_M + \mu_R < \nu_M \quad (4.2 - 2)$$

$$9 = 9 \wedge 1 + 0 < 3$$

Podmínka je splněna.

4.3 ROZBOR SIL

4.3.1 ROZBOR SIL VE STŘEDNÍ POLOZE NAKLADAČE

Z grafického řešení vyšli tyto hodnoty:

$$G = 1500 \text{ N}$$

$$g = 9,81$$

$$a_1 = 1500 \text{ mm}$$

$$F = G \cdot g = 1500 \cdot 9,81 = 14715 \text{ N} \quad (4.3 - 3)$$

$$F_a = F = 14715 \text{ N}$$

$$F_b = F_d = 57734 \text{ N}$$

$$F_c = 43884 \text{ N}$$

$$M_{a1} = F \cdot a_1 = 22073 \text{ Nm} \quad (4.4 - 4)$$

Nákres grafického řešení ramene ve střední poloze viz příloha P-01.



4.3.2 ROZBOR SIL V HORNÍ POLOZE NAKLADAČE

$$a_2 = 1060 \text{ mm}$$

$$F_a = F = 14715 \text{ N}$$

$$F_b = F_d = 68251 \text{ N}$$

$$F_c = 53828 \text{ N}$$

$$M_{a2} = F \cdot a_2 = 22073 \text{ Nm} \quad (4.4 - 4)$$

Nákres grafického řešení ramene v horní poloze viz příloha P-02.

4.3.3 ROZBOR SIL VE SPODNÍ POLOZE NAKLADAČE

$$a_3 = 1060 \text{ mm}$$

$$F_a = F = 14715 \text{ N}$$

$$F_b = F_d = 44814 \text{ N}$$

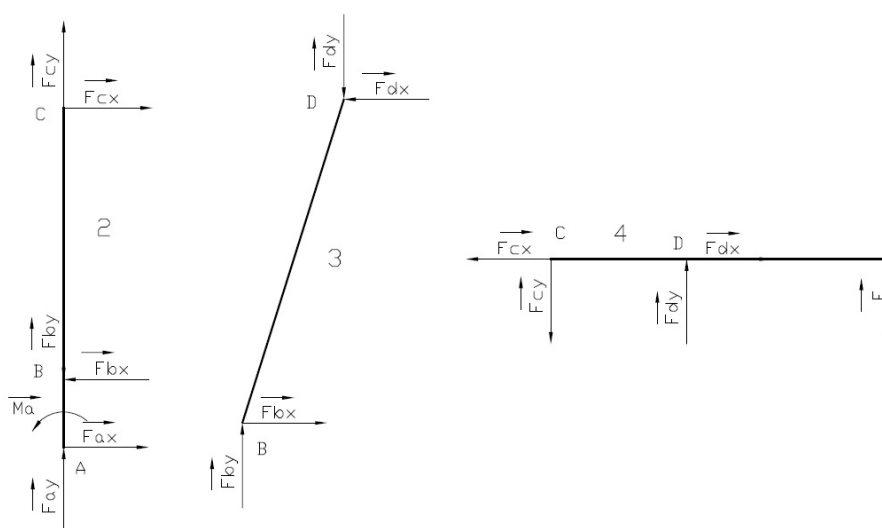
$$F_c = 30889 \text{ N}$$

$$M_{a3} = F \cdot a_3 = 15598 \text{ Nm} \quad (4.4 - 4)$$

Nákres grafického řešení ramene ve spodní poloze viz příloha P-03.

4.4 ÚPLNÉ UVOLNĚNÍ

Úplné uvolnění bylo provedeno ve střední poloze.



Obr. 4.5: Úplné uvolnění.



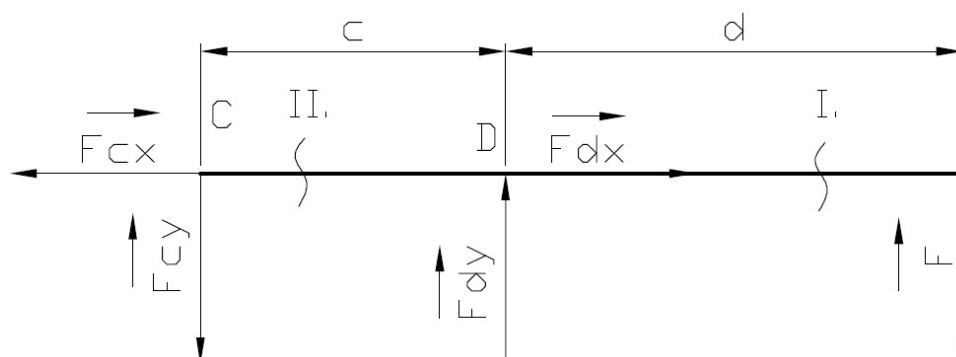
Síly	Výsledek
F_{ax}	0 N
F_{ay}	14715 N
F_{bx}	16880 N
F_{by}	55211 N
F_{cx}	17147 N
F_{cy}	40395 N
F_{dx}	13102 N
F_{dy}	42856 N

Tab. 4.1: Síly ve vazbách ve střední poloze ramene.

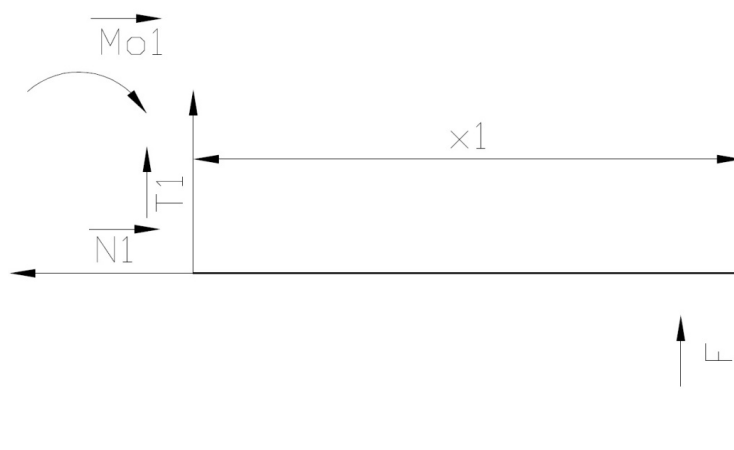


5 VÝPOČTY VVÚ

5.1 VÝPOČET VVÚ RAMENE



Obr. 5.1: VVÚ ramene.



Obr. 5.2: Řez ramene č.1.

$$c = 400 \text{ mm}, d = 1100 \text{ mm}$$

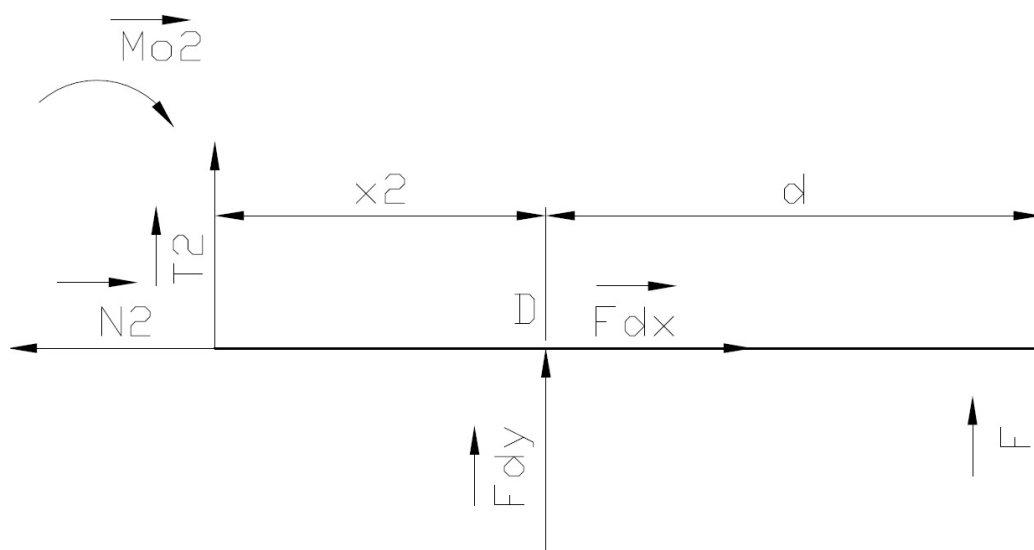
x_1 - vzdálenost krajního bodu ramene od řezu I.

$$x_1 \in (0, d)$$

$$N_1 = 0$$

$$T_1 = F = 14715 \text{ N}$$

$$M_{or1} = -F \cdot x_1 = -14715 \cdot 1100 = -16187 \text{ Nm}$$



Obr. 5.3: Řez ramene č.2.

$$c = 400 \text{ mm}, d = 1100 \text{ mm}$$

x_2 – vzdálenost od bodu D k řezu II.

$$x_2 \in (0, c)$$

$$N_2 = F_{dx} = 13102 \text{ N}$$

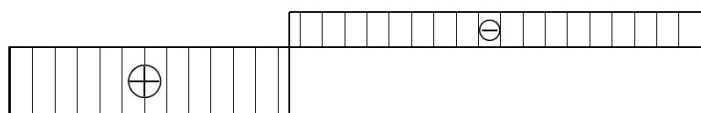
$$T_2 = F - F_{dy} = 14715 - 42856 = -28141 \text{ N}$$

$$M_{or2} = F_{dy} \cdot x_2 - F \cdot (d + x_2) = 42856 \cdot 400 - 14715 \cdot (1100 + 400) = -4930 \text{ Nm}$$

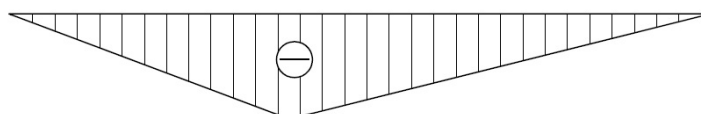
N1:



T1:

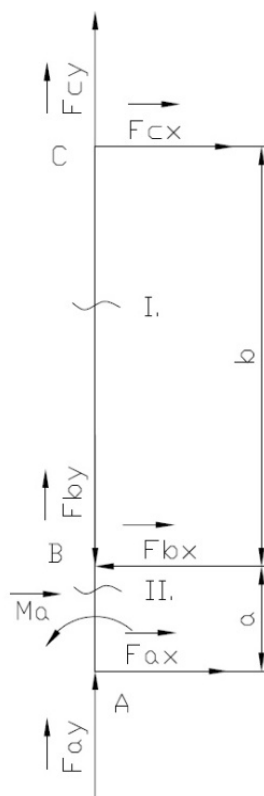


Mo1:

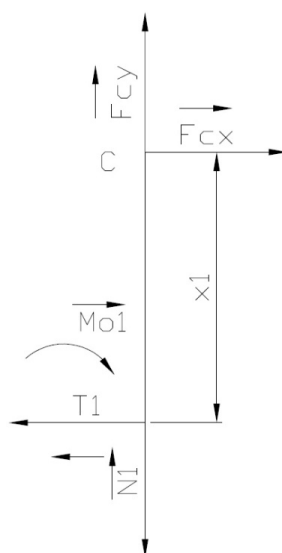


Obr. 5.4: Rameno - průběh sil.

5.2 VÝPOČET VVÚ SLOUPU



Obr. 5.5: VVÚ sloupu.



Obr. 5.6: Řez sloupu č.1.



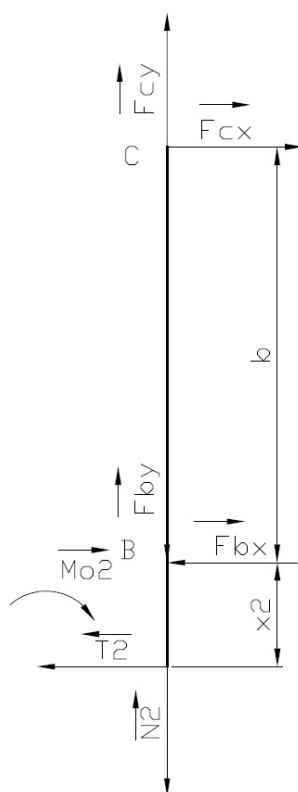
$$a = 200 \text{ mm}, b = 1300 \text{ mm}$$

$$x_1 \in (0, b)$$

$$N_1 = F_{cy} = 40395 \text{ N}$$

$$T_1 = F_{cx} = 17147 \text{ N}$$

$$M_{os1} = -F_{cx} \cdot x_1 = -17147 \cdot 1300 = -22291 \text{ Nm}$$



Obr. 5.7: Řez sloupu č.2.

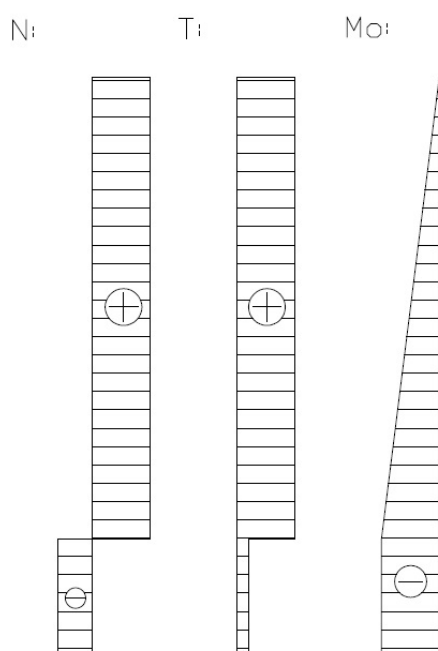
$$a = 200 \text{ mm}, b = 1300 \text{ mm}$$

$$x_2 \in (0, a)$$

$$N_2 = F_{cy} - F_{by} = -14816 \text{ N}$$

$$T_2 = F_{cx} - F_{bx} = 17147 - 16880 = 267 \text{ N}$$

$$M_{os2} = -F_{cx} \cdot (a + x_2) + F_{bx} \cdot x_2 = -17147 \cdot (1300 + 200) - 16880 \cdot 200 = -22345 \text{ Nm}$$



Obr. 5.8: Sloup – průběh sil.

5.3 NÁVRH PROFILU SLOUPU

Z materiálových charakteristik $R_e = 355 \text{ MPa}$ [2].

Volím součinitel bezpečnosti $K_k = 6$

$$\sigma_D = \frac{R_e}{k_k} = \frac{355}{6} = 59,16 \text{ MPa} \quad (5.1 - 5)$$

$$W_{o1} = \frac{M_{os2}}{\sigma_D} = \frac{22345}{59,16} = 377,7 \cong 378 \text{ cm}^3 \quad (5.2 - 6)$$

Na základě spočítaného W_{o1} volím dutý uzavřený obdélníkový profil 250 mm x 150 mm x 10 mm s $W = 409,17 \text{ cm}^3$ dle ČSN EN 10219-2 z materiálu S355 J2H (1.0576) [14].



5.4 NÁVRH PROFILU RAMENE

$R_e = 355 \text{ MPa}$

$K_k = 6$

$$\sigma_D = \frac{R_e}{k_k} = \frac{355}{6} = 59,16 \text{ MPa} \quad (5.1 - 5)$$

$$W_{o2} = \frac{M_{or1}}{\sigma_D} = \frac{16187}{59,16} = 273,6 \cong 274 \text{ cm}^3 \quad (5.2 - 6)$$

Na základě spočítaného W_{o2} volím dutý uzavřený obdélníkový profil 250 mm x 150 mm x 10 mm s $W = 409,17 \text{ cm}^3$ dle ČSN EN 10219-2 z materiálu S355 J2H (1.0576) [14].

5.5 NÁVRH PROFILU VÝLOŽNÍKU

Profil výložníku musí být volen tak, aby jeho vnější rozměr pasoval do vnitřního rozměru ramene. Proto byl zvolen dutý uzavřený obdélníkový profil 220 mm x 120 mm x 6 mm dle ČSN EN 10219 – 2 z materiálu S355 J2H (1.0576) [14].

5.6 NÁVRH KLUZNÝCH PLASTŮ

Mezi ramenem a výložníkem jsou vloženy pásky z technického plastu. Jejich účelem je vedení výložníku uvnitř ramene a zlepšení kluzných vlastností.

Výrobce: TEN ART, spol. s r.o.

Materiál: PTFE BRONZ (40% – 60%) (Polytetrafluoretylen)

Rozměry: šířka – 70 mm, délka – 1200 mm, tloušťky – 5 mm [11]

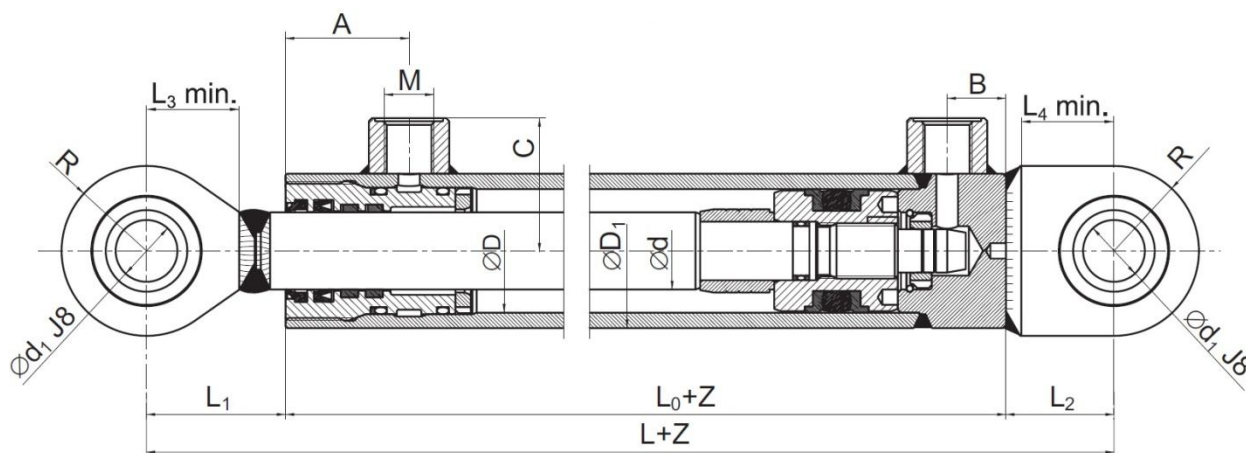


6 NÁVRH HYDROMOTORU

Přímočarý hydromotor je prvek, který přeměňuje tlakovou energii na energii mechanickou – axiální sílu pístní tyče v obou směrech. Svou konstrukcí nevyžaduje zvláštní požadavky na obsluhu a údržbu. Pro bezvadnou a bezpečnou funkci je nutno řídit se provozními a technickými podmínkami. [4]

6.1 NÁVRH HLAVNÍHO HYDROMOTORU

Hlavní hydromotor zajišťuje zdvih ramene s výložníkem v rozsahu 90° a maximálním zatížením (se zasunutým výložníkem) 1500 kg. Byl zvolen přímočarý hydromotor ZH2T od firmy Hydraulics s.r.o. Tento hydromotor se vyznačuje dobrým brzděním v krajních polohách.



Obr. 6.1: Přímočarý hydromotor typu ZH2T [16].

Typ: ZH2T

Parametry: $\varnothing D = 100 \text{ mm}$, $\varnothing d = 63 \text{ mm}$, $L + Z = 990 \text{ mm}$

Připojovací rozměry: $27 \times 2 \text{ mm}$

Maximální tlak: 25 MPa

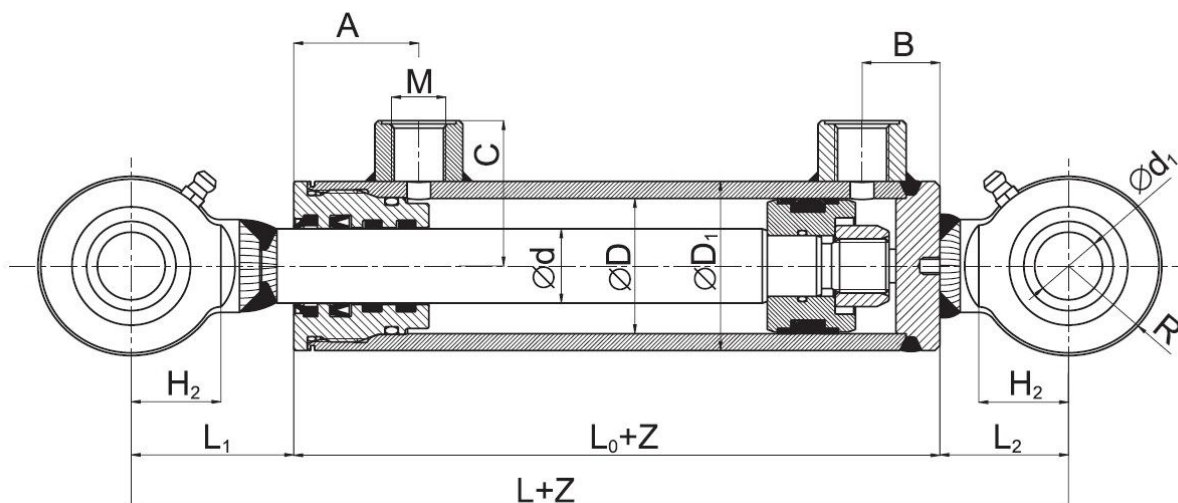
Maximální doporučený zdvih: 810 mm

Hlavní přímočarý hydromotor je na spodní straně připevněn pomocí přivařeného úchyty ke sloupu a čepu, prostrčeného tímto úchytem a spodním okem hydromotoru. Horním okem je také prostrčen čep a ten spojuje pístní tyč hydromotoru s bočními plechy.



6.2 NÁVRH VEDLEJŠÍHO HYDROMOTORU

Vedlejší hydromotor zajišťuje vysouvání a zasouvání výložníku z ramene v délce 1000 mm. K připojení hydromotoru k ramenu a výložníku byli také zvoleny ohýbané úchyty, které jsou také pevně přivařeny.



Obr. 6.2: Přímocárý hydromotor typu EH [5].

Typ: EH

Parametry: $\text{ØD} = 90 \text{ mm}$, $\text{Ød} = 63 \text{ mm}$, $L + Z = 1296 \text{ mm}$

Připojovací rozměry: $22 \times 1,5 \text{ mm}$

Maximální tlak: 18 MPa

Maximální doporučený zdvih: 1190 mm

6.3 NÁVRH ROTAČNÍHO HYDROMOTORU

Rotační hydromotor zajišťuje kolmé natočení v rozmezí 360° . Tato natočení je bohužel neuskutečnitelné z důvodu vedení hadic k přímocárým hydromotorům. Proto je navrhováno maximální natočení v hodnotě 240° , aby nedošlo k namotání hydraulických hadic na sloup nakladače a tím k poškození.

Byl zvolen hydraulický rotátor od firmy Baltrotors Ltd.



Obr. 6.3: Hydraulický rotátor [8].

Typ: GR55 FF

Max. axiální zatížení statické: +45/-34 kN

Točivý moment při 25MPa: 1300 Nm

Doporučený průtok oleje: 22 l/min

Hmotnost: 35 kg

Hydraulický rotátor je ke sloupu nakladače přišroubován pomocí 10 šroubů M16 ke kotevní desce, která je přivařena na spodním konci profilu sloupu.

6.4 NÁVRH HYDRAULICKÉHO ROZVADĚČE

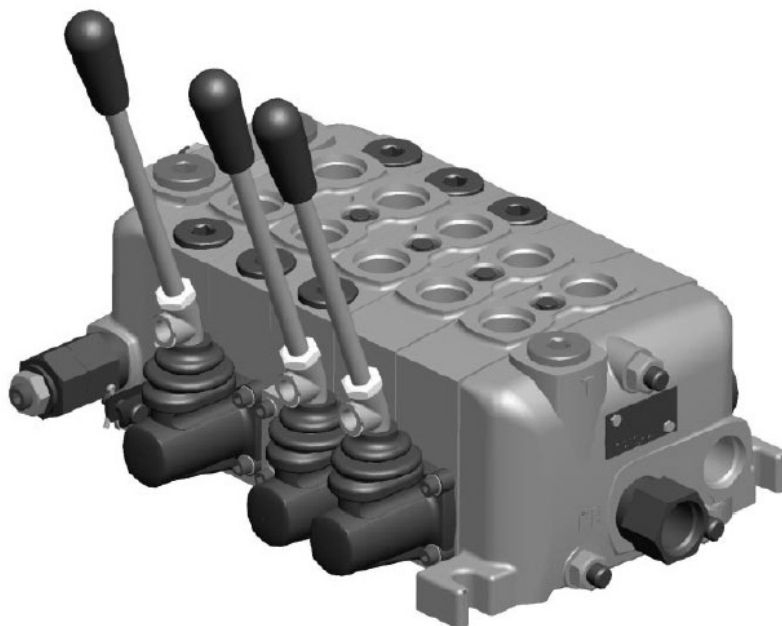
Pro řízení přímočarých hydromotorů a hydraulického rotátoru byl zvolen hydraulický rozvaděč určený pro mobilní zařízení od firmy Seall v.o.s.

Typ: VO40

Maximální tlak: 300 bar

Maximální průtok: 40 l/min

Počet sekcí: 3



Obr. 6.4: Hydraulický rozvaděč [9].

6.5 OSTATNÍ HYDRAULICKÉ KOMPONENTY

Pro správnou funkci hydraulického obvodu musí obvod obsahovat další důležité hydraulické prvky jako např. pojistný ventil, hydraulický zámek nebo hydraulické hadice. Všechny tyto komponenty jsou nakupovány od firmy Seall v.o.s.



7 NÁVRH ČEPŮ

7.1 NÁVRH HLAVNÍHO ČEPU

Hlavní čep spojuje sloup nakladače s ramenem.

$$F = 53828 \text{ N}$$

$$L_{\check{c}1} = 170 \text{ mm}$$

$$\sigma_{DOV} = 135 \text{ MPa}$$

Materiál: 11500

$$M_{o_{max}} = \frac{F \cdot L_{\check{c}1}}{4} = \frac{53828 \cdot 170}{4} = 2287,69 \cdot 10^3 \text{ Nmm} \quad (7.1 - 7)$$

$$\sigma_D = \frac{M_{o_{max}}}{W_o} \leq \sigma_{DOV} \quad (7.2 - 8)$$

$$\sigma_{DOV} = \frac{M_{o_{max}}}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^3}{32}} \Rightarrow d_{\check{c}1} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{o_{max}}}{\pi \cdot \sigma_{DOV}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2287,69 \cdot 10^3}{\pi \cdot 135}} = 55,7 \text{ mm} \approx 56 \text{ mm}$$

Volím $d_{\check{c}1} = 80 \text{ mm}$.

Kontrola na stříh:

$$\tau_{ds} = 40 \text{ MPa}$$

$$S_{\check{c}} = \frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 80^2}{4} = 5026,5 \text{ mm}^2 \quad (7.4 - 9)$$

$$\tau_s = \frac{F}{2 \cdot S_{\check{c}}} \leq \tau_{ds} \quad (7.5 - 10)$$

$$\tau_s = \frac{F}{2 \cdot S_{\check{c}}} = \frac{53828}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 80^2}{4}} = 5,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_s < \tau_{ds}$$

Podmínka vyhovuje.

Kontrola bezpečnosti:

$$K_k = 6$$

$$K_{cs} = \frac{\tau_{ds}}{\tau_s} = \frac{40}{5,4} = 7,4 \quad (7.6 - 11)$$

$$K_{cs} > K_k$$

Podmínka vyhovuje.



Kontrola na otlačení:

$$P_D = 90 \text{ MPa}$$

$$d_{\check{v}} = 89 \text{ mm}$$

$$a_v = 20 \text{ mm}$$

$$K_k = 6$$

$$P_{ot1} = \frac{F}{2 \cdot d_{\check{v}} \cdot a_v} = \frac{53828}{2 \cdot 89 \cdot 20} = 15,12 \text{ MPa} \quad (7.7 - 12)$$

$$K_{ot1} = \frac{P_D}{P_{ot1}} = \frac{90}{15,12} = 6 \quad (7.8 - 13)$$

$$K_{ot1} \geq K_k$$

Podmínka vyhovuje.

Volím Ø čepu 80 mm x 170 mm dle ČSN EN 22341.

7.2 NÁVRH SPODNÍHO ČEPU HLAVNÍHO HYDRAULICKÉHO VÁLCE

$$F_B = F_D = 68251 \text{ N}$$

$$L_{\check{c}2} = 140 \text{ mm}$$

Materiál: 11500

$$\sigma_{DOV} = 135 \text{ MPa}$$

$$M_{o_{max}} = \frac{F \cdot L_{\check{c}2}}{4} = \frac{68251 \cdot 140}{4} = 23887,85 \cdot 10^2 \text{ Nmm} \quad (7.1 - 7)$$

$$\sigma_D = \frac{M_{o_{max}}}{W_o} \leq \sigma_{DOV} \quad (7.2 - 8)$$

$$\sigma_{DOV} = \frac{M_{o_{max}}}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^3}{32}} \Rightarrow d_{\check{c}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{o_{max}}}{\pi \cdot \sigma_{DOV}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 23887,85 \cdot 10^2}{\pi \cdot 135}} = 56,5 \text{ mm}$$

Volím $d_{\check{c}2} = 80 \text{ mm}$.



Kontrola na stříh:

$$\tau_{ds} = 40 \text{ MPa}$$

$$S_{\xi} = \frac{\pi \cdot d_{\xi}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 80^2}{4} = 5026,5 \text{ mm}^2 \quad (7.3 - 9)$$

$$\tau_s = \frac{F}{2 \cdot S_{\xi}} \leq \tau_{ds} \quad (7.4 - 10)$$

$$\tau_s = \frac{F}{2 \cdot S_{\xi}} = \frac{68251}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 80^2}{4}} = 6,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_s < \tau_{ds}$$

Podmínka vyhovuje.

Kontrola bezpečnosti:

$$K_k = 6$$

$$K_{cs} = \frac{\tau_{ds}}{\tau_s} = \frac{40}{6,8} = 6 \quad (7.5 - 11)$$

$$K_{cs} \geq K_k$$

Podmínka vyhovuje.

Kontrola na otláčení:

$$P_D = 90 \text{ MPa}$$

$$d_{\xi v} = 80 \text{ mm}$$

$$a_v = 20 \text{ mm}$$

$$P_{ot1} = \frac{F}{2 \cdot d_{\xi v} \cdot a_v} = \frac{68251}{2 \cdot 80 \cdot 20} = 21,3 \text{ MPa} \quad (7.6 - 12)$$

$$K_{ot1} = \frac{P_D}{P_{ot1}} = \frac{90}{21,3} = 4,2 \quad (7.7 - 13)$$

Volím Ø čepu 80 mm x 170 mm dle ČSN EN 22341.



7.3 NÁVRH ČEPU PRO HÁK

$$F = 15000 \text{ N}$$

$$L_{\check{c}3} = 90 \text{ mm}$$

$$\sigma_{DOV} = 135 \text{ MPa}$$

Materiál: 11500

$$Mo_{max} = \frac{F \cdot L_{\check{c}3}}{4} = \frac{15000 \cdot 90}{4} = 3375 \cdot 10^2 \text{ Nmm} \quad (7.1 - 7)$$

$$\sigma_D = \frac{Mo_{max}}{W_o} \leq \sigma_{DOV} \quad (7.2 - 8)$$

$$\sigma_{DOV} = \frac{Mo_{max}}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^3}{32}} \Rightarrow d_{\check{c}3} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot Mo_{max}}{\pi \cdot \sigma_{DOV}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3375 \cdot 10^2}{\pi \cdot 135}} = 29,4 \text{ mm}$$

Volím $d_{\check{c}3} = 36 \text{ mm}$.

Kontrola na stříh:

$$\tau_{ds} = 40 \text{ MPa}$$

$$S_{\check{c}} = \frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 36^2}{4} = 1018 \text{ mm}^2 \quad (7.3 - 9)$$

$$\tau_s = \frac{F}{2 \cdot S_{\check{c}}} \leq \tau_{ds} \quad (7.4 - 10)$$

$$\tau_s = \frac{F}{2 \cdot S_{\check{c}}} = \frac{15000}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 36^2}{4}} = 7,35 \text{ MPa}$$

$$\tau_s < \tau_{ds}$$

Podmínka je splněna.

Kontrola bezpečnosti:

$$K_k = 6$$

$$K_{cs} = \frac{\tau_{ds}}{\tau_s} = \frac{40}{7,35} = 6 \quad (7.5 - 11)$$

$$K_{cs} \geq K_k$$

Podmínka vyhovuje.



Kontrola na otlačení:

$$P_D = 90 \text{ MPa}$$

$$d_{\check{v}} = 36 \text{ mm}$$

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

$$P_{ot1} = \frac{F}{2 \cdot d_{\check{v}} \cdot a_v} = \frac{15000}{2 \cdot 36 \cdot 6} = 13 \text{ MPa} \quad (7.6 - 12)$$

$$K_{ot1} = \frac{P_D}{P_{ot1}} = \frac{90}{13} = 6,9 \quad (7.7 - 13)$$

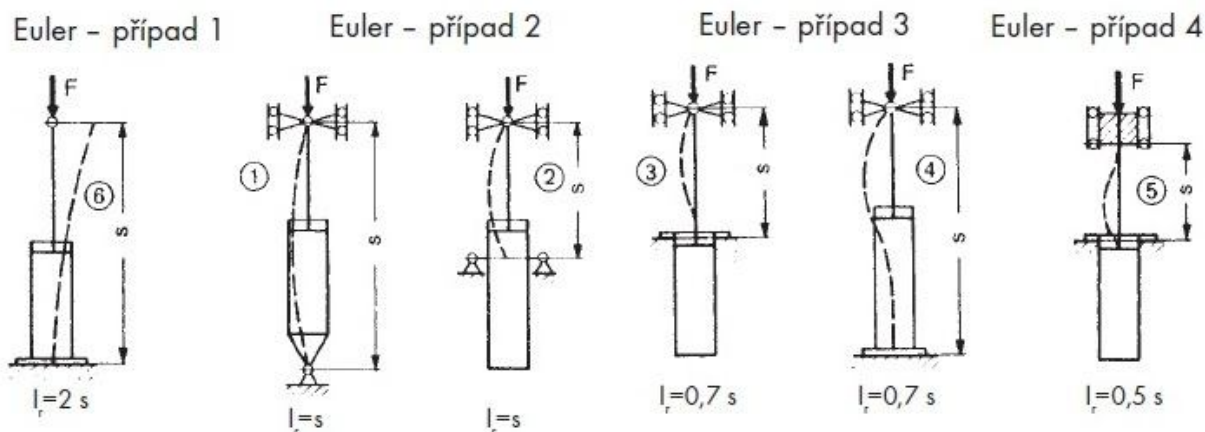
Volím Ø čepu 36 mm x 90 mm dle ČSN EN 22341.



8 KONTROLNÍ VÝPOČTY

8.1 KONTROLA HLAVNÍHO PŘÍMOČARÉHO HYDROMOTORU

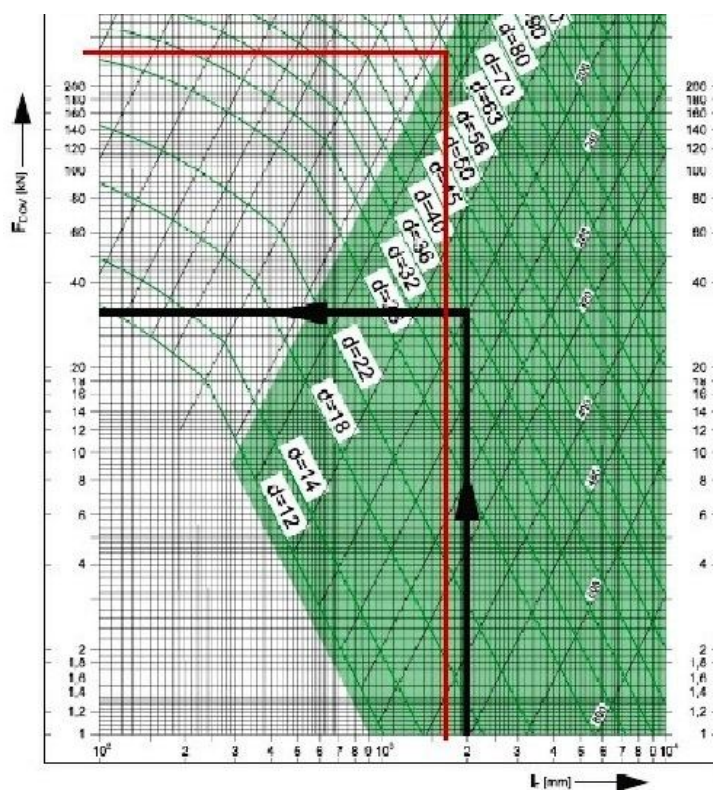
Hlavní přímočarý hydromotor musí být zkontrolován na vzpěrnou stabilitu při maximálním vysunutí pístu.



Obr. 8.1: Eulerové vztahy [10].

Podle obrázku 8.1 volím Euler – případ 2.

$$l_r = s = 1460 \text{ mm}$$



Obr. 8.2: Diagram vzpěru [10].



$$F_d = 68,251 \text{ kN}$$

$$I_r = 1460 \text{ mm}$$

Pro daný $\varnothing d$ (63 mm) určíme dovolené zatížení silou F_{DOV} z obrázku 8.2.

$$F_{DOV} = 270 \text{ kN}$$

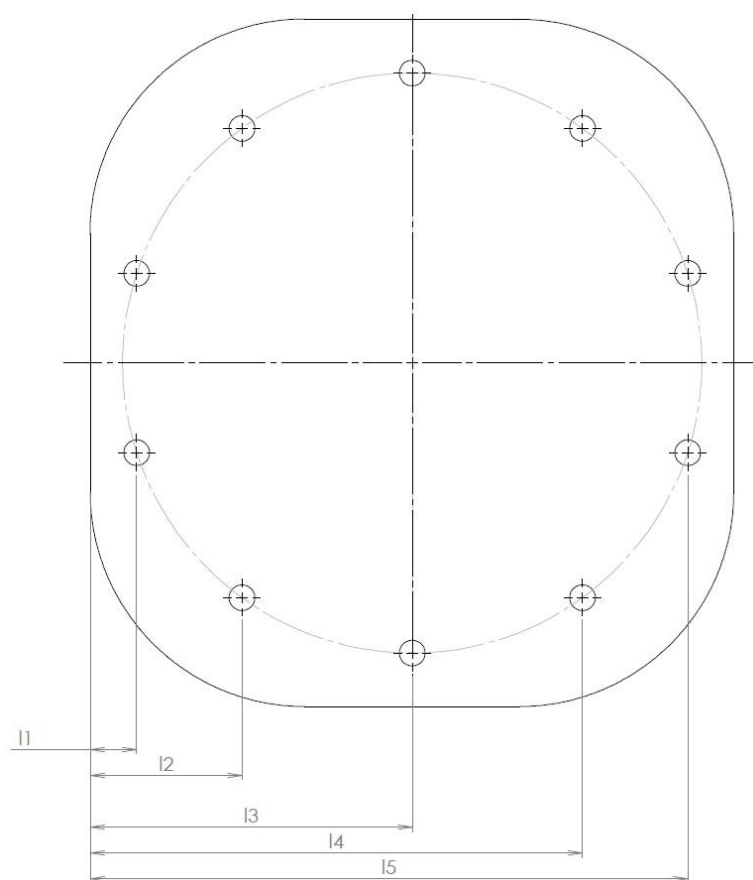
$$F_D < F_{DOV}$$

Není nutné počítat vzpěrnou stabilitu. Z diagramu udávaného výrobcem bylo odvozeno, že zatěžující síla je menší než F_{DOV} .

8.2 KONTROLA ŠROUBŮ

Šrouby jsou použity pro připojení rotačního hydromotoru ke kotevní desce nakladače. Byl zvolen šroub M16 x 30 mm.

Počet šroubů: 10 kusů



Obr. 8.3: Kotevní deska.



Tahové napětí ve šroubu:

Pro šroub pevnosti 8.8 je $R_e = 640 \text{ N/mm}^2$

[2] str. 442

$k = 6$

$$\sigma_T = \frac{R_e}{k} \quad (8.1 - 14)$$

$$\sigma_T = \frac{640}{6} = 106,6 \text{ MPa}$$

Výpočet síly:

$$l_1 = 0,033 \text{ mm}$$

$$l_2 = 0,071 \text{ mm}$$

$$l_3 = 0,15 \text{ mm}$$

$$l_4 = 0,23 \text{ mm}$$

$$l_5 = 0,28 \text{ mm}$$

$$M_a - 2F_s \cdot l_1 - 2F_s \cdot l_2 - 2F_s \cdot l_3 - 2F_s \cdot l_4 - 2F_s \cdot l_5 = 0$$

$$F_s = \frac{M_a}{2l_1 + 2l_2 + 2l_3 + 2l_4 + 2l_5}$$

$$F_s = \frac{22344,5}{2 \cdot 0,033 + 2 \cdot 0,071 + 2 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,23 + 2 \cdot 0,28} = 14623 \text{ N}$$

Kontrola plochy šroubu:

Pro šroub M16 je $A_s = 157 \text{ mm}^2$

[2] str. 420

$$A_{s1} = \frac{F_s}{\sigma_T} = \frac{14623}{106,6} = 137,2 \text{ mm}^2 \quad (8.2 - 15)$$

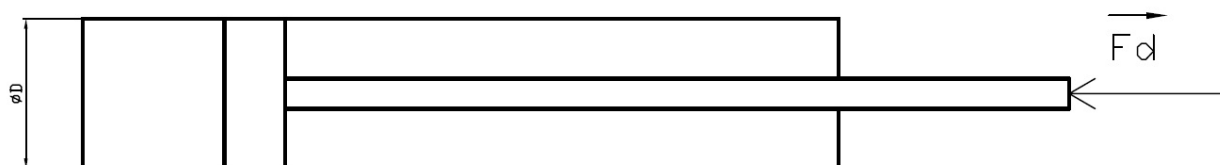
$$A_{s1} < A_s$$

$$137,2 \text{ mm}^2 < 157 \text{ mm}^2$$

Podmínka splněna, šroub vyhovuje.



8.3 KONTROLA HLAVNÍHO HYDROMOTORU



Obr. 8.4: Schéma hlavního hydromotoru.

$$\text{Ø}D = 100 \text{ mm}$$

$$p_{\max} = 25 \text{ MPa}$$

$$F_d = 68251 \text{ N}$$

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 100^2}{4} = 7854 \text{ mm}^2 \quad (8.3 - 16)$$

$$F_{\max} = p_{\max} \cdot S = 25 \cdot 7854 = 196350 \text{ N} \quad (8.4 - 17)$$

$$F_{\max} > F_D$$

Podmínka vyhovuje.

Volba provozního tlaku:

$$F_D = p_p \cdot S \quad (8.4 - 17)$$

$$p_p = \frac{F_D}{S} = \frac{68251}{7854} = 8,6 \text{ MPa}$$

Volím provozní tlak $p_p = 12 \text{ MPa}$

$$p_p < p_{\max}$$

Podmínka vyhovuje.



9 POPIS KONSTRUKCE NAKLÁDACÍHO JEŘÁBU

9.1 VOLBA MATERIÁLU

Hlavní části nakládacího jeřábu byly konstruovány z dutých uzavřených profilů materiálu S355J2H (1.0576), který má zaručenou svařitelnost. Volba profilu výložníku byla taková, aby jeho vnější rozměry umožnily zasouvání do ramene. Mezi výložníkem a ramenem jsou vloženy pásy kluzného plastu. Tyto plasty byly voleny z materiálu polytetrafluoretylen (PTFE) typ Bronz. Tento plast má dobrou odolnost vůči otěru, vysokou pevnost při stlačení, v kombinaci s grafitem příp. MOS 2 má nízký součinitel tření. [11]. Ostatní připojovací komponenty, např. úchyty přímočarých hydromotorů, jsou zhotoveny z materiálu S355J2H (1.0576). Jelikož je tento nakládající jeřáb konstruován pro mobilní zařízení, např. na valník, musí být výložník i rameno opatřeno kryty proti hrubým nečistotám. Ty jsou konstruovány z materiálu PP (polypropylen), který má dobrou odolnost vůči povětrnostním vlivům [12].

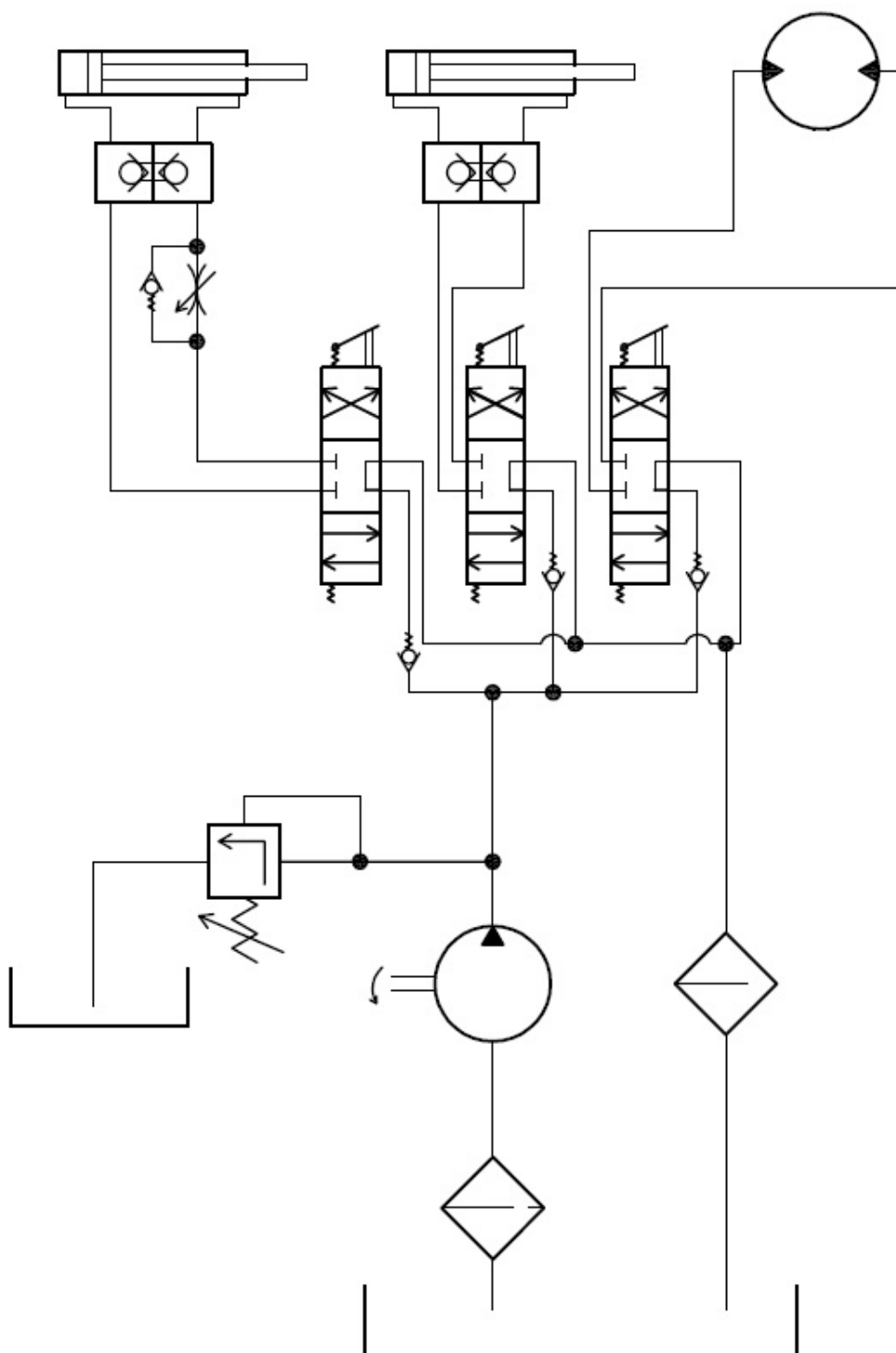
9.2 VOLBA KONSTRUKCE

Uvnitř sloupu je přivařená distanční trubka, která má vyztužit celý spojovací uzel, aby se nedeformoval. Touto distanční trubicí prochází hlavní čep, který spojuje sloup s ramenem. Připojení hlavního přímočarého hydromotoru k rameni je řešeno pomocí čepu, který je uchycen v bočních deskách. Mezi těmito deskami je vložena další distanční trubka, která má zajistit tuhost celé konstrukce. Tato trubka je jenom vložena a není přivařená, z důvodu smontovatelnosti. Všechny čepy, pojistné kroužky a šrouby jsou nakupované součásti podle norem ČSN [15].



10 HYDRAULICKÝ OBVOD

Hydraulický obvod je konstruován jako otevřený.



Obr. 10.1 Náčrt hydraulického obvodu



Konstrukce nakladače je uvažována jako samostatný celek. Proto je hydraulický obvod otevřený a obsahuje všechny potřebné hydraulické komponenty k samostatnému fungování. Hydraulický obvod je sestaven ze dvou přímočarých hydromotorů, rotačního hydromotoru, hydrogenerátoru, rozvaděče, filtrů, pojistného ventilu a nádrže.

Pro řízení toku hydraulické kapaliny je použit třípolohový, dvoucestný hydraulický rozvaděč. Třípolohové rozvaděče jsou charakteristické tzv. neutrální nebo středovou polohou. Tato poloha může zabezpečit buď úplnou fixaci pohybu hydromotoru, jedná se o tzv. uzavřený střed nebo je hydromotor fixován, ale tlakový zdroj je odlehčen, kapalina od hydrogenerátoru volně protéká tzv. odtokem do odpadu [3]. Ovládání rozvaděče je ruční s pákou.

Kdyby v hydraulickém okruhu poklesl tlak, břemeno zavěšené na nakladači by mohlo spadnout a poranit obsluhu. Proto jsou hned za přímočarými hydromotory připojené hydraulické zámky. Ty při poklesu tlaku uzamknou kapalinu v hydromotoru a tím zamezí pádu břemene. Hydraulický zámek vznikne spojením dvou řízených jednosměrných ventilů [3].

Další důležitou komponentou je pojistný ventil. Pojistný ventil slouží k jištění obvodu proti tlakovému přetížení a otevírá se pouze při vzrůstu tlaku nad přípustnou mez. Bývá nastaven o 10 až 15 % výše než max. pracovní tlak. Při běžném provozním zatížení tedy nepropustí kapalinu do odpadu [3].

Navrhovaný hydraulický obvod obsahuje dva filtry. První filtr se nachází v sací větvi před hydrogenerátorem a chrání hydraulický okruh před hrubými nečistotami obsaženými v nádrži. Sací filtr funguje jako sací koš. Druhý filtr se nachází ve zpětné větvi hydraulického obvodu. Odpadní filtr filtruje hydraulickou kapalinu vracející se z hydraulického obvodu zpět do nádrže [3].



ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout nakládající jeřáb pro mobilní zařízení. Nechal jsem se inspirovat mobilním nakladačem, který byl přimontován k rámu valníku, který je možno zapojit za automobil skupiny B. Pomocí pevnostních výpočtů jsem navrhnul základní profily sloupu a ramene tak, aby vyhověli návrhovému součiniteli bezpečnosti 6 a umožnily zvednout požadovanou váhu 1500 kg. Mezi výložník a rameno jsem navrhnul kluzné plasty, které slouží jako vodící lišty pro výložník a také zlepšují kluzné vlastnosti mezi výložníkem a ramenem. Hydraulické komponenty, byly vybírány na základě mechanických a konstrukčních požadavků. Přímočaré hydromotory byly voleny tak, aby nebylo překročeno maximální vysunutí pístnice, které udává výrobce, a tím je zaručeno, že pístnice nebudou namáhané na vzpěr. Další konstrukční výpočty se týkaly především návrhu čepů. Ty byly zkontrolovány na sřížnou sílu i na otlačení. Příloha obsahuje grafickou metodu řešení sil ve vazbách a výkresovou dokumentaci.

Dalším pokračováním této práce by bylo navrhnutí stabilizačních vzpěr, které by se vysunovaly pomocí hydraulického obvodu a zajistili, že se valník při nakládání břemene nepřevrhne. Dále by se měl sloup, rameno i výložník zkontrolovat na únavu, jestli se neobjeví plastické deformace.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] KAŠPÁREK, Jaroslav. *Dopravní a manipulační zařízení* [online]. Brno: VUT Brno [cit. 2013-04-02].
- [2] SHIGLEY, Joseph E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. První vydání. Brno: VUTUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [3] ŠKOPÁN, Miroslav. *Hydraulické pohony strojů: studijní text - sylabus* [online]. Brno: VUT - Ústav dopravní techniky, 2004 [cit. 2013-05-19].
- [4] MALÁŠEK, J. DOPRAVNÍ A MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ. Skripta ,Elektronické vydání Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010
- [15] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *STROJNICKÉ TABULKY: Čtvrté doplněné vydání*. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE Z INTERNETU

- [5] *HYDRAULICS s.r.o.* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.hydraulics.cz/cz/vyroba/vyroba-katalogovych-hydromotoru/eh>
- [6] *AGRI FAIR s.r.o.* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.agrifair.cz/component.php?cocode=catalogue&itid=14&icid=7>
- [7] *CTS servis, a.s.* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.cts-servis.cz/produkty/hydraulicke-nakladaci-jezaby/>
- [8] *Roratory.cz* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.rotatory.cz/balrotors-4-5t/gr55-ff/>
- [9] *SEALL v.o.s.* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.seall.cz/upload/stranky/users/seall/File/produkty/hydraulika/HY17-8505-UK_VO40.pdf
- [10] *HYDRAULICS s.r.o.* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.hydraulics.cz/technicka_agenda_str96-102.pdf
- [11] *Tenart s.r.o.* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.tenart.cz/kategoria/technicke-plasty/polytetrafluoretylen-ptfe/polytetrafluoretylen-ptfe/>
- [12] *Tenart s.r.o.* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.tenart.cz/kategoria/technicke-plasty/polypropylen-pp/pps---nesnadno-horlavy-typ-polypropylen/>



- [13] *Agroweb* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z:
http://www.agroweb.cz/Hydraulicke-jeraby-v-zemedelstvi-a-lesnictvi__s46x17232.html
- [14] *Ferona a.s.* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z:
http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php?searchtext=&druh=317&material=0&typ_normy=0&norma=&r1=&r2=&r3=&r4=&search_type=0
- [16] *HYDRAULICS s.r.o.* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z:
<http://www.hydraulics.cz/cz/vyroba/vyroba-katalogovych-hydromotoru/zh2T>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a_1	[m]	kolmá vzdálenost zatěžující síly k vazbě A
a	[m]	vzdálenost od vazby A k vazbě B
a_v	[m]	vzdálenost uložení čepu
b	[m]	vzdálenost od vazby B k vazbě C
c	[m]	vzdálenost od vazby C k vazbě D
D	[m]	vnitřní průměr přímočarého hydromotoru
d	[m]	vzdálenost od vazby D k zatěžující síle
d_c	[m]	průměr pístní tyče přímočarého hydromotoru
$d_{\check{c}}$	[m]	průměr čepu
d_{iv}	[m]	průměr distanční trubky
F	[N]	zatěžující síla od břemene
F_a	[N]	síla působící ve vazbě A
F_{ax}	[N]	složka síly F_a v ose x
F_{ay}	[N]	složka síly F_a v ose y
F_b	[N]	síla působící ve vazbě B
F_{bx}	[N]	složka síly F_b v ose x
F_{by}	[N]	složka síly F_b v ose y
F_c	[N]	síla působící ve vazbě C
F_{cx}	[N]	složka síly F_c v ose x
F_{cy}	[N]	složka síly F_c v ose y
F_d	[N]	síla působící ve vazbě D
F_{DOV}	[N]	dovolené zatížení přímočarého hydromotoru
F_{dx}	[N]	složka síly F_d v ose x
F_{dy}	[N]	složka síly F_d v ose y
$F_{\check{s}}$	[N]	síla působící v ose šroubu
G	[kg]	hmotnost břemene
g	[ms ⁻¹]	tíhové zrychlení
i	[-]	počet stupňů volnosti soustavy
I_r	[m]	vzdálenost ok přímočarého hydromotoru
k_{cs}	[-]	bezpečnost čepu
K_k	[-]	součinitel volené bezpečnosti
k_{ot}	[-]	bezpečnost v otlačení čepu



L	[m]	délka pláště přímočarého hydromotoru
l	[m]	vzdálenost os šroubu od kraje desky
$L_{\check{c}}$	[m]	délka čepu
M_{a1}	[Nm]	momentové zatížení k vazbě A ve střední poloze ramene
M_{a2}	[Nm]	momentové zatížení k vazbě A v horní poloze ramene
M_{a3}	[Nm]	momentové zatížení k vazbě A ve spodní poloze ramene
M_o	[Nm]	ohybový moment
$M_{o\max}$	[Nm]	maximální ohybový moment
n	[-]	počet členů
p_D	[MPa]	dovolené míjivé napětí v tlaku
p_{ot}	[MPa]	tlak v uložení čepu
R_e	[MPa]	mez kluzu materiálu
$S_{\check{c}}$	[m ²]	plocha čepu
W_o	[m ³]	průřezový modul v ohybu
x_1	[m]	kolmá vzdálenost od síly k řezu I
x_2	[m]	kolmá vzdálenost od síly k řezu II
Z	[m]	zdvih přímočarého hydromotoru
η	[-]	počet deformačních parametrů
μ	[-]	celkový počet neznámých nezávislých parametrů
μ_M	[-]	neznámé nezávislé momentové parametry
μ_M	[-]	neznámé nezávislé momentové parametry
μ_r	[-]	neznámé nezávislé polohové parametry
ν	[-]	celkový počet neznámých silových účinků
ν_F	[-]	počet silových statických podmínek
ν_M	[-]	počet momentových statických podmínek
ν_M	[-]	počet momentových statických podmínek
ξ	[-]	počet stupňů volnosti
σ_D	[MPa]	dovolené napětí v ohybu
σ_{DOV}	[MPa]	dovolené napětí v ohybu
τ_{DS}	[MPa]	dovolené napětí ve střihu
τ_s	[MPa]	smykové napětí



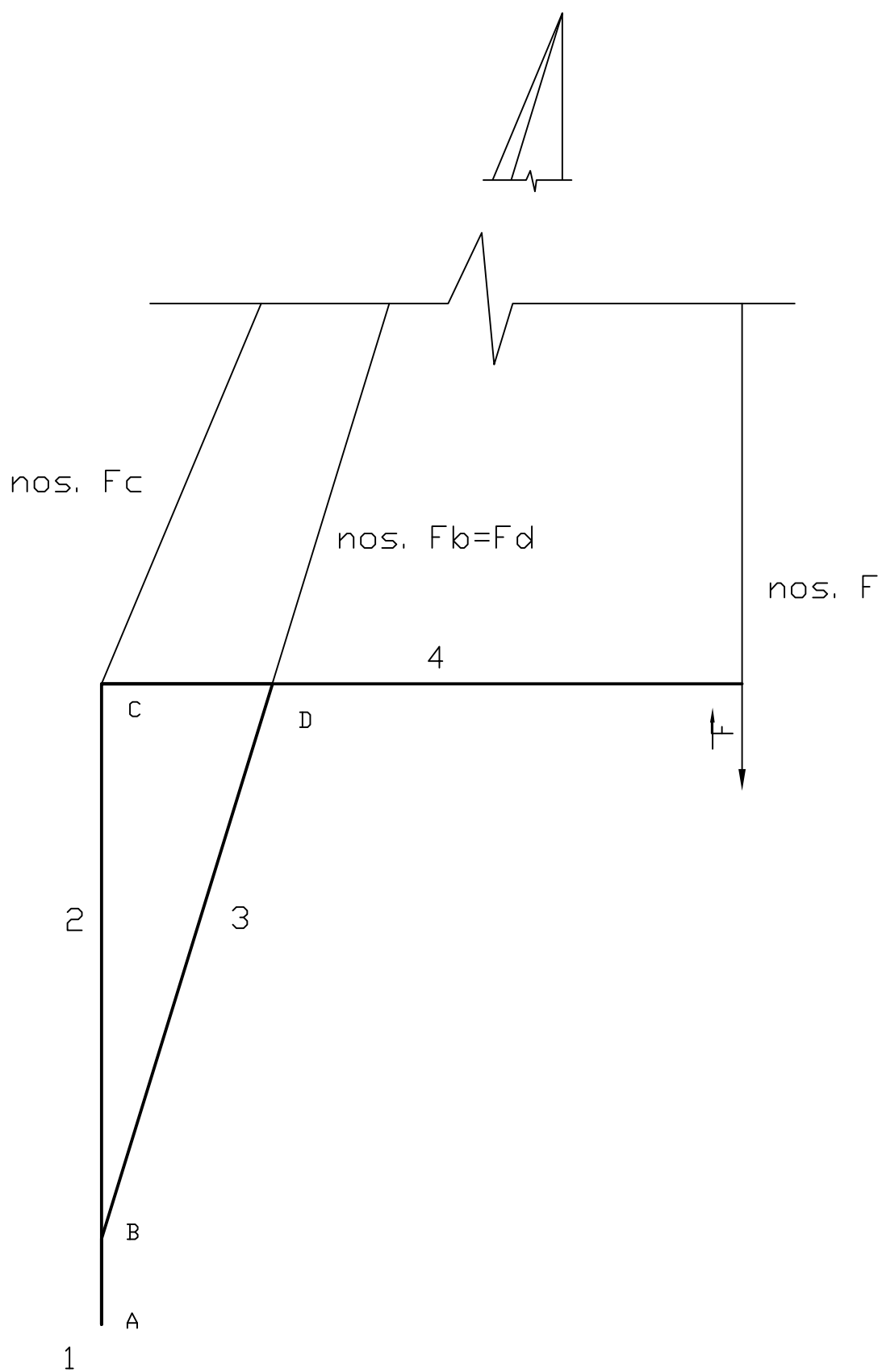
SEZNAM PŘÍLOH

Grafická metoda řešení sil ve vazbách:

Rameno ve střední poloze ramene	P-01
Rameno v horní poloze ramene	P-02
Rameno ve spodní poloze ramene	P-03
3D model v horní poloze ramene	P-04
3D model ve střední poloze ramene	P-05
3D model ve spodní poloze ramene	P-06

Výkresová dokumentace:

Sestava nakládacího jeřábu	1-FDS01
Kusovník list 1	1-FDS02
Kusovník list 2	1-FDS02
Sestava svarků ramene	2-FDS01
Sestava svarků sloupu	2-FDS02
Sestava svarků výložníku	2-FDS03



P-01 Grafické řešení sil ve střední poloze ramene

nos. F_c

nos. $F_b = F_d$

nos. F

4

D

C

3

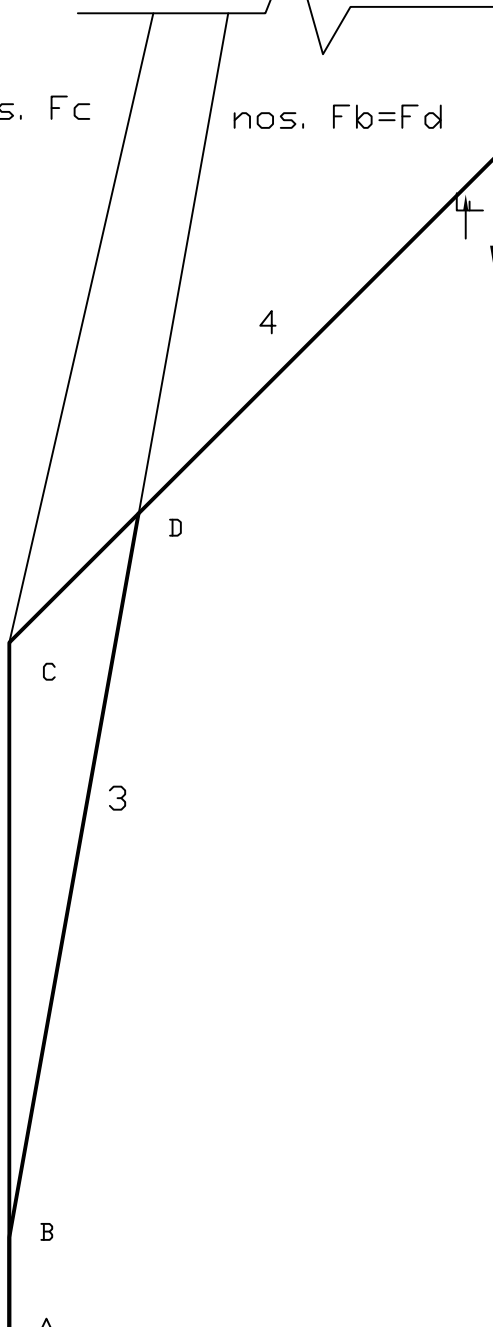
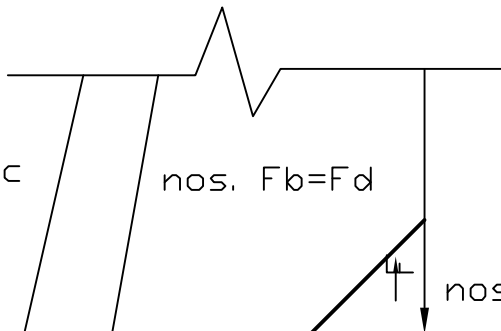
2

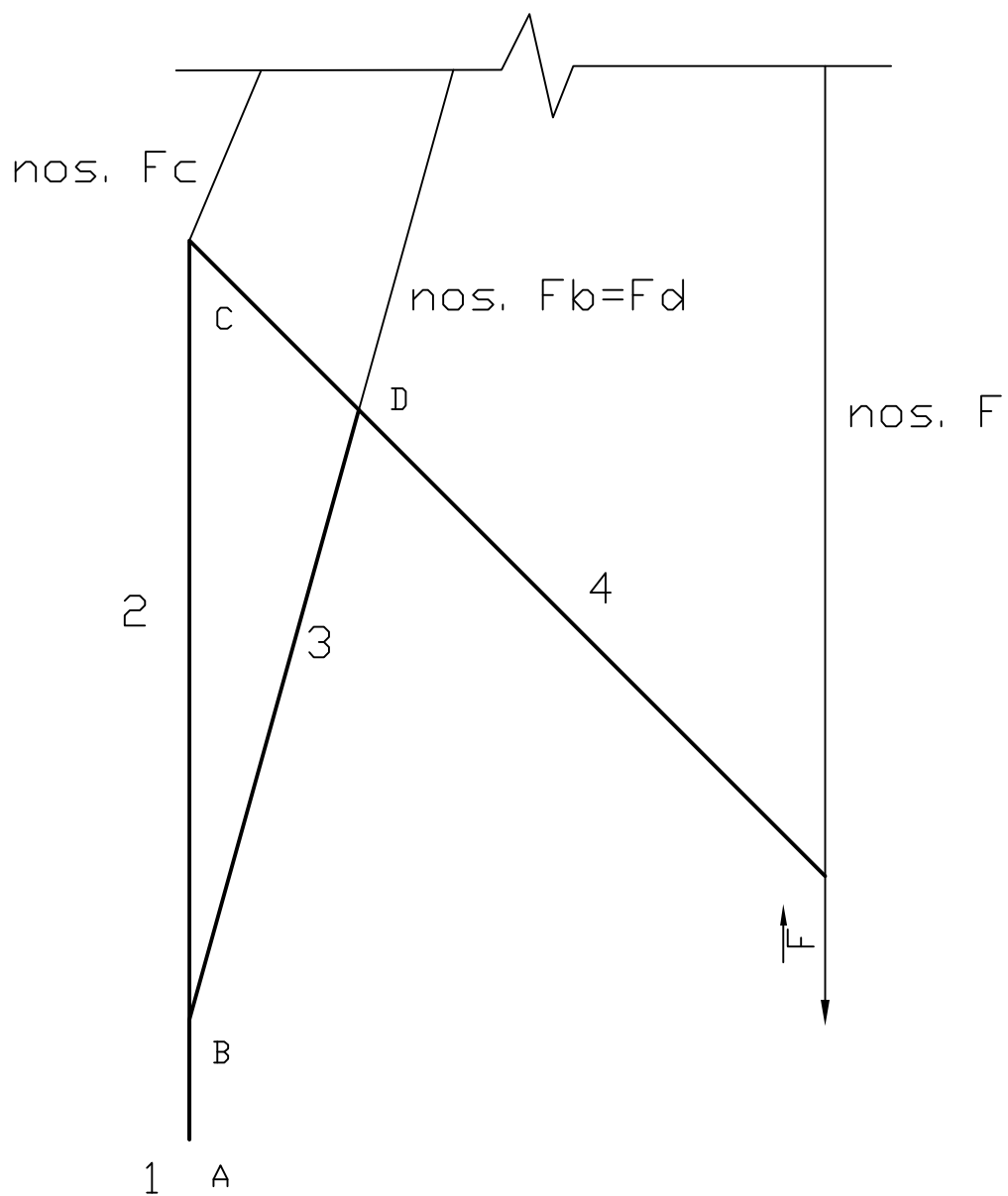
B

A

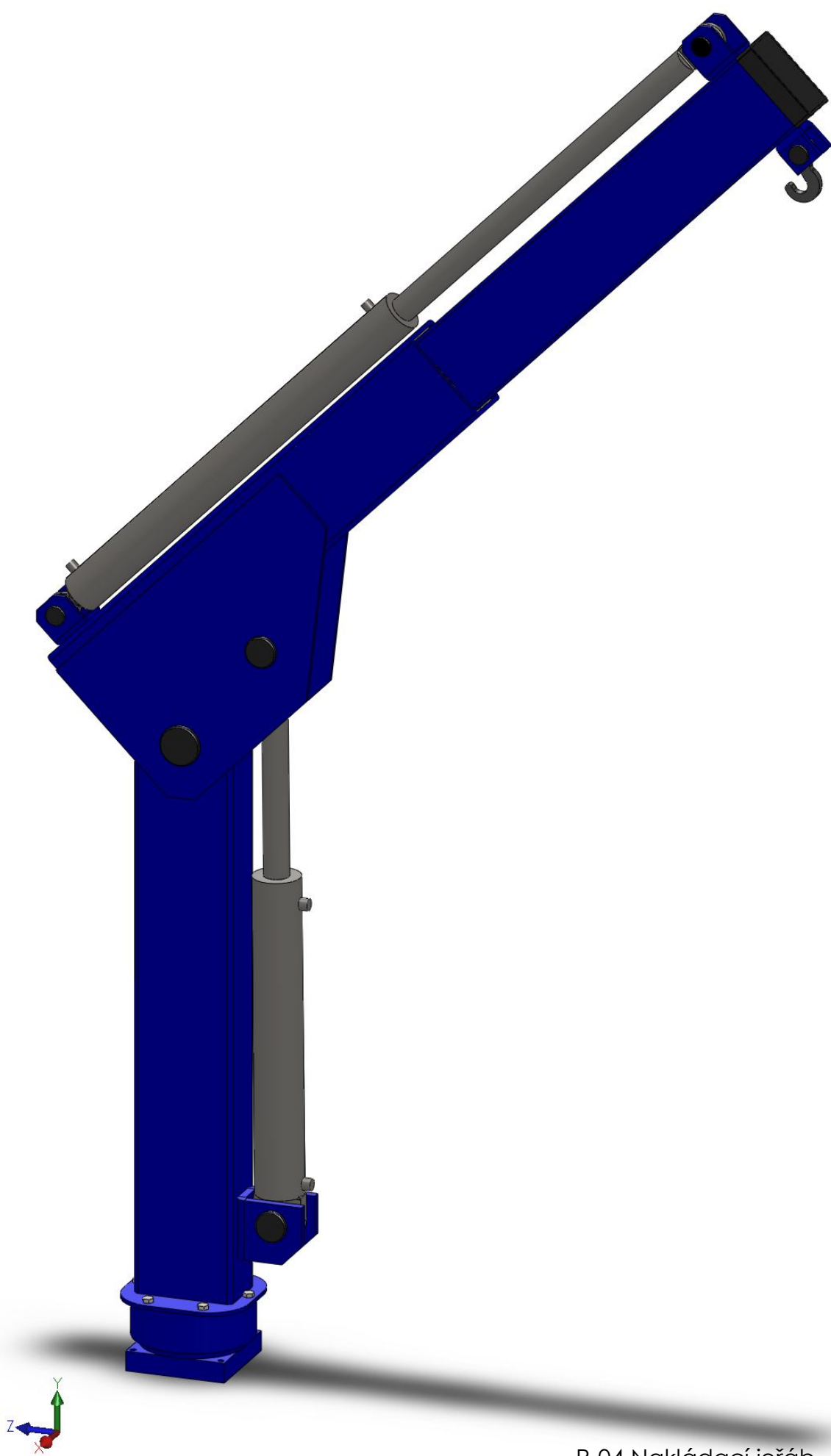
1

P-02 Grafické řešení sil v horní poloze ramene

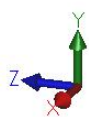
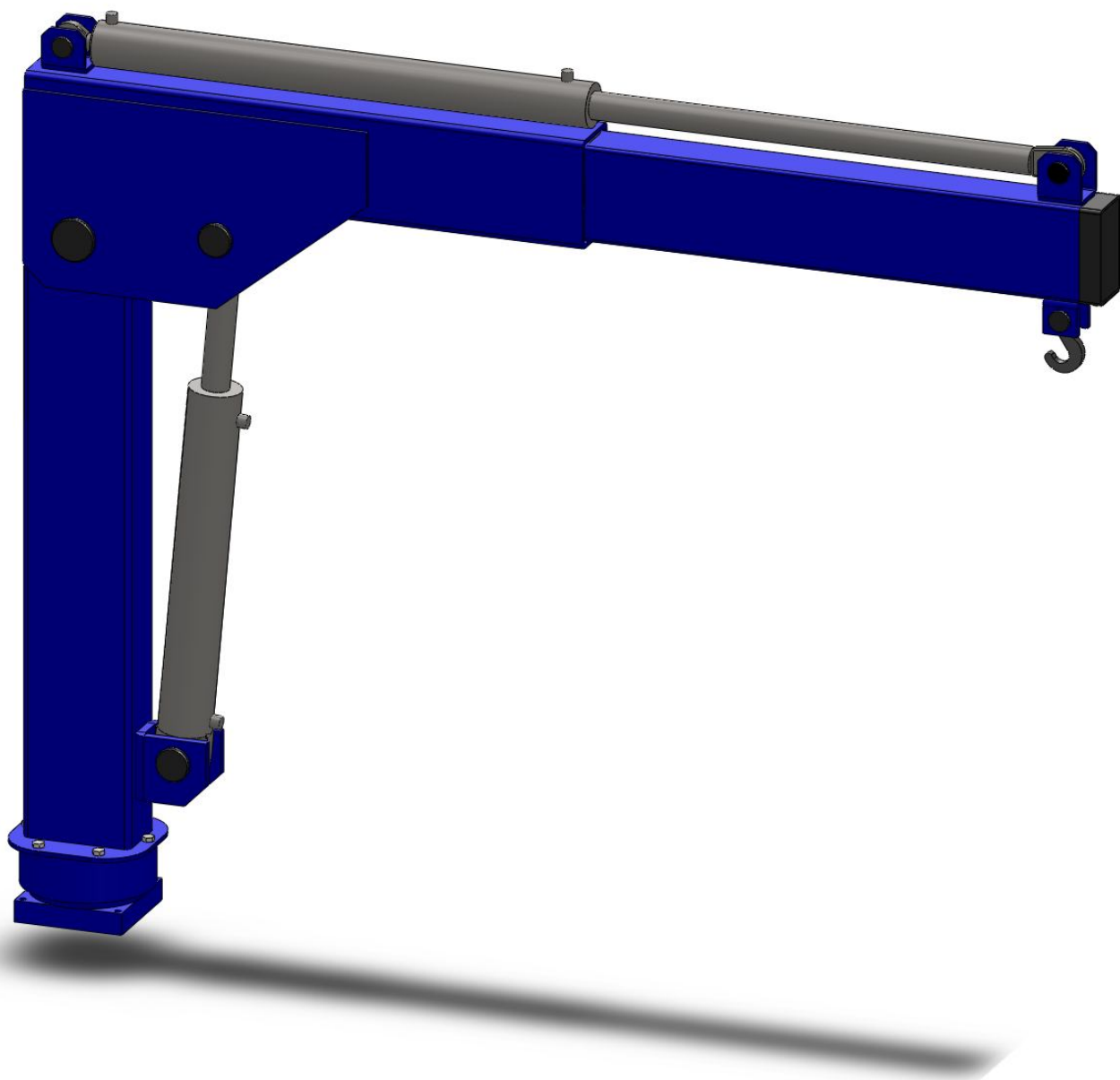


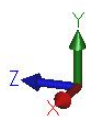
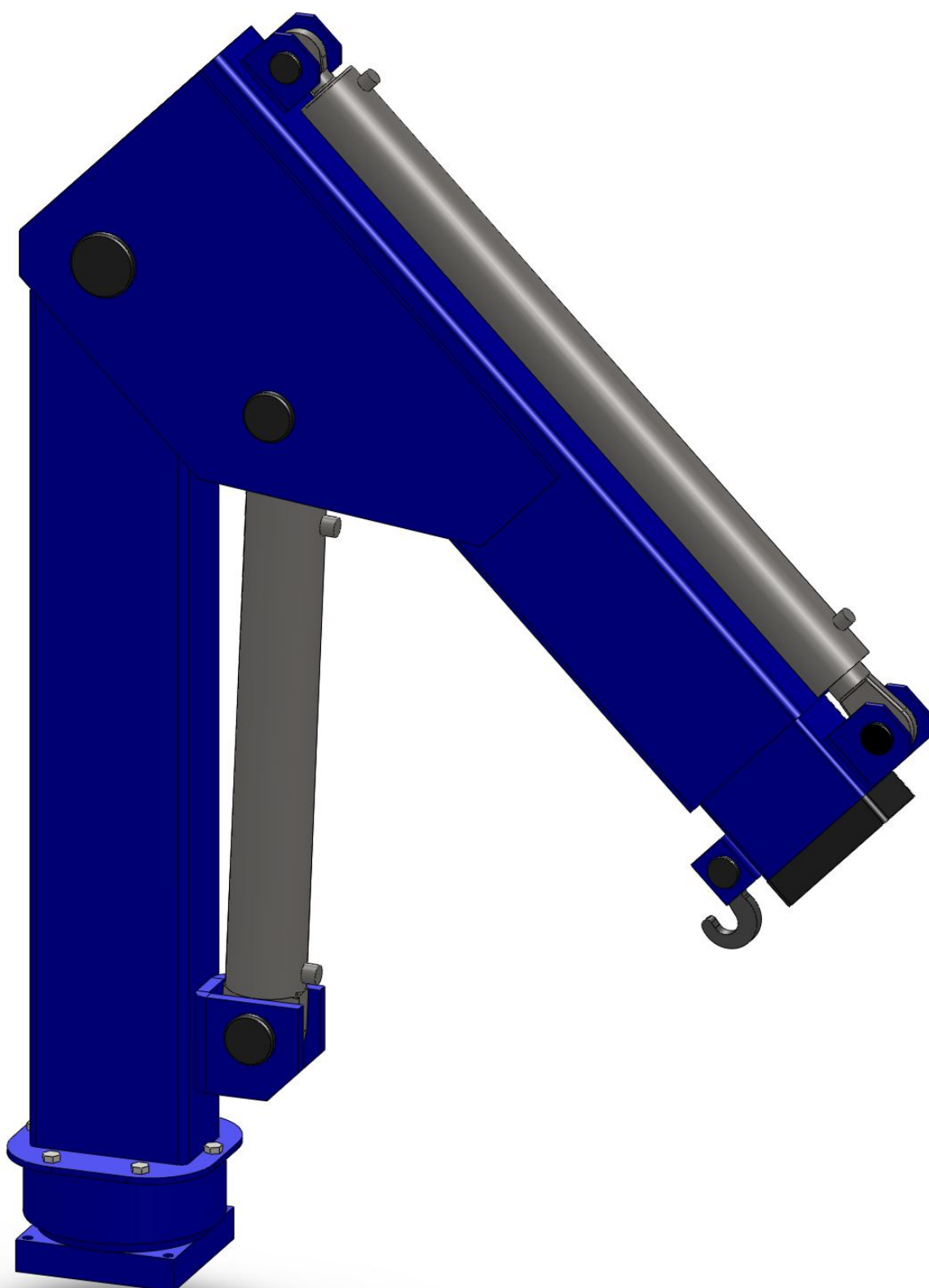


P-03 Grafické řešení sil ve spodní poloze ramene



P-04 Nakládací jeřáb - horní poloha





P-06 Nakládací jeřáb - spodní poloha