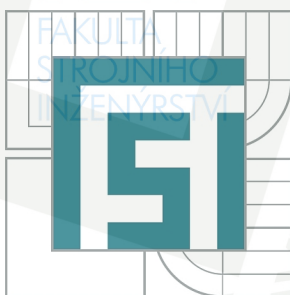


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MANIPULÁTOR PRO LETECKÉ AGREGÁTY

MANIPULATOR FOR AIR COMPONENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VLADIMÍR KAŠE

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MIROSLAV ŠKOPÁN, CSc.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Vladimír Kaše

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:

Manipulátor pro letecké agregáty

v anglickém jazyce:

Manipulator for air component

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Konstrukční návrh pojízdného manipulátoru pro manipulaci s díly při opravách vrtulníků.

Základní technické parametry:

Nosnost .. 250 kg

výška zdvihu závěsu .. 5 m

Manipulátor řešte jako vlečný

Cíle bakalářské práce:

Technická zpráva obsahující:

- koncepce navrženého řešení,
- funkční výpočet zařízení, návrh jednotlivých komponent,
- pevnostní výpočet a další výpočty dle vedoucího BP

Výkresová dokumentace obsahující:

- celková sestava zařízení
- podsestavy a výrobní výkresy dle pokynů vedoucího BP

Seznam odborné literatury:

1. POLÁK, J.: Dopravní a manipulační zařízení II., 1. vyd., Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2003, 104 s., ISBN: 80-248-0493-X
2. PAVLISKA, J., HRABOVSKÝ, L.: Dopravní a manipulační zařízení IV, 1. vyd., Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004, 128 s., ISBN: 80-248-0537-5
3. GAJDŮŠEK, J.; ŠKOPÁN, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, skripta VUT Brno, 1988



Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 20.11.2009

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt:

Bakalářská práce řeší konstrukční návrh mobilního manipulátoru pro letecké agregáty. Cílem je navržení hlavních nosných segmentů. Jedná se o jejich navržení pomocí návrhového výpočtu a provedení kontrolního výpočtu. Manipulátor umožňuje manipulaci s agregáty do maximální výšky 5 metrů a maximální hmotnosti 250 kilogramů.

Klíčová slova:

Manipulátor, výložník, rám manipulátoru, hydraulický systém, pevnostní výpočet

Abstract:

The bachelor's thesis has solved the design proposal of the mobile manipulator for the aero-aggregates. The goal is to design main carrier units. The design has been proposed by means of the project calculation and performing the check calculation. The manipulator is enabling manipulation with the aggregates up to the maximum height of 5 metres and maximum weight of 250 kg.

Keywords:

Manipulator, jib, manipulator frame, hydraulic system, strenght calculation



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KAŠE, V. *Manipulátor pro letecké agregáty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 60 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.



VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce pana doc. Ing. Miroslava Škopána, CSc. a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne

.....

Vladimír Kaše

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mně byli nápomocni při tvorbě bakalářské práce. Zejména vedoucímu práce doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, CSc za cenné rady a poskytnutí informací ke splnění této závěrečné práce.

Dále bych poděkoval mojí rodině, která se stala mojí oporou v celém období studia na vysoké škole.

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Obsah

1	Úvod	13
1.1	Cíle práce	13
2	Volba konstrukce	13
2.1	Bližší specifikace návrhu	13
3	Návrhový výpočet	14
3.1	Návrh výložníku	14
3.1.2	Výpočet prostorové příhradové konstrukce	17
3.1.3	Výpočet nosníku pro uchycení pístnice hydromotoru	19
3.1.4	Výpočet dílu pro uchycení oka	21
3.1.4.1	Základní poloha	21
3.1.4.2	Poloha při maximálním zdvihu	22
3.1.5	Volba materiálu výložníku	22
3.1.6	Výpočet napětí v konstrukci výložníku	23
3.2	Návrh nosného rámu	23
3.2.1	Výpočet rámu	23
3.2.2	Volba materiálu rámu	24
3.2.3	Výpočet napětí v konstrukci rámu	24
3.2.4	Pojezdová kola manipulátoru	24
3.3	Návrh hydraulického systému	25
3.3.1	Hydraulický obvod manipulátoru	25
3.3.2	Hydromotor	26
3.3.3	Hydraulický agregát	26
3.3.3.1	Základní výpočty pro volbu hydraulického agregátu	26
3.3.3.2	Volba hydraulického agregátu	27
3.4	Návrh elektrického zapojení	28
4	Kontrolní výpočty	29
4.1	Kontrola stability na překlopení	29
4.1.1	Výpočet stability	30
4.2	Kontrola hydromotoru na vzpěr	30
4.2.1	Rovnice pro výpočet sil a napětí působící na pístnici hydromotoru	31
4.2.2	Výpočet v základní poloze při maximálním zatížení	31
4.2.3	Výpočet v poloze při maximálním zdvihu a při maximálním zatížení	32
4.2.4	Diagram vzpěrné pevnosti	33
4.3	Šroub uchycení výložníku	33
4.4	Šroub uchycení válce a pístnice hydromotoru	34
4.5	Osa zadních kol	35
4.6	Osa předního otočného kola	36
4.7	Manipulační oje	38
4.8	Kontrolní výpočet hydraulického systému	39
5	Závěr	40
6	Seznam použitých zdrojů	41
7	Seznam použitých zkratk a symbolů	42
8	Seznam obrázků	45
9	Seznam tabulek	45
10	Seznam příloh	46



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ



FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

1 Úvod

V současné době je stále aktuální používat při opravách, výměnách agregátů v leteckém provozu speciální manipulační prostředky. Za tímto účelem byla vypracována moje bakalářská práce, kterou tvoří kompletní návrh konstrukce mobilního manipulátoru. Manipulátor bude používán jak v uzavřených prostorách, tak i mimo tyto prostory, na otevřených plochách letiště. Manipulace s materiálem bude prováděna na betonových, asfaltových, tak i na zpevněných travnatých plochách. Manipulátor je složen ze dvou hlavních celků svařované konstrukce. Manipulaci s břemenem zajišťuje výložník, který je ovládán hydraulickým systémem. Pohyb po zemi je zajištěn vlastní silou člověka, nebo může být vlečen za vozidlem.

1.1 Cíle práce

Cílem bakalářské práce je navrhnout manipulátor pro manipulaci s leteckými agregáty, díly při jejich opravách, či výměnách při vypršení jejich životnosti. Navrhnout konstrukci výložníku na základě zadaných parametrů maximálního zatížení a maximálního zdvihu. Vyřešit ovládání výložníku. Dále navrhnout nosný rám manipulátoru s možností pohybu při vlečení, nebo při samotné manipulaci s materiálem.

Cílem práce není navržení systému uchycení materiálu. Přípravky k uchycení agregátů, dílů jsou součástí soupravy pro manipulaci s agregáty dodány výrobcem konkrétní letecké techniky.

2 Volba konstrukce

Volba konstrukce manipulátoru vyplývá ze zadání práce. Byla zadána jen tíha břemene a maximální zdvih manipulátoru. Jako řešení jsem zvolil příhradovou konstrukci výložníku uchycenou na pojízdném rámu s otočným kolečkem, na které je upevněno manipulační oje. Tím je zabezpečen neomezený pohyb po zemi při manipulaci s materiálem. Současně s pohybem po zemi můžeme zvedat či spouštět výložník s břemenem.

2.1 Bližší specifikace návrhu

- **Výložník**

Výložník je řešen jako příhradová konstrukce, svařená z bezešvých trubek, na rozšířeném konci je navařeno uchycení pro otočný spoj. Na užším konci je přivařeno z plechu uchycení pro oko. Část výložníku, která je určena pro uchycení pístnice hydromotoru a je svařena ze tří ocelových plochých tyčí válcovaných za tepla.

- **Rám**

Hlavní nosný rám je svařen z jáklí profilu. Na tento rám je přivařena pomocná konstrukce tvořená také z jáklí profilu, ke které je otočně přimontován výložník. Dále je k rámu přivařen přední otočný uzel pro uchycení kola a konzola uchycení přímočarého hydromotoru. Na konci rámu jsou přivařeny konzoly z plechu pro uchycení pojezdových kol.

- **Kola rámu**

Kola podvozku jsou se vzduchovou pneumatikou s diskem s lisované oceli. V discích jsou vložena kuličková ložiska.

- **Vlečné a manipulační oje**

Manipulační a zároveň vlečné oje je svařeno z bezešvé trubky. Na konci oje jsou přivařeny náboje pro uchycení osy předního otočného kola.

- **Hydraulický systém**

Hydraulický systém je tvořen hydrogenerátorem, který pohání elektromotor na 24V. Hydrogenerátor tlakovou kapalinou přes sestavu ventilů a škrtičů pohání přímočarý hydromotor, který ovládá výložník.

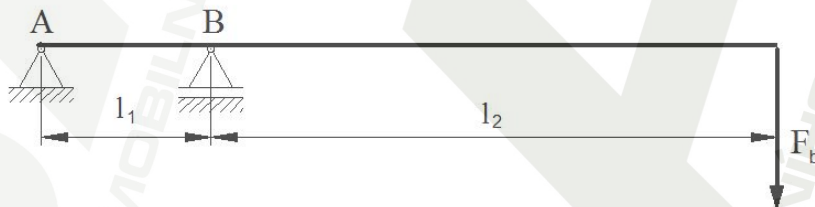
- **Doplňkové vybavení**

Protože manipulátor je řešen jako mobilní, tak má záložní zdroj elektrické energie pro elektromotor hydrogenerátoru. Je použit akumulátor na 24 V. Může být použito i připojení na externí zdroj energie.

3 Návrhový výpočet

3.1 Návrh výložníku

3.1.1 Výpočet zatěžujících sil a momentů



Obr. 1 Výpočtový prutový model výložníku

Znamé hodnoty: $m_b = 250 \text{ kg}$

Navržené vzdálenosti: $l_1 = 0,8 \text{ m}$

$$g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$$

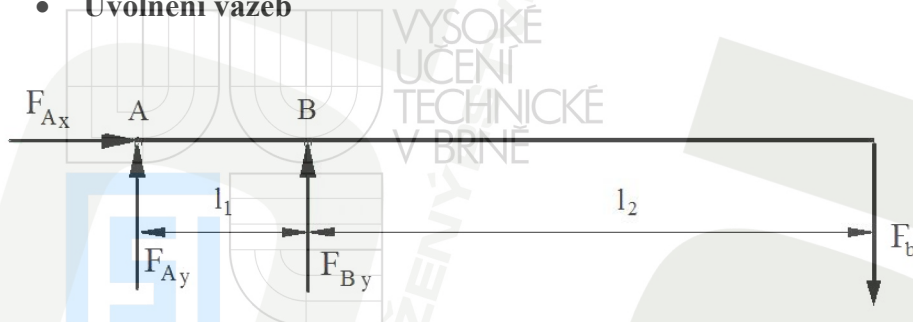
$$l_2 = 4,5 \text{ m}$$

$$F_b = m_b g \Rightarrow F_b = 250 \cdot 9,81$$

(3.1)

$$F_b = 2453 \text{ N}$$

• Uvolnění vazeb



Obr. 2 Nahrazení vazeb vazebními silovými účinky

A rotační vazba – $\xi_i = 2$ [2], str. 100

B obecná vazba – $\xi_i = 1$

• Statické podmínky pro silovou rovnováhu

$$s = \mu - v \quad [2], \text{str. 109} \quad (3.2)$$

$s = 3 - 3 \Rightarrow s = 0 \Rightarrow$ prut je staticky uložen

• Podmínky statické rovnováhy dle obr. 2

$$\sum F_i x = 0; \quad F_{Ax} = 0 \quad (3.3)$$

$$\sum F_i y = 0; \quad F_{Ay} + F_{By} - F_b = 0 \quad (3.4)$$

$$\sum M_{iO} = 0; \quad F_{By} l_1 - F_b (l_2 + l_1) = 0 \quad (3.5)$$

• Výpočet výsledných stykových sil

$$F_{By} = \frac{F_b (l_2 + l_1)}{l_1} \Rightarrow \frac{2453 \cdot (4,5 + 0,8)}{0,8} = 16251 \text{ N} \quad (3.6)$$

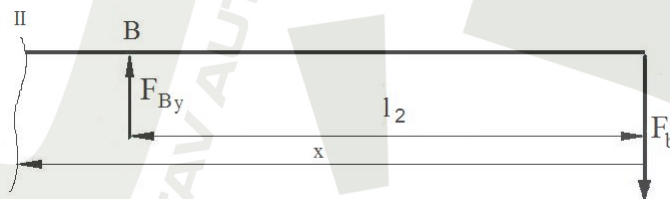
$$F_{Ay} = -F_b \frac{l_2}{l_1} \Rightarrow F_{Ay} = -2453 \cdot \frac{4,5}{0,8} = -13798 \text{ N} \quad (3.7)$$

$$F_{Ax} = 0 \text{ N} \quad (3.8)$$

• Průběhy výsledných vnitřních účinků na prutovém modelu výložníku



Obr. 3 Interval I



Obr. 4 Interval II

Interval I:

$$x \in \langle 0; l_2 \rangle \Leftrightarrow \langle 0; 4,5 \rangle \quad (3.9)$$

$$F_x: N_I = 0N \quad (3.10)$$

$$F_y: T_I = F_b \Rightarrow T_I = 2453N \quad (3.11)$$

$$M_O: M_{O_I} = F_b x \Rightarrow 2453 \cdot \langle 0; 4,5 \rangle = \langle 0; 11039 \rangle Nm \quad (3.12)$$

Interval II:

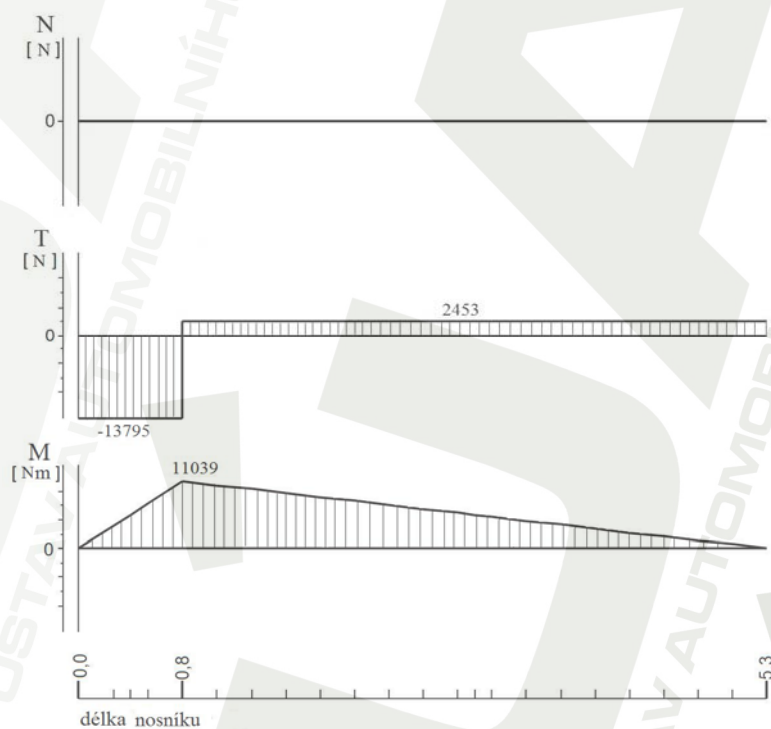
$$x \in \langle l_2; l_1 \rangle \Leftrightarrow \langle 4,5; 5,3 \rangle \quad (3.13)$$

$$F_x: N_{II} = 0N \quad (3.14)$$

$$F_y: T_{II} = F_b - F_{By} \Rightarrow T_{II} = 2453 - 16251 = -13798N \quad (3.15)$$

$$M_O: M_{O_{II}} = F_b x - (x - l_2) \Rightarrow 2453 \cdot \langle 4,5; 5,3 \rangle - 16251 \cdot [\langle 4,5; 5,3 \rangle - 4,5] \quad (3.16)$$

$$M_{O_{II}} = \langle 11039; 0 \rangle Nm$$



obr 5. VVÚ na prutovém modelu výložníku

3.1.2 Výpočet prostorové příhradové konstrukce

Výpočet normálových sil a reakcí ve vazbách navrženého výložníku, byly vypočítány v programu IDA Nexis 32 3.30.08.

- **Statická vnější určitost:**

Nutná podmínka vnější statické určitosti prostorové konstrukce.

$$\nu = \mu_A \quad [2], \text{str. 140} \quad (3.17)$$

$$\nu = \mu_A \Rightarrow 6 = 6 \quad (3.18)$$

Z toho plyne že soustava je vně staticky určitá.

- **Statická vnitřní určitost:**

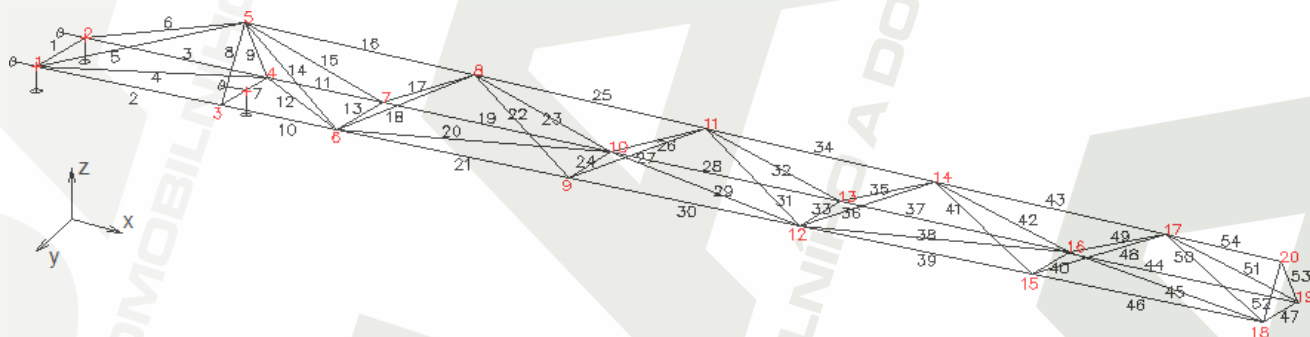
Nutná podmínka vnitřní statické určitosti prostorové konstrukce

$$p = 3k - 6 \quad [2], \text{str. 140} \quad (3.19)$$

$$k = 20; \quad p = 54$$

$$p = 3k - 6 \Rightarrow 54 = (3 \cdot 20) - 6 \Rightarrow 54 = 54 \quad (3.20)$$

Z výpočtu plyne, že prutová soustava je vnitřně staticky určitá.



Obr. 6 Výpočtová prostorová příhradová konstrukce výložníku

Na obr. 6 červeně jsou označeny styčníky a černě jsou označeny jednotlivé pruty.

- **Tabulka styčníků**

Pro provedení výpočtu v programu IDA Nexis 32 3.30.08, byla vytvořena tabulka se souřadnicemi jednotlivých styčníků. [1], str. 47

	číslo styčníku																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x	0	0	800	800	800	1300	1300	1800	2300	2300	2800	3300	3800	3800	4300	4300	4800	5300	5300	5300
y	-175	175	-169	169	0	-168	168	0	-154	154	0	-145	145	0	-136	136	0	-125	125	0
z	0	0	0	0	303	0	0	284	0	0	266	0	0	247	0	0	229	0	0	217

Tab. 1 Souřadnice styčnic [mm]

• **Sílové reakce ve vazbách:**

Výpočet silových reakcí a normálových sil na prutech navrženého výložníku, byly vypočítány v programu IDA Nexis 32 3.30.08.

vazba 1 $F_{1z} = -7313N$

vazba 2 $F_{2z} = -7313N$

vazba 3 $F_{3z} = 17226N$

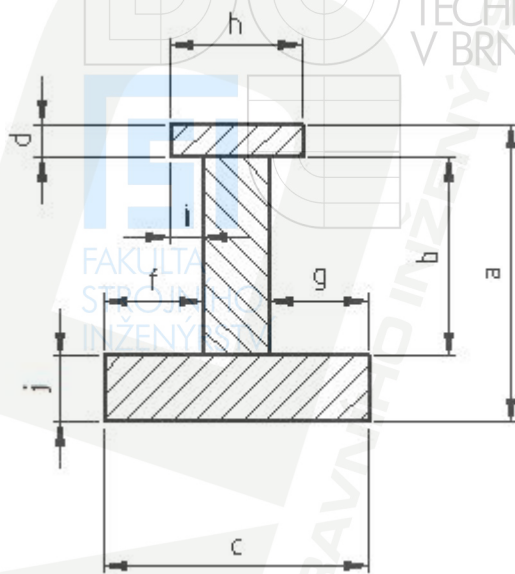
• **Normálové síly v jednotlivých prutech při maximálním povoleném zatížení :**

$N_1 = -4040 N$	$N_2 = -19307 N$	$N_3 = -13502 N$	$N_4 = -6319 N$	$N_5 = 21485 N$
$N_6 = 20\ 661 N$	$N_7 = 7155 N$	$N_8 = -10031 N$	$N_9 = -9692 N$	$N_{10} = -19307 N$
$N_{11} = -19307 N$	$N_{12} = 0 N$	$N_{13} = 221 N$	$N_{14} = 1934 N$	$N_{15} = 1934 N$
$N_{16} = 35441 N$	$N_{17} = -2032 N$	$N_{18} = -2032 N$	$N_{19} = -16023 N$	$N_{20} = 0 N$
$N_{21} = -16023 N$	$N_{22} = 2190 N$	$N_{23} = 2190 N$	$N_{24} = -76 N$	$N_{25} = 28368 N$
$N_{26} = -2305 N$	$N_{27} = -2305 N$	$N_{28} = -12219 N$	$N_{29} = 0 N$	$N_{30} = -12219 N$
$N_{31} = 2434 N$	$N_{32} = 2434 N$	$N_{33} = 8 N$	$N_{34} = 20277 N$	$N_{35} = -2583 N$
$N_{36} = -2583 N$	$N_{37} = -7895 N$	$N_{38} = 0 N$	$N_{39} = -7895 N$	$N_{40} = 12 N$
$N_{41} = 2793 N$	$N_{42} = 2793 N$	$N_{43} = 10926 N$	$N_{44} = -2839 N$	$N_{45} = 0 N$
$N_{46} = -2839$	$N_{47} = -741 N$	$N_{48} = -2793$	$N_{49} = -2973 N$	$N_{50} = 3202 N$
$N_{51} = 3202 N$	$N_{52} = 0 N$	$N_{53} = 0 N$	$N_{54} = 0 N$	

Podrobné výsledky vypočtených normálových sil ve stavu maximálního zatížení od břemena a zatížení od vlastní hmotnosti je uveden v příloze 1.

3.1.3 Výpočet nosníku pro uchycení pístnice hydromotoru

Viz obr. 6 prut číslo 7



Rozměry:

$$a = 45 \text{ mm}$$

$$b = 30 \text{ mm}$$

$$c = 40 \text{ mm}$$

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

$$f = 15 \text{ mm}$$

$$g = 15 \text{ mm}$$

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

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

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

Obr. 7 Profil nosníku uchycení válce hydromotoru

- Ohybový moment

$$l_7 = 0,336m$$

$$F_{3z} = 17226N$$

$$M_{O_{\max}} = \frac{Fl}{4} [Nm] \quad [3], \text{str. 45} \quad (3.21)$$

$$M_{O_7} = \frac{1}{4} F_{3z} l_7 \Rightarrow M_{O_7} = \frac{17226 \cdot 0,336}{4} = 1447 Nm \quad (3.22)$$

- Těžiště

$$xT = \frac{\sum_{i=1}^n x_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}; \quad yT = \frac{\sum_{i=1}^n y_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} [m] \quad [8] \quad (3.23)$$

Dosazení do rovnic (3.23) vychází z obr. 7

$$xT = \frac{c}{2} \Rightarrow xT = \frac{0,04}{2} = 0,02m \quad (3.24)$$

$$yT = \frac{\frac{a}{2}(a.c) - 2\left[\left(j + \frac{b}{2}\right)bg\right] - 2\left[\left(j + b + \frac{d}{2}\right)d(f-i)\right]}{(ac) - 2(bg) - 2[d(f-i)]} \quad (3.25)$$

$$yT = \frac{\frac{45}{2}(45.40) - 2\left[\left(10 + \frac{30}{2}\right)30.15\right] - 2\left[\left(10 + 30 + \frac{5}{2}\right)5(15-5)\right]}{(45.40) - 2(30.15) - 2[5(15-5)]} \quad (3.26)$$

$$yT = 17,18.10^{-3}m$$

• **Kvadratický moment průřezu**

Z předchozího výpočtu mohu stanovit vzdálenost vlákna e_1, e_2

$$e_1 \equiv yT; e \equiv a \Rightarrow e_2 = a - e_1 \quad (3.27)$$

$$I_x = \frac{1}{3}(Be_1^3 - bh^3 + ae^3) \quad [m^4] \quad [3], \text{str. 45} \quad (3.28)$$

Do vzorce dosazeny hodnoty dle obr. 7.

$$I_x = \frac{1}{3}[ce_1^3 - (f+g)(e_1-j)^3 + he^3] \quad [m^4] \quad (3.29)$$

$$I_x = \frac{1}{3}(0,04.0,01718^3 - 0,03.0,00718^3 + 0,02.0,045^3) \Rightarrow I_x = 6,714.10^{-7}m^4$$

• **Průřezový modul v ohybu**

$$W_{O_1} = \frac{I_x}{e_1} \Rightarrow W_{O_1} = \frac{6,714.10^{-7}}{17,18.10^{-3}} = 3,908.10^{-5}m^3 \quad [3], \text{str. 41} \quad (3.30)$$

$$W_{O_2} = \frac{I_x}{e_2} \Rightarrow W_{O_2} = \frac{6,714.10^{-7}}{27,82.10^{-3}} = 2,4134.10^{-5}m^3 \quad [3], \text{str. 41} \quad (3.31)$$

• **Napětí v ohybu**

$$\sigma_{\max} = \frac{M_o}{W_o} [MPa] \quad (3.32)$$

$$\sigma_1 = \frac{M_{o_{\max}}}{W_{O_1}} \Rightarrow \sigma_1 = \frac{1447}{3,908.10^{-5}} = 37,026MPa \quad (3.33)$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{o_{\max}}}{W_{O_2}} \Rightarrow \sigma_2 = \frac{1447}{2,4134.10^{-5}} = 59,957MPa \quad (3.34)$$

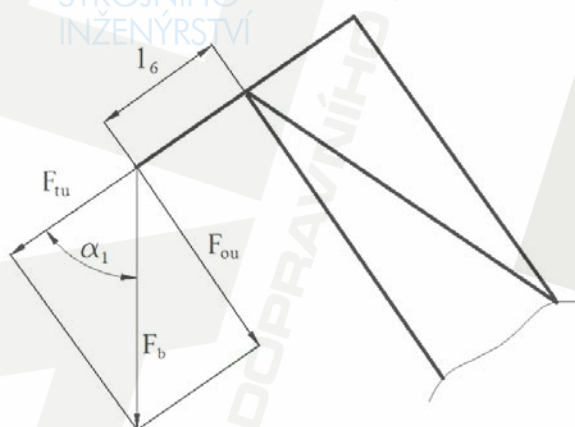
Pro střídavé zatížení v ohybu při použití materiálu 11 375, S 355J2 EN dle 10025-2 je dovolené napětí podle tabulek $\sigma_{dov} = 50 \div 75 \text{ MPa}$ [3], str. 55

$$\sigma_1 < \sigma_{dov} \quad (3.35)$$

$$\sigma_2 = \sigma_{\max}; \sigma_2 \in \sigma_{dov} \quad (3.36)$$

Navržený tvar nosníku pro namáhání v ohybu vyhovuje.

3.1.4 Výpočet dílu pro uchycení oka

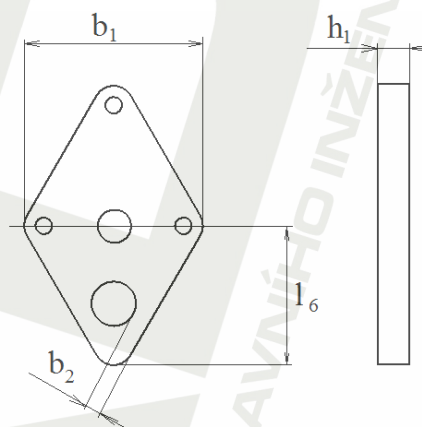


Obr.8 Schéma koncové části dílu uchycení oka
při maximálním zdvihu výložníku

$$l_6 = 0,249 \text{ m}$$

$$F_b = 2453 \text{ N}$$

$$\alpha_1 = 50^\circ$$



Obr.9 Tvar dílu uchycení oka

$$b_1 = 0,32 \text{ m}$$

$$b_2 = 0,033 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,01 \text{ m}$$

3.1.4.1 Základní poloha

V základní poloze, při maximálním zatížení působí na díl pouze tahová síla F_b . Dovolené napětí v tahu, při střídavém zatížení konstrukční oceli 11 503 je podle tabulky $\sigma_{Do} = 65 \div 95 \text{ MPa}$ [3], str. 54

Dosazeno dle obr.8 a obr. 9

$$S_u = 2(b_2 h_1) \Rightarrow S_u = 2 \cdot (0,033 \cdot 0,01) = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (3.37)$$

$$\sigma = \frac{N}{S} \Rightarrow \sigma_T = \frac{F_b}{S_u} \Rightarrow \sigma_T = \frac{2453}{6,6 \cdot 10^{-4}} = 3,717 \text{ MPa} \quad [4], \text{ str. 101} \quad (3.38)$$

Vypočtené $\sigma_T < \sigma_{Do}$. Napětí v tahu vyhovuje podmínkám.

3.1.4.2 Poloha při maximálním zdvihu

- **Výpočet sil**

Dosazeno dle obr. 8

$$F_{ou} = F_b \sin \alpha_1 \Rightarrow F_{ou} = 2453 \cdot \sin 50^\circ \Rightarrow F_{ou} = 1879 N \quad (3.39)$$

$$F_{tu} = F_b \cos \alpha_1 \Rightarrow F_{tu} = 2453 \cdot \cos 50^\circ \Rightarrow F_{tu} = 1577 N \quad (3.40)$$

- **Výpočet v ohybu**

Dovolené napětí v ohybu, při střídavém zatížení konstrukční oceli 11 503 je podle tabulky

$$\sigma_{Do} = 70 \div 105 MPa \quad [3], \text{str. 55}$$

$$M_{Omax} = Fl = \frac{1}{6} b \cdot h^2 \cdot \sigma_{Do} \Rightarrow \sigma_{Do} = \frac{6 \cdot F \cdot l}{b \cdot h^2} \quad [3], \text{str. 46} \quad (3.41)$$

$$M_{Omax} = F_{ou} l_6 \Rightarrow M_{Omax} = 1879 \cdot 0,249 = 467,8 Nm \quad (3.42)$$

$$\sigma_{Do} = \frac{6 l_6 F_{ou}}{b_1 h_1^2} \Rightarrow \sigma_{Do} = \frac{6 \cdot 0,249 \cdot 1879}{0,32 \cdot 0,01^2} = 87,726 MPa \quad (3.43)$$

Z výpočtu plyne, že σ_{Do} vypočtené leží v rozsahu tabulkové σ_{Do} .

- **Výpočet v tahu**

Dovolené napětí v tahu, při střídavém zatížení konstrukční oceli 11 503 je podle tabulky

$$\sigma_{Do} = 65 \div 95 MPa. \quad [3], \text{str. 54}$$

$$\sigma = \frac{N}{S} \Rightarrow \sigma_T = \frac{F_{tu}}{S_u} \Rightarrow \sigma_T = \frac{1547}{6,6 \cdot 10^{-4}} = 2,344 MPa \quad (3.44)$$

Vypočtené $\sigma_T < \sigma_{Do}$. Napětí v tahu vyhovuje podmínkám.

3.1.5 Volba materiálu výložníku

- Nejvíce namáhané pruty, horní část konstrukce: materiál 11 353.1, ČSN 426711.21 trubka bezešvá přesná kruhová 30/5 [9]
- Nejvíce namáhané pruty, hlavní nosná konstrukce: materiál 11 353.1, ČSN 426711.21 trubka bezešvá přesná kruhová 30/4 [9]
- Boční příčnickové pruty: materiál 11 353.1, ČSN 42 6711.21 trubka bezešvá přesná kruhová 20/4 [9]
- Šikmé pruty ve spodní části: materiál 11 353.1, ČSN 42 6711.21 trubka bezešvá přesná kruhová 14/3 [9]
- Nosník pro uchycení pístnice, horní díl: materiál S 235JR (1.0038) dle EN 10025-2, EN 10058 tyč ocelová plochá válcovaná za tepla 20x5 [9]
- Nosník pro uchycení pístnice, střední díl: materiál S 235JR (1.0038) dle EN 10025-2, EN 10058 tyč ocelová plochá válcovaná za tepla 30x10 [9]
- Nosník pro uchycení pístnice, dolní díl: materiál S 235JR (1.0038) dle EN 10025-2, EN 10058 tyč ocelová plochá válcovaná za tepla 40x10 [9]
- Uchycení pro oko: materiál S 355J2C+N(1.0579) dle EN 10025-2, EN 10051+A1 plech válcovaný za tepla tl. 10 mm [9]

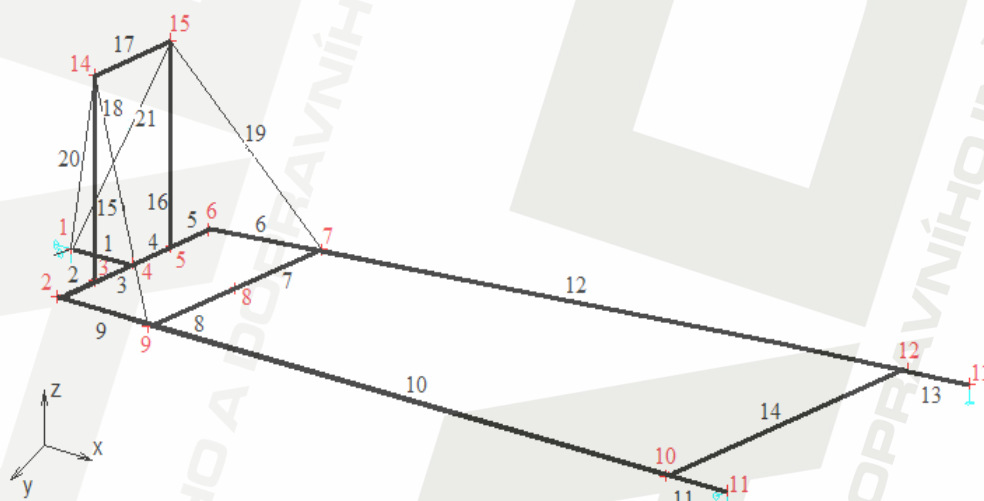
3.1.6 Výpočet napětí v konstrukci výložníku

Výpočet napětí v prutech navrženého výložníku, při přiřazení zvoleného profilu a materiálu byly vypočítány v programu IDA Nexis 32 3.30.08. Podrobné výsledky jsou přiloženy v příloze 2.

3.2 Návrh nosného rámu

3.2.1 Výpočet rámu

Výpočet normálových sil a reakcí ve vazbách navrženého rámu manipulátoru, byly vypočítány v programu IDA Nexis 32 3.30.08.



Obr. 10 Výpočtová konstrukce rámu manipulátoru

Na obr. 10 červeně jsou označeny styčné body a černě jsou označeny jednotlivé pruty rámu.

Pro provedení výpočtu byl použit program IDA Nexis 32 3.30.08. Dále byla vytvořena tabulka se souřadnicemi jednotlivých styčníků, pro zadání do výše uvedeného programu.

	číslo styčnicku														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
x	0	300	300	300	300	300	1300	800	800	3500	3800	3500	3800	300	300
y	0	-500	-250	0	250	500	547	0	-547	-800	-800	800	800	-250	250
z	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	800	800

Tab. 2 Souřadnice styčníků [mm]

- Silové reakce ve vazbách**

Vypočtené reakce ve vazbách při maximálním povoleném zatížení vychází z obr. 10, kde výpočet proveden pro nebezpečné a všechny kombinace. Zatěžovací stav 1 je od maximálního povoleného zatížení, stav 2 je zatížení od vlastní hmotnosti rámu.

podpora	uzel	stav	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]
1	1	1	0.000	-0.000	0.500
		2	0.000	0.000	1.075
2	11	1	0.000	-0.000	1.450
		2	-0.000	-0.000	0.433
3	13	1	-0.000	0.000	1.450
		2	-0.000	0.000	0.433

Tab. 3 Reakce v podporách rámu

• Síly v jednotlivých prutech při maximálním povoleném zatížení

Podrobné výsledky vypočtených silových účinků ve stavu maximálního zatížení od břemena a zatížení od vlastní hmotnosti je uveden v příloze 3.

3.2.2 Volba materiálu rámu

- Spodní část rámu: materiál S 355 J2H (1.0576) dle EN 10219-1, profil uzavřený svařovaný černý s obdélníkovým průřezem 120x80x5, ČSN EN 10219-2 [9]
- Horní část rámu: materiál S 235 JRH (1.0039) dle EN 10219-1, profil uzavřený svařovaný černý s obdélníkovým průřezem 80x40x5, ČSN EN 10219-2 [9]
- Opory nosného rámu: materiál 11 353.1, ČSN 426711.21 trubka bezešvá přesná kruhová 30/4 [9]
- Nosník uchycení výložníku: S 235 JR (1.0038) dle EN 10025-2, profil otevřený průřezu U, rovnoramenný 80x40x3, EN 10162 [9]
- Manipulační oje: materiál 11 353.1, ČSN 42 6711.21 trubka bezešvá přesná kruhová 20/4 [9]
- Přední otočný uzel, střední žebro konzoly uchycení zadních kol, podlah rámu v přední části: materiál S 355J2C+N(1.0579) dle EN 10025-2, EN 10051+A1 plech válcovaný za tepla tl. 10 mm [9]
- Náboj zadních kol a náboj otočného kola, vymežovací kroužky: materiál S 355J2C+C (1.0579) dle EN 10277-2, tyč kruhová tažená za studena, EN 10278, úchylka h9, průměr 60 [9]
- Horní a spodní část žebra konzoly uchycení zadních kol: materiál S 235JR (1.0038) dle EN 10025-2, tyč ocelová plochá válcovaná za tepla, EN 10058, rozměr 45x5 [9]
- Podlaha v rámu, střední část konzoly zadních kol: materiál S 355J2C+N(1.0579) dle EN 10025-2, EN 10051+A1 plech válcovaný za tepla tl. 10 mm [9]
- Kryt akumulátoru: materiál S 355J2(1.0577) dle EN 10025-2, ČSN EN 10051+A1 plech válcovaný za tepla 2x1000x2000[9]

3.2.3 Výpočet napětí v konstrukci rámu

Výpočet napětí v prutech navrženého rámu, při přiřazení zvoleného profilu a materiálu, byly vypočítány v programu IDA Nexis 32 3.30.08. Podrobné výsledky jsou přiloženy v příloze 4.

3.2.4 Pojezdová kola manipulátoru

Na základě vypočítaných hodnot silových reakcí ve vazbách na jednotlivé uzly kol a předpokládaného pohybu manipulátoru po různých površích byla zvolena pojezdová kola pro vysoké zatížení s pneumatikou a duší a s disky z ocelového plechu od firmy Blickle®.

- **Přední otočné kolo**

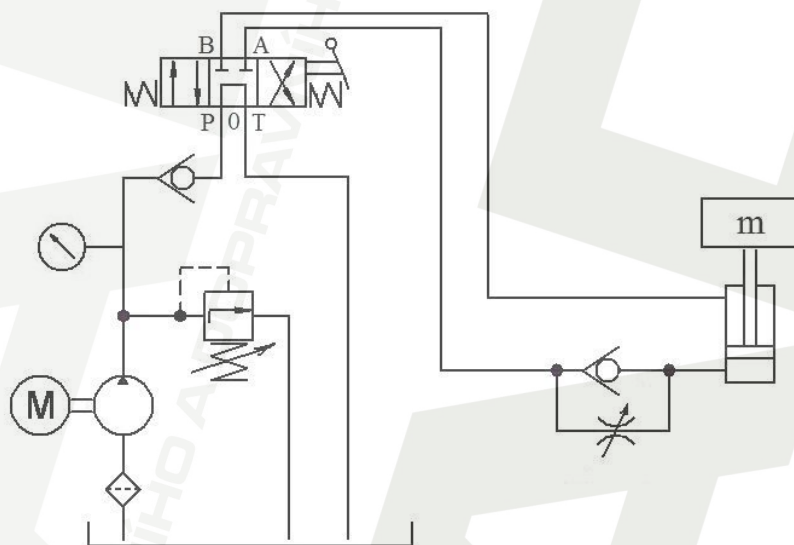
Bylo vybráno kolo s označením LS-PS 310K. [12], str. 186

- **Zadní pevné kola**

Z důvodu zachování stejného průměru kola a stejného profilu pneumatiky, bylo zvoleno kolo s označením PS 310/25-75K. [12], str. 185

3.3 Návrh hydraulického systému

3.3.1 Hydraulický obvod manipulátoru



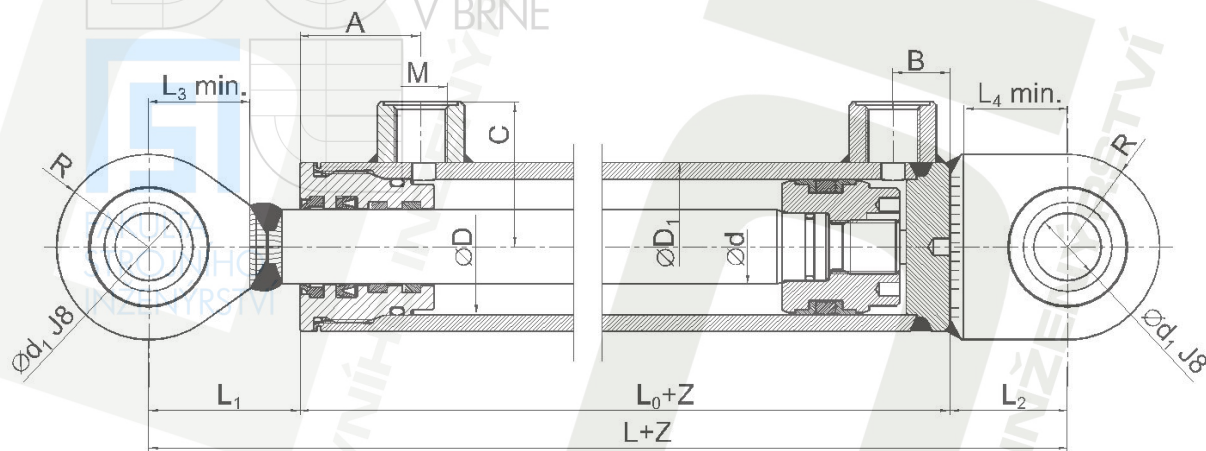
Obr. 11 Schéma hydraulického obvodu

- **Popis činnosti hydraulického obvodu**

Hydrogenerátor poháněný elektromotorem nasává přes filtr hydraulickou kapalinu, která je přes jednosměrný ventil přivedena k rozdělovači, který je ovládán manuálně pákou. Rozdělovač má tři polohy. V poloze **0** se tlaková kapalina odvádí zpět do odpadu tzv. volný okruh a také je tím zabezpečena zvolená poloha výložníku. Při přesunutí páky do polohy **A** je tlaková kapalina přivedena do dolní části hydromotoru a začne zvedat pístnici zatíženou silou od břemene. Zároveň rozdělovač propojí prostor nad pístem s nádrží a odvádí přebytečnou kapalinu do odpadu. Při přesunutí páky do polohy **B** se přivádí tlaková kapalina do horní části hydromotoru a zároveň je kapalina přes brzdící ventil, který nám řídí rychlost pohybu zatíženého hydromotoru, odvedena zpět do nádrže. K jistění hydraulického obvodu proti tlakovému přetížení nám slouží pojistný ventil. V tlakové části lze kontrolovat tlak na manometru.

3.3.2 Hydromotor

Pro ovládání výložníku byl zvolen přímočarý dvojčinný hydromotor série ZH 1 od výrobce HYDRAULICS SEHRADICE pro $p_{max} 20 \text{ MPa}$, podle firemního katalogu. [10], str. 15



Obr. 12 Přímočarý hydromotor ZH 1 [10], str. 15

Parametry jsou zvoleny dle katalogu HYDRAULICS SEHRADICE. [10]

$D = 63 \text{ mm}$	$L_0+Z = 716 \text{ mm}$	$M = 16 \times 1,5$
$D_1 = 75 \text{ mm}$	$L_1 = 57 \text{ mm}$	$A = 50 \text{ mm}$
$d = 32 \text{ mm}$	$L_2 = 42 \text{ mm}$	$B = 23 \text{ mm}$
$d_1 = 25 \text{ mm}$	$L_3 = 37 \text{ mm}$	$C = 55,5 \text{ mm}$
$h = 600 \text{ mm}$	$L_4 = 37 \text{ mm}$	$R = 35 \text{ mm}$

Hmotnost hydromotoru bez kapaliny je 14,912 kg.

3.3.3 Hydraulický agregát

3.3.3.1 Základní výpočty pro volbu hydraulického agregátu

- Výpočet geometrického objemu

Hodnoty pro výpočet dle obr. 12

$$S_1 = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow S_1 = \frac{\pi \cdot 0,063^2}{4} = 3,1172 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (3.45)$$

$$S_2 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \Rightarrow S_2 = \frac{\pi}{4} (0,063^2 - 0,032^2) = 2,313 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (3.46)$$

$$V_1 = S_1 \cdot h \Rightarrow V_1 = 3,1172 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6 = 1,87 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \quad (3.47)$$

$$V_2 = S_2 \cdot h \Rightarrow V_2 = 2,313 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6 = 1,3878 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \quad (3.48)$$

- Výpočet tlaku od maximálního silového účinku

$$F = \Delta p \cdot S \Rightarrow \Delta p = \frac{F_{V_1}}{S_1} \Rightarrow \Delta p = \frac{20225}{3,1172 \cdot 10^{-3}} = 6,488 \text{ MPa} \quad [7], \text{ str. 7} \quad (3.49)$$

- Výpočet pro volbu hydraulického čerpadla

Za dV byl dosazen výsledek V_1 ze vztahu (3.39), maximální volený čas přesunutí pístnice z jedné krajní polohy do druhé vzhledem k použití manipulátoru volím $t = 90 \text{ sec}$.

$$Q = \frac{dV}{dt} \Rightarrow Q = \frac{V_1}{t} \Rightarrow Q = \frac{1,87 \cdot 10^{-3}}{90} [m^3 \cdot s^{-1}] \quad [7], \text{ str. 7} \quad (3.50)$$

$$Q = 2,07 \cdot 10^{-5} m^3 \cdot s^{-1} \Rightarrow Q = 1,25 l \cdot \text{min}^{-1}$$

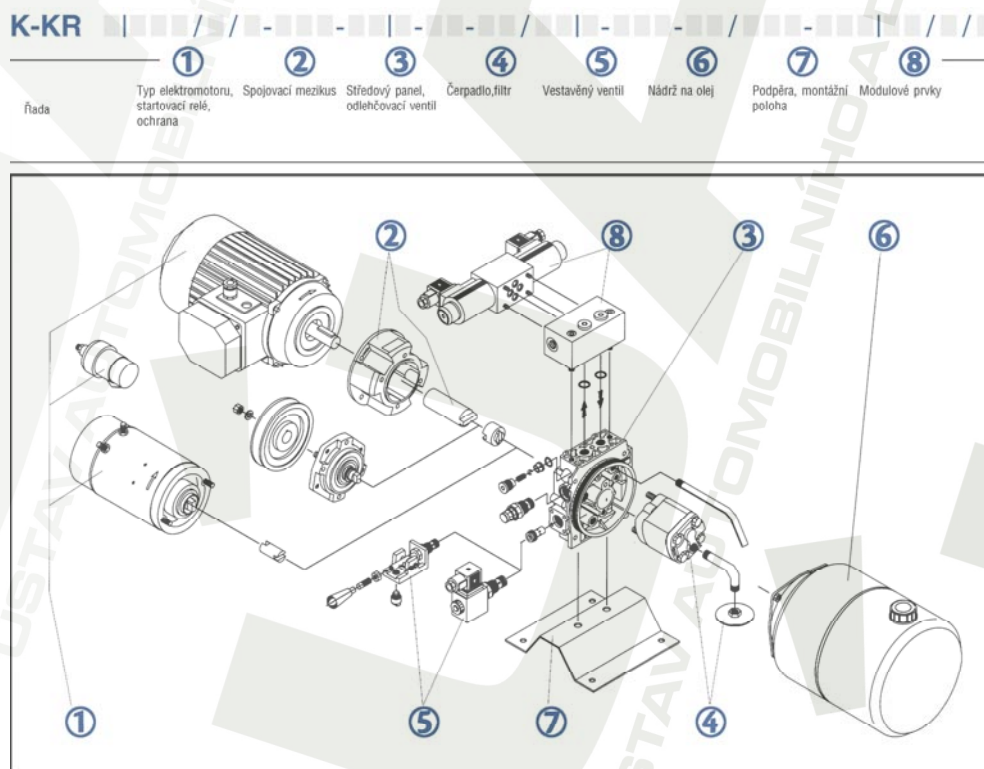
Za Δp byl dosazen výsledek vztahu 3.41.

$$P = Q \Delta p \Rightarrow P = 2,07 \cdot 10^{-5} \cdot 6,488 \cdot 10^6 \Rightarrow P = 134,3 W \quad [7], \text{ str. 8} \quad (3.51)$$

3.3.3.2 Volba hydraulického agregátu

Pro ovládání byl zvolen malý hydraulický agregát K-KR od firmy HYKOM Hydraulics.

Dle vypočítaných hodnot z kapitoly 3.3.3.1 byl zvolen stejnosměrný motor **C41** na 24V a 500W, dále středový panel **A6**. Jako hydrogenerátor bylo zvoleno zubové hydraulické čerpadlo **05** o $Q = 1,4 l \cdot \text{min}^{-1}$ a pracovním tlaku $p = 17 \text{ MPa}$. Pro zabezpečení dostatečného množství hydraulické kapaliny, byla navržena nádrž **S03** o užitečném objemu 4 litry. Ovládacím prvkem byl zvolen jednopákový dvojitý rozvaděč **D09A**. Pro kontrolu tlaku byl zvolen manometr **SCALA 0-250Bar C1.630.19.000**. [11]

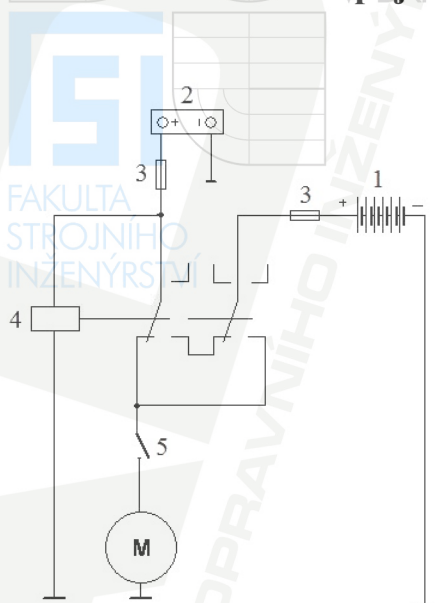


Obr. 13 Schéma sestavy agregátu K-KR [11], str. 1

Kompletní typový klíč vybraného agregátu:

1/C41/D/0-E61-A6/7-05-VM25/00-S03-01/G07-D09A/00/1/1

3.4 Návrh elektrického zapojení



Legenda: 1. akumulátor 24V

2. přípojka vnějšího zdroje

3. pojistky

4. přepínací relé

5. hlavní spínač elektromotoru

Obr. 14 Zjednodušené schéma zapojení elektrického obvodu zdroje

Pro napájení je použit akumulátor VARTA F 20/27 H1CM1 o stejnosměrném napětí 24V, kapacitě 27Ah od firmy HAWKER. [13]

• Popis činnosti

V základní poloze je elektromotor napájen z akumulátoru (1). Při sepnutí přepínače (5) začne motor pracovat. V případě připojení externího zdroje do zásuvky (2) přijde napětí na přepínací relé (4). Relé odpojí akumulátor od sítě a připojí externí zdroj do sítě. Na schématu je nakreslen stav připojeného pozemního zdroje. Pozemní zdroj je použit jen pro nouzové zasunutí pístnice v případě vybití akumulátoru.

• Provozní doba akumulátoru

Akumulátor VARTA F 20/27 H1CM1 má kapacitu 27 Ah. Při maximálním povoleném tlaku hydraulického generátoru má odběr proudu 70 A. Z grafu ampérové charakteristiky v příloze č. 5 byla vypočítána výdrž. Akumulátor vydrží do úplného vybití při maximálních hodnotách 23 minut.

$$t = \frac{Cap.}{I} \Rightarrow t = \frac{27.3600}{70} \Rightarrow t = 1389s = 23 \text{ min} \quad (3.52)$$

4 Kontrolní výpočty

4.1 Kontrola stability na překlpení

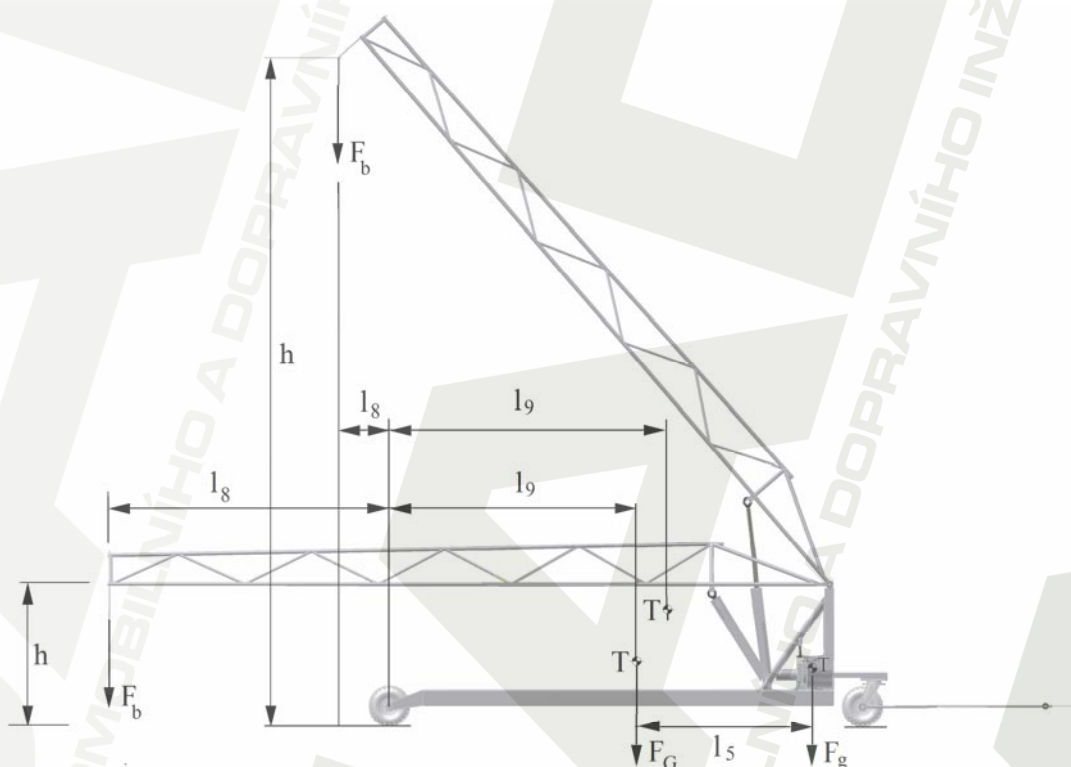
Hodnoty pro kontrolní výpočet stability na překlpení byly použity z programu Autodesk Inventor 2010.

Hmotnost manipulátoru bez zátěže a bez akumulátoru $m_P = 351,5 \text{ kg}$

Hmotnost akumulátoru $m_a = 28,6 \text{ kg}$ [13]

Celková hmotnost manipulátoru:

$$m_C = m_a + m_P \Rightarrow m_C = 351,5 + 28,6 \Rightarrow 380,1 \text{ kg} \quad (4.1)$$



Obr. 15 Vzdálenosti ke klopné hraně

1. Základní poloha: $h = 1,083 \text{ m}$ 2. Poloha při maximálním zdvihu: $h = 5 \text{ m}$

$$l_8 = 2,094 \text{ m}$$

$$l_8 = 0,292 \text{ m}$$

$$l_9 = 1,881 \text{ m}$$

$$l_9 = 2,105 \text{ m}$$

$$l_5 = 1,274 \text{ m}$$

$$l_5 = 1,049 \text{ m}$$

• Výpočet sil

$$F_b = 2453 \text{ N} \quad \text{vypočteno v (3.1)}$$

$$F_G = m_P g \Rightarrow F_G = 351,5 \cdot 9,81 \Rightarrow F_G = 3448 \text{ N} \quad (4.2)$$

$$F_g = m_a g \Rightarrow F_g = 28,6 \cdot 9,81 \Rightarrow F_g = 281 \text{ N} \quad (4.3)$$

4.1.1 Výpočet stability

Stabilizující a klopný moment je počítán v základní poloze, jelikož je to kritický stav manipulátoru a jak je patrné z obr. 15, vzdálenost l_8 se ke klopné hraně při zvedání výložníku zkracuje.

- **Stabilizující moment**

$$M_S = F_G \cdot l_9 + F_g \cdot l_5 \Rightarrow M_S = 3448,1,881 + 281,1,274 \Rightarrow M_S = 6844 Nm \quad [8] \quad (4.4)$$

- **Klopný moment**

$$M_K = F_b \cdot l_8 \Rightarrow M_K = 2453,2,094 \Rightarrow 5135 N \quad [8] \quad (4.5)$$

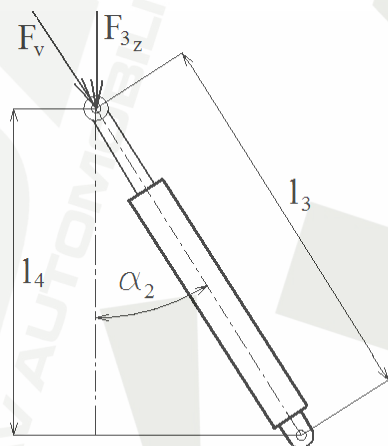
- **Míra bezpečnosti**

$$\mu_k = \frac{M_S}{M_K} > 1 \Rightarrow \mu_k = \frac{6844}{5135} > 1 \Rightarrow \mu_k = 1,33 > 1 \quad [8] \quad (4.6)$$

Výpočtem bylo zjištěno, že $\mu_k > 1$, z toho plyne, že zatížení manipulátoru z hlediska stability proti překlopení je na straně bezpečnosti.

4.2 Kontrola hydromotoru na vzpěr

Zvolený přímočarý hydromotor byl zkontrolován dle vzpěrného diagramu pevnosti podle technické agendy [10], str. 93 a na doporučení výrobce jsem provedl kontrolní výpočty na vzpěr. Hodnoty pro výpočet byly zjištěny z vytvořené výkresové dokumentace.



1. Základní poloha:

$$l_4 = 0,692 m$$

$$\alpha_2 = 32^\circ$$

2. Poloha při maximálním zdvihu:

$$l_4 = 1,400 m$$

$$\alpha_2 = 7^\circ$$

Obr. 16 Schéma polohy hydromotoru pro výpočet vzpěru

- **Výpočet l_3**

$$l_4 = l_3 \cos \alpha_2 \Rightarrow l_3 = \frac{l_4}{\cos \alpha_2} [m] \quad (4.7)$$

Základní poloha:

$$l_3 = \frac{l_4}{\cos \alpha_2} \Rightarrow l_3 = \frac{0,692}{\cos 32^\circ} \Rightarrow l_3 = 0,816m \quad (4.8)$$

Poloha při maximálním zdvihu:

$$l_3 = \frac{l_4}{\cos \alpha_2} \Rightarrow l_3 = \frac{1,4}{\cos 32^\circ} \Rightarrow l_3 = 1,411m \quad (4.9)$$

4.2.1 Rovnice pro výpočet sil a napětí působící na pístnici hydromotoru

Průměr d dosazen z obr. 12, síla F_{3z} dosazena z kapitoly 3.1.2

$$S_p = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow S_p = \frac{\pi \cdot 0,032^2}{4} \Rightarrow S_p = 8,042 \cdot 10^{-4} m^2 \quad (4.10)$$

$$F_{3z} = F_v \cos \alpha_2 \Rightarrow F_v = \frac{F_{3z}}{\cos \alpha_2} \quad (4.11)$$

$$\sigma = \frac{N}{S} \Rightarrow \sigma = \frac{F_v}{S_p} \quad [4], \text{str. 101} \quad (4.12)$$

4.2.2 Výpočet v základní poloze při maximálním zatížení

Výpočty provedeny se vzorci z kapitoly 4.2.1 a hodnot dle obr.16

$$F_{3z} = F_{v1} \cos \alpha_2 \Rightarrow F_{v1} = \frac{F_{3z}}{\cos \alpha_2} \Rightarrow F_{v1} = \frac{17226}{\cos 32} = 20313N \quad (4.13)$$

• Stanovení délky prutu dle Eulera – případ 2

$$l_0 = l \Rightarrow l_0 = l_3 \Rightarrow l_0 = 0,816m \quad [3], \text{str. 36} \quad (4.14)$$

$$I_x = \frac{\pi d^4}{64} [m^4] \quad [3], \text{str. 40} \quad (4.15)$$

$$I_x = \frac{\pi \cdot 0,032^4}{64} \Rightarrow I_x = 5,147 \cdot 10^{-8} m^4$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{S}} \Rightarrow i = \sqrt{\frac{I_x}{S_p}} \Rightarrow i = \sqrt{\frac{5,147 \cdot 10^{-8}}{8,042 \cdot 10^{-4}}} \Rightarrow i = 8 \cdot 10^{-3} m^2 \quad (4.16)$$

$$\lambda_1 = \frac{l_0}{i} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{0,816}{0,008} \Rightarrow \lambda_1 = 102 \quad (4.17)$$

• Výpočet kritické síly a napětí

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{l^2} [N] \quad [3], \text{str. 36} \quad (4.18)$$

$$I_{\min} = I_x; E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$$

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_x}{l_3^2} \Rightarrow F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 5,147 \cdot 10^{-8}}{0,816^2} \Rightarrow F_{kr} = 16,02 \cdot 10^4 \text{ N} \quad (4.19)$$

$$\sigma_3 = \frac{F_{V_1}}{S_p} \Rightarrow \sigma_3 = \frac{20313}{8,042 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \sigma_3 = 25,259 \text{ MPa} \quad (4.20)$$

$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_1^2} \Rightarrow \sigma_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}}{102^2} \Rightarrow \sigma_{kr} = 199,22 \text{ MPa} \quad (4.21)$$

$$F_{V_1} < F_{kr} \text{ a zároveň } \sigma_3 < \sigma_{kr}$$

V základní poloze při maximálním povoleném zatížení vypočtená síla a napětí vyhovuje podmínkám.

4.2.3 Výpočet v poloze při maximálním zdvihu a při maximálním zatížení

Výpočty provedeny dle vzorců z kapitoly 4.2.1 a hodnot dle obr.16.

$$F_{3_z} = F_{V_2} \cos \alpha_2 \Rightarrow F_{V_2} = \frac{F_{3_z}}{\cos \alpha_2} \Rightarrow F_{V_2} = \frac{17226}{\cos 7} = 17355 \text{ N} \quad (4.22)$$

• Stanovení délky prutu dle Eulera – případ 2

$$l_0 = l \Rightarrow l_0 = l_3 \Rightarrow l_0 = 1,411 \text{ m}$$

$$\lambda_2 = \frac{l_0}{i} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{1,411}{0,008} \Rightarrow \lambda_2 = 176,38 \quad (4.23)$$

• Výpočet kritické síly a napětí

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_x}{l_3^2} \Rightarrow F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 5,147 \cdot 10^{-8}}{1,411^2} \Rightarrow F_{kr} = 53582 \text{ N} \quad (4.24)$$

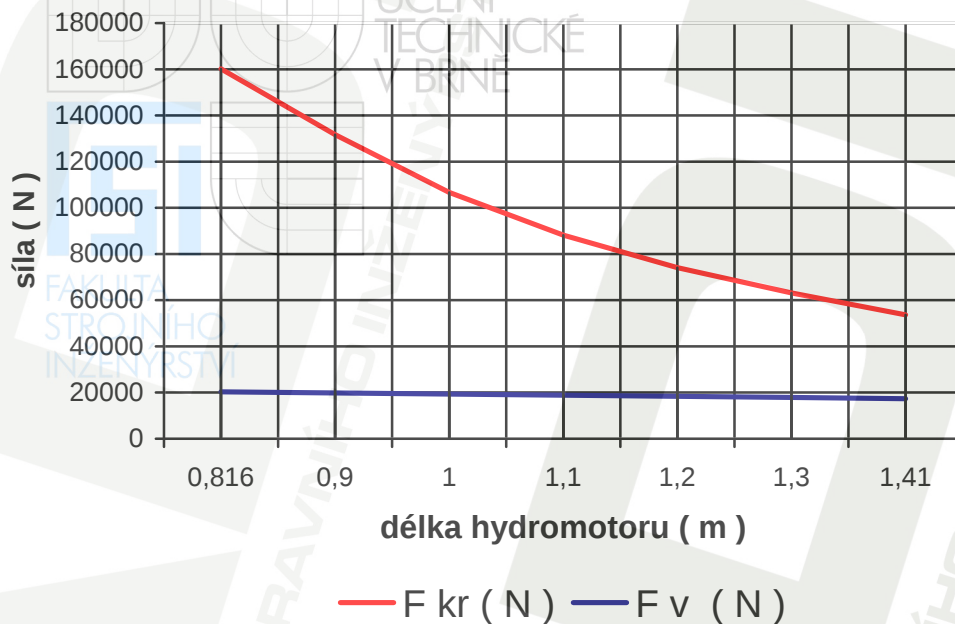
$$\sigma_4 = \frac{F_{V_2}}{S_p} \Rightarrow \sigma_4 = \frac{17387}{8,042 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \sigma_4 = 21,62 \text{ MPa} \quad (4.25)$$

$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_2^2} \Rightarrow \sigma_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}}{176,38^2} \Rightarrow \sigma_{kr} = 66,623 \text{ MPa} \quad (4.26)$$

$$F_{V_2} < F_{kr} \text{ a zároveň } \sigma_4 < \sigma_{kr}$$

V poloze při maximálním zdvihu a maximálním povoleném zatížení vypočtená síla a napětí vyhovuje podmínkám.

4.2.4 Diagram vzpěrné pevnosti



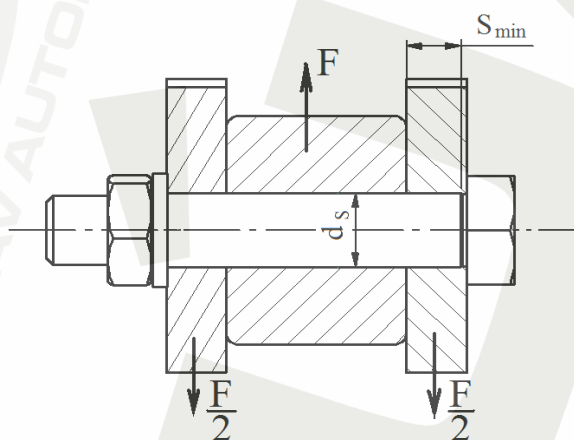
Graf vzpěrné pevnosti hydromotoru

Z výpočtů v kapitole 4.2.2 a 4.2.3 a grafu, kde červeně je označena vypočítaná maximální dovolená síla a modře označená skutečná síla působící na hydromotor plyne, že zvolený přímočarý dvojčinný hydromotor plně vyhovuje technickým podmínkám a může být použit.

4.3 Šroub uchycení výložníku

Pro otočné uchycení výložníku byl zvolen lícovaný šroub s krátkým závitem podle normy ČSN 02 1112.

Šroub ČSN 02 1112 – M 12 x 70 – 5,6



$$S_{min} = 0,009 \text{ m}$$

$$d_s = 0,013 \text{ m}$$

obr. 17 Otočné uchycení výložníku

Směrné hodnoty dovolených napětí v lícovaných šroubových spojích je pro ocel 11 500 sevřených součástí $p_D = 56 \text{ MPa}$ a pro materiál šroubů 5D $\tau_{Ds} = 35 \text{ MPa}$ pro střídavé namáhání. [5], str. 161, tab. 1.42

- **Smyk**

Hodnoty dosazené z obr. 17

$$\tau = \frac{4F}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \tau_s = \frac{2F_{1z}}{\pi d_s^2}; \tau_s = \frac{2F_{2z}}{\pi d_s^2} [\text{MPa}] \quad [5], \text{str. 161} \quad (4.27)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot 7313}{\pi \cdot 0,013^2} \leq 35 \Rightarrow \tau = 27,547 \text{ MPa} \leq 35 \text{ MPa} \quad (4.28)$$

Namáhání na smyk vyhovuje.

- **Otlačení**

Hodnoty dosazené z obr. 17

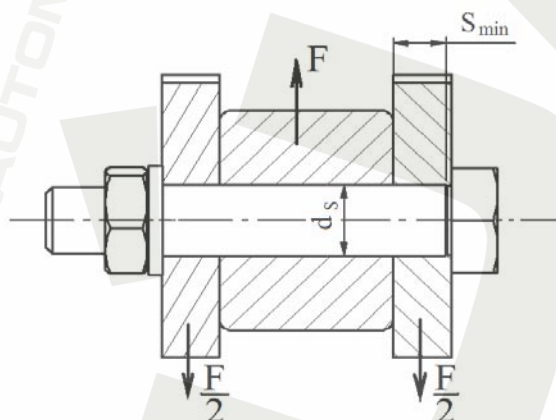
$$p = \frac{F}{S_{\min} d_s} \leq p_D \Rightarrow p = \frac{F_{1z}}{2(S_{\min} d_s)}; p = \frac{F_{2z}}{2(S_{\min} d_s)} \leq p_D [\text{Pa}] \quad [5], \text{str. 161} \quad (4.29)$$

$$p = \frac{7313}{2 \cdot (0,009 \cdot 0,013)} \leq 56 \Rightarrow p = 31,252 \text{ MPa} \leq 56 \text{ MPa} \quad (4.30)$$

Namáhání na otlačení vyhovuje.

4.4 Šroub uchycení válce a pístnice hydromotoru

Pro otočné uchycení válce hydromotoru k rámu a pístnice hydromotoru k výložníku byl zvolen lícovaný šroub s krátkým závitem podle normy ČSN 02 1112.



$$S_{\min} = 0,02 \text{ m}$$

$$d_s = 0,025 \text{ m}$$

obr. 18 Uchycení hydromotoru

Šroub ČSN 02 1112 – M 24 x 95 – 5,6

Směrné hodnoty dovolených napětí v lícovaných šroubových spojích je pro ocel 11 500 sevřených součástí $p_D = 56 \text{ MPa}$ a pro materiál šroubů 5D $\tau_{Ds} = 35 \text{ MPa}$ pro střídavé namáhání. [5], str. 161, tab. 1.42

• Smyk

Hodnoty dosazené z obr. 18 a z vypočtené rovnice (4.13)

$$\tau = \frac{4F}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \tau = \frac{2F_{V_1}}{\pi d_s^2} [\text{MPa}] \quad [5], \text{str. 161} \quad (4.31)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot 20225}{\pi \cdot 0,025^2} \leq 35 \Rightarrow \tau = 20,6 \text{ MPa} \leq 35 \text{ MPa} \quad (4.32)$$

Namáhání na smyk vyhovuje.

• Otláčení

Hodnoty dosazené z obr. 18 a z vypočtené rovnice (4.13)

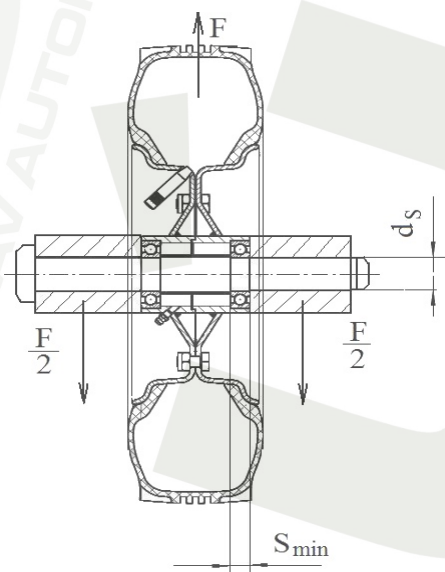
$$p = \frac{F}{S_{\min} d_s} \leq p_D \Rightarrow p = \frac{F_{V_1}}{2(S_{\min} d_s)} \leq p_D [\text{Pa}] \quad [5], \text{str. 161} \quad (4.33)$$

$$p = \frac{20225}{2 \cdot (0,02 \cdot 0,025)} \leq 56 \Rightarrow p = 20,225 \text{ MPa} \leq 56 \text{ MPa} \quad (4.34)$$

Namáhání na otláčení vyhovuje.

4.5 Osa zadních kol

Osa zadního kola je vyrobena z polotovaru kruhové ocelové tyče válcované za tepla o průměru 36 mm, materiál S355J2 (1.0577) dle EN 10025-2 podle normy ČSN EN 10060. [9]



$$S_{\min} = 0,012 \text{ m}$$

$$d_s = 0,025 \text{ m}$$

Obr. 19 Schéma uložení osy zadních kol

Směrné hodnoty dovolených napětí je pro ocel 11 500 sevřených součástí $p_D = 56 \text{ MPa}$ a pro materiál 5D $\tau_{Ds} = 35 \text{ MPa}$ pro střídavé namáhání. [5], str. 161, tab. 1.42

- **Smyk**

Z kap. 3.2.1 dle tab. 3 dosazeno maximální výsledná reakce uzlu 2, 3; $R_z = 1450 \text{ N}$

$$\tau = \frac{4F}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \tau = \frac{2R_z}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} [\text{MPa}] \quad (4.35)$$

$$\tau = \frac{4F}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \tau = \frac{2 \cdot 1450}{\pi \cdot 0,025^2} \leq 35 \Rightarrow 1,477 \text{ MPa} \leq 35 \text{ MPa}$$

Namáhání na smyk vyhovuje.

- **Otlačení**

Z kap. 3.2.1 dle tab. 3 byla dosazena maximální výsledná reakce uzlu 2, 3; $R_z = 1450 \text{ N}$.

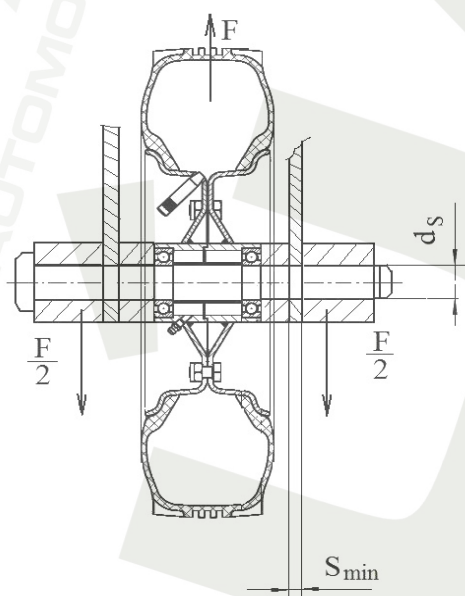
$$p = \frac{F}{S_{\min} d_s} \leq p_D \Rightarrow p = \frac{R_z}{2(S_{\min} d_s)} \leq p_D [\text{Pa}] \quad (4.36)$$

$$p = \frac{1450}{2 \cdot (0,012 \cdot 0,025)} \leq 56 \Rightarrow 2,417 \text{ MPa} \leq 56 \text{ MPa}$$

Namáhání na otlačení vyhovuje.

4.6 Osa předního otočného kola

Osa předního kola je vyrobena z polotovaru tyče ocelové kruhové válcované za tepla o průměru 36 mm, materiál S355J2 (1.0577) dle EN 10025-2 podle normy ČSN EN 10060. [9]



$$S_{\min} = 0,008 \text{ m}$$

$$d_s = 0,025 \text{ m}$$

Obr. 20 Schéma uložení osy předního otočného kola

Směrné hodnoty dovolených napětí je pro ocel 11 500 sevřených součástí $p_D = 56 \text{ MPa}$ a pro materiál 5D $\tau_{Ds} = 35 \text{ MPa}$ pro střídavé namáhání. [5], str. 161, tab. 1.42

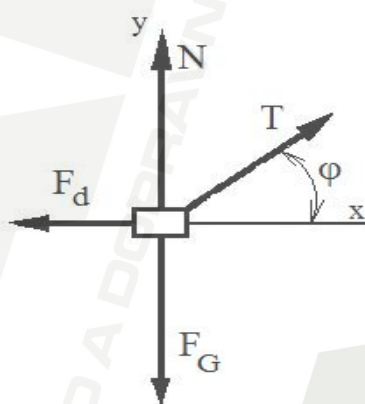
- Maximální síla působící na osu**

Na osu předního otočného kola působí reakční síla vazby 1 R_Z viz. kapitola 3.2.1 tab. 3 a síla od hmotnosti manipulátoru m_C kapitola 4.1 obr. 15 při vlečení.

$$m_C = 380,1 \text{ kg}$$

$$R_Z = 1075 \text{ N}$$

$$m_C = m_b + m_p \Rightarrow m_C = 250 + 380,1 \Rightarrow m_C = 630,1 \text{ kg} \quad (4.37)$$



Obr. 21 Síly působící na manipulátor při vlečení

Povrch	TOPTHANE®
Suchý beton	0,6
Mokrý beton	0,4
Suchý asfalt	0,4
Mokrý asfalt	0,2 – 0,3
Suchá ocel	0,2 – 0,4
Mokrá ocel	0,1 – 0,2
Mastný/zledovatělý	< 0,1

Tab. 4 Koeficienty tření [12]

Maximální síla bude při koeficientu tření $f_d = 0,6$ tab. 3 a úhlu sklonu manipulačního oje $\varphi = 0^\circ$ k ose x.

$$T = \frac{f_d m g}{\cos \varphi + f_d \sin \varphi} \Rightarrow T = \frac{f_d m_C g}{\cos \varphi + f_d \sin \varphi} [\text{N}] \quad [6], \text{ str. 135} \quad (4.38)$$

$$T = \frac{0,6 \cdot 630,1 \cdot 9,81}{\cos 0 + 0,6 \cdot \sin 0} \Rightarrow T = 3,71 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Z výpočtu plyne, že $R_Z < T$. Síla v tahu při vlečení působící na osu je větší a v následujících výpočtech bude použita síla T , jako síla maximální.

- Smyk**

$$\tau = \frac{4F}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \tau = \frac{2T}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} [\text{MPa}] \quad (4.39)$$

$$\tau = \frac{4F}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \tau = \frac{2 \cdot 3,71 \cdot 10^3}{\pi \cdot 0,025^2} \leq 35 \Rightarrow 3,779 \text{ MPa} \leq 35 \text{ MPa}$$

Namáhání na smyk vyhovuje.

- **Otlačení**

Dosazený hodnoty z obr. 20

$$p = \frac{F}{S_{\min} d_s} \leq p_D \Rightarrow p = \frac{T}{2 \cdot (S_{\min} d_s)} \leq p_D [Pa] \quad (4.40)$$

$$p = \frac{3,71 \cdot 10^3}{2 \cdot (0,008 \cdot 0,025)} \leq 56 \Rightarrow 9,275 MPa \leq 56 MPa$$

Namáhání na otlačení vyhovuje.

4.7 Manipulační oje

- **Namáhání na tah, tlak**

Plocha průřezu použitého materiálu na oje, trubky bezešvé přesné kruhové 20/4, uvedeno v kapitole 3.2.2.

$$S = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \Rightarrow S = \frac{\pi}{4} (0,02^2 - 0,012^2) \Rightarrow S = 2,01 \cdot 10^{-4} m^2 \quad [3], \text{ str. 40} \quad (4.41)$$

Maximální tahová síla T vypočtena ze vztahu (4.38)

$$\sigma = \frac{N}{S} \Rightarrow \sigma = \frac{T}{S} \Rightarrow \sigma = \frac{3,71 \cdot 10^3}{2,01 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \sigma = 18,458 MPa \quad [4], \text{ str. 101} \quad (4.42)$$

- **Kontrola na vzpěr**

$$I_x = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad [3], \text{ str. 40} \quad (4.43)$$

$$I_x = \frac{\pi}{64} (0,02^4 - 0,012^4) \Rightarrow I_x = 6,84 \cdot 10^{-9} m^4$$

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{l^2} \quad [3], \text{ str. 36} \quad (4.44)$$

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_x}{l} \Rightarrow F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 6,84 \cdot 10^{-9}}{1,525^2} \Rightarrow F_{kr} = 6096 N$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{S}} \Rightarrow i = \sqrt{\frac{I_x}{S}} \Rightarrow i = \sqrt{\frac{6,84 \cdot 10^{-9}}{2,01 \cdot 10^{-4}}} \Rightarrow i = 5,83 \cdot 10^{-3} m^2 \quad (4.45)$$

$$\lambda = \frac{l}{i} \Rightarrow \lambda = \frac{1,525}{0,00583} \Rightarrow \lambda = 261,5 \quad (4.46)$$

$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \Rightarrow \sigma_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}}{261,5^2} \Rightarrow \sigma_{kr} = 30,3 MPa \quad (4.47)$$

$$T < F_{kr} ; \sigma < \sigma_{kr} \Rightarrow 3,71 \cdot 10^3 N < 6,096 \cdot 10^3 N ; 18,458 MPa < 30,3 MPa$$

Namáhání vyhovuje podmínkám.

4.8 Kontrolní výpočet hydraulického systému

- Výpočet doby potřebné pro vysunutí pístnice

$$Q = \frac{dV}{dt} \Rightarrow Q = \frac{V_1}{t} \Rightarrow t = \frac{V_1}{Q} [s] \quad [7], \text{ str. 7} \quad (4.48)$$

$$Q = 1,4 l \cdot \text{min}^{-1} = 2,3 \cdot 10^{-5} m^3 \cdot s^{-1}$$

$$t = \frac{1,87 \cdot 10^{-3}}{2,3 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow t = 80 s$$

- Výpočet doby potřebné pro zasunutí pístnice

$$Q = \frac{dV}{dt} \Rightarrow Q = \frac{V_2}{t} \Rightarrow t = \frac{V_2}{Q} [s] \quad [7], \text{ str. 7} \quad (4.49)$$

$$Q = 1,4 l \cdot \text{min}^{-1} = 2,3 \cdot 10^{-5} m^3 \cdot s^{-1}$$

$$t = \frac{1,3878 \cdot 10^{-3}}{2,3 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow t = 60 s$$

5 Závěr

Manipulátor byl řešen jako souhrn jednotlivých funkčních dílů. Byly postupně vypracovány návrhy výložníku, rámu manipulátoru a hydraulického systému. Výložník byl navržen jako příhradová konstrukce. Byly provedeny pevnostní výpočty namáhaných částí. Jednotlivé výpočty odpovídají dovozeným hodnotám. Mobilita je zajištěna pojízdnými koly. Přední kolo je otočně uloženo. Uložení zaručuje dostatečnou manévrovatelnost. Manipulátor je navržen pro letecké agregáty do hmotnosti 250 kg. Hydrogenerátor je poháněn elektromotorem na jednosměrné napětí 24V napájený vlastním akumulátorem. V případě potřeby je možné připojení externího zdroje 24V, který je běžně dostupný v leteckém provozu.

Zadané téma bakalářské práce se ukázala být velice zajímavé. Podrobné řešení jednotlivých komponent by nebylo možno obsáhnout v samotné bakalářské práci. Bylo by dle mého názoru dobré se tomuto tématu věnovat v další závěrečné práci.

6 Seznam použitých zdrojů

• Použitá literatura

- [1] JURÁŠEK, O.: Nosné konstrukce stavebních strojů I, / první vydání, Ediční středisko VUT Brno, 1986, 272 s. 55 – 637 – 86
- [2] FLORIAN, Z. - ONDRÁČEK, E. - PŘIKRYL, K.: Mechanika těles – statika, / 6. přepracované vydání, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2003, 182 s. ISBN 80-214-2491-5
- [3] LEINVEBER, J. - VÁVRA, P.: Strojnické tabulky / třetí doplněné vydání, ALBRA-pedagogické nakladatelství, Úvaly, 2006, 914 s. ISBN 80-7361-033-7
- [4] JANÍČEK, P. - ONDRÁČEK, E. - VRBKA, J. - BURŠA J.: Mechanika těles – pružnost a pevnost, třetí přepracované vydání, v Akademickém nakladatelství CERM první vydání, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2004, 287 s. ISBN 80-214-2592-X
- [5] KRÍŽ, R. - VÁVRA, P.: Strojírenská příručka, 5. svazek, vydání první, vydalo nakladatelství SCIENTIA, spol. s.r.o., Brno, 1994, 914 s. ISBN 80-85827-59-X
- [6] HALLIDAY, D. - RESNICK, R. - WALKER, J.: Fyzika, Mechanika část 1., vydalo nakladatelství VUTIUM, nakladatelství PROMETHEUS, Brno, 1198 s. ISBN 80-214-1868-0
- [7] ŠKOPÁN, M.: Hydraulické pohony strojů, studijní text-sylabus, v pdf, Brno, 2004
- [8] Vysoká škola báňská–Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechaniky, E-learning – Statika, [on line], [21.března 2010], dostupné na [www: http://www.337.vsb.cz/materialy/statika_Milada_e_learning/index.htm](http://www.337.vsb.cz/materialy/statika_Milada_e_learning/index.htm)

• Odkazy na www

- [9] Sortimentní katalog Ferona.[online], [21.března 2010], dostupný na [www: http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php](http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php)
- [10] Výrobní katalog přímočarých motorů Hydraul^{CS}. [online], [21.března 2010] dostupný na [www: http://www.hydraulics.cz/cz/vyroba/vyroba-katalogovych-hydromotoru/zh1](http://www.hydraulics.cz/cz/vyroba/vyroba-katalogovych-hydromotoru/zh1)
- [11] HYKOM HYDRAULICS, Svět hydrauliky, Malé hydraulické agregáty typ K, KR (celý katalog pdf) [online], [14.dubna 2010] dostupný na [www: http://www.hykom.cz/page.php?lang=cs&M1=5](http://www.hykom.cz/page.php?lang=cs&M1=5)
- [12] Katalog firmy Blickle® kola+kladky, Kapitola 8 v pdf, [online], [21.března 2010] dostupný na [www: http://www2.blickle.com/db/session/439a9daf23d70c2f97356831d4779c3b/kapitola_08.pdf](http://www2.blickle.com/db/session/439a9daf23d70c2f97356831d4779c3b/kapitola_08.pdf)
- [13] Hawker, Aircraft batteries VARTA safety plus power, katalog EnerSys v pdf, [online], [14.dubna 2010] dostupný na [www: http://www.enersys.com/defense/documents/VARTA-SafetyPlusPower.pdf](http://www.enersys.com/defense/documents/VARTA-SafetyPlusPower.pdf)

7 Seznam použitých zkratk a symbolů

3k	Počet použitelných podmínek statické rovnováhy pro prostorovou prutovou soustavu	[-]
3k-6	Počet použitelných podmínek statické rovnováhy pro určení sil v prutech u prostorové prutové soustavy	[-]
A	Vzdálenost od horní plochy hydromotoru ke středu horního otvoru přívodu kapaliny	[mm]
B	Vzdálenost od spodní plochy hydromotoru ke středu dolního otvoru přívodu kapaliny	[mm]
b_1	Maximální šířka uchycení oka	[m]
b_2	Minimální vzdálenost od otvoru pro uchycení oka	[m]
C	Výška nálisku	[mm]
Cap	Kapacita akumulátoru	[Ah]
D	Průměr pístnice hydromotoru	[mm]
d_s	Průměr šroubu	[m]
d_1	Vnitřní průměr oka uchycení hydromotoru	[mm]
D	Vnitřní průměr válce hydromotoru	[mm]
D_1	Vnější průměr válce hydromotoru	[mm]
e	Celková vzdálenost profilu v ose y	[m]
e_1, e_2	Vzdálenost od těžiště ke krajnímu vláknu	[m]
E	Modul pružnost v tahu	[MPa]
f_d	Koeficient tření	[-]
F	Síla	[N]
F_{Ax}	Síla působící v bodě A ve směru osy x	[N]
F_{Ay}	Síla působící v bodě A ve směru osy y	[N]
F_b	Zatěžující síla od břemene	[N]
F_{By}	Síla působící v bodě B ve směru osy x	[N]
F_d	Dynamická třecí síla	[N]
F_G	Tíhová síla manipulátoru	[N]
F_g	Tíhová síla akumulátoru	[N]
$\sum F_{ix}$	Suma normálních sil	[N]
$\sum F_{ix}$	Suma posouvajících sil	[N]
F_{kr}	Maximální povolená síla při vzpěru	[N]
F_{ou}	Síla působící na uchycení oka v ose x	[N]
F_V	Maximální síla na pístnici hydromotoru	[N]
F_{V_1}	Maximální síla na pístnici hydromotoru v zasunuté poloze	[N]
F_{V_2}	Maximální síla na pístnici hydromotoru v zasunuté poloze	[N]
F_{tu}	Tahová síla působící na uchycení oka v ose z	[N]
F_x	Normálová síla	[N]
F_y	Posouvající se síla	[N]
F_{1z}, F_{2z}, F_{3z}	Síla působící v bodě 1, 2 a 3 ve směru osy z	[N]

g	Tíhové zrychlení	$[ms^{-2}]$
h	Výška zdvihu	$[m]$
h_1	Tloušťka uchycení oka	$[m]$
i	Poloměr setrvačnosti	$[m^2]$
I	Elektrický proud	$[A]$
I_x	Kvadratický moment průřezu	$[m^4]$
I_{min}	Nejmenší kvadratický moment průřezu	$[m^4]$
k	Počet styčníků	$[-]$
l	Vzdálenost	$[m]$
l_0	Redukovaná délka pro výpočet vzpěru	$[m]$
l_1	Vzdálenost mezi obecnou a rotační vazbou	$[m]$
l_2	Vzdálenost mezi pevnou a volným koncem nosníku	$[m]$
l_3	Vzdálenost mezi středy ok hydromotoru	$[m]$
l_5	Vzdálenost těžiště akumulátoru k těžišti manipulátoru	$[m]$
l_4	Délka kolmice k rámu manipulátoru	$[m]$
l_6	Délka nosníku uchycení oka	$[m]$
l_7	Vzdálenost mezi uzly 3 a 4 příhradové konstrukce	$[m]$
l_8	Vzdálenost od břemene ke klopné hraně	$[m]$
l_9	Vzdálenost od těžiště manipulátoru ke klopné hraně	$[m]$
m_a	Hmotnost akumulátoru	$[kg]$
m_c	Celková hmotnost manipulátoru	$[kg]$
m_b	Maximální hmotnost břemene	$[kg]$
m_p	Hmotnost manipulátoru bez zátěže a akumulátoru	$[kg]$
L_o+Z	Výška válce hydromotoru	$[mm]$
L_1	Vzdálenost od horní plochy hydromotoru ku středu oka horního uchycení	$[mm]$
L_2	Vzdálenost od spodní plochy hydromotoru ku středu oka dolního uchycení	$[mm]$
L_3, L_4	Minimální vzdálenost od středu oka uchycení hydromotoru k hraně svaru	$[mm]$
M	Rozměr závitu	$[mm]$
M_s	Stabilizující moment	$[Nm]$
M_K	Klopný moment	$[Nm]$
$\sum M_{i,o}$	Suma ohybových momentů	$[Nm]$
M_o	Moment ohybový	$[Nm]$
M_{Omax}	Maximální ohybový moment	$[Nm]$
$M_{O_I}, M_{O_{II}}$	Moment ohybový působící v místě řezu	$[Nm]$
M_{O_7}	Maximální ohybový moment na prutu číslo 7	$[Nm]$
N	Normálová síla	$[N]$
$N_{1...54}$	Normálové síly v prutech příhradové konstrukce	$[N]$
N_I, N_{II}	Normálová síla působící v místě řezu	$[N]$
s	Stupeň statické neurčitosti	$[-]$
S	Obsah plochy	$[m^2]$

S_i	Daná plocha plošného obrazce	[m ²]
$S_{\min}$	Nejmenší dotyková vzdálenost	[m]
S_p	Plocha průřezu pístnice	[m ²]
S_u	Plocha řezu uchycení oka	[m ²]
S_1	Plocha řezu vnitřní části hydromotoru spodní části	[m ²]
S_2	Plocha řezu vnitřní části hydromotoru horní části	[m ²]
p	Počet prutů	[-]
Δp	Pracovní tlak	[Pa]
p_D	Tlak dovolený	[Pa]
P	Výkon	[W]
Q	Objemový průtok	[m ³ s ⁻¹]
R	Poloměr oka uchycení hydromotoru	[mm]
$R_{x,y,z}$	Silové reakce ve vazbě v ose x, y, z	[N]
t	Čas	[s]
T	Tahová síla	[N]
T_I, T_{II}	Posouvající síla působící v místě řezu	[N]
V_1	Maximální objem dolní části hydromotoru	[m ³]
V_2	Maximální objem horní části hydromotoru	[m ³]
W_O	Průřezový modul v ohybu	[m ³]
W_{O_1}, W_{O_2}	Průřezový modul v ohybu nosníku uchycení pístnice	[m ³]
x	vzdálenost k řezu	[m]
x_i	Souřadnice těžiště dané plochy v ose x	[m]
x_T	Těžiště na ose x	[m]
y_i	Souřadnice těžiště dané plochy v ose y	[m]
y_T	Těžiště na ose y	[m]
α_1	Úhel mezi výslednou silou a osou oka uchycení	[°]
α_2	Úhel sklonu hydromotoru	[°]
λ_1, λ_2	Štíhlost prutu	[-]
μ	Počet neznámých nezávislých parametrů	[-]
μ_A	Počet neznámých parametrů vnějších stykových sil	[-]
μ_k	Míra bezpečnosti na překlopení	[-]
ν	Počet použitelných statických podmínek rovnováhy	[-]
π	číslo pí	[-]
σ	Napětí v materiálu	[MPa]
$\sigma_{\max}$	Maximální napětí	[MPa]
σ_1, σ_2	Napětí v ohybu nosníku uchycení pístnice	[MPa]
σ_3, σ_4	Napětí na hydromotoru	[MPa]
σ_{dov}	Dovolené napětí v ohybu	[MPa]
σ_{Do}	Dovolené napětí v tahu	[MPa]
σ_{kr}	Kritické napětí	[MPa]
σ_T	Tahové napětí	[MPa]
τ	Smykové napětí	[MPa]
τ_{Ds}	Dovolené napětí ve smyku	[MPa]

ξ_i Počet stupňů volnosti odebraných vazbami [-]

8 Seznam obrázků

Obr. 1	Výpočtový prutový model výložníku	14
Obr. 2	Nahrazení vazeb vazebními silovými účinky	15
Obr. 3	Interval I	15
Obr. 4	Interval II	15
Obr. 5	VVÚ na prutovém modelu výložníku	16
Obr. 6	Výpočtová prostorová příhradová konstrukce	17
Obr. 7	Profil nosníku uchycení válce hydromotoru	19
Obr. 8	Schéma koncové části dílu uchycení oka při max. zdvihu výložníku	21
Obr. 9	Tvar dílu uchycení oka	21
Obr. 10	Výpočtová konstrukce rámu manipulátoru	23
Obr. 11	Schéma hydraulického obvodu	25
Obr. 12	Přímočarý hydromotor ZH 1	26
Obr. 13	Schéma sestavy agregátu K-KR	27
Obr. 14	Zjednodušené schéma zapojení elektrického obvodu zdroje	28
Obr. 15	Vzdálenosti ke klopné hraně	29
Obr. 16	Schéma polohy hydromotoru pro výpočet vzpěru	30
Obr. 17	Otočné uchycení výložníku	33
Obr. 18	Uchycení hydromotoru	34
Obr. 19	Schéma uložení osy zadních kol	35
Obr. 20	Schéma uložení osy předního otočného kola	36
Obr. 21	Síly působící na manipulátor při vlečení	37

9 Seznam tabulek

Tab. 1	Souřadnice styčníků	18
Tab. 2	Souřadnice styčníků	23
Tab. 3	Reakce v podporách rámu	24
Tab. 4	Koeficienty tření	37

10 Seznam příloh

Příloha 1- Vnitřní síly na prutu(ech). koncové řezy

Příloha 2 - Prut - napětí. Extrém prutu koncové řezy

Příloha 3 - Vnitřní síly na prutu(ech). Extrém prutu koncové řezy

Příloha 4 - Prut - napětí. Extrém prutu

Příloha 5 – Ampérová charakteristika stejnosměrného motoru

Výkresová dokumentace

MANIPULÁTOR PRO LETECKÉ AGREGÁTY	0-M24-01
VYMEZOVACÍ KROUŽEK	4-M24-01/13
OSA PŘEDNÍHO KOLA	4-M24-01/14
OSA ZADNÍHO KOLA	4-M24-01/18
RÁM MANIPULÁTORU	0-M24-01/01
PODLAHA	4-M24-01/01-05
UCHYCENÍ PŘEDNÍHO KOLA	4-M24-01/01-06
UCHYCENÍ VÝLOŽNÍKU	4-M24-01/01-07
UCHYCENÍ HYDROMOTORU	4-M24-01/01-08
ŽEBRO	4-M24-01/01-09
NÁBOJ	4-M24-01/01-10
KRYT AKUMULÁTORU	4-M24-01/01-11

Příloha 1

V této příloze předkládám vypočítané výsledky MKP v programu Nexis32 release 3.30.08.

Vnitřní síly na prutu(ech). koncové řezy

Lineární statický - nebezpečné nebo všechny kombinace

Skupina prutů:1/54

Skupina zatěžovacích stavů:1/2

Zatěžovací stav 1 stálé zatížení.

Zatěžovací stav 2 zatížení od vlastní hmotnosti.

prut	pr.č.	dx [m]	stav	N [kN]
1	1	0.000	1	-4.040
1	1	0.350	1	-4.040
1	1	0.000	2	-0.454
1	1	0.350	2	-0.454
2	1	0.000	1	-19.307
2	1	0.800	1	-19.307
2	1	0.000	2	-2.173
2	1	0.800	2	-2.173
3	1	0.000	1	-13.502
3	1	0.800	1	-13.502
3	1	0.000	2	-1.524
3	1	0.800	2	-1.524
4	2	0.000	1	-6.319
4	2	0.871	1	-6.319
4	2	0.000	2	-0.706
4	2	0.871	2	-0.706
5	1	0.000	1	21.485
5	1	0.873	1	21.485
5	1	0.000	2	2.421
5	1	0.873	2	2.421
6	1	0.000	1	20.661
6	1	0.873	1	20.661
6	1	0.000	2	2.322
6	1	0.873	2	2.322
7	1	0.000	1	7.155
7	1	0.338	1	7.155
7	1	0.000	2	0.888
7	1	0.338	2	0.888
8	1	0.000	1	-10.031
8	1	0.347	1	-10.031
8	1	0.000	2	-1.305
8	1	0.347	2	-1.305
9	1	0.000	1	-9.692
9	1	0.347	1	-9.692
9	1	0.000	2	-1.261
9	1	0.347	2	-1.261

10	1	0.000	1	-19.307
10	1	0.500	1	-19.307
10	1	0.000	2	-2.173
10	1	0.500	2	-2.173
11	1	0.000	1	-19.307
11	1	0.500	1	-19.307
11	1	0.000	2	-2.170
11	1	0.500	2	-2.170
12	3	0.000	1	-0.000
12	3	0.603	1	-0.000
12	3	0.000	2	-0.003
12	3	0.603	2	-0.003
13	2	0.000	1	0.221
13	2	0.336	1	0.221
13	2	0.000	2	0.006
13	2	0.336	2	0.006
14	2	0.000	1	1.934
14	2	0.608	1	1.934
14	2	0.000	2	0.479
14	2	0.608	2	0.479
15	2	0.000	1	1.934
15	2	0.608	1	1.934
15	2	0.000	2	0.473
15	2	0.608	2	0.473
16	1	0.000	1	35.441
16	1	1.000	1	35.441
16	1	0.000	2	3.564
16	1	1.000	2	3.564
17	2	0.000	1	-2.032
17	2	0.599	1	-2.032
17	2	0.000	2	-0.431
17	2	0.599	2	-0.431
18	2	0.000	1	-2.032
18	2	0.599	1	-2.032
18	2	0.000	2	-0.422
18	2	0.599	2	-0.422

19	1	0.000	1	-16.023
19	1	1.000	1	-16.023
19	1	0.000	2	-1.422
19	1	1.000	2	-1.422
20	3	0.000	1	-0.000
20	3	1.051	1	-0.000
20	3	0.000	2	-0.009
20	3	1.051	2	-0.009
21	1	0.000	1	-16.023
21	1	1.000	1	-16.023
21	1	0.000	2	-1.421
21	1	1.000	2	-1.421
22	2	0.000	1	2.190
22	2	0.595	1	2.190
22	2	0.000	2	0.403
22	2	0.595	2	0.403
23	2	0.000	1	2.190
23	2	0.595	1	2.190
23	2	0.000	2	0.413
23	2	0.595	2	0.413
24	2	0.000	1	-0.076
24	2	0.308	1	-0.076
24	2	0.000	2	-0.027
24	2	0.308	2	-0.027
25	1	0.000	1	28.368
25	1	1.000	1	28.368
25	1	0.000	2	2.166
25	1	1.000	2	2.166
26	2	0.000	1	-2.305
26	2	0.587	1	-2.305
26	2	0.000	2	-0.333
26	2	0.587	2	-0.333
27	2	0.000	1	-2.305
27	2	0.587	1	-2.305
27	2	0.000	2	-0.342
27	2	0.587	2	-0.342
28	1	0.000	1	-12.219
28	1	1.000	1	-12.219
28	1	0.000	2	-0.791
28	1	1.000	2	-0.791
29	3	0.000	1	-0.000
29	3	1.044	1	-0.000
29	3	0.000	2	-0.009
29	3	1.044	2	-0.009
30	1	0.000	1	-12.219
30	1	1.000	1	-12.219
30	1	0.000	2	-0.791
30	1	1.000	2	-0.791
31	2	0.000	1	2.434
31	2	0.585	1	2.434
31	2	0.000	2	0.314
31	2	0.585	2	0.314
32	2	0.000	1	2.434
32	2	0.585	1	2.434
32	2	0.000	2	0.304
32	2	0.585	2	0.304

33	2	0.000	1	0.008
33	2	0.290	1	0.008
33	2	0.000	2	-0.020
33	2	0.290	2	-0.020
34	1	0.000	1	20.277
34	1	1.000	1	20.277
34	1	0.000	2	1.062
34	1	1.000	2	1.062
35	2	0.000	1	-2.583
35	2	0.576	1	-2.583
35	2	0.000	2	-0.237
35	2	0.576	2	-0.237
36	2	0.000	1	-2.583
36	2	0.576	1	-2.583
36	2	0.000	2	-0.226
36	2	0.576	2	-0.226
37	1	0.000	1	-7.895
37	1	1.000	1	-7.895
37	1	0.000	2	-0.325
37	1	1.000	2	-0.325
38	3	0.000	1	-0.000
38	3	1.039	1	-0.000
38	3	0.000	2	-0.010
38	3	1.039	2	-0.010
39	1	0.000	1	-7.895
39	1	1.000	1	-7.895
39	1	0.000	2	-0.325
39	1	1.000	2	-0.325
40	2	0.000	1	0.012
40	2	0.272	1	0.012
40	2	0.000	2	-0.020
40	2	0.272	2	-0.020
41	2	0.000	1	2.793
41	2	0.574	1	2.793
41	2	0.000	2	0.192
41	2	0.574	2	0.192
42	2	0.000	1	2.793
42	2	0.574	1	2.793
42	2	0.000	2	0.203
42	2	0.574	2	0.203
43	1	0.000	1	10.926
43	1	1.000	1	10.926
43	1	0.000	2	0.316
43	1	1.000	2	0.316
44	1	0.000	1	-2.839
44	1	1.000	1	-2.839
44	1	0.000	2	-0.057
44	1	1.000	2	-0.057
45	3	0.000	1	-0.000
45	3	1.033	1	-0.000
45	3	0.000	2	-0.010
45	3	1.033	2	-0.010
46	1	0.000	1	-2.839
46	1	1.000	1	-2.839
46	1	0.000	2	-0.057
46	1	1.000	2	-0.057

47	2	0.000	1	-0.741
47	2	0.250	1	-0.741
47	2	0.000	2	-0.012
47	2	0.250	2	-0.012
48	2	0.000	1	-2.973
48	2	0.567	1	-2.973
48	2	0.000	2	-0.114
48	2	0.567	2	-0.114
49	2	0.000	1	-2.973
49	2	0.567	1	-2.973
49	2	0.000	2	-0.104
49	2	0.567	2	-0.104
50	2	0.000	1	3.202
50	2	0.564	1	3.202
50	2	0.000	2	0.075
50	2	0.564	2	0.075
51	2	0.000	1	3.202
51	2	0.564	1	3.202
51	2	0.000	2	0.064
51	2	0.564	2	0.064
52	2	0.000	1	0.000
52	2	0.250	1	0.000
52	2	0.000	2	-0.006
52	2	0.250	2	-0.006
53	2	0.000	1	0.000
53	2	0.250	1	0.000
53	2	0.000	2	-0.006
53	2	0.250	2	-0.006
54	1	0.000	1	0.000
54	1	0.500	1	0.000
54	1	0.000	2	0.000
54	1	0.500	2	0.000

Příloha 2

V této příloze předkládám vypočítané výsledky MKP v programu Nexis32 release 3.30.08.

Prut - napětí. Extrém prutu koncové řezy

Lineární statický - nebezpečné nebo všechny kombinace

Skupina prutů: 1/54

Skupina zatěžovacích stavů: 1/2

Zatěžovací stav 1 stálé zatížení.

Zatěžovací stav 2 zatížení od vlastní hmotnosti.

prut	pr.č.	stav	dx m	Norm. napětí - / + MPa	Smyk. napětí MPa	von Mises - / + MPa
1	1	1	0.000	-12.4380 0.0000	0.0000	12.4380
2	1	1	0.000	-59.6730 0.0000	0.0000	59.6730
3	1	1	0.000	-41.7278 0.0000	0.0000	41.7278
4	2	1	0.000	-31.7417 0.0000	0.0000	31.7417
5	4	1	0.000	0.0000 55.4418	0.0000	55.4418
6	4	1	0.000	0.0000 52.9334	0.0000	52.9334
7	1	1	0.000	0.0000 22.0670	0.0000	22.0670
8	1	1	0.000	-31.0990 0.0000	0.0000	31.0990
9	1	1	0.000	-29.8586 0.0000	0.0000	29.8586
10	1	1	0.000	-59.6714 0.0000	0.0000	59.6714
11	1	1	0.000	-59.6714 0.0000	0.0000	59.6714
12	3	2	0.000	-0.0243 0.0000	0.0000	0.0243
13	2	1	0.000	0.0000 1.1120	0.0000	1.1120
14	2	1	0.000	0.0000 9.7135	0.0000	9.7135
15	2	1	0.000	0.0000 9.7135	0.0000	9.7135
16	4	1	0.000	0.0000 91.1337	0.0000	91.1337
17	2	1	0.000	-10.2060 0.0000	0.0000	10.2060
18	2	1	0.000	-10.2060 0.0000	0.0000	10.2060

prut	pr.č.	stav	dx m	Norm. napětí - / + MPa	Smyk. napětí MPa	von Mises - / + MPa
19	1	1	0.000	-49.5208 0.0000	0.0000	49.5208
20	3	2	0.000	-0.0782 0.0000	0.0000	0.0782
21	1	1	0.000	-49.5208 0.0000	0.0000	49.5208
22	2	1	0.000	0.0000 10.9982	0.0000	10.9982
23	2	1	0.000	0.0000 10.9982	0.0000	10.9982
24	2	1	0.000	-0.3817 0.0000	0.0000	0.3817
25	4	1	0.000	0.0000 72.9471	0.0000	72.9471
26	2	1	0.000	-11.5772 0.0000	0.0000	11.5772
27	2	1	0.000	-11.5772 0.0000	0.0000	11.5772
28	1	1	0.000	-37.7634 0.0000	0.0000	37.7634
29	3	2	0.000	-0.0770 0.0000	0.0000	0.0770
30	1	1	0.000	-37.7634 0.0000	0.0000	37.7634
31	2	1	0.000	0.0000 12.2238	0.0000	12.2238
32	2	1	0.000	0.0000 12.2238	0.0000	12.2238
33	2	2	0.000	-0.1000 0.0000	0.0000	0.1000
33	2	1	0.000	0.0000 0.0378	0.0000	0.0378
34	4	1	0.000	0.0000 52.1399	0.0000	52.1399
35	2	1	0.000	-12.9750 0.0000	0.0000	12.9750
36	2	1	0.000	-12.9750 0.0000	0.0000	12.9750
37	1	1	0.000	-24.4010 0.0000	0.0000	24.4010
38	3	2	0.000	-0.0897 0.0000	0.0000	0.0897
39	1	1	0.000	-24.4010 0.0000	0.0000	24.4010
40	2	2	0.000	-0.1022 0.0000	0.0000	0.1022
40	2	1	0.000	0.0000 0.0612	0.0000	0.0612
41	2	1	0.000	0.0000 14.0258	0.0000	14.0258
42	2	1	0.000	0.0000 14.0258	0.0000	14.0258

prut	pr.č.	stav	dx m	Norm. napětí - / + MPa	Smyk. napětí MPa	von Mises - / + MPa
43	4	1	0.000	0.0000 28.0959	0.0000	28.0959
44	1	1	0.000	-8.7732 0.0000	0.0000	8.7732
45	3	2	0.000	-0.0878 0.0000	0.0000	0.0878
46	1	1	0.000	-8.7732 0.0000	0.0000	8.7732
47	2	1	0.000	-3.7207 0.0000	0.0000	3.7207
48	2	1	0.000	-14.9303 0.0000	0.0000	14.9303
49	2	1	0.000	-14.9303 0.0000	0.0000	14.9303
50	2	1	0.000	0.0000 16.0795	0.0000	16.0795
51	2	1	0.000	0.0000 16.0795	0.0000	16.0795
52	2	2	0.000	-0.0335 0.0000	0.0000	0.0335
52	2	1	0.000	0.0000 0.0000	0.0000	0.0000
53	2	2	0.000	-0.0335 0.0000	0.0000	0.0335
53	2	1	0.000	0.0000 0.0000	0.0000	0.0000
54	4	1	0.000	0.0000 0.0000	0.0000	0.0000

Příloha 3

V této příloze předkládám vypočítané výsledky MKP v programu Nexis32 release 3.30.08.

Vnitřní síly na prutu(ech). Extrém prutu koncové řezy

Lineární statický - nebezpečné nebo všechny kombinace

Skupina prutů: 1/54

Skupina zatěžovacích stavů: 1/2

Zatěžovací stav 1 stálé zatížení.

Zatěžovací stav 2 zatížení od vlastní hmotnosti.

prut	pr.č.	stav	dx [m]	N [kN]
1	2	1	0.000	0.1595
2	1	1	0.000	-0.5250
3	1	1	0.000	-0.8487
4	1	1	0.000	0.4119
5	1	1	0.000	0.6522
6	1	1	0.000	0.7681
7	1	2	0.000	0.0636
7	1	1	0.000	-0.1767
8	1	2	0.000	0.0636
8	1	1	0.000	-0.1767
9	1	1	0.000	-0.9332
10	1	1	0.000	0.0516
10	1	2	0.000	-0.1740
11	2	1	0.000	0.0204
11	2	2	0.000	-0.1754
12	1	2	0.000	-0.1785
13	2	1	0.000	0.0204
13	2	2	0.000	-0.1754
14	1	2	0.000	0.0180
15	2	1	0.000	2.9271
16	2	1	0.000	10.9459
17	2	1	0.000	0.4765
18	3	1	0.000	3.0165
18	3	2	0.000	-0.1286
19	3	1	0.000	-1.7024
20	3	1	0.890	1.9276
20	3	2	0.000	-0.4072
21	3	1	0.000	-2.6181

Příloha 4

V této příloze předkládám vypočítané výsledky MKP v programu Nexis32 release 3.30.08.

Prut - napětí. Extrém prutu

Lineární statický - nebezpečné nebo všechny kombinace

Skupina prutů: 1/54

Skupina zatěžovacích stavů: 1/2

Zatěžovací stav 1 stálé zatížení.

Zatěžovací stav 2 zatížení od vlastní hmotnosti.

prut	pr.č.	stav	dx m	Norm. napětí - / + MPa	Smyk. napětí MPa	von Mises - / + MPa
1	2	1	0.000	0.0000 0.1450	0.0000	0.1450
2	1	1	0.000	-0.2763 0.0000	0.0000	0.2763
3	1	1	0.000	-0.4467 0.0000	0.0000	0.4467
4	1	1	0.000	0.0000 0.2168	0.0000	0.2168
5	1	1	0.000	0.0000 0.3433	0.0000	0.3433
6	1	1	0.000	0.0000 0.4043	0.0000	0.4043
7	1	1	0.000	-0.0930 0.0000	0.0000	0.0930
7	1	2	0.000	0.0000 0.0335	0.0000	0.0335
8	1	1	0.000	-0.0930 0.0000	0.0000	0.0930
8	1	2	0.000	0.0000 0.0335	0.0000	0.0335
9	1	1	0.000	-0.4912 0.0000	0.0000	0.4912
10	1	2	0.000	-0.0916 0.0000	0.0000	0.0916
10	1	1	0.000	0.0000 0.0272	0.0000	0.0272
11	2	2	0.000	-0.1594 0.0000	0.0000	0.1594
11	2	1	0.000	0.0000 0.0186	0.0000	0.0186
12	1	2	0.000	-0.0940 0.0000	0.0000	0.0940
13	2	2	0.000	-0.1594 0.0000	0.0000	0.1594
13	2	1	0.000	0.0000 0.0186	0.0000	0.0186

prut	pr.č.	stav	dx m	Norm. napětí - / + MPa	Smyk. napětí MPa	von Mises - / + MPa
14	1	2	0.000	0.0000 0.0095	0.0000	0.0095
15	2	1	0.000	0.0000 2.6610	0.0000	2.6610
16	2	1	0.000	0.0000 9.9508	0.0000	9.9508
17	2	1	0.000	0.0000 0.4332	0.0000	0.4332
18	3	2	0.000	-0.3973 0.0000	0.0000	0.3973
18	3	1	0.000	0.0000 9.3229	0.0000	9.3229
19	3	1	0.000	-5.2615 0.0000	0.0000	5.2615
20	3	2	0.000	-1.2585 0.0000	0.0000	1.2585
20	3	1	0.890	0.0000 5.9575	0.0000	5.9575
21	3	1	0.000	-8.0916 0.0000	0.0000	8.0916

Příloha 5

V této příloze předkládám ampérovou charakteristiku stejnosměrného motoru.

Motor CODE C41

Voltage	24 V
Power	500 W
S3	17%
S2	5 min
Thermal switch	no
Protection Index	IP54

