

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

REALIZACE HYDRAULICKÉHO OBVODU POMOCÍ SYSTÉMU MIKRO-HYDRAULIKY

MICRO-HYDRAULICS SYSTEM DESIGN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE **MARTIN PITAŠ**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE **ING. STANISLAV VĚCHET, PH.D.**
SUPERVISOR

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky
Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pitaš Martin

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

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

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:

Realizace hydraulického obvodu pomocí systému mikro-hydrauliky

v anglickém jazyce:

Micro-hydraulics system design

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Praktická realizace hydraulického obvodu pro hydraulický manipulátor. Manipulátor obsahuje dva hydromotory, jejichž pohyb je řízen na základě informací o poloze mechanizmu. Vlastní hydraulický sub-systém je tvořen hydraulickými a elektro-hydraulickými prvky ze systému mikro-hydrauliky.

Cíle bakalářské práce:

Prostudujte metody návrhu hydraulických obvodů
Vypracujte návrh hydraulického obvodu pro konkrétní aplikace
Navržený obvod prakticky realizujte

Seznam odborné literatury:

http://www.hydrocom.cz
http://www.festo.cz

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Stanislav Věchet, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 26.11.2008

L.S.



doc. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.	doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Ředitel ústavu	Děkan fakulty

LICENČNÍ SMLOUVA

(na místo tohoto listu vložte vyplněný a podepsaný list formuláře licenčního ujednání)

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce má za jeden ze svých hlavních cílů praktickou realizaci hydraulického obvodu pomocí systému mikro-hydrauliky.

Celá práce je rozdělena to tří hlavních částí. První část se zabývá rozdělením hydrauliky a výběrem vhodných prvků hydraulického obvodu a také jejich výhodností z hlediska financí. Druhá část je věnována konstrukci upevnění snímače polohy na lineární hydromotor, konstrukcí držáků pro hydraulické rozvaděče a hydrogenerátor. Třetí část popisuje samotný hydraulický obvod, použití správného oleje pro celý obvod a v neposlední řadě je zde proveden i výpočet potvrzující správnost výběru jednotlivých prvků.

Hlavním softwarovým vybavením použitým při vypracování jednotlivých částí této práce byl Autodesk Inventor Professional 2008 (kapitola 3) a FluidSIM Hydraulics V 4.2 Demo Version English (kapitola 4).

ABSTRACT

One of the main aims of presented bachelor's thesis is an implementation of hydraulic circuit by micro-hydraulics system.

Bachelor's thesis has three main part. First part deals with hydraulic distribution and selection of acceptable devices of hydraulic circuit, especially their advantageousness in term of finance. Second part is devoted to the construction of fixation for the position sensor on linear hydromotor, holder for hydraulic valve and hydrogenerator. Third part describes to hydraulic circuit, right hydraulic oil for whole hydraulic circuit. The verifying calculation confirming rightness selection particular devices is here also.

Autodesk Inventor Professional 2008 (chapter 3) a FluidSIM Hydraulics V 4.2 Demo Version English (chapter 4) was used as a general software.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mikro-hydraulika, modelářská hydraulika, hydraulický obvod, hydraulický manipulátor.

KEYWORDS

Micro-hydraulics, modeler hydraulics, hydraulic circuit, hydraulic manipulator.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Stanislavu Věchetovi, Ph.D. za jeho pomoc, věcné rady a připomínky při vypracování této bakalářské práce.

Obsah:

Licenční smlouva....5
Abstrakt....7
Poděkování....9
1 Úvod....13
2 Hydraulická soustava....15
2.1 Hydraulické prvky....15
2.1.1 Hydraulika....15
2.1.2 Mikro-hydraulika....15
2.1.3 Modelářská hydraulika....15
2.2 Mechanická konstrukce hydraulického ramene....16
2.3 Výběr prvků pro hydraulický obvod....17
2.3.1 Prvky klasické mikro-hydrauliky....17
2.3.2 Prvky modelářské hydrauliky....19
2.4 Finanční srovnání....21
3 Konstrukce mechanických částí....23
3.1 Uchycení prvků hydraulického obvodu....23
3.1.1 Verze 1....23
3.1.2 Verze 2....24
3.1.3 Verze 3....25
3.1.4 Verze 4....25
3.2 Konstrukce uchycení snímače polohy MLFK 08T7101....26
4 Hydraulický obvod....29
4.1 Olej....29
4.2 Model obvodu....29
4.3 Výpočet....30
5 Závěr....37
Použité značení a jednotky veličin....39
Seznam použité literatury....41
Seznam příloh na CD....43

1 ÚVOD

Hydraulika, latinsky hydraulica, je věda, kterou se lidstvo zabývá od nepaměti. Již ve staré Mezopotámii stavěli různé zavlažovací kanály a přehrady zajišťující potřebný dostatek vláhy. Za jednoho ze zakladatelů klasické hydrauliky je považován Archimédes, jenž byl i prvním autorem publikace týkající se hydrauliky. Byla to kniha, vlastně spíše spis „O věcech plovoucích".

Dnešní hydraulika je mnohem pokročilejší, i když zákony, které vymyslel již Archimédes, platí dál. Přesto každý žák školou povinný musí i dnes znát, že těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno silou rovnající se tíze kapaliny stejného objemu, jako je ponořená část tělesa. V dnešní době se pojem hydraulika nevztahuje jen na různé zavlažovací kanály či přehrady zajišťující lidem, zvířatům a rostlinám dostatečný přísun vody. Dnes se pojem hydraulika používá u všeho, co je spojeno s proudícími kapalinami a obzvláště s olejem. Vždyť kdo si dnes představí při slově hydraulika něco jiného než různá hydraulická ramena a hydraulické písty a to vše naplněné čím jiným než olejem? Ovšem hydraulika v dnešní době nepomáhá jen v průmyslu, ale můžeme se s ní setkat například i ve zdravotnictví.

To by měl být příklad i této bakalářské práce s tématem „Realizace hydraulického obvodu pomocí systému mikro-hydrauliky". Hlavním cílem této práce je prakticky realizovat navržený hydraulický obvod, který by měl být sestaven z prvků mikro-hydrauliky. Celý obvod bude umístěn na rameni, které je v současnosti osazeno dvěma lineárními hydromotory. K tomu, aby se z ramene stal plnohodnotný hydraulický manipulátor, je potřeba vytvořit samotný hydraulický obvod přidáním elektricky ovládaného rozvaděče a hydrogenerátoru, tyto nepostradatelné prvky hydraulického obvodu nějak vhodně umístit k samotnému rameni a na lineární hydromotory umístit snímače polohy, které budou do počítače hlásit aktuální polohu vysunutí těchto lineárních hydromotorů.

Celý projekt bude využit nejen v laboratoři na ústavu automatizace a informatiky k výukovým účelům, aby studenti viděli a mohli si i sami vyzkoušet, jak takový hydraulický obvod funguje, ale měl by být i součástí projektu zabývajícího se konstrukcí tzv. motorizované ortézy. Tato ortéza by měla sloužit pacientům po úrazu či operaci loketního kloubu k rehabilitaci vedoucí k navrácení co možná největší části původní pohyblivosti jejich ruky. Měla by v podstatě splňovat funkci rehabilitační sestry, která přijde k pacientovi, provede s ním cvičení a pacient až přijde příště na rehabilitaci, tak už bude zkoušet jiný cvik, protože ortéza si stejně jako rehabilitační sestra bude pamatovat, že toto s ním cvičila již minule.

Základní otázkou celé práce bylo, zda použít prvky klasické mikro-hydrauliky, či se vydat cestou pouze testovací a na odzkoušení základních parametrů a pohyblivosti celého manipulátoru zkusit použít hydrauliku modelářskou.

2 HYDRAULICKÁ SOUSTAVA

2.1 Hydraulické prvky

2.1.1 Hydraulika

Hydraulika je technická disciplína zabývající se využitím mechanických vlastností tekutin pro technické účely. Teoretické základy poskytuje hydraulice mechanika tekutin. Hydraulika využívá jak znalostí z hydrostatiky, tak i z hydromechaniky. Hydraulika tedy studuje rovnováhu i pohyb tekutin, ale také vzájemné působení tekutin a tuhých těles [1].

Mezi základní prvky hydrauliky patří písty, rozvaděče, hydrogenerátory neboli čerpadla. Tyto prvky poté tvoří spolu s hydraulickým olejem tzv. hydraulické obvody, které jsou základem pro hydraulická zařízení.

Hydraulická zařízení se používají v různých odvětvích průmyslu, například různé pracovní linky, roboti ve strojírenském průmyslu, zemědělské stroje a v neposlední řadě se můžeme s hydraulickými zařízeními setkat v dopravě (např. hydraulické sklápění zadních čel nákladních automobilů nebo brzdové systémy využívající hydrauliky).

2.1.2 Mikro-hydraulika

Mikro-hydraulika se od normální hydrauliky liší velikostí jednotlivých prvků hydraulického obvodu. Tyto prvky jsou několikanásobně menší a používají se v zařízeních, kde použití klasické hydrauliky je z rozměrového hlediska vyloučené. Jedná se například o zdravotnická polohovatelná lehátka a křesla, zádržné systémy, zařízení motorových člunů, systémy pro aplikace na vozidlech.

Mezi nejznámější firmy zabývající se prvky mikro-hydrauliky patří Hoerbiger Micro Fluid GmbH a PROVENION GmbH.

2.1.3 Modelářská hydraulika

Modelářská hydraulika je ve své podstatě mikro-hydraulika. Hlavní rozdíl mezi mikro-hydraulikou a modelářskou hydraulikou je ve kvalitě jednotlivých prvků. Modelářská hydraulika neklade na své prvky až tak velké nároky a tudíž nemusí dosahovat takových kvalit a přesností jako mikro-hydraulika.

Jak už z názvu vyplývá, modelářská hydraulika se nejčastěji používá v modelech na místech, kde je v reálu použita normální hydraulika, aby tyto modely byly co nejdokonalejší zmenšeninou svých originálů.

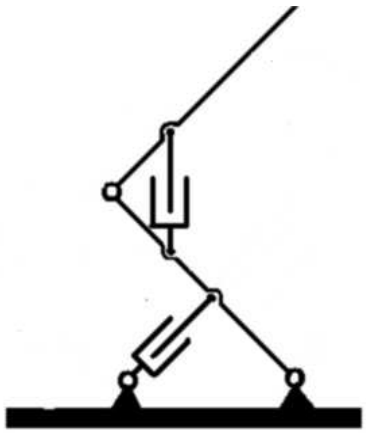
Největšími producenty modelářské hydrauliky jsou firmy z Německa. Např. LEIMBACH MODELLBAU, Stahl modellbau.



Obr. 1 Příklad použití modelářské hydrauliky na modelu vozu značky TATRA [2].

2.2 Mechanická konstrukce hydraulického ramene

Celý hydraulický obvod by měl být realizován na rameni, jehož schématický nákres je na obr.2. Toto rameno je vyrobeno z hliníku, tudíž jeho hmotnost je velmi nízká a je připevněno ke dřevěné desce.



Obr. 2 Nákres hydraulického ramene [3].

Obvod bude sestaven do podoby, která je na obr. 18 v kapitole 4.2 této práce. Pro sestavení hydraulického obvodu bude třeba čerpadlo, lineární hydromotory a rozvaděč. Podrobné vlastnosti jednotlivých zařízení a zdůvodnění jejich výběru, hlavně z finančního hlediska, je uvedeno v následujících dvou kapitolách (2.3, 2.4).

Pro snadné propojení jednotlivých částí hydraulického obvodu je nutné jejich uchycení, v tomto případě na základní desku ramene, které je znázorněno v kapitole 3.1. Konkrétně ve čtvrté části této kapitoly lze najít finální řešení problému uchycení čerpadla a rozvaděčů.

Pro správnou práci hydraulického obvodu je třeba jeho naplnění správným hydraulickým olejem. Podrobná specifikace oleje je uvedena v kapitole 4.1.

Poslední důležitou kapitolou této práce, co se týče samotného hydraulického obvodu, je kapitola 4.3, ve které byl proveden kontrolní výpočet tlaku hydrogenerátoru.

2.3 Výběr prvků pro hydraulický obvod

Tato kapitola se zabývá porovnáním jednotlivých prvků klasické mikro-hydrauliky a modelářské hydrauliky hlavně z finančního hlediska, ale jsou zde zohledněny i parametry jednotlivých prvků, aby byly použitelné pro tento konkrétní hydraulický obvod.

2.3.1 Prvky klasické mikro-hydrauliky

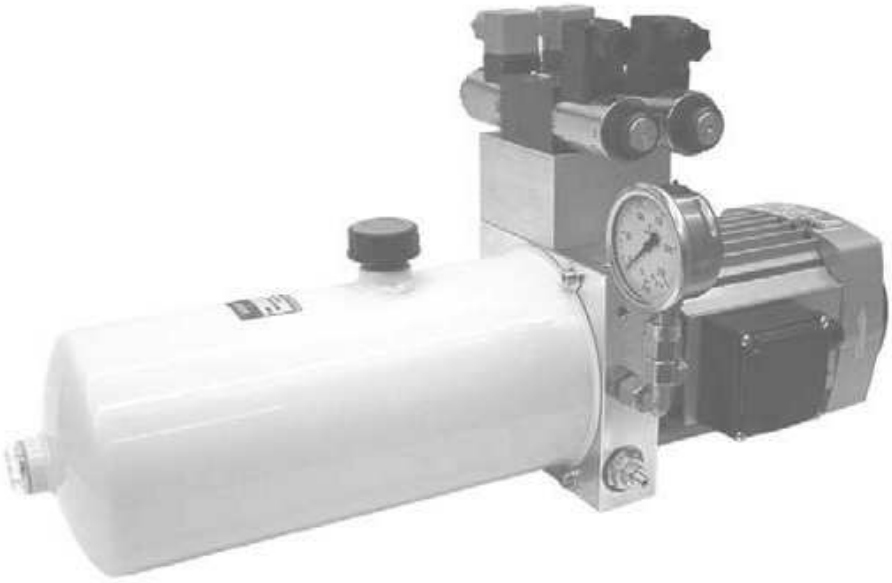
Pro výběr těchto prvků byl použit katalog firmy HOERBIGER [4]. Tato firma působí na trhu více jak sto let a jejím původním zaměřením byla výroba ventilů do kompresorů. V současnosti je firma zastoupena ve 42 zemích světa a má přes 4350 zaměstnanců ve třech divizích [5].

Čerpadlo

Jedním z čerpadel, které by se pro tento účel hodilo, je čerpadlo HOERBIGER series H3 s výtlakem 0,7–2,2 l/min, objemem nádrže 2–4 l dle konkrétní specifikace. Otáčky tohoto motoru jsou od 1400 ot/min^{-1} až po 2800 ot/min^{-1}. Cena tohoto čerpadla ve specifikaci H330X037D4M122H02P by byla 32 600 Kč.

Specifikace H330X037D4M122H02P znamená [4]:

- H330 → typ
- X → připraveno pro modulární tělo
- 037 → výkon motoru 0,37 kW
- D4 → čtyř-pólový motor s otáčkami 1400 ot/min^{-1}
- M → obsahuje manometr
- 122 → velikost vyrovnávací nádrže, zde 122 cm^3
- H → montážní pozice, zde horizontální
- 02 → velikost nádrže, zde 2 l
- P → napájecí napětí 24 V DC



Obr. 3 Čerpadlo HOERBIGER series H3 [4].

Ovládací blok hydrauliky

Do ovládacího bloku hydrauliky byl vybrán rozvaděč typu 4/3, který má označení HCM tzn. ovládání tohoto rozvaděče je uskutečňováno dvěma elektrickými cívkami. Ještě existují typy HAM a HBM, ale ty jsou elektrickou cívkou ovládány vždy pouze z jedné strany. Počet přepnutí polohy u tohoto rozvaděče je 15 000 přepnutí za hodinu, což je pro náš účel naprosto dostačující. Váha tohoto rozvaděče je při použití dvou elektrických ovládacích cívek, jako v tomto případě, 1,25 kg. Výhodou

těchto rozvaděčů je případná snadná výměna elektrických ovládacích cívek. Pro náš konkrétní problém byl vybrán typ HCM330PC04P, který je pro stejnosměrné napětí 24 V, stejně jako čerpadlo.



Obr. 4 Schéma přepínání rozvaděče HCM330PC04P [4].

Specifikace HCM330PC04P znamená [4]:
- HCM → typ s elektrickými ovládacími cívkami na obou stranách
- 330 → schéma přepínání rozvaděče viz obr.4
- PC04 → obecné označení rozvaděčů třídy HxM s maximálním průtokem 30 l za hodinu
- P → napájecí napětí 24 V DC

Dalším prvkem potřebným pro správnou funkci je proporcionální škrtící ventil, v našem případě je to konkrétně proporcionální škrtící ventil PSR2BE04P03. Váha tohoto škrtícího ventilu je 0,62 kg.

Specifikace PSR2BE04P03 znamená [4]:
- PSR2BE04 → typ
- P → napájecí napětí 24 V DC
- 03 → objemový průtok 3 l/min



Obr. 5 Škrtící ventil PSR2BE04P03 [4].

Celková cena ovládacího bloku hydrauliky skládajícího se ze škrtícího ventilu PSR2BE04P03 a rozvaděče HCM330PC04P by se vyšplhala na cenu 17 200 Kč.

Hydromotor

Posledním prvkem je lineární hydromotor. Vybrán byl hydromotor firmy HOERBIGER, konkrétně dvojčinný diferenciální hydromotor typ LB2-1208-0050-4M s maximální možnou dosažitelnou rychlostí 4 m/s. Cena hydromotoru byla stanovena na 14 747 Kč

Tento typ má následující parametry [6]:
- obsah plochy pístu: 0,5 cm^2
- obsah plochy tyče: 0,2 cm^2
- obsah plochy prstence: 0,3 cm^2
- maximální zdvih: 120 mm
- průměr válce: 16 mm



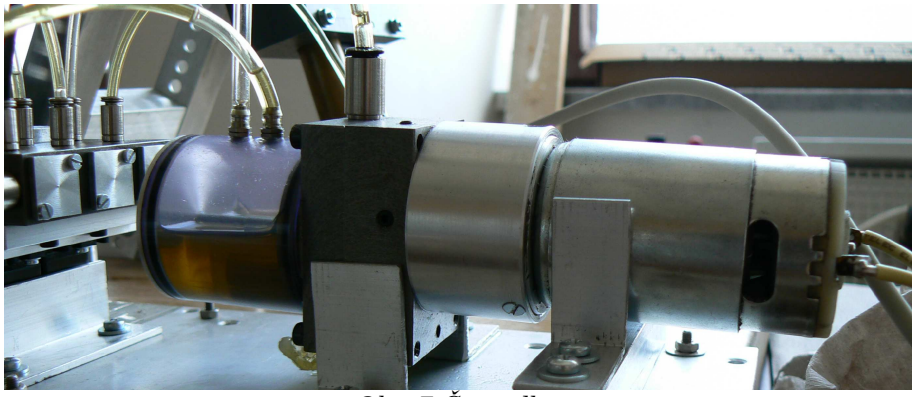
Obr. 6 Hydromotory od firmy HOERBIGER [6].

2.3.2 Prvky modelářské hydrauliky

Prvky modelářské hydrauliky byly vybrány od firmy Š-Hobby z Hradce Králové. Toto byla asi jediná firma z České republiky, která se zabývala výrobou vlastní modelářské hydrauliky. Bohužel z blíže nespecifikovaných důvodů firma výrobu ukončila a není v současnosti schopna poskytnout bližší technické specifikace jednotlivých komponent nakoupených v této firmě. I přesto uvádím alespoň cenové porovnání vůči klasické mikro-hydraulice a dále některé hodnoty, které byly naměřeny.
V současnosti se výrobou modelářské hydrauliky v České republice nezabývá nikdo, tudíž ji je nutno objednávat v Německu, kde je ovšem cena zhruba dvakrát vyšší, než byla u výrobků firmy Š-Hobby. Asi nejznámější německou firmou na modelářskou hydrauliku je firma LEIMBACH MODELLBAU z Belmu ležícího nedaleko Osnabrücku, z jejichž ceníku [7] jsou uvedeny ceny pro srovnání s těmi českými.

Čerpadlo

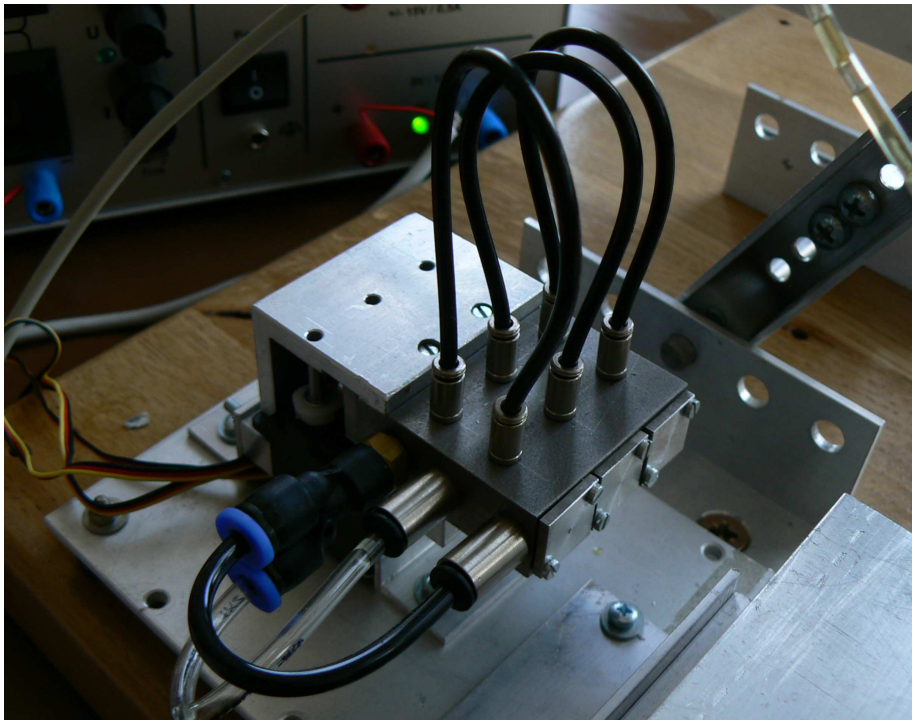
Modelářské čerpadlo firmy Š-Hobby z Hradce Králové má při obvyklé konfiguraci průtok 180 cm^3 za minutu. Maximální tlak tohoto čerpadla je 0,36 MPa. Cena čerpadla při tomto průtoku a našem objemu nádrže cca 45 ml je 2 700 Kč. U firmy LEIMBACH MODELLBAU by byla cena 211 € (cca 5 700 Kč).



Obr. 7 Čerpadlo.

Ovládací blok hydrauliky

Ovládací blok u modelářské hydrauliky tvoří rozvaděč, v našem případě proporcionální rozvaděč typu 5/2, a servomotory. V případě, že je rozvaděč zhotoven z duralu, je cena za díl 1 800 Kč, zhotovení z litiny je v ceně 2 400 Kč za díl. Tato cena již zahrnuje i cenu servomotoru. Náš rozvaděč je zhotoven z duralu, který pro naši potřebu naprosto dostačuje. Rozvaděč je sestaven ze tří částí, cena by tedy byla 5 400 Kč. U firmy LEIMBACH MODELLBAU by byla cena 310 € za rozvaděč + 105 € za servomotor (cca 11 200 Kč).

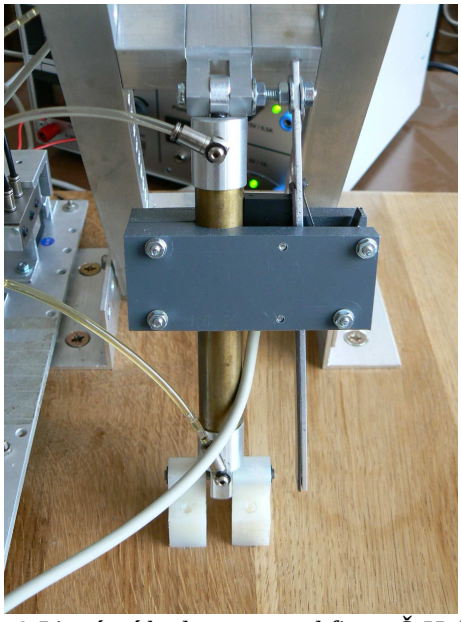


Obr. 8 Ovládací blok modelářské hydrauliky.

Hydromotor

Od firmy Š-Hobby byl vybrán modelářský lineární hydromotor 16-145/4 s následujícími parametry [3]:

maximální zdvih:	120 mm
průměr válce:	16 mm
síla vysunování:	153 N (při 1 MPa)
síla zasunování:	125 N (při 1 MPa)



Obr. 9 Lineární hydromotor od firmy Š-Hobby.

Cena jednoho lineárního hydromotoru od firmy Š-Hobby je 800 Kč. U firmy LEIMBACH MODELLBAU by byla cena 83 € (cca 2 241 Kč).

2.4 Finanční srovnání

1. výpočet ceny při použití prvků klasické mikro-hydrauliky

a) čerpadlo H330X037D4M122H02P	cena 32 600 Kč
b) 2 ovládací bloky hydrauliky	cena 34 400 Kč
c) 2 lineární hydromotory LB2-1208-0050-4M	cena 29 494 Kč
celkem	cena 96 494 Kč

2. výpočet ceny při použití prvků modelářské hydrauliky

a) čerpadlo	cena 2 700 Kč
b) 2 ovládací bloky hydrauliky	cena 10 800 Kč
c) 2 lineární hydromotory 16-145/4	cena 1 600 Kč
celkem	cena 15 100 Kč

Z tohoto výpočtu je jasné, že finančně výhodnější je použití modelářské hydrauliky, která je přibližně šestkrát levnější než klasická mikro-hydraulika. Další výhodou modelářské hydrauliky je její velikost. I přesto, že mikro-hydraulika je ve srovnání s hydraulikou podstatně menší, tak stále nedosahuje miniaturizace modelářské hydrauliky. A to ještě nebyly vybrány prvky tzv. mini modelářské hydrauliky, jejíž velikost je ještě menší, ovšem cenová výhodnost oproti klasické mikro-hydraulice není již tak výrazná jak u „velké“ modelářské hydrauliky.

Dalším faktorem, který musel být zohledněn, bylo již provedené osazení hydraulického ramene hydromotory z modelářské hydrauliky. Navíc pro odzkoušení všech potřebných funkcí hydraulického manipulátoru je modelářská hydraulika též plně dostačující.

Po zohlednění všech těchto informací bylo přistoupeno k výběru prvků vyrobených z modelářské hydrauliky.

3 KONSTRUKCE MECHANICKÝCH ČÁSTÍ

Tato část práce pojednává o základních dílech, které bylo potřeba navrhnout a vyrobit, aby rameno bylo po zapojení celého obvodu plně funkční. V podstatě se jedná o dvě části. První z nich je připevnění rozvaděčů a čerpadla k základní desce ramene. Připevněním lineárních hydromotorů se již nebylo třeba zabývat, jelikož tato konstrukce již byla vyhotovena. Druhou částí, kterou bylo třeba navrhnout a poté vyrobit, bylo přichycení snímačů polohy MLFK 08T7101 od firmy Baumer a spolu s nimi i magnetických pásků.

Tato část práce byla realizována v programu Autodesk Inventor Professional 2008, respektive v jeho studentské verzi, kterou firma Autodesk zadarmo poskytuje studentům vysokých a středních škol technického zaměření. Tato verze je naprosto shodná s normálními komerčními licencemi, pouze při jakémkoliv výstupu výkresu se po jeho obvodu objeví nápis, že výkres byl vytvořen ve výukové verzi tohoto produktu. Původní plán byl, že bude použit program AutoCAD 2008, též ve studentské verzi. Jenže pro prvních pokusech v tomto prostředí vytvořit kromě výkresů v 2D, na něž je primárně určen, i obrazy ve 3D pro lepší názornost, bylo okamžitě rozhodnuto o změně programu na Inventor, protože má daleko propracovanější svázání 2D a 3D zobrazení. A nejen mnohem propracovanější, ale, jak bylo později zjištěno, i jednodušší, tudíž změna byla vyhodnocena jako velmi přínosná pro snazší vypracování výkresů.

3.1 Uchycení prvků hydraulického obvodu

Pro snadnou přenosnost a obsluhu hydraulického obvodu na ramenu bylo třeba strategicky umístit prvky hydraulického obvodu. Jedna z částí, a to lineární hydromotory, již byly připevněny na samotné konstrukci hydraulického ramene, ale rozvaděče a hydrogenerátor bylo ještě třeba umístit.

Na začátku této konstrukce byly možné dvě cesty

- připevnění prvků přímo na desku hydraulického ramene
- výroba speciálního držáku pro potřebné součásti s následnou možností umístění držáku na základní desku ramene

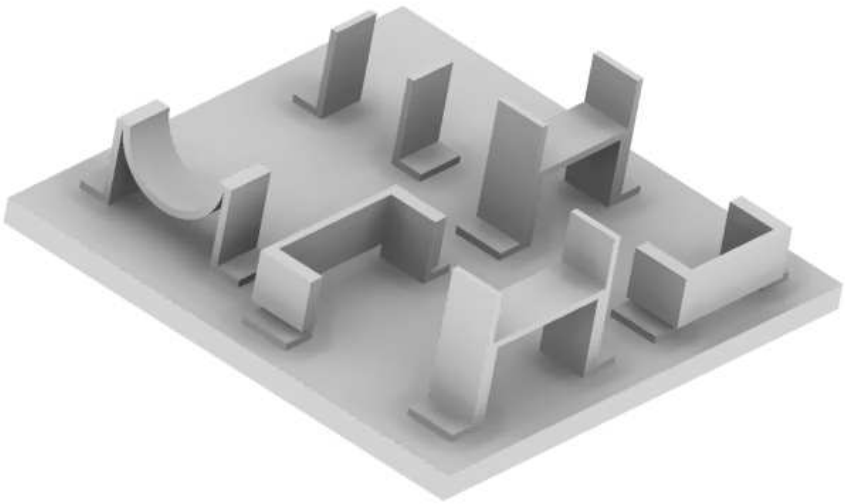
Po zvážení obou možností byla s ohledem na možné využití prvků i v jiných modelech vybrána druhá možnost, tedy výroba speciálního držáku pro potřebné součásti s následnou možností umístění držáku na základní desku ramene. Toto řešení umožňuje relativně snadné přemístění rozvaděčů a čerpadla na jiné místo (resp. přemístění na jiný projekt). Při výběru materiálu byl použit katalog firmy Ferona [8].

3.1.1 Verze 1

Tato první verze návrhu byla navržena ze dvou základních prvků

- deska o rozměrech 200x200x10 mm
- tyč hliníková plochá lisovaná, EN 755-5, rozměr 20x3 mm.

Vše vycházelo z toho, že na připravenou desku se umístí komponenty, které se vyrobí z hliníkové tyče šířky 20 mm a tloušťky 3 mm. Tato verze byla vyloučena hned v počátku, jelikož vyrobení komponent z hliníkové tyče by nebylo zcela nejjednodušší a jen velmi obtížně proveditelné při samovýrobě ve školní dílně. Největším problémem této verze by se dal označit držák čerpadla, jenž měl jeho nádržku podpírat podpěrou ve tvaru půl kružnice. Model je vyobrazen na následujícím obrázku.



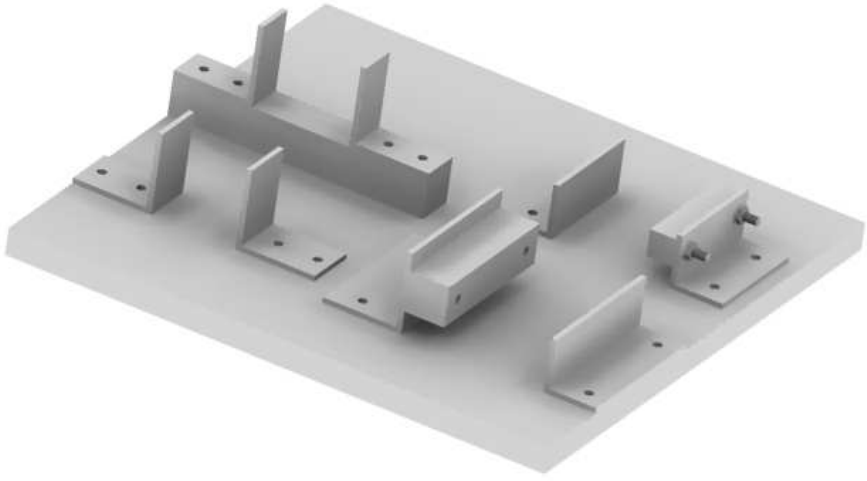
Obr. 10 Verze 1 návrhu uchycení prvků hydraulického obvodu.

3.1.2 Verze 2

Tato verze byla navržena již z více konstrukčních prvků, jejich úprava na potřebný výsledný tvar by byla velmi jednoduchá, jednalo by se pouze o zkrácení těchto prvků a následné vyvrtání děr potřebných pro spojení a připevnění k desce. Deska již nemá tvar čtverce, ale z rozměrových důvodů jednotlivých komponent se změnila na obdélník, jehož rozměry jsou 200x205 mm.

Na tuto verzi by tedy byly třeba následující prvky

- deska o rozměrech 200x205x10 mm
- tyč profil hliníkový L, EN 755-9, č. výkresu 6688, L 30x30x2
- tyč hliníková čtvercová lisovaná, EN 755-4, rozměr 16
- tyč profil hliníkový L, EN 755-9, č. výkresu 48, L 20x20x2
- tyč hliníková čtvercová lisovaná, EN 755-4, rozměr 10.



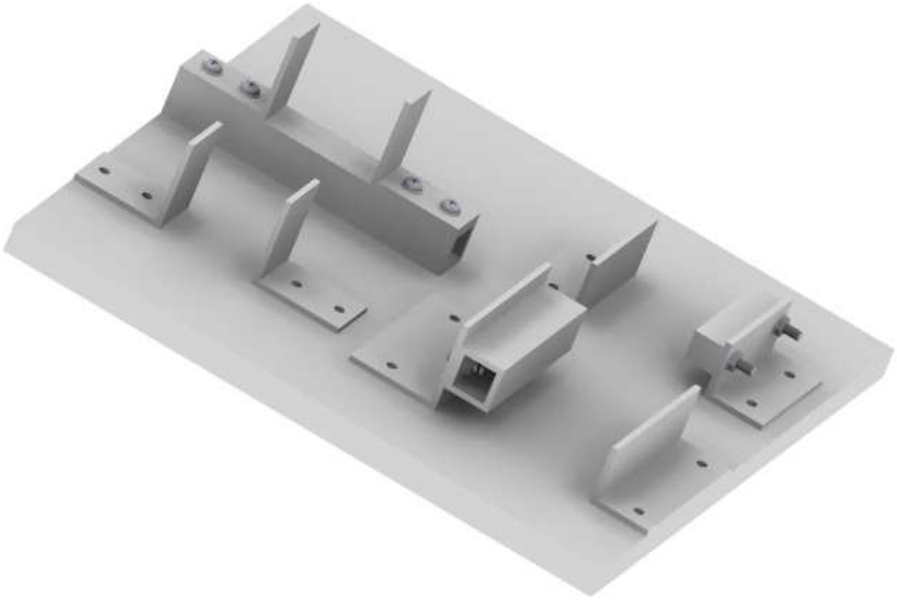
Obr. 11 Verze 2 návrhu uchycení prvků hydraulického obvodu.

3.1.3 Verze 3

Další verze byla pouze malou obměnou verze 2. Celá obměna spočívala v tom, že kvůli lepšímu sestavení částí dohromady byla na dvou prvcích nahrazena tyč hliníková čtvercová lisovaná, EN 755-4, rozměr 16, dutým profilem čtvercovým lisovaným, EN 755-9, č. výkresu 1615, rozměr 15x15x2. Snaha byla, aby se něco obdobného podařilo i u posledního prvku kde je tyč čtvercová lisovaná, ale dutý profil těchto rozměrů nebyl sehnán, tudíž se počítalo se zahloubením hlav šroubů do hliníkové čtvercové tyče, aby nepřekážely rozvaděči.

Tato verze by byla realizována následujícími prvky

- deska o rozměrech 200x205x10 mm
- tyč profil hliníkový L, EN 755-9, č. výkresu 6688, L 30x30x2
- dutý profil čtvercový lisovaný, EN 755-9, č. výkresu 1615, rozměr 15x15x2
- tyč profil hliníkový L, EN 755-9, č. výkresu 48, L 20x20x2
- tyč hliníková čtvercová lisovaná, EN 755-4, rozměr 10.



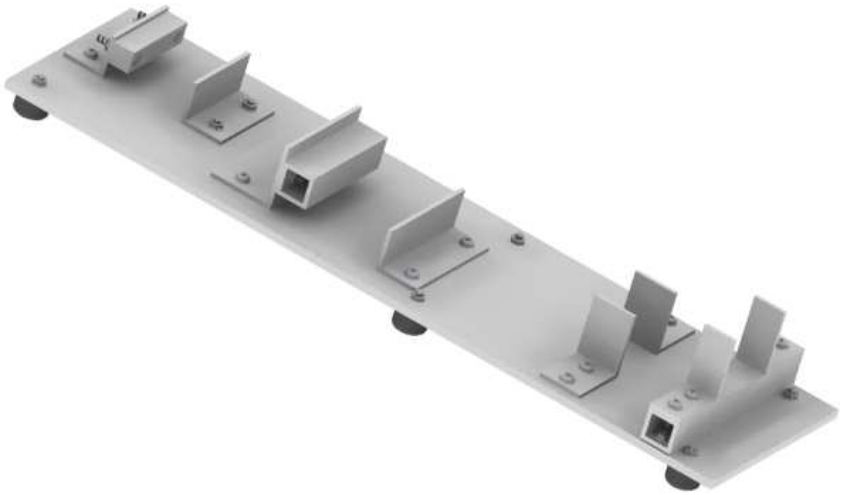
Obr. 12 Verze 3 návrhu uchycení prvků hydraulického obvodu.

3.1.4 Verze 4

Verze 4 je zároveň i verzí finální. Došlo k přemístění sestavených komponent z téměř čtvercové desky na desku výrazně obdélníkovou s rozměry 355x98 mm. Toto řešení bylo zvoleno z důvodu pohodlného umístění této desky na základní desku hydraulického ramene buď jenom položením na gumových „nožičkách“, nebo je zde i možnost snadného přišroubování, které se dá realizovat odmontováním gumových „nožiček“ a následným využitím jejich děr na přišroubování k základní desce hydraulického ramene.

Finální verze byla realizována následujícími prvky

- deska o rozměrech 355x98x4 mm
- tyč profil hliníkový L, EN 755-9, č. výkresu 6688, L 30x30x2
- dutý profil čtvercový lisovaný, EN 755-9, č. výkresu 1615, rozměr 15x15x2
- tyč profil hliníkový L, EN 755-9, č. výkresu 48, L 20x20x2
- tyč hliníková čtvercová lisovaná, EN 755-4, rozměr 10.

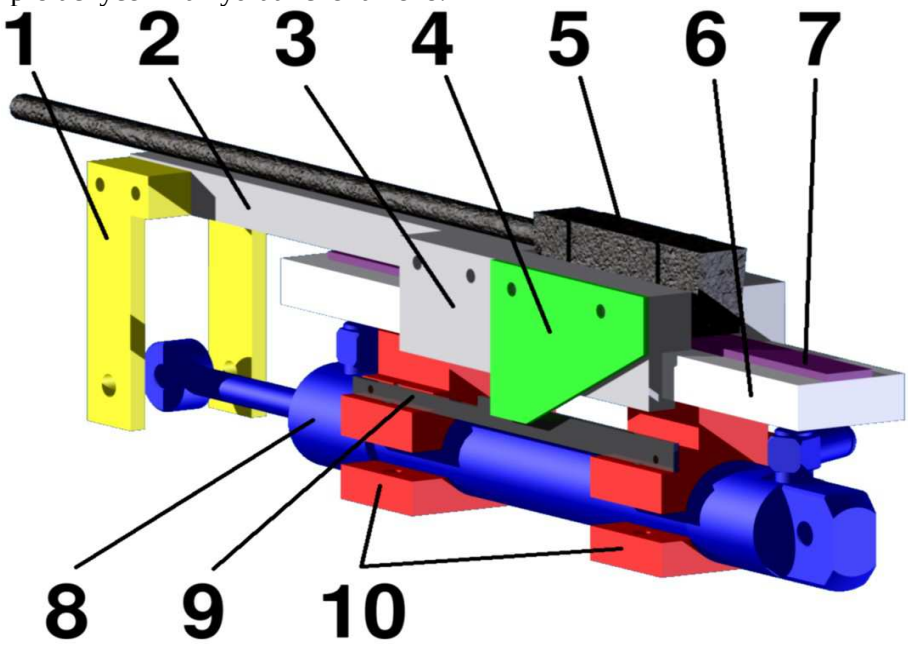


Obr. 13 Finální návrh uchycení prvků hydraulického obvodu.

Do tohoto držáku se součásti hydraulického obvodu (rozvaděče a olejové čerpadlo) umísťují jednoduchým nasunutím do připravených pozic. Další šroubování již není třeba, jelikož jednotlivé části jsou navrženy tak, aby vůle mezi nimi a součástmi hydraulického obvodu byla minimální. To zajistí v podstatě nulový pohyb rozvaděčů a olejového čerpadla.

3.2 Konstrukce uchycení snímače polohy MLFK 08T7101

Konstrukce uchycení snímače polohy MLFK 08T7101 od firmy Baumer, tak jak byla navržena v práci *Návrh konstrukce hydraulicky ovládaného ramene*, se projevila jako zcela nevyhovující pro uchycení na hydraulické rameno.



Obr. 14 Konstrukce uchycení snímače polohy [3].

Konstrukce je nevhodná z následujících důvodů

- velmi mnoho částí (jak je možno vidět z obrázku, je jich celkem 10, včetně snímače, hydromotoru a magnetického pásku)

- složitost sestavení
- náročnost výroby jednotlivých součástí vzhledem k navrženému materiálu.

Z těchto důvodů proběhla konstrukce uchycení snímače znovu. Již od začátku nové konstrukce se dbalo hlavně na to, aby celá konstrukce byla co nejjednodušší a to jak na výrobu tak na následné sestavení. Začalo se úplnou změnou rozestavení samotného snímače a magnetického pásku vůči hydromotoru.

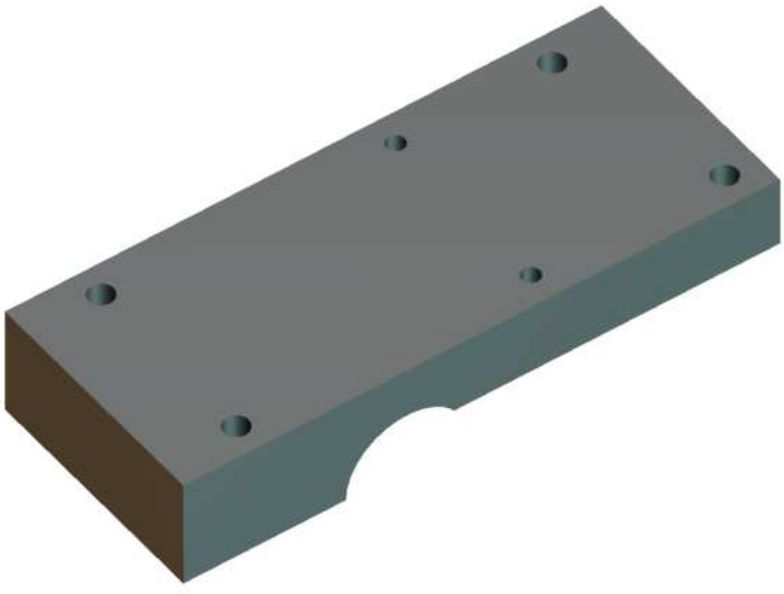


Obr. 15 Návrh uchycení.

Jak je vidět z obrázku 15, snímač polohy byl přemístěn přímo na lineární hydromotor. Magnetická páska je přímo na snímači. Aby se dosáhlo stálého kontaktu magnetické pásky a snímače, bylo použito pérko, které se využívá ve starých zámcích dveří, jelikož jiné vhodné pérko nebo pružinka nebyla v sortimentu několika obchodů nalezena.

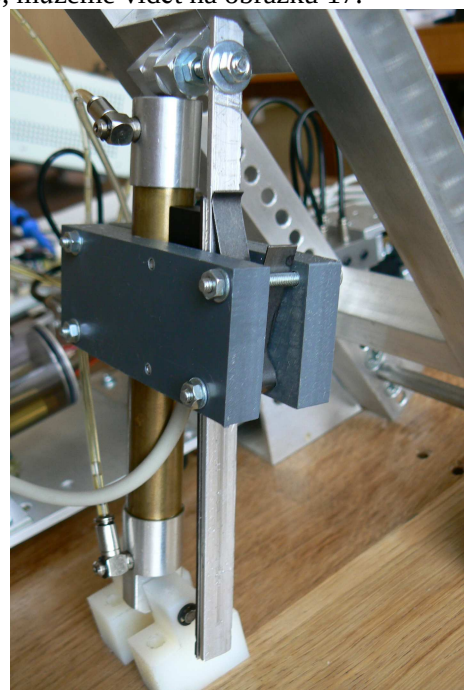
Aby se magnetický pásek neprohýbal při vykonávání svého pohybu, byl připevněn na tenkou hliníkovou obdélníkovou tyčku, která zároveň celý pásek přichycuje ke konstrukci hydraulického ramene. Připevnění proběhlo pomocí tenké oboustranné lepící pásky, protože se jevila jako nejjednodušší řešení spojení magnetického pásku a hliníkové tyčky, které zároveň nezpůsobí porušení magnetické pásky.

Celá sestava byla poté spojena dvěma díly z tvrzeného silonu, které, na rozdíl od držáku na rozvaděče a čerpadlo, nebyly vyrobeny ve školní dílně, ale byly vyrobeny firmou ADAST.



Obr. 16 Jedna ze dvou částí uchycení snímače.

Tyto dva díly jsou téměř shodné, jediné čím se liší, je umístění horních děr pro šrouby, jelikož ty musí být pro funkčnost celého držáku vyvrtány zrcadlově. Při sestavování celého snímače dohromady se vyskytl problém s délkou šroubů, které byly plánované použít. Původním záměrem bylo na celý držák použít šrouby M2,5x35 z důvodu velikosti děr již vytvořených ve snímači výrobcem. Problém ovšem nastal při shánění těchto šroubů. Šrouby typu M2,5 bylo po dlouhém shánění možno sehnat jen do délky 30 mm. Muselo tudíž nastat přehodnocení původního záměru. U horních a spodních děr nebyl problém rozšířit původní díry na průměr 3,4 mm, což odpovídá použití šroubů M3. Velký problém nastal ovšem u prostředních děr sloužících k přichycení snímače. U držáku by to žádný problém nebyl díru též zvětšit pro použití šroubu M3x35, jenže toto řešení nejde použít u samotného snímače. Tudíž nastalo následující řešení. Celé uchycení snímače k hydromotoru bude držet na horních a dolních šroubech M3x35, zatímco samotný snímač bude šrouby M2,5x30 přichycen pouze k jedné části držáku. Celé uchycení snímače k samotné konstrukci hydraulického ramene, tak jak je ve skutečnosti provedeno, můžeme vidět na obrázku 17.



Obr. 17 Konečná podoba konstrukce uchycení snímače.

Jak lze vidět na tomto obrázku, opravdu došlo ke snížení počtu částí. Podpůrné části tvoří vlastně pouze čtyři díly (dva díly samotného držáku, hliníkový pásek na držení směru magnetického pásku a pérko udržující stálý kontakt magnetického pásku se snímačem) na rozdíl od mnoha částí předchozí verze. Složitost sestavení byla též redukována, v současnosti je celý systém na šesti šroubech, což v případě výměny jakékoliv součásti znamená rychlou výměnu. Samotná výroba nebyla také až tak složitá, přestože se musela zadat externí firmě.

4 HYDRAULICKÝ OBVOD

Pro sestavení hydraulického obvodu bylo použito čerpadlo, hydromotor a hydraulický rozvaděč. Pro spojení těchto prvků bylo použito speciální modelářské hydraulické hadice o průměru 3 mm. Celý obvod pak byl naplněn modelářským olejem s viskozitou 32 mm^2/s. Druhý rozvaděč nebyl použit z důvodu současné konfigurace ramene, které se pohybuje prozatím pouze v jedné ose a dvou stupních volnosti, ale v budoucnu, na dalších verzích, by měl být pohyb možný jakýmkoliv směrem, na což bude uplatněn poslední rozvaděč, který je na to připraven a vhodně umístěn.

4.1 Olej

Jelikož na sestavení samotného obvodu byly použity prvky modelářské hydrauliky, musel se tomuto přizpůsobit i výběr oleje.

Výrobcem nám byl doporučen olej s viskozitou 32 mm^2/s při 40 °C. Z tohoto důvodu byl vybrán vysoce rafinovaný ropný olej HV 32, který obsahuje stálý modifikátor viskozity zlepšující vlastnosti oleje při nízkých a vysokých teplotách.

Parametry oleje jsou uvedeny v Tabulce 1.

Skupenství (při °C):	kapalné
Barva:	žlutohnědá
Zápach (vůně):	charakteristický ropný
Hodnota pH (při °C):	
Teplota (rozmezí teplot) tuhnutí (°C):	max. –36°C
Bod vzplanutí (°C):	min. 190
Hořlavost:	nad 220 °C
Výbušné vlastnosti:	za běžných skladovacích a provozních podmínek se výbušné směsi nevytvářejí
Meze výbušnosti: horní mez (% obj.):	6,5
dolní mez (% obj.):	0,6
Oxidační vlastnosti:	
Tenze par (při 20°C):	< 0,01 kPa
Hustota (při 20°C):	inf. 870 kg/m^3
Rozpustnost (při 20°C):	
ve vodě	není
v tucích (včetně specifikace oleje):	mísitelný
Rozdělovací koeficient n-oktanol/voda:	nestanoveno
Viskozita:	
Hustota par:	
Viskozita (40°C):	28,8 – 35,2 mm^2/s
Další informace:	výrobek neobsahuje PCB, PCT, chlorované uhlovodíky a látky obsahující těžké kovy; Třída nebezpečnosti IV podle ČSN 65 0201 Teplotní třída T2 podle ČSN 33 3071

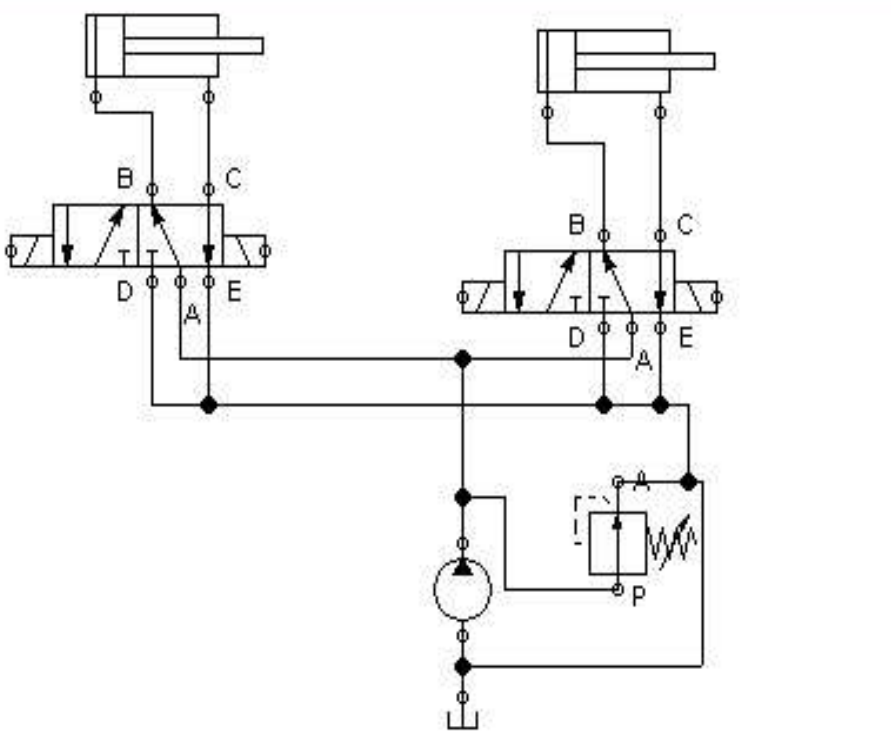
Tabulka 1 [9].

4.2 Model obvodu

Model hydraulického obvodu sestaveného na rameni byl vytvořen v programu FluidSIM Hydraulics V 4.2 Demo Version English. Tento program byl vybrán jako nejvhodnější, jelikož obsahuje všechny prvky hydrauliky, které jsou ve schématech využívány a zároveň umožňuje jejich velmi snadné propojení.

V softwarovém vybavení ústavu automatizace a informatiky tento program bohužel zatím chybí, tudíž jsem musel použít demo verzi tohoto programu, která je volně k dispozici na stránkách firmy FESTO. Tato demo verze v podstatě zvládá vše, co zvládá plná verze programu FluidSIM Hydraulics, ale neumožňuje uložit si vykonanou práci. Dalším omezením této demo verze je

limitovaný časový prostor, po který tento program pracuje. Limitovaným časovým prostorem je myšleno 30 minut, po kterých se program automaticky vypne a práce se musí znovu opakovat, jelikož nejde uložit.

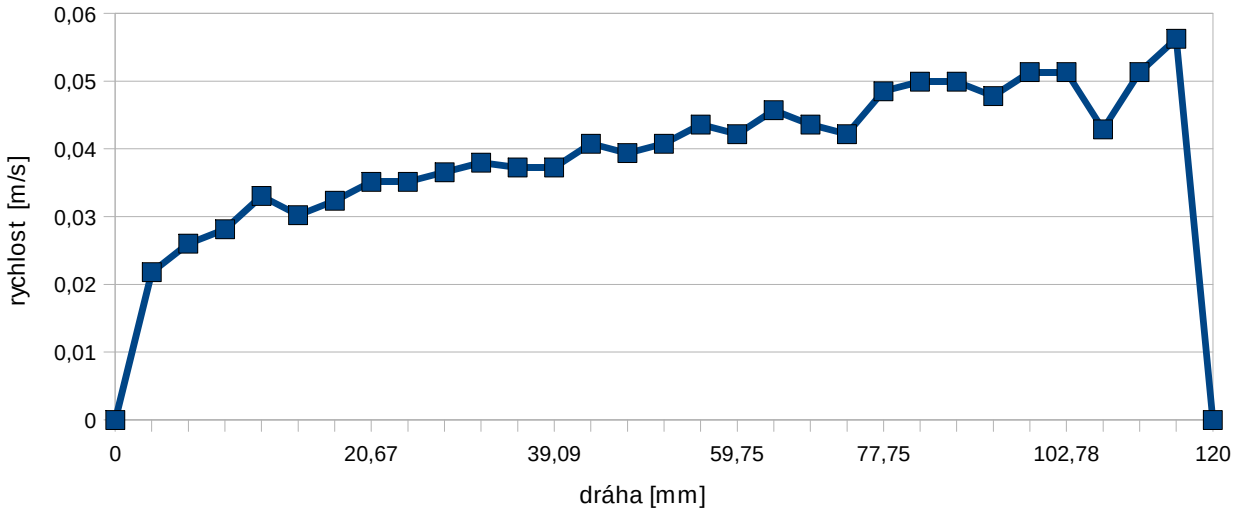


Obr. 18 Schéma hydraulického obvodu.

4.3 Výpočet

Nakonec byl proveden výpočet, který informuje jak o vlastnostech prvků hydraulického systému, tak zároveň i kontroluje, zda byly jednotlivé prvky správně vybrány. Použité značení a jednotky veličin použitých při tomto výpočtu jsou uvedeny na straně 39.

Celý výpočet byl proveden s pomocí literatury [10] a je postaven na hodnotách, které byly získány pomocí snímače polohy MLFK 08T7101 a tlakoměrem, kterým byl zjištěn tlak čerpadla při plném výkonu 0,36 MPa.



Obr. 19 Graf vysunutí hydromotoru.

Hodnoty získané pomocí snímače polohy MLFK 08T7101
- čas zrychleného pohybu $t_b = 0,1$ s
- dráha zrychleného pohybu $s_b = 2,18$ mm

Hmotnost hydraulického ramene je 0,460 kg. Další hodnoty již byly vypočítány.

Průměrná rychlost při pohybu hydromotoru

$$v = \frac{s}{t} = \frac{115,64 \cdot 10^{-3}}{2,8} = 41,3 \cdot 10^{-3} m/s$$

Zrychlení hydromotoru za čas t_b

$$a = \frac{v}{t_b} = \frac{41,3 \cdot 10^{-3}}{0,1} = 413 \cdot 10^{-3} m/s^2$$

Dráha zrychlení za čas t_b – varianta 1

$$s_b = \frac{v^2 \cdot 10^3}{2a} = \frac{(41,3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10^3}{2 \cdot 413 \cdot 10^{-3}} = 2,065\, mm$$

Dráha zrychlení za čas t_b – varianta 2

$$s_b = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_b^2 \cdot 10^3 = \frac{1}{2} \cdot 413 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1^2 \cdot 10^3 = 2,065\, mm$$

Obě varianty vykázaly shodné výsledky dráhy zrychleného pohybu, které se nepatrně liší od naměřené hodnoty. V dalším výpočtu byla použita vypočítaná hodnota dráhy zrychleného pohybu.

Urychlující síla

$$F_A = m \cdot a = (460 \cdot 10^{-3}) \cdot (413 \cdot 10^{-3}) = 0,19\, N$$

Tlak pro vyvození zrychleného pohybu

$$p_a = \frac{\frac{F_A}{100}}{A_w} = \frac{\frac{0,19}{100}}{2,011} = 9,448 \cdot 10^{-4} MPa$$

Tlakové poměry na škrtící hraně (zanedbáno tření)

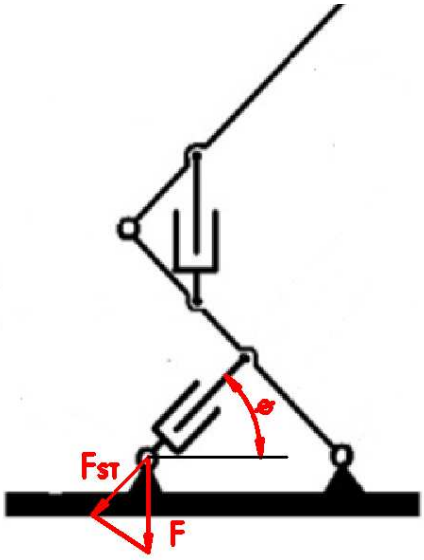
Gravitační síla ramene

$$F = m \cdot g = 0,46 \cdot 9,81 = 4,513\, N$$

Statická síla ramene – na obr. 20 je vidět důvod použití úhlu φ

$\varphi = 52°$

$$F_{ST} = F \cdot \sin\varphi = 4,513 \cdot \sin 52° = 3,556\, N$$



Obr. 20 Náčrt sklonu hydromotoru [3].

Potřebné síly při vysouvání pístnice

- zrychlený pohyb

$$F_G = F_{ST} + F_A = 3{,}556 + 0{,}19 = 3{,}740\ N$$

- konstantní rychlost

$$F_G = F_{ST} = 3{,}556\ N$$

- zpomalený pohyb

$$F_G = F_{ST} - F_A = 3{,}556 - 0{,}19 = 3{,}366\ N$$

Potřebné síly při zasouvání pístnice

- zrychlený pohyb

$$F_G = -F_{ST} + F_A = 3{,}556 + 0{,}19 = -3{,}360\ N$$

- konstantní rychlost

$$F_G = -F_{ST} = -3{,}556\ N$$

- zpomalený pohyb

$$F_G = -F_{ST} - F_A = 3{,}556 - 0{,}19 = -3{,}740\ N$$

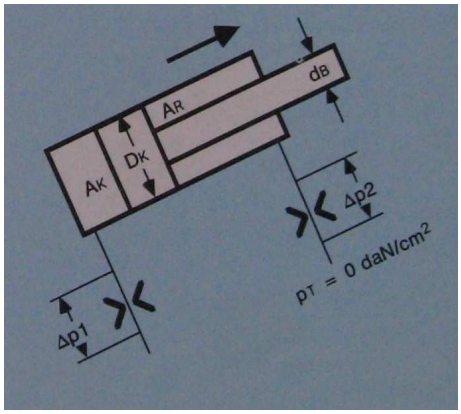
Tlaky vznikající při jednotlivých fázích pohybu

a) během vysouvání pístnice → pro $\Delta p_1 = \Delta p_2$

$$\frac{F_G}{10} = A_K \cdot (p_P - \Delta p_1) - A_R \cdot \Delta p_2$$

$$\frac{F_G}{10} = A_K \cdot p_P - A_K \cdot \Delta p_1 - A_R \cdot \Delta p_1$$

$$\Delta p_1 = \frac{A_K \cdot p_P - \frac{F_G}{10}}{A_K + A_R}$$



Obr. 21 Vysouvání pístnice [10].

- během zrychleného pohybu

$$\Delta p_1 = \frac{2{,}01 \cdot 3{,}6 - \frac{3{,}740}{10}}{2{,}01 + 1{,}73} = 1{,}835\, daN/cm^2 = 183{,}5 \cdot 10^{-3}\, MPa$$

$$p_V = 2 \cdot \Delta p_1 = 2 \cdot 183{,}5 \cdot 10^{-3} = 367 \cdot 10^{-3}\, MPa$$

- při konstantní rychlosti

$$\Delta p_1 = \frac{2{,}01 \cdot 3{,}6 - \frac{3{,}556}{10}}{2{,}01 + 1{,}73} = 1{,}840\, daN/cm^2 = 184 \cdot 10^{-3}\, MPa$$

$$p_V = 2 \cdot \Delta p_1 = 2 \cdot 184 \cdot 10^{-3} = 368 \cdot 10^{-3}\, MPa$$

- během zpomaleného pohybu

$$\Delta p_1 = \frac{2{,}01 \cdot 3{,}6 - \frac{3{,}366}{10}}{2{,}01 + 1{,}73} = 1{,}845\, daN/cm^2 = 184{,}5 \cdot 10^{-3}\, MPa$$

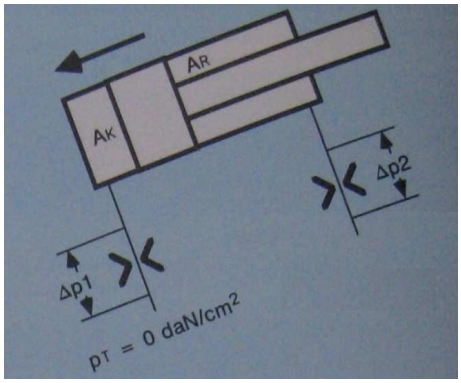
$$p_V = 2 \cdot \Delta p_1 = 2 \cdot 184{,}5 \cdot 10^{-3} = 369 \cdot 10^{-3}\, MPa$$

b) během zasouvání pístnice → pro $\Delta p_1 = \Delta p_2$

$$\frac{F_G}{10} = A_R \cdot (p_P - \Delta p_2) - A_K \cdot \Delta p_1$$

$$\frac{F_G}{10} = A_R \cdot p_P - A_R \cdot \Delta p_1 - A_K \cdot \Delta p_1$$

$$\Delta p_1 = \frac{A_R \cdot p_P - \frac{F_G}{10}}{A_K + A_R}$$



Obr. 22 Zasouvání pístnice [10].

- během zrychleného pohybu

$$\Delta p_1 = \frac{1{,}73 \cdot 3{,}6 + \frac{3{,}360}{10}}{2{,}01 + 1{,}73} = 1{,}755\, daN/cm^2 = 175{,}5 \cdot 10^{-3}\, MPa$$

$$p_V = 2 \cdot \Delta p_1 = 2 \cdot 175{,}5 \cdot 10^{-3} = 351 \cdot 10^{-3}\, MPa$$

- při konstantní rychlosti

$$\Delta p_1 = \frac{1{,}73 \cdot 3{,}6 + \frac{3{,}556}{10}}{2{,}01 + 1{,}73} = 1{,}760\, daN/cm^2 = 176 \cdot 10^{-3}\, MPa$$

$$p_V = 2 \cdot \Delta p_1 = 2 \cdot 176 \cdot 10^{-3} = 352 \cdot 10^{-3}\, MPa$$

- během zpomaleného pohybu

$$\Delta p_1 = \frac{1{,}73 \cdot 3{,}6 + \frac{3{,}740}{10}}{2{,}01 + 1{,}73} = 1{,}765\, daN/cm^2 = 176{,}5 \cdot 10^{-3}\, MPa$$

$$p_V = 2 \cdot \Delta p_1 = 2 \cdot 176{,}5 \cdot 10^{-3} = 353 \cdot 10^{-3}\, MPa$$

Výpočet potřebného tlaku hydrogenerátoru

a) tlak při vysouvání pístnice → pro $\Delta p_1 = \Delta p_2 = 184{,}5 \cdot 10^{-3}$ MPa

$$\frac{F_G}{10} = A_K \cdot (p_P - \Delta p_1) - A_R \cdot \Delta p_2$$

$$\frac{F_G}{10} = A_K \cdot p_P - A_K \cdot \Delta p_1 - A_R \cdot \Delta p_1$$

$$p_P = \frac{\frac{F_G}{10} + \Delta p_1 \cdot (A_K + A_R)}{A_K}$$

$$p_P = \frac{\frac{3{,}740}{10} + 1{,}845 \cdot (2{,}01 + 1{,}73)}{2{,}01} = 3{,}619\, daN/cm^2 = 361{,}9 \cdot 10^{-3}\, MPa$$

b) tlak při zasouvání pístnice → pro $\Delta p_1 = \Delta p_2 = 176{,}5 \cdot 10^{-3}$ MPa

$$\frac{F_G}{10} = A_R \cdot (p_P - \Delta p_2) - A_R \cdot \Delta p_1$$

$$\frac{F_G}{10} = A_R \cdot p_P - A_R \cdot \Delta p_1 - A_K \cdot \Delta p_1$$

$$p_P = \frac{\frac{F_G}{10} + \Delta p_1 \cdot (A_K + A_R)}{A_R}$$

$$p_P = \frac{\frac{-3{,}360}{10} + 1{,}765 \cdot (2{,}01 + 1{,}73)}{1{,}73} = 3{,}621\, daN/cm^2 = 362{,}1 \cdot 10^{-3}\, MPa$$

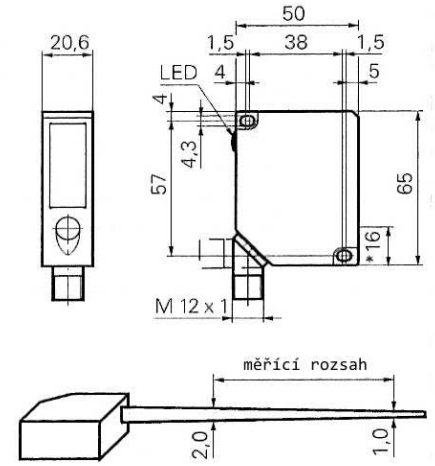
Z kontrolního výpočtu potřebného tlaku hydrogenerátoru je vidět, že použitý hydrogenerátor tuto hodnotu splňuje. Minimální rozdíl obou hodnot je způsoben zaokrouhlováním provedeným v průběhu výpočtu a možným nepřesným měřením. V našem případě, kdy obvod byl sestaven pro ověření pohyblivosti ramene a použití hydrauliky, takováto odchylka nemá výraznější význam, ovšem mohla způsobit, že lineární hydromotor nemá fázi chodu, kde by jeho rychlost byla konstantní. Místo toho v této oblasti je malé zrychlení, které může být způsobeno právě menším rozdílem v naměřené hodnotě tlaku hydrogenerátoru a potřebné vypočtené hodnotě. Graf rychlosti v závislosti na dráze můžeme vidět na obr. 19.

5 ZÁVĚR

Hlavním úkolem této bakalářské práce bylo navržení a praktická realizace hydraulického obvodu. Důkazem splnění tohoto hlavního úkolu je zkompletovaný a plně funkční hydraulický manipulátor, který je sestaven dle navrženého obvodu z prvků modelářské hydrauliky popsaných v této bakalářské práci v kapitole 2.3.2.

Samotné realizaci bohužel předcházela řada překážek, nejvážnější z nich asi byla ukončená výroba prvků modelářské hydrauliky firmy Š-Hobby z Hradce Králové. Firma se po ukončení této výroby rozhodla neposkytovat téměř žádné informace o výrobcích, které dřív vyrobila. Tudíž místo jednoduchého odečtení parametrů jednotlivých prvků z katalogu umístěném na internetu nastalo dlouhé přesvědčování o uvolnění alespoň nějakých informací a poté měření zbývajících potřebných parametrů, které byly potřeba zejména v konečném výpočtu.

Jelikož se celková koncepce a zhotovení ramene osvědčilo, mělo by v dohledné době dojít k postavení další vývojové verze, která bude více připomínat tzv. motorizovanou ortézu. Tato další verze by měla být osazena již klasickou mikro-hydraulikou a místo relativního snímače polohy MLFK 08T7101 od firmy Baumer by měl být použit absolutní laserový snímač OADM 20I4460/S14C s rozlišením 0,06 mm též od firmy Baumer.



Obr. 23 Laserový snímač OADM 20I4460/S14C [11].

POUŽITÉ ZNAČENÍ A JEDNOTKY VELIČIN

symbol	rozměr	název
a	m/s^2	zrychlení
A_K	cm^2	plocha pístu
A_R	cm^2	plocha mezikruží
A_W	cm^2	činná plocha
d_B	*mm*	průměr pístnice
D_K	*mm*	průměr pístu
F	*N*	gravitační síla
F_A	*N*	urychlující síla
F_G	*N*	působící síla
F_{ST}	*N*	statická síla
φ	°	úhel mezi hydromotorem a základní deskou
g	m/s^2	gravitační zrychlení
h	*mm, m*	zdvih
m	*kg*	hmotnost
p_A	*MPa*	tlak pro vyvození zrychleného pohybu
p_P	*MPa*	tlak hydrogenerátoru
p_V	*MPa*	celkový tlakový spád na rozvaděči
Δp_1	*MPa*	tlakový spád na řídící hraně
Δp_2	*MPa*	tlakový spád na řídící hraně
s	*mm, m*	dráha při konstantní rychlosti
s_b	*mm, m*	dráha zrychleného pohybu
t	*s*	čas pro dráhu s konstantní rychlostí
t_B	*s*	čas zrychlení
v	*m/s*	rychlost pístu

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Hydraulika* [online]. c2009 [cit. 2009-05-12]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Hydraulika&oldid=3520478>

[2] MROVEC, J. *Stavební stroje* [online]. [2007] [cit. 2009-03-12]. Dostupné z WWW: <http://uds.unas.cz/obrazky/moje%20fota/index.htm>.

[3] VODRÁŽKA, Jakub. *Návrh konstrukce hydraulicky ovládaného ramene = Mechanical construction of hydraulics arm* (bakalářská práce). Brno: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 1 elektronický optický disk [CD-ROM / DVD]. : pdf.

[4] *Katalog_gesamt* [online]. [2009] [cit. 2009-03-25]. Dostupný z WWW: <http://www.hoerbiger.com/fileadmin/files/internet/AT/Anwendungssysteme/Industriehydraulik/Katalog/PDF_Katalog_Hydraulik/Katalog_gesamt.pdf>.

[5] ALUŠIC, Marcel. *HOERBIGER Žandov - kompresorová technika* [online]. [2009] [cit. 2009-03-12]. Dostupný z WWW: <http://www.hoerbiger.cz/index.php?lang=cz&page=firma1>.

[6] *Zylinder* [online]. [2009] [cit. 2009-03-25]. Dostupný z WWW: <http://www.hoerbiger.com/fileadmin/files/internet/AT/Anwendungssysteme/Micro_Fluid/PDF/zylinder.pdf>.

[7] LEIMBACH, Martin. *Firma Leimbach Modellbau & Elektronik* [online]. [2007] [cit. 2009-03-25]. Dostupný z WWW: <http://www.leimbach-modellbau.de/>.

[8] *Ferona a.s. - hutní materiál, velkoobchod s hutním materiálem* [online]. c2004-2009 [cit. 2009-04-01]. Dostupný z WWW: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/strom.php>.

[9] Reapress. *BL_HEKRA HV 32* [online]. [2005] [cit. 2009-04-03]. Dostupný z WWW: <http://www.adpartner.cz/upload/files/BL_HEKRA%20HV%2032.pdf>.

[10] DÖRR, H., et al. *Příručka hydrauliky svazek 2 : proporcionální technika a servotechnika*. 1. vyd. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth GmbH, 1986. ISBN 3-8023-0898-0.

[11] Optoelektronische Sensoren, Photo electric sensors, Cellules opto-électroniques OADM 20I4460/S14C Laser Distanz Sensor, Laser distance sensor, Détecteur laser de distance. Baumer Electric AG, CH-8501 Frauenfeld, Phone +41 (0)52 728 1122, Fax +41 (0)52 728 1144. 2 s. [tištěná technická specifikace výrobku].

SEZNAM PŘÍLOH NA CD

Příloha č. 1: výkres 0 – Sestava
Příloha č. 2: výkres 0 - Kusovník
Příloha č. 3: výkres M1 – Podsestava 1
Příloha č. 4: výkres M1-1 – Součást 1-1
Příloha č. 5: výkres M1-2 – Součást 1-2
Příloha č. 6: výkres M2 – Podsestava 2
Příloha č. 7: výkres M2-1 – Součást 2-1
Příloha č. 8: výkres M2-2 – Součást 2-2
Příloha č. 9: výkres M3 – Podsestava 3
Příloha č. 10: výkres M3-1 – Součást 3-1
Příloha č. 11: výkres M3-2 – Součást 3-2
Příloha č. 12: výkres 4 – Součást 4
Příloha č. 13: výkres 5 – Součást 5
Příloha č. 14: výkres 6 – Součást 6
Příloha č. 15: výkres 7 – Součást 7
Příloha č. 16: výkres S1 – Držák snímače 1
Příloha č. 17: výkres S2 – Držák snímače 2