



STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA SDĚLOVACÍ TECHNIKY

110 00 Praha 1, Panská 856/3,

☎ 221 002 111, 📠 221 002 666, www.panska.cz, e-mail: sekretariat@panska.cz



TEKUTINOVÉ MECHANISMY

MATURITNÍ PRÁCE ZE ZKUŠEBNÍHO PŘEDMĚTU
aplikovaná informatika

Autor: **Michal Aschermann**

Studijní obor: **78-42-M/001**

Technické lyceum

Školní rok: **2010/2011**

Třída: **4. L**

ANOTACE: Tato práce obsahuje teoretický rozbor základních součástí hydraulických obvodů. V teoretické části je vždy vysvětlen princip funkčnosti jednotlivých součástí hydraulických obvodů. V praktické části je naměřená multiplikace tlaku v hydraulickém válci, odporová síla těsnění a analýza pohybu hydraulického válce v oblasti koncového tlumení pomocí systému Vernier a rychloběžné kamery.

ANNOTATION: This work contains theoretical analysis of the basic parts of hydraulics network. The theoretical part of this work explains how every part works. Multiplying pressure in hydraulic cylinder, adhesive force of seal and analysis progression of hydraulic cylinder at the hydraulic cushioning of the end position is measured in the practical part. This analysis was done using Vernier system and stroboscopic camera.

1. ÚVOD

Téma tekutinové mechanismy mě zajímalo již dříve, proto jsem si ho také zvolil jako ročníkovou a posléze i jako maturitní práci.

V této práci jsem se pokusil shrnout základní teoretické znalosti z oblasti hydraulických systémů. To mně bylo přínosné nejen k utřídění stávajících znalostí ale také k nabytí nových. V teoretické části práce jsou shrnuty základní vlastnosti, principy a využití jednotlivých prvků hydraulických obvodů.

Pro vytvoření praktické části maturitní práce jsem navštívil školící centrum firmy Parker, kde jsem měl přístup k reálným prvkům pro obvody a také nezbytnou měřicí techniku. Zde jsem měl možnost naměřit multiplikaci tlaku, odporovou sílu těsnění a analyzovat pohyb pístnice hydraulického válce.

Proč aplikovaná informatika?

Výpočetní technika dnes nachází široké využití ve všech vědních oborech, kde slouží nejen k analýze dat, ale také k jejich sběru, sdílení s kolegy a následné prezentaci a publikaci. V mé maturitní práci o hydraulice zkoumáme pohyb a vlastnosti hydraulického válce. Data jsme naměřili pomocí systému Vernier. Tato data jsme poté nahráli do počítače pomocí programu Logger Pro, kde proběhla předběžná analýza. Dále jsme data zpracovali v aplikaci Microsoft Office Excel 2010. Text celé práce jsme zpracovali v programu Microsoft Word 2010. Hydraulická schémata jsme nakreslili v programu profiCAD, který je pro domácí použití freeware. Nakonec jsme v programu Microsoft Office PowerPoint 2010 zpracovali konečnou prezentaci celé práce a také výukovou prezentaci využitelnou v hodinách fyziky. Průběžné a konečné výsledky jsme zveřejnili na webových stránkách: [1].

2. HYDRAULICKÉ SYSTÉMY

Hydraulické systémy se dělí na hydrostatické a hydrodynamické.

2.1.1 Hydrodynamické

Hydrodynamické systémy jsou systémy, kde je kinetická energie výrazně větší než tlaková i potenciální energie. Příkladem takového systému jsou například vodní elektrárna (Peltonova turbína) či hydrodynamický měnič (případně spojka) u automatických převodovek vozidel.

2.1.2 Hydrostatické

Hydrostatické systémy jsou systémy, ve kterých je tlaková energie výrazně větší než kinetická i potenciální energie. Příkladem takového systému může být hydraulický zvedák, nebo hydraulický systém zemního stroje.

2.1.2.1 Základní principy

2.1.2.1.1 Tlak

Základním poznatkem pro hydrauliku je vztah, který dává do souvislosti tlak kapaliny, plochu pístu a sílu, která na píst působí.

$$p = \frac{F}{S}$$

2.1.2.1.2 Energie

Celková energie pracovní kapaliny v hydraulickém systému se skládá z kinetické energie, potenciální energie a tlakové energie. Potenciální energie se v hydraulických systémech

většinou zanedbává, pokud jsou výškové rozdíly prvků minimální. To samozřejmě neplatí například u vodních elektráren.

2.1.2.1.2.1 Kinetická energie

Kinetická energie je pohybová energie kapaliny. Vypočítá se jako polovina součinu hustoty a druhé mocniny rychlosti proudění kapaliny.

$$E_k = \frac{1}{2} \rho v^2$$

2.1.2.1.2.2 Tlaková energie

Tlaková energie se vypočítá jako součin výšky hladiny, hustoty kapaliny a velikosti tíhového zrychlení. Pro měření tlaku se v praxi používají manometry.

$$E_p = h \rho g$$

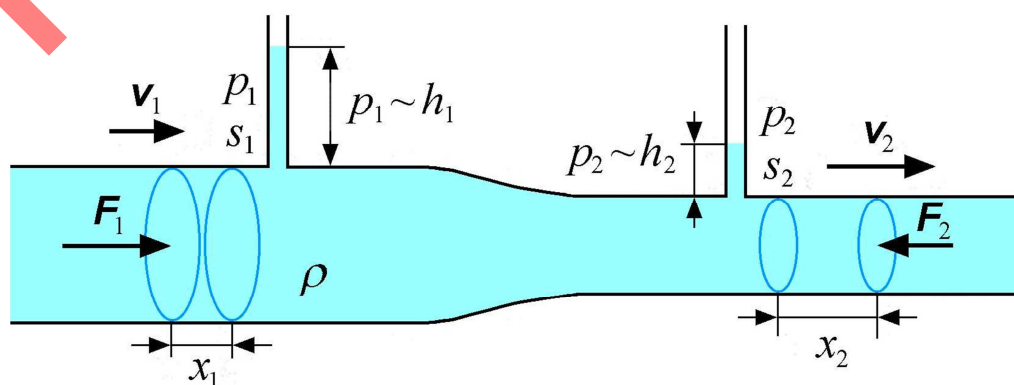
2.1.2.1.3 Bernoulliho rovnice

Bernoulliho rovnice se uplatňuje při zúžení potrubí. Dává do souvislosti kinetickou a tlakovou energii pracovní kapaliny. Součet těchto dvou energií se v ideálním případě zachovává. To znamená, že v místě zúžení vedení bude mít kapalina větší kinetickou energii (musí proudit rychleji) a menší tlakovou energii.

$$E_p + E_k = \text{konst.}$$

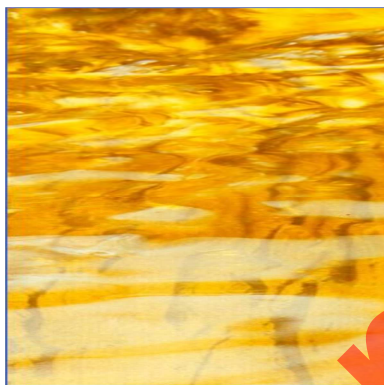
Ze vztahu pro energii pak přímo vyplývá Bernoulliho rovnice, kterou můžeme psát ve tvaru:

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + h \rho g = \text{konst.}$$



3. PRACOVNÍ KAPALINA

Pracovní kapalina přenáší veškerou energii v hydraulickém systému. Je na ní závislá funkčnost celého mechanismu. Také ovlivňuje účinnost (v závislosti na teplotě a viskozitě) a opotřebovávání jednotlivých prvků.



obr. 7: Hydraulický olej v nádrži

3.1 Funkce pracovní kapaliny

Pracovní kapalina má čtyři základní funkce:

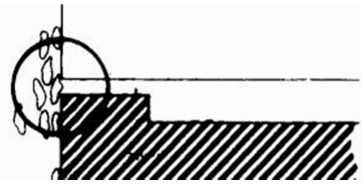
- Přenos energie od hydrogenerátoru k hydromotorům – rotačním nebo přímočarým pohybem.
- Mazání vnitřních pohyblivých částí hydraulického systému.
- Odvod tepla.
- Odvod nečistot.

3.1.1 Požadavky

- Nízká stlačitelnost, z důvodu co nejmenších ztrát.
- Vhodná charakteristika viskozity, přičemž vyšší viskozita způsobuje výkonové ztráty, nižší viskozita způsobuje větší úniky skrze vůle v systému. (Viskozita určuje, jak snadno kapalina vytéká určitým otvorem. Příkladem viskózní kapaliny může být med, téměř neviskózní kapalinou je voda.)
- Dobré mazací vlastnosti, které zajišťují co možná nejmenší opotřebení prvků v obvodu.

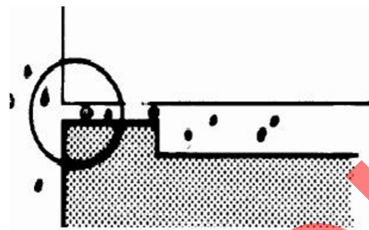
3.1.2.2 Působení nečistot v systému

Nečistoty větší než vůle blokuji průtok otvorem.



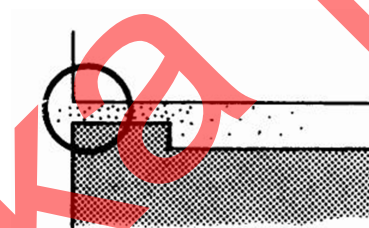
obr. 8: Velké nečistoty

Nečistoty podobné velikosti jako vůle ucpávají otvor, případně poškozují povrchy.



obr. 9: Nečistoty srovnatelné velikosti s otvorem

Nečistoty menší než vůle systémem procházejí.



obr. 10: Malé nečistoty

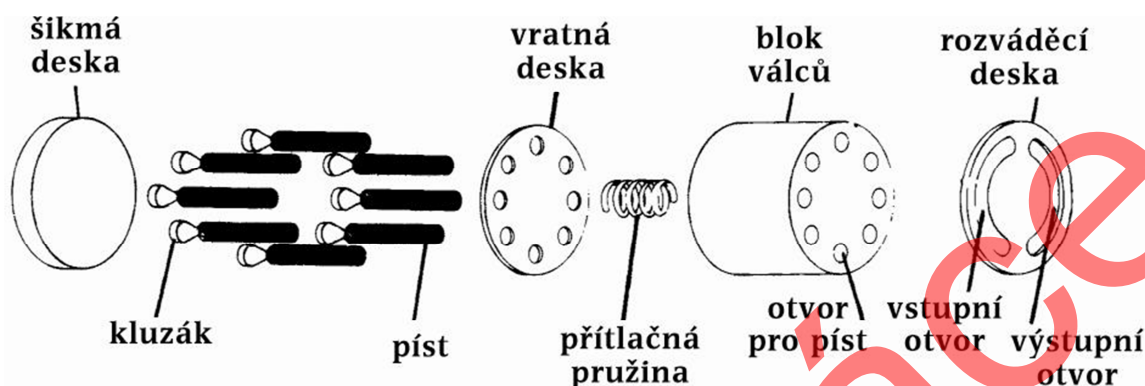
3.2 Filtrace

Nečistoty v hydraulickém systému se vyskytují ve všech velikostech. Největší problémy ale způsobují částice o velikosti srovnatelné s vůlemi v hydraulických prvcích - zhruba 5 - 15 mikrometrů. Hranice lidské viditelnosti je asi 40 mikrometrů, to znamená, že okem nejsme schopni určit stupeň znečištění kapaliny. Určení čistoty kapaliny se tedy určuje pod mikroskopem, nebo speciálními přístroji, které měří počet a velikost nečistot přímo v hydraulickém obvodu.

Úkolem filtrace je tedy omezit četnost nečistot v pracovní kapalině.

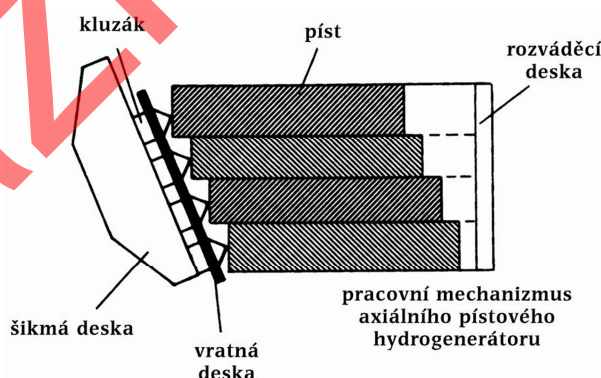
4.1.3 Pístová čerpadla

4.1.3.1 S nakloněnou deskou



obr. 32: Části pístového čerpadla s nakloněnou deskou

Pístová čerpadla s nakloněnou deskou se skládají z bloku válců, přítlačné desky, pístů, kluzáků, rozváděcí desky a nakloněné desky. Na nepohyblivou šikmou desku jsou přitlačovány přítlačnou deskou a pružinou kluzáky všech pístů. Otáčením takto vzniklého pístového čerpadla vzniká zvětšující se a zmenšující se objem. Píst, který se pohybuje po nakloněné desce nahoru se vysouvá. Tím nasává pracovní kapalinu. Po přechodu do klesání se píst začne zasouvat a vytlačovat pracovní kapalinu do výstupního otvoru. Těchto pístů může být v čerpadle libovolný počet. Obvyklý počet je lichý (5-11).



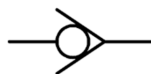
obr. 33: Princip funkce

U pístového čerpadla s nakloněnou deskou lze dosáhnout proměnného průtoku změnou náklonu nakloněné desky, případně i průtok úplně zastavit, nebo změnit jeho směr. To můžeme udělat manuálně, nebo využít možnost různých regulací (např. tlakové kompenzace). V tomto případě je náklon desky řízen malým hydraulickým válcem, na

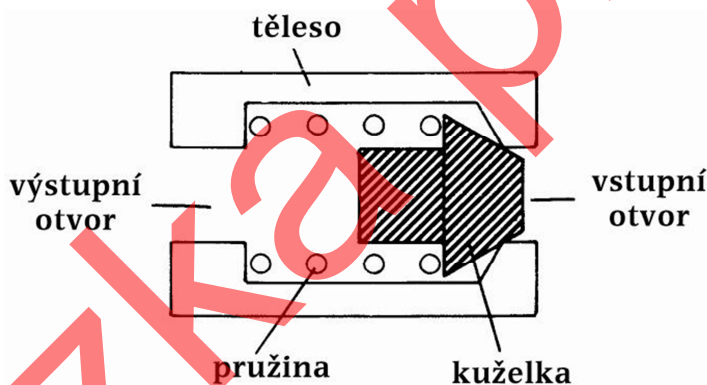
4.3 Jednosměrné ventily

4.3.1.1 Klasický

Jednosměrné ventily umožňují průtok pracovní kapaliny pouze jedním směrem. Jednoduché jednosměrné ventily se skládají z kuželky, pružiny a tělesa se dvěma otvory. Pokud proudí kapalina ve volném směru, spotřebuje jen velmi malou energii na překonání tlaku pružiny. Pokud by byl tlak za jednosměrným ventilem větší než před ním, tlaková síla kapaliny a pružiny posune kuželku do sedla. Kapalina v závěrném směru **nebude** protékat.



obr. 48: Značka jednosměrného ventilu



obr. 49: Řez jednosměrného ventilu

Příkladem použití může být zapojení přímočarého motoru. Přímočarý motor zapojíme tak, že pod píst zavedeme z rozvaděče tlakovou energii přes škrťací ventil a paralelně s ním zapojíme jednosměrný ventil propustným směrem od válce. Pokud se bude válec vysouvat, bude pracovní kapalina procházet pouze nastavitelným škrťacím ventilem, protože jednosměrný ventil je v tomto případě v závěrném směru. Velikost rychlosti válce tak bude možno regulovat. Pokud se válec bude zasouvat, bude většina kapaliny proudit přes jednosměrný ventil v propustném směru. Zvýší se tak velikost rychlosti návratu válce do původní polohy. To může být důležité například v průmyslu, kde se konstruktéři snaží omezit nepracovní časy strojů.

5. VYUŽITÍ HYDRAULIKY V PRAXI

Hydrostatické systémy se využívají na strojích a zařízeních, kde jsou vyžadovány velké síly, nebo je nutné snadno řídit výkon. Hydraulika se využívá hojně na stacionárních i mobilních strojích. Stačí zde jedno vhodně zvolené čerpadlo a je možno používat několik přímočarých motorů pro potřebný pohyb. Obecně platí, že hydraulický systém má menší účinnost, než kdyby byly součásti poháněny přímo mechanicky. Výhodou je ale možnost přesné regulace sil a momentů a dále energeticky úsporné zapojení.

Hydraulika se také hojně využívá v lisech při výrobě různých součástek z materiálů jako guma, plech, plast a jiných.



obr. 66: Využití v zemědělství

Velké uplatnění nachází hydraulika také v oblasti zemědělských strojů, kde se dnes používá velmi hojně. Nemůžeme také opomenout stavební stroje jako bagry, jeřáby, nebo buldozery.



obr. 67: Využití ve stavebnictví

6. PRAKTICKÁ ČÁST – MULTIPLIKACE TLAKU

K multiplikaci tlaku využijeme hydraulický válec, který zapojíme jako multiplikátor tlaku. Multiplikace tlaku v hydraulickém válci spočívá v přivedení pracovní kapaliny z čerpadla do prostoru pod píst. Poté můžeme odebírat tuto kapalinu o zvýšeném tlaku z prostoru pístnice. Poměr vstupního a výstupního tlaku pracovní kapaliny je dán poměrem obsahu plochy pístu ku obsahu mezikruží pístu a pístnice. I v tomto případě samozřejmě funguje zákon zachování energie. Ten se projeví tím, že hydraulická kapalina o vyšším tlaku bude mít nižší objem než hydraulická kapalina o menším tlaku. Poměr těchto objemů bude opačný než poměr tlaků.

V této části provedeme několik měření na hydraulickém válci. Prvním měřením bude statická multiplikace v hydraulickém válci.

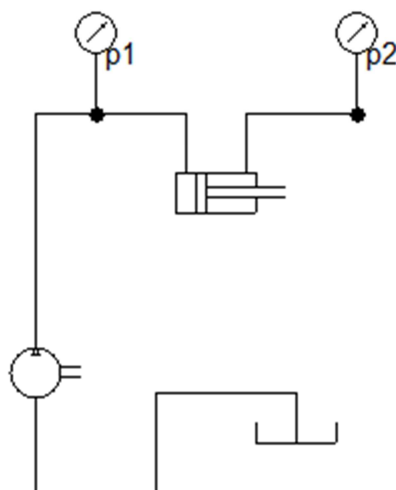
6.1 Statická multiplikace

Měření multiplikace jsme provedli při několika různých tlacích.



obr. 69: Měření multiplikace

Schématicky je měřicí aparatura zobrazena na obrázku 70. Na obrázku 69 je fotografie přímo z měření.



obr. 70: Obvod pro měření statické multiplikace

Naměřeno:	
p ₁ Mpa	p ₂ Mpa
1	2,03
2,1	3,56
3	4,89
4	6,67

Ze vzorců Pascalova a Newtonova zákona můžeme multiplikaci tlaku vyřešit teoreticky a poté porovnat s naměřenými daty.

$$p = \frac{F}{S}$$

$$F = pS$$

Síly působící na obě strany pístu musejí mít stejnou velikost a opačnou orientaci, protože se píst nepohybuje. Platí tedy 3. Newtonův zákon.

$$F_1 = F_2$$

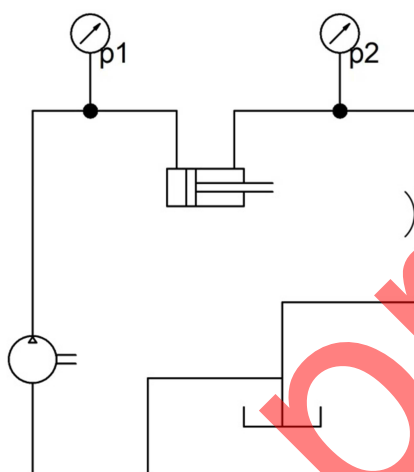
$$p_1 S_1 = p_2 S_2$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{S_1}{S_2}$$

Kde S_1 a S_2 jsou obsahy ploch, na které působí tlak p_1 a p_2 .

vyšší). Dále je odchylka způsobená pružností těsnění, které působí proti směru pohybu, ale je skoro neznatelná. Pro ostatní tlaky vzcházely hodnoty nižší, než jsme spočítali. To je dáno ztrátami a pružností těsnění.

6.2 Dynamická multiplikace (určení odporové síly ve válci)



obr. 71: Obvod pro měření odporové síly ve válci

K určení odporové síly ve válci jsme použili hydraulický válec a porovnávali jsme tlaky na vstupu a tlaky naškrcené na výstupu. Pro zjištění odporové síly musíme určit, jaké síly působí na pohybující se část hydraulického válce. Ve směru pohybu působí tlaková síla na píst. Proti směru pohybu působí tlaková síla na mezikruží pístnice naškrceným tlakem. Proti směru pohybu působí také odporová síla. Ta je rozdílem tlakových sil, které na píst působí.

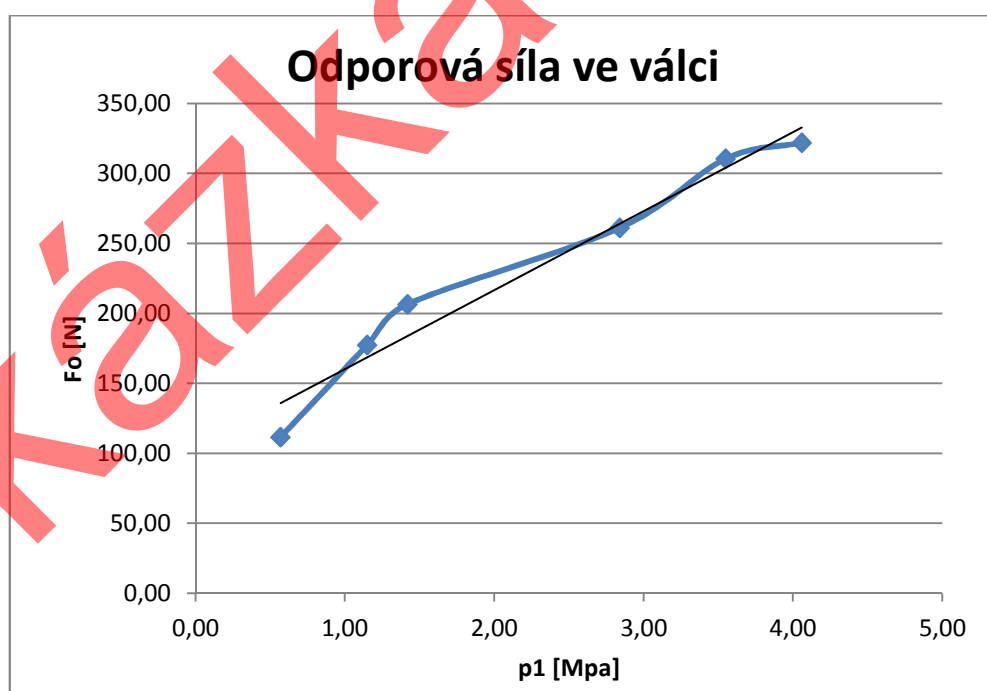


obr. 72: Zapojení obvodu pro měření odporové síly těsnění

Z této tabulky vyplývá, že odporová síla těsnění je závislá na tlaku. To je dáno tvarem těsnění. Dále se podíváme na graf závislosti tlaku na odporové síle těsnění v hydraulickém válci, který je zobrazen na obrázku 74.



obr. 73: Těsnění hydraulického válce

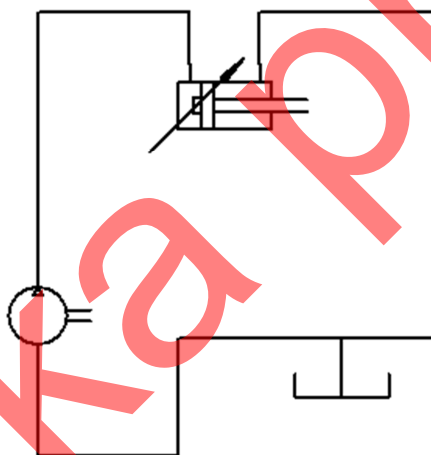


obr. 74 Odporová síla v hydraulickém válci

Závislost odporové síly na vstupním tlaku je skoro lineární. Měření nebylo ale příliš přesné, protože odporová síla závisí také na velikosti rychlosti. Ta by měla být pro všechna měření stejná. To se bohužel nepodařilo docílit (nebylo k dispozici regulační čerpadlo) a tyto rychlosti byly rozdílné.

6.3 Analýza pohybu hydraulického válce

Pohyb hydraulického válce jsme analyzovali pomocí rychloběžné kamery a systému Vernier. Schéma obvodu vidíte na obrázku 75. Fotografie přímo z měření je na obrázku 76. Provedli jsme několik měření, která probíhala tak, že jsme nejprve zapnuli měřicí přístroje a poté jsme válec uvedli do pohybu.

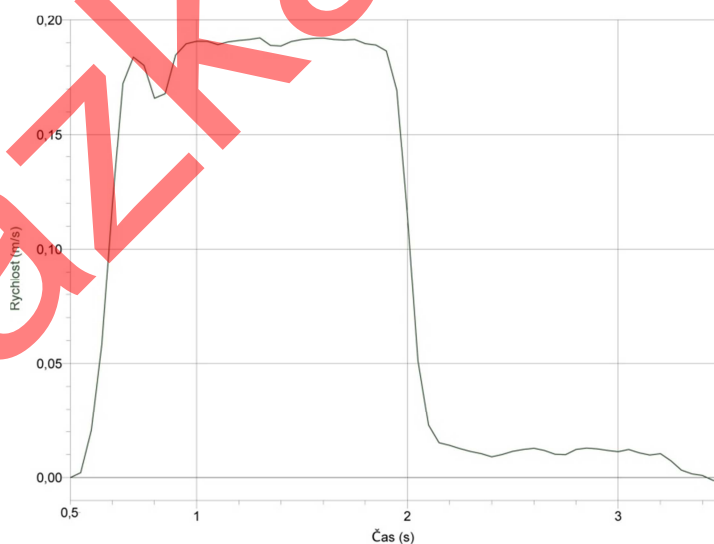


obr. 75: Obvod pro analýzu pohybu hydraulického válce

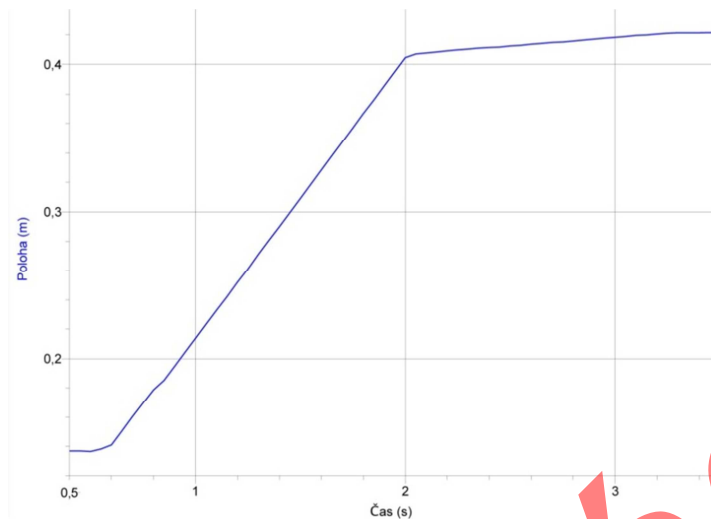


obr. 76: Zapojení obvodu pro analýzu pohybu hydraulického válce

Grafy jsme naměřili pomocí systému Vernier a jeho dvou čidel. Jedním byl sonar, který měří vzdálenost předmětu od své membrány. Dále jsme použili akcelerometr, který měří zrychlení ve třech osách. Využili jsme ale jen jednu osu. Bohužel díky chvění byly výsledky z akcelerometru nesrovnatelné s výsledky ze sonaru. Graf z akcelerometru je zobrazen na obrázku 79. Proto jsme hydraulický válec odmontovali a položili ho na vedlejší stůl v domněnku, že se vibrace z čerpadla nebudou přenášet na hydraulický válec. To se ale nepotvrdilo, zrychlení bylo sice celkově menší ale stále nesrovnatelné s ostatními naměřenými daty. V grafu závislosti velikosti rychlosti na čase je vidět rozjezd válce na velikost rychlosti, která by měla být konstantní až do doby, kdy tlumicí čep zajede do oblasti tlumení. V tomto místě nastává pokles velikosti rychlosti. Tento pokles je velmi strmý, protože byl válec nezatížený. Poté je velikost rychlosti opět konstantní až do dojetí válce k dorazu. Graf závislosti velikosti rychlosti na čase je na obrázku 77. Tato oblast dojezdu trvá velmi dlouho, protože bylo tlumení hodně dotaženo. Velikost rychlosti odpovídá průtoku, který jsme měřili průtokoměrem. Graf závislosti souřadnice na čase (na obrázku 78) byl primárně naměřen. Z tohoto grafu jsme pomocí programu Logger Pro vytvořili grafy velikosti rychlosti na čase a zrychlení na čase.



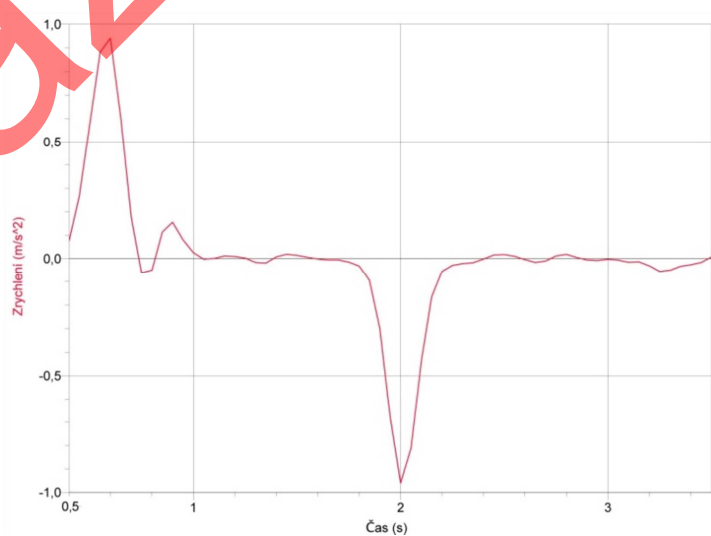
obr. 77: Graf závislosti velikosti rychlosti na čase



obr. 78: Graf závislosti souřadnice na čase



obr. 79: Graf závislosti zrychlení na čase (z akcelerometru)



obr. 80: Graf závislosti zrychlení na čase (spočítáno z hodnot naměřených sonarem)

7. ZÁVĚR

Při vytváření této maturitní práce jsem získal nové vědomosti z oblasti hydrauliky, což pro mě bylo velmi poučné. Díky mému dědovi jsem se dostal do školicího střediska firmy Parker, kde jsem se nejprve seznámil s technikou, a provedl několik školních pokusů. Při příštích návštěvách jsem již naměřil konkrétní data. Povedlo se mi naměřit, vypočítat, zpracovat a porovnat statickou i dynamickou multiplikaci tlaku v hydraulickém válci. Dále jsem analyzoval pohyb hydraulického válce. Data jsme nejprve naměřili systémem Vernier, který data ukládá v elektronické podobě. Tato data jsem nahrál do počítače a zpracoval za pomoci programů uvedených v kapitole použitý SW, která se nachází na konci práce. V počítači jsem také analyzoval data naměřená manometry a video natočené rychloběžnou kamerou. Tuto nahrávku jsem analyzoval v programu Logger Pro. Video jsem musel rozložit na jednotlivé snímky a u každého určit polohu rysky na průtokoměru. Z těchto dat jsem pak vytvořil grafy v programu Microsoft Office Excel 2010. Teoretickou i praktickou část jsem zpracoval v programu Microsoft Office Word 2010. Tento produkt byl pro mne nový, a tak jsem se musel nejprve zorientovat v novém rozložení programu.

Původně jsem plánoval měřit a počítat tlaky pracovní kapaliny při dojezdu hydraulického válce do tlumení. To se mi ale nepovedlo, protože tento válec nebyl zatížen a zpomalení proběhlo příliš rychle. Dalším pokračováním teoretické části práce by byly rozvaděče a servoventily.