

Závěrečná zpráva o řešení SGS projektu za rok / *Final report for SGC project for year 2014 – část I. / part I.*

Řešitel projektu / <i>Researcher</i>	Interní číslo projektu / <i>Internal project number</i>	21001
Ing. Radek Votrubec Ph.D.		
Název projektu / <i>Title of project in Czech</i>	Výzkum a vývoj řídicích systémů pneumatických, hydraulických a elektrických prvků.	
Název projektu anglicky / <i>Title of project in English</i>	Research and development of control structures of pneumatic, hydraulic and electrical components.	
Prohlašuji, že údaje uvedené v předložené zprávě o řešení grantového projektu jsou pravdivé a úplné. / <i>I declare that the information given in the report presented by the grant project are true and complete.</i>		
Datum / <i>Date</i>: 20.12.2014		
Podpis / <i>Signature</i>:		

Osnova zprávy / *Outline of report:*

1. Rozbor řešení projektu (postup a metodika práce) / *Analysis of the project (process and methodology of work)*
2. Řešitelský kolektiv / *Research team*
3. Dosažené výsledky / *Achieved results*
4. Vyhodnocení výsledků projektu v porovnání s vytyčenými cíli / *Evaluation of project results in comparison with objectives*
5. Seznam výstupů v průběhu řešení projektu (publikace, přednášky, a pod.) / *List outcomes in the course of the project (publications, lectures, etc.)*
6. Změny v projektu / *Changes in the project*
7. Výkaz o hospodaření s grantovými prostředky (příloha) / *Statement on the management of grant funds (Annex)*

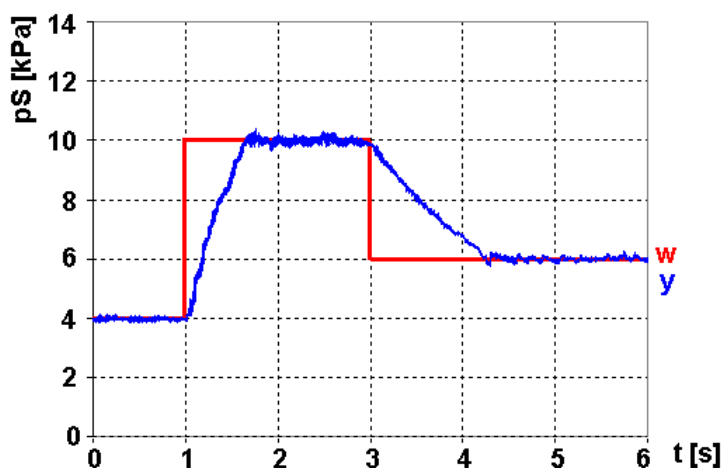
1. Rozbor řešení projektu (postup a metodika práce) / Analysis of the project (process and methodology of work)

Výzkum provedený v rámci tohoto projektu navázal na předchozí projekty realizované na katedře KKY. Výzkum je rozdělen do třech tematických okruhů.

1.1 Řídicí algoritmy vibroizolačních systémů

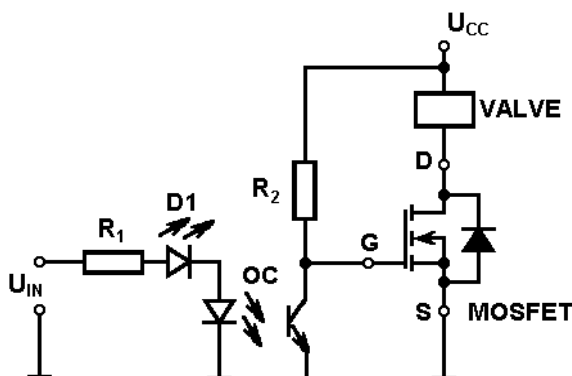
Prvním tématem je vývoj řídicích algoritmů akčních členů vibroizolačních systémů. Mezi dříve zkoumané vibroizolační systémy patří aktivní sanitní lehátko, na němž byl použit řízený magnetoreologický tlumič a sedačka dopravních prostředků a strojů se sedákem s proměnnou tuhostí. Právě druhý jmenovaný systém byl vybrán pro testování nového algoritmu řízení. Tuhost sedáku je nově nastavována na základě průběžné frekvenční analýzy budicího signálu sedačky.

Postupně byly testovány tři varianty uspořádání ventilů, regulujících tlak v sedáku. Při první variantě byly použity na vstupu i výstupu dvupolohové diskrétní ventily. Pro řízení tlaku byla použita dvupolohová regulace s malou hysterezí, zajišťující dodržení žádané hodnoty tlaku, obr. 1.1.1.



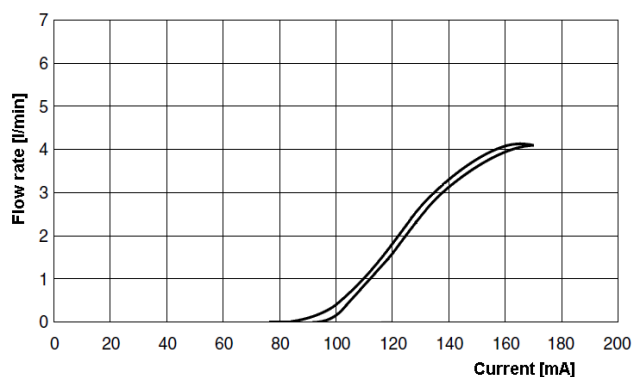
Obr. 1.1.1 – Výsledek dvupolohové regulace diskrétních ventilů

Aby mohly být ventily ovládané digitálním výstupem měřicí karty, byly navrženy ovládací obvody s optickým oddělením a výkonovými MOSFET tranzistory, obr. 1.1.2.

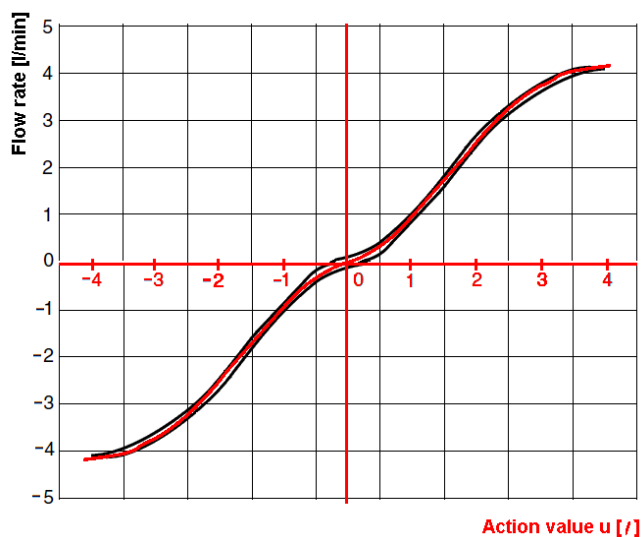


Obr. 1.1.2 – Obvody pro ovládání diskrétních ventilů

Při druhé variantě byly použity dva proporcionální ventily. V tomto případě byla vytvořena nová akční veličina, která eliminuje pásmo necitlivosti proporcionálních ventilů a ovládá dvojici ventilů na vstupu a výstupu tlakového prvku. Vytvoření této akční veličiny je znázorněno na obr. 1.1.4. Spočívá v posunutí řídicího napětí o pásmo necitlivosti na charakteristice ventilu, obr. 1.1.3.

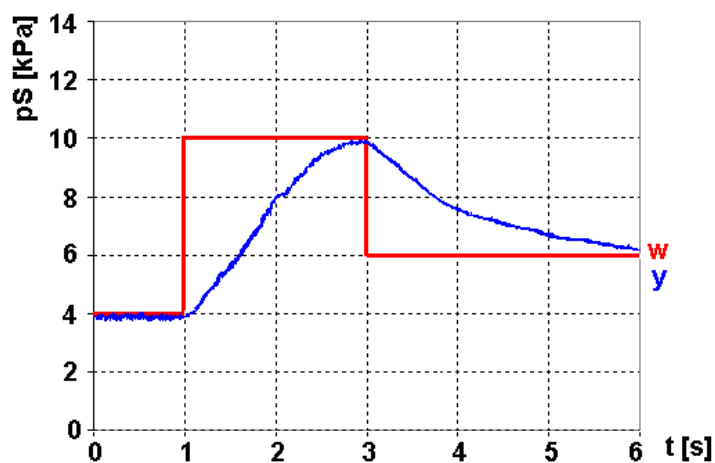


Obr. 1.1.3 – Charakteristika proporcionálního ventilu



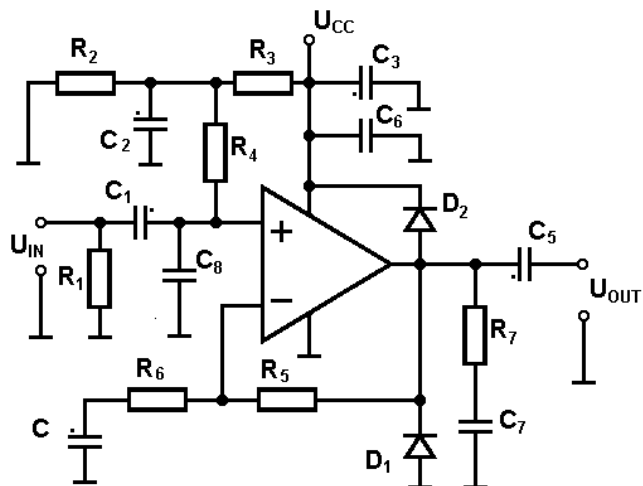
Obr. 1.1.4 – Akční veličina pro dvojici proporcionálních ventilů

Výsledek regulace tlaku je na obr. 1.1.5.



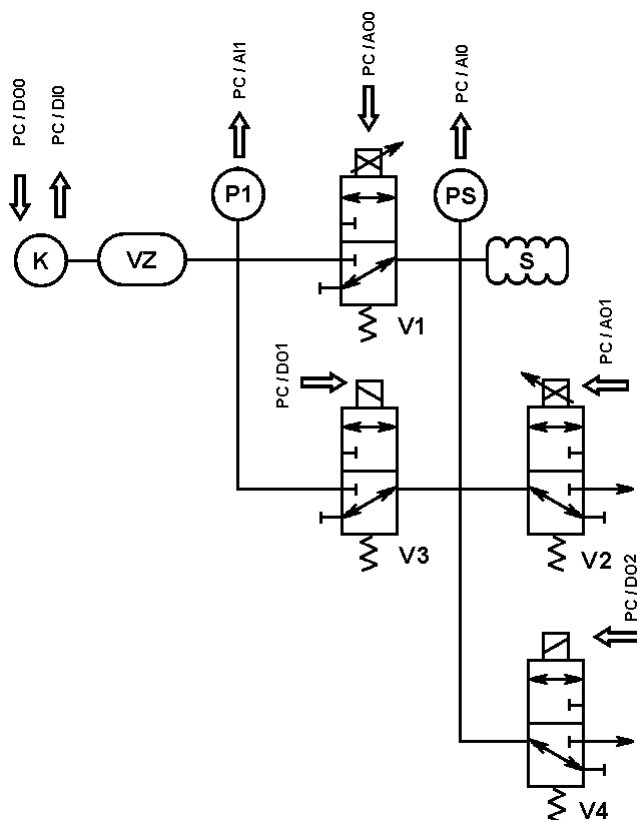
Obr. 1.1.5 – Výsledek řízení tlaku s proporcionálními ventily

Pro ovládání proporčních ventilů byly vyrobeny zesilovače umožňující připojení na analogový výstup měřicí karty, ob. 1.1.6.

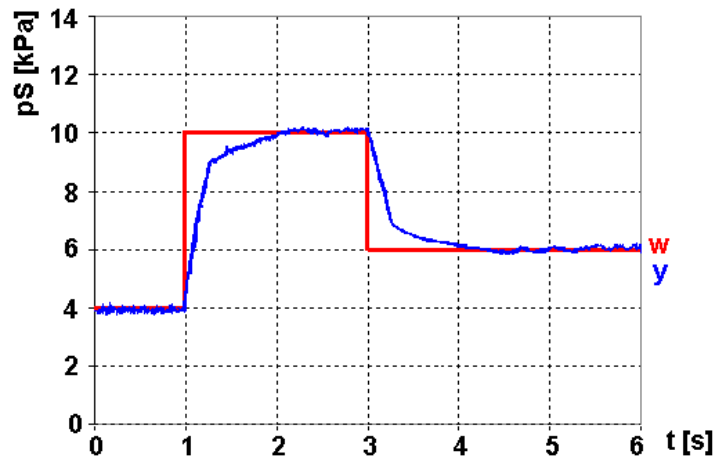


Obr. 1.1.6 – Analogový zesilovač pro proporční ventily

Ve třetí verzi byla stávající dvojice proporčních ventilů doplněna o dvojici diskretních ventilů, obr.1.1.7. Jejich řízení bylo nastaveno tak, aby ventil na vstupu sepnul tehdy, je-li rozdíl tlaku měřeného a tlaku žádaného větší než zadaná hodnota. Podobně je ovládán ventil na výstupu. Toto zapojení vede ke zrychlení dosažení požadované hodnoty tlaku při větších skocích žádané hodnoty. Výsledek tohoto řízení je na obr. 1.1.8.

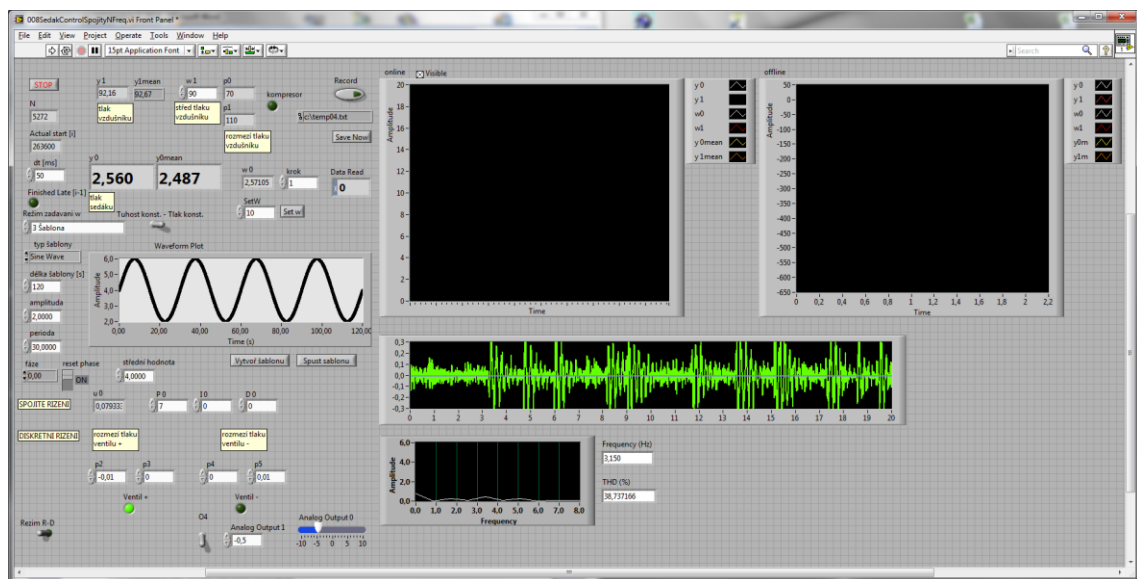


Obr. 1.1.7 – Řídicí obvod s dvojicí proporčních a dvojicí diskretních ventilů



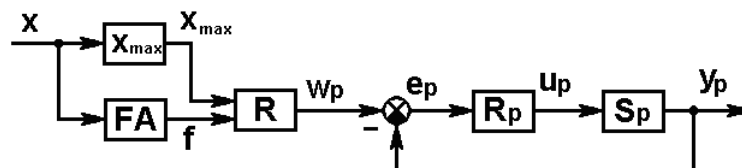
Obr. 1.1.8 – Výsledek řízení tlaku s dvojicí proporcionálních a dvojicí diskrétních ventilů

Aplikace pro řízení tlaku v sedáku v LabView, obr. 1.1.9.



Obr. 1.1.9 – Aplikace pro řízení tlaku v sedáku

Nastavování žádané hodnoty tlaku bylo realizováno na základě analýzy budicího signálu x . Jako budicí signál byl použit signál používaný dříve k buzení sanitního lehátka. V dalším roce bude úkolem získat vhodný signál aktuálním měřením tlaku nebo zrychlení přímo na sedačce. Řídící struktura je znázorněna na obr. 1.1.10. Frekvenční analýza budicího signálu je prováděna každých 5s. Na minulý úsek budicího signálu je aplikováno Hanningovo okno a provedena frekvenční analýza signálu. Vstupem řídicí dvourozměrné lineární funkce je nejvyšší dosažená amplituda a nalezená dominantní frekvence. Výsledkem je žádaná hodnota tlaku v sedáku, použitá pro regulaci tlaku.



Obr. 1.1.10 – Řídící struktura pro nastavení žádané hodnoty tlaku

Vzhledem ke zvolené řídicí strategii, kdy je změna tuhosti akčního prvku měněna na základě analýzy několika uplynulých sekund a je konstantní pro celý další časový úsek, jsou nároky na reakční doby použitelných akčních členů v řádu desítek sekund.

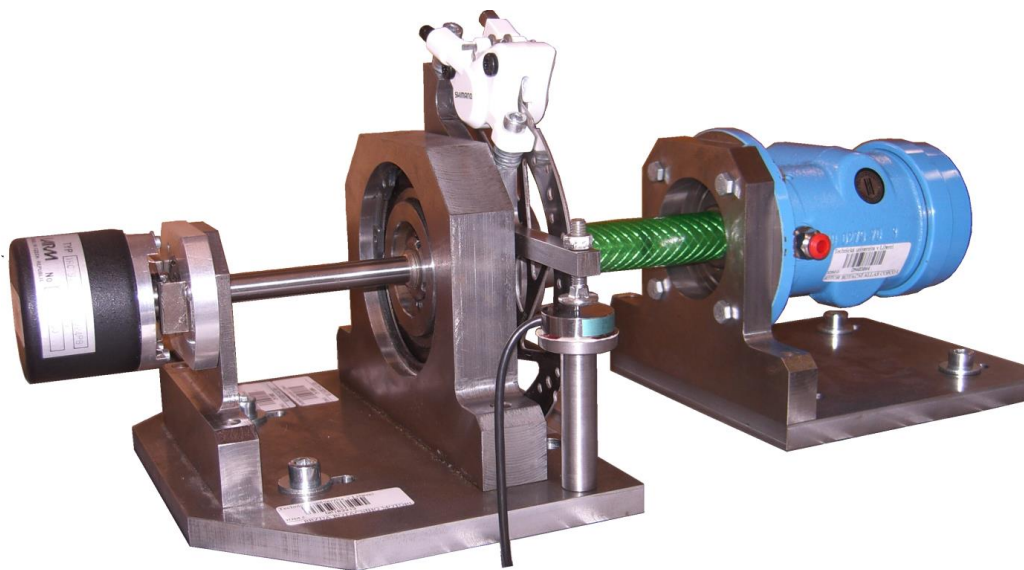
1.2 Řízení rotačního pneumatického motoru

V rámci druhého tématu byl navržen přípravek pro měření pneumatického rotačního pohonu. Vytvořený přípravek bude použit k identifikačním měřením zvoleného motoru pro konstrukci pneumatického servomechanizmu. Rozměrové požadavky na přípravek byly určeny výkonem řízeného pohonu. Přípravek bylo nutné vybavit potřebnými senzory a doplnit akčními prvky pro ovládání a nastavení parametrů přírodního stlačeného vzduchu.

Předpokládaný harmonogram plnění cílů:

1. Návrh konstrukce přípravku pro identifikační měření
2. Příprava výkresové dokumentace
3. Výroba a sestavení přípravku
4. Instalace přípravku a dalších potřebných zařízení a přístrojů
5. Návrh řídicího systému měřicího přípravku

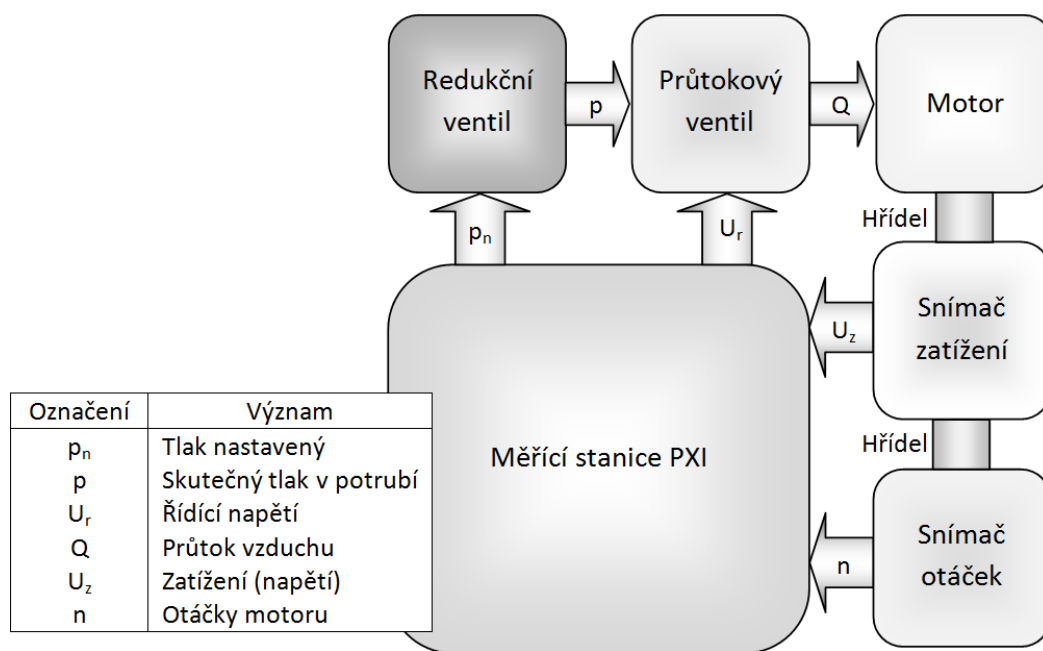
Měřicí přípravek je na Obr.1.2.1. Při návrhu konstrukce byl dbán důraz na univerzálnost přípravku a možnost použití i s pohony jiných rozměrů a jiným typem uchycení. Pro splnění tohoto cíle je přípravek tvořen dvěma samostatnými komponentami. První komponenta tvoří samotný měřicí přípravek. Druhá část umožňuje uchycení pohonu ve vhodné poloze. Při použití pohonu s jiným typem nebo rozměrem uchycení motoru lze vyměnit pouze uchycení pohonu. Měřicí přípravek bylo nutné vybavit brzdou pro simulaci proměnné zátěže. Pro snadnou dostupnost a nízkou cenu byla zvolena hydraulická kotoučová brzda. Tato brzda je uchycena na výkyvném rameni na jehož konci byl umístěn tenzometrický siloměr, který při známé délce ramena umožňuje vyhodnotit zátěžový moment brzdy. Přípravek byl také vybaven inkrementálním rotačním snímačem vyhodnocujícím natočení hřídele. Tento snímač je také využit při měření otáček motoru. Akční komponenty jsou tvořeny elektricko-pneumatickými prvky regulujícími tlak a objem protékajícího stlačeného vzduchu. Pro řízení tlaku je použit elektricky ovládaný proporcionální tlakový ventil. V pneumatickém obvodu je dále umístěn průtokový ventil regulující objem protékajícího stlačeného vzduchu.



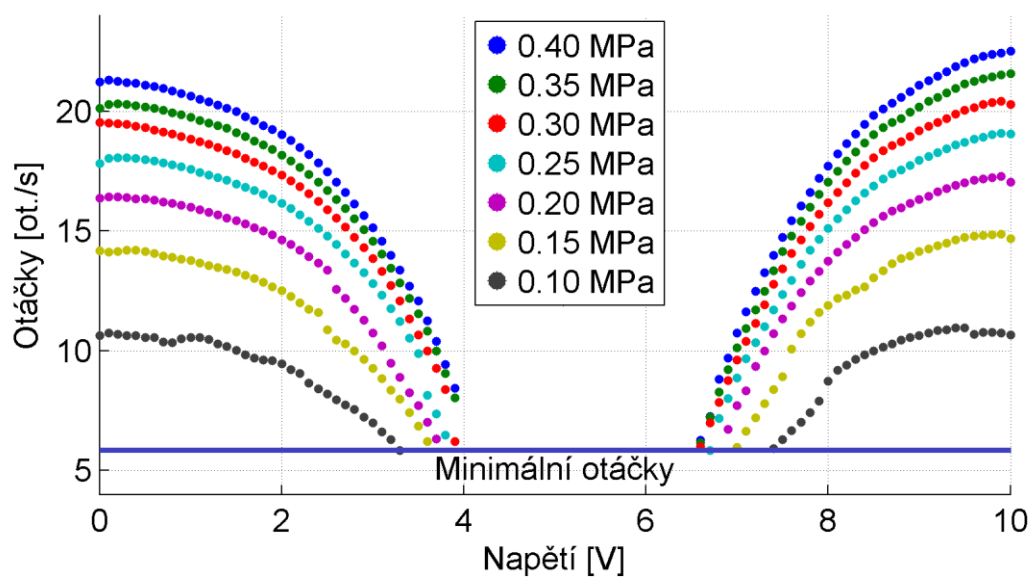
Obr. 1.2.1 - Měřicí přípravek

Snímače a akční prvky jsou zapojeny do dvojice svorkovnic. Použití svorkovnic umožňuje jednoduché připojení použitých prvků a případné snadné úpravy zapojení. Svorkovnice jsou vybaveny 68 piny pro připojení vodičů. Význam pinu je určen měřicí kartou, se kterou jsou svorkovnice spojeny pomocí plochých kabelů. Měřicí karta je vybavena 32 analogovými vstupy a 4 analogovými výstupy. Dále je k dispozici 8 digitálních vstupně výstupních portů. Poslední důležitou součástí je čtveřice čítačů, které lze použít i jako časovače. Snímače síly jsou připojeny na analogové měřicí vstupy. Měřicí karta je vložena v měřicí stanici, která řídí kartu a zajišťuje záznam a zpracování dat. Použité analogové vstupy mají vhodně nastaveny rozsahy pomocí řídicího softwaru měřicí stanice. Proporcionální průtokový ventil je připojen na analogový výstup a je řízen napětím v rozsahu 0-10 V. Pro snímač natočení hřídele je vyhrazen jeden z čítačů. Měřicí stanice je ovládána pomocí osobního počítače, s kterým komunikuje pomocí sítě ethernet.

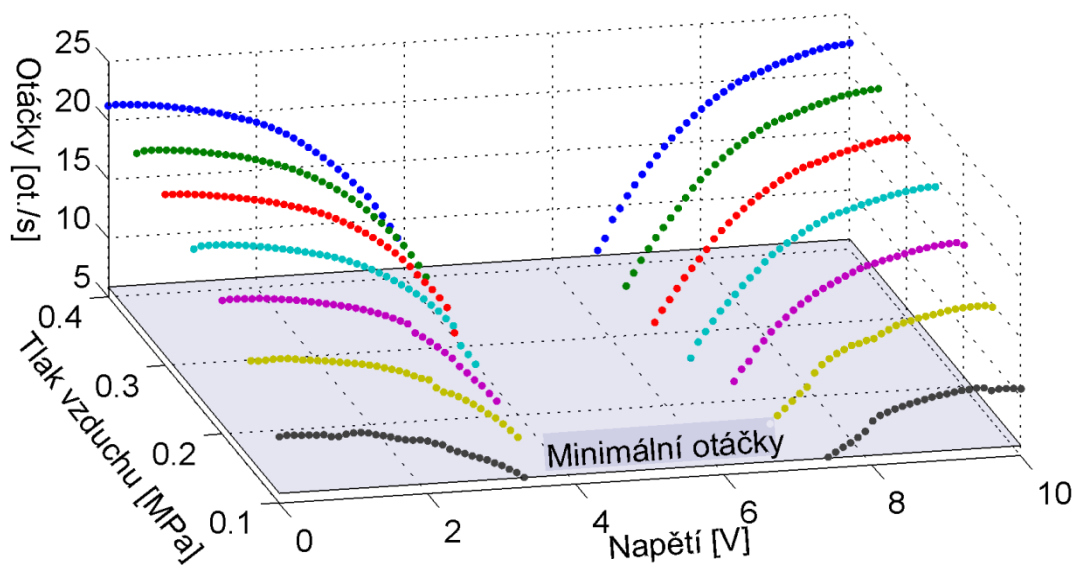
Měřicí stanice neobsahuje žádné rozhraní pro přímou komunikaci s uživatelem a tak řízení stanice probíhá pomocí připojeného osobního počítače, na kterém je nainstalovaný měřicí software LabVIEW. Schéma měřicí soustavy je na Obr.1.2.2. Řízení měřicího přípravku bylo realizované pomocí virtuálního měřicího přístroje, který obsahuje i ovládací prvky a prvky pro sledování a záznam průběhu měření. Virtuální přístroj sestavený pro identifikační měření obsahuje bloky pro odečítání dat z měřicí karty a bloky pro zápis dat na výstupní porty. Další části blokového schématu slouží k zpracování měřených dat. Mezi tyto operace patří například výpočet otáček z měřeného natočení hřídele a uplynulého času. Blokové schéma je také vybaveno bloky pro záznam měřených hodnot do souboru pro jejich další zpracování. Čelní panel virtuálního zařízení obsahuje prvky pro nastavení a sledování důležitých parametrů měření. Na přípravku byly naměřeny základní charakteristiky řízeného pneumatického motoru, Obr. 1.2.3 – Obr. 1.2.8.



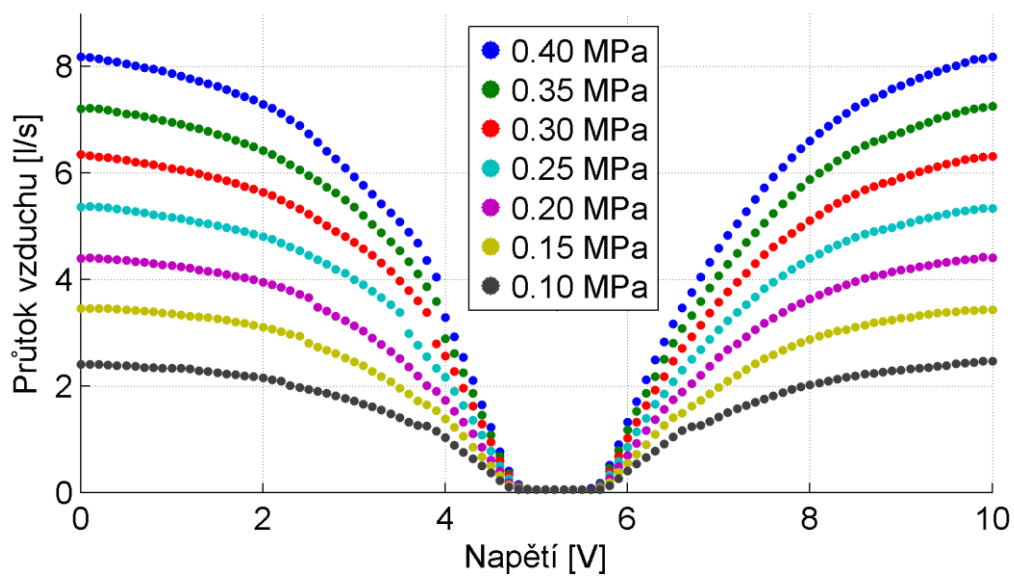
Obr. 1.2.2 - Schéma měřicí soustavy



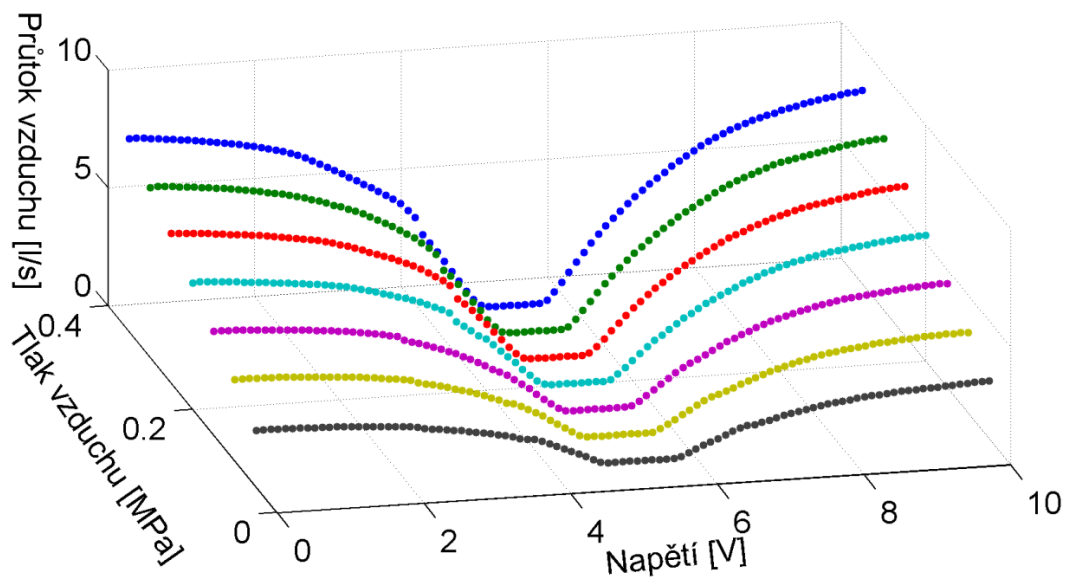
Obr. 1.2.3 - Závislost otáček na řídicím napětí



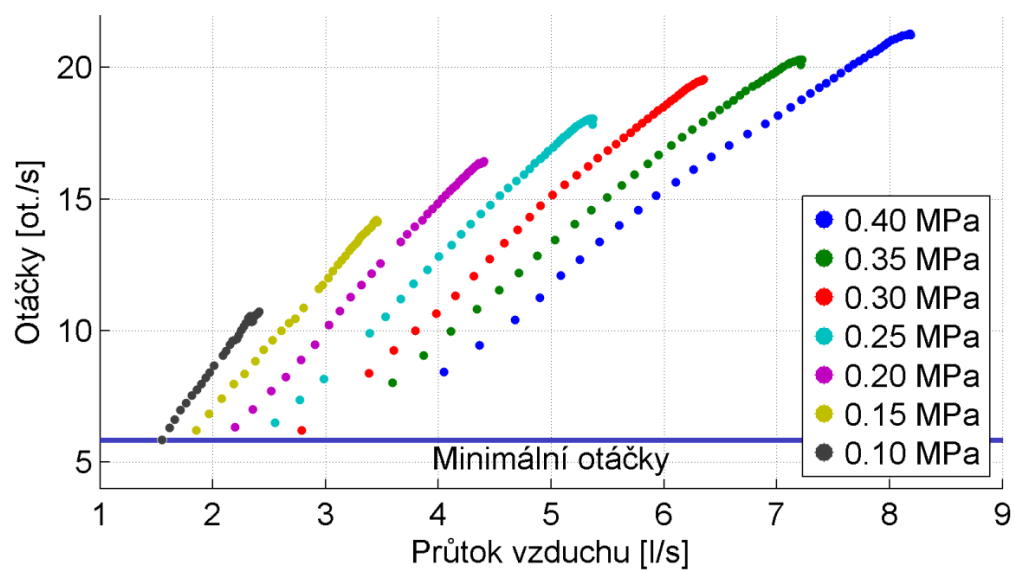
Obr. 1.2.4 - Prostorová závislost otáček na řídicím napětí



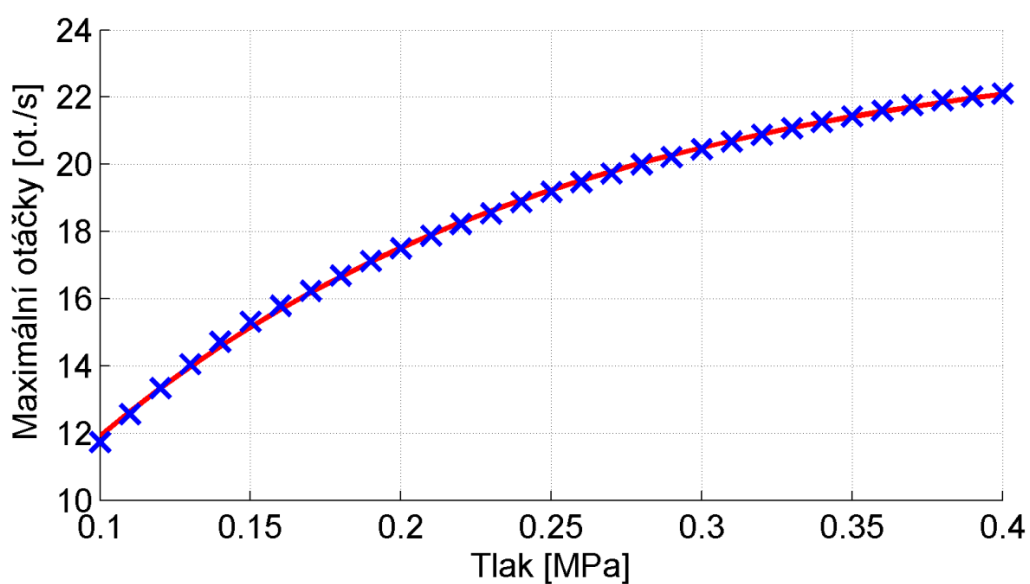
Obr. 1.2.5 - Průtoková charakteristika ventilu



Obr. 1.2.6 - Prostorová průtoková charakteristika ventilu

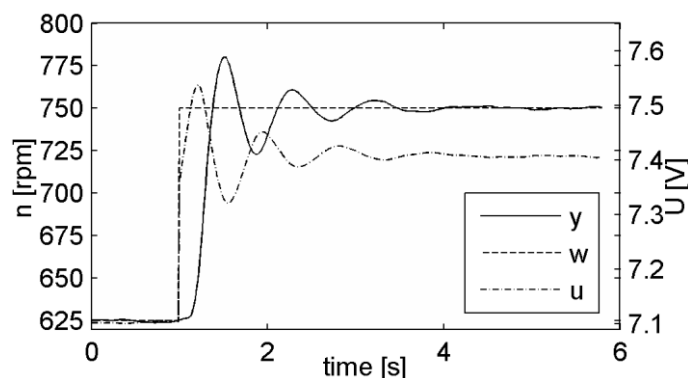


Obr. 1.2.7 - Závislost otáček na průtoku



Obr. 1.2.8 - Závislost maximálních otáček na tlaku

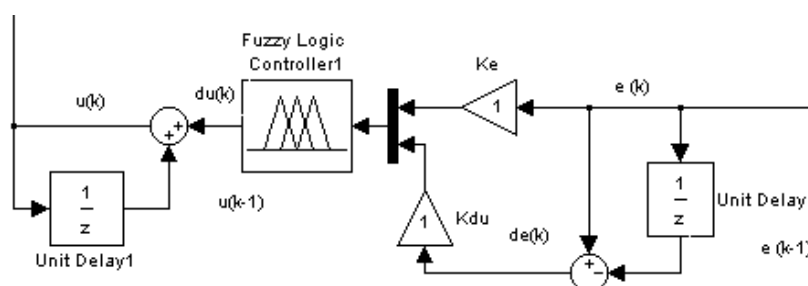
Jako první řídicí algoritmus byla použita zpětnovazební smyčka s PID regulátorem. Výsledek seřízení PID regulátoru je na obr. 1.2.9.



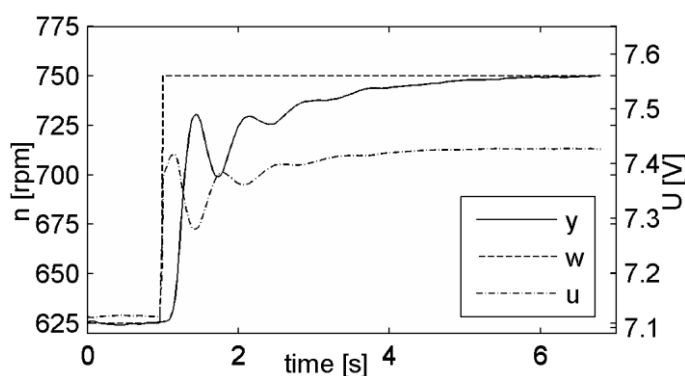
Obr. 1.2.9 - Řízení pomocí PID regulátoru

Jelikož byla regulovaná soustava identifikována jako dynamický systém druhého řádu, odpovídá stavový regulátor PD regulátoru, popř. při použití pomocné integrační složky odpovídá PID regulátoru. Struktura řídicího obvodu je v tomto případě totožná s prvním případem a záleží pouze na nastavení parametrů proporcionální, integrační a derivační složky.

Jako další byl na regulaci pneumatického motoru použit fuzzy regulátor, jehož struktura je na obr. 1.2.10. Pro nastavení parametrů byla použita optimalizace v Matlabu. Výsledek regulace je na obr. 1.2.11. Perioda vzorkování byla zvolena $T_s=0.02s$, proto se průběh akční veličiny jeví jako spojitý. Průběh je více přetlumený, což způsobuje výraznější derivační složka.



Obr. 1.2.10 – Struktura fuzzy regulátoru



Obr. 1.2.11 - Řízení pomocí Fuzzy regulátoru

Výsledky použitých metod regulace jsou srovnatelné, doby ustálení jsou podobné, rozdíly jsou dány různým nastavením parametrů. Na základě toho byla pro řízení vybrána nejjednodušší varianta s PID regulátorem

1.3 Řídicí systém prostorového polohovacího zařízení

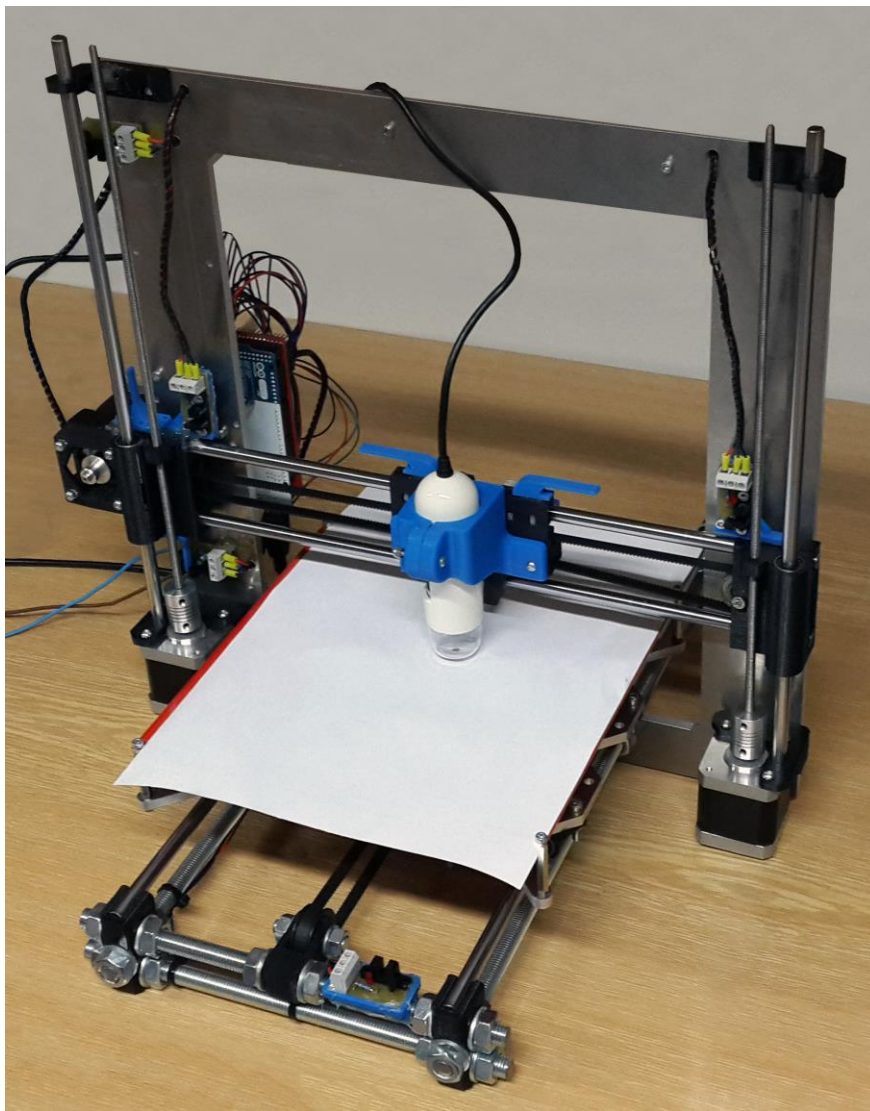
Třetím tématem je výzkum a realizace řídicího systému prostorového polohovacího zařízení. Cílem této části projektu bylo vytvořit prototyp prostorového polohovacího zařízení, který by mohl být použit pro řešení různých manipulačních úloh. Rozsah řešených úloh závisí na zvoleném suportu.

Podle druhu použité energie se motory dělí na elektrické, pneumatické a hydraulické. Pro řešenou úlohu by bylo nevhodné používat hydraulické motory z důvodu jejich velkých rozměrů a velké hmotnosti. Běžné pneumatické motory mají pro plnění kladených cílů nedostačující přesnost. Kromě toho, u pneumatických motorů, stejně jako u motorů hydraulických je složitější řešení otázky přívodu energie. Na základě výše uvedených důvodů jsme použili motory elektrické.

V současné době se nejvíce používají servopohony s bezkartáčovými nebo synchronními motory a pohony bez zpětné vazby - krokové motory. Pohon se zpětnou vazbou má vyšší přesnost, ale zároveň má své určité nedostatky: vysokou cenu, komplikovanější zavedení do provozu (nutnost návrhu odměřovacího systému, složitější řízení). Proto byl zvolen krokový motor bez zpětné vazby. Má výrazně nižší cenu, jeho řízení je poměrně jednoduché. Na druhou stranu, má své nedostatky, se kterými je také nutno počítat. Jedním ze základních problémů, spojených s krokovými motory je možnost ztráty kroku. Abychom tomu předešli, bylo nutno maximálně zredukovat hmotnost suportu a zabránit jejich přetížení. Dalším problémem, bylo vymezení pracovního prostoru. Jelikož systém neobsahuje žádnou zpětnou vazbu, která by informovala řídicí systém o poloze suportu, přidali jsme k zařízení koncové spínače, vymezující pracovní prostor suportu. Přesnost krokového motoru je oproti motoru poháněnému servopohonem nižší, ale pro řešenou úlohu je tato přesnost úplně postačující. Pro řízení krokových motorů byla použita mikrokontrolérová deska Arduino, běžně se používající pro prototypování.

Funkčnost navrženého zařízení byla ověřena během ovládání digitálního mikroskopu. Byl zvolen mikroskop s rozlišením 640 * 480 (0.3 MP). Mikroskop má možnost opticky zvětšovat až 200násobně. Použitím kvalitnějšího a dražšího mikroskopu by se dalo dosáhnout většího rozlišení a zvětšení. Polohovací zařízení s mikroskopem je na Obr. 1.3.1.

Z prostředků grantu byla nakoupena řídicí jednotka pro bezkartáčové EC motory, která bude využita k řízení elektrického servopohonu v příštím roce.



Obr. 1.3.1 - Polohovací zařízení s mikroskopem

2. Řešitelský kolektiv / *Research team*

Ing. Radek Votrubec Ph.D.	- odpovědný řešitel projektu (KKY)
prof. Ing. Miroslav Olehla, CSc.	- školitel a akademický pracovník (KKY)
Ing. Jan Kolaja Ph.D.	- akademický pracovník (KKY)
Ing. Miroslav Vavroušek	- student (KKY)
Ing. Lukáš Stanislav	- student (KKY)
Ing. Michal Kašpárek	- student (KKY)
Ing. Maryna Garan	- student (KKY)
Ing. Iaroslav Kovalenko	- student (KKY)
Bc. Andrii Shynkarenko	- student (KKY)

3. Dosažené výsledky / *Achieved results*

V rámci prvního okruhu, řízení vibroizolačních systémů, byla navržena struktura řídicího algoritmu, který nastavuje tuhost sedáku na základě amplitudy a frekvence budícího signálu. Byl navržen řídicí systém pro řízení tlaku v sedáku se dvěma proporcionálními a dvěma dvoustavovými ventily. Pro proporcionální ventily byly vyrobeny zesilovače umožňující připojení na analogový výstup měřicí karty. Pro dvoustavové ventily byly vyrobeny spínací prvky s MOSFET tranzistory umožňující připojení na digitální výstupy měřicí karty.

V rámci druhého okruhu byl navržen přípravek pro měření rotačních pohonů. Pro tento přípravek byl vytvořen řídicí systém. Spolupráce komponent měřicí soustavy byla testována na zvoleném pohonu. Na přípravku byly naměřeny základní charakteristiky řízeného pneumatického rotačního motoru. Získané údaje budou využity pro návrh pneumatického servomechanismu. Byly navrženy řídicí algoritmy s PID a Fuzzy PID regulátorem a výsledky řízení vzájemně porovnány.

V rámci třetího okruhu byl navržen a vyroben prototyp polohovacího zařízení řízeného krokovými motory. Pro řízení byla použita mikroprocesorová vývojová deska Arduino. Funkce zařízení byla úspěšně ověřena při ovládání mikroskopu.

Výsledky výzkumu byly publikovány ve čtyřech příspěvcích na konferencích. Další dva příspěvky jsou rozpracovány a budou publikovány v roce 2015.

4. Vyhodnocení výsledků projektu v porovnání s vytyčenými cíli / *Evaluation of project results in comparison with objectives*

Cíle uvedené v přihlášce projektu byly splněny. Projekt může v následujících letech navázat na dosažené výsledky

5. Seznam výstupů v průběhu řešení projektu (publikace, přednášky, a pod.) / *List outcomes in the course of the project (publications, lectures, etc.)*

VAVROUŠEK, Miroslav. Využití neuronových sítí pro ovládání pneumatického motoru. In: *Principia cybernetica 2014*. Bratislava a Kočovice, Slovenská republika 3.-5. 09 2014, s. 27 - 29. ISBN 987-80-227-4220-7.

VAVROUŠEK, Miroslav. Linealization of pneumatic rotational engine control system. In: *Workshop for Ph.D. students of Faculty of Textile Engineering and Faculty of Mechanical Engineering TUL: Světlanka, 16th-19th of September 2014*. Ed. 1st. Liberec: Technical University in Liberec, 2014. ISBN 978-80-7494-100-9. /

VOTRUBEC, Radek a Miroslav VAVROUŠEK. Control system of rotary pneumatic motor. In: *The 16th International Conference on Mechatronics – Mechatronika 2014: IEEE Czechoslovakia Section*. Brno, Czech Republic: Brno University of Technology, 2014, s. 130-136. ISBN 978-80-214-4817-9.

VOTRUBEC, Radek. Control system of the seat with variable stiffness. In: *The 16th International Conference on Mechatronics – Mechatronika 2014: IEEE Czechoslovakia Section*. Brno, Czech Republic: Brno University of Technology, 2014, s. 148-152. ISBN 978-80-214-4817-9.

6. Změny v projektu / Changes in the project

O změny nebylo žádáno.

7. Výkaz o hospodaření s grantovými prostředky (příloha) / Statement on the management of grant funds (Annex)

Účet: 501110 Spotřeba materiálu

POK1401619	ele.materiál	142.00	el. prvky pro polohovací.zařízení, rezistory
FP1404421	elektromotor, elektrosoučástky	403.83	el. prvky pro polohovací.zařízení
FP1404421	elektromotor, elektrosoučástky	1923.02	materiál na konstrukci polohovacího.zařízení
FP1404445	broušená tyč, lineární ložisko	1549.00	materiál na konstrukci polohovacího.zařízení
FP1404505	optočlen, rezistor, LED	583.33	el. prvky pro polohovací.zařízení
FP1404960	strojní součástky	1408.19	materiál na konstrukci polohovacího.zařízení
FP1404960	strojní součástky	6705.69	materiál na konstrukci polohovacího.zařízení
FP1405568	ARDUINO mikroprocesorová deska	891.38	řídící jednotka pro polohovací.zařízení
FP1405568	ARDUINO mikroprocesorová deska	4244.66	řídící jednotka pro polohovací.zařízení
POK1402683	tyče, vruty, matice, šrouby	255.00	materiál na konstrukci polohovacího.zařízení
POK1402757	jákl, profil	374.00	materiál na konstrukci polohovacího.zařízení
POK1403116	tvarovka zátka, hadičník	63.00	součásti pro pneumatický obvod
FP1406646	materiál	15.85	tranzistory pro napájení krokových motorů
POK1404170	2 x zdroj ele.energie	1538.00	zdroje pro pneumatické ventily a obvody
FP1411398	elektromateriál	6927.00	zdroje pro Arduino, příslušenství Arduino
POK1405850	kabely	295.00	vodiče pro el. zapojování obvodů
POK1405850	kabely	380.00	vodiče pro el. zapojování obvodů
FP1411704	el.komponenty a vybavení	2890.00	kontroler Arduino s příslušenstvím a krok. mot
Účet: 501150	Spotřeba mater.-DDHM		
FP1404505	spínaný zdroj	1743.50	zdroj pro polohovací zařízení
FP1409460	EZStruder	1690.00	el. komponent pro polohovací zařízení
FP1409682	řídící jednotka, svorkovnice, kabel	33759.00	řídící jednotka pro EC motory, svorkovnice a kabely k měřicí kartě k PC

Účet: 518110 Ostatní služby

POK1402757	řezy	109.00	úprava materiálu při prodeji
------------	------	--------	------------------------------

Účet: 521110 Mzdové náklady

PAM1407	Zak.-odměny celkem	16000.00	odměny za hlavní činnost
PAM1410	Zak.-odměny celkem	19000.00	odměny za hlavní činnost

Účet: 524110 Zákonné soc.pojištění

PAM1407	Soc. poj. - celkem - zaměstnavatel	3999.99	platba související s odměnami
PAM1410	Soc. poj. - celkem - zaměstnavatel	4749.99	platba související s odměnami

Účet: 524150 Zákonné soc.pojištění

PAM1407	Zdr. poj. - zaměstnavatel VZP	1440.18	platba související s odměnami
PAM1410	Zdr. poj. - zaměstnavatel VZP	1710.00	platba související s odměnami

Účet: 545100 Kursové ztráty

KRP14071	K-ztr. FP - 46747885, dok FP1404960	3.66	kursové ztráty
----------	-------------------------------------	------	----------------

Účet: 549115 Jiné osta.nákl

OE061003	Popl.9,13 EUR-FP1404421	250.07	poplatek za převod bance
OE066007	Popl.9,12EUR-FP1404960	250.25	poplatek za převod bance
OE078008	Popl.9,11 EUR-FP1405568	250.07	poplatek za převod bance

Účet: 549130 Jiné ost.náklady-účast.popl.

BU222003	votrubec-Brno-3-5/12/14 vl. 365	10500.00	konference Mechatronika 2014
----------	---------------------------------	----------	------------------------------

Účet: 549150 Jiné ost.nákl.hl.č.-stip.VaV, inov.činnost

I0714079	Stip.VaV FS 7/14-115-21001	48000.00	stipendia studentům za činnost na projektu
I1114200	Stip.VaV FS 11/14-115,21001	36000.00	stipendia studentům za činnost na projektu

Účet: 645100 Kursové zisky

KRP14050	K-zisk FP - 68432, dok FP140442	-4.90	kursové zisky
KRP14063	K-zisk FP - 4076, dok FP1405568	-3.09	kursové zisky

Účet: 691115 Dotace - účelová podp. na spec.výzkum

I0214028	rozúčt.dotace na proj. SGS	263000.00	dotace projektu
----------	----------------------------	-----------	-----------------

Účet pro režii

Režijní náklady TUL	52963.33	odvedená režie
---------------------	----------	----------------

Vyjádření předsedy komise SGS fakulty / <i>Comments of Chairman of SGC committee of Faculty</i>	Datum / <i>Date</i>	
	Podpis / <i>Signature</i>	
Vyjádření předsedy komise SGS TUL / <i>Comments of Chairman of TUL SGC committee</i>	Datum / <i>Date</i>	
	Podpis / <i>Signature</i>	