



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND
BIOMECHANICS

URČENÍ VLASTNOSTÍ FLUIDNÍHO SVALU

FLUID MUSCLE BEHAVIOR DETERMINATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL SZENTE

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR KREJČÍ, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Szente

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

obor: **Mechatronika (3906R001)**

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:

Určení vlastností fluidního svalu

v anglickém jazyce:

Fluid muscle behavior determination

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

BP je zaměřena na zjištění vlastností fluidního svalu firmy FESTO. Fluidní sval je akční člen, umožňující dynamické vyvození tahové síly. K řízení je použit ventilový terminál ovládaný přes sériovou linku.

Cíle bakalářské práce:

Cílem BP je vytvořit v prostředí LabView knihovnu ovládacích prvků pro řízení pneumatického terminálu, který je využit k ovládání fluidního svalu. Dále je cílem pomocí vytvořeného programu zjistit vlastnosti fluidního svalu firmy FESTO.

Seznam odborné literatury:

- Valášek, M.: Mechatronika, Vydavatelství ČVUT 1995
- Noskiewicz: Modelování a identifikace systémů

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Krejčí, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 21.11.2013

L.S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
Ředitel ústavu

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

Abstrakt

Táto práca sa zaoberá zistením základných charakteristík pneumatického umelého svalu PAM (Pneumatic artificial muscle) firmy Festo, programovaním knižnice prvkov v prostredí LabVIEW pre proporcionálne ovládanie ventilu, návrhom a zostrojením stanice pre meranie.

Abstract

This thesis deals with the identification of basic characteristics of the PAM (Pneumatic artificial muscle) by Festo company, component library programming in the LabVIEW environment for the proportional valve control; the design and realization of the measuring station.

Kľúčové slová

Fluidný sval, proporcionálny ventil

Keywords

Fluid muscle, proportional valve

Bibliografická citácia

SZENTE, M. Určení vlastností fluidního svalu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Krejčí, Ph.D..

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som prácu na tému „Určenie vlastností fluidného svalu“ vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov v zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

25. mája 2014

.....
Michal Szente

Pod'akovanie

Týmto by som rád poďakoval Ing. Petrovi Krejčímu, Ph.D. za užitočné pripomienky a cenné rady pri vedení a vypracovaní bakalárskej práce.

Obsah

1	Úvod	6
2	Pneumatika.....	7
2.1	Vlastnosti stlačeného vzduchu	7
2.2	Pneumatický umelý sval.....	8
2.2.1	McKibbenov umelý sval.....	8
2.2.2	PAM firmy Festo	10
2.3	Pneumatické ventily	11
2.3.1	Voľba Ventil.....	11
2.3.2	3/2 Cestný ventil.....	12
2.3.3	Regulácia proporcionálneho ventilu.....	12
2.3.4	Ventil VP21	14
2.3.5	Ventil VP22	14
3	Meranie fyzikálnych veličín	15
3.1	Meranie tlaku.....	15
3.2	Meranie sily	16
3.3	Meranie polohy	17
4	Software	18
4.1	Programovanie v LabVIEW.....	18
4.2	SignalExpress	19
5	Formulácia problému a ciele riešenia	22
6	Postup riešenia	23
6.1	Návrh a konštrukcia stanice	23
6.2	Obsluha VP21	26
6.3	Obsluha VP22	28
6.4	Nastavenie SignalExpress	29
6.5	Namerané charakteristiky.....	32
7	Záver	34
8	Použitá Literatúra	35

1 Úvod

Dostatočný technický pokrok v 50. rokoch minulého storočia dovolil pneumatickému odvetviu zaujať nezastupiteľné miesto v priemysle. Už v prvopočiatkoch patrili medzi bežne používané prvky (analogicky k hydraulickým) pneumatické piesty, ktoré každý z nás určite pozná. Príčinou bolo hneď niekoľko nezanedbateľných výhod ako nízka hmotnosť, ovládateľnosť alebo práca vo výbušnom prostredí. Trendom posledných desaťročí je stále častejšie využitie pneumatických akčných členov ako zdroje pohybovej energie. Hladné odvetvia robotizácie a automatizácie dnes s chuťou využívajú výhody pneumatiky.

Pneumatický umelý sval je menej známy lineárny akčný člen, ktorý premieňa, podobne ako píst, energiu stlačeného vzduchu na mechanickú energiu v reverznom zmysle. PAM (Pneumatic artificial muscle) je vplyvom tlaku zmršťovaný, teda dokáže vyvíjať výhradne ťahovú silu podobne ako ľudský sval, ku ktorému je často prirovnávaný. Medzi jeho hlavné výhody patrí veľkosť vyvolanej sily vzhľadom k jeho hmotnosti a možnosť výroby v prakticky neobmedzených dĺžkach a priemeroch.

Pre jeho využitie v našich podmienkach bolo potrebné získať ďalšie informácie o jeho správaní a vytvoriť podklady pre prácu s ním. Možnosti ovládania, zapojenie a údaje z experimentu budú tvoriť vstupnú bránu pri manipulácii s PAM firmy Festo.

Nasledujúce kapitoly čitateľovi priblížia princípy fungovania PAM, možnosti ovládania a software stránku riadenia. Rozoberie sa použitie nástrojov pre získavanie dát meraných veličín a nasledovne bude navrhnutá stanica pre uskutočnenie experimentu, pomocou ktorej budú zmerané základné charakteristiky jedného z PAM.

2 Pneumatika

2.1 Vlastnosti stlačeného vzduchu

Existuje niekoľko argumentov, kvôli ktorým sa uprednostňuje práve využitie stlačeného vzduchu ako médium pre prenos energie. Pri pohybe v odvetví robotizácie a automatizácie je nahradenie pneumatickými systémami často krát jednoduchšie a v konečnom dôsledku aj najhospodárnejšie riešenie problému. Široké zastúpenie má v oblastiach pohonov, riadenia a regulácie.

Medzi hlavné dôvody využitia stlačeného vzduchu v robotizácii a automatizácii patria:

Dostupnosť:	vzduch máme k dispozícii prakticky v neobmedzenom množstve, pojazdné kompresory a tlakové nádoby nám poskytujú mobilitu
Teplota:	vdďaka necitlivosti na zmeny teploty môže byť stlačený vzduch využívaný pri práci v extrémnych teplotných podmienkach
Bezpečnosť:	stlačený vzduch neprináša hrozbu výbuchu alebo požiaru, je preto vhodný pre použitie vo výbušnom prostredí
Rýchlosť:	malé hmotnosti a momenty zotrvačnosti pneumatických častí spolu s vysokým zrýchlením rozpínajúceho sa stlačeného dokážu vyvinúť rýchlu pracovnú činnosť
Ovládateľnosť:	rýchlosti a sily pneumatický prvkov vieme riadiť vo veľkom rozsahu

Medzi nevýhody môžeme zaradiť:

Úprava:	príprava stlačeného vzduchu vyžaduje špeciálne úkony pre odstránenie vlhkosti a nečistôt, predlžujeme tým životnosť dielov
Poddajnosť:	stlačený vzduch nezabezpečuje dokonalú tuhosť systému, zložitejšia by mohla byť tiež regulácia na presnú polohu
Hlučnosť:	činnosť kompresora a pneumatických zariadení pri odfuku vytvára hlučné prostredie
Náklady:	stlačený vzduch sa považuje za relatívne drahý nosič energie, to však kompenzujú náklady na komponenty, ich výkonnosť a údržba

Pre naše potreby sú tieto základné informácie o vlastnostiach stlačeného vzduchu dostačujúce. Ďalšie informácie je možné dohľadať viz [1] [2].

2.2 Pneumatický umelý sval

2.2.1 McKibbenov umelý sval

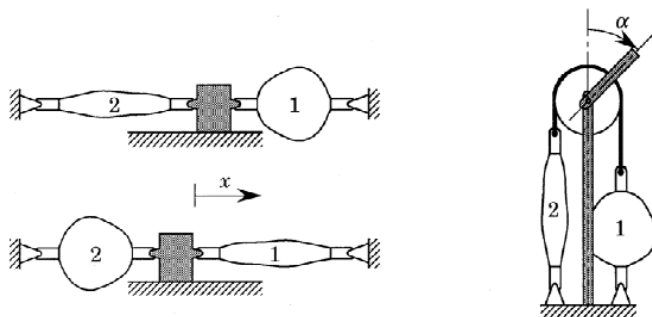


Obrázok 2.1: McKibbenov umelý sval

Zdroj: http://mech.vub.ac.be/multibody/topics/pam_sub.htm

PAM nazývaný tiež fluidný sval je typ pneumatického aktuátora využívajúci stlačeného vzduchu k vytvoreniu ťahovej sily. Najrozšírenejším typom PAM je McKibbenov umelý sval (obrázok 2.1) ktorý je vyhotovený najčastejšie z kovových alebo plastových pevných koncov, ku ktorým sú pripojené mechanické časti prenášajúce silu a dutého pružného tela z textílie. Jej vlákna tvoria sieť¹ romboidej štruktúry. Zdrojom energie pre PAM je pretlak plynu, resp. rozdiel tlakov v okolí a vo vnútri svalu. Vo väčšine prípadov preto pracuje s pretlakom, ktorý v našich atmosférických podmienkach dokáže preniesť oveľa viac energie.

Do jedného z koncov PAM je privedený stlačený vzduch. Pod tlakom vzduchu má pružná trubica tendenciu sa v radiálnom smere rozpínať, zatiaľ čo v axiálnom smere dochádza ku kontrakcii a tým ku vzniku ťahovej sily. Táto sila a ňou vyvolaný pohyb majú lineárny a jednosmerný priebeh. Pretože je pôsobenie svalu výhradne ťahové, je potrebné v prípade využitia oboch smerov použiť antagonistické zapojenie (obrázok 2.2) prípadne je možné ako reverznú silu použiť pružinu alebo závažie. Princíp tohto zapojenia využívajú rovnako aj svaly v našom tele. Podobne ako pri ľudskom svale, nárast zaťažovacej sily má za následok nárast ťažnej sily pri súčasnom poklese zdvihu.



Obrázok 2.2: Antagonistické zapojenie [3]

¹ Romboidný – príd.m. majúci tvar romboidu: anat. R. sval

Pri porovnávaní PAM s inými druhmi akčných členov má umelý sval hneď niekoľko výhod. V prvom rade je to jeho nízka hmotnosť prepočítaná k ťahovej sile, ktorú dokáže vyvinúť. Zaručuje to jeho konštrukcia, ktorej hlavú časť tvorí ľahká membrána. Tá napriek svojej váhe a ohybnosti dokáže byť extrémne pevná, schopná vytvoriť silu až niekoľko tisíc [N]. Hmotnosť umelých svalov s rovnakým výkonom činí len približne 10% hmotnosti pneumatického valca.

Ďalšie pozitíva môžeme vidieť pri porovnaní výkonnosti s inými aktuátormi. Umelý sval potrebuje pri vývine rovnakej sily o 60% menej výkonu než pneumatický valec a počiatočná sila pri kontrakcii môže byť až 10 krát väčšia. Absencia tzv. stick-slip efektu, teda trhnutie pri prechode zo statickej do dynamickej fázy pneumatického piestu, umožňuje využívať umelý sval pri jemnej manipulácii s predmetmi a je vhodný pre použitie v aplikáciách s priamym kontaktom človeka a stroja.

PAM môže byť zapojený priamo do systému, ktorý poháňa. Veľkosť dosahovaných rýchlostí a sil je celkovo v rozmedzí hodnôt, ktoré zväčša potrebujeme. Na rozdiel od elektrických pohonov a polohovacích systémov, kde je často nevyhnutný obmedzovač rýchlostí. Jeho jednoduchá výmena a nenáročná údržba spolu s možnosťou využívať túto technológiu v prašných a výbušných prostrediach z neho robia pohodlnú alternatívu v oblasti aktuátorov [3][4].

Použitie

Tento akčný člen ponúka široké spektrum využitia v aplikáciách s vysokou frekvenciou cyklu, jednak pretože je jeho konštrukcia ľahká a jednak pretože nemá žiadne hýbajúce sa časti. To nájde uplatnenie napríklad v rôznych automatizovaných výrobných linkách. Zaujímavejšie využitie môžeme nájsť v robotike, pre jeho podobnosť so živým svalom je často používaný pre napodobenie biologických pohybov (obrázok 2.3).



Obrázok 2.3: Pneumatická ruka Festo
Zdroj: www.festo.com

2.2.2 PAM firmy Festo

Firma *Festo* je nadnárodná spoločnosť založená v Nemecku zaoberajúca sa pneumatickými, servopneumatickými a elektrickými automatizačnými technológiami. Spoločnosť vyvíja inovatívne prvky s ohľadom predovšetkým na energetickú úsporu a životné prostredie. Medzi takéto prvky patrí aj ich PAM MAS-10-100N-AA-MC-O-EA, ktorý máme k dispozícii (obrázok 2.4).

Sval má na jednej strane pripojenie tlaku vzduchu typizovanou rýchlospojku, uchytanie o konštrukciu je možné upevnením maticou v otvore s priemerom 16 [mm], prípadne použitím inej redukcie. Zakončenia svalu majú atypický závit M10 so stúpaním 1,25 [mm]. Detailné konštrukčné informácie nájdeme vo výrobnjej dokumentácii [5].

význam	hodnota	jednotka
operačný tlak	0 ... 8	bar
teoretická sila	640	N
max. zaťaženie v uvoľnenom stave	30	kg
nominálna dĺžka	100	mm

Tabuľka 2.1: Základné špecifikácie MAS-10



Obrázok 2.4: Fluidný sval firmy Festo

2.3 Pneumatické ventily

2.3.1 Voľba Ventilu

Pre správnu funkčnosť PAM je treba zaistiť správnu reguláciu tlaku vo svale. Toho môžeme dosiahnuť pneumatickým ventilom. Medzi hlavné kritéria na ktoré by sme mali myslieť pri výbere ventilu sú funkcia ventilu, spôsob ovládania a prietok vzduchu.

- **Funkcia ventilu:** pre našu potrebu bude vhodné zvoliť ventil schopný plynule regulovať tlak prúdu vzduchu, nakoľko tlakom vo svale sme schopný ovládať jeho silu a polohu.
- **Spôsob ovládania:** ďalšie aplikácie by mali byť schopné ovládať sval elektronicky, teda vhodným typom bude elektromagnetický ventil
- **Prietok vzduchu:** pri náročnejších a zložitejších úlohách, kde systém vyžaduje určité množstvo vzduchu za minútu, je potrebné overiť schopnosť ventilu toto množstvo spracovať.

Medzi vedľajšie kritéria patria informácie o rozsahu prevádzkových tlakov, prepojovacie rozmery, napájanie, reakčný čas a i.. V našom prípade by mal ventil zvládnuť regulovať tlak 0 až 8 barov a mali by sme byť schopní ho ovládať niektorou z dostupných kariet DAQ-mx firmy *National Instruments* [6].

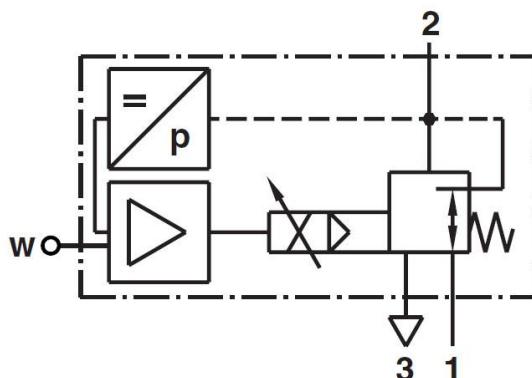
Dodaný ventilový terminál firmy *Festo CPV10* (obrázok 2.5) bohužiaľ neplní nami zadanú požiadavku proporcionálnej regulácie tlaku [7]. Ako náhrada boli použité dva proporcionálne ventily firmy *Norgren VP21* a *VP22*.



Obrázok 2.5: Zľava – CPV10, VP22, VP21

2.3.2 3/2 Cestný ventil

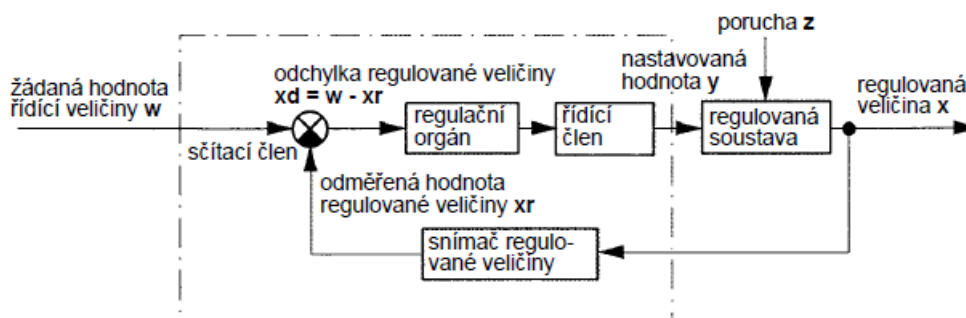
Proporcionálne ventily VP21 a VP22 obsahujú 3/2 cestný pneumatický ventil (obrázok 2.6). Jeho úlohou je rozdeľovanie toku tekutiny z prívodu 1 medzi tok do funkčnej časti systému 2 a prepadu, resp. výfuku 3. Zo schematickej značky sa dá niekoľko základných informácií vyčítať [6]. Ventil je proporcionálne nepriamo ovládaný s externým pilotným napájaním a do nulovej polohy je vracaný pružinou.



Obrázok 2.6: Schematická značka 3/2 cestného ventilu [8]

2.3.3 Regulácia proporcionálneho ventilu

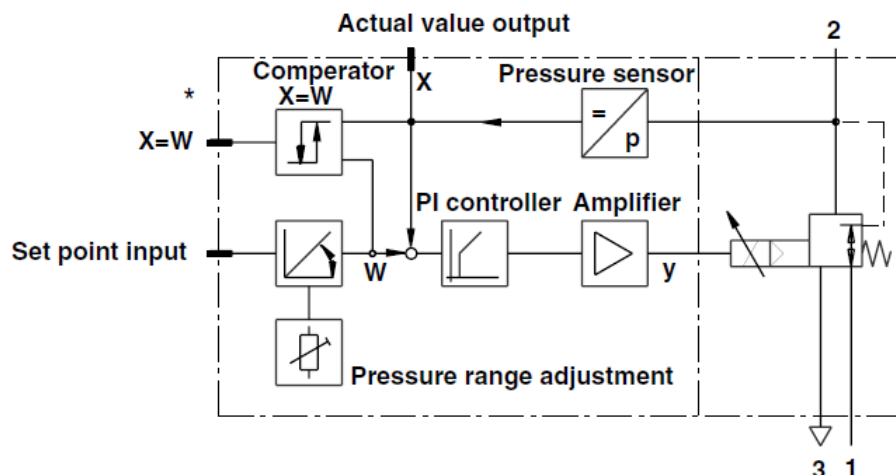
Proporcionálne rozvádzačie ventily na rozdiel od ventilov s výhradne dvoma polohami (0/1) umožňujú plynulú reguláciu tlaku alebo množstva vzduchu. Presné zaujatie polohy ventilu pod tlakom vyžaduje prvky regulácie. Tá umožňuje priviesť určenú veličinu napr. tlak, teplotu, objem pretekajúceho prúdu vzduchu na požadovanú hodnotu a túto hodnotu držať aj pri pôsobení rušivých elementov [10].



Obrázok 2.7: Regulačná schéma [10]

Princíp regulácie

Princíp fungovania si vysvetlíme na konkrétnom príklade schémy jedného z našich proporcionálnych ventilov VP21 firmy Norgren.



Obrázok 2.8: Bloková schéma regulátora VP21 [8]

Na obrázku 2.8 vidíme blokovú schému elektroniky proporcionálneho ventilu, ktorá ovláda 3/2 cestný ventil. Požadovaná hodnota regulovanej veličiny *Set point input* w (poloha ventilu = tlak) je zadaná elektronicky v našom prípade hodnotou napätia 0..10 [V]. Tlakový snímač *Pressure sensor* regulovanej veličiny vyhodnotí skutočný tlak resp. polohu ventilu a tejto polohe odpovedajúci signál x vyšle do komparátora. Komparátor vyhodnotí odchýlku od požadovanej hodnoty a vyšle ju do PI regulátora. Ten cez zosilňovač upravuje polohu ventilu a tým je regulačný okruh uzavretý.

2.3.4 Ventil VP21

Elektronika tohto proporcionálneho ventilu (obrázok 2.5) reguluje 3/2 cestný ventil. Dodaný bol v konfigurácii 7-pinového konektora (6-pól + zem), ktorý slúži zároveň pre napájanie a ovládanie. Potrebné informácie pre zapojenie a návrh programovej časti v prostredí *LabVIEW* sú zhrnuté v tabuľke 2.2.

Z výrobnjej dokumentácie [8] vidíme, že budeme potrebovať okrem zdroja jednosmerného napätia pre napájanie, aj kartu schopnú generovať riadiace napätie 0 ... 10 [V]. Pre tieto účely bola zvolená karta *NI 9264* [11].

2.3.5 Ventil VP22

Tento proporcionálny ventil (obrázok 2.5) využíva k regulácii 8-bitovú napäťovú informáciu. Výstupný tlak zodpovedá hodnote čísla 0...255, ktorá je v logickom tvare (0/1) dopravená z riadiacej karty. Pre logickú 0 zodpovedá hodnota 0 ... 2 [V] a logickej 1 hodnota napätia 12 ... 32 [V]. Tento princíp bol zavedený kvôli vzniku rušivých napätí v priemyselnej komunikácii. Tomuto musíme podriaďovať výber karty, ktorá bude riadiaci signál generovať. Vhodnou bude karta *NI 9474* [12], ktorá je priamo určená pre priemyselné aplikácie tejto normy. Ventil bol dodaný v konfigurácii dvoch konektorov. 14-pólový riadiaci konektor a 4-pinový napájací [9].

označenie	význam	VP21	VP22	jednotka
p ₁ max	vstupný tlak	16,5	12	bar
p ₂	operačný tlak	0 ... 16	0 ... 8	bar
w	riadiace napätie	0 ... 10	8-bit	V
U _B	napájacie napätie	18 ... 32	18 ... 32	V

Tabuľka 2.2: Základné špecifikácie VP21 a VP22

3 Meranie fyzikálnych veličín

V tejto kapitole budú vysvetlené základné princípy senzorov tlaku, sily a polohy. Následne sa uvedú konkrétne senzory a potrebné karty série DAQ (Data Acquisition) firmy *National Instruments* pre ich obsluhu.

3.1 Meranie tlaku

Od tlaku vzduchu v systéme závisia vlastnosti (sila, zmrštenie) svalu. Kompresor síce poskytuje informácie o približnom výstupnom tlaku, pre našu potrebu však musíme zvoliť presnejší ukazovateľ tlaku.

Vybraný tlakový senzor *P8AP* firmy *HBM* (obrázok 3.1) je postavený na princípe tenzometrického snímača [16]. Jednotka v ktorej zmenu detekujeme je [mV/V]. Znamená hodnotu výstupného napätia v milivoltoch pri maximálnom tlaku rozsahu senzora na volt vstupného napätia, ktorým budíme senzor. Uvedieme konkrétny príklad na našom senzore. Výrobca udáva hodnotu výstupného napätia 2 [mV/V] a rozsah 0...10 [bar]. To znamená že ak privedieme na budiace svorky napätie 3 [V], dostaneme pri tlaku v systéme 10 [bar], $2 \cdot 3 = 6$ [mV]. Pre hodnoty medzi tým platí priama úmera teda v našom prípade $0...10$ [bar] $\cong$ 0.6 [mV].

Je nutné podotknúť, že tento senzor meria tlak absolútny. V pneumatike sa však používa tlak vzduchu relatívny [15]. To znamená, že pri nulovom tlaku v systéme senzor vytvorí výstupné napätie úmerné tlaku atmosférickému. V tabuľke 3.1 nájdeme niektoré potrebné výrobné informácie. Karta *NI 9237* [13] firmy nám ponúka priamu obsluhu senzorov, ktoré sú založené na tenzometrickom princípe.

význam	hodnota	jednotka
rozsah meraného tlaku	0...10	bar
nominálna senzitivita	2	mV/V
rozsah budiaceho napätia	0.5...5	V DC
odpor mostu	>250	Ω
typ pneum. koncovky	G 1/4	palce

Tabuľka 3.1: Špecifikácie senzora P8AP [17]



Obrázok 3.1: Tlakový senzor P8AP

3.2 Meranie sily

Sval vyvoláva kontrakčnú silu. Pre jej meranie sme potrebovali silové čidlo. Silový senzor S9 firmy HBM (obrázok 3.2) je vhodný pre meranie ako tlakovej tak aj ťahovej sily. Senzor je založený rovnako ako tlakové čidlo P8AP na tenzometrickom princípe. Uvedú sa preto len základné informácie v tabuľke 3.2, detailné informácie nájdeme vo výrobnnej dokumentácii [18]. Pre obsluhu senzoru môžeme využiť ďalší port karty NI 9237 [13].

význam	hodnota	jednotka
rozsah meranej sily	10	kN
nominálna senzitivita	2	mV/V
rozsah budiaceho napätia	0.5...12	V DC
odpor mostu	>345	Ω
uchytenie	M12	mm

Tabuľka 3.2: Špecifikácie čidla S9 [18]



Obrázok 3.2: Tenzometer S9

3.3 Meranie polohy

Senzor polohy 8740-5050 firmy *Burster* (obrázok 3.3) využíva princíp LVDT. Jedná sa o typ elektrického transformátoru, ktorý je používaný pre meranie lineárneho posuvu [20]. Pomocou neho budeme sledovať kontrakciu svalu. Vďaka lineárnej charakteristike vieme z výstupného napätia jednoducho prepočítať zmenu polohy v [mm]. V našom prípade zodpovedá priamo hodnota výstupného napätia vo voltoch hodnote posuvu v centimetroch. Budiace napätie musí senzoru dodávať externý zdroj. V tabuľke 3.3 nájdeme niektoré technické parametre. Pre meranie napätia bola využitá karta NI 9205 [14].

význam	hodnota	jednotka
rozsah meraného posuvu	50	mm
nominálna senzitivita	0...5	V DC
rozsah budiaceho napätia	9...28	V DC
uchytenie	M24x1,25	mm
sonda	M2	mm

Tabuľka 3.3: Špecifikácie senzora 8740 [19]



Obrázok 3.3 Polohový senzor 8470

4 Software

V tejto kapitole bude stručne popísané prostredie Labview, ktoré slúžilo na obsluhu kariet *NI* a ovládanie proporcionálnych ventilov. Následne prostredie *SignalExpress*, ktoré obsluhovalo všetky karty *NI* senzorov a zaznamenávalo hodnoty z merania.

4.1 Programovanie v LabVIEW

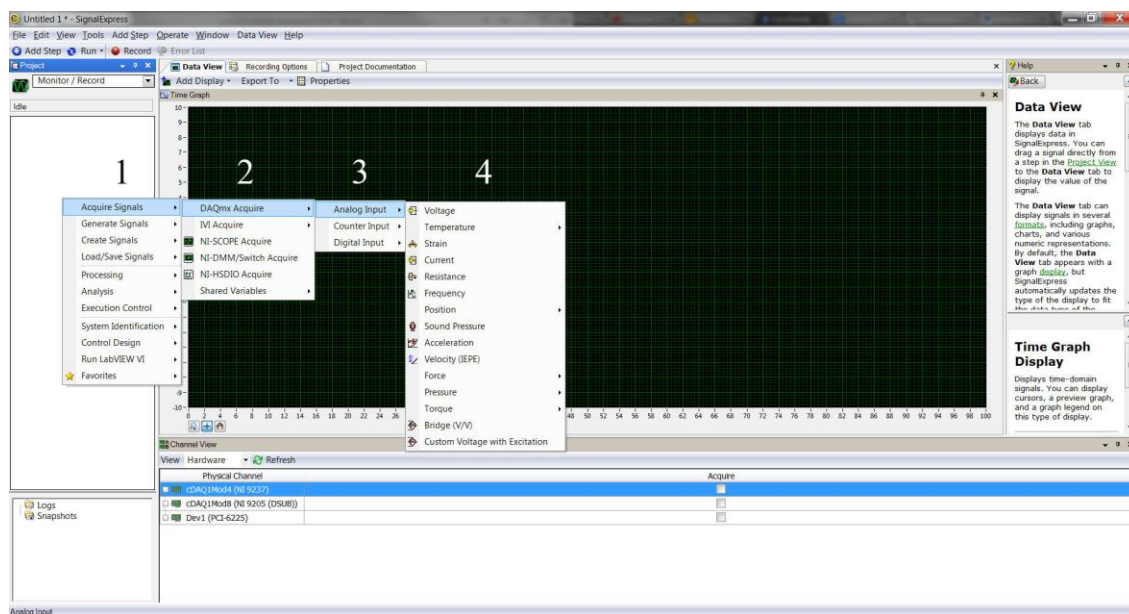
LabVIEW je grafické vývojové prostredie firmy *National Instruments* používané pri návrhu systémov. Využitie nachádza hlavne pri získavaní dát, ovládaní nástrojov a priemyselnej automatizácii bežiacej na platformách *Microsoft Windows*, niektorých verziách *UNIX*, *Linux* a *Mac OS X*.

Pre rozsiahlosť témy programovania v tomto prostredí sa uvedú zdroje a odkazy na literatúru, ktorá prevedie čitateľa základmi práce s *LabVIEW*. Úvod a prierez jeho základnými vlastnosťami popisujú [21], prípadne komplexné návody aj s postupmi ponúka priamo spoločnosť *NI* vo výukových textoch *LabVIEW Core 1,2* [22][23]. Vhodné je používať kontextovú pomoc (*Help* → *Context Help*), ktorá sleduje pohyby myši užívateľa a zobrazuje základný popis prvku na ktorom sa kurzor práve nachádza. Všetky ovládacie prvky priložené na CD boli vytvorené v *LabVIEW 2013* verzia 13.0 (32-bit).

4.2 SignalExpress

SignalExpress (odteraz *SE*) je súčasťou inšalačného balíka *LabVIEW*. Jedná sa o interaktívny software pre zaznamenávanie dát, ich rýchle získavanie, analýzu a zobrazenie. Dokáže bez nutnosti programovania, spracovávať dáta z mnohých čidiel a senzorov.

Kompatibilný je so všetkým DAQ (Data Acquisition – získavanie dát) hardware a modulárnymi nástrojmi spoločnosti *National Instruments*. Na obrázku vidíme prostredie *SE*. Po spustení je automaticky vytvorený nový projekt, ktorý ukladá s príponou *.seproj*.



Obrázok 4.1: Prostredie programu SignalExpress a voľba typu úlohy

Voľba typu úlohy (obrázok 4)

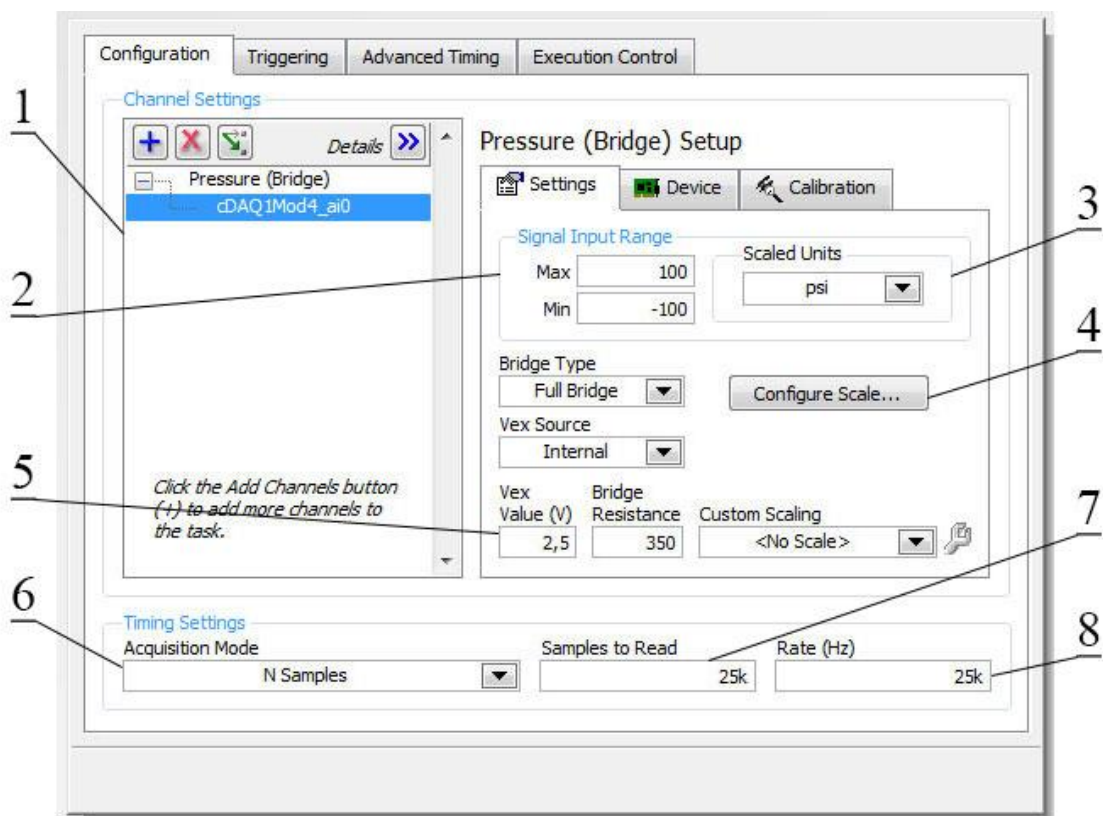
1. Ak klikneme pravým tlačítkom myši na biele pole v ľavej strednej časti okna, rozbalí sa kontextové menu, ktoré ponúka rôzne typy úloh. *SE* umožňuje dáta získavať (*Acquire Signals*), generovať (*Generate Signals*) a mnohé iné. Keďže tento program budeme využívať na získavanie dát zo senzorov, zaujímať nás bude funkcia *Acquire Signals*.
2. Získavanie dát (*Acquire Signals*) obsahuje ďalšie možnosti výberu. Nasleduje výber typu zariadenia, z ktorého chceme dáta získavať. Hardware firmy *National Instruments*, ktorým obsluhujeme senzory, sú zásuvné moduly typu *DAQ-mx* (*DAQ-mx Acquire*).
3. Hardware ponúka niekoľko foriem signálov, ktoré môžeme získavať. Naše senzory generujú informácie v napätrovej forme. Teda v ďalšom kroku nás budú zaujímať analógové signály (*Analog Input*).

4. Analógový signál vytvára mnoho čidiel a senzorov. Náš výber ďalej záleží už len od fyzikálnej veličiny, ktorú chceme merať a prípadne typu zapojenia senzoru (viz napr. 3.1.1 Wheatstoneov most). Po výbere musíme zvoliť v dialógovom okne (*Add Channels To Task*) kanál karty, ktorá takýto typ úlohy podporuje.

Nastavenie Parametrov (obrázok 4.2)

V záložke *Step Setup*, sa nastavujú jednotlivé parametre úlohy, ktorú sme vytvorili. Základnú konfiguráciu nájdeme v záložke *Configuration*.

1. V ľavej časti môžeme pridať ďalšie úlohy rovnakého charakteru (napr. získavanie analógového signálu). V prípade, že je to možné (napr. naše 3 senzory majú každý napäťový výstup) je vhodné pridať úlohu v tomto kroku. Voľba úlohy je skrátená už len na posledný krok (viz Voľba typu úlohy - 4.). Zabráni to prípadným chybám, kvôli nedostatku prostriedkov pri paralelnom obsluhovaní separovaných úloh a zároveň to je prehľadnejšie pre konfiguráciu.
2. *Signal Input Range* - prvý parameter, ktorý môžeme zadať je rozsah získavaných hodnôt. V prípade že hardware túto funkciu podporuje, môžeme prispôbiť celý rozsah digitálneho prevodníka na približný rozsah meraného analógového signálu. To zvýši rozlíšenie prevodníka.
3. *Scaled Units* – zvolenie jednotky veličiny (napr. [bar], [Pa]...)
4. *Configure Scale* – aby sme dosiahli zmysuplné získavanie hodnôt zo senzorov je potrebné nastaviť mierku (napr. [mV/V] → [bar] viz 3.2 Meranie tlaku). Teda prevod z elektrickej na fyzikálnu veličinu.
5. *Vex Value* – táto možnosť ponúka nastavenie excitačného napätia, ktoré potrebujú pre správnu funkčnosť niektoré z našich senzorov (viz 3.1.1 Wheatstoneov most)
6. *Acquisition Mode* – parameter nám umožňuje vybrať si spôsob, akým budú jednotlivé vzorky dát (*samples*) získavané. *Continuous Samples* bude zaznamenávať vzorky nepretržite vzhľadom k nastaveniu frekvencie a veľkosti zásobníka pre dáta.
7. *Samples to Read* – v prípade výberu získavania dát spôsobom *Continuous Samples*, znamená toto pole veľkosť zásobníka pre dáta.
8. *Rate* – vzorkovacia frekvencia



Obrázok 4.2 Nastavenie parametrov SignalExpress

Zobrazovanie meraných dát

Prepnutím do záložky *Data View* v hornej časti programu sa zobrazí sieť grafu. Pred samotným pozorovaním treba pridať všetky signály, ktoré chceme zobrazovať. Kliknutím pravého tlačidla myši na plochu grafu otvoríme kontextové menu. *Signals* → *Add Signal...* otvorí dialógové okno, kde môžeme pridať kanál karty, ktorý chceme sledovať.

SE dovoľuje sledovať viac veličín v jednom grafe. Ak však chceme dáta zobrazovať separátne, stačí pridať ďalšie okno grafu *Add Display* → *XY graph* v ľavej hornej časti okna. Pohodlnejšie zobrazenie dát ponúka typ grafu *Waveform Chart*. Ten nastavíme buď priamo pridaním nového, alebo zmenou už existujúceho grafu: *pravé tlačidlo* → *View as* → *Waveform Chart*.

Ukladanie dát

Pre uloženie dát môžeme použiť jednu zo vstavaných funkcií. Pravým tlačidlom myši otvoríme na ploche grafu, z ktorého chceme dáta ukladať kontextové menu. *Export To* → *Microsoft Excel*. SignalExpress otvorí nový zošit programu *Microsoft Excel*, do ktorého uloží dáta zobrazené v grafe. To nám umožní ďalšie spracovávanie.

Program *SignalExpress* ponúka množstvo funkcií. Pri práci je vhodné používať kontextovú pomoc. Pre viac informácií môžeme využiť manuál výrobcu [24].

5 Formulácia problému a ciele riešenia

Táto práca by mala poskytovať rýchly prehľad a tvoriť vstupnú bránu pre ďalšiu prácu s fluidným svalom. Vytvoriť obraz o jeho vlastnostiach a využití, predstavovať prameň prvotných informácií pri ovládaní proporcionálnych ventilov a senzorov tlaku, sily a polohy.

Jednotlivé body problému:

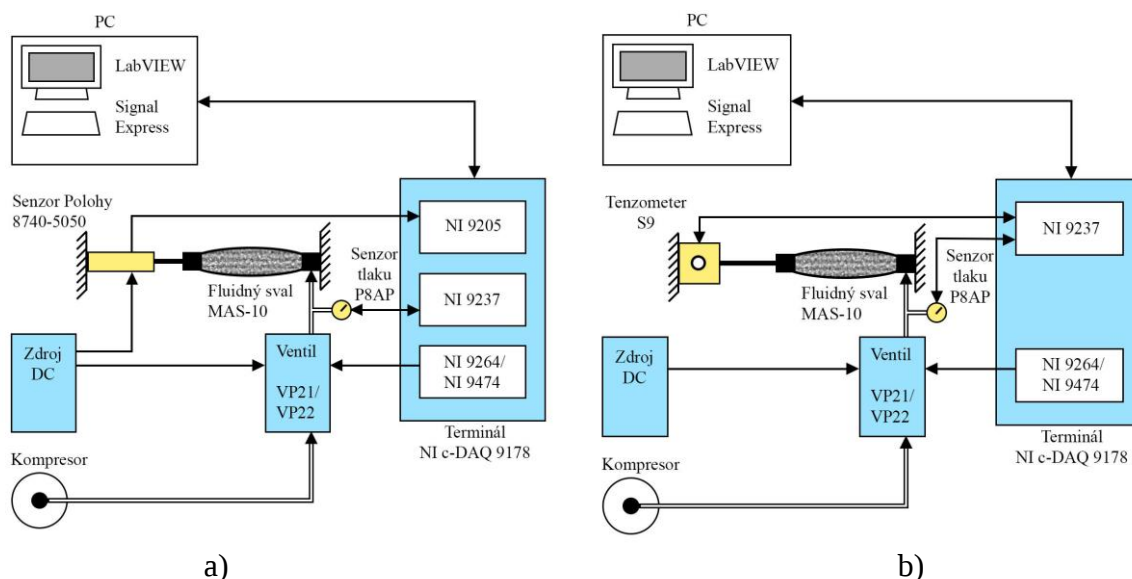
- Návrh a konštrukcia meracej stanice
- Elektronické zapojenie ventilov VP21, VP22 a ich ovládanie v LabVIEW
- Zapojenie senzorov a získavanie dát v SignalExpress
- Meranie základných charakteristík fluidného svalu

6 Postup riešenia

V tejto kapitole budú opísané jednotlivé časti riešeného problému. Stlačený vzduch je rozvádzaný 6 [mm] hadičkou bez koncoviek, tomu sa bude podriaďovať pneumatické pripojenie všetkých členov. Na základe rešeršných štúdií budeme merať lineárne charakteristiky závislosti kontrakcie od tlaku a sily od tlaku v zapojení bez záťaže. Následne sa zmeria zaťažovacia charakteristika, teda závislosť kontrakcie pod záťažou pri určitom tlaku vo svalе.

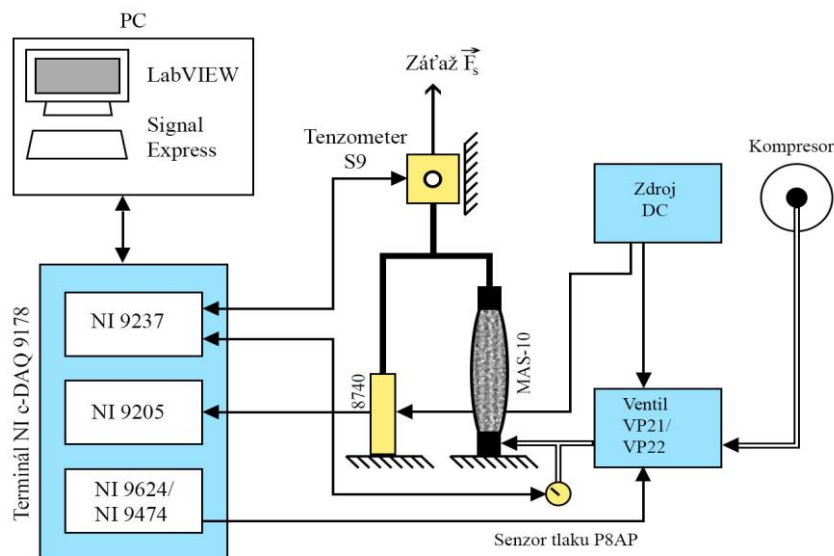
6.1 Návrh a konštrukcia stanice

Schematické zapojenie



Obrázok 6.1:

- a) Schéma merania závislosť kontrakcie na tlaku
- b) Schéma merania závislosti sily na tlaku



Obrázok 6.2 Schéma merania zaťažovacej charakteristiky

Pre meranie charakteristických závislostí je potrebné upevniť sval spolu so senzormi pevne na vhodnú konštrukciu. Táto konštrukcia musí spĺňať niekoľko požiadaviek. Teoretická ťahová sila fluidného svalu uvedená vo výrobnej dokumentácii je 640 [N]. Pretože budeme sledovať polohu svalu, mala by konštrukcia toto namáhanie vydržať bez výraznejších deformácií, ktoré by mohli meranie skresliť.

Rozmery pri rôznych kombináciách senzorov a použití redukcií nie sú vopred známe, bolo vhodné preto počítať s čo najprispôsobivejšou meracou stanicou s možnosťou meniť umiestnenie úchyty bez straty funkčnosti. Konštrukcia by mala umožniť vytváranie zaťaženia pre fluidný sval do veľkosti min 700 [N].

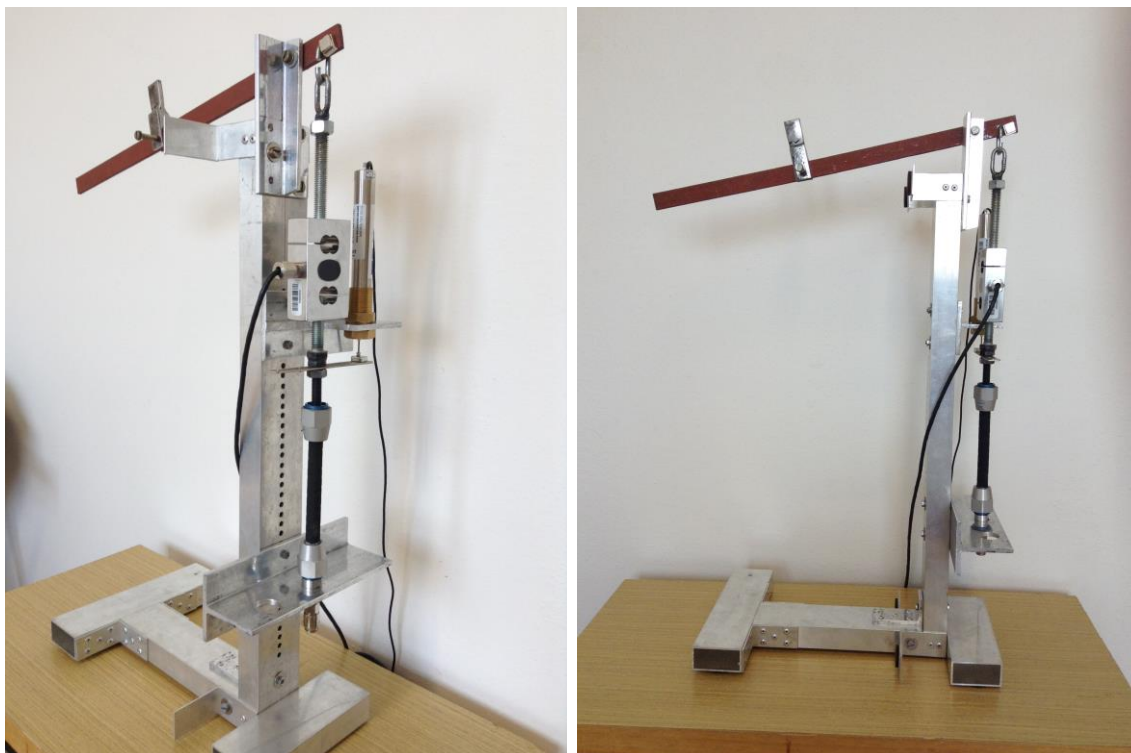
Vyhotovenie

Podľa schém (obrázok 6.1, 6.2) návrhu bola vyhotovená meracia stanica. V prípade merania linearitu svalu, teda závislosti polohy a sily na tlaku, bola zostavená jednoduchá vodorovná stanica (obrázok 6.4, 6.5), s uchytením jednotlivých senzorov a svalu na T-kus, ktorých vzdialenosť sa môže meniť podľa potreby s krokom 15 [mm].

Pri meraní zaťažovacej charakteristiky, bola stanica upravená do horizontálnej polohy (obrázok 6.3). Aby sa mohlo rýchlo a ľahko meniť zaťaženie do veľkosti až 70 [kg], bez použitia ťažkých závaží, bol vytvorený pákový systém, ktorý znásobuje silový účinok ramena na sval v pomere:

$$F_s = x \frac{F}{0,03} \quad [N] \quad (6.1)$$

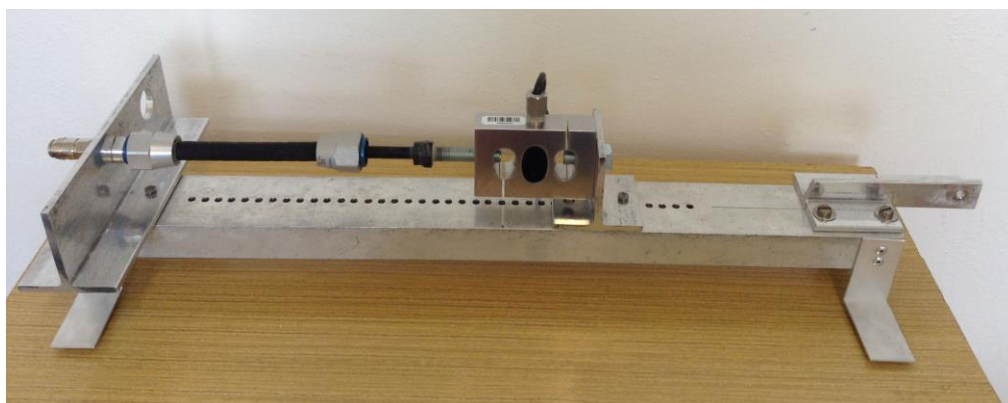
Kde F_s [N] je sila pôsobiaca na sval, F [N] je sila pôsobiaca na rameno vo vzdialenosti x [m] od osy ramena. Ako materiál nosnej časti sa použil hliník, s ktorým sa ľahko pracuje, má nízku hmotnosť a ponúka dostatočnú tuhosť. Rameno je z nafarbenej ocele, pre spoje sa použili oceľové šróby pre rozoberateľné a nity pre nerozoberateľné časti. Podľa potreby boli zvarené redukcie pre uchytenie a prepojenie svalu a senzorov, kontakt sondy polohového čidla dodržiava magnet.



Obrázok 6.3: Meracia stanica v úprave pre zaťažovaciu charakteristiku



Obrázok 6.4: Stanica v úprave pre meranie závislosti kontrakcie na tlaku



Obrázok 6.5: Stanica v úprave pre meranie závislosti sily na tlaku

6.2 Obsluha VP21

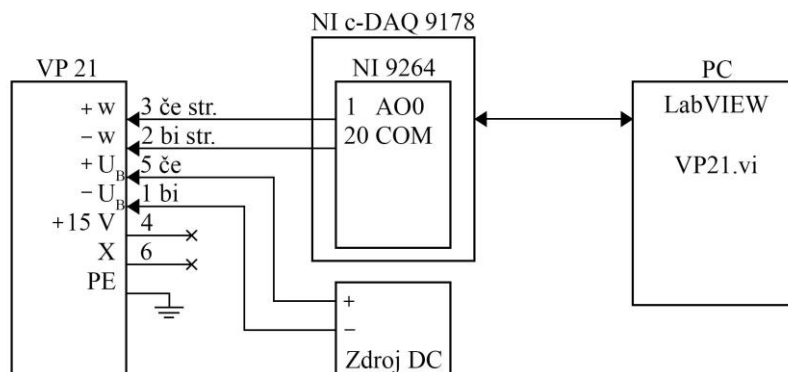
Dodaný ventil VP21 bolo potrebné vybaviť základovou doskou DN8 [8] pre pneumatické pripojenie a redukciami zo závitu dosky DN8 G 1/4“ na nastrkávací systém pre 6 [mm] vzduchový rozvod. Z objednanej elektronickej 7-pin koncovky bol vyrobený riadiaci a napájací kábel. Na obrázku 6.6 - blokové schéma elektronickej vetvy zapojenia.

LabVIEW

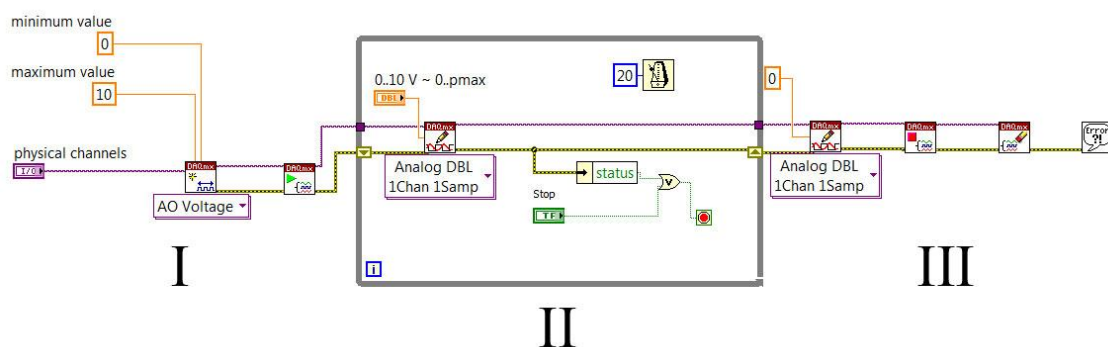
Na obrázku 6.7 vidieť štruktúru programu v okne *Block Diagram*, ktorý ovláda kartu NI 9264. Táto karta následne vytvára napäťový výstup pre reguláciu proporcionálneho ventilu. Na obrázku 6.8 Front Panel.

Popis funkcie:

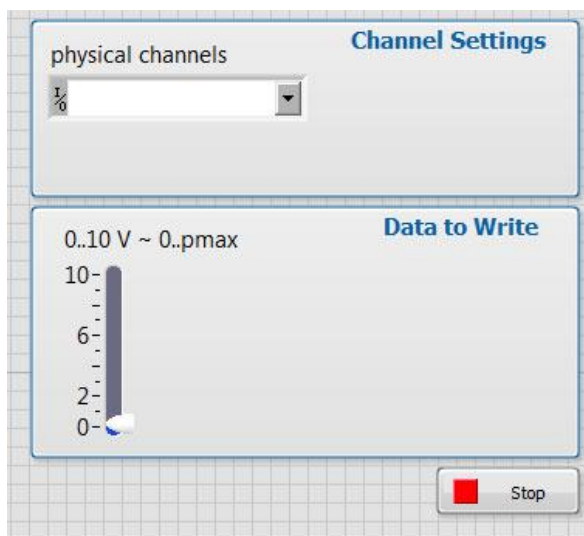
- I. V prvej časti skriptu sa nastavuje typ úlohy pomocou *Create Virtual* (viz 4.1 LabVIEW), v našom prípade to bude napäťový výstup AO (*analog output*) *Voltage*. Správne adresovanie prebieha výberom portu *physical channels*, ktoré volí užívateľ a je premostené do prostredia *Front Panel*. Pre ochranu pneumatického ventilu, sú pridané medze dovolených hodnôt *maximum value* a *minimum value*. Blokom *Start Task* spúšťame úlohu.
- II. V druhej časti, ktorá obsahuje cyklus *while*, užívateľ ovláda hodnotu výstupného napätia *voltage*, teda reguluje tlak v systéme. Zapisovaná hodnota pomocou bloku *Write* je nastavená na dátový typ *Analog double 1 channel 1 sample*. Pre bezpečnosť je obsluhované tiež tlačítko *stop*, ktoré s logickou operáciou OR sleduje chyby skriptu. Časovanie cyklu dovoľuje uvoľňovať hardware prostriedky pre iné programy. Vedenie chybových hlásení používa v cykle *shiftregister*, aby nedošlo k strate informácie o chybe v prípade, že sa nestihne pred začatím ďalšieho cyklu vyhodnotiť.
- III. Po skončení cyklu nasleduje príkaz zapísať nulovú hodnotu napätia do úlohy – tým vypne ventil, ktorý sa vráti do počiatočnej polohy. Blokom *Stop Task* sa zastaví úloha a *Clear Task* uvoľní prostriedky. Následne je použité dialogové okno pre vyhodnocovanie chýb.



Obrázok 6.6: Elektronická bloková schéma VP21



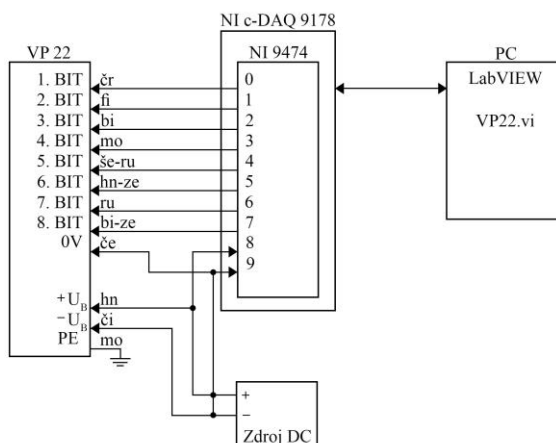
Obrázok 6.7: VP21.vi Block Diagram



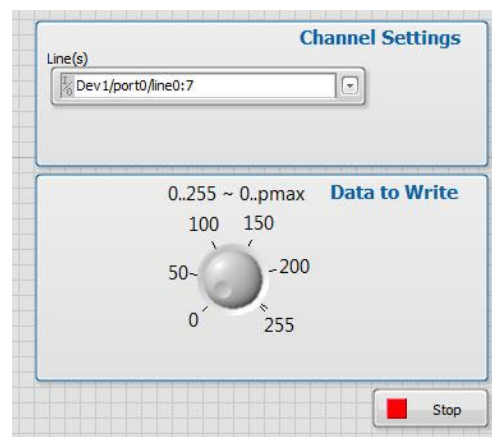
Obrázok 6.8: VP21.vi Front Panel

6.3 Obsluha VP22

Pneumatické pripojenie tohto ventilu nepotrebovalo žiadnu dodatočnú úpravu. Dokúpené konektory boli pripravené na zapojenie. Na obrázku 6.4 je naznačená elektronická bloková schéma.



Obrázok 6.9.: El. Schéma zapojenia VP22



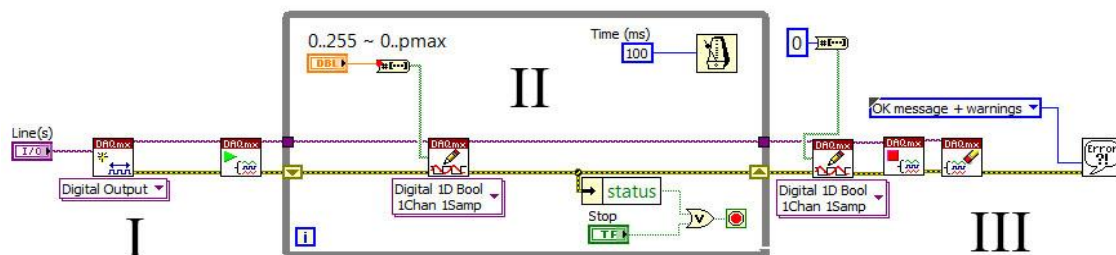
Obrázok 6.10.: VP22.vi Front Panel

LabVIEW

Block Diagram na obrázku 6.5 ukazuje skript, ktorý ovláda proporcionálny ventil VP22. Vidieť, že jeho štruktúra je podobná skriptu pre VP21. Rozdielov je však niekoľko.

Popis funkcie

- I. V prvej časti je nastavený typ úlohy na digitálny výstup *Digital Output*. Výber kanálov vyberá užívateľ. Keďže sa informácia pre reguláciu prenáša do ventilu vo forme 8-bitovej informácie, je potrebné vybrať 8 kanálov karty, v našom prípade 0 až 7.
- II. V cykle sa zapisuje informácia vo forme logického vektora *Digital 1D Bool 1Chan 1Sample*. Pre lepšiu predstavu sa 8-bitová informácia konvertuje do tohto tvaru z čísla 0 ... 255, ktorú užívateľ ľahko nastaví pomocou otočného koliečka. Zvyšok cyklu a časť III. Pracuje podobne ako skript pre VP21 (viz 6.1)



Obrázok 6.11.: VP22.vi Block Diagram

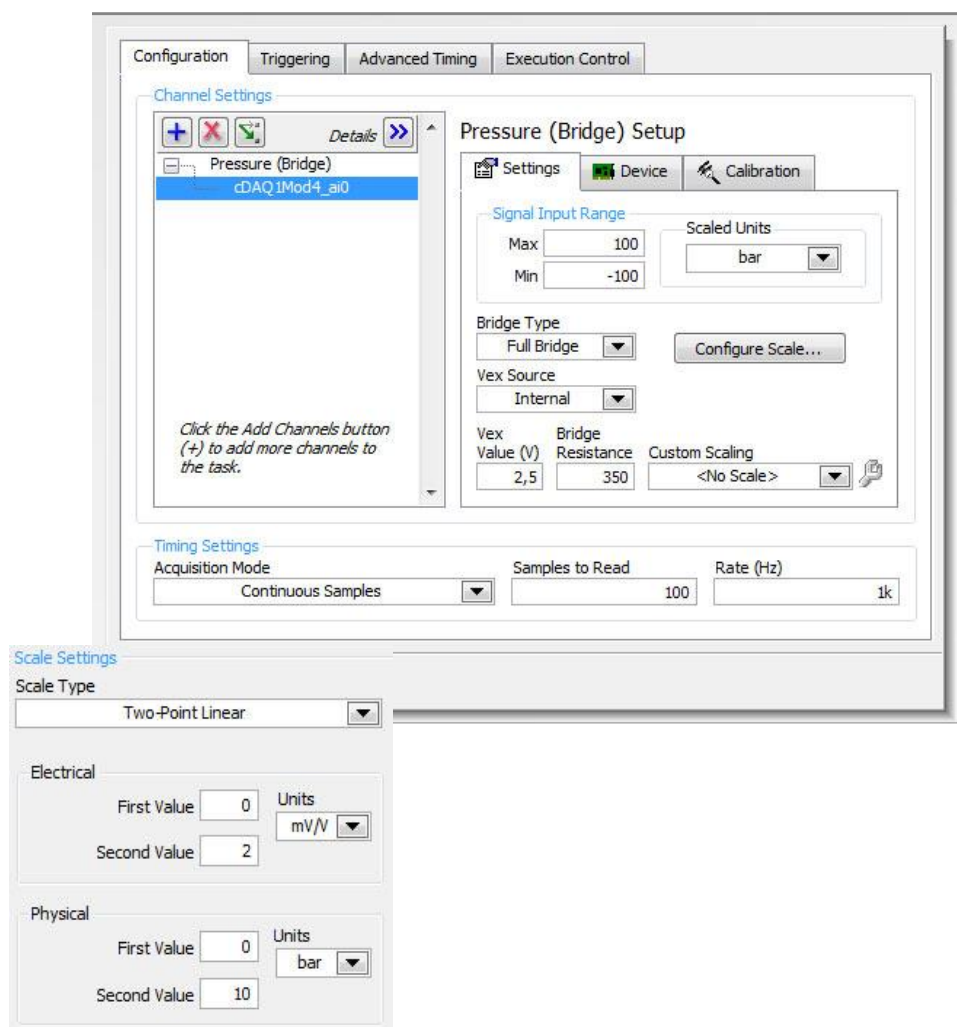
6.4 Nastavenie SignalExpress

Pri meraní rôznych závislostí bolo potrebné sledovať vždy najmenej dva zo senzorov. V tejto časti budú popísané konfigurácie v programe *SignalExpress* (viz kapitola) pre jednotlivé senzory. Pred konkrétnym experimentom sa následne použila potrebná kombinácia.

Meranie tlaku

V okne *Project* sa nastaví typ úlohy na získavanie analógového vstupu tlaku pravým tlačítkom → *Acquire Signals* → *DAQmx Acquire* → *Analog Input* → *Pressure* → *Pressure (Bridge)*.

Po výbere portu, nasleduje konfigurácia parametrov a mierky:



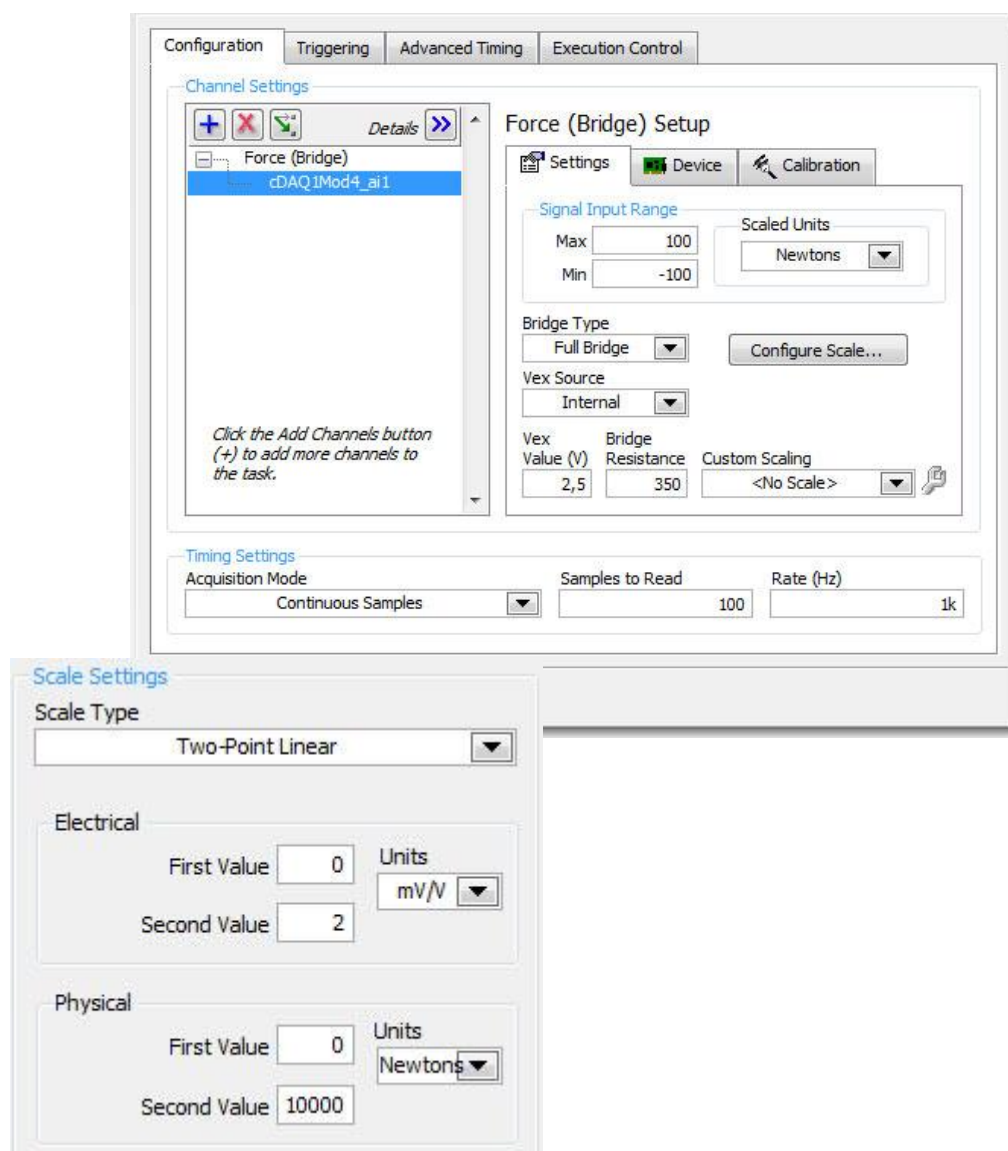
Obrázok 6.12 Nastavenie SignalExpress – meranie tlaku

Meranie sily

Typ úlohy je analógový signál silového senzoru:

Project → Acquire Signals → DAQmx Acquire → Analog Input → Force → Force(bridge)

Nastavenie parametrov a mierky:



Obrázok 6.13 Nastavenie SignalExpress – meranie sily

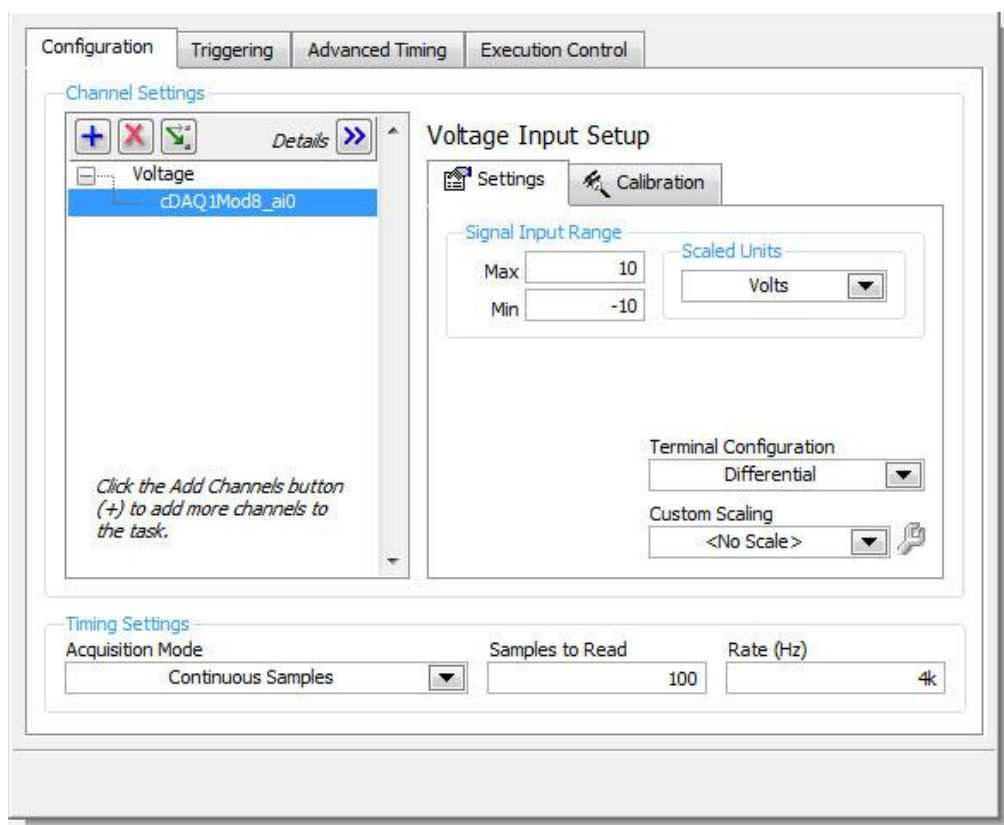
Tenzometer S9 mal v nezaťaženom stave odchýlku + 30 [N]. Aj keď v porovnaní s jeho rozsahom (10 kN) ide o zanedbateľnú hodnotu, boli namerané dáta o tento rozdiel upravené. Bola vyrobená tiež redukcia konektora pre zapojenie do karty (viz príloha).

Meranie polohy

Typ úlohy je analógový signál polohového čidla:

Project → Acquire Signals → DAQmx Acquire → Analog Input → Voltage

Nastavenie parametrov:

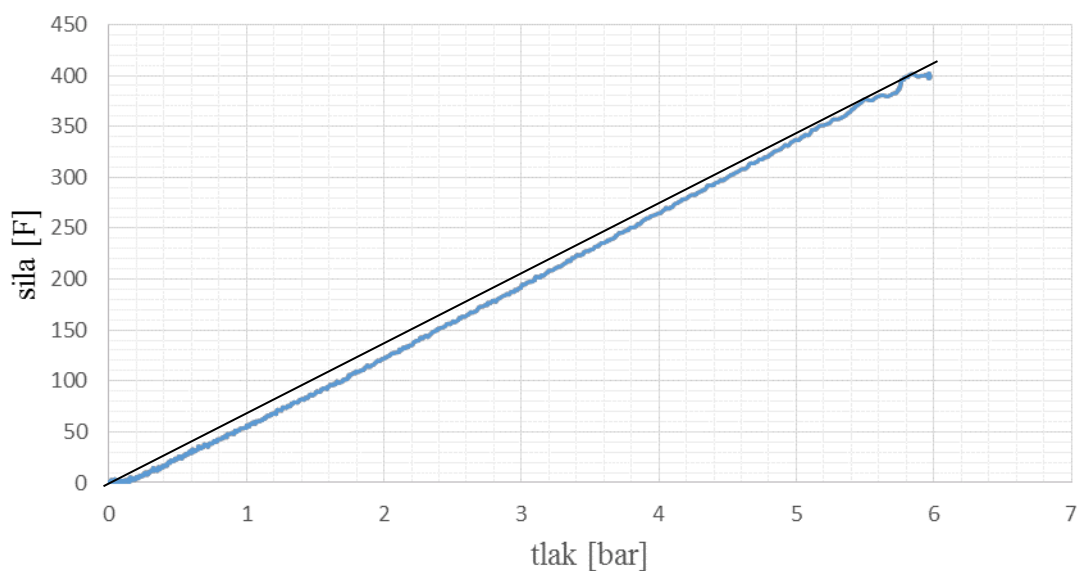


Obrázok 6.14: Nastavenie SignalExpress – meranie polohy

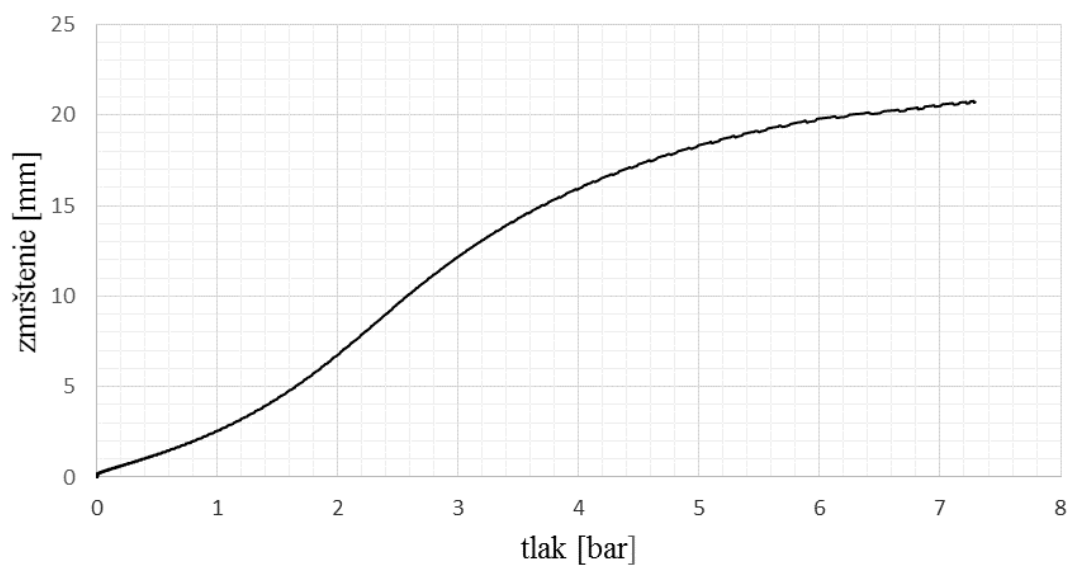
Pri spracovávaní dát z polohového čidla je nutné odpísať počiatočnú hodnotu napätia v nulovej polohe sondy. V prípade že sa v grafe začne objavovať od určitej hodnoty neprimerané rušenie, môže sa jednať o vplyv zdroja, ktorý preniesol ruch siete 50 Hz.

6.5 Namerané charakteristiky

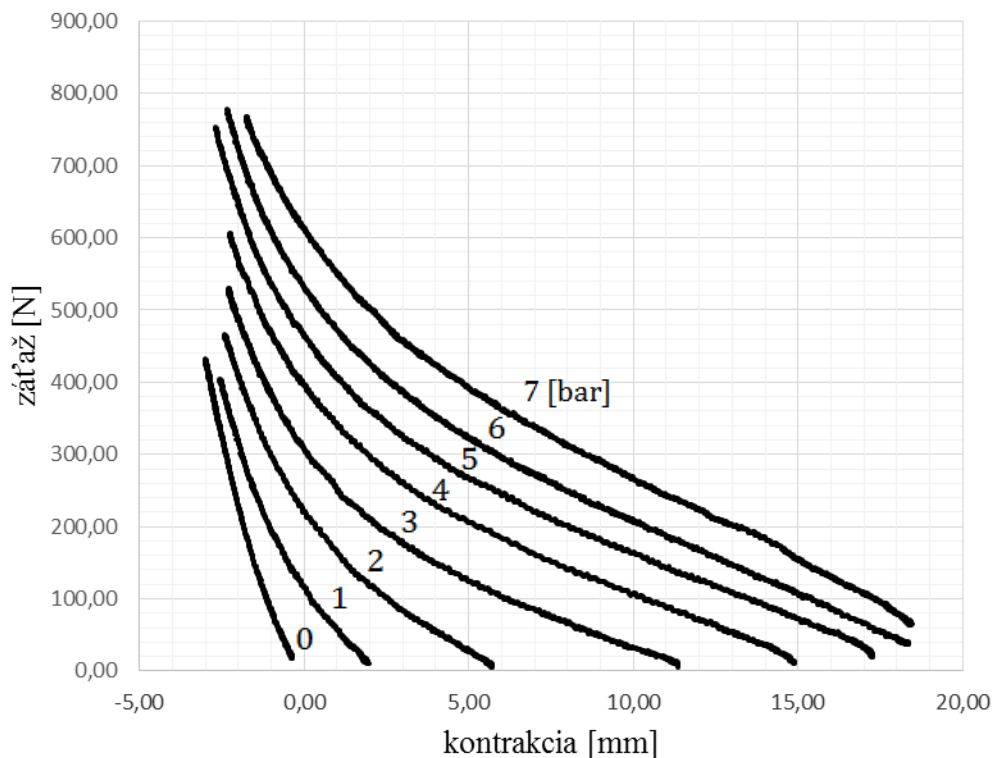
Graf 6.1: Závislosť sily na tlaku



Graf 6.2: Závislosť kontrakcie na tlaku



Graf 6.3: Zaťažovacia charakteristika



Priložená priamka v grafe 6.1 je názorná. Zvýrazňuje nelinearitu charakteristiky. Zakmitanie spôsobil náhly pokles tlaku v systéme pri otvorení ventilu. V grafe 6.3 má priebeh kriviek pre 6 a 7 [bar] pred dosiahnutím nulového zaťaženia ukončený priebeh. To je spôsobené zostatkovou záťažou páky. Namerané dáta boli ďalej spracované v programe *Matlab*. Na čiastočné vyhladenie šumu tenzometra S9 bola využitá konvolúcia. Výsledné vykreslenie dát prebehlo v programe *Microsoft excel*.

7 Záver

Ciele bakalárskej práce vytvoriť základný obraz o práci s fluidným svalom, určiť jeho vlastnosti a naprogramovať ovládacie prvky v prostredí *LabVIEW* sa podarilo splniť v plnom rozsahu.

Predošlý text predstavil fluidný sval ako perspektívny akčný prvok automatizácie a robotizácie. Objektom záujmu bol výrobok firmy *Festo MAS-10*. Prislúchajúci ventilový terminál *CPV-10* však nespĺňal funkciu proporcionálnej regulácie tlaku. Napriek tomu je možné využiť tento terminál pri ďalšej práci so svalom, hlavne pri ich väčšom množstve, ako rozvádzač vzduchu do jednotlivých svalov bez potreby zásahu do konštrukcie. Náhradu za terminál *CPV-10* tvorili proporcionálne ventily firmy *Norgren VP21* a *VP22*, pre ktoré bolo navrhnuté ovládanie kariet *NI 9747* a *NI 9264* v prostredí *LabVIEW* spoločnosti *National Instruments*. Tieto ventily boli pomerne zastaralé, z čoho vznikali problémy s dostupnosťou konektorov, prípadným servisom a dlhodobejším používaním.

Meranie fyzikálnych veličín sledovali senzor tlaku *P8AP*, senzor sily *S9* firmy *HBM* a polohový senzor *8740* firmy *Burster* obsluhované kartami *NI 9237* a *NI 9205*. Získavanie dát prebiehalo v prostredí *SignalExpress*. To ponúka množstvo výhod v širokých možnostiach spracovania dát bez nutnosti programovania.

Zhotovená meracia stanica okrem možnosti ďalšej práce so svalom nájde využitie aj pre iné laboratórne experimenty. Bez potreby úprav ponúka stabilnú horizontálnu aj vertikálnu polohu.

Pri meraní charakteristík fluidného svalu sa v prvej časti vytvoril konkrétny obraz závislosti sily na tlaku (graf 6.1). Po priložení priamky vynikne nepatrná nelinearita charakteristiky. Pri závislosti kontrakcie na tlaku (graf 6.2) je nelineárne chovanie značne výraznejšie. Dôležitejšiu informáciu dopĺňa graf 6.3 s charakteristikou chovania svalu pod záťažou pri jednotlivých tlakoch v systéme.

Dovolený pracovný tlak 8 [bar] sa nepodarilo dosiahnuť kvôli možnostiam použitých kompresorov. Výrobca udáva maximálnu kontrakciu svalu 25 % nominálnej dĺžky. V našom prípade to predstavuje 25 [mm]. Z grafu 6.2 vidieť, že maximálna kontrakcia, ktorá bola dosiahnutá je 21% pri 7 [bar]. Pri trende pokračovať v závislosti by pri 8 [bar] sval teoretickú hodnotu kontrakcie nedosiahol. Pri ďalšej práci a pri reálnej aplikácii je vhodné zvoliť silnejší zdroj tlaku, ktorý je schopný udržať tlak na ustálenej hodnote po potrebnú dobu. Rýchly pokles tlakov v systéme by znemožňoval presnú reguláciu proporcionálnymi ventilmi.

Vysoká nelinearita v chovaní je pre fluidný sval charakteristická. Tento fakt a zložitosť matematického popisu sťažuje modelovanie a reguláciu polohy. Ako nevhodné sa preto javí jeho použitie v aplikáciách, ktoré vyžadujú zaujímanie presnej polohy.

Na rozdiel od toho poddajnosť a podoba so živočíšnym svalom nachádzajú pozitívne využitie v lekárskej odvetvi. Vysoký pomer sily ku hmotnosti a pružnosť fluidného svalu je vhodný pre použitie v biomechatronike, ako akčné členy protéz, robotických ramien, rehabilitačných zariadení a exoskeletonov.

8 Použitá Literatura

- [1] DVOŘÁK, L.: *Vlastnosti Tekutin*. Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Ostrava, 2010
- [2] ŽILÁK, P.: *Racionalizace výroby a rozvodu stlačeného vzduchu*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 51s., doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.
- [3] DAERDEN, F.; LEFEBER, D.: *Pneumatic artificial muscles: actuators for robotics and automation*. European journal of mechanical and environmental engineering, 2002, Roč. 47, č. 1, s. 11-21.
URL <http://lucy.vub.ac.be/publications/Daerden_Lefebber_EJMEE.pdf>
- [4] BORŽÍKOVÁ, J.; BALARA, M.: *Matematický model kontrakčných charakteristik umělého svalů*. Výrobné inžinierstvo. ISSN 1335-7972, 2007, Roč. 6, č. 2, s. 26-29
URL <<http://www.fvt.tuke.sk/journal/pdf07/2-str-26-30.pdf>>
- [5] Catalogue pages: *DMSP/MAS*. Festo AG & Co. KG, 2008. [rev. 2013/05]
URL <http://xdki.festo.com/xdki/data/doc_ENUS/PDF/US/DMSP-MAS_ENUS.PDF>
- [6] ŠUPÁK, M.; ALMÁŠIOVÁ, J.: *Pneumatické mechanizmy*. Metodicko-Pedagogické centrum, 2012. ISBN 978-80-8052-427-2
URL <http://www.mpcedu.sk/library/files/m._up_k_j._alm__iov__pneumatick__mechanizmy.pdf>
- [7] Catalogue pages: *Valve Terminal CPV, Compact Performance*. Festo AG & Co. KG [rev. 2013/05]
URL <http://xdki.festo.com/xdki/data/doc_ENGB/PDF/EN/TYP10-G_EN.PDF>
- [8] Datasheet: *VP21*. Norgren Herion, 2000.
URL <http://www.nor-service.hu/files/pdf/en_ds/Valves/en_6.6.023.pdf>
- [9] Datasheet: *VP22*. Norgren Herion, 2002.
URL <http://resources.norgren.com/document_resources/EN/N_gb_6_6_026.pdf>
- [10] Operating Instructions and Specifications: *NI 9264*. National Instruments Corp., 2009
URL <<http://www.ni.com/pdf/manuals/374404e.pdf>>
- [11] Operating Instructions and Specifications: *NI 9264*. National Instruments Corp., 2009
URL <<http://www.ni.com/pdf/manuals/374404e.pdf>>

- [12] Operating Instructions and Specifications: NI 9472/9474. National Instruments Corp., 2008
URL <<http://www.ni.com/pdf/manuals/373509e.pdf>>
- [13] Operating Instructions and Specifications: NI 9237. National Instruments Corp., 2009
URL <<http://www.ni.com/pdf/manuals/374186e.pdf>>
- [14] Operating Instructions and Specifications: NI 9205. National Instruments Corp., 2008
URL <<http://www.ni.com/pdf/manuals/374188d.pdf>>
- [15] MASCAI, I.: Ako merať tlak? - tlakomery a snímače tlaku. AT&P journal 6/2007
URL <<http://www.transcom.sk/sub/transcom.sk/images/stories/pdf/TC-ATP/ako-merat-tlak---tlakomery-a-snimace-tlaku.pdf>>
- [16] HRUBANT, L.; HRUBANT, J.: *Odporové tenzometry z pohledu využití v automatizovaných soustavách*. Automa 7/2004
URL <<http://www.odbornecasopisy.cz/download/au070427.pdf>>
- [17] Datasheet: *P8AP Absolute Pressure Transducers*. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, 2012.
URL <<http://www.hbm.com.pl/pdf/b0521.pdf>>
- [18] Mounting instructions: *Force transducer S2/S9*. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH.
URL <<http://www.hbm.com.pl/pdf/a0567.pdf>>
- [19] Datasheet: *DC/DC Displacement Sensors – Model 8740*. Messtechnik Schaffhausen GmbH.
URL <http://www.mts.ch/documents/8740_EN.pdf>
- [20] Technical Paper: *The LVDT: construction and principles of operation*. Measurement Specialties Inc., [rev. 2013/04]
URL <http://www.meas-spec.com/downloads/Principles_of_the_LVDT.pdf>
- [21] VLACH, J.; HAVLÍČEK, J.; VLACH, M.: *Začínáme s LabVIEW*. Nakladatelství BEN - technická literatura, Praha, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9
- [22] *LabVIEW Core 1 Exercises*. National Instruments Corp., 2010
- [23] *LabVIEW Core 2 Exercises*. National Instruments Corp., 2009
- [24] Manual: *NI SignalExpress*. National Instruments Corp., 2005
URL <http://class.ece.iastate.edu/ee230/Support/Signal%20Express%20Manual.pdf>>

Zoznam obrázkov

2.1	Mckibbenov umelý sval	8
2.2	Antagonistické zapojenie	8
2.3	Pneumatická ruka Festo	9
2.4	Fluidný sval firmy Festo	10
2.5	CPV10, VP22, VP21.....	11
2.6	Schematická značka 3/2 cestného ventilu	12
2.7	Regulačné schéma.....	12
2.8	Bloková schéma regulátora VP21	13
3.1	Tlakový senzor P8AP.....	16
3.2	Tenzometer S9	17
3.3	Polohový senzor 8470.....	18
4.1	Prostredie program SignalExpress a voľba typu úlohy.....	20
4.2	Nastavenie parametrov SignalExpress.....	22
6.1	a) Schéma merania závislosti kontrakcie na tlaku	24
6.1	b) Schéma merania závislosti sily na tlaku	24
6.2	Schéma merania zaťažovacej charakteristiky	25
6.3	Meracia stanica v úprave pre zaťažovaciu charakteristiku	26
6.4	Stanica v úprave pre meranie závislosti kontrakcie na tlaku	26
6.5	Stanica v úprave pre meranie závislosti sily na tlaku	26
6.6	Elektronická bloková schéma VP21	28
6.7	VP21.vi Block Diagram.....	28
6.8	VP21.vi Front Panel.....	28
6.9	El. schéma zapojenia VP22.....	29
6.10	VP22.vi Front Panel.....	29
6.11	VP22.vi Block Diagram.....	29
6.12	Nastavenie SignalExpress – meranie tlaku	30
6.13	Nastavenie SignalExpress – meranie sily	31
6.14	Nastavenie SignalExpress – meranie polohy	32

Zoznam Tabuliek

2.1	Základné špecifikácie MAS 10	10
2.2	Základné špecifikácie VP21 a VP22.....	14
3.1	Špecifikácie senzora P8AP	15
3.2	Špecifikácie čidla S9	16
3.3	Špecifikácie senzora 8740.....	17