

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

NÁVRH SOFTWARE JEDNOÚČELOVÉHO STROJE PRO VÝROBNÍ TESTY

DESIGN OF SOFTWARE SINGLE PURPOSE MACHINE FOR MANUFACTURING TEST

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ROMAN JANOUŠEK,

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL HOUŠKA, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Roman Janoušek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902T001)**

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:

Návrh software jednoúčelového stroje pro výrobní testy

v anglickém jazyce:

Design of software single purpose machine for manufacturing test

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zabývá návrhem a realizací software pro řízení jednoúčelového stroje – testovací linky zadaného výrobku. Cílem práce je navrhnout modulární software, který umožní snadnou implementaci výrobních testů pro další výrobky.

Cíle diplomové práce:

1. Seznamte se s problematikou testování ve výrobě a problematikou jednoúčelových strojů.
2. Pro zadaný výrobek navrhnete výrobní testy a provedte volbu nutných snímačů a DAQ hardware.
3. Navrhnete software pro řízení výrobních testů zadaného výrobku.
4. Navržený software realizujte a ověřte jeho funkcionalitu

Seznam odborné literatury:

- [1] SHELL, Richard L a Ernest L HALL. Handbook of industrial automation. New York: M. Dekker, c2000, xii, 900 p. ISBN 0-8247-0373-1.
- [2] BLACK, Rex a Ernest L HALL. Managing the testing process: practical tools and techniques for managing hardware and software testing. 2nd ed. New York: Wiley, c2002, xxvii, 500 p. ISBN 04-712-2398-0.
- [3] HAYES, By Linda G. a Ernest L HALL. The automated testing handbook: practical tools and techniques for managing hardware and software testing. 2nd ed. Richardson, TX: Software Testing Institute, 2004, xxvii, 500 p. ISBN 09-707-4650-4.
- [4] BITTER, Rick, Taqi MOHIUDDIN a Matt NAWROCKI. LabView advanced programming techniques. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2007, 499 s. ISBN 08-493-3325-3

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Houška, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 25. 11. 2014

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce řeší problematiku návrhu a realizace software pro řízení výrobního testování pneumatického proporcionálního ventilu Festo MPYE. Součástími jednoúčelového testovacího zařízení jsou DAQ zařízení, snímače tlaku a elektricky ovládané pneumatické ventily.

V úvodu této práce jsou nastíněny cíle práce, následuje seznámení s jednoúčelovými montážními zařízeními, která jsou používána v praxi. Hlavní částí práce je analýza a řešení problematiky výrobního testu zadaného výrobku. Výsledkem této práce je navržený a realizovaný modulární software pro řízení výrobních testů zadaného výrobku, který lze snadno přizpůsobit na testování jiného výrobku. V závěru diplomové práce jsou zhodnoceny dosažené cíle práce.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with design and implementation of software for control of manufacturing tests of pneumatic proportional valve Festo MPYE. The single-purpose testing device consists of a DAQ device, a pressure sensor and of electrically operated pneumatic valves.

In the introduction of this thesis are outlined aims of thesis followed by introduction to single-purpose assemblies commonly used in practice. The main part of this thesis deals with analysis and with solving the issues of assigned product testing. The designed and implemented modular software for control of manufacturing tests of assigned product is presented as an outcome and this software is easily adjustable for tests of a different product. In the conclusion are assessed achieved aims.

KLÍČOVÁ SLOVA

LabVIEW, DAQ, Jednoúčelové testovací zařízení, pneumatický ventil, návrh software.

KEYWORDS

LabVIEW, DAQ, Single-purpose test equipment, pneumatic valve, software design.

PROHLÁŠENÍ O ORIGINALITĚ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně dle pokynů vedoucího práce s použitím uvedené odborné literatury.

Brno 24. května 2015

.....
Roman Janoušek

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JANOUSĚK, R. *Návrh software jednoúčelového stroje pro výrobní testy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 65 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Houška, Ph.D..

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Pavlu Houškovi, Ph.D. za jeho čas, podněty a věcné připomínky.

Obsah:

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Úvod..... | 13 |
| 2 | Automatizace | 15 |
| 2.1 | Nasazení automatizace | 15 |
| 2.1.1 | Základní postup nasazení automatizace..... | 16 |
| 2.1.2 | Způsoby navýšení produktivity využitím automatizace | 16 |
| 2.1.3 | Migrační metoda automatizace..... | 17 |
| 2.2 | Testování ve výrobě | 19 |
| 3 | Jednouúčelové výrobní prostředky..... | 21 |
| 3.1 | Montážní jednouúčelové stroje | 21 |
| 3.2 | Typy montáží..... | 22 |
| 3.3 | Návrh automatického montážního systému | 23 |
| 3.3.1 | Montážní stroje s krátkým cyklem | 23 |
| 3.3.2 | Flexibilní modulární montážní systém | 23 |
| 3.3.3 | Flexibilní montážní systém s průmyslovými roboty | 24 |
| 4 | Testování pneumatických ventilů | 29 |
| 4.1 | Zadaný výrobek pro testování | 29 |
| 4.2 | Princip funkce a popis výrobku..... | 30 |
| 4.2.1 | Využití proporčních ventilů..... | 32 |
| 4.3 | Měření tlaku | 32 |
| 4.4 | Snímače tlaku | 33 |
| 4.4.1 | Membránové tlakoměry..... | 33 |
| 4.4.2 | Typy převodníků u membránových tlakoměrů | 34 |
| 4.5 | Měření průtoku..... | 37 |
| 4.6 | Průtokoměry | 37 |
| 4.6.1 | Termoanemometr..... | 37 |
| 4.6.2 | Měření průtoku pomocí clony | 38 |
| 4.7 | Metody detekce úniků stlačeného vzduchu..... | 39 |
| 4.7.1 | Detekce úniku měřením průtoku | 39 |
| 4.7.2 | Detekce úniku přímým měřením poklesu tlaku..... | 40 |
| 4.7.3 | Detekce úniku měřením diferenčních tlaků..... | 41 |
| 4.8 | Pneumatické schéma zapojení pro testování ventilů..... | 42 |
| 4.8.1 | Pneumatické zapojení testeru s dvěma průtokoměry | 42 |
| 4.8.2 | Pneumatické zapojení testeru s průtokoměrem a clonou..... | 43 |
| 4.8.3 | Zhodnocení používaných pneumatických zapojení..... | 43 |
| 5 | Testování výrobku pneumatického ventilu | 45 |
| 5.1 | Návrh postupu pro realizaci testovacího zařízení..... | 45 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.2 | Parametry proporcionálního ventilu | 45 |
| 5.3 | Návrh testu zařízení | 47 |
| 5.3.1 | Určení parametrů pro testování | 47 |
| 5.3.2 | Návrh testu výrobku | 47 |
| 5.4 | Návrh zapojení testovacího zařízení | 49 |
| 5.4.1 | Pneumatické zapojení testovacího zařízení | 49 |
| 5.4.2 | DAQ zařízení a snímače testovacího zařízení | 51 |
| 5.4.3 | Volba snímačů tlaku pro testovací zařízení | 52 |
| 5.4.4 | Požadavky na DAQ zařízení | 52 |
| 5.4.5 | Zvolené DAQ zařízení | 53 |
| 5.5 | Realizace zapojení testovacího zařízení | 54 |
| 6 | Návrh software pro výrobní test | 55 |
| 6.1 | Požadavky na software | 55 |
| 6.2 | Realizovaný software | 55 |
| 6.2.1 | Grafický editor | 56 |
| 6.2.2 | XML Reader | 57 |
| 6.2.3 | Aplikace | 59 |
| 6.2.4 | Testování software na jednoúčelovém testovacím zařízení | 60 |
| 6.2.5 | Výsledky měření Masteru a Worku | 61 |
| 7 | Závěr | 63 |

1 ÚVOD

Hlavním cílem této práce je vytvoření modulárního softwaru pro jednoúčelový montážní stroj a jeho následné otestování na testovaném výrobku. Dalším cílem této práce bylo seznámení se s jednoúčelovými stroji určenými zejména pro testování a základními principy měření parametrů výrobků. Nadále je nutné se detailně seznámit s testovaným produktem a navrhnout pro tento produkt testovací zařízení včetně snímačů a hardwaru pro měření.

Hlavní motivací pro vytvoření této práce byly stále se navyšující nároky na kvalitu průmyslově vyráběných produktů. Pro splnění nároků na požadovanou kvalitu jsou navyšovány nároky pro testování výrobku a pro zajištění nejvyšší kvality jsou ve výrobních společnostech zaváděny stoprocentní kontroly výrobků. Z důvodu splnění požadované kvality je nutné vytvořit dostatečně rychle jednoúčelové testovací zařízení. Během vytváření byla brána v potaz možnost testování různých produktů na jednom testovacím zařízení a je nutné vytvořit modulární testovací software, aby bylo možné testovat různé výrobky z portfolia výrobních firem.

Jednoúčelová zařízení, ať už jako montážní nebo testovací linky, slouží k navýšení efektivity práce a nárůstu kvality vyráběných součástí. Mezi jednoúčelová zařízení můžeme zařadit například přípravky, které pomáhají operátorům na výrobních linkách například k rychlejšímu uchycení obrobku do obráběcího stroje. Tato diplomová práce řeší návrh a realizaci jednoúčelového testovacího stroje pro testování ventilů a jejím hlavním cílem je unifikace návrhu software.

Na výrobu jednoúčelových strojů, jak výrobních tak i testovacích, se specializuje velký počet firem. Tyto firmy jsou schopny dodat řešení jednoúčelových strojů na klíč a používají také stejných principů, které byly použity v této diplomové práci.

V první části diplomové práce byla provedena analýza testovaného výrobku (ventilu) a je popsána jeho funkcionality a parametry. Po získání parametrů od výrobce bylo možné pro výrobek určit kritické parametry a na jejich základě zvolit potřebné snímače pro měření těchto parametrů.

V následující části práce byla popsána testovací procedura, která měla být aplikována na testovaný výrobek tak, abychom získali potřebná data pro rozhodnutí, zda jde o správně vyrobený produkt či nikoliv.

Chronologicky navazuje část, kde bylo navrženo pneumatické schéma pro vytvoření jednoúčelového testovacího zařízení pro pneumatické prvky. Pomocí softwaru FluidSim bylo vytvořeno pneumatické schéma a po jeho návrhu byl vytvořen 3D model pneumatické části testovacího zařízení. Následně byly zapůjčeny nebo zakoupeny veškeré pneumatické prvky potřebné pro realizaci.

Nyní již bylo možné vybrat vhodné modulární DAQ zařízení pro testovací zařízení tak, aby toto zařízení v případě potřeby umožňovalo rozšíření o další snímače nebo ovládací prvky, tedy poskytovalo možnost přizpůsobení testovacího zařízení i na jiný pneumatický výrobek.

V poslední části diplomové práce byl navržen a realizován software UniTester. Software byl v této části náležitě popsán a byl zde naznačen i princip jeho funkce. Jedná se o modulární software, jež obsahuje grafický editor, který umožňuje vytvoření testovací procedury (test plánu) pomocí grafického rozhraní přímo uživatelem. V závěru této kapitoly byl software otestován při automatickém testování dvou pneumatických ventilů na realizovaném jednoúčelovém testovacím zařízení.

Zhodnocení dosažených cílů a vyvozených závěrů bylo uvedeno v poslední kapitole této diplomové práce.

2 AUTOMATIZACE

Automatizace jako taková je chápána jako technologie, která je schopná pracovat nezávisle bez zásahu člověka. Dobře zvládnutá automatizovaná technologie, je schopna samoregulace a akčních zásahů do výrobní technologie. Automatizace je odvozena od řeckého slova *Automos*, což v překladu znamená samočinný, fungující dle vlastní vůle nebo živelný. Automatizace pracuje se stroji, nástroji, zařízeními a jednoúčelovými stroji. Jako jednoúčelový stroj je označováno zařízení, které je vyvinuto pro dané technologické kroky. Jednoúčelovým strojům bude detailněji věnována jedna z následujících kapitol. Pro prvotní seznámení si můžeme pod pojmem jednoúčelový stroj představit výrobní linku, testovací zařízení nebo i obráběcí stroje [1].

2.1 Nasazení automatizace

Z důvodu, že přechod k automatizaci je finančně a časově náročná záležitost, je nutné zvážit, zda se automatizace technologického procesu vůbec vyplatí. Nyní bych zmínil některé případy, ve kterých je vhodné zvolit přechod k automatizaci [2]:

- Zvýšení produktivity práce. Automatizace výrobních procesů obvykle navýší produktivitu práce, tedy i nárůst počtu zhotovených výrobků za daný časový úsek.
- Snížení mzdových nákladů. Aktuálním trendem v průmyslově vyspělých zemích je nárůst mzdových nákladů na manuální výrobu. Řešením pro snížení mzdových nákladů je investování do automatizace a omezení až odstranění manuálních operací z výroby.
- Snížení dopadu nedostatku pracovních sil. Pokud nahradíme manuální pracovní operace automatizovanými, může jeden pracovník obsluhovat více pracovišť.
- Eliminování nebo odstranění rutinních úkolů. To vede k zlepšení pracovních podmínek.
- Zlepšení bezpečnosti práce. Při zautomatizování operace se nemusí pracovník podílet na výrobě fyzicky, ale může působit pouze jako dohled a údržba daného pracoviště.
- Zvýšení kvality produktů. Automatizace nemusí být nasazena pouze pro velkosériovou výrobu, kde se nahrazuje velký počet manuálních operací. Automatizaci je vhodné použít, i pokud potřebujeme udržet jednotvárnost a specifikovanou kvalitu výrobků.
- Redukování výrobních časů.
- Pro dosažení operace, kterou nejsme schopni provést manuálně bez použití stroje. Mezi takovéto operace patří například výrobní procesy s vysokými nároky na přesnost, jako je výroba procesorů, osazení desek plošných spojů, nebo velice přesné obrábění. Tyto operace se zajistí neobejdou bez systémů řízených počítačem.
- Snížení cen produktů. Výhodami jsou rychlost dodání zákazníkům, zlepšená kvalita a menší počet reklamací, vyšší odběr produktů a zvýšená prestiž společnosti.

2.1.1 Základní postup nasazení automatizace

Nutností při zavádění automatizace je kompletní porozumění buďto již existujícího nebo stávajícího výrobního nebo měřicího procesu. Musíme přesně definovat vstupy a výstupy do technologie, co se děje během zpracování vstupů a musíme znát sekvence operací, které mají být provedeny před čtením výstupů. Je tedy nutné vědět, co se přesně děje a kdy mají zasáhnout vstupy do technologie. Během analyzování výrobního procesu je nutné vědět, jaké technologické kroky budou na výrobku prováděny a musí být definovány mezikroky, při kterých mají být části výrobku testovány a kontrolovány. V analýze by měly být zahrnuty i veškeré výrobní a testovací časy, protože načasování může mít dopad na samotnou implementaci automatizace. Pro analýzu procesu se používají postupové diagramy. Díky použití tohoto nástroje je možné dobře vizualizovat a zhodnotit proces a popřípadě analyzovat i technologické časy, můžeme také zohlednit celkový výrobní čas a dobu, kterou například potřebuje operátor na dané operace. Aplikace metody postupového diagramu na již fungující proces nám umožní zkoumat model tohoto procesu. Tímto způsobem můžeme přijít na silné a slabé stránky výrobního nebo testovacího procesu [1]. Některé mezinárodní společnosti pro tuto analýzu používají metodu FMEA (Failure Mode and Effects Analysis, analýza možného výskytu a vlivu vad), která byla vyvinuta pro hledání závažných rizik při vesmírných programech NASA. Tato metoda analyzuje vady a příčiny vad ve výrobě, které je nutné při nasazení automatizace brát v potaz. Při analýze lze také použít matematické modely procesu, které nám mohou pomoci při zjištění vazeb mezi vstupy a výstupy. Matematické modely nám také umožňují zjistit, které výstupní hodnoty musí být měřeny pro odhalení případné chyby v technologickém procesu a následně nám umožní optimalizovat testovací algoritmy.

Krokem následujícím, po analýze je zjednodušení procesu. Po dokonalém porozumění procesu je možné komplexně zhodnotit všechny výrobní a testovací kroky a zjistit, zda nejsou ve výrobním procesu kroky, které by bylo možné zrušit nebo nějakým způsobem urychlit. Pro zvýšení rychlosti automatizace je důležité zjednodušit komplexnější kroky výroby. Ideální je, pokud mohou zjednodušené kroky probíhat paralelně.

Poslední ze základních metod pro nasazení automatizace je automatizování procesu. Poté, co proběhla kompletní analýza výrobního procesu, a kroky procesu byly zjednodušeny, je možné přistoupit k samotné automatizaci procesu. Automatizace procesu vyžaduje konstrukční úpravy výrobní linky a také zajištění veškerého potřebného hardwaru pro výrobní linku. Pro automatizaci výrobní nebo testovací linky musíme zvolit vhodné snímače a dále vhodnou platformu, na které poběží řídicí systém. Tato část procesu automatizace byla stěžejní pro tuto diplomovou práci a byla popsána v praktické části práce.

2.1.2 Způsoby navýšení produktivity využitím automatizace

Při použití základních způsobů nasazení automatizace můžeme dojít k názoru, že se automatizace procesu finančně nevyplatí a to zejména při malosériové výrobě. Pokud jsme ale zjistili, že automatizace procesu může výrazně navýšit produktivitu a kvalitu výrobků a tím zvednout i zisk, můžeme začít uvažovat o nasazení automatizace v podmínkách jakkoli rozsáhlé výroby těmito prostředky[2].

- Specializace operace. Tato metoda zahrnuje využití jednoúčelových zařízení (strojů). Ta jsou navržena a zhotovena tak, aby měla co nejvyšší

účinnost a efektivitu pro daný proces. Tuto metodu můžeme chápat jako nahrazení velice úzce specializovaného operátora na lince.

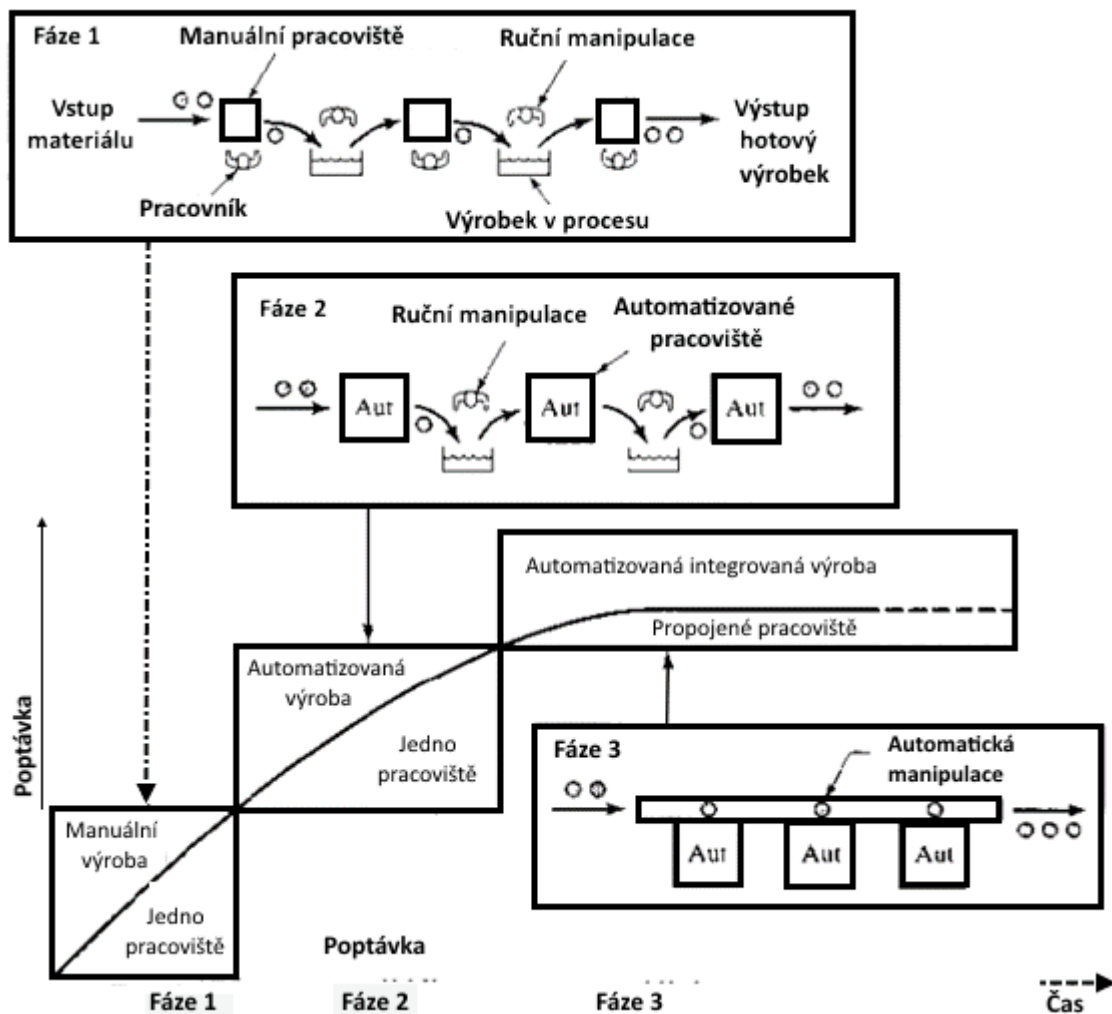
- Kombinování operací. Sekvence výrobních kroků vede k výrobě kompletního a otestovaného výrobku. Pro kompletaci výrobku je použito desítek až stovek procesních kroků. Metoda kombinování operací umožní snížení počtu strojů a pracovních míst, přes která musí výrobek při kompletaci projít. Toho je docíleno upravením stroje takovým způsobem, aby mohl daný stroj provádět více než jednu operaci na výrobku. Díky této metodě je redukován počet potřebných strojů, ale také se zkracují nastavovací časy strojů a časy na přemístění vyráběného dílu na jiný stroj.
- Operace běžící paralelně. Tato metoda je vylepšenou metodou kombinace operací. Je vylepšena o možnost běhu více operací paralelně na jednom stroji. Tomu musí být opět stroj přizpůsoben. Je tedy možné, aby více nástrojů zároveň pracovalo na jedné části výrobku, čímž jsou redukovány výrobní časy.
- Integrace operací. Je ideální pro zkrácení produkčních časů. Implementace této metody spočívá ve spojení několika pracovních stanovišť do jednoho integrovaného mechanismu. V rámci integrovaného mechanismu lze použít automatické podavače k přesunu mezi pracovními stanovišti. Efektem této metody je redukce samostatných strojů, na které musí být výroba plánována. Pokud používáme více než jednu pracovní stanici, může výroba probíhat zároveň.
- Nárůst flexibility. Vede k maximalizaci využití vybavení výrobního zařízení. Hlavní myšlenkou této metody je využití stejného zařízení pro větší počet výrobků. Při této metodě jsou kladeny nároky na rychlou modifikovatelnost zařízení na jiný typ výrobku. Modifikovatelnost musí být softwarová, která redukuje programovací časy výrobního zařízení, a také musí být možnost modifikovat výrobní prostředky. To vede ke snížení produkčních časů různých typů výrobků.
- Zlepšení manipulace s materiálem. Pro odstranění neproduktivních časů je vhodné použít automatizovaných manipulačních zařízení pro kontinuální přísun materiálu na výrobní stanice. Vhodná je kombinace automatizovaných manipulátorů s automatizovanými sklady.
- Kontrola na lince. Dříve byly používány metody kontroly již hotového výrobku. V dnešní době se využívají metody kontroly přímo při výrobě na pracovní stanici. Tato metoda umožňuje odhalit poruchu již během výroby a následně vyřadit tento produkt dříve, než dojde k finální kontrole. Jde tedy o změnu parametrů výroby s předstihem, než by byla vyrobena celá vadná série. Využití této metody vede k nárůstu kvality výroby a snížení nákladů na výrobu.

2.1.3 Migrační metoda automatizace

V případě, že je nutné začít dodávat kompletní výrobky v co nejkratší době, využívá se migrační metody. Navrhnout a zavést manuální výrobu je značně levnější a méně náročné, než zavedení výroby automatizované. Pro rychlejší zhotovení kompletních výrobků se tedy v první fázi zavádění automatizace zavede výroba manuální. Nástroje pro manuální výrobu jsou vyrobeny rychleji a jsou méně nákladné.

Z manuálních nástrojů a strojů je sestavena výrobní stanice. Stejná výrobní stanice může být sestavena vícekrát, aby byly splněny požadavky na výrobu daného výrobku. V případě, že je výrobek úspěšný na trhu a je kladena vyšší poptávka na produkty, pak je vhodné zautomatizovat výrobu. Tato metoda migrace většinou probíhá ve více fázích[2].(Obrázek 1)

- Fáze 1. Manuální výroba využívající manuálních výrobních stanovišť a lidskou práci. Tato fáze má výhodu v rychlosti nasazení a nízkých nákladech na nástroje a manuální ovládaní stroje.
- Fáze 2. Automatizovaná výroba používající automatizovaná výrobní stanoviště, která pracují nezávisle. Tato fáze je odezvou na zvyšující se poptávku na dané produkty, v takových případech je automatizace pracoviště nutností. Mezi výrobními stanovišti jsou součásti přemísťovány manuálně. Automatizace přispívá v této fázi k redukování manuální práce na stanovišti a navýšení produktivity.
- Fáze 3. Integrovaný automatizovaný výrobní systém. V této fázi jsou využívány plně automatizovaná výrobní stanoviště s využitím operací sériových operací i na následujících stanovištích. Tuto fázi je vhodné využít, pokud se jedná o velkosériovou výrobu pro delší časový úsek. V této fázi se již využívá plně automatizovaného přesunu součástí mezi stanovišti.



Obrázek 1. Migrační metoda automatizace[2].

Využitím této metody využíváme z počátku výhody, kterou představuje možnost dostat nový výrobek na trh v co nejkratším čase. Toho dosáhneme zavedením manuální výroby v první fázi, která je méně náročná v návržení a implementaci. Díky tomu získají inženýři čas na případné návržení automatizace manuálních linek, aniž by zastavili vlastní produkci výrobků. Další výhodou této metody je tedy možnost zavedení automatizace ve fázích s minimálním dopadem na produkci. Velkou výhodou je, že nevyvíjíme automatizovaný systém pro daný výrobek již od začátku, což by mohlo mít fatální dopad, pokud by o daný produkt nebyl očekávaný zájem.

2.2 Testování ve výrobě

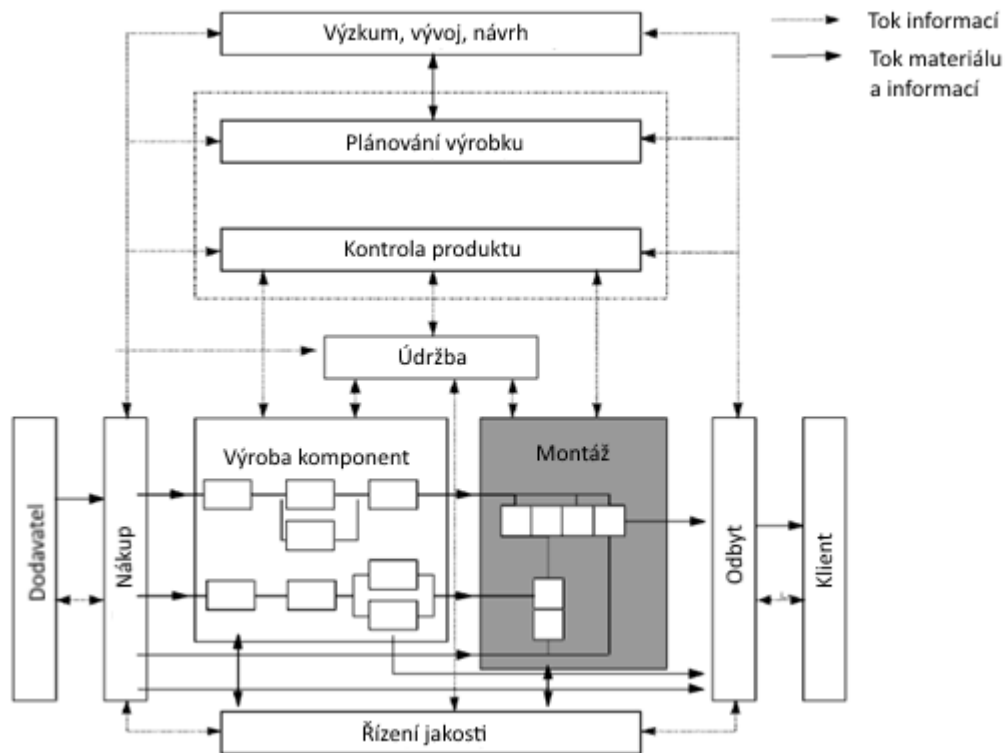
Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, v poslední době jsou při výrobě kladeny požadavky na vysokou kvalitu výrobků. Této kvality lze dosáhnout pomocí stoprocentní kontroly výrobků. Je tedy nutné přizpůsobit výrobní linky takovým způsobem, aby bylo možné zajistit u každého výrobku výstupní kontrolu funkcionality. Aby se vyhovělo požadavkům na kvalitu, je možné výrobní linky přizpůsobit takovým způsobem, aby probíhala inspekce výrobku po určitých mezikrocích.

3 JEDNOÚČELOVÉ VÝROBNÍ PROSTŘEDKY

Jednoúčelové stroje jsou chápány jako stroje určené pro speciální využití nebo funkci. Jednoúčelové stroje jsou ve většině případů vyráběny na zakázku. Z důvodu, že se tato práce zabývá návrhem softwaru pro jednoúčelové testovací zařízení, se omezíme čistě jen na problematiku testovacích a výrobních zařízení. Při zohlednění omezení byla věnována pozornost zejména testovacím zařízením a výrobním linkám. V několika případech, které jsme řešili v rámci projektů v NETME centre při spolupráci na realizaci komplexního systému výrobní linky a testovacího zařízení, jsme došli závěru, že většina takovýchto systémů je dodávána na klíč od úzce specializovaných firem a že teorie tedy v tomto odvětví zaostává za praxí. Z toho důvodu je několik následujících podkapitol věnováno shrnutí poznatků o jednoúčelových strojích získaných z literatury.

3.1 Montážní jednoúčelové stroje

Jednoúčelovým montážním strojem jsou výrobní a montážní linky. Definice montáže zní: jde o proces, při kterém jsou spojeny různé součásti a již připravené montážní bloky do kompletního montážního bloku nebo hotového výrobku[3]. Používají se montážní metody, které jsou aplikovány jako dávkový nebo kontinuální proces. Jedná se o celkový počet všech procesních kroků, které musí být na daném výrobku provedeny. Výrobní systémy jsou ve firmách děleny na podsystémy, kdy každý podsystém musí splnit zadané úkoly, aby se dosáhlo dostatečně kvalitního finálního výrobku. Rozdělení na podsystémy je zobrazeno na obrázku 2[3].



Obrázek 2. Proces zhotovení výrobku[3].

Montáž můžeme rozdělit na následujících pět částí: zásobování, nastavení, kontrola (testování), montážní práce a pomocné funkce, jak je patrné v obrázku výše.

3.2 Typy montáží

Jak již bylo zmíněno dříve, je nutné pečlivě provést nejen analýzu veškerých procesů, které mají být na daném výrobku provedeny, ale také veškerých ekonomických dopadů na cenu výrobku a zhodnocení navrácení investice do automatizované montáže. Do celkové výrobní ceny produktu je zahrnuta i náročnost návrhu montážní metody, která byla na zkompletování výrobku použita. Montážní systémy můžeme rozdělit na následující tři kategorie:

- Manuální montáž
- Účelové montážní systémy
- Flexibilní montážní linka

Při manuální montáži je zodpovědný za montáž a manipulaci s výrobkem operátor. Operátor se tedy na základě proškolení rozhoduje, jaký postup zvolit. V tomto systému do montáže vstupuje možnost chyby lidského faktoru. Pro urychlení výroby a omezení chyby lidského faktoru se operátorovi poskytují pracovní návody a monitorovací zařízení [3]. Na obrázku 3 je zobrazeno pracoviště pro manuální montáž.



Obrázek 3. Stanoviště manuální montáže[3].

Účelové montážní systémy jsou vytvořeny pro konkrétní produkty a skládají se z podavačů a z montážních přípravků na různých stanovištích, čímž usnadní operátorovi provedení dané operace.

Flexibilní montážní (programovatelné) linky jsou programovatelné modulární linky. Tyto linky je možné programově přizpůsobit na montáž rozdílných produktů. U flexibilních montážních linek existují velké finanční nároky na zařízení, ale jsou velice výhodné, pokud je nutné udržet nízké náklady na montáž výrobků. Flexibilní montážní linky se tedy vyplatí zejména při velkosériových výrobcích různých produktů.

3.3 Návrh automatického montážního systému

Hlavními důvody pro vyrobení automatického montážního systému jsou:

- Snížení nákladu na montáž
- Nárůst produktivity
- Zlepšení kvality produktů

I přesto, že u montážních linek požadujeme maximální flexibilitu, je stupeň automatizace v průmyslu stále poměrně nízký. V principu lze automatické montážní systémy rozdělit na tři kategorie, které bychom měli zohlednit při návrhu automatického montážního systému:

- Montážní stroje s krátkým cyklem
- Flexibilní a modulární montážní systémy
- Flexibilní montážní systém s průmyslovými roboty

3.3.1 Montážní stroje s krátkým cyklem

Montážní stroje s krátkým cyklem jsou stroje jednoúčelové. Jednoúčelové stroje jsou speciálně navrženy pouze pro jednotlivé montážní úkony. Doba průběhu jednoho cyklu na jednoúčelovém stroji se pohybuje v rozmezí 1 až 5 sekund. Tyto stroje je možné použít pro velkosériovou výrobu, kde výroba přesahuje i milion produktů každý rok. Montážní stroje s krátkým cyklem jsou většinou konstruovány modulárně s použitím standardizovaných komponentů manipulačního, spojovacího a dopravního vybavení. Díky použití standardizovaných prvků pro dopravu a manipulaci s montážní sestavou je možné v relativně krátkém čase přizpůsobit jednoúčelový stroj pomocí standardizovaných součástí na jiný výrobek. Montážní proces je kontrolován a monitorován pomocí za integrovaných kroků do montážního procesu. Kontrola a monitorování montážního procesu představují podstatný proces z pohledu kvality montáže a výsledného výrobku. V rámci jednoúčelových strojů jsou hojně využívány pneumatické pohybové prvky. Testování hotových výrobků je věnována praktická část této diplomové práce.

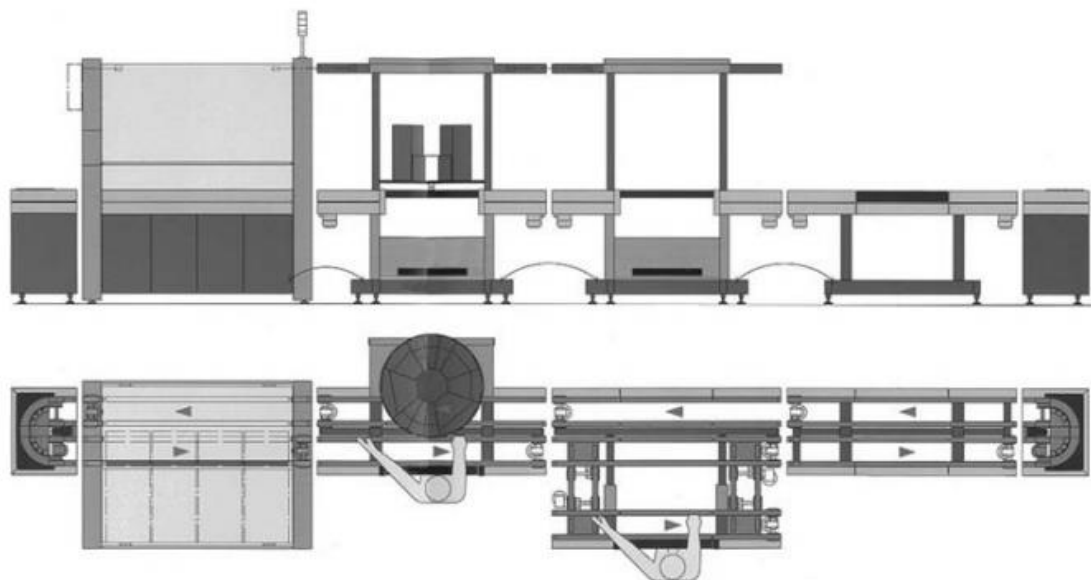
3.3.2 Flexibilní modulární montážní systém

Podstatu flexibility tvoří systém, který je modulární a všechny jeho podsystém jsou také konstruovány modulární cestou. Důležitým faktorem ovlivňujícím modulárnost systému je nezávislost na konstrukčním návrhu jednoúčelového montážního stroje. Modulárnost tedy musí být zohledněna již při výběru dopravních zařízení, řídicích a regulačních systémů. Kompletní modulární systém se skládá výhradně z částí, které jsou navrženy modulárně. Modulární koncepce takového systému zajišťuje následující:

- Velice snadnou modifikaci a další možnosti doplnění
- Schopnost přizpůsobení se různým okolnostem
- Vysokou úroveň dalšího použití
- Možnost rozšíření řídicí technologie

Flexibilní modulární systém obvykle pracuje v několikasekundových cyklech a bývá použit pro automatizované montážní linky pro velkosériovou výrobu různých variant produktů. Pro modulární montážní systém se využívá principu flexibilní

montážní linky. Jedinou možností, jak zajistit flexibilitu při spojení několika individuálních montážních stanic, je právě využití flexibilní montážní linky. U každé individuální montážní stanice je umožněno ukládání součástí, na které byla dokončena předcházející operace, do zásobníku podavače, což omezí prodlevy a omezí nežádoucí vlivy individuálních operací, technických poruch, výkyvů výrobních kapacit a dalších možných faktorů montážních linek.



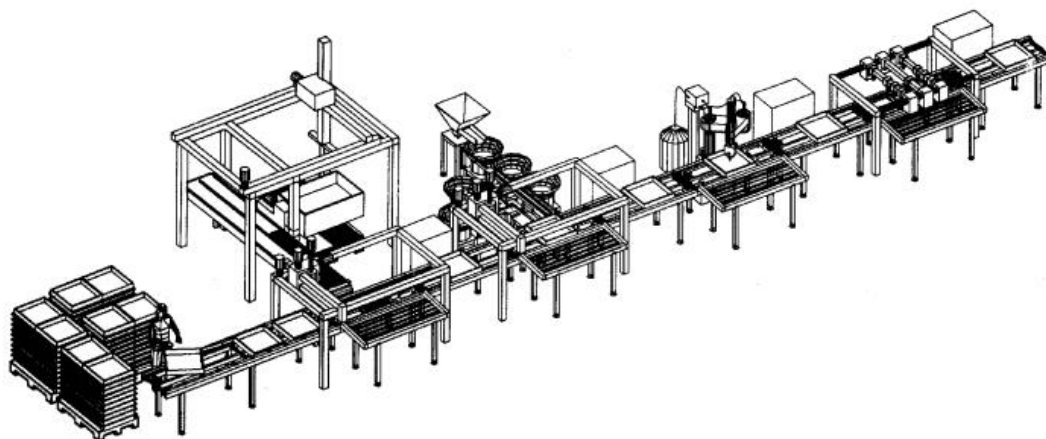
Obrázek 4. Modulární montážní systém[3].

3.3.3 Flexibilní montážní systém s průmyslovými roboty

Flexibilní montážní systémy s využitím potenciálu průmyslových robotů můžeme rozdělit do tří základních typů se specifickými strukturami:

- Flexibilní montážní linka
- Flexibilní montážní buňka
- Flexibilní linka montážního systému

Největší uplatnění nachází průmysloví roboti u flexibilních montážních linek. Flexibilní montážní linky jsou více či méně srovnatelné s flexibilními modulárními systémy, pokud přihlídneme ke konstrukci, vlastnostem a aplikacím. Doba jednoho cyklu flexibilní montážní linky bývá v rozmezí 15 až 30 sekund. Hlavní oblasti použití jsou automatizované montážní systémy s produkcí mezi třista tisíci a jedním milionem produktů ročně. Aplikace flexibilní montážní linky je ekonomicky výhodná zejména pro montáž produktů, které jsou vyráběny ve více variantách, anebo pro zhotovování produktů s krátkým životním cyklem. Flexibilitu montážních průmyslových robotů nyní s výhodou můžeme použít v rámci sestavování různých variant produktů. Průmyslový robot je schopen provést několik montážních procesů během jednoho montážního cyklu. Při aplikaci průmyslových robotů v rámci flexibilní montážní linky by tyto měli provádět maximálně 5 až 6 montážních operací s ohledem na rozsah doby pracovního cyklu linky.



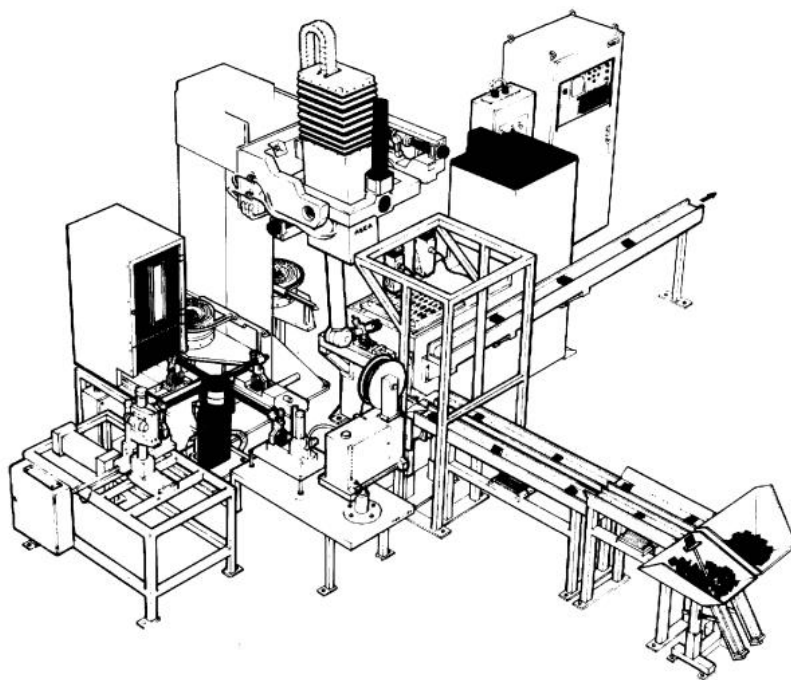
Obrázek 5. Flexibilní montážní linka[3].

Flexibilní montážní buňka je kompletně automatizovaná montážní stanice s jedním nebo dvěma montážními roboty. Jsou vhodné pro velké pracovní zatížení. Flexibilní montážní buňky provádí jen několik montážních procesů a ve většině případů jde o proces, kde výstupem je kompletní výrobek. Mohou být konstruovány se zaintegrováním speciálních operací jako lisování a svařování [3], čímž je značně omezena flexibilita montážní buňky a počet variant na montážního robota se redukuje na 8-10 pracovních kroků. Důvody pro omezení jsou následující:

- V montážním prostoru robota můžeme umístit pouze limitní počet periferních zařízení
- S vyšším počtem podsystémů roste riziko rušení a zpoždění celého systému.
- Velký počet periferních zařízení redukuje dostupnost systému pro údržbu, opravy a řešení problémů.

Velký počet montážních buněk je konstruován jako samostatná stanice bez propojení s ostatními montážními stanicemi. Flexibilní montážní buňky jsou používány pro automatizovanou montáž podsestav a nebo jednoduchých produktů s počtem do dvaceti rozdílných součástí. Ekonomicky výhodná doba cyklu je mezi 25 až 120

sekundami. Tento výrobní systém je vhodný pro montáž 50 000 až 500 000 produktů ročně a to v závislosti na rozsahu montážních operací. Nevýhodné je použití montážních buněk pro produkty s počtem rozdílných komponent větším než dvacet. Na obrázku 6 je zobrazen příklad flexibilní montážní linky s jedním osazeným robotem.



Obrázek 6. Flexibilní montážní buňka [3].

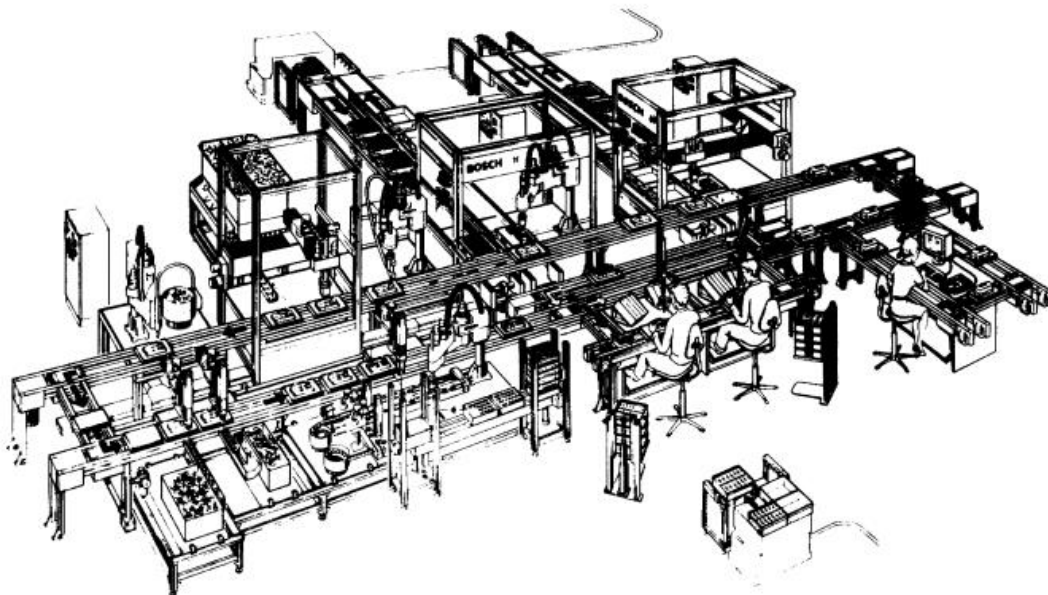
V průmyslu se často vyskytují případy produktů složených z větších počtů částí, kde je výroba menší než 500 000 produktů za rok. Abychom tyto produkty byli schopni zkompletovat automaticky, je možné procedury rozdělit mezi několik flexibilních linek a tím vytvoříme flexibilní systém montážních linek. Ke spojení více flexibilních montážních linek v systém flexibilních linek se používají dvě topologie a to:

- Permanentní
- Flex-link sekvence

Permanentní úsekové propojení znamená, že jsou propojeny montážní systémy navzájem. Takové propojení je vidět na obrázku 7. Tento způsob propojení montážních linek je vhodný pro automatizovanou montáž variant a typů produktů, u kterých jsou montážní operace obdobné.

Z důvodů, že v některých případech musí být provedeny velmi rozdílné montážní operace je použito flex-link propojení, jež umožňuje provést v následujícím kroku operaci, která je nezávislá na předcházejícím kroku. Jedná se tedy o více flexibilní způsob montáže než předchozí permanentní způsob. V systémech propojených flex-link topologií je produkt přenášen na speciálním transportním nosiči po montážní lince. Transportním zařízením jsou dopravníkové pásy nebo plastové rolny. Transportní zařízení se pohybuje kontinuálně a u každé montážní stanice je kontrolován transportní nosič, který je spojen s daným kusem. Podle pokynu zakódovaných v nosiči je operace provedena či nikoliv a je změněn index na nosiči.

V případě, že je zapotřebí větší montážní síly, musí být výrobek i s nosičem odebrán z transportního zařízení, aby nedošlo k poškození tohoto zařízení, a po provedení potřebné operace je vrácen zpět. Kódování se provádí elektronickým zápisem nebo přečtením z nosiče. Tímto způsobem je možné nahrát nové informace o provedených operacích na výrobku a zjistit, v jakém stavu se nacházejí veškeré výrobky na montážní lince[3]. Výrobce takovýchto speciálních transportních nosičů je například firma Bosch.



Obrázek 7. Montážní systém s technologií flex-link[3].

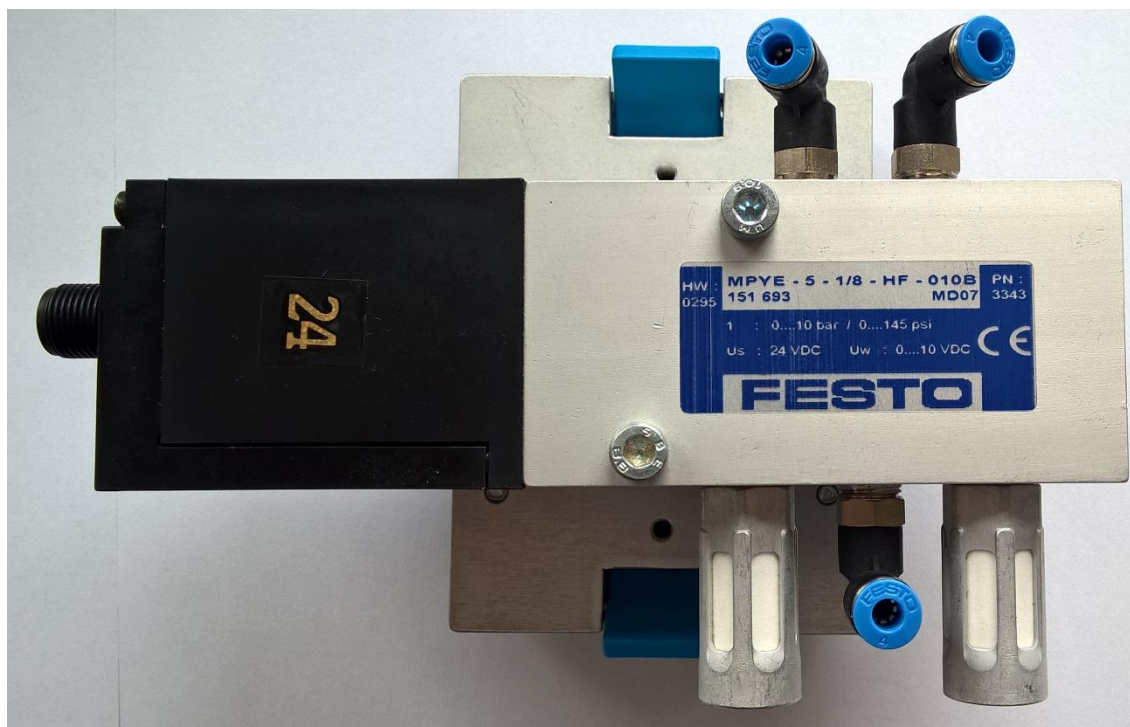
4 TESTOVÁNÍ PNEUMATICKÝCH VENTILŮ

Diplomová práce se zabývá návrhem testovacího zařízení pro pneumatický proporcionální ventil Festo MPYE. Z tohoto důvodu byla do diplomové práce zahrnuta tato kapitola, kde budou podrobně rozebrány možnosti testování pneumatických ventilů a také principy snímačů, které se nejčastěji v tomto odvětví průmyslu používají. U ventilů pro stlačený vzduch a kapalinu jsou měřenými veličinami tlaky a průtoky daného média. Pro testování pneumatických ventilů se využívají snímače tlaku a průtoku, které jsou popsány k závěru této kapitoly.

4.1 Zadaný výrobek pro testování

Pro účel této diplomové práce byl pro otestování zadán produkt firmy Festo. Firma Festo je jedním z předních výrobců pneumatických a elektronických automatizačních prvků. Z důvodu zadání pneumatického automatizačního prvku byl následně software navržen pouze pro testování pneumatických prvků, jako jsou proporcionální ventily a elektricky ovládané ventily.

Zadaným výrobkem je tedy produkt výše zmíněné firmy s typovým označením MPYE-5-1/8-HF-010B. Pod tímto označením je na trh uváděna řada průtokových proporcionálních ventilů. V následujících kapitolách je provedena důkladná analýza výrobku, abychom zjistili zásadní parametry, které je třeba na testovacím zařízení prověřit, aby byla ověřena funkcionálnost proporcionálního ventilu. Na obrázku 8 je zachycen námi testovaný výrobek.

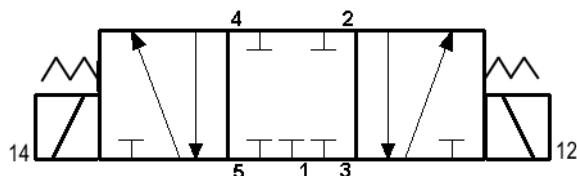


Obrázek 8. Testovaný výrobek MPYE-5-1/8-HF-010B

4.2 Princip funkce a popis výrobku

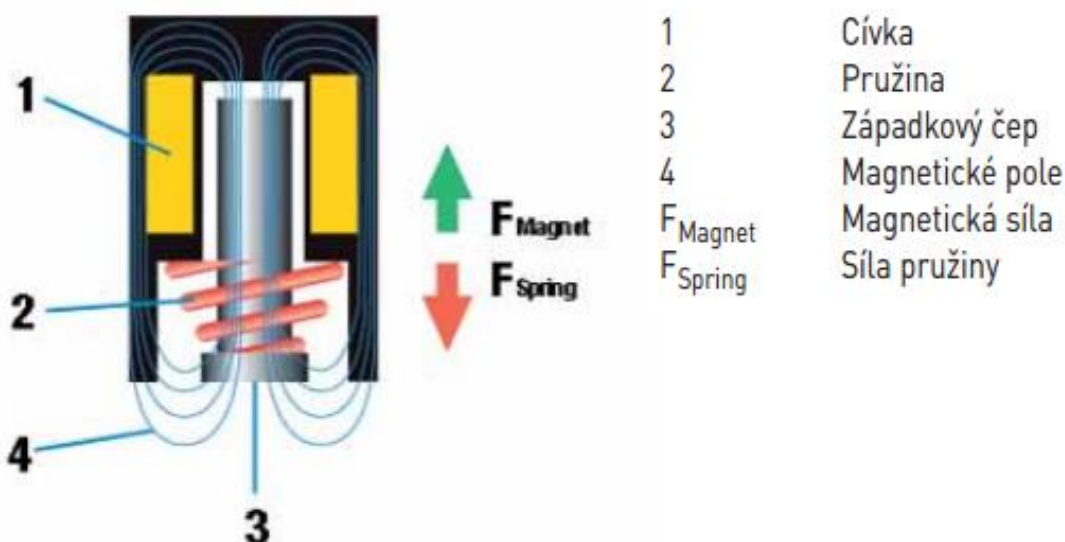
Principiálně lze funkci proporcionálního průtokového ventilu MPYE chápat jako kombinaci dvou pneumatických prvků. Zkombinovanými pneumatickými prvky jsou elektricky ovládaný pneumatický ventil typu 5/3 a škrticí ventil.

Elektricky ovládaný ventil typu 5/3 má následující schematickou značku v pneumatických schématech.



Obrázek 9. Elektricky ovládaný ventil typu 5/3

Z označení ventilu 5/3 jsme schopni určit počet cest ventilu a to z prvního čísla před lomítkem, v našem případě se tedy jedná o pěticestý ventil. Z druhého čísla zjistíme, že se jedná o ventil se třemi polohami. Ze schématu daného ventilu je vidět, že se jedná o monostabilní ventil 5/3. Označení monostabilní ventil znamená, že výchozí poloha je stabilní a je zaručená pomocí sil, které vyvolávají pružiny na šoupátko ventilu. Z výchozí polohy může být ventil vychýlen pomocí řídicích elektrických signálů 14 a 12 a po odeznění řídicího signálu se ventil vrátí do původní polohy. Ventil má pět označených cest pomocí čísel 2 4 jsou označeny výstupy, 5 a 3 jsou odfuky a číslo 1 značí vstup. Řídicí signál 12 převede ventil do stavu, kdy tlakový vzduch proudí ze vstupu 1 na výstup 2, stejně tak signál 14 převede ventil do stavu proudění vzduchu z vstupu na výstup 4. Mechanismus změny polohy ventilu je založen na elektromagnetickém principu, kdy proud procházející cívkou vytváří magnetické pole, které působí magnetickou silou na šoupátko. Šoupátko se přesune dle signálu do dané polohy, pokud je magnetická síla vyšší než síla vyvozená pružinou. Tento princip je naznačen na obrázku 10.

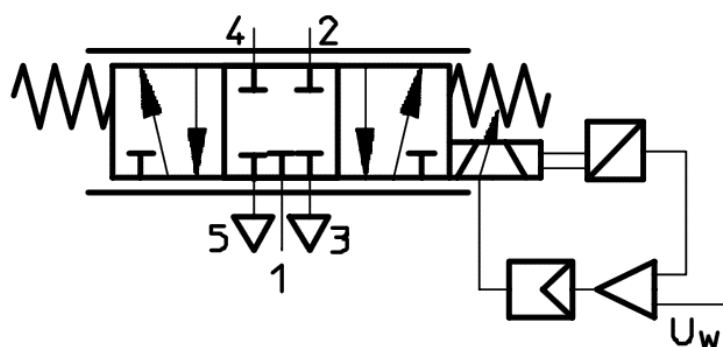


Obrázek 10. Síly působící na šoupátko[10].

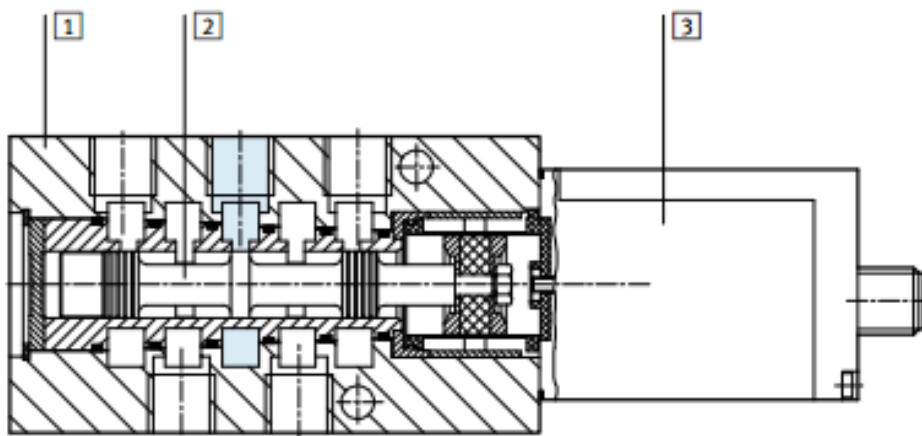
Elektricky řízené ventily se používají pro řízení pohybu pneumatických motorů a nebo pro řízení průtoků vzduchu pneumatickými rozvody.

Škrticí ventil slouží ke změně průtoku proudícího vzduchu. Ke změně průtoku dochází změnou průtočné plochy ve škrticím ventilu, která se mění pomocí nastavovacího šroubu. Pokud je změněn průtok, pak je závisle tomto parametru změněn i výstupní tlak. Škrticí ventily se vyrábějí buďto se škrcením na vstupu nebo na výstupu, popřípadě se škrcením obousměrným. Škrticí ventily se používají pro řízení rychlosti vysouvání a zasouvání pneumatických motorů.

Na konec se dostáváme k zadanému výrobku Festo MPYE. Jedná se o proporcionální ventil, který byl v přecházejících odstavcích rozebrán na dva pneumatické prvky. Proporcionální ventil je tedy používán pro řízení směru a rychlosti pohybu pneumatických motorů a to díky kombinaci vlastností dvou předcházejících pneumatických prvků. Zadaný ventil MPYE je typu 5/3. Střední poloha proporcionálního ventilu je uzavřená, tak jak je naznačeno na schématické značce na obrázku 11. V našem případě jde o přímo elektricky řízený ventil. Poloha šoupátka proporcionálního ventilu je řízena u zadaného výrobku analogovými napěťovými signály 12 a 14. Napěťový signál 12 je v rozmezí 0-5V, kdy při napětí 0V je dán maximální průtok výstupem 2 a při napětí 5V je průtok nulový. Napěťový signál 14 je v rozmezí 5-10V, kdy při napětí 10V je nastaven maximální průtok výstupem 4. Napěťovým signálem je tedy řízena velikost průtočné plochy, tím je nahrazen prvek škrticího ventilu pro řízení rychlosti a elektricky řízený ventil 5/3 pro změnu směru pohybu. Funkční řez ventilu MPYE je naznačen na obrázku 12.



Obrázek 11. Schématické značení proporcionálního ventilu Festo MPYE



Obrázek 12. Funkční řez ventilem MPYE. [10]

4.2.1 Využití proporcionálních ventilů

Proporcionální řízení se používá v řadě reálných aplikací. Mezi tyto aplikace patří využití pneumatického proporcionálního řízení v systémech, kde je nutná velmi rychlá odezva na vstupní řídicí signál a vysoká pohybová frekvence pneumotorů. Jednou z největších výhod je možnost práce mechanismu ve výbušném, vlhkém a horkém prostředí. Proporcionálních ventilů se využívá pro řízení technologických procesů a ovládání pohonů. Pneumatické systémy řízené proporcionálně se využívají v oblastech zdravotnictví, měřicích a kontrolních přístrojů, povrchových úprav a lakoven. Příkladem konkrétní aplikace jsou například válcování oceli, výroba celulózy, použití v textilních strojích a testovacích zařízeních.

Další možnost použití proporcionálního ventilu je jeho využití pro vytvoření regulátoru polohy lineárního pneumatického motoru, jedná se tedy o využití proporcionálního řízení. V kombinaci s vnějším regulátorem koncových poloh a odměřovacím systémem lze vytvořit přesný pneumatický polohovací systém.

4.3 Měření tlaku

Tlak je veličinou odvozenou. Pro měření tlaku je vycházeno ze základních definic.

První definicí tlaku je síla působící kolmo na ohraničenou plochu.

$$p = \frac{dF}{dS} \text{ (Pa; N, m}^2\text{)} \quad (1)$$

Druhá definice tlaku se zabývá tlakem hydrostatickým, který chápeme jako tlak sloupce vody o dané výšce a hustotě.

$$p = h \cdot \rho \cdot g \text{ (Pa; kg.mm)} \quad (2)$$

Jednotkou měřeného tlaku je pascal ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$). Absolutní tlak je vztažen k absolutní nule. Přetlakem a podtlakem rozumíme tlaky vztažené k okamžitému barometrickému tlaku. Jako vakuum je označován podtlak, který se blíží k absolutní nule. Pro proudící kapalinu se určuje celkový tlak (p_c), který je roven součtu tlaku statického (p_s) a tlaku dynamického (p_d). Díky rozdílným tlakům

v proudící kapalině jsme schopni určit i průtok. Průtok a jeho měření je věnována další kapitola.

$$p_c = p_d + p_s \quad (3)$$

Statický tlak p_s , je v celém průtočném průřezu stejný. Do dynamické tlaku p_d je zahrnut vliv stlačitelnosti proudícího média.

$$p_d = p_k \cdot s \quad (4)$$

Kinetický tlak p_k lze zjistit z rychlosti proudění a hustoty proudícího média.

$$p_k = \rho \cdot \frac{w^2}{2} \quad (5)$$

U nestlačitelných médií je kinetický tlak roven dynamickému, jelikož s je rovno jedné.

Přístroje pro měření tlaku se souhrnně nazývají tlakoměry. Podle velikosti měřeného tlaku a dle použití tlakoměrů můžeme tlakoměry rozdělit následovně [4]:

- Manometry – pro měření přetlaku,
- Vakuometry – pro měření tlaků blízkých absolutní nule,
- Manovakuometry – pro měření přetlaků i podtlaků
- Tahoměry – pro měření malých podtlaků
- Diferenční tlakoměry – pro měření tlakových diferencí.

Dále můžeme tlakoměry rozdělit podle principu funkce na:

- Zvonové a pístové – měřítkem tlaku je zdvih zvonu nebo hmotnost závaží na pístu známého průřezu.
- Kapalinové – měřítkem tlaku je výška kapalinového sloupce.
- Deformační – tlak je úměrný velikosti deformace pružného prvku.
- Elektrické – měřítkem tlaku je změna elektrické veličiny tlakově závislé.

V následující části je věnována pozornost principům snímačů, které by mohly být použity v rámci zpracování praktické části této diplomové práce. Jedná se tedy především o manometry, které jsou založeny na principu deformace pružných těles s převodem deformace na elektrickou veličinu.

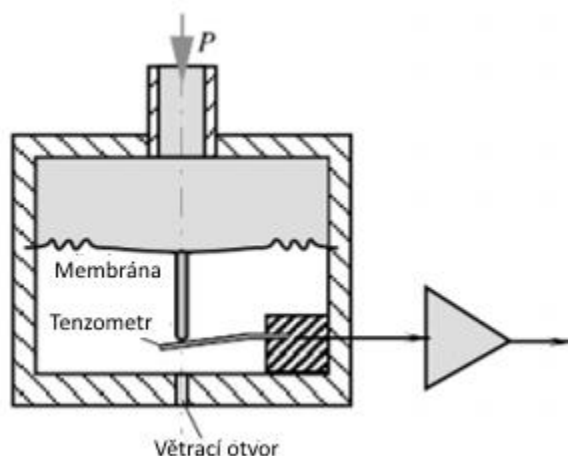
4.4 Snímače tlaku

Pro praktické části diplomové práce bylo nutné se seznámit s principy tlakových snímačů. Byly potřeba takové tlakové snímače, kde změna tlaku odpovídá změně elektrické veličiny. Změnu elektrické veličiny bylo nutné softwarově zpracovat. Jde o snímače, které mají lineární závislost na tlaku. Proto jsou v této části vybrány senzory splňující zmíněné vlastnosti. V této části práce nejsou zahrnuty veškeré principy tlakových snímačů, ale pouze ty nejběžněji používané v testování u pneumatických prvků.

4.4.1 Membránové tlakoměry

Jedná se o tlakoměry s deformačním členem. Deformačním členem u těchto snímačů je membrána, u které při zatížení tlakem dochází k deformaci. U dřívějších typů membránových snímačů byla deformace převáděna přes mechanismus přímo na

měřenou stupnici, ale moderní deformační snímače tlaku využívají převodníku mechanické deformace na elektrický výstup. V dnešní době se využívá různých materiálů membrán jako například pryže, nerezové oceli ale i křemíkových membrán. Používají se také různé konstrukce membrán jako například konvexní membránové krabice, složené membránové krabice nebo jednoduchá membrána. Princip membránového tlakoměru je zobrazen na obrázku 13.



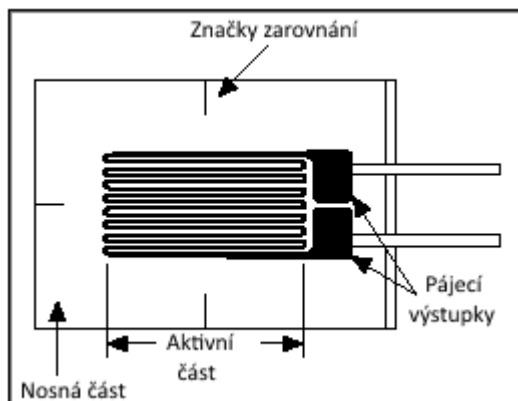
Obrázek 13. Princip membránového tlakového snímače[5].

Na obrázku je zobrazen membránový tlakoměr měřící relativně, tedy proti aktuálnímu atmosférickému tlaku, kde vstup měřeného media je označen na obrázku písmenem P a vstup atmosférického tlaku je umožněn pomocí ventilační díry a rozdíl tlaku je měřen pomocí tenzometru[5].

4.4.2 Typy převodníků u membránových tlakoměrů

Pro získání signálu ze snímače, musí být převedena deformace membrány na elektrický signál pomocí převodníku. V následujících řádcích jsou shrnuty základní principy převodníků používaných u membránových snímačů tlaku. Mezi základní převodníky patří:

Převodníky tenzometrické, které jsou založeny na principu změny odporu při deformacích kovového drátku v rámci pružných deformací (Hookův zákon). Odporové tenzometry mohou být kovové nebo polovodičové. Kovové odporové tenzometry se zhotovují z odporového drátku o průměru 0.02 až 0.05 mm, který je ve tvaru násobné vlásenky nalepen na podklad z papíru nebo plastu, jak je vidět na obrázku 14.



Obrázek 14. Drátkový tenzometr[5].

Konce odporového drátu jsou připájeny k vodičům. Speciální tenzometry složitých tvarů se vyrábějí odleptáváním odporové folie, tyto mají lepší vlastnosti než tenzometry drátkové. Tenzometry se lepí speciálními lepidly na siloměrný člen, kterým může být přímo membrána nebo nosník. Odpor vodiče před deformací můžeme zjistit dle následujícího vzorce:

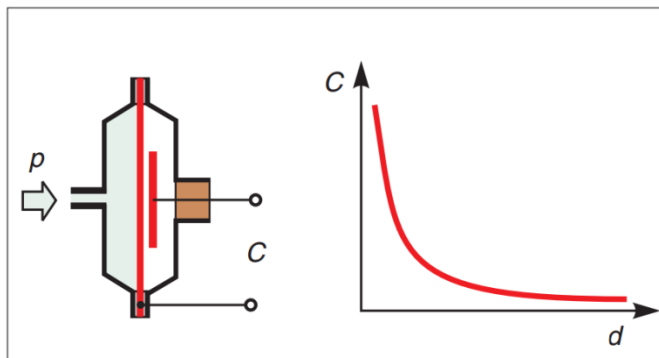
$$R = \rho \cdot l/S \quad (6)$$

Kde ρ je měrný odpor vodiče, l délka odporového vodiče a S je průřez vodiče. Při působení tlaku je tenzometr deformován. V důsledku deformační síly se změni odpor o ΔR to z důvodu změny délky o Δl vodiče, průřezu vodiče o ΔS a vlivem změny struktury i měrný odpor $\Delta\rho$. Tedy například při namáhání tahem se odpor drátů zvětšuje. Pro malé změny platí:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta\rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} \quad (7)$$

Tento typ převodníku může být použit pro měření tlaků relativních i absolutních a stejně jako pro měření tlaků měnících se v malém rozmezí tak i pro měření diferenčních tlaků. Přesnosti tenzometrických převodníků se pohybuje od 0.1% do 0.25% plného rozsahu přístroje[6].

Převodníky kapacitní jsou založeny na principu deskového kondenzátoru, kdy jednu deskovou elektrodu tvoří membrána. Membrána je deformována vlivem tlaku a uvažujeme-li jednoduchý deskový kondenzátor, v tom případě se působením tlaku mění vzdálenost elektrod a díky tomu i kapacita kondenzátoru. Na obrázku 15 je zobrazen princip kapacitního snímače.



Obrázek 15. Princip kapacitního snímače tlaku a graf závislosti kapacity na vzdálenosti desek kondenzátoru[6].

Pro výpočet kapacity deskového kondenzátoru platí vztah [8]:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} \quad (8)$$

Kde S je plocha elektrod, d je vzdálenost elektrod, ε_0 je permitivita vakua a ε_r je relativní permitivita. Kapacitní snímače můžeme využít i jako snímače diferenčního tlaku při použití dvojitého kondenzátoru, kdy střední pohyblivou elektrodou je membrána. U kapacitních snímačů je charakteristika nelineární proto vyhodnocovací obvody musí být vybaveny linearizačním členem[6]. Převodníky kapacitní dosahují lepší přesnosti, 0,1% z měřené hodnoty nebo přesnosti 0.01% z plného rozsahu přístroje[5].

Další typ představují převodníky fungující na principu změny odporu piezoelektrického materiálu vlivem působení tlaku. U moderních snímačů může být i membrána vyrobena z křemíku, kde vzhledem k výborným elastickým charakteristikám monokrystalu křemíku prakticky nedochází k žádné hysterezi[5]. V principu se jedná o polovodičové tenzometry (piezorezistory) vyrobené z monokrystalu křemíku a to řezáním, broušením nebo leptáním. Fyzikálním principem je mechanické namáhání v dané krystalografické ose monokrystalu polovodiče anebo v difuzní vrstvě, kdy dochází ke změně pohyblivosti nosičů nábojů a tím se mění elektrická vodivost a odpor snímače. U polovodičových tenzometrů nalezneme nelineární závislost odporu na deformaci a teplotě. Pokud je polovodičový rezistor namáhaný, pak se změní jeho odpor z hodnoty odporu R na hodnotu ΔR . Tuto změnu můžeme popsat vzorcem:

$$\frac{\Delta R}{R} = k_1 \varepsilon + k_2 \varepsilon^2 \quad (9)$$

Citlivostní deformační koeficient k' u polovodičových tenzometrů s ohledem na předcházející rovnici vyjádřit jako:

$$k' = k_1 + k_2 \varepsilon \quad (10)$$

Pro polovodiče typu P nabývá konstanta k_1 kladných hodnot a odpor tenzometru při namáhání tahem roste, u polovodičů typu N je k_1 záporný a odpor při namáhání tahem klesá. V porovnání s kovovými tenzometry jsou polovodičové tenzometry mnohem citlivější. U piezoelektrických převodníků uvažujeme přesnost z plného rozsahu typicky 1%.

4.5 Měření průtoku

Průtok je definován jako objem popřípadě hmotnost proteklé za jednotku času. Využívá se dvou principů měření průtoku a to principu rychlostního a objemového. Objemové měření průtoku je definováno jako množství tekutiny proteklé za jednotku času ustáleným objemem, popřípadě hmotností v závislosti na čase viz následující vzorce:

$$Q_v = \frac{V}{t} \text{ (m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{)} \quad (11) \qquad Q_m = \frac{m}{t} = \frac{V}{t} \cdot \rho \text{ (kg} \cdot \text{s}^{-1}\text{)} \quad (12)$$

kde označení Q_v objemový průtok, V je objem, t je čas, Q_m hmotnostní průtok, a ρ hustota.

Rychlostní měření průtoku je definováno střední rychlostí proudění w a průřezem S , kterým tekutina protéká:

$$Q_v = \bar{w} \cdot S \quad (13) \qquad Q_m = \bar{w} \cdot S \cdot \rho \quad (14)$$

U rychlostního měření se využívá dvou principů. V prvním případě je střední rychlost dána jako funkce průtoku při konstantním průřezu a ve druhém případě jde o změnu průtočného průřezu při konstantní střední rychlosti proudění.

Dle principu tedy dělíme průtokoměry na:

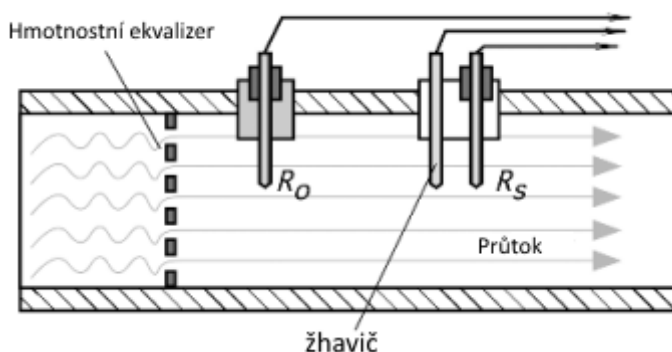
- Objemové: s přerušovanou nebo cyklickou činností
- Rychlostní: rychlostní sondy, škrticí orgány, kolenové, plováčkové, ultrazvukové, vírové, indukční.

4.6 Průtokoměry

Pro praktickou část diplomové práce bylo nutné seznámit se i s principy průtokoměrů, které by mohly být využity pro měření parametrů zkoušeného proporcionálního ventilu. Jelikož se v praxi běžně měří průtokové charakteristiky a také úniky tlakového vzduchu právě ventilem, jsou pro tato měření průtokoměry nezbytné. Jedná se tedy o přístroje k měření lineárního či nelineárního hmotnostního nebo objemového průtoku kapalin nebo plynů.

4.6.1 Termoanemometr

Jedná se o senzor hmotnostního průtoku vhodný k měření průtoku proudících plynů nebo kapalin. Je založen na principu ochlazování žhaveného drátu z wolframu. V případě, že je drát vložen do proudícího plynu, je drát prouděním plynu ochlazován a právě z dané intenzity ochlazování lze odvodit hmotnostní průtok plynu. Pro měření se používají dva způsoby regulace a to udržování konstantního teplotního rozdílu, nebo udržování konstantního příkonu do snímacího elementu. V praxi je vhodnější využít snímače s regulací pro udržování konstantního teplotního rozdílu mezi ohříváním snímačem a referenčním snímačem[5]. Termoanemometr se skládá ze tří částí a to z referenčního snímače, žhaveného snímače a žhaviče, tato konstrukce je naznačena na obrázku 16:



Obrázek 16. Konstrukce termoanemometru[5].

Základní vztah pro termoanemometr je následující:

$$\Delta Q = kl \left(1 + \sqrt{\frac{2\pi\rho cdv}{k}} \right) (T_s - T_0) \quad (15)$$

kde k a c tepelná vodivost a měrné teplo, ρ hustota proudícího media, l délka snímače, d průměr snímače, v rychlost proudícího media, T_s teplota žhaveného snímače a T_0 je teplota neovlivněného media žhavením.

Žhavené průtokoměry se s výhodou používají pro přesné měření malých průtoků. Při normálních průtocích se chyby měření obvykle nacházejí v rozmezí 1% - 2% z plného rozsahu[5].

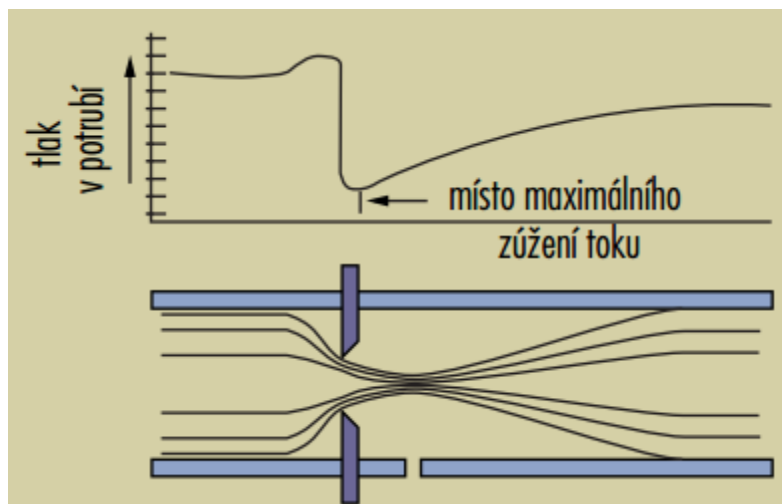
4.6.2 Měření průtoků pomocí clony

U měření průtoků pomocí clony se jedná o měření nepřímé, průtok je určen z tlakového rozdílu měřeného před a za škrticím orgánem. Kde škrticí clona způsobuje trvalou tlakovou ztrátu která je větší v případě většího průtoků redukovaným průřezem, nebo při větším redukování průřezu clony[4]. Objemový průtok můžeme určit z rovnice:

$$Q_v = \alpha \cdot \varepsilon \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p}{\rho}} \quad (16)$$

Kde α průtokový součinitel škrticího orgánu, ε expanzní součinitel, d průměr otvoru clony, Δp rozdíl tlaků měřený na cloně, ρ hustota měřeného media.

Při normálních podmínkách má clona celkovou přesnost v rozmezí 2% až 5%



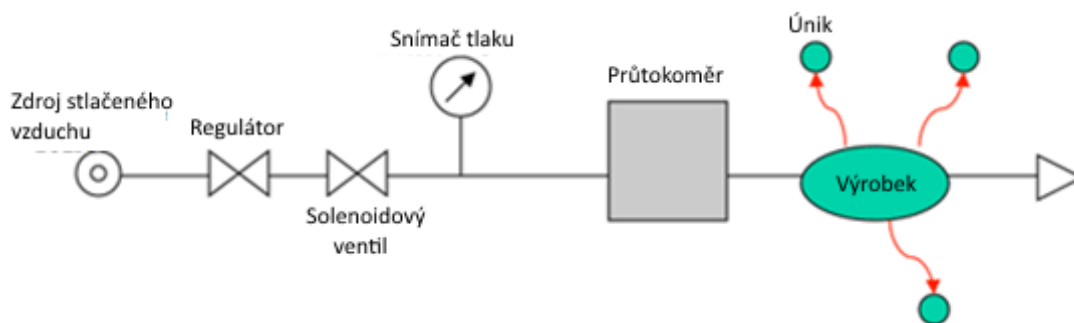
Obrázek 17. Měření průtoku clonou [5].

4.7 Metody detekce úniků stlačeného vzduchu

Detekce úniku média proporcionálním ventilem je jedním ze základních výrobních testů u ventilů. Pokud při testování úniku ventilem uniká větší než definované množství média, musí být předělán nebo vyřazen, v žádném případě se nesmí dostat k zákazníkovi. Jelikož u testovaného výrobku FESTO MPYE je střední uzavřená poloha i bezpečnostní, nesmí tedy skrze ventil unikat medium, díky kterému by například mohlo dojít k pohybu pneumotoru. Z tohoto důvodu zde budou uvedeny základní principy testování úniku média. V podstatě se dá testování úniku rozdělit na dva principy a to testování měřením průtoku a testování měřením tlaku. Dříve se používaly metody ponoření ventilu do bazénku s vodou, kde byly opticky detekovány bubliny unikajícího plynu.

4.7.1 Detekce úniku měřením průtoku

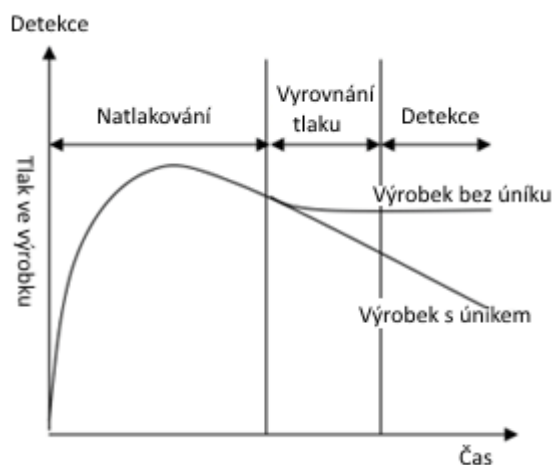
V prvním kroku testování úniku média měřením průtoku proudícího plynu je celý obvod otevřen a je na něj aplikován testovací tlak ze zdroje vzduchu o určitých parametrech. Po natlakování obvodu na tlak požadovaný v testu, je přívod vzduchu odpojen pomocí uzavíracího ventilu. Nyní můžeme přistoupit k měření průtoku uzavřeným ventilem. Pokud jsou ventil a celý obvod dokonale těsné, nejsme schopni změřit průtok, to znamená, že ventil vyhověl a je v pořádku. Avšak v případě pokud ventil byl například nedokonale smontován, chybí těsnění nebo tělo ventilu není dokonale těsné, pak jsme schopni skrze proudění plynu do atmosféry naměřit průtok média. Tato metoda je velmi často využívána v technické praxi u výrobců pneumatických zařízení[9]. U této metody jsou vysoké náklady na pořízení průtokoměrů, kdy pro měření průtoku ventilem a testování úniku nemůžeme použít stejný průtokoměr. Pro měření malých průtoků a úniků jsou zejména vhodné termoanemometry. Princip testování úniku vzduchu je naznačen na obrázku 18. Pro realizaci tohoto typu měření průtoku je zapotřebí zdroj tlakového vzduchu, regulátor tlaku, ventil pro uzavření obvodu, tlakoměr, průtokoměr a testovaný výrobek.



Obrázek 18. Princip testování úniku vzduchu měřením průtoku[9].

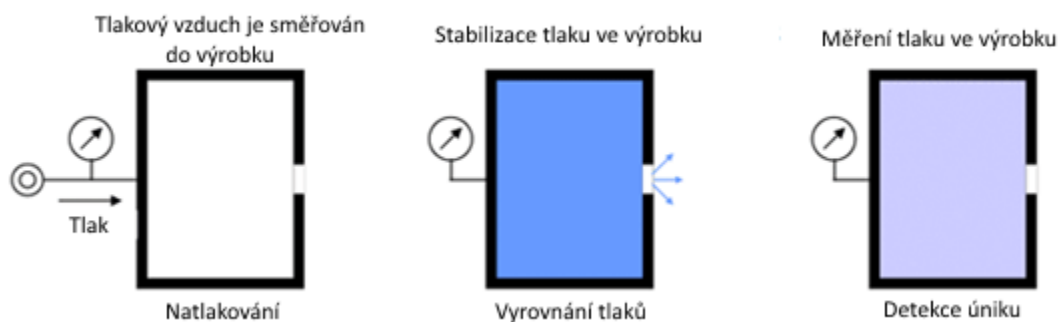
4.7.2 Detekce úniku přímým měřením poklesu tlaku

Při metodě zjištění úniku přímým měřením tlaku je měřen pokles tlaku v závislosti na čase testování. V principu jde o uzavřený obvod, který je uzavřen ventilem, který má být testován. Do obvodu je připojen zdroj stlačeného vzduchu a po dosažení testovacího tlaku je zdroj stlačeného vzduchu odpojen. Tlakoměr v této době snímá testovací tlak, který se nějakou dobu ustaluje, což je důsledkem natlakování obvodu, díky kterému dochází k oteplení stlačeného vzduchu a tím i ke změnám tlaku. Po ustálení tlaku je již měřen případný únik stlačeného vzduchu. Jelikož je objem testovaného zařízení konstantní, případný pokles tlaku znamená únik stlačeného vzduchu. Průběh tlaku v závislosti na čase a rozdíl mezi dobrým výrobkem a výrobkem nespĺňující požadavky těsnosti je na obrázku 19[9]. Jedná se opět o metodu používanou v průmyslové praxi, ale jsou zde vyšší nároky na přesnost tlakoměrů a také požadavek na delší testovací čas netěsnosti výrobku. Z důvodu, aby bylo možné prokázat těsnost nebo netěsnost výrobku s miniaturním únikem stlačeného vzduchu, je nutné zvolit vyšší časový interval testu.



Obrázek 19. Pokles tlaku v závislosti na čase[9].

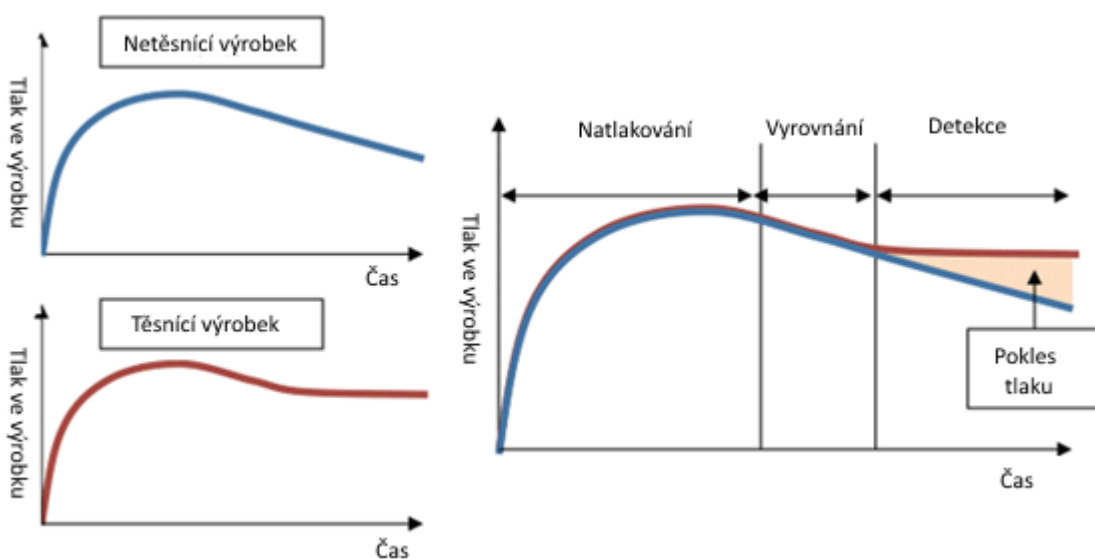
Na obrázku 20 je naznačen princip testování úniku přímým měřením tlakového poklesu.



Obrázek 20. Princip detekce úniku přímým měřením tlakového poklesu [9].

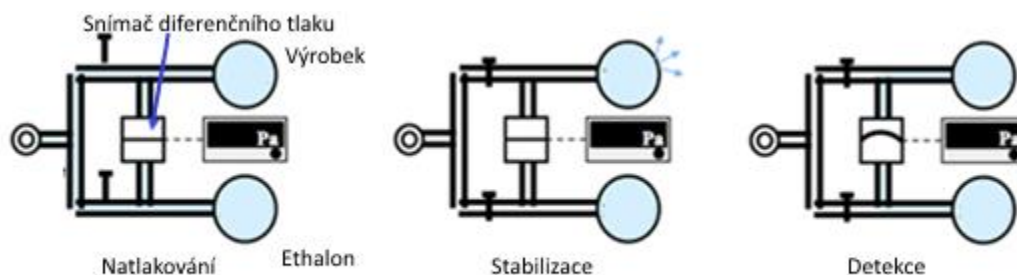
4.7.3 Detekce úniku měřením diferenčních tlaků

Tato metoda je velice podobná předcházející, je však rozšířena o testování výrobku v porovnání s dokonalým výrobkem neboli etalonem se zaručenými vlastnostmi, kdy je tento test stejný jako předchozí, pouze se neměří přímo tlak na výrobku, ale měří se difference tlaků po natlakování a následném ustálení. Opět pokud výrobek nebude dokonale těsný, projeví se únik jako pokles tlaku oproti tlaku měřenému na etalonu. Průběh tlaku výrobku a etalonu je na obrázku 21.



Obrázek 21. Měření tlakové difference mezi etalonem a výrobkem.

Princip měření porovnání etalonu a výrobku je vidět na obrázku 22 [9].



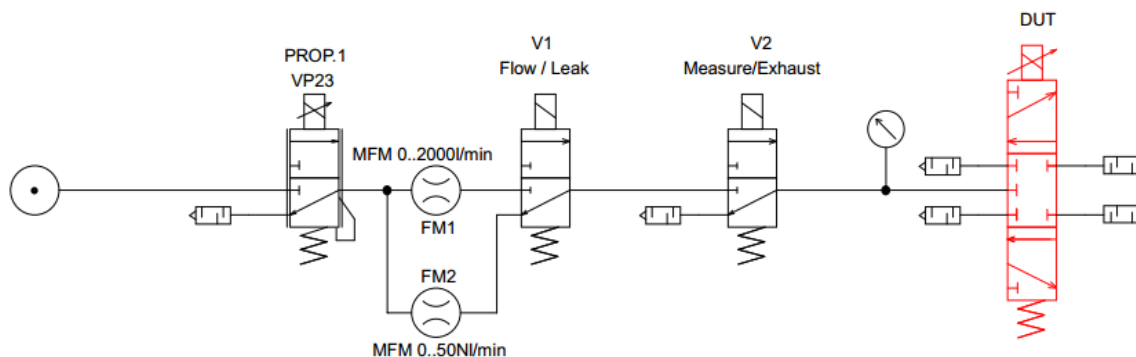
Obrázek 22. Princip testování úniku vzduchu měřením tlakové difference[9].

4.8 Pneumatické schéma zapojení pro testování ventilů

V této kapitole jsou naznačeny ve firmách používaná pneumatická zapojení pro testování proporcionálních popřípadě elektricky ovládaných ventilů. Testovací zařízení bývají v mnoha případech součástí přímo výrobní linky, aby bylo možné v co nejkratším čase otestovat veškeré vyrobené ventily. U proporcionálních ventilů je pro ověření funkčnosti ventilu zapotřebí měřit minimálně dvě veličiny. Těmi jsou průtok a tlak. Snímače pro měření průtoku a tlaku, které lze použít pro měření stlačeného vzduchu, byly popsány v předcházejících kapitolách.

4.8.1 Pneumatické zapojení testeru s dvěma průtokoměry

Pro testování úniku a průtoku testovaným ventilem bylo v tomto případě zvoleno zapojení se dvěma průtokoměry. FM2 je termoanemometr, kterým jsme schopni zaznamenat i malý průtok stlačeného vzduchu a je v tomto zapojení ventilem testovaným pro měření úniku vzduchu. Testovaný ventil je v tomto pneumatickém schématu označen jako DUT (device under test). FM1 je opět termoanemometr. Dále jsou v tomto pneumatickém schématu použity: zdroj stlačeného vzduchu, snímač tlaku, předřazený regulátor tlaku vzduchu a tři elektricky ovládané ventily 3/2 označené jako PROP1, V1 a V2.



Obrázek 23. Testovací zařízení s dvěma průtokoměry.

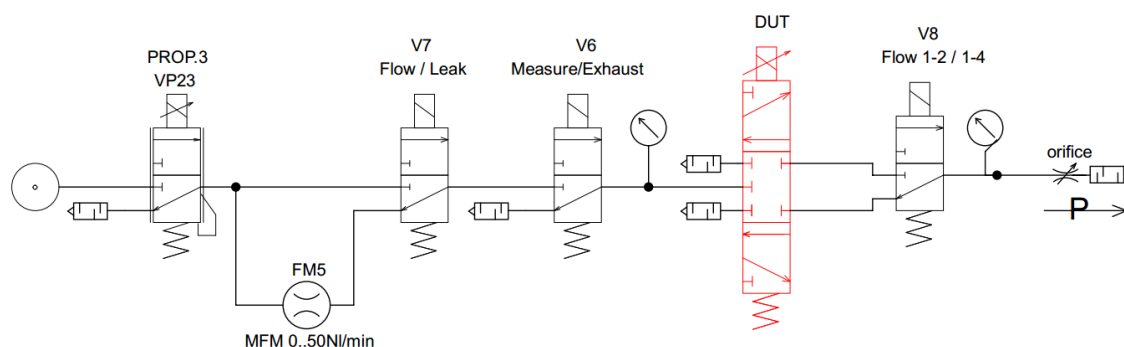
Testování úniku v tomto pneumatickém zapojení probíhá následovně: PROP1 je sepnut do průchozí polohy, ventil V1 je přepnut do polohy leak a V2 do polohy

measure. Při takto otevřeném obvodu je snímán tlak před testovaným ventilem, při natlakování obvodu na požadovaný tlak dojde k uzavření obvodu přes regulátor tlaku. Tímto došlo k uzavření pneumatického obvodu a nyní můžeme testovat únik vzduchu metodou měření úniku za pomoci měření průtoku termoanemometrem FM2, která byla popsána výše.

Testování průtoku ventilem probíhá v tomto pneumatickém zapojení následovně: PROP1 je sepnut do průchozí polohy, ventil V1 je přepnut do polohy flow a V2 je přepnut do polohy measure. Následně je proporcionální testovaný ventil postupně otevřen v plném rozsahu obou otevřených poloh a jsou měřeny průtokové charakteristiky ventilu v závislosti na ovládacím napětí přes průtokoměr FM1.

4.8.2 Pneumatické zapojení testeru s průtokoměrem a clonou

V tomto pneumatickém schématu probíhá testování úniku a je na stejném principu jako v předcházejícím pneumatickém zapojení. Z toho důvodu je v textu věnována pozornost pouze testování průtoku pomocí měření clonou. Testování průtoku v tomto pneumatickém schématu probíhá následovně: PROP3 je sepnut do průchozí polohy, V7 je sepnut do polohy flow, V6 je sepnut do polohy measure, testovaný ventil je otevírán v rámci celého rozsahu a V8 je spínán podle toho, jaký kanál je u testovaného ventilu otevřen. Následně je měřen průtok testovacím obvodem pomocí clony, princip byl naznačen výše. Jsme tedy schopni opět naměřit průtokovou charakteristiku testovaného ventilu v závislosti na řídicím napětí.



Obrázek 24. Testovací zařízení s průtokoměrem a clonou.

4.8.3 Zhodnocení používaných pneumatických zapojení

Tato pneumatická zapojení testování jsou reálně používaná u výrobců pneumatických zařízení. Tato testovací zařízení nejsou určena pouze pro testování proporcionálních ventilů, ale mohou být použita i pro elektricky řízené ventily podobných parametrů a průtoků, stejně tak testování úniku vzduchu může být použito i pro jiné výrobky dané firmy. U testování úniků jsme schopni díky použití termoanemometru dosahovat přesnosti 1 až 2% z plného rozsahu, což je pro pneumatické zařízení dostačující. Této přesnosti jsme schopni dosahovat, opět při použití termoanemometru, také u měření průtokových charakteristik. Při použití testování průtoku v závislosti na řídicím napětí a měření průtokových charakteristik pomocí clony jsme schopni běžně dosáhnout přesnosti 2 až 5%.

Vzhledem k omezení vzniklém na základě vybavení pneumatické laboratoře našeho ústavu, musel být navržen jiný způsob zapojení vycházející z poznatků zmíněných v této kapitole. Pro diplomovou práci byl pro testování průtoku zvolen jiný způsob měření, než byl naznačen v předcházejících kapitolách. Proto, že laboratoř pneumatiky nebyla vybavena potřebnými průtokoměry, byla použita metoda porovnávání etalonu s výrobkem. Řešení tohoto problému je popsáno v praktické části diplomové práce.

5 TESTOVÁNÍ VÝROBKU PNEUMATICKÉHO VENTILU

Tato část diplomové práce byla věnována praktické stránce diplomové práce. V této části je vytvořen návrh postupu pro vytvoření testovacího zařízení včetně softwarové realizace. Navržený postup byl následně kompletně dodržen při vytváření této části práce.

5.1 Návrh postupu pro realizaci testovacího zařízení

Hlavní částí diplomové práce bylo sestavení testovacího zařízení, kde byl kladen největší důraz na samotný software řídicího testovacího zařízení. Abychom mohli přejít vůbec k návržení softwaru pro tester, bylo nutné vytvořit postup. Jelikož při práci byl zadán pouze výrobek, který se má otestovat na funkčnost, byl vytvořen následující postup, kde ke každému z bodů postupu je věnována vlastní podkapitola.

- Parametry výrobku
- Návrh testování výrobku
- Pneumatické schéma testovacího zařízení
- Návrh DAQ a snímačů pro testovací zařízení
- Realizace testovacího zařízení
- Návrh software
- Realizace software
- Testování software
- Realizace a provedení testu na výrobku
- Modularita software
- Zhodnocení a závěr této kapitoly

Navržený postup byl následně dodržen, aby vedl ke splnění cílů diplomové práce, kterými jsou návržení výrobního testu, zvolení DAQ hardware a potřebných snímačů. Hlavním cílem práce je návrh, realizace softwaru a následné ověření jeho funkcionality.

5.2 Parametry proporcionálního ventilu

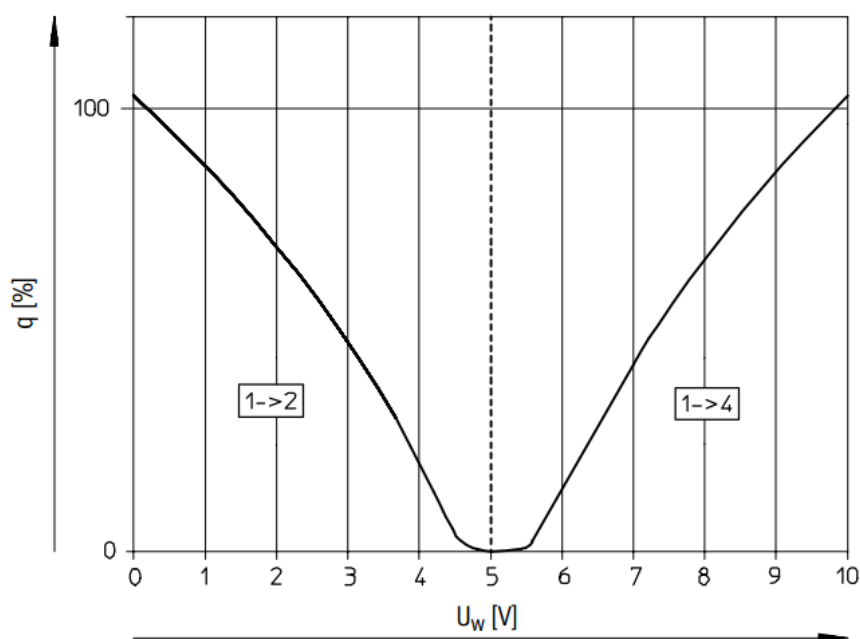
Při zadání diplomové práce byl zadán konkrétní typ proporcionálního ventilu k otestování a to Festo MPYE-5-1/8-010B. Dle manuálu, lze typové označení rozdělit na části:

- Typ: MPYE – proporcionální průtokový ventil
- Funkce ventilu: 5 – funkce ventilu 5/3
- Připojení pneumatiky: 1/8 HF – G1/8 High flow (velký průtok)
- Ovládací signál: 010 – analogový napěťový signál 0-10 V
- Generace: B – Řada B

Obecné technické údaje pro Průtokový ventil MPYE-5-1/8-HF-010B:[10]

| | |
|----------------------------|------------------------------|
| Normální jmenovitý průtok: | 0-700 l/min |
| Provozní tlak: | 0-10 bar |
| Funkce ventilu: | 5/3, střední poloha uzavřena |

| | |
|----------------------------|---|
| Konstrukce: | Pístové šoupátko, přímé ovládání, řízená poloha |
| Princip těsnění: | Keramika |
| Druh ovládání: | Elektrické |
| Návrat do základní polohy: | Magneticky |
| Typ řízení: | Přímé |
| Směr proudění: | Nelze obrátit |
| Upevnění: | Průchozími otvory |
| Montážná poloha: | Libovolná |
| Provozní medium: | Filtrovaný stlačený vzduch, nemazaný, Jemnost filtrace 5 μm |
| Jmenovitá světlost: | 6 mm |
| Hmotnost výrobku: | 330 g |



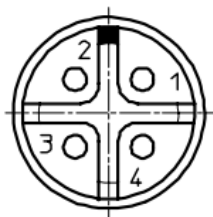
Obrázek 25. Průtok q v závislosti na požadované hodnotě napětí U [10].

Elektrické údaje pro ventil MPYE-5-1/8-HF-010B

| | |
|------------------------|----------------------|
| Napájení: | 17-30 V DC |
| Max. proudový příkon | |
| ve střední poloze: | 100 mA |
| při plné výchylce | 1 100 mA |
| Požadovaná hodnota | |
| Napěťový typ: | 0 – 10 V DC |
| Proudový typ: | 4-20 mA |
| Max. hystereze: | 4 % |
| Střední poloha ventilu | |
| Napěťový typ: | 5 ($\pm 0,1$) V DC |
| Proudový typ: | 12 ($\pm 0,16$) mA |
| Doba sepnutí: | 100 % |
| Mezní frekvence: | 100 Hz |

| | |
|---------------------------|---|
| Bezpečnostní nastavení: | při přerušení kabelu požadované hodnoty aktivní návrat do střední polohy. |
| Ochrana proti přepólování | |
| Napět'ový typ: | pro všechna elektrická připojení |
| Proudový typ: | pro požadovanou hodnotu |
| Stupeň krytí: | IP65 |
| Elektrické připojení: | zásuvka, 4 piny, kulatá, M12x1 |

Konektor pro elektrické připojení ze zobrazen na obrázku 26 a nese označení KMPYE.



- 1 24 V DC, napájecí napětí
- 2 GND
- 3 U_W/I_W , zadání požadované hodnoty
- 4 GND

Obrázek 26. Konektor KMPYE pro připojení MPYE[10].

5.3 Návrh testu zařízení

Po zjištění parametrů výrobku bylo možné začít přemýšlet nad způsobem testování zadaného ventilu. Bylo nutné zjistit zásadní parametry, které jsou podstatné pro zajištění funkcionality výrobku. Pro tyto parametry byl následně navržen postup testování, díky kterému bylo možné přejít k dalšímu kroku navrženého postupu a to volbě DAQ zařízení a snímačů potřebných pro testování. Pneumatické a elektrické schéma testeru je navrženo v kapitole zabývající se DAQ zařízením a snímači.

5.3.1 Určení parametrů pro testování

Mezi základní vlastnosti proporcionálního ventilu patří rychlá změna průtoku a změna směru proudění vzduchu. Tyto parametry jsou řízeny napět'ovým signálem 0-10 voltů. Je tedy nutné z hlediska funkcionality ověřit výše deklarovanou závislost průtoku na řídicím signálu a změnu směru proudění opět v závislosti na napět'ovém signálu. Tyto závislosti je nutné prověřit pro různé napájecí napětí ventilu, které je v rozmezí 17 až 30V DC a také pro různé provozní tlaky. Další parametr k prověření funkcionality představuje těsnost proporcionálního ventilu. Dále bude testovacím zařízením ověřena také střední poloha ventilu, která má být dosažena při 5 V a má toleranci ± 0.1 V. Je nezbytné prověřit bezpečnostní prvek ventilu, který zajišťuje při přerušení kabelu řídicího signálu návrat ventilu do střední uzavřené polohy.

5.3.2 Návrh testu výrobku

V této kapitole je navržen testovací postup, který bude dodržen při návrhu software pro testovací zařízení. Snímačům, DAQ zařízením a kompletnímu vybavení testovacího zařízení jsou věnovány podkapitoly 5.4.5 a 5.4.3, proto není zmíněným zařízením v této části práce věnována pozornost. Z důvodu nedostatečného vybavení laboratoří průtokoměry, v rámci kterých měla být diplomová práce zhotovena, musela

být navržena metoda porovnávání etalonového výrobku dále master a testovaného výrobku dále work.

Navržený testovací postup proporcionálního průtokového ventilu MPYE:

1. Připojení masteru k testovacímu zařízení. Aby bylo možné provádět testování, bylo nutné připojit proporcionální ventil ke zdroji stlačeného vzduchu a ke zdroji napájecího napětí a DAQ zařízení, ze kterého bude následně generován řídicí signál pro ovládání proporcionálního ventilu. Je tedy nutné kompletně propojit master s testovacím zařízením.
2. Otevření přívodu vzduchu do testovaného výrobku. Přívod vzduchu do testovaného výrobku je otevřen elektricky řízeným ventilem.
3. Zahřátí ventilu. Zahřátí masteru dosáhneme při nastavení tlaku na testovací hodnotu a provedení 15 cyklů, během nichž nastavíme řídicí signál na 0 V a pak následně s časovým rozestupem 0.5 sekundy nastavíme řídicí signál na hodnotu 10V a následně zpět na hodnotu 0V opět s časovým rozestupem 0.5 sekundy. Tím dojde k provedení 15 cyklů úplného otevření průtoku v jednom i druhém směru. Výsledkem této operace je zahřátí proporcionálního ventilu.
4. Testování funkcionality. Ověření funkcionality proporcionálního ventilu znamená měření tlaku před tryskou při změně průtoku proporcionálním ventilem při změnách řídicího analogového signálu v rozmezí 0-10 V. Řídicí signál je měněn skokově po 1V od 0 do 10V a následně od 10 do 0V. Výsledné tlaky při změnách jsou zaznamenávány. Touto operací jsme schopni ověřit výrobcem deklarovanou změnu průtoku v závislosti na řídicím signálu a tomu odpovídající tlak u masteru. Funkcionalitu je možné otestovat také při změně napájecího napětí, kdy funkcionalita má být zaručena v rozmezí napájecího napětí 17-30V. Z toho důvodu je funkcionalita masteru testována při hodnotách napájecího napětí 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29 a 30V. Je opět měřen tlak před tryskou a zaznamenán. V této operaci jsou přeměřeny tlaky před výstupem, kdy známe hodnoty průtoku masterem při daném řídicím napětí, tedy posléze již srovnáváme pouze tlaky naměřené před výstupem tryskou u masteru a worku.
5. Testování tolerance střední polohy masteru. Střední polohu ventilu odpovídá 5V řídicího signálu, výrobcem daná tolerance napětí řídicího signálu pro střední polohu je $\pm 0.1V$. Tato hodnota napětí musí odpovídat nulovému poklesu tlaku stlačeného vzduchu v uzavřeném okruhu. Střední poloha musí být ověřena i při různých napájecích napětích. Master bude přeměřen při změnách napájecích napětí stejně jako v bodu 4 postupu.
6. Testování těsnosti masteru. Do zásobníku tlakového vzduchu je zdrojem stlačeného vzduchu naakumulován tlakový vzduch pracovního tlaku, tedy 4.5 baru, a následně je propojen s testovaným ventilem. V této operaci je měřen únik pomocí snímače tlaku. Jelikož je dán konstantní objem v uzavřeném pneumatickém testovacím okruhu, netěsnost testovaného masteru je detekována pomocí změny poklesu tlaku v tomto testovacím okruhu.
7. Zavření přívodu vzduchu do masteru a odebrání jej z testeru.
8. Tento celý postup je následně zopakován pro work výrobek.

9. Zobrazení výsledků měření a vyhodnocení naměřených dat. Pokud se naměřená data pro ověření funkcionality, tedy měření tlaku před tryskou neliší o více jak $\pm 1\%$ a pokles tlaku při detekci úniku u worku se neliší o více jak 1% oproti masteru, je ověřena u worku správná funkce.

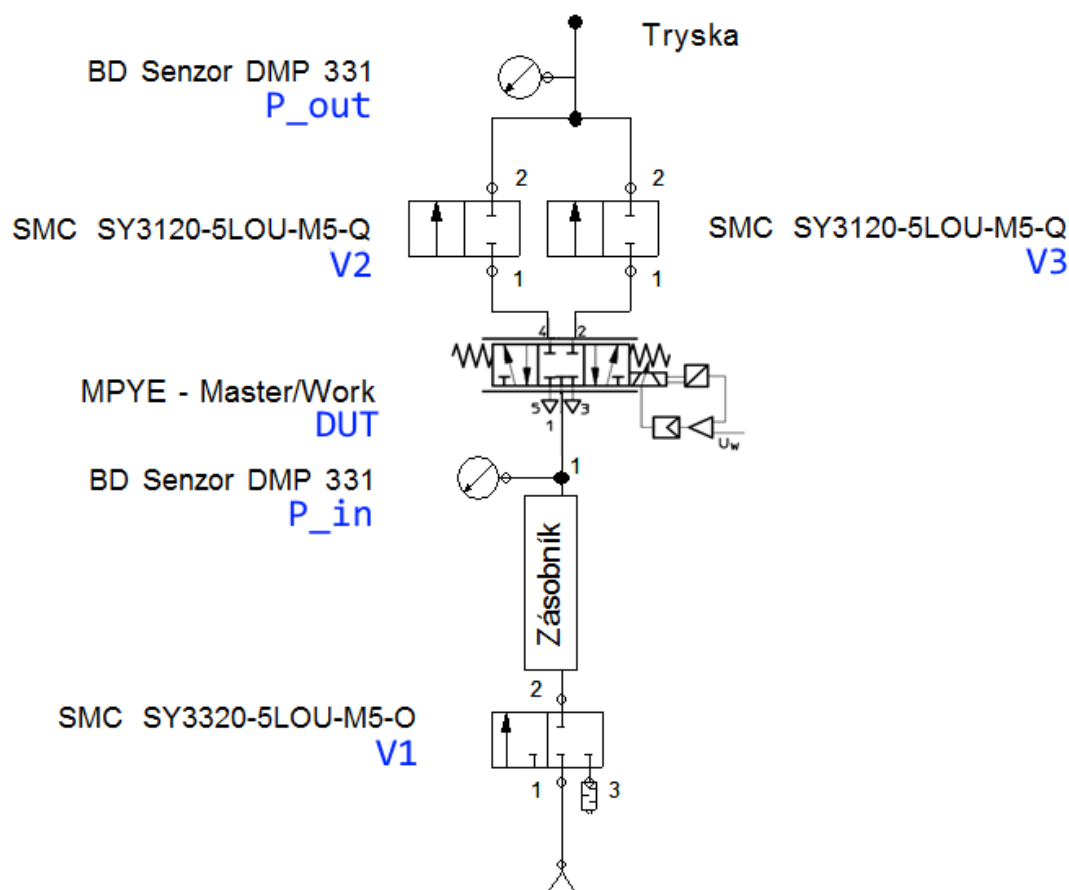
5.4 Návrh zapojení testovacího zařízení

V této kapitole bylo navrženo pneumatické zapojení, ze kterého byly odvozeny požadavky na DAQ zařízení a veškeré použité snímače. Bylo zde popsáno, jakým způsobem pneumatické testování funguje a jaké veličiny jsou při daných fázích testování měřeny. Následně bylo zobrazeno i schématické zapojení DAQ a propojení s pneumatickou částí testovacího zařízení včetně snímačů. Z důvodu nutnosti přejít na metodu testování porovnáním masteru a worku, bylo nutné změnit pneumatické schéma oproti výše zmíněným pneumatickým testům.

5.4.1 Pneumatické zapojení testovacího zařízení

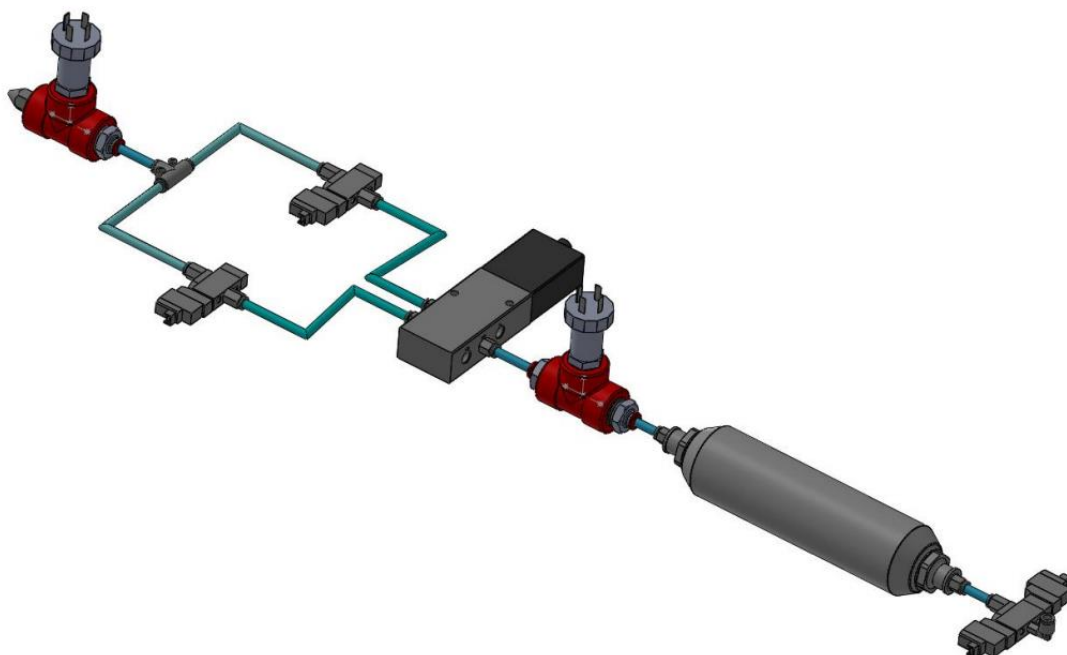
Na obrázku 27 je zobrazeno pneumatické schéma navržené pneumatické zapojení testovacího zařízení, které bylo vytvořeno ve volně šiřitelném programu od společnosti Festo Fluidsim. Jak je vidět na již zmíněném obrázku, je pro testování proporcionálního ventilu MPYE zvolena metoda porovnání master/work. Pro toto navržené pneumatické testovací zařízení byly zvoleny vhodné snímače tlaku pro testování a také DAQ hardware. Volbě snímačů a DAQ je věnována následující kapitola.

Na obrázku jsou zobrazeny prvky, které byly zapotřebí pro realizaci pneumatické části testovacího zařízení. Jmenovitě se jedná o tři elektricky ovládané ventily SMC ovládané napětím 24V DC, typové označení ventilů jsou na obrázku 27. Ventil označený jako V1 je elektricky ovládaný ventil od SMC typu 5/3, který byl utěsněním nepotřebných vstupů a výstupů upraven na typ 2/2. Ventily označené jako V2, V3 byly také elektricky ovládané ventily od výrobce SMC typu 3/2, které byly upraveny na typ 2/2 utěsněním nepotřebného výstupu. Dále byly připojeny dva snímače tlaku od firmy BD Sensors označení DMP331 pro snímání tlaku na vstupu a na výstupu z pneumatického obvodu. Ve schématu je zkratka DUT (Device Under Test) použita pro označení pozice připojení master a následně work výrobku. Posledním prvkem naznačeným v pneumatickém schématu je zásobník stlačeného vzduchu od výrobce Festo o objemu 0,4l.



Obrázek 27. Pneumatické schéma navrženého testovacího zařízení.

Pro lepší orientaci v pneumatickém schématu byl v programu Solidworks vytvořen 3Dmodel testovacího zařízení, za pomoci po registraci dostupných modelů od výrobců Festo, SMC a Aginep. Model byl použit i pro výběr a nákup veškerého spojovacího materiálu potřebného pro realizaci testovacího zařízení. Vytvoření 3D model testovacího zařízení pro ventil MPYE, je zobrazen na obrázku 28. Díky pneumatickému schématu a 3D modelu mohlo být navrženo řešení DAQ hardwaru a snímačů. Z pneumatického schématu a v rámci výše zmíněných informací bylo patrné, že testovací zařízení bude ovládáno pomocí tří digitálních výstupů pro ovládání elektricky ovládaných ventilů V1,V2,V3. Dále je nutné ovládat Master a work proporcionální ventil pomocí analogového výstupu. Pro získání dat ze snímačů tlaku P_out a P_in jsou využity dva analogové vstupy.



Obrázek 28. Vytvořený 3D model pneumatického zapojení.

5.4.2 DAQ zařízení a snímače testovacího zařízení

DAQ je zkratka pro Data Acquisition, jedná se tedy o zařízení pro sběr dat. Jedná se o rozhraní mezi snímači a počítačem. Tedy k DAQ zařízení je pomocí sběrnice připojen počítač a potřebné snímače pro měření. Třemi hlavními prvky DAQ zařízení jsou obvody zpracovávající signál ze snímačů, Analogově digitální převodník a počítačová sběrnice. Schéma propojení snímačů s počítačem pomocí DAQ zařízení je na obrázku 29[11].



Obrázek 29. Propojení snímačů s počítačem pomocí DAQ zařízení[11].

V rámci laboratoře, ve které byla tato práce vytvářena, byly dostupné DAQ zařízení od výrobce National Instruments včetně měřicích karet potřebných pro testování proporcionálního ventilu MPYE. Z toho důvodu byla tato diplomová práce postavena na hardware od National Instruments. Výhodou tohoto hardware byla možnost rychlého nasazení na testovací zařízení. Pro následnou realizaci softwaru bylo použito vývojové prostředí LabVIEW 2014. Kombinací software a hardware jsem byl schopen dále

vytvořit modulární hardwarové řešení testovacího zařízení a následně i obecný modulární software pro pneumatická zařízení. Díky modulární architektuře hardwarového řešení lze snadno měnit parametry testu i zpracovávané signály.

5.4.3 Volba snímačů tlaku pro testovací zařízení

Zejména pro detekci úniku vzduchu skrze pneumatický ventil bylo nutné zvolit dostatečně přesné snímače tlaku, abychom byli schopni zaznamenat pokles tlaku v co nejkratší možné době. Snímače tlaku jsou v pneumatickém schématu označeny jako P_in a P_out. P_out je snímač pro detekci úniku vzduchu při měření poklesu tlaku. A P_in slouží pro měření tlaku na výstupu před tryskou. P_in nám následně umožní zjistit rozdíl mezi masterem a workem, kde master je etalonem pro testovací zařízení a známe jeho veškeré parametry jako průtok ventilem v plném rozsahu a tolerovatelný únik u ventilu.

Pro měření tlaku P_in a P_out byli zvoleny BD Sensors DMP331-111-1002-2-R-100-300-1-000. Jedná se o absolutní membránové snímače tlaku, které mohou být použity až do tlaku 10bar. Tyto snímače byly zvoleny z důvodu možnosti zapůjčení z laboratoře hydromechaniky a mají pro testovací zařízení dostatečnou přesnost.

Parametry snímače:

| | |
|-----------------------|----------------------|
| Měřený tlak: | Absolutní |
| Rozsah: | 0-10 bar |
| Výstupní signál: | 0-20 mA |
| Přesnost: | 0.25% (Pn > 0,4 bar) |
| Elektrické připojení: | DIN43650 |
| Mechanické připojení: | G1/4" DIN3852 |
| Těsnění: | Viton (FKM) |
| Volitelné provedení: | Standardní |

5.4.4 Požadavky na DAQ zařízení

Podle pneumatického schématu a díky zvoleným snímačům tlaku jsme byli schopni zjistit požadavky na DAQ zařízení. Zvolené snímače DMP 331 jsou ve tří vodičovém provedení, kde máme dva napájecí kabely a jeden signálový. Výstupní signál ze snímačů DMP 331 je 0-20mA. Proto jedním z požadavků na DAQ zařízení je, aby bylo schopné zpracovat dva analogové signálové vstupy 0-20mA. Elektricky ovládané ventily od SMC jsou přepínány do poloh pomocí 24V DC. Tedy pro ovládání ventilů V1, V2 a V3 musí být schopno DAQ zařízení spínat tři digitální výstupy s napětím 24V DC. Master a work jsou ovládány napětiovým signálem 0-10V. Na ovládacím napětiovém signále je závislý průtok masterem a následně workem. Dalším požadavkem na DAQ zařízení byla nutnost generování řídicího napětiového signálu 0-10V, jedná se tedy o jeden analogový výstup. Posledním požadavkem na DAQ zařízení byla sběrnice pro komunikaci mezi počítačem, na kterém poběží vytvořená aplikace pro testovací zařízení. Z důvodu, že testovací zařízení bylo navrženo na testování na mém osobním notebooku, který má pouze jednu síťovou kartu, byla zamítnuta varianta propojení počítače s DAQ zařízením pomocí ethernetu. Jelikož nejsou předpokládány velmi rychlé změny signálu ze snímačů, bylo zvoleno propojení počítače s DAQ

zařizováním pomocí USB sběrnice. S ohledem na následující požadavky bylo zapůjčeno DAQ zařízení, které je popsáno v následující kapitole.

5.4.5 Zvolené DAQ zařízení

Zvýše uvedených důvodů byl zvolen Hardware od firmy National Instruments. Z důvodu, že veškerý výpočetní výkon je delegován na počítač, bylo zvoleno DAQ zařízení složením cDAQ šasi a k němu byly zvoleny vhodné měřicí karty pro testovací zařízení.

Jako šasi pro testovací zařízení bylo zvoleno CompactDAQ 9174. Jedná se o šasi, do kterého mohou být připojeny čtyři měřicí karty od National Instruments. V našem případě budou využity pouze tři sloty a jeden slot bude tedy rezervní pro možnost budoucího rozšíření testovacího zařízení. Napájecí napětí pro cDAQ je 9-30 V. Komunikační rozhraní pro propojení s počítačem je USB 2.0 Hi-Speed.

Pro řízení digitálních výstupů byla zvolena karta NI 9375. Jedná se o kartu, kterou se dá řídit 16 digitálních výstupů a 16 digitálních vstupů. Rozsah výstupního signálu je od 6V do 30V (odvozeno od napájecího napětí). Tato karta je kompatibilní pro 24V logiku. Pro testovací zařízení je využito pouze tří digitálních výstupů pro řízení ventilů V1, V2 a V3. Vícekanálová karta byla volena opět s ohledem na možnost rozšíření testovacího zařízení i o digitální vstupy.

Snímače tlaku jsou připojeny ke kartě NI 9203 a karta slouží k získávání analogových signálů. Na kartu může být připojeno až 8 snímačů s proudovým výstupem. Vzorkovací frekvence karty je 200 kS/s. Karta disponuje 16bitovým rozlišením na proudový výstup 0 až 20 mA.

Ovládání masteru a worku bylo umožněno díky kartě analogových výstupů NI 9269. Na tuto kartu je možné připojit až čtyři analogové výstupy. Vzorkovací frekvence je 100kS/s. Karta pracuje v rozsahu $\pm 10V$ s 16bitovým rozlišením.

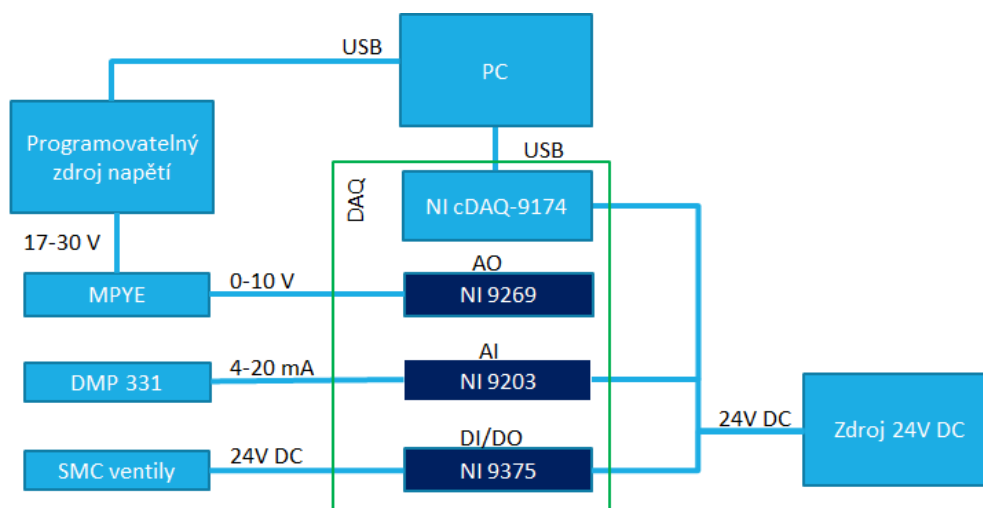
Na obrázku 30 je k nahlédnutí kompletní modulární hardwarové řešení DAQ zařízení. V této části práce bylo možné následně přejít k propojení DAQ zařízení s pneumatickou částí testovacího zařízení.



Obrázek 30. Kompletní modulární sestava DAQ zařízení

5.5 Realizace zapojení testovacího zařízení

Po zvolení DAQ zařízení a navržení pneumatického zapojení bylo možné přejít ke kroku realizace testovacího zařízení, která spočívala v propojení těchto dvou částí. Propojení pneumatické části testovacího zařízení a DAQ zařízení jsou blokově naznačeny na obrázku 31.



Obrázek 31. Blokově naznačené realizované zapojení testovacího zařízení.

Takto zapojené testované zařízení bylo realizováno v laboratoři pneumatiky našeho ústavu. Jelikož veškeré potřebné zařízení bylo zapojeno, bylo možné začít s návrhem softwaru pro testovací zařízení a následně i jeho realizace a otestování proporcionálního ventilu Festo MPYE MPYE-5-1/8-HF-010B.

6 NÁVRH SOFTWARE PRO VÝROBNÍ TEST

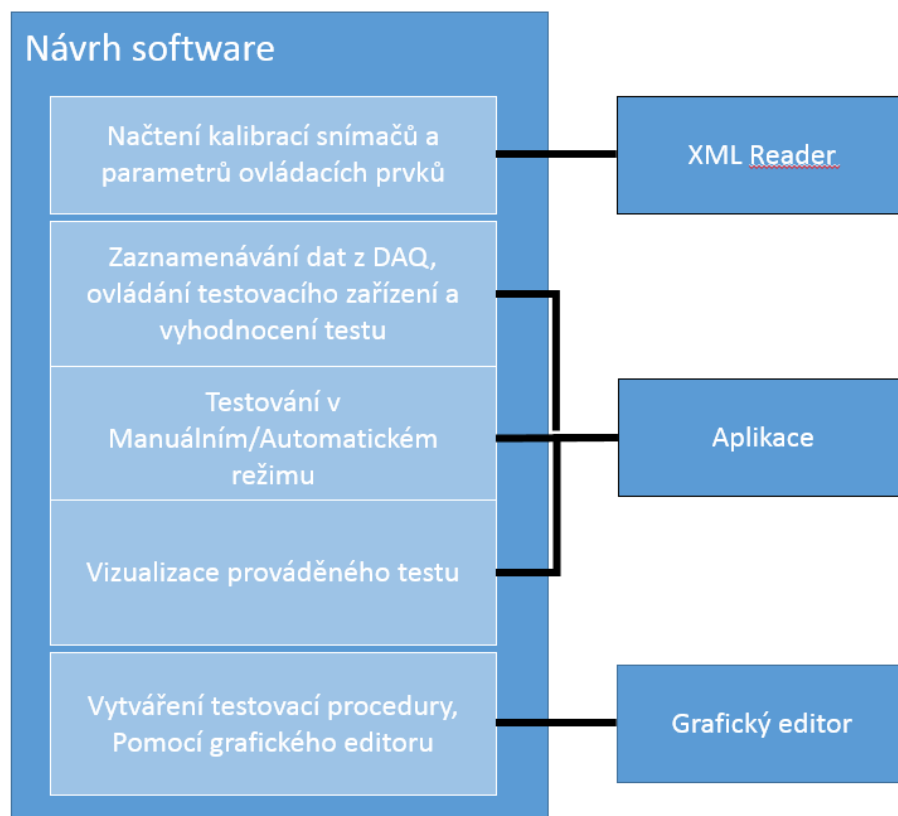
Tato závěrečná kapitola praktické části diplomové práce byla věnována návržení a realizaci softwaru pro testovací zařízení pneumatického ventilu Festo MPYE. Tento software nebyl vyvíjen pouze pro účely zhotovení diplomové práce, ale zejména pro testování již vyvinutého software pro následné průmyslové využití v rámci projektů Netme centre. Díky spolupráci právě s Netme centre bylo možné využít výše zmíněného vybavení od National instruments a také vývojového prostředí LabVIEW 2014. LabVIEW bylo tedy zvoleno jako vývojové prostředí pro vývoj aplikace pro testovací zařízení. Následně byla zhodnocena modulárnost softwaru pro pneumatické prvky a ovládání pneumatických tratí.

6.1 Požadavky na software

Základní požadavky pro software byly ovládání pneumatických prvků skrze DAQ zařízení a následný sběr dat ze snímačů a následné zhodnocení, zda naměřená data na masteru odpovídají naměřeným datům na worku. Pokud by naměřená data odpovídala, byl by work prohlášen za funkční výrobek. Mezi dalšími funkcionalitami softwaru byly požadavky na možnost ovládání testovacího zařízení v manuálním, automatickém a editačním modu. Dále také možnost editovat parametry snímačů a ovládacích prvků bez přímého zásahu do kódu v LabVIEW a to pouze úpravou XML souborů. Dalším velmi podstatným bodem byla možnost editace testovacího procesu, požadavkem tedy je modularita aplikace pro snadné přizpůsobení na jiný testovaný výrobek nebo testovací zařízení.

6.2 Realizovaný software

Na obrázku 32 je zobrazen princip realizovaného software, který je následně blíže popsán.



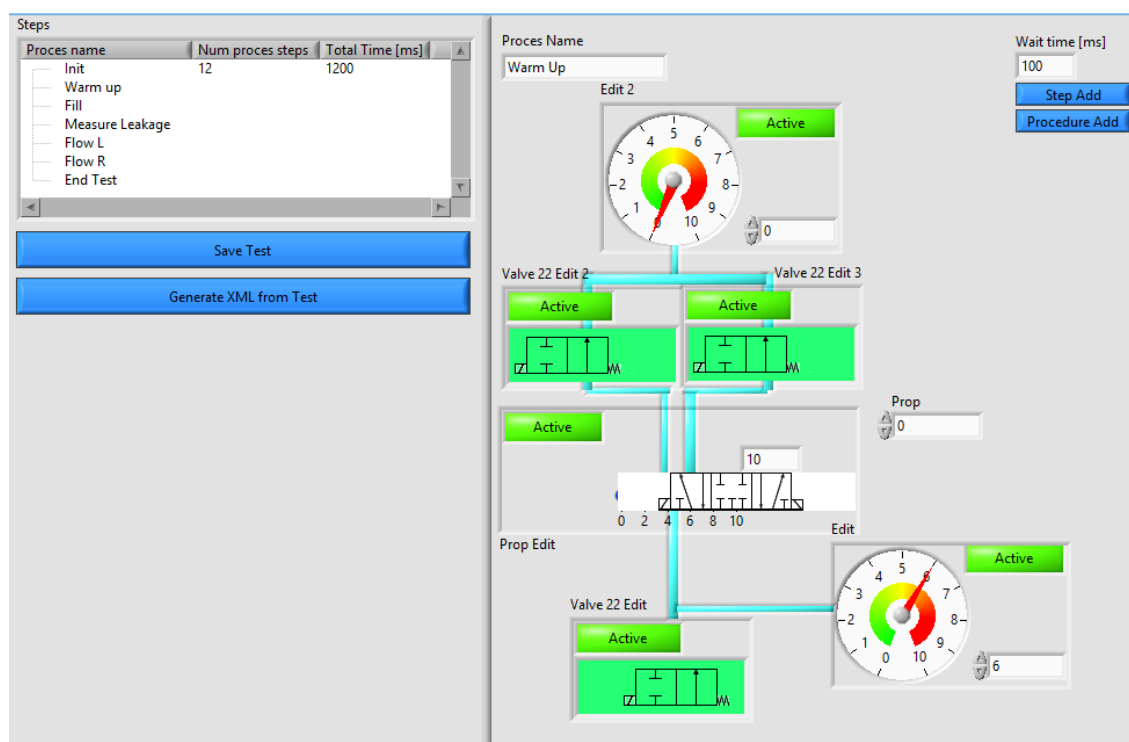
Obrázek 32. Realizovaný modulární software.

Software byl realizován ve vývojovém prostředí od National instruments labVIEW 2014. V této části práce není popsán celý vytvořený software, ale pouze jeho části podstatné pro diplomovou práci. Mezi tyto části patří grafický editor, XML Reader a přímo Aplikace pro ovládání realizovaného jednoúčelového testovacího zařízení. Celý software byl pojmenován jako UniTester, což představuje zkráceninu Universal Tester. Toto označení nese z již výše zmíněných důvodů a to přenositelnosti software na jiné testovací zařízení, tak aby bylo schopné co nejdříve plnit svoji funkci. Tento software byl pro otestování přizpůsoben na výše zmíněné testovací zařízení a byl upraven tak, aby probíhalo testování dle navrženého testu pro MPYE, který je popsán v kapitole 5.3.2. Software je tedy schopný porovnat naměřené hodnoty tlaku na masteru a následně je porovnat s hodnotami tlaků naměřených na worku a tedy zhodnotit, zda work leží v toleranci tlaků $\pm 1\%$ při průtoku a zda při testování úniku poklesne tlak na stejnou hodnotu jako u masteru za stejný časový úsek. Po vyhodnocení těchto skutečností je buďto prohlášen work jako funkční výrobek. Pokud nevyhoví kritériím, je označen jako špatný výrobek.

6.2.1 Grafický editor

Grafický editor je součástí software. Grafický editor byl vytvořen z důvodu usnadnění modifikace software testovacího zařízení. V Grafickém editoru může například technolog upravit a editovat parametry a nastavení daných ovládacích prvků. Díky grafickému editoru je možné, vytvořit proceduru testování pneumatického prvku. Pro vytvoření pneumatického schématu byla vytvořena knihovna *Plumber Parts.lvlib*, kde jsou vytvořeny základní pneumatické ovládací prvky. V současné době obsahuje knihovna proporcionální ventil, elektricky ovládané ventily 5/3 a 2/2 a prvky

analogových vstupů. Při spuštění části aplikace Grafický editor je na pravé polovině prostor pro vytvoření pneumatického zapojení. Do prostoru pro pneumatické prvky jsou vloženy prvky potřebné pro realizaci daného testovacího zařízení z vytvořené knihovny. Po vložení veškerých prvků je možné přejít k definování testu. Definování testu probíhá nastavením grafických pneumatických prvků do požadované polohy a nastavení u každého v daném kroku ovládaného prvku na stav Active. Pomocí tlačítka Procedure Add jsou přidávány podprocesy jako například inicializace, zahřátí, plnění a pomocí tlačítka Step Add jsou přidávány podkroky pro tuto proceduru. Po vytvoření části testu je vytvořený test možné uložit pomocí Save Test, po vytvoření kompletního testu můžeme použít tlačítka Generate XML from Test, které nám vytvoří XML soubor obsahující kompletní postup provádění testu v XML formátu.



Obrázek 33. Zobrazení vytváření procedury zahřátí ventilu a jejího prvního kroku pomocí grafického editoru.

Grafický editor nám tedy umožní upravení testovací procedury bez přímého zásahu do kódu vytvořeného v labVIEW. Tím je tedy zaručena modularita systému a software můžeme použít i pro jiná testovací zařízení popřípadě linky, což bylo jedním ze záměrů diplomové práce. Software je tedy možné snadno přizpůsobit například při modernizaci testovacího zařízení, změně technologie měření parametrů výrobků nebo při aplikaci na jiný pneumatický výrobek.

6.2.2 XML Reader

Část softwaru označená jako XML Reader slouží pro načtení Automatického testu z XML souboru vytvořeného Grafickým Editorem a také pro načtení konfigurace a kalibrací všech digitálních a analogových vstupů a výstupů. Načtení konfigurace a kalibrací probíhá při každém spuštění aplikace UniTesteru, oproti tomu načtení procedury testu probíhá pouze po spuštění aplikace v automatickém testu. Na obrázku

34 je zobrazena část XML souboru, kde je nastavení Digitálního výstupu. Pro nás jsou nejpodstatnější nastavení pod označením Cluster Name Channel. Toto nastavení bude nyní rozebráno. Pod označením Name se skrývá označení, jakým je daný ventil reprezentován v kódu aplikace. Module je definice zařízení, na kterém je daný digitální výstup připojen a na jaké pozici se nachází měřící karta. Port v tomto případě udává, zda se jedná o digitální vstupy (port 0) nebo výstupy (Port 1). Označení Line udává na jakém kanálu je digitální výstup připojen.

```

<DAQTask>
  <Cluster Name="Info">
    <Item Name="Type" Value="DO"/>
    <Item Name="Driver" Value="DAQmx"/>
    <Item Name="Name" Value="DO-Task"/>
    <Item Name="Address" Value=""/>
    <Item Name="Playback" Value="FALSE"/>
  </Cluster>
  <Cluster Name="Sampling">
    <Item Name="Mode" Value="On Demand"/>
    <Item Name="Buffer Size" Value="1000"/>
    <Item Name="HW Rate" Value="1000"/>
    <Item Name="SW Rate" Value="10000"/>
    <Item Name="Acq Rate" Value="20"/>
  </Cluster>
  <Array Dimensions="3" Name="Channels">
    <Element Index="(0)">
      <Cluster Name="Channel">
        <Item Name="Name" Value="Valve In"/>
        <Item Name="Module" Value="cDAQ3Mod3"/>
        <Item Name="Port" Value="port1"/>
        <Item Name="Line" Value="line8"/>
        <Item Name="Value Default" Value="FALSE"/>
        <Item Name="Inverted" Value="TRUE"/>
        <Item Name="Enabled" Value="TRUE"/>
      </Cluster>
    
```

Obrázek 34. Část XML souboru DAQ.

XML Reader také tedy přidává určitou část modularity softwaru, kde mohou být opět bez přímého zásahu do kódu aplikace modifikována nastavení veškerých prvků připojených k DAQ zařízení. Může proběhnout kalibrace daných analogových vstupů a výstupů, která je načítána z XML souboru. XML Reader umožňuje snadné nadefinování v budoucnu přidaných zařízení.

Na obrázku 35 je naznačena část XML souboru pro automatický test pro proceduru zahřátí ventilu.

```

<Block Name="WarmUp">
  <Operation Type="Write" Device="Valve In" Command="Write" Params="1" />
  <Operation Type="Write" Device="Valve Out1" Command="Write" Params="1" />
  <Operation Type="Write" Device="Valve Out2" Command="Write" Params="1" />
  <Operation Type="Write" Device="Prop" Command="Write" Params="0" />
  <Operation Device="System" Command="Wait" Params="1.0" />
  <Operation Type="Write" Device="Prop" Command="Write" Params="10" />
  <Operation Device="System" Command="Wait" Params="1.0" />
  <Operation Type="Write" Device="Prop" Command="Write" Params="0" />
  <Operation Device="System" Command="Wait" Params="1.0" />
  <Operation Type="Write" Device="Prop" Command="Write" Params="10" />
  <Operation Device="System" Command="Wait" Params="1.0" />
  <Operation Type="Write" Device="Prop" Command="Write" Params="0" />
  <Operation Device="System" Command="Wait" Params="1.0" />
  <Operation Type="Write" Device="Prop" Command="Write" Params="10" />
  <Operation Device="System" Command="Wait" Params="1.0" />
  <Operation Type="Write" Device="Prop" Command="Write" Params="0" />
  <Operation Device="System" Command="Wait" Params="1.0" />
  <Operation Type="Write" Device="Prop" Command="Write" Params="10" />
  <Operation Device="System" Command="Wait" Params="1.0" />
  <Operation Type="Write" Device="Prop" Command="Write" Params="0" />
  <Operation Device="System" Command="Wait" Params="1.0" />
  <Operation Type="Write" Device="Prop" Command="Write" Params="10" />
  <Operation Device="System" Command="Wait" Params="1.0" />
  <Operation Type="Write" Device="Prop" Command="Write" Params="0" />
  <Operation Device="System" Command="Wait" Params="1.0" />
  <Operation Type="Write" Device="Prop" Command="Write" Params="10" />
  <Operation Device="System" Command="Wait" Params="1.0" />
</Block>

```

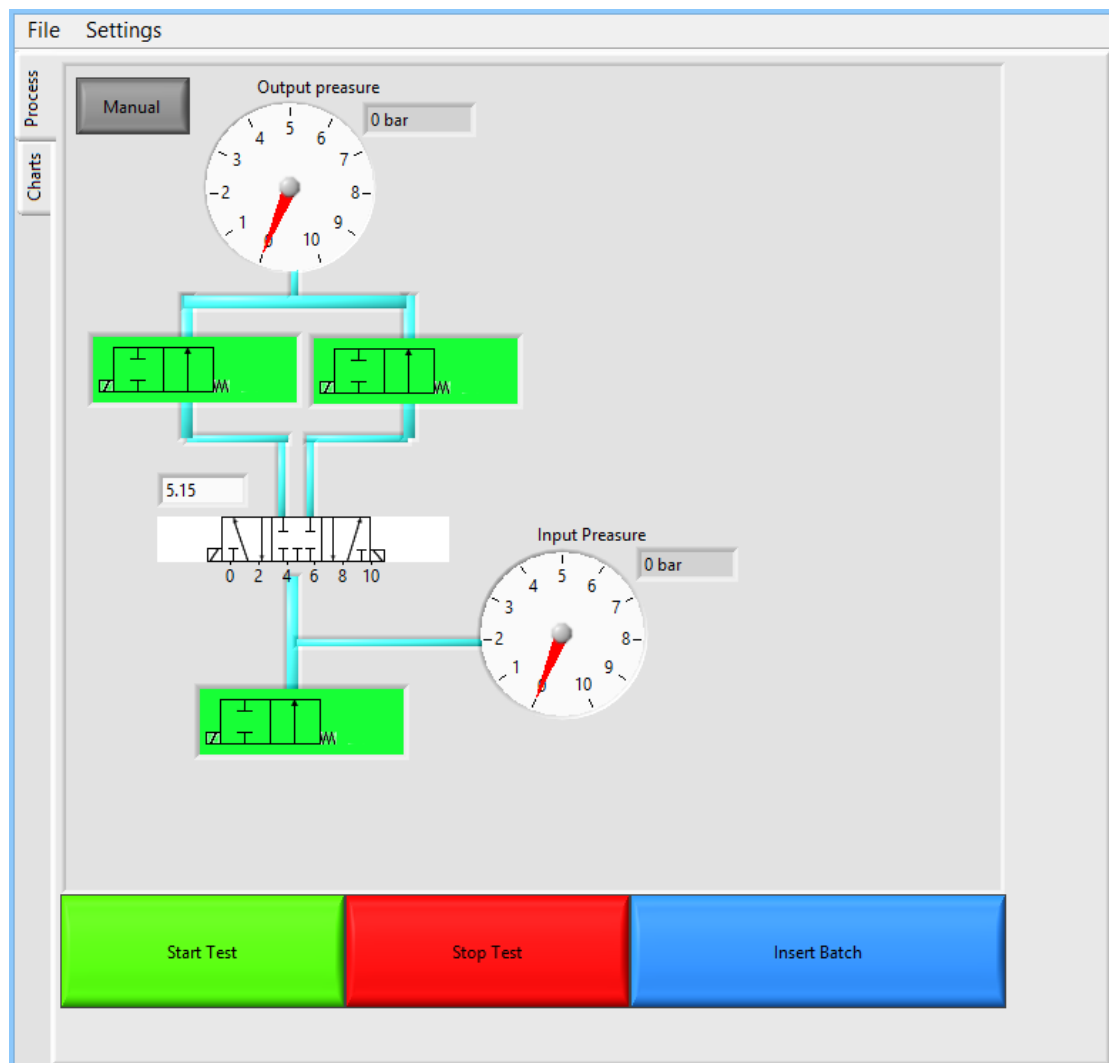
Obrázek 35. Část XML souboru vytvořeného grafickým editorem pro proceduru zahřátí ventilu.

Část zahřátí ventilu je v XML souboru uzavřena do bloku Warm Up. Následují příkazy pro sepnutí pneumatických ventilů výše označených jako V1,V2,V3 do polohy otevřeno a to pomocí příkazu Write a následně je v parametrech nastavena hodnota sepnutí, tedy 1. V další části je přepínán proporcionální ventil v plném rozsahu a to střídavým spínáním mezi 0 V a 10 V. Sepnutí ventilu v plném rozsahu proběhne dle uvedeného XML desetkrát s časovou prodlevou jedné sekundy mezi přepnutím 0 – 10V.

6.2.3 Aplikace

Spuštěná aplikace může fungovat ve dvou módech a to buď v automatickém, nebo manuálním módu. Pokud se aplikace nachází v automatickém módu a je spuštěn test, pak je přímo v aplikaci spuštěna vytvořená vizualizace a je tedy možné sledovat, co se právě v daný okamžik děje na testovacím zařízení, jakých hodnot nabývají měřené parametry a v jakém stavu se nacházejí ovládací prvky. Automatický test se chová tím způsobem, jakým byl nadefinován grafickým editorem. Nebo můžeme automatický test vytvořit přímo v XML souboru.

Pokud je aplikace přepnuta do manuálního módu, je možné ovládat testovací zařízení manuálně přímo pomocí grafického rozhraní aplikace. Spuštěná aplikace v manuálním módu je zobrazena na obrázku 36.



Obrázek 36. Aplikace spuštěná v manuálním modu

Po vytvoření výše specifikovaného softwaru, který byl pro popis rozdělen do tří části XML Reader, Grafický Editor a Aplikace, bylo možné zrealizovat kompletní jednoúčelové testovací zařízení a otestovat jej na dvou zapůjčených proporcionálních ventilech MPYE.

6.2.4 Testování software na jednoúčelovém testovacím zařízení

Pro testování software byly zapůjčeny dva ventily Festo MPYE, kde jeden z ventilů byl považován za master a druhý byl určen jako work. Tyto ventily byly otestovány na vytvořeném jednoúčelovém zařízení, které bylo řízeno přes počítač pomocí vytvořeného softwaru. Na obrázku 37 je zobrazeno kompletní zapojení testovaného zařízení včetně pneumatického zapojení a zapojení DAQ zařízení, které bylo pomocí USB kabelu připojeno k testovacímu počítači. Následně byl do testovacího zařízení připojen master a byly změřeny jeho parametry pomocí vytvořeného softwaru, kde pro první testování byl tento ventil přeměřen 5 krát. Po získání požadovaných dat o masteru a jejich zaznamenání byl připojen na testovací zařízení work, který byl také dle výše předepsané specifikace otestován. Díky správnému průběhu testu během měření masteru a worku byla ověřena funkcionality realizovaného softwaru UniTester, což

umožňuje následné použití vytvořeného softwaru v průmyslových aplikacích v rámci projektů Netme centre. Výsledky měření a závěr ze získaných dat jsou uvedeny v následující podkapitole.



Obrázek 37. Zapojení při provádění testu

6.2.5 Výsledky měření Masteru a Worku

Na obrázku 38 je tabulka naměřených hodnot, které jsou klíčové pro hodnocení ventilu. Proporcionální ventily byly testovány tlakem 4,5 bar z důvodu nepřetěžování ostatních prvků pneumatického zapojení. Jednou z měřených kritických hodnot bylo měření úniku vzduchu po natlakování a uzavření testovacího okruhu úniku vzduchu. Dle deklarované těsnosti v uzavřeném stavu by měl být po ustálení tlaku naměřen tlak $4,5 \pm 0,2$ po časově neomezenou dobu. U masteru byl naměřen pokles na tlak 1.03 bar, u worku byl naměřen pokles tlaku na 0.98 bar, což znamenalo pokles na aktuální atmosférický tlak při průběhu testů. Tedy master a work nemají deklarovanou těsnost výrobcem, což může být způsobeno stárnutím materiálů těsnění testovaných ventilů. Dále z naměřených hodnot lze zjistit, že střední poloha obou testovaných ventilů není dosažena při ovládacím napětí $5,0 \pm 0,1$ V. Tento fakt je možné odůvodnit naměřenými nižšími přetlaky u masteru a worku při ovládacím napětí 5.5V. Posunutí střední polohy ventilu mimo pásmo tolerance může být způsobeno změnou tuhosti pružiny, například opotřebením, kde vzniká nepoměr mezi silou pružiny a silou vyvíjenou solenoidem.

| Označení výrobku | Naměřený tlak při měření úniku [bar] Po uplynutí doby 25s | Měřený přetlak na výstupu při ovládacím napětí ventilu [bar] | | | | |
|------------------|--|--|------|------|------|------|
| | | 6.5V | 5.5V | 5V | 4.5V | 3.5V |
| Master | 1.03 | 3.76 | 0.48 | 0.49 | 3.04 | 3.80 |
| Work | 0.98 | 3.45 | 0.85 | 1.20 | 3.24 | 3.43 |

Obrázek 38. Tabulka naměřených hodnot při testování výrobku master a work.

Jelikož naše testovací zařízení bylo navrženo pro porovnání etalonu (masteru) s testovaným výrobkem, kde u masteru máme zaručené vlastnosti deklarované výrobcem a jsou známy průtoky při daném napětí a testovacím tlaku 4,5 baru, byla tedy v rámci měření ověřena správná funkcionalita jednoúčelového testovacího zařízení, kde došlo k porovnání naměřených hodnot u masteru a worku. Pro vyhodnocení worku jako

správně vyrobeného kusu, by musely být hodnoty naměřené u worku stejné nebo podobné v rámci odchylky $\pm 1\%$ hodnot naměřených u masteru. Ani jedna z naměřených hodnot u worku se nevešla do tolerančního pásma naměřených hodnot na masteru, z toho důvodu byl tedy work výrobek prohlášen za špatný výrobek. Pro zpřesnění výsledků u navrženého testovacího zařízení by měl být pořízen etalon se zaručenými parametry při daných testovacích podmínkách, aby bylo možné využívat testovací zařízení v rámci průmyslových aplikací.

V této části diplomové práce byly otestovány funkcionality jak jednoúčelového testovacího zařízení tak i navrženého a realizovaného softwaru pro jednoúčelová pneumatická testovací zařízení. V této části práce byl odvozen závěr, že realizovaný software plní navrženou funkcionalitu a byl plně otestován na testovacím zařízení. Díky těmto závěrům jsme byli schopni naměřit výše zobrazená data a vyvodit z nich závěr, že testovaný work výrobek je mimo výrobní tolerance a je tedy nevhodný pro použití v průmyslové praxi.

7 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá návrhem a realizaci modulárního softwaru pro řízení výrobních testů proporcionálního ventilu od výrobce Festo MPYE-5-1/8-HF-010B. V první části diplomové práce proběhlo seznámení s výhodami použití automatizovaného výrobního procesu. V následující části byly získány poznatky ohledně jednoúčelových montážních strojů, které předcházejí jednoúčelovým testovacím zařízením.

Praktická část diplomové práce byla rozdělena do na sebe navazujících částí. První kapitoly praktické části se zabývají rozborem funkcionality zadaného proporcionálního ventilu a jeho parametrů. Na základě popisu funkcionality ventilu a získání jeho parametrů bylo možné navrhnout výrobní test. Výrobní test byl navržen jako porovnávací test etalonu s výrobkem, který se využívá i v průmyslové praxi. Po zvolení způsobu testování výrobků a jednotlivých kroků testování výrobku bylo možné přejít k další praktické části této diplomové práce.

V této části práce bylo navrženo pneumatické zapojení jednoúčelového testovacího zařízení pro výrobní testy. Po vytvoření finálního pneumatického zapojení byl vytvořen 3D model v softwaru Solidworks a na základě 3D modelu byly zakoupeny a zapůjčeny pneumatické prvky nezbytné pro zhotovení jednoúčelového testovacího zařízení. Toto jednoúčelové zařízení bylo realizováno a díky rozboru proporcionálního ventilu bylo možné zjistit kritické vlastnosti, kterými byly únik vzduchu a změny průtoku vzduchu v závislosti na řídicím napětí. Jelikož v této fázi diplomové práce byly známy i veškeré ovládací prvky pneumatického testeru a také veličiny, které mají být zaznamenávány, bylo možné přistoupit k jednomu z cílů diplomové práce, kterým byl volba DAQ zařízení a vhodných snímačů.

V rámci diplomové práce byla provedena volba DAQ zařízení a snímačů potřebných pro vytvoření testovacího zařízení. Snímače tlaku byly zvoleny od firmy BD Sensors, DAQ zařízení bylo vybráno od firmy National Instrument, protože pochází z dílny stejné firmy jako vývojové prostředí labVIEW 2014 použitého k vývoji softwaru. Díky DAQ zařízení včetně tří měřicích karet bylo umožněno propojení a ovládání testovacího zařízení pomocí počítače, na kterém byl provozován software UniTester, jež byl navržen a realizován v rámci diplomové práce.

V závěru byl řešen hlavní cíl diplomové práce, tedy návrh, realizace a otestování softwaru pro řízení výrobních testů zadaného výrobku. V této části práce bylo provedeno rozčlenění softwaru do 3 částí, které byly následně podrobně popsány. Software UniTester obsahuje grafický editor včetně knihovny pneumatických prvků, který umožňuje modifikaci automatického testování v aplikaci pomocí grafického rozhraní. Je tedy možné aplikaci pomocí grafického editoru přizpůsobit na jiný testovací výrobek, čímž byl splněn cíl diplomové práce, který požadoval modularitu od softwaru tak, aby bylo možné test snadno implementovat na jiný výrobek.

V závěru diplomové práce bylo dále zdokumentováno testování realizovaného testovacího zařízení včetně softwaru. Byla ověřena funkčnost aplikace UniTester v manuálním i automatickém režimu. Automatické testování probíhalo na dvou výrobcích MPYE a naměřená data byla následně vyhodnocena. V rámci diplomové práce byla tedy ověřena funkcionality realizovaného softwaru a testovacího zařízení včetně testování výrobků.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Y. NOF, Shimon. *Springer handbook of automation with DVD-ROM and 149 tables*. Online-Ausg. Berlin: Springer, 2009. ISBN 9783540788317.
- [2] GROOVER, Mikell P. *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. 3rd ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, c2008, xvi, 815 p. ISBN 0132393212.
- [3] SALVENDY, Gavriel. *Handbook of industrial engineering: technology and operations management*. 3rd ed. New York: Wiley, 2001, xxxiv, 2796 p. ISBN 0471330574.
- [4] JENČÍK, Josef a Jaromír VOLF. *Techická měření*. Praha: ČVUT, 2003.
- [5] FRADEN, Jacob. *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*. 3rd ed. New York: Springer, c2004, xvii, 589 p. ISBN 0387007504.
- [6] Kadlec, Karel. Snímače tlaku – principy, vlastnosti a použití. *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. 2007, č. 7 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://automa.cz/download/au070725.pdf> ISSN 1210-9592.
- [7] Measuring Strain with Strain Gages. National Instruments [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.ni.com/white-paper/3642/en/>
- [8] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika*. 2. přeprac. vyd. Editor Petr Dub. Brno: VUTIUM, c2013, 1 sv. (různé stránkování). Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-4123-1.
- [9] Principle of Leak Test. Fukuda [online]. [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.fukuda-jp.com/english/leak/>
- [10] *Proporcionální průtokové ventily MPYE* [online]. 2007 [cit. 2015-03-06]. Dostupné také z: https://www.festo.com/cat/engb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/MPYE_CZ.PDF
- [11] What Is Data Acquisition. National Instruments [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/>
- [12] Objednávací kód DMP331. BD SENSORS [online]. Dostupné z: http://www.bdsensors.cz/fileadmin/user_upload/Download/Bestellschluessel_odering_code/BDS_sro_OBJK_DMP331_CS.pdf