

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## NÁVRH A VYTVOŘENÍ APLIKACE PRO OVLÁDÁNÍ HMOTNOSTNÍCH DETEKTORŮ NETĚSNOSTÍ AGILENT

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF THE SOFTWARE FOR CONTROLLING AGILENT  
LEAKAGE MASS DETECTORS

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Maixner

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.

BRNO 2018

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Bc. Jiří Maixner

**ID:** 154799

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2017/18

## NÁZEV TÉMATU:

### Návrh a vytvoření aplikace pro ovládání hmotnostních detektorů netěsností Agilent

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte komplexní a robustní aplikaci pro vizualizaci, ovládání a sběr dat z hmotnostních detektorů Agilent pro měření stopového množství helia. Aplikace by měla plně nahradit standardně dodávané ovládací panely s dotykovou obrazovkou, které neumožňují programové komplexní nastavení detektoru, sběr dat a připojení dalších čidel vhodných k procesu detekce netěsností.

1. Nastudujte problematiku detekce netěsností metodou měření stopového množství helia
2. Porovnejte všechny možnosti komunikace s detektory řady VS a C15
3. Navrhněte hw a sw řešení pro jednoduché připojení dalších měřicích a ovládacích prvků vhodných k procesu detekce netěsností
4. Navrhněte strukturu aplikace
5. Diskutujte možnosti využití této aplikace pro řízení jednoduché konfigurovatelné stanice pro detekci netěsností
6. Realizujte navrženou aplikaci pomocí objektového jazyka C# s důrazem na celkovou robustnost
7. Otestujte navrženou aplikaci v reálném prostředí

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] SHARP John. Microsoft Visual C# 2010, COMPUTER PRESS

[2] EELES Peter, CRIPPS Peter. Architektura softwaru, COMPUTER PRESS

**Termín zadání:** 5.2.2018

**Termín odevzdání:** 14.5.2018

**Vedoucí práce:** Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Václav Jirsík,  
CSc.**

*předseda oborové rady*

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá studii problematiky netěsnosti v průmyslu a využitím hmotnostních detektorů firmy Agilent k její detekci. Na základě provedených studií bylo navrženo hardwarové a softwarové řešení pro připojení měřících prvků k heliovému detektoru u jednoduché konfigurovatelné stanice. Dále byla vytvořena aplikace v jazyce C#. Tato aplikace umožňuje řízení stanice pro detekci netěsnosti a sběr dat z detektoru a jeho okolí. Vytvořená aplikace byla otestována v reálném prostředí. Závěr této práce se věnuje možnostem využití vytvořené aplikace

## Klíčová slova

Detekce netěsnosti, hmotnostní detektor, Agilent, C#, WPF, MVVM, Ethernet, RS-232

## Abstract

This diploma thesis deals with the study of leakage problems in industry and the use of Agilent weight detectors for its detection. Based on the studies conducted, a hardware and software solution has been proposed for connecting the measuring elements to a helium detector at a simple configurable station. Additionally, a C# application was created. This application allows the leak detector to be controlled and data collected from the detector and its surroundings. The created application was tested in a real environment. The conclusion of this work is devoted to the possibilities of using the created application.

## Keywords

Leak detection, mass detector, Agilent, C#, WPF, MVVM, Ethernet, RS-232

## Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma: Návrh a vytvoření aplikace pro ovládání hmotnostních detektorů netěsností Agilent, jsem vypracoval samostatně pod odborným vedením a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 14. 5. 2018

.....  
podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Václavu Kaczmarczykovi, Ph.D a konzultantovi diplomové práce panu Ing. Petru Povolnému z firmy Labtech s.r.o. za účinnou metodickou, a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 14. 5. 2018

.....  
podpis autora

# Obsah

Úvod.....	8
1 Základy detekce netěsnosti .....	9
1.1 Definice detekce úniku.....	9
1.2 Zdroje úniku .....	9
1.3 Velikosti úniku a jednotky pro měření úniku.....	10
1.3.1 Terminologie měření netěsnosti.....	10
1.3.2 Velikost úniku.....	10
2 Metody detekce a lokalizace netěsnosti .....	12
2.1 Lokalizace netěsnosti .....	12
2.1.1 Akustická metoda.....	12
2.1.2 Bublínkový test .....	13
2.1.3 Metoda lokalizace pomocí pěny .....	13
2.1.4 Metoda lokalizace s použitím značkovacího plynu .....	13
2.2 Detekce netěsnosti.....	15
2.2.1 Měření poklesem tlaku.....	15
2.2.2 Měření pomocí halogenu .....	16
2.2.3 Měření pomocí vodíku.....	16
2.2.4 Měření stopového množství helia .....	16
2.2.4.1 Doba odezvy .....	17
2.2.4.2 Doba zjištění .....	18
2.2.4.3 Doba zmizení.....	18
2.2.4.4 Pozadí helia.....	19
2.2.4.5 Princip heliového hmotnostního spektrometru.....	21
2.2.4.6 Tlaková metoda .....	22
2.2.4.7 Vakuová metoda .....	22
2.2.4.8 Bombingový test.....	23
3 Možnosti komunikace s detektory VS a C15.....	25
3.1 Sériový port.....	25
3.1.1 Příklad sériové komunikace .....	26
3.2 Diskrétní I/O.....	27
3.2.1 Příklad komunikace pomocí diskrétních I/O pinů .....	27
3.3 Rozhraní Ethernet.....	27
3.3.1 Příklad komunikace pro Profinet .....	28
3.4 Porovnání komunikačních rozhraní .....	28
4 Návrh HW a SW řešení pro připojení měřících prvků k detektoru .....	29
4.1 Návrh hardwarového řešení .....	31

4.1.1	Výběr analogového modulu.....	32
4.1.1.1	PLC a analogové vstupy.....	32
4.1.1.2	Univerzální terminály Festo.....	32
4.1.1.3	Využití analogového modulu.....	33
4.1.1.4	Porovnání analogových modulů.....	33
4.2	Návrh softwarového řešení.....	34
5	Návrh struktury aplikace.....	36
5.1	Model-View-ViewModel.....	36
5.1.1	View.....	36
5.1.2	ViewModel.....	36
5.1.3	Model.....	36
5.2	Struktura aplikace.....	39
6	Realizace aplikace.....	43
6.1	Obrazovka měření.....	45
6.2	Obrazovka servis.....	46
6.3	Obrazovka nastavení.....	47
6.4	Obrazovka parametry.....	48
6.5	Obrazovka terminál.....	49
6.6	Obrazovka chybových stavů detektoru.....	50
7	Testování vytvořené aplikace.....	51
7.1	Testování komunikace s detektorem.....	51
7.2	Testování komunikace s analogovým modulem.....	52
7.3	Testování řízení měřící stanice.....	54
7.3.1	Postup měření.....	57
8	Možnosti využití vytvořené aplikace.....	60
8.1	Využití aplikace pro diagnostiku a servis měřících stanic.....	60
8.2	Ovládání stanice pomocí připojitelných modulů.....	61
8.3	Využití aplikace pro dlouhodobé testy a sběr dat.....	62
	Závěr.....	63
	Použitá literatura.....	64

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Virtuální únik v okolí šroubu [6].....	9
Obrázek 2: Četnost úniků v závislosti na jejich velikosti [8] .....	11
Obrázek 3: Akustická metoda lokalizace úniku [8] .....	12
Obrázek 4: Bublínkový test [8].....	13
Obrázek 5: Čichací metoda lokalizace úniku [8] .....	14
Obrázek 6: Ostříkovací metoda lokalizace úniku [5] .....	14
Obrázek 7: Měření úniku metodou poklesu tlaku [8] .....	15
Obrázek 8: Průběh detekovaného signálu úniku $10^{-7}$ mbar.l/s[4].....	17
Obrázek 9: Vodivost (tok) helia v závislosti na tlaku [4] .....	18
Obrázek 10: Koncentrace plynů ve vzduchu [4].....	19
Obrázek 11: Měření netěsností s pomocným čerpacím systémem [4] .....	20
Obrázek 12: Princip separace iontů v magnetickém poli [4].....	21
Obrázek 13: Měření úniku tlakovou metodou [8].....	22
Obrázek 14: Měření úniku vakuovou metodou [8].....	23
Obrázek 15: Měření těsných výrobků bombingovým testem [1] .....	24
Obrázek 16: Schéma komplexního měřicího systému [4] .....	29
Obrázek 17: Schéma zapojení jednotlivých prvků měřicího systému .....	30
Obrázek 18: Snímač tlaku Turck PT10A [16] .....	31
Obrázek 19: Snímač tlaku Agilent PVG-502 [15] .....	31
Obrázek 20: Příklad konfigurovatelného Festo terminálu [14] .....	32
Obrázek 21: Analogový modul TBEN-S2-4AI [12].....	33
Obrázek 22: Schéma komunikace s Turck modulem .....	35
Obrázek 23: Schéma komunikace mezi prvky MVVM [5] .....	37
Obrázek 24: Princip databindingu [9].....	37
Obrázek 25: Definice proměnné bez použití rozšíření PropertyChanged.Fody .....	38
Obrázek 26: Definice proměnné s využitím rozšíření PropertyChanged.Fody .....	38
Obrázek 27: Struktura aplikace.....	39
Obrázek 28: Diagram sériové komunikace s detektorem .....	41
Obrázek 29: Vytvořený user control (tlačítko) .....	43
Obrázek 30: Definice barev použitých uvnitř aplikace.....	44
Obrázek 31: Obrazovka měření .....	45
Obrázek 32: Obrazovka servis .....	46
Obrázek 33: Obrazovka nastavení .....	47
Obrázek 34: Obrazovka parametry .....	48
Obrázek 35: Obrazovka terminál .....	49
Obrázek 36: Obrazovka chybových stavů detektoru. ....	50
Obrázek 37: Obrazovka Servis s připojeným detektorem .....	51
Obrázek 38: Zapojení analogového modulu TBEN-S2-4AI .....	52
Obrázek 39: Testování komunikace s analogovým modulem .....	53
Obrázek 40: Schéma měřicí stanice .....	54
Obrázek 41: Testovaný výrobek .....	55
Obrázek 42: Vakuová komora a její zapojení.....	56
Obrázek 43: Čerpání komory výrobku .....	57
Obrázek 44: Čerpání výrobku.....	58
Obrázek 45: Měření úniku helia z výrobku .....	59
Obrázek 46: Pneumatické schéma měřicí stanice .....	61
Obrázek 47: Zobrazení měřených hodnot v grafu .....	62

## Úvod

Obor detekce netěsnosti se začal rozvíjet po druhé světové válce v reakci na rozvíjející se elektronický průmysl a narůstající zájem o průzkum vesmíru. Požadavky těchto odvětví na prostředí bez významných úniků stimulovalo vývoj v této oblasti. Detekce netěsnosti se tak stala často využívaným nástrojem v mnoha odvětvích výrobního průmyslu.

I v dnešní době moderních technologií, není možné z praktických důvodů vyrobit uzavřený produkt nebo systém, u kterého bychom mohli garantovat, že je těsný (nepropustný) bez toho, aby byl nejprve otestován na netěsnost. Tím vzniká potřeba vytvářet automatizované měřicí soustavy, které by výsledné produkty otestovaly. Tato diplomová práce se zabývá návrhem a vývojem aplikace, která by umožnila servis a diagnostiku měřících soustav a do jisté míry i jejich automatizaci.

Pro návrh aplikace je nejprve nutné seznámit se s teorií měření netěsností a definicí netěsnosti. Tomu se věnuje první část této práce. V této části také popisují jednotlivé měřicí metody a metody lokalizace úniku. Důraz je kladen na metodu měření netěsností pomocí stopového množství helia.

Další část této práce se věnuje možnostem komunikace s detektory od firmy Agilent. Vytvořená aplikace byla realizována pro detektory řady VS a C15. Jsou zde porovnávána jednotlivá komunikační rozhraní a pro vytvořenou aplikaci je vybráno to nejvhodnější.

Vytvořená aplikace umožňuje připojení měřících prvků, které budou sbírat data z okolí detektoru. Další část této práce se tedy zaměřuje na návrh softwarového a hardwarového řešení pro připojení měřících prvků.

Další část této práce se věnuje návrhu struktury výsledné aplikace. Je zde podrobně popsán použitý návrhový styl a jednotlivé prvky použité při návrhu aplikace.

Na návrh struktury aplikace navazuje kapitola o realizaci aplikace. Tato část podrobně popisuje jednotlivé části aplikace a jejich využití. Dále jsou zde zobrazeny jednotlivé obrazovky aplikace a je zde popsáno jejich využití.

Poslední částí této práce je diskuze na téma možností využití vytvořené aplikace. V této části jsou popsány některé z možností využití, a to i s ohledem na budoucí rozvoj aplikace.



# 1 Základy detekce netěsnosti

## 1.1 Definice detekce úniku

Únik může být definován jako nezamýšlený otvor, prasklina nebo poréznost na stěně výrobku, která umožňuje průchod kapaliny nebo plynu. Základní funkcí detekce úniku je pak lokalizace a měření velikosti tohoto úniku. Pro většinu výrobků je detekce úniku součástí kontroly kvality výrobku, která zajišťuje jeho spolehlivost.

Pro samotnou detekci nebo měření velikosti úniku se v praxi využívají přístroje s různou mírou složitosti od nádrží s vodou (ve kterých lze vidět bublinky od případných prasklin) až po vysoce sofistikované systémy, které využívají pro detekci úniku radioaktivní plyny a systémy rekuperace plynu. Detailnější popis jednotlivých metod bude podrobněji probrán v kapitole 3. Základními faktory pro výběr vhodného detektoru jsou citlivost, spolehlivost, cena a snadná obsluha.

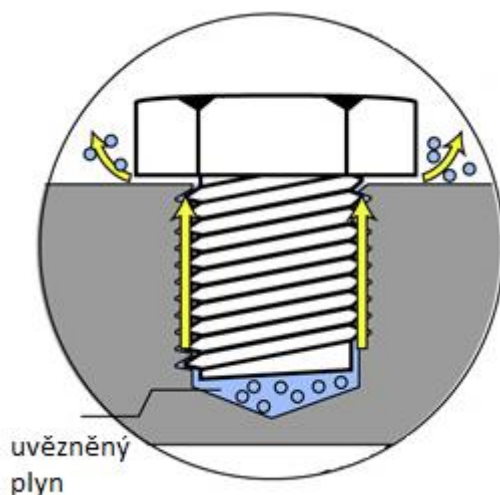
## 1.2 Zdroje úniku

Netěsnosti v nově vyráběných výrobcích jsou s největší pravděpodobností způsobeny nedokonalými spoji, kterými jsou jednotlivé díly spojeny tak, aby vytvořily výsledný výrobek. Tyto spoje zahrnují svary, pájené spoje, těsnění a spoje mezi různými materiály.

Další kategorii netěsností představují netěsnosti způsobené příliš tenkou stěnou výrobku. To se může projevit tím, že se ve ztenčené oblasti vytvoří síť miniaturních prasklin. Tyto praskliny nemusí nutně propouštět kapalinu, ale plyn se skrze ně může dostat dovnitř i ven. To může například v potravinářském průmyslu způsobit zkažení dané potraviny.

Další kategorie netěsnosti může být způsobena samotnou strukturou stěny výrobku. Její molekulární struktura může být uspořádána takovým způsobem, že umožňuje průchod plynu stěnou dovnitř i ven.

Poslední kategorií zdroje úniku je takzvaný virtuální únik, jehož zdrojem je plyn uvězněný uvnitř výrobku. Ten může do výrobku pronikat například špatným vnitřním svarem nebo skrz závit. Tento plyn se do výrobku postupně dostává při vakuování výrobku. I takto malý únik pak může u jistých procesů představovat problém. Na následujícím obrázku je vidět plyn uvězněný pod šroubem, který se při vakuování výrobku dostává do měřeného prostoru.



Obrázek 1: Virtuální únik v okolí šroubu [6]

## 1.3 Velikosti úniku a jednotky pro měření úniku

### 1.3.1 Terminologie měření netěsnosti

Většina úniků je způsobena průchodem plynu, a proto je i většina nejvíce používaných metod založena na pozorování průtoku plynu. Únik je pak měřen pomocí jednotek plynu unikajícího za minutu. Abychom mohli specifikovat množství plynu unikajícího za určitý čas, musí být tento únik popsán pomocí tlaku a objemu unikajícího plynu. Únik pak lze definovat například jako:

Únik 1 cm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> za 10 minut při tlaku 500 kPa

Ačkoli je tato metoda popisu úniku u jistých procesů výhodná, v praxi se častěji používají jednotky, které vyjadřují celkový průtok plynu nebo kapaliny za čas. V Evropě se nejčastěji setkáme s jednotkou mbar.l/s (milibar litr za sekundu), v Americe používají spíše std cc/s (centimetr krychlový při standardních podmínkách teploty a tlaku za sekundu). Únik může být také popsán jinými jednotkami jako je například atm cc/ss (centimetr krychlový při atmosférickém tlaku za sekundu). Tato jednotka je ale závislá na okolních podmínkách (atmosférický tlak a okolní teplota) a ty jsou proměnlivé. Další jednotkou používanou pro popis úniku je Torr litr/s. Tato jednotka se ale spíše používá pro tlakovou a vakuovou techniku.

### 1.3.2 Velikost úniku

Maximální hodnota úniku přijatelná pro výrobek se může lišit na základě jeho použití nebo povahy výrobku. Náklady spojené s testováním výrobku se zvyšují v závislosti na snižující se hodnotě úniku, který chceme detekovat. Proto se testování zbytečně malých úniků může při výrobě prodražit. Typické hodnoty úniku pro jednotlivé aplikace jsou zobrazeny v následující tabulce.

Tabulka 1: Typické hodnoty úniku

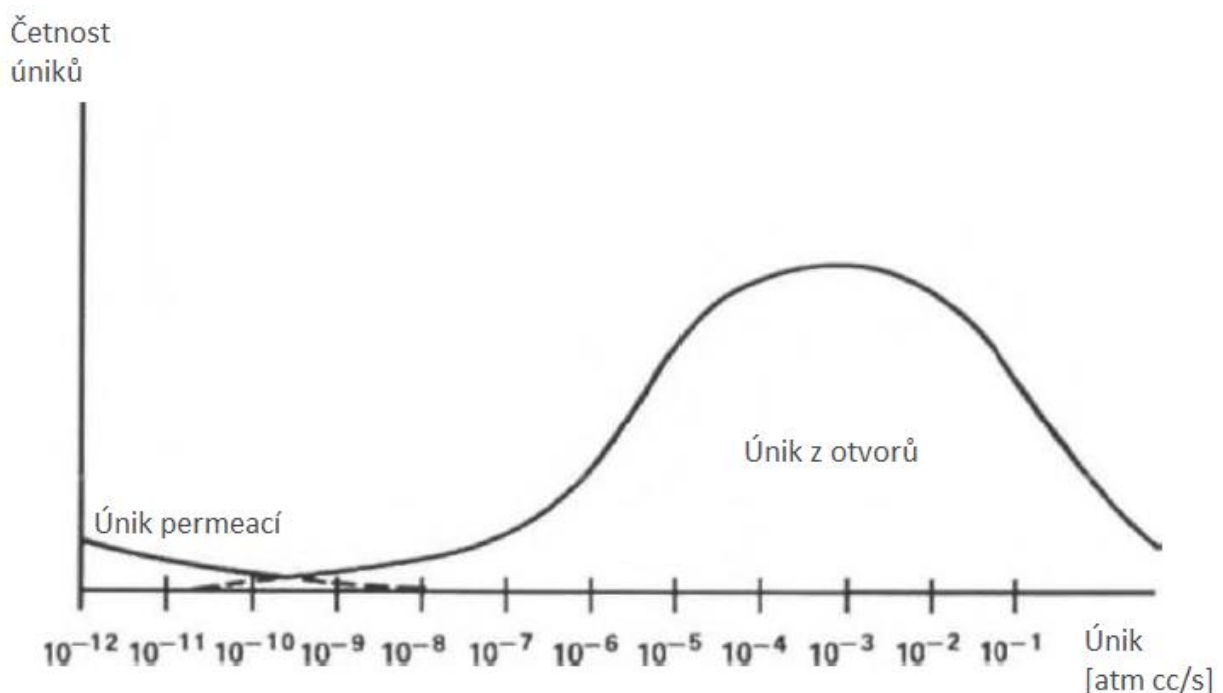
Oblast použití	Hodnota úniku [mbar.l/s]	Dodatečné informace
Zařízení pro chemický průmyslu	10 <sup>-1</sup> až 1	Vysoká rychlost průtoku v procesu
Převodník momentu	10 <sup>-4</sup> až 10 <sup>-3</sup>	Uchování kapalin
Nápoje (plechovky)	10 <sup>-7</sup> až 10 <sup>-6</sup>	Uchování CO <sub>2</sub>
Vakuové systémy	10 <sup>-7</sup> až 10 <sup>-5</sup>	Dynamické systémy
Airbagy	10 <sup>-8</sup> až 10 <sup>-5</sup>	Zajišťuje funkčnost
Obaly integrovaných obvodů	10 <sup>-8</sup> až 10 <sup>-7</sup>	Zabraňuje pronikání vlhkosti
Kardiostimulátor	10 <sup>-9</sup>	Dlouhá životnost implantátu

I když se v průmyslu využívá měření hodnot úniku od  $10^{-9}$  do 1 mbar.l/s, většina úniků se nachází v oblasti od  $10^{-6}$  až do  $10^{-1}$  mbar.l/s jak je patrné z obrázku č.2. Vrchní část této oblasti ( $10^{-4}$  až  $10^{-1}$  mbar.l/s) se většinou měří pomocí bublinkového testu, který bude podrobně popsán dále. Jiné metody detekce se s bublinkovým testem překrývají a dokáží detekovat mnohem menší úniky. Metoda detekce úniku pomocí hélia, které se věnuje tato práce, dokáže detekovat únik v rozsahu 1 do  $10^{-12}$  mbar.l/s. Úniky, které jsou větší než  $10^{-1}$  mbar.l/s lze i pozorovat nebo slyšet.

Netěsnosti, které jsou způsobeny nedokonalým svarem nebo vadným těsněním, zpravidla nejsou menší než  $10^{-7}$  mbar.l/s. Menší úniky jsou většinou ucpány vlhkostí v atmosféře. Tato vlhkost se ale může, například v průběhu pečení výrobku, vypařit a způsobit tak úniky plynu.

Některé produkty, které mají životnost větší než 5 let, mohou být testovány na nižší hodnoty úniku, a to v rozmezí od  $10^{-8}$  do  $10^{-9}$  mbar.l/s. Tyto produkty, jako například kardiostimulátor, je nutné takto testovat z důvodu zajištění jejich funkčnosti i v náročném prostředí.

U většiny výrobků se měření menších úniků, které jsou řádově 100x menší než je předpokládaný limit, projeví pouze dalšími náklady na měření, zatímco spolehlivost výrobku zůstává stejná. Například pokud bychom testovali nápojové plechovky na limit  $10^{-9}$  mbar.l/s, dosáhli bychom tím nejen prodražení výroby, ale i možnost, že testem neprojdou plechovky, které by za normálního měření testem prošly.



Obrázek 2: Četnost úniků v závislosti na jejich velikosti [8]

## 2 Metody detekce a lokalizace netěsnosti

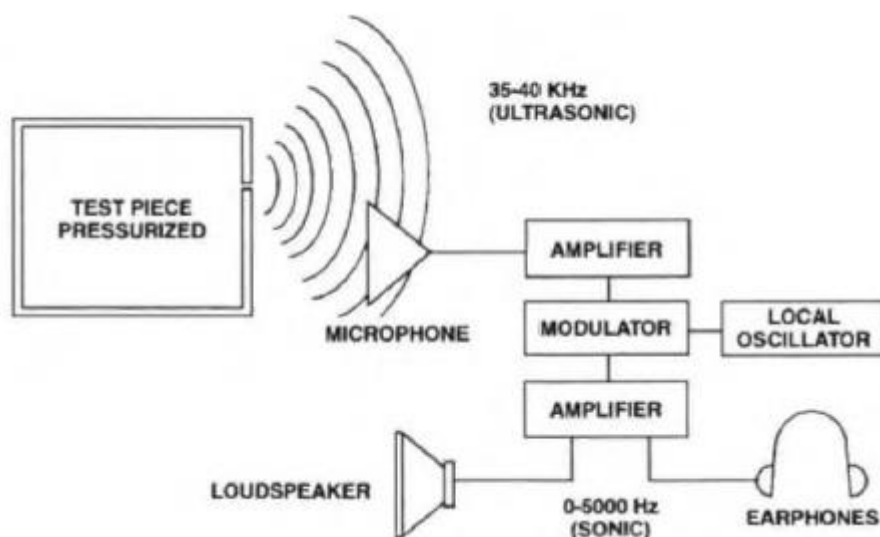
Jak bylo popsáno výše, základní funkcí detekce úniku je lokalizace a měření velikosti úniku. Tyto funkce jsou vykonávány různými metodami v závislosti na výrobku, který má být testován a na jeho vlastnostech. Většina metod využívá k měření a lokalizaci značkovací plyn, kterým je naplněn výrobek a jeho únik na druhé straně netěsnosti lze snadno detekovat. V průběhu testování se doporučuje zachovat stejné tlakové podmínky, v kterých by byl výrobek normálně používán. Například vakuový systém by se měl testovat ve vakuu a tlakové lahve by se měly testovat s vysokým tlakem uvnitř lahví. Následující odstavce popisují nejčastěji používané metody lokalizace a měření netěsností.

### 2.1 Lokalizace netěsnosti

Lokalizace úniku je testovací metoda, která umožňuje přesně lokalizovat místo úniku z výrobku. Jednotlivé metody využívané pro lokalizaci závisí především na dovednostech a zkušenostech obsluhy, která lokalizaci provádí. Lokalizace netěsnosti umožňuje najít místo úniku a dodatečně jej opravit nebo dokonce změnit design celého výrobku. Lokalizace netěsnosti se nejčastěji provádí pomocí následujících metod.

#### 2.1.1 Akustická metoda

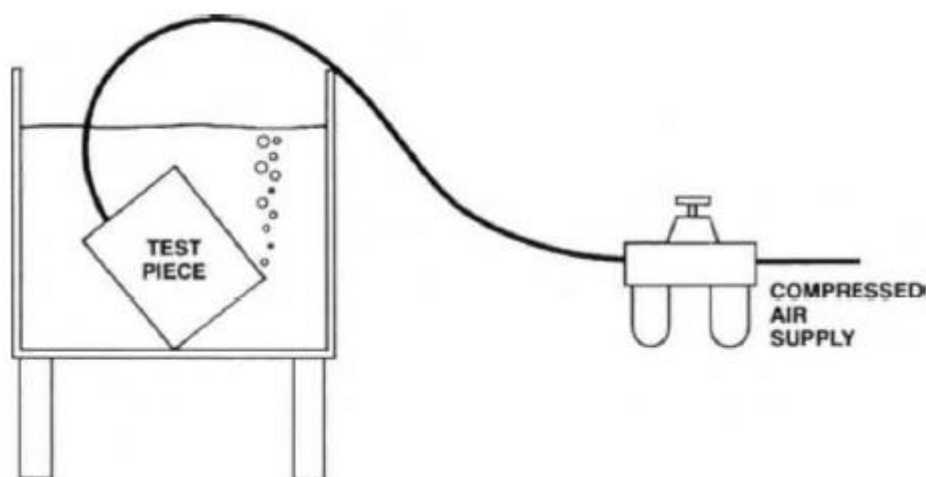
Akustická metoda detekce netěsnosti spočívá v tom, že využívá zvukové nebo ultrazvukové energie, která vzniká při úniku plynu z netěsnosti. Tato metoda je velmi rychlá a jednoduchá, ale má pouze omezenou citlivost. Používá se pro větší úniky do  $10^{-3}$  mbar.l/s [4]. Schéma lokalizačního systému založeném na akustické metodě je na následujícím obrázku.



Obrázek 3: Akustická metoda lokalizace úniku [8]

### 2.1.2 Bublínkový test

Testování za pomoci unikajících bublin (tzv. bublinkový test) je dnes v průmyslu běžně používanou metodou detekce úniku. Jedná se stejně jako u akustické metody o metodu „zevnitřven“ a jeho princip je jednoduchý – zkoumaný objekt je natlakován a ponořen do vodní lázně. Netěsnost je vizuálně identifikována pomocí unikajících bublin vzduchu. Testovat lze také za pomoci mýdlového roztoku a jeho aplikací na povrchu testované součásti s následným sledováním tvorby bublin. Tato metoda je jednoduchá a finančně nenáročná. Hlavní výhodou je, že se operátor, který výrobek testuje, může soustředit na menší zdroje bublin a ignorovat zdroje, které jsou způsobeny například dočasným utěsněním výrobku. Výsledek testu je pak závislý na dovednostech a zkušenostech obsluhy. Bublínkový test je vhodný zejména pro větší úniky a má i své nevýhody. Hlavní nevýhodou je, že testovaný objekt zvlhne a následně je nutné jej vysušit. Voda se také může v průběhu testování dostat dovnitř výrobku a v některých případech jej i znehodnotit. Tato metoda je subjektivní a neumožňuje kvantitativně měřit netěsnost a je vhodná pouze pro úniky  $10^{-4}$  mbar.l/s a větší [4]. Následující obrázek znázorňuje typickou aplikaci bublinkového testu.



Obrázek 4: Bublínkový test [8]

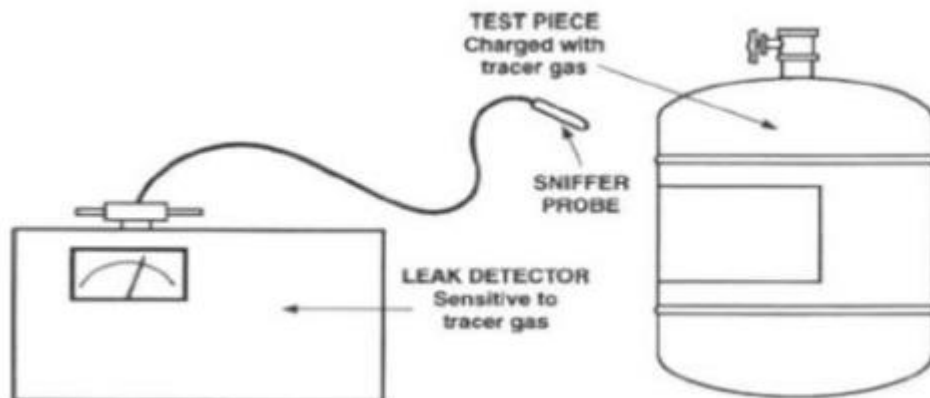
### 2.1.3 Metoda lokalizace pomocí pěny

Tato metoda spočívá v tom, že se povrch testovaného výrobku pokryje speciální pěnou, která se v kontaktu v netěsnosti zvětšuje a umožňuje tak vizuální zjištění dané netěsnosti. Nevýhodou této metody je, že lze použít pouze pro úniky větší než  $10^{-3}$  mbar.l/s.

### 2.1.4 Metoda lokalizace s použitím značkovacího plynu

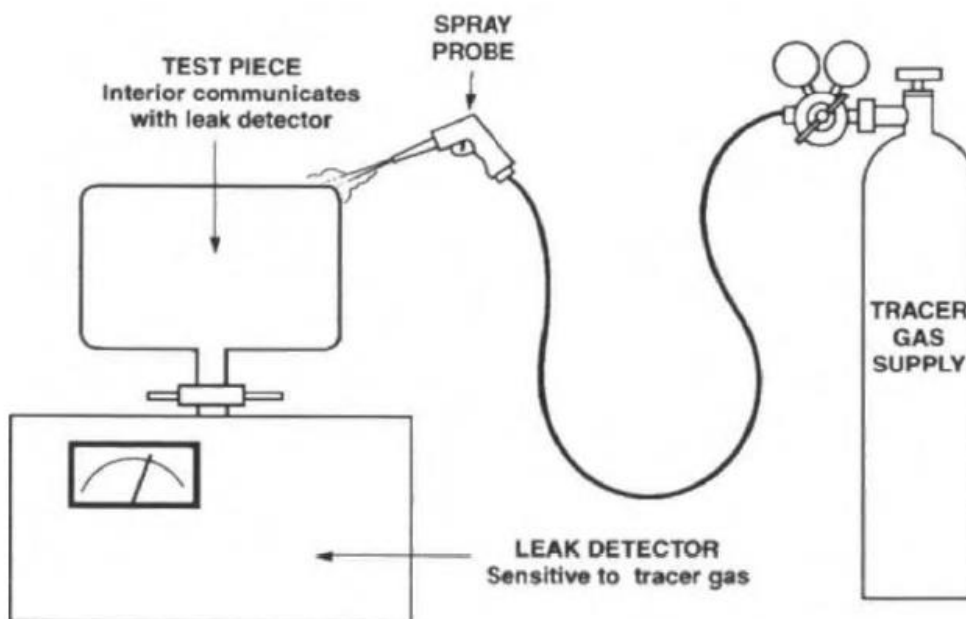
Tato metoda využívá již zmíněný značkovací plyn a používá se ve dvou variantách.

První variantou je takzvaný čichací test, který spočívá v tom, že se výrobek napustí značkovacím plynem, nebo jeho směsí s jiným plynem. Po napuštění se výrobek „očichává“ pomocí speciální sondy. Tato sonda je připojena k detektoru na principu hmotnostního spektrometru, který je citlivý na daný značkovací plyn. Pokud operátor přiloží sondu k místu úniku, detektor tento únik změří a při správném nastavení operátora notifikuje o nalezeném úniku. Výhodou této metody je, že jde o neinvazivní metodu, která je poměrně vysoce přesná a umožňuje i měření velikosti úniku. Nevýhodou je, že její přesnost závisí na zkušenosti operátora, který ovládá čichací sondu. Princip použití této metody je znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 5: Čichací metoda lokalizace úniku [8]

Druhá varianta metody s použitím značkovacího plynu je podobná, ale spočívá v tom, že se výrobek připevní k detektoru a pomocí speciální sondy se výrobek ostříkuje plynem, na který je detektor citlivý. Jelikož je detektor vybaven pumpou, nasává tak skrze netěsnosti ve výrobku značkovací plyn. Při ostříkování místa s netěsností detektor vykazuje vyšší hodnotu naměřeného úniku. Nalezení místa úniku opět závisí na zkušenosti obsluhy. Princip této metody je znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 6: Ostříkovací metoda lokalizace úniku [5]

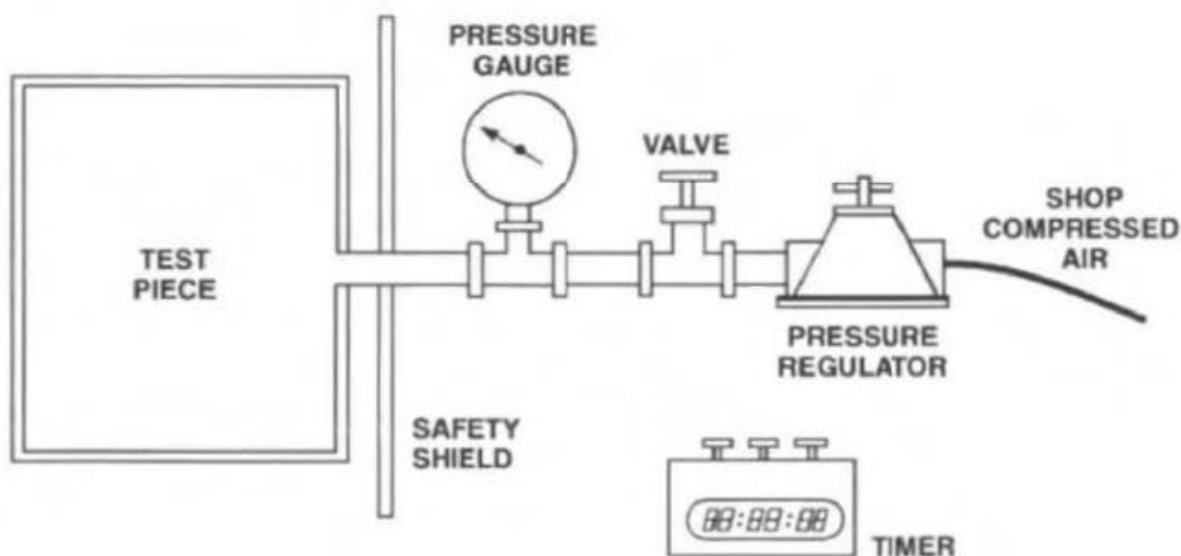
## 2.2 Detekce netěsnosti

Metod pro detekci netěsnosti je celá řada. Navzájem se od sebe liší mírou pracnosti, rychlosti, náklady s nimi spojenými a také minimální hodnotou měřitelného úniku. Před volbou vhodné detekční metody je důležité vybrat metodu tak, aby odpovídala požadavkům na daný výrobek. Kromě výše popsaných metod, které neumožňují měření hodnoty úniku, zde popíšeme metody, které se v praxi využívají nejvíce.

### 2.2.1 Měření poklesem tlaku

Metoda měření poklesem tlaku je jednou z nejvíce používaných v mnoha průmyslových odvětvích. V její nejjednodušší podobě vyžaduje pouze kompresor a manometr. Měření probíhá tak, že se výrobek natlakuje na předem stanovený tlak. V případě, že je ve výrobku netěsnost, můžeme na manometru pozorovat úbytek tlaku. Úbytek tlaku je pak přímo úměrný danému úniku. Citlivost této metody závisí na době měření a její rozsah se pohybuje od  $10^{-4}$  mbar.l/s a výše. Nevýhodou této metody je její závislost na teplotě, jejíž kolísání významně ovlivňuje tlak ve výrobku a tím i přesnost měření. Schéma měření poklesem tlaku je na následujícím obrázku (obr. 7).

Další variantou této metody je pak měření pomocí vakuování výrobku. Tato metoda už není tolik závislá na teplotě, ale v závislosti na objemu výrobku může měření trvat déle. Další nevýhodou je, že je ovlivnitelná virtuálními úniky a vlhkostí ve výrobku.



Obrázek 7: Měření úniku metodou poklesu tlaku [8]

### 2.2.2 Měření pomocí halogenu

Halogenová detekce plynů je používána v oblasti klimatizačních a chladírenských technologií. Tato technologie využívá infračerveného typu detektoru pro zjištění přítomnosti halogenového značkovacího plynu. To pak vyžaduje, aby zkušební vzorek byl naplněn halogenem, což je nepraktické, drahé a může být spornou otázkou pro životní prostředí [4].

### 2.2.3 Měření pomocí vodíku

Vodíková metoda se řadí mezi metody určující netěsnost pomocí značkovacího plynu, který je následně detekován polovodičovým MOS-FET senzorem. Vodíková metoda se používá pro akumulaci a zejména pro čichací test, kde dosahuje podobnou mez detekce jako helium [4]. Nevýhodou měření netěsností pomocí vodíku je fakt, že vodík je výbušný, a proto nelze použít pro měření ve své čisté formě. Pro měření se proto používá takzvaný formovací plyn, který je inertní a nevýbušný stejně jako helium, ale je tvořen z 5 % vodíkem a z 95 % dusíkem.

### 2.2.4 Měření stopového množství helia

K měření netěsnosti metodou měření stopového množství helia se využívá detektor netěsností na principu hmotnostního spektrometru. Výhodou této metody je, že se jedná o jednorázovou neinvazivní metodu s vysokou mírou citlivosti a to od 10 mbar.l/s až do hodnoty úniku  $10^{-12}$  mbar.l/s. V současnosti se tato metoda měření netěsnosti stala jednou z nejvíce používaných. Důsledkem toho je, že je často automatizována pro potřeby dnešních výrobních závodů. Měření touto metodou se hojně využívá pro měření těsnosti hermeticky uzavřených produktů, sestav a vakuových systémů. V následujících odstavcích popíšeme rozdíl mezi heliem a jinými plyny užívanými pro detekci netěsností, dále pak faktory, které ovlivňují dobu a přesnost měření, a poté jednotlivé metody, které využívají helium jako značkovací plyn. Krátce zde popíšeme i princip samotného heliového detektoru.

#### **Helium a ostatní plyny**

Míra prostupnosti netěsností je u plynů daná rozdílem působících tlaků, teplotou a velikostí molekul plynu. Z toho vyplývá, že čím lehčí je plyn, tím lépe prostupuje i těmi nejmenšími netěsnostmi a zlepšuje tak citlivost detektoru. Lehčím plynem, než je helium, je pouze vodík, ale jak již jsem psal výše, jeho používání je omezeno tím, že lze použít pouze ve formě formovacího plynu, což snižuje jeho prostupnost netěsnostmi.

Dalším používaným typem inertního plynu je argon, ten se ale příliš nepoužívá z důvodu své vysoké hmotnosti. Jeho hmotnost je větší než u plynů, které se běžně vyskytují v atmosféře (dusík, kyslík) a proto nedokáže prostupovat netěsnostmi tak lehce jako samotný vzduch. I přes uvedené nedostatky se argon využívá v případech, kdy je použití helia nežádoucí nebo v případech, kdy je výsledný produkt naplněn argonem jako je v případech hermeticky uzavřených relé. Poslední alternativou k heliu by mohl být neon, ten se ale nepoužívá z důvodu vysokých nákladů.

Z výše uvedených důvodů je tedy helium nejlepší možnou variantou pro měření netěsností. Dalšími důvody, proč se helium využívá jsou, že helium je inertní, netoxický a nehořlavý plyn. Jeho použití tedy ve většině případů nezneškodňuje měřený produkt a neohrožuje životní prostředí.



Další výhodou helia je, že se vyskytuje v atmosféře pouze ve stopovém množství (5 ppm). Pro detektory, které se používají pro detekci značkovacích plynů v testech netěsností, kdy plyny nejsou zcela vyčerpány, je limit detekce určen koncentrací, nebo přesněji úrovní pozadí značkovacího plynu v okolí. Stopové množství helia v atmosféře tedy umožňuje měření mnohem menších netěsností, než je tomu u jiných plynů.

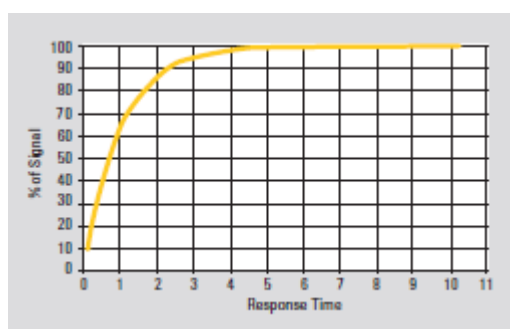
### Faktory ovlivňující přesnost a rychlost měření

Zjistit netěsnost rychle je jednou z nejdůležitějších podmínek při používání heliového detektoru netěsností nebo stanice pro detekci netěsností. Tento požadavek je určen těmito znaky:

- Doba odezvy
- Doba zjištění
- Doba zmizení

#### 2.2.4.1 Doba odezvy

Doba odezvy je definována jako čas, který je potřebný pro změření 63 % signálu helia. Tato doba odezvy je založená na exponenciálním chování (Obr. 8). Zde je zachycen průběh signálu netěsnosti  $10^{-7}$  mbar.l/s [4].



Obrázek 8: Průběh detekovaného signálu úniku  $10^{-7}$  mbar.l/s[4]

Aby bylo možné měřit signál ve vakuových aplikacích, doba odezvy by měla být co nejkratší. Obecně, větší testovaný objem povede k pomalejší době odezvy. Také testovaný objem, který je připojen k detektoru dlouhou úzkou trubicí, negativně ovlivní dobu odezvy, vzhledem k tomu, že helium musí projít trubicí k detektoru [4].

Pro daný objem musí být účinná čerpací rychlost detektoru netěsnosti nebo stanice pro detekci netěsností vždy co největší. Aby bylo možné optimalizovat dobu cyklu, například v produkci, mohou být použity pomocné pumpy, tak aby bylo dosaženo kýžených cílů. Tyto pumpy musí být odpovídající velikosti a musí být správně zapojeny tak, aby uspořádání vedlo k maximální efektivitě [4].

#### 2.2.4.2 Doba zjištění

Doba zjištění je doba, která je potřebná k tomu, aby bylo možné vidět zvýšení signálu nad úroveň šumu poté, co helium prostoupilo netěsností. Doba zjištění je pouze primární ukazatel netěsnosti a neukazuje na možnou velikost netěsnosti. Liší se od doby odezvy, která se určuje z hodnoty signálu [4].

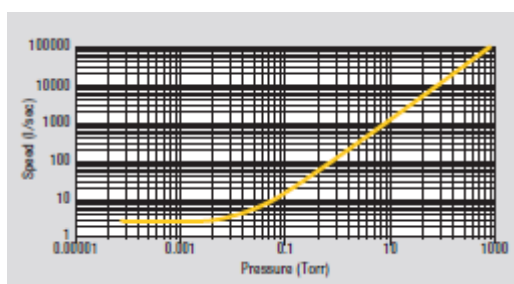
První „objevení se“ netěsnosti je často dostačující pro zastavení testovacího cyklu dříve, než se testovací komora nasytí heliem a tím se předejde zdlouhavému čištění. V některých aplikacích postačuje zjištění, že je přítomna netěsnost bez ohledu na její velikost a plnou dobu odezvy. Výjimečné odečítací schopnosti Agilent VS série heliových detektorů netěsností značně zlepšuje dobu zjištění [4].

#### 2.2.4.3 Doba zmizení

Doba zmizení nebo taky doba čištění je čas, který je potřebný k tomu, aby se heliový detektor obnovil a jeho citlivost se vrátila do požadovaných mezí poté, co byl vystaven netěsnosti. Zde dochází k největším rozdílům v čase mezi výkonnými a nevýkonnými uspořádáními ve stanicích pro detekci netěsností. Vysoké čerpací rychlosti vedou k značně kratším dobám čištění [4].

### Výběr vhodného připojení

Většinou je potřebné instalovat připojení testované části nebo komory k detektoru netěsností. Nastavení správné velikosti takového připojení hraje podstatnou roli ve výkonu systému pro detekci netěsností, protože 1) připojení přidává další objem do celkového uspořádání systému a 2) také omezuje čerpací schopnost systému pro detekci netěsností. Výběr nevhodného připojení může změnit možnosti systému pro detekci netěsností. Například trubice dlouhá 4 stopy a průměrem 0,40 palců má vodivost helia 0,27 l/s v molekulovém toku (Obr. 9). To znamená, že ani ten nejvýkonnější systém nedosáhne lepší čerpací rychlosti než 0,27 l/s. Použijeme-li tuto hodnotu ve výpočtech pro dobu odezvy, dobu zjištění a dobu čištění, zjistíme snadno vliv omezené vodivosti [4].



Obrázek 9: Vodivost (tok) helia v závislosti na tlaku [4]

## Proces odčerpání

Aby bylo možné testovat výrobek na netěsnost, je nutné nejdříve evakuovat daný výrobek nebo komoru, ve které bude testován. Požadovaná úroveň vakua závisí na požadavcích pro přípustnou velikost netěsnosti [4]. (Viz část o pozadí helia níže.)

Aby bylo dosaženo odpovídající úrovně v co možná nejkratší době, je nezbytné vybrat čerpací systém s vhodnými vlastnostmi, čerpací rychlostí a základním tlaku, stejně tak jako je nutné zvážit správné uspořádání potrubí, vodivostní omezení a velikosti přidaných objemů. Při nákupu heliového detektoru netěsností, který je vybaven vlastní primární pumpou, je nutné věnovat zvláštní pozornost velikosti pumpy, abychom se vyhnuli dokupování dalších pomocných pump, potrubí a řídicích zařízení [4].

### 2.2.4.4 Pozadí helia

Jak ukazuje obrázek 10, helium je ve vzduchu obsaženo v koncentraci 5 ppm. Přestože se jedná o velmi nízkou úroveň, pokud hledáme netěsnosti velikosti  $10^{-9}$  mbar.l/s, pak je pozadí helia ve vzduchu problém [4].

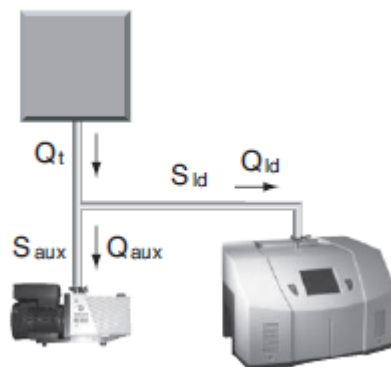
Gas	Symbol	% by Volume	PPM
Nitrogen	N2	78.08	780800
Oxygen	O2	20.95	209500
Argon	Ar	0.93	9300
Carbon Dioxide	CO2	0.03	300
Neon	Ne	0.0018	1
Helium	He	0.0005	5
Krypton	Kr	0.0001	1
Hydrogen	H2	0.00005	0.5
Xenon	Xe	0.0000087	0.087

Obrázek 10: Koncentrace plynů ve vzduchu [4]

Vhodná evakuace a technika sprejování v kombinaci s adekvátním odvětráním jsou klíčové pro udržení dobrého provozu systému pro detekci netěsností. Správné plnění, odvětrání a opatrné uvolnění helia po testu jsou kritické při čichací metodě testování netěsností. Agilent VS série detektorů netěsností je vybavena unikátní vlastností potlačování pozadí helia, které umožňuje kompenzaci až >2 dekad pozadí helia (plovoucí nula) [4].

## Souběžný provoz

Je-li objem testovaného výrobku velký nebo doba cyklu příliš krátká, může být třeba doplnit pomocný čerpací systém, který bude pracovat souběžně s heliovým detektorem netěsnosti (viz Obr. 11). V tomto případě je pomocná pumpa nebo pomocný systém používán pouze pro snížení vstupního tlaku [4].



Obrázek 11: Měření netěsností s pomocným čerpacím systémem [4]

Výpočet doby odezvy, doby zjištění a doby zmizení je nutné zvážit jak pro efektivní čerpací rychlost helia danou detektorem netěsností tak pro efektivní čerpací rychlost helia danou pomocnou pumpou v komoře. Celkový tok helia ( $Q_t$ ), který prochází komorou a netěsností se rozdělí na tok ( $Q_{ld}$ ) směrem k detektoru a tok ( $Q_{aux}$ ) směrem k pomocné pumpě. To vede ke snížení zjištěné velikosti netěsnosti na detektoru a je nutné provést kompenzaci [4].

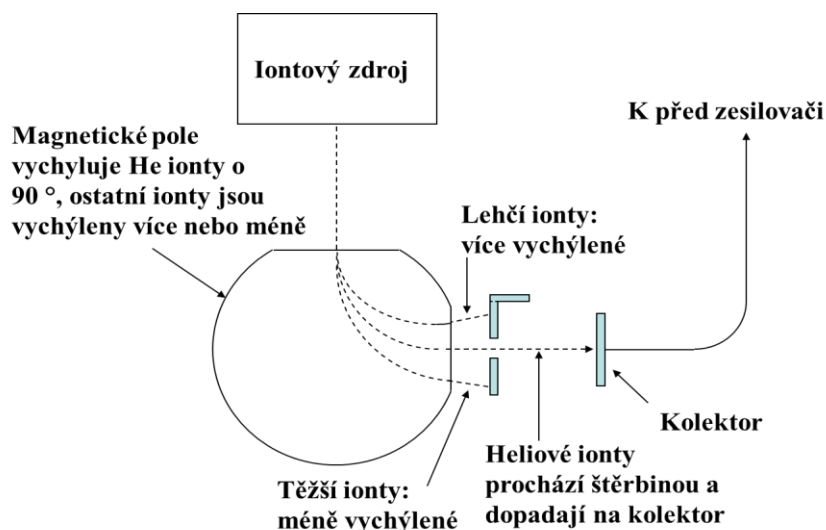
## Spotřeba helia

Na základě udržitelné citlivosti při používání metody detekce netěsností pomocí helia je možné testované výrobky naplnit heliem/plynnou směsí tak, aby došlo ke snížení spotřeby helia. To je možné aplikovat především pro výrobky s velkým objemem nebo testování během produkce. Nižší spotřeby helia je také možné dosáhnout zvýšením tlaku v testované součástce a zároveň snížením koncentrace. Efekt se bude lišit podle toku, který je daný velikostí konkrétní netěsnosti [4].

### 2.2.4.5 Princip heliového hmotnostního spektrometru

Detektor netěsnosti na principu hmotnostního spektrometru je kompletní systém pro lokalizaci a měření úniku do nebo vně zařízení. K měření úniku využívá helia, které se nachází ve výrobku nebo v komoře okolo něj. Unikající hélium se v průběhu měření dostává do detektoru, kde se dále zpracovává a výsledek měření je zobrazován na displeji.

Samotný princip detektoru je takový, že plyn (helium) unikající do detektoru je ionizován ve vakuu. Ionty plynu jsou pak pomocí napětí v komoře detektoru urychlovány a dále pomocí magnetického pole separovány. To se děje tak, že magnetické pole vychyluje ionty helia o  $90^\circ$ , zatímco ostatní ionty (těžší nebo lehčí) jsou vychylovány více či méně a nedostanou se tedy na kolektor. Ionty helia separované v magnetickém poli jsou kolektorem měřeny a převáděny na proud, který je zesílen a zobrazen na displeji ve formě jednotek úniku. Měřený proud je úměrný koncentraci helia v plynu a také velikosti úniku. Následující obrázek znázorňuje separaci iontů v magnetickém poli detektoru.



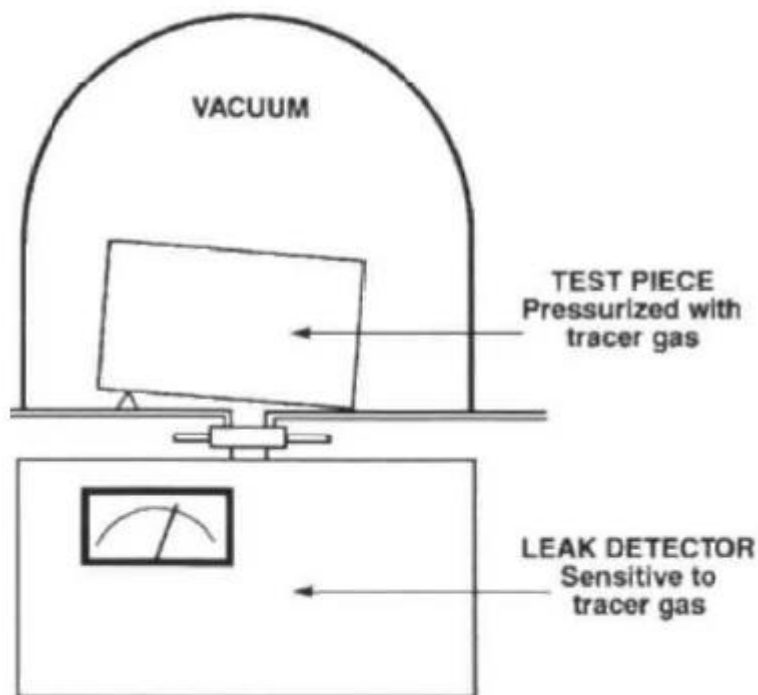
Obrázek 12: Princip separace iontů v magnetickém poli [4]

Heliový detektor netěsnosti se skládá z následujících částí:

- Hmotnostní spektrometr nastavený pro detekci Helia
- Vakuový systém pro udržování dostatečně nízkého tlaku ve spektrometru
- Primární vakuová pumpa pro evakuaci testovaného objektu
- Ventily, které umožňují řídit jednotlivé fáze měřicího cyklu od evakuace, přes testování k zavzdušnění
- Elektronický měřicí a řídicí systém
- Napájecí zdroje pro jednotlivé komponenty - ventily, ochranné obvody atd.
- Upínací zařízení (adapter), které zajišťuje připojení testovaného objektu k detektoru

#### 2.2.4.6 Tlaková metoda

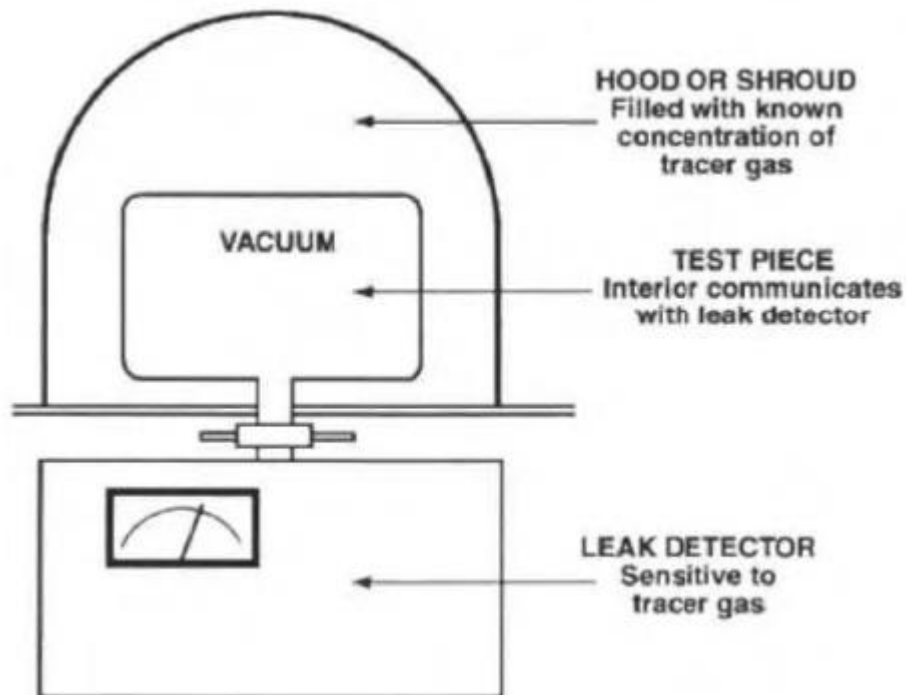
Měření touto metodou probíhá tak, že se výrobek natlakovaný značkovacím plynem (heliem) umístí do komory, ze které se odčerpá vzduch až na vakuum. Tato komora je po celou dobu měření připevněna k detektoru, který zaznamenává únik značkovacího plynu z výrobku do komory. Schéma této metody je na následujícím obrázku.



Obrázek 13: Měření úniku tlakovou metodou [8]

#### 2.2.4.7 Vakuová metoda

Tato metoda je opakem tlakové metody, kdy se objem výrobku vyčerpá pomocí speciálního čerpacího systému, nebo pomocí samotného detektoru. Po vyčerpání se výrobek obklopí komorou, která se naplní heliem. Na rozdíl od předchozí metody je k detektoru připevněn výrobek, do kterého se netěsností může dostat značkovací plyn. Únik plynu je pak měřen a vyhodnocen pomocí detektoru. Schéma měření je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 14: Měření úniku vakuovou metodou [8]

Obě zmíněné metody mohou měřit kontinuální hodnotu úniku, nebo mohou nechat plyn akumulovat před následným měřením. Častěji se používá kontinuální metoda, protože vede k rychlejšímu měření s přijatelnou mírou sensitivity. Akumulace plynu se využívá pouze ve speciálních případech jako je například bombingový test.

#### 2.2.4.8 Bombingový test

Poslední speciální metodou měření netěsností pomocí helia je takzvaný bombingový test. Heliové testování netěsností otevřených objektů je celkem přímočaré vzhledem k tomu, že jedna část je pod vakuem (ta část, kde je heliový detektor) a druhá je otevřená do atmosféry (tam, odkud se ostříkuje heliem). Na druhou stranu, testování netěsností v hermeticky uzavřených (těsných) objektů přináší určité výzvy. Tyto překážky byly vyřešeny pomocí heliového testování netěsností pomocí bombové metody [4].

Tato metoda je tvořena soustavou následujících kroků.

- 1) V první fázi je testovaný objekt umístěn do komory, která bude natlakovaná heliem (tato fáze se nazývá bombovací čas). Dojde k rozdílu tlaků mezi vnějškem a vnitřkem součástky. Pokud by v součástce byla netěsnost, helium by touto trhlinou proniklo dovnitř během natlakování. Nakonec helium součástku zcela naplní [4].
- 2) V druhé fázi je součástka vyjmuta z tlakovací komory a je přenesena k heliovému detektoru netěsností [4].
- 3) Poté je součástka umístěná dovnitř testovací komory, která je připojena na heliový detektor netěsností. Pokud je v součástce netěsnost, helium, které se dostalo dovnitř součástky, bude nyní unikat ven. Heliový hledač pak detekuje netěsnost a změří rychlost úniku ze součástky [4].

Schéma měření pomocí této metody je na následujícím obrázku.



Obrázek 15: Měření těsných výrobků bombingovým testem [1]

Měření pomocí této metody má i své limity. Tyto limity jsou shrnuty dále.

- 1) Vnitřní mrtvý objem součástky. Pokud je příliš malý, není možné udržet dostatečné množství helia, které je možné detekovat [4].
- 2) Citlivost detektoru, který nemůže zachytit ultra malé netěsnosti [4].
- 3) Součástky, které mají veliké trhliny a helium z nich vyprchá dříve, než jej detektor může zachytit. Tyto netěsnosti vyžadují jiné metody detekce, například vizuální [4].

Součástí této práce je také návrh a realizace aplikace, která bude sloužit jako náhrada za dotykové displeje, které lze pro ovládání detektoru zakoupit. Tato aplikace bude umožňovat ovládání detektoru, sběr dat z detektoru a bude umožňovat řízení jednoduché stanice na měření netěsností za použití detektoru. Pro tuto aplikaci bude klíčové se podrobně seznámit s jednotlivými možnostmi komunikace s detektorem. Těmto možnostem se věnuje následující část této práce.



### 3 Možnosti komunikace s detektory VS a C15

Detektory firmy Agilent řady VS a C15 se od sebe liší v mnoha ohledech. Detektory řady C15 představují kompaktní a jednodušší řešení, zatímco řada VS představuje robustnější systém pro komplexní testování. Komunikace s těmito detektory se ale o mnoho neliší, pouze detektory řady VS podporují dodatečné příkazy.

Obě řady detektorů disponují diskrétními vstupy a výstupy, sériovým rozhraním a rozhraním pro ethernet. V následujících odstavcích popíši, co je nutné ke zprovoznění jednotlivých typů komunikace a dále popíši typický průběh komunikace.

#### 3.1 Sériový port

Základním komunikačním portem, kterým disponují všechny detektory řady VS a C15, je sériový port. Pro komunikaci po sériové lince jsou potřeba pouze tři vodiče. Jedním je zemnicí vodič, druhým vodič pro přenos dat a třetím vodič pro přijímání dat. Ostatní vodiče není nutné zapojovat, protože s nimi samotný detektor nepracuje.

Pro nastavení komunikace po sériové lince je zapotřebí nastavit parametry sériového portu komunikačního partnera podle parametrů, které jsou uvedeny níže.

Parametry sériového portu:

- Přenosová rychlost: 9600 bps
- Počet datových bitů: 8
- Parita: žádná
- Stop bit: 1
- Ukončovací znak: Carriage return <CR>

Samotná komunikace pak probíhá pomocí posílání klíčových slov, za kterými následují názvy parametrů, na které se dotazujeme, nebo které chceme změnit. Pokud se jedná o parametr, který ke změně vyžaduje zadání hodnoty, pak se tato hodnota posílá ještě před klíčovým slovem. Některé příkazy jsou speciální a nevyžadují tak používání klíčových slov. Posílání příkazů a dotazů probíhá pomocí odesílání jednotlivých ASCII znaků. Prodleva mezi jednotlivými znaky by měla být alespoň 50ms.

Klíčová slova jsou:

- ? – Dotaz na aktuální hodnotu parametru nebo stav detektoru
- PUT – Příkaz, umožňující přepsat stav nebo hodnotu konstantních parametrů
- INIT – Příkaz, umožňující přepsat stav nebo hodnotu proměnných parametrů

Po přijetí příkazu detektor odpovídá tím, že na sériovou linku zopakuje to, co mu bylo zasláno. Detektor může na příkaz odpovědět třemi různými způsoby, podle toho, jestli příkaz vykonal, nebo ho nezná, nebo ho provést nešlo. Pokud příkaz vykonal, odpovídá detektor zopakováním příkazu a připojí k němu *ok*. V případě, že detektor příkaz nepoznal, nebo byla vyžadována neplatná hodnota, detektor odpovídá zopakováním příkazu a připojí k němu dva znaky *?#*. V posledním případě, kdy detektor nemohl provést daný příkaz, detektor odpovídá slovem *CANNOT*.

Po přijetí dotazu detektor odpovídá aktuální hodnotou parametru, na který byl položen dotaz. Odpověď také může být ve formě *Yes/No* nebo *I/O* pokud jde o dvoustavovou proměnnou.

### 3.1.1 Příklad sériové komunikace

Například pokud chceme detektor zkalibrovat pomocí integrovaného kalibrované netěsnosti, musíme nejdříve povolit kalibraci vnitřní kalibrovanou netěsností, nastavit metodu kalibrace na interní a zapnout kalibrování. V průběhu kalibrace můžeme sledovat stav detektoru pomocí dotazů na stav. Tento příklad nastavení kalibrace je pomocí jednotlivých příkazů rozepsán dále.

Příklad komunikace pro kalibraci detektoru:

1 INIT-INTERNAL-TYPE – Odesláním tohoto příkazu říkáme detektoru, že ke kalibraci může použít vnitřní kalibrovanou netěsnost

Odpověď: 1 INIT-INTERNAL-TYPE ok

1.7E-04 INIT-STDLEAK – Odesláním tohoto příkazu říkáme detektoru, že hodnota jeho vnitřní kalibrované netěsnosti je  $1,7 \cdot 10^{-4}$  mbar.l/s

Odpověď: 1.7E-04 INIT-STDLEAK ok

INTERNAL – Tímto příkazem nastavíme mód kalibrace na interní

Odpověď: INTERNAL ok

CALIBRATE – Tímto příkazem se zapne samotná kalibrace

Odpověď: CALIBRATE ok

V průběhu kalibrace můžeme sledovat jednotlivé stavy detektoru pomocí periodického odesílání dotazu *?LPV*. Tento příkaz detektor vyhodnotí a jako odpověď odešle aktuální hodnoty měřeného úniku, aktuální tlak na vstupu do detektoru a aktuální pracovní mód detektoru. V průběhu kalibrování tak můžeme sledovat jednotlivé módy detektoru a aktuální měřenou hodnotu úniku z kalibrované netěsnosti.

## 3.2 Diskrétní I/O

Další možnost komunikace s detektorem představuje 25 pinový DB25S konektor. Tento konektor využívá 5 pinů pro napájení, 12 pinů pro výstupy a 8 pinů pro vstupy. Výstupními piny detektor udává aktuální stavy detektoru (stav kalibrace, detektoru, vláken...). Vstupní piny slouží ke spouštění jednotlivých procesů detektoru jako je spuštění interní a externí kalibrace, nastavení automatického rozsahu nebo nastavení automatického nulování signálu (pokud je detekovaný signál menší než 0).

Hlavní nevýhodou této komunikace je to, že neumožňuje přepisování parametrů detektoru a nepodporuje všechny příkazy jako je tomu v případě sériové komunikace.

### 3.2.1 Příklad komunikace pomocí diskretních I/O pinů

Kalibraci detektoru lze provést i přes toto rozhraní a to tak, že pin 25 přivedeme na stav HIGH (5 V). Ten aktivuje možnost komunikace přes I/O port. Dále pak už stačí jen pin 14 přivést na stav HIGH. Tím se spustí celková interní kalibrace detektoru. Jednotlivé výstupní piny pak v průběhu kalibrace mění svůj stav a my tak můžeme sledovat aktuální stav procesu kalibrace.

## 3.3 Rozhraní Ethernet

Rozhraní ethernet je v detektoru implementováno pomocí Anybus – CompactCom modulu, který umožňuje připojení k více typům Fieldbusu. Podporovány jsou například Profinet, Ethernet/IP, EtherCAT a Modbus TCP. Rozhraní je tedy vhodné pro komunikaci téměř se všemi komerčně dostupnými typy PLC.

Komunikace probíhá cyklicky, vždy se odesílá 8 wordů dat (8x16 bitů) do PLC a 8 wordů dat z PLC do detektoru. Popis jednotlivých wordů a jejich využití je v následující tabulkách.

Tabulka 2: Popis vstupních dat

Číslo wordu	Využití/informace
0	Informace o stavech 1
1	Informace o stavech 2
2	Aktuální hodnota úniku
3	Exponent aktuální hodnoty úniku
4	Číslo parametru, na který byl vznesen dotaz
5	Hodnota parametru 1
6	Hodnota parametru 2
7	Hodnota parametru 3

Tabulka 3: Popis výstupních dat

Číslo wordu	Využití/informace
0	Funkce pro spuštění 1
1	Funkce pro spuštění 2
2	Rezervováno
3	Rezervováno
4	Číslo parametru, který chceme změnit
5	Hodnota parametru 1
6	Hodnota parametru 2
7	Hodnota parametru 3

Jak je vidět z tabulek 2 a 3, wordy 4-7 jsou využívány pro čtení a zápis hodnot do parametrů detektoru. Výhodou tohoto typu komunikace je její rychlost a robustnost. Nevýhodou je pak to, že parametrů, které lze měnit v detektoru, je méně než v případě sériové komunikace.

### 3.3.1 Příklad komunikace pro Profinet

Pro spuštění kalibrace detektoru stačí pouze nastavit bit 0 ve wordu 0 na stav HIGH. Detektor vyhodnotí stoupající hranu bitu 0 a spustí interní kalibraci.

Pokud bychom se chtěli například zeptat na hodnotu interní kalibrované netěsnosti, museli bychom dle návodu do wordu 4 zapsat hodnotu 0x24 a do wordu 5 hodnotu 0x82. To značí, že chceme přečíst hodnotu s indexem 24. V následujícím cyklu se nám vrátí ve wordu 4 hodnota 0x24 a ve wordech 5,6 a 7 samotná hodnota interní kalibrované netěsnosti.

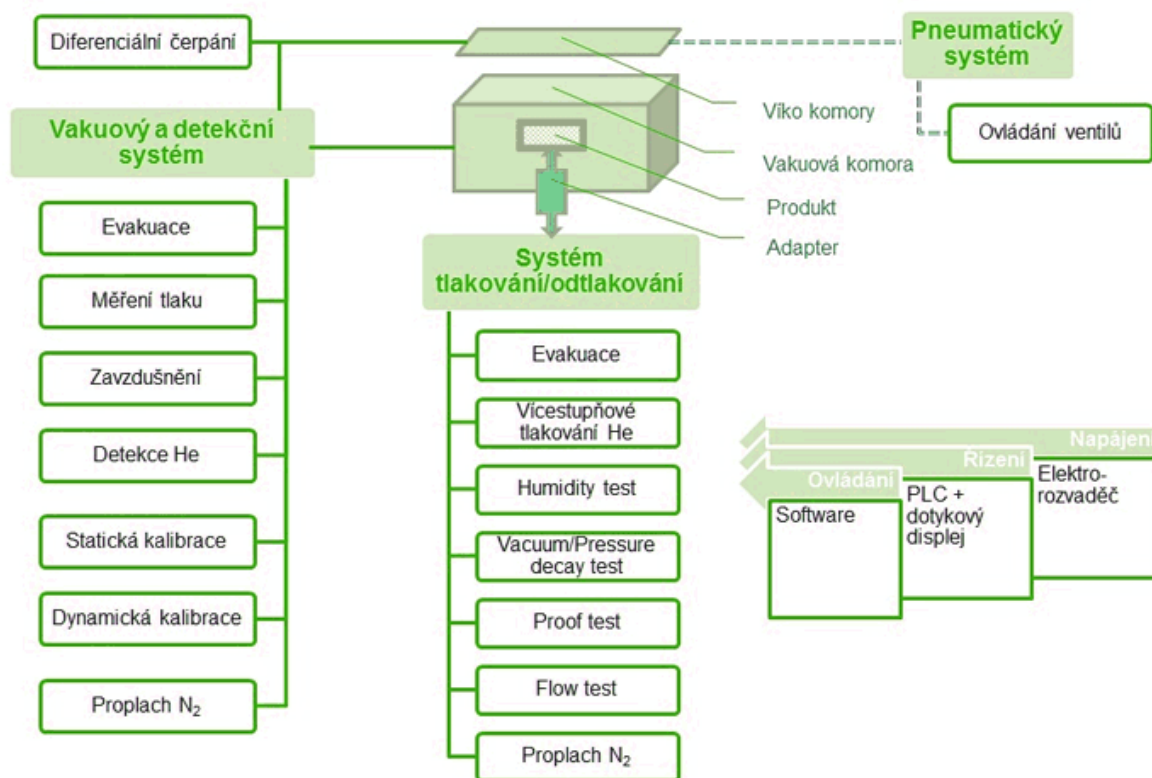
## 3.4 Porovnání komunikačních rozhraní

V předchozích kapitolách jsem podrobně popsal jednotlivé možnosti komunikace s heliovým detektorem. Samotný detektor nepodporuje komunikaci na více rozhraních zároveň, a proto jsem jako hlavní komunikační rozhraní pro svoji aplikaci vybral sériovou linku. Jak jsem již popsal výše, hlavní výhodou sériového rozhraní oproti jiným možnostem komunikace je, že podporuje kompletní sadu příkazů pro komplexní nastavení a sběr dat z detektoru. Nevýhodou sériové komunikace je, že aplikace bude muset být přizpůsobena pro jednotlivé detektory řady VS. Přizpůsobení se těmto změnám bude obnášet změny v uživatelském rozhraní aplikace, ale i změny v samotné sériové komunikaci.

Výsledná aplikace pro ovládání a konfiguraci detektoru bude umožňovat i sběr dat z okolí detektoru. Aplikace tedy bude muset obsahovat další komunikační rozhraní s modulem, který bude shromažďovat data z okolí. V následující části této diplomové práce podrobně popíši jednotlivé části měřicího systému a navrhnu hardwarové a softwarové řešení pro připojení měřicích členů.

## 4 Návrh HW a SW řešení pro připojení měřících prvků k detektoru

Jak již bylo popsáno výše, proces měření netěsnosti je provázán s dalšími veličinami, které je také vhodné při měření netěsnosti sledovat. V závislosti na měřícím systému se mění i požadavky na měření okolních veličin. U komplexních systémů je vhodné měřit jednotlivé části systému, a to od vstupního tlaku helia a jiných plynů, až po tlak v měřící komoře a tlak v měřeném výrobku. Schéma takového komplexního měřícího systému je na následujícím obrázku (obr. 16).



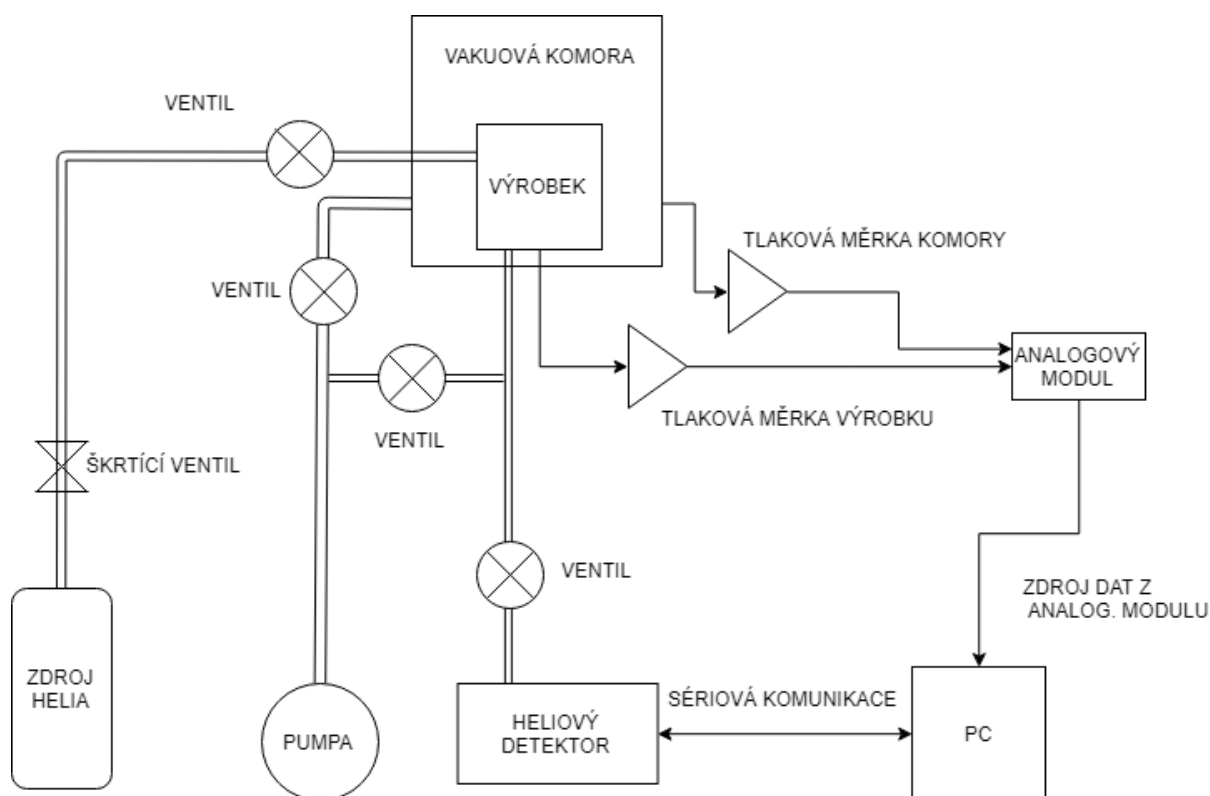
Obrázek 16: Schéma komplexního měřícího systému [4]

Mnou navržený systém pro měření netěsností pomocí helia bude vycházet z předchozího obrázku. Tento systém ale nebude řízen pomocí PLC, ale pomocí aplikace, která bude výstupem této diplomové práce. Celý systém tedy bude založen na heliovém detektoru, který bude ovládán pomocí sériového rozhraní z aplikace, která poběží na all-in-one PC s dotykovým displejem.

Pro připojení jednotlivých částí měřícího systému je zapotřebí soustavy ventilů, které budou oddělovat jednotlivé části systému. Jedná se tedy o ventil před detektorem, který nám umožní měřit výrobek až poté, co byl tlakován heliem. Další ventil bude potřeba pro zdroj helia, kterým budeme tlakovat výrobek. Posledními ventily budou ventily od pumpy, která bude evakuovat výrobek a komoru, ve které bude testovaný výrobek umístěn. Jelikož se jedná o jednoduchou měřící stanici, všechny výše uvedené ventily budou manuálně ovládané.

Pro úspěšné měření je zapotřebí sledovat i veličiny, které jsou s měřením netěsnosti provázané. Jedná se o tlak ve výrobku a tlak v komoře obklopující výrobek. Tlak ve výrobku budeme sledovat v průběhu evakuace pumpou a také při tlakování heliem. Takto změřený tlak helia je pak součástí výsledku měření. Měření tlaku v komoře se využívá pro měření netěsnosti výrobku poklesem tlaku. Například pokud by v průběhu tlakování výrobku začal stoupat i tlak v komoře, zjistíme tím, že testovaný výrobek je netěsný a není nutné jej dále měřit.

Následující schéma (obr. 17) zobrazuje jednotlivé prvky mnou navrženého měřicího systému. Základem je tedy heliový detektor, který je přes ventil připojen k výrobku, který se má testovat. Výrobek a vakuová komora jsou připojeny přes manuální ventily k pumpě, která zajišťuje evakuaci výrobku i komory a rovněž i správný tlak na vstupním portu detektoru. Výrobek je přes manuální ventil připojen ke zdroji helia, které je pomocí škrtícího ventilu redukováno na požadovaný tlak. Celý systém je ovládán pomocí PC, které ovládá detektor a zajišťuje sběr měřených dat přes sériový port detektoru. PC je rovněž připojeno k analogovému modulu, který sbírá hodnoty tlaku v komoře a ve výrobku. Tyto hodnoty jsou dále zpracovávány a zobrazovány v PC.



Obrázek 17: Schéma zapojení jednotlivých prvků měřicího systému

Podle vytvořeného schéma nyní můžeme navrhnout hardwarové a softwarové řešení pro připojení analogových senzorů tlaku.

## 4.1 Návrh hardwarového řešení

Před výběrem jednotlivých sensorů tlaku se nejprve musíme zamyslet nad tím, jaký výrobek budeme testovat a na jakou netěsnost. Pro účel tohoto modelového řešení jsem vybral jako testovaný výrobek palivový filtr, který je nutné otestovat na hodnotu úniku  $1.5 \cdot 10^{-5}$  mbar.l/s při tlaku ve výrobku 5 bar.

Víme tedy, že tlak ve výrobku se bude pohybovat mezi 0 bar (výrobek se před tlakováním heliem pomocí pumpy vyčerpá na povolené minimum) a 5 bar. Pro měření tlaku ve výrobku tedy budeme potřebovat snímač tlaku vhodný pro rozsah od 0 bar do 5 bar. Tlak v komoře se naopak bude pohybovat od 1 bar do nižších hodnot, v závislosti na výkonnosti pumpy, které bude komoru odčerpávat. Výkonnost pumpy se vybírá na základě objemu výrobku a komory a také na základě požadavků na takt měření jednotlivých výrobků.

Z komerčně dostupných snímačů tlaku jsem jako snímač tlaku ve výrobku vybral snímač PT10A od firmy Turck (viz obr. 18), který měří v rozsahu od 0 do 10 bar s napěťovým výstupem 0 až 10 V. Jako vakuový snímač pro měření tlaku v komoře jsem vybral snímač PVG-502 od firmy Agilent (viz obr.19) s napěťovým výstupem 0 – 10 V. Jeho měřicí rozsah se pohybuje od  $5 \cdot 10^{-4}$  mbar do 1000 mbar.



Obrázek 18: Snímač tlaku Turck PT10A [16]



Obrázek 19: Snímač tlaku Agilent PVG-502 [15]

#### 4.1.1 Výběr analogového modulu

Nyní, když jsme pro testovaný výrobek vybrali typy použitých snímačů, můžeme pokračovat výběrem analogového modulu, který bude sbírat data z připojených snímačů a odesílat je do aplikace. Analogových modulů, kterých bychom mohli pro připojení snímačů využít, je celá řada. V této části práce zde uvedu několik možných řešení a na závěr vyberu to, které se bude pro sběr dat nejvíce hodit a které do výsledné aplikace implementuji.

##### 4.1.1.1 PLC a analogové vstupy

Nejjednodušším řešením pro připojení měřicích prvků by bylo využití PLC s modulem analogových vstupů, který by jednoduše zprostředkoval měřená data do aplikace. Hlavní výhodou tohoto řešení by byla jeho snadná implementace a robustnost. Celý systém by tak mohl být propojen pouze pomocí ethernetu. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost programování PLC, dále pak nutnost použití OPC serveru, který by umožňoval komunikaci mezi PLC a aplikací a následně i vyšší pořizovací cena.

##### 4.1.1.2 Univerzální terminály Festo

Další možností připojení měřicích prvků k aplikaci by bylo využití univerzálních terminálů (obr. 20) od společnosti Festo, které umožňují vytváření vlastních sad modulů. Můžeme si tedy vytvořit terminál, který bude obsahovat potřebný počet analogových vstupů a případně i digitální vstupy a výstupy. Výhodou tohoto řešení je to, že jde o velice univerzální řešení, které lze v případě potřeby změnit na míru dané měřicí stanici. Lze využít i možnosti ovládání ventilů pomocí pneumatických bloků, čímž se zvýší možnosti využití měřicí stanice (lze použít do vyšších tlaků). Další výhodou je, že tyto terminály lze ovládat pomocí různých průmyslových sítí. Nevýhodou je pak fakt, že se nejedná o nejlevnější řešení. Pokud bychom chtěli využít i možnosti řízení ventilů pomocí pneumatických bloků, museli bychom připojit k měřicí stanici i pneumatické rozvody, které opět navyšují pořizovací cenu.



Obrázek 20: Příklad konfigurovatelného Festo terminálu [14]



#### 4.1.1.3 Využití analogového modulu

Nejjednodušším a nejméně nákladným řešením by bylo využití externího analogového modulu, který by umožňoval komunikaci pomocí protokolů, které jsou implementovány do jazyka C#. Takovéto řešení může představovat například analogový modul TBEN – S2 – 4AI od firmy Turck (viz obr. 21). Jeho vlastnosti, kvůli kterým jsem vybral právě tento modul, jsou shrnuty níže.

Výhody TBEN-S2-4AI:

- Připojení 4 analogových konfigurovatelných vstupů
- Podporuje Profinet, Ethernet/IP a Modbus TCP
- Obsahuje integrovaný ethernet switch
- Podporuje 10 Mbps / 100 Mbps
- Kompaktní provedení
- Stupeň krytí IP67
- Umožňuje konfiguraci pomocí webového rozhraní
- Dobrý poměr cena / výkon



Obrázek 21: Analogový modul TBEN-S2-4AI [12]

#### 4.1.1.4 Porovnání analogových modulů

Hlavním motivem pro vytvoření aplikace pro ovládání a sběr dat z detektoru a jeho okolí bylo vytvoření co možná nejlevnějšího řešení, které by mohlo nahradit stávající řešení měřících stanic. Stávající řešení je realizováno pomocí PLC s využitím OPC serveru. Z výše uvedených důvodů jsem se rozhodl využít analogový modul od společnosti Turck. Nespornou výhodou tohoto modulu je snadná implementace a nízká pořizovací cena.

## 4.2 Návrh softwarového řešení

Pro realizaci připojení měřících prvků jsem v předchozí kapitole vybral analogový modul TBEN-S2-AI. Nyní zde navrhnu softwarové řešení pro komunikaci s tímto modulem. Jak již bylo zmíněno výše, modul TBEN-S2-AI podporuje Profinet, Ethernet/IP a Modbus TCP. Pro komunikaci s tímto modulem budu využívat Modbus TCP. Výhodou použití právě tohoto komunikačního protokolu je fakt, že Modbus TCP má širokou podporu v .NET frameworku. Výsledná aplikace tak může využít volně dostupných knihoven pro komunikaci s Modbus TCP. Já jsem se rozhodl využít veřejně dostupnou knihovnu EasyModbus. Tato knihovna umožňuje snadné užívání Modbus TCP pomocí předem vytvořených funkcí.

Modbus TCP umožňuje komunikaci pomocí speciálních komunikačních zpráv. Každá z těchto zpráv je definována pomocí kódu (viz. Tabulka 4), který přesně definuje akci, kterou má komunikační partner vykonat.

Tabulka 4: Kódy základních funkcí Modbus TCP

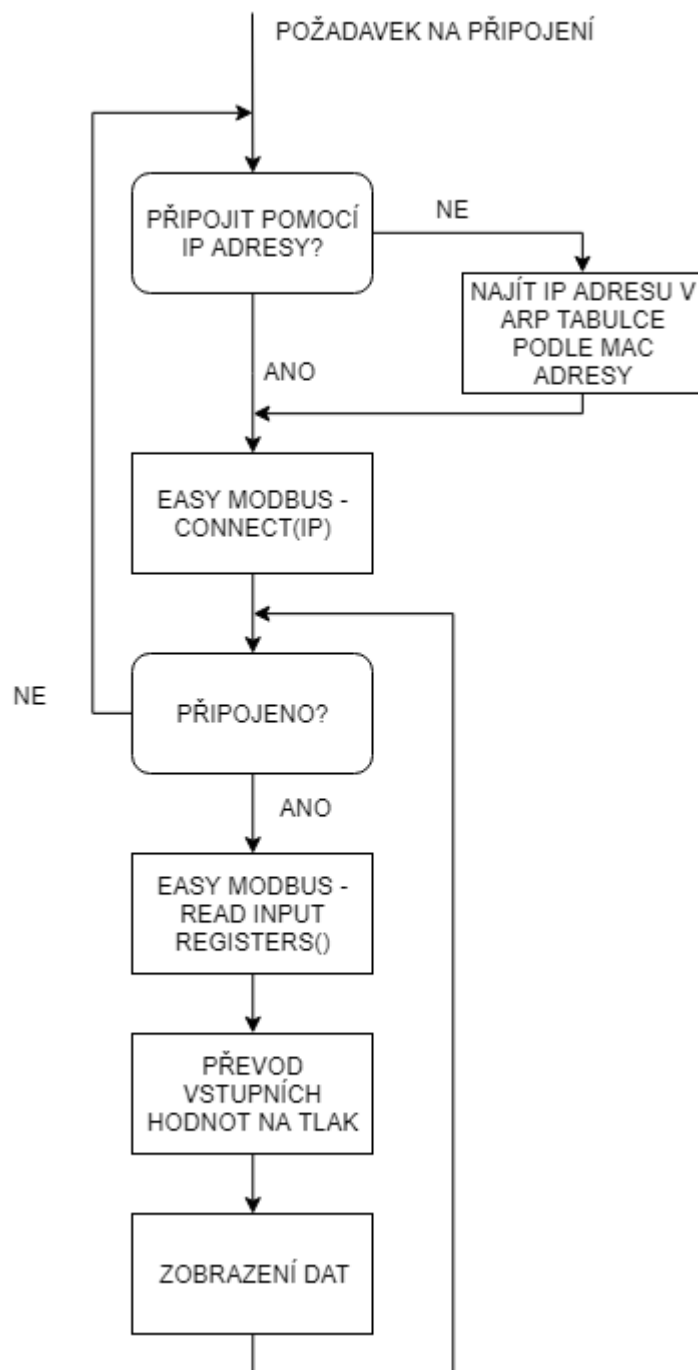
Kód	Název funkce	Popis
01	Read Coils	Čtení jednoho nebo více bitů
02	Read Discrete Inputs	Čtení jednoho nebo více bitů
03	Read Holding Registers	Čtení jednoho nebo více 16bitových registrů
04	Read Input Registers	Čtení jednoho nebo více 16bitových registrů
05	Write Single Coil	Zápis jednoho bitu
06	Write Single Register	Zápis jednoho 16bitového registru
15	Write Multiple Coils	Zápis více bitů
16	Write Multiple Registers	Zápis více 16bitových registrů

Všechny výše uvedené kódy základních funkcí jsou v knihovně EasyModbus implementovány formou metod, které umožňují čtení a zápis jednotlivých bitů a registrů. Příkladem může být například následující vytvořená funkce.

### **int[] ReadInputRegisters(int startingAddress, int quantity)**

Tato funkce umožňuje čtení vstupních registrů modulu. Vstupními parametry této metody jsou adresa registru, od kterého chceme začít číst aktuální hodnotu a dále pak počet registrů, které chceme přečíst. Tato metoda pak podle zadaných parametrů sama vytvoří komunikační zprávu v příslušném tvaru. Návratovou hodnotou této metody je pak pole 16 bitových čísel, která lze pomocí převodních charakteristik převést na inženýrské jednotky.

S využitím knihovny EasyModbus jsem navrhnul komunikační schéma s analogovým modulem, které je na následujícím obrázku (obr. 22). Jak je z obrázku vidět, komunikace s modulem bude koncipována tak, že bude možné připojit se k modulu pomocí IP i MAC adresy. Pokud uživatel zvolí možnost připojení pomocí IP adresy, použije se metoda Connect(string IP) z knihovny EasyModbus, která zajišťuje připojení k dané IP adrese. Pokud uživatel zvolí metodu připojení pomocí MAC adresy, nejprve se pomocí ARP tabulky zjistí přiřazená IP adresa zařízení s odpovídající MAC adresou a poté se k nalezené IP adrese připojí pomocí stejné metody jako v případě připojení pomocí IP adresy.



Obrázek 22: Schéma komunikace s Turck modulem

Jakmile je zařízení připojeno, cyklicky se budou odesílat požadavky na čtení vstupních registrů modulu, které se následně podle uživatelem vybraných převodů, převedou na hodnoty tlaku. Výsledná data se uloží do paměti a zobrazí v grafu.

Pokud by došlo k tomu, že se během komunikace modul odpojí, dojde k pokusu o jeho opětovné připojení. Pokud by tento pokus selhal, uživatel bude informován o přerušeném spojení pomocí vyskakovacího okna.

## 5 Návrh struktury aplikace

Základním požadavkem na výslednou aplikaci je, aby byla vytvořena v jazyce C#. Nejprve je nutné rozhodnout, jakou platformu zvolit. Nabízí se Windows Forms (WF), nebo Windows Presentation Foundation (WPF). Já jsem zvolil WPF aplikaci, a to z následujících důvodů.

Výhody WPF:

- Umožňuje přizpůsobení GUI (Graphical User Interface)
- Umožňuje separaci GUI a logiky
- Snadnější implementace MVVM (Model-View-ViewModel) architektury
- Možnost spouštění aplikací z prohlížeče
- Výraznější podpora od Microsoftu
- Novější aplikace se vyvíjejí ve WPF, větší podpora od komunity
- Možnost přizpůsobení pro různé rozlišení a různé typy zařízení

Pro samotnou architekturu aplikace jsem zvolil návrhový vzor MVVM, který je ve WPF lehce implementovatelný a umožňuje snazší škálovatelnost a udržitelnost kódu. Další výhodou je pak separace grafického rozhraní od logiky, což umožňuje testování jednotlivých částí aplikace. Popisu MVVM návrhového vzoru se věnuje následující část této kapitoly.

### 5.1 Model-View-ViewModel

Návrhový vzor MVVM vychází z modelu MVC (Model-View-Controller). Jedná se o jeden z nejlepších způsobů pro uspořádání kódu bez použití serveru jako hlavního komunikačního zprostředkovatele. MVVM umožňuje psaní udržitelných, testovatelných a rozšiřitelných aplikací. Jednotlivé prvky tohoto vzoru jsou popsány dále. Schéma komunikace mezi jednotlivými prvky MVVM je na obrázku č. 23.

#### 5.1.1 View

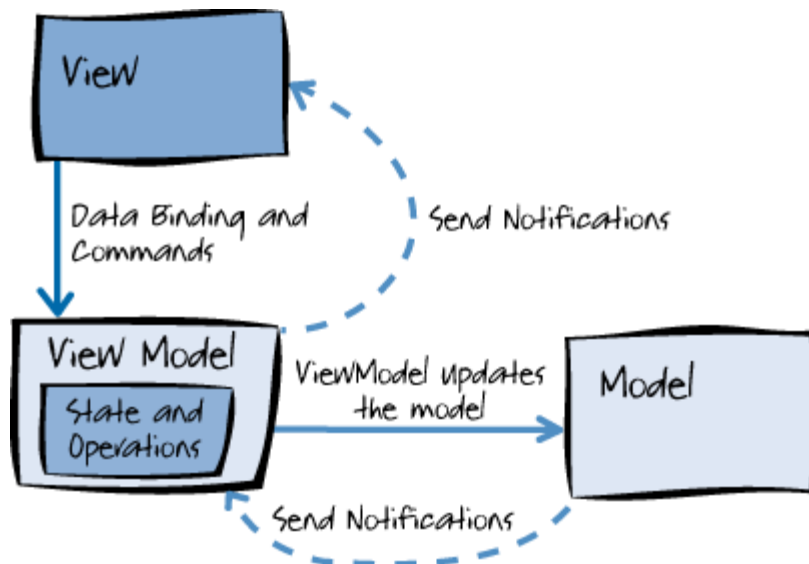
View je zodpovědný za definování struktury, uspořádání a vzhledu toho, co uživatel vidí na obrazovce. V ideálním případě je View definován čistě pomocí nástroje XAML s omezeným kódem, který neobsahuje logiku.

#### 5.1.2 ViewModel

ViewModel představuje spojení mezi Modelem a View a spravuje aktuální stavy aplikace. Ovládací prvky z View jsou pomocí databindingu propojeny s ViewModelem a zobrazují data v něm uložená. Dále se v něm provádí filtrování a konverze dat v závislosti na stavu aplikace. Aby hodnoty proměnných automaticky propagovaly do View, musí implementovat rozhraní `INotifyPropertyChanged`.

#### 5.1.3 Model

Model představuje data, se kterými aplikace pracuje a který zahrnuje datový model spolu s logikou a validací. Může také představovat přístupový bod do databáze dat. Model nemusí nic vědět o stavu ovládacích prvků aplikace.

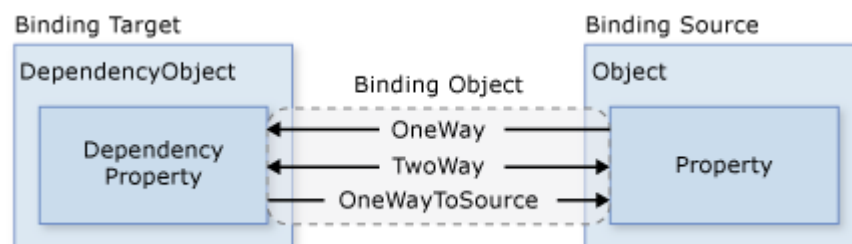


Obrázek 23: Schéma komunikace mezi prvky MVVM [5]

Stěžejními prvky v návrhovém modelu MVVM jsou data binding a commandy. Ty umožňují oddělení uživatelského rozhraní od ostatních částí kódu a zvyšují tak celkovou robustnost vytvořené aplikace. Jejich podrobný popis je popsán dále.

### Data binding

Data binding (obr. 24) je proces, který vytváří spojení mezi uživatelským rozhraním aplikace a její logikou. Pokud data binding obsahuje správná nastavení a data poskytují správná oznámení, pak když data změni její hodnotu, prvky, které jsou vázány k datům, se automaticky změni. Data binding také obstarává to, že pokud se změni vnější reprezentace dat v prvku, mohou být podkladová data automaticky aktualizována tak, aby odrážely změnu. Například pokud uživatel upraví hodnotu v elementu TextBox, je podkladová hodnota dat automaticky aktualizována tak, aby odrážala tuto změnu. Typickým použitím data bindingu je umístění serverových nebo místních konfiguračních dat do formulářů nebo jiných uživatelských ovládacích prvků [9].



Obrázek 24: Princip databindingu [9]

Pro využití vlastností data bindingu budu využívat ve své aplikaci softwarové rozšíření pro Visual studio s názvem *PropertyChanged.Fody*. Toto rozšíření umožňuje snadnější a přehlednější implementaci jednotlivých proměnných (property), které budu ve své aplikaci využívat. Pokud bych toto rozšíření nevyužíval, musel bych pro každou třídu, která bude využívat data binding implementovat interface *INotifyPropertyChanged*, a pro jednotlivé proměnné definovat jejich privátní (sloužící jako paměť) a veřejnou část (využívanou pro samotný databinding). Tento postup je znázorněn na následujícím obrázku (obr. 25).

```

//privátní proměnná sloužící jako paměť
private string _Exponent;

/// <summary>
/// Proměnná použitá pro databinding bez použití rozšíření PropertyChanged.Fody
/// </summary>
- references | Jiří Maixner, 45 days ago | 1 author, 1 change
public string Exponent
{
    get { return _Exponent; }

    set
    {
        _Exponent = value;
        OnPropertyChanged("Exponent");
    }
}

```

Obrázek 25: Definice proměnné bez použití rozšíření PropertyChanged.Fody

Jak je vidět z předchozího obrázku, bez použití zmíněného rozšíření je pro definici jedné proměnné zapotřebí několika řádků navíc, které pouze znepráhledňují kód. Definice proměnné s použitím rozšíření PropertyChanged.Fody je zobrazena na obrázku číslo 26. Jak je z obrázku patrné, k definici jedné proměnné stačí jeden řádek kódu. Použitím rozšíření se kód nutný k funkci data bindingu generuje na pozadí a důsledkem je pak přehlednější a jednodušší kód.

```

/// <summary>
/// Proměnná použitá pro databinding s použitím rozšíření PropertyChanged.Fody
/// </summary>
- references | Jiří Maixner, 45 days ago | 1 author, 1 change
public string Exponent { get; set; }

```

Obrázek 26: Definice proměnné s využitím rozšíření PropertyChanged.Fody

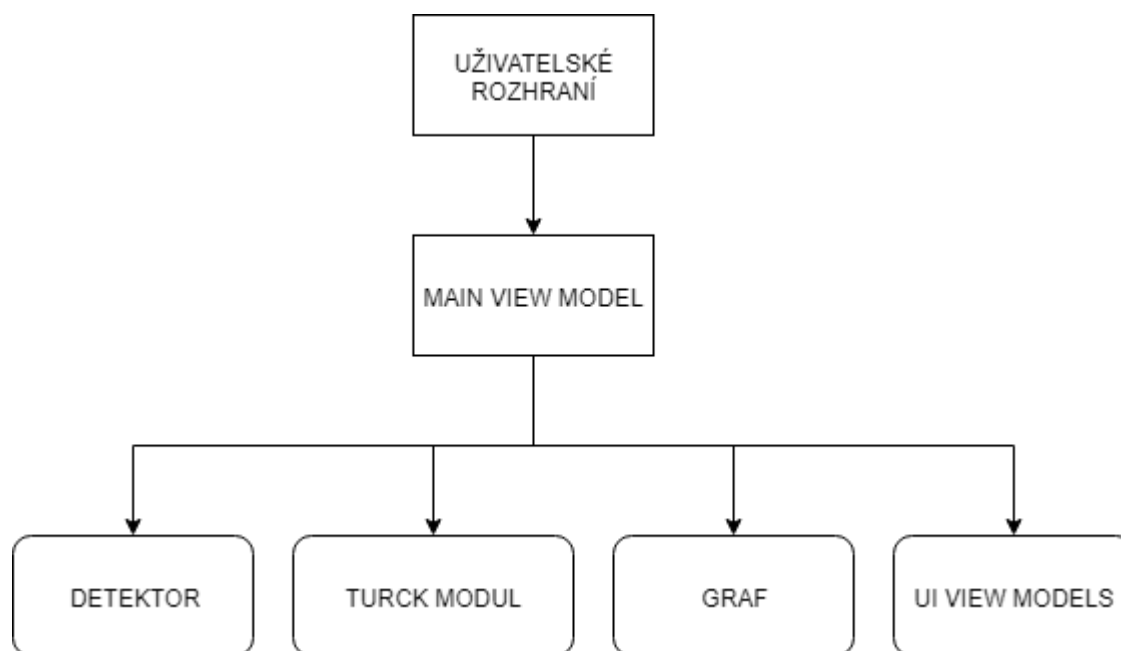
## Commands

Jak již jsem zmínil výše, dalším důležitým prvkem pro oddělení uživatelského rozhraní od logiky aplikace je využití takzvaných commandů. Commandy jsou způsob, jak zvládat akce uživatelského rozhraní. Na rozdíl od eventů, které jsou pevně spojeny s daným ovládacím prvkem, představují commandy způsob, jak volně provázat uživatelské rozhraní na logiku, která provádí akci.

Command umožňuje obecně definovat nějakou akci. Tuto akci je pak možné deklarativně (ze XAMLu) volat z uživatelského rozhraní. Díky použití volně dostupné třídy RelayCommand, která umožňuje jednoduchou deklaraci commandů, bude obsluha akce, tj. reakce na vyvolání daného commandu, prováděná přímo ve ViewModelu. Zjednodušeně řečeno je to tedy mechanismus, jak z uživatelského rozhraní volat "metody" ViewModelu (bez nutnosti kódu v codebehind). Jednu akci tj. command je přitom případně možné volat z více míst (např. z menu nebo tlačítkem) [10].

## 5.2 Struktura aplikace

Realizovaná aplikace bude vytvořena dle následujícího schéma (obr. 27). Jak již jsem psal výše, aplikace bude koncipována podle návrhového vzoru MVVM, který umožňuje separaci jednotlivých částí kódu, a umožňuje tak testování jednotlivých částí. Celkovou strukturu aplikace můžeme rozdělit na několik hlavních částí. Jednotlivé části



Obrázek 27: Struktura aplikace

### Uživatelské rozhraní

První částí aplikace, kterou bude ovládat koncový uživatel, je uživatelské rozhraní. Jelikož bude aplikace umožňovat sledování aktuálních měřených hodnot detektoru, komplexní nastavení jeho parametrů a další funkce, rozhodl jsem se toto rozhraní z důvodu přehlednosti rozdělit pomocí prvku Tabcontrol na jednotlivé panely, které budou členit aplikaci podle jednotlivých funkcí. Části, na které jsem aplikaci rozdělil, jsou popsány dále.

První část uživatelského rozhraní se bude věnovat nastavení komunikace s detektorem a komunikaci s dalšími prvky potřebnými k měření netěsnosti. Tato část se také bude starat o nastavení parametrů samotné aplikace, jako je jazyková sada, nastavení připojených měřících modulů a nastavení převodních konstant pro měřící prvky.

Druhá část se bude věnovat terminálové komunikaci s detektorem. Ta umožní operátorovi odeslat jakýkoliv příkaz, nebo dotaz, který by mohl potřebovat pro diagnostiku závad detektoru. Tato část bude také zobrazovat historii odeslaných a přijatých zpráv z detektoru. Důležitou funkcí bude i zálohování komunikace s detektorem a případné rady pro diagnostiku závad detektoru. Jednotlivé příkazy pro komunikaci s detektorem zde budou popsány a bude uveden i příklad jejich použití.

Třetí část se bude věnovat hlavním parametrům detektoru. Tato část bude umožňovat kompletní zálohování nastavených parametrů detektoru spolu s aktuálními hodnotami. U jednotlivých parametrů bude možné nastavit požadovanou hodnotu a přepsat tak aktuální hodnoty parametrů v detektoru. Uložené hodnoty bude možné nahrát do jiného detektoru, který by při poruše nahradil ten původní a umožnil tak opětovný provoz zařízení bez zbytečného prodlení.

Čtvrtá část se bude věnovat sběru a zobrazování aktuálních parametrů detektoru. Cyklicky budou vyčítány všechny pro proces důležité parametry a zobrazovány v uživatelském prostředí. Dále bude umožněna jejich změna a implementována detekce poruchových stavů. Tato část bude opticky rozdělena na menší části, které se budou týkat jednotlivých částí detektoru. Budou zde například části týkající se turbo pumpy, kalibrace, komory detektoru, dále pak nastavení reject pointů a rozsahů.

Poslední částí bude přehled naměřených hodnot netěsnosti spolu s aktuálními hodnotami příslušných měřících prvků. Uživatel zde bude mít možnost vybrat si, která data se budou zobrazovat v jednotlivých displejích a grafu. Tato část se bude starat o ukládání naměřených výsledků a hlášení chyb. Poslední funkcí této části uživatelského rozhraní bude i funkce zobrazování aktuálních stavů detektoru (připojení, kalibrace a měřící mód) a budou zde přístupné tlačítka pro ovládání hlavních funkcí detektoru.

## **Main view model**

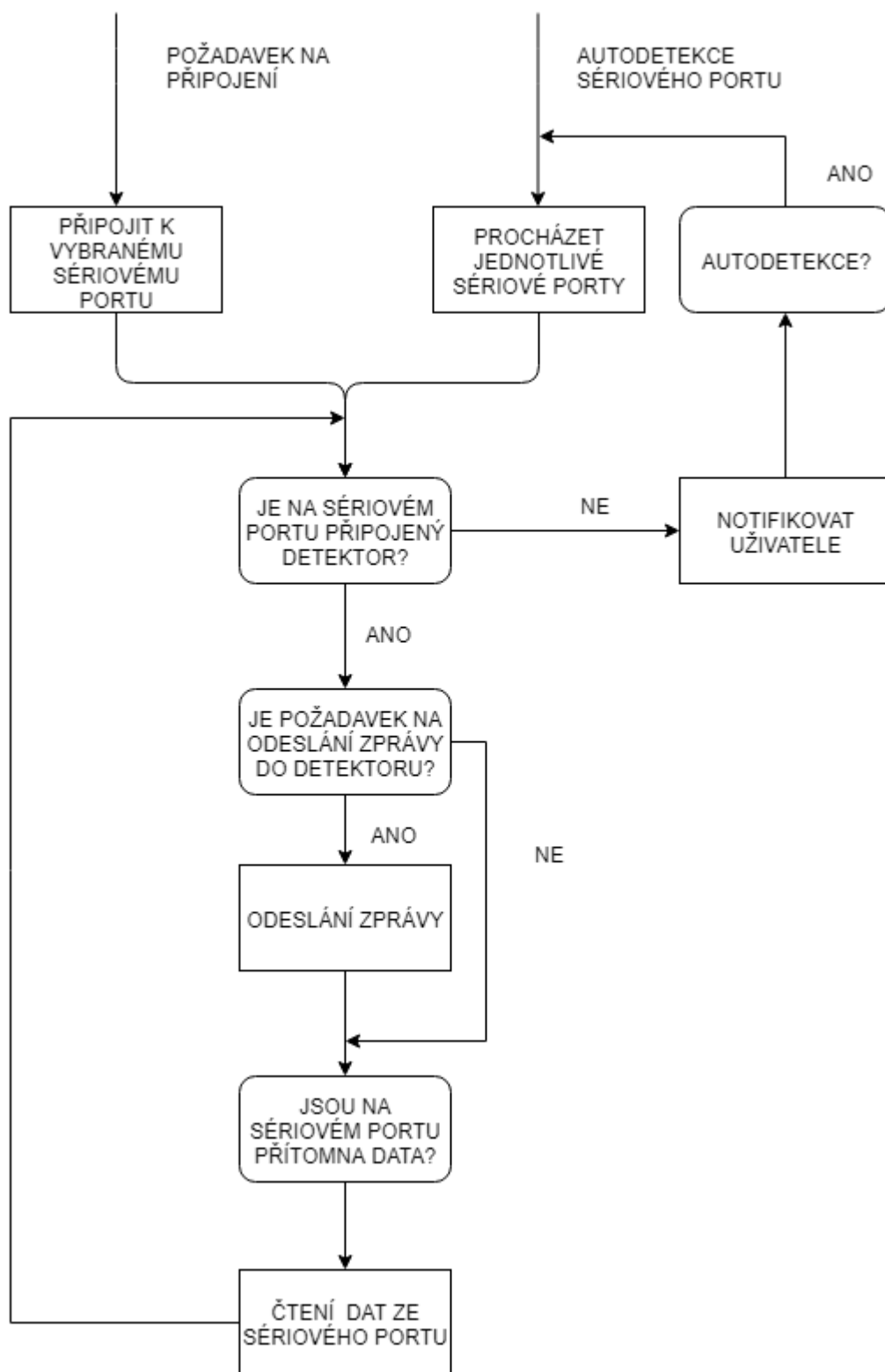
Main view model bude třída, která bude zastřešovat všechny ostatní třídy v aplikaci a umožní tak komunikaci mezi uživatelským rozhraním a jednotlivými třídami. Jak znázorňuje obrázek 27, v této třídě budou definovány jednotlivé třídy pro komunikaci s detektorem, analogovým měřícím modulem (Turck modul), třída pro obsluhu grafu a následně i třídy (UI view models), které budou obsluhovat jednotlivé záložky aplikace.

Main view model bude rovněž obsahovat commandy, které budou provázány s akcemi hlavního okna. Jedná se například pro akce minimalizování, posun nebo zavřené okna. Další funkcí této třídy bude ukládání uživatelem nastavených parametrů aplikace. Před vypnutím aplikace se tedy uloží nastavené parametry jako třeba jazyková sada, názvy analogových měřících prvků a nastavení analogového modulu.

## **Detektor**

Třída pro detektor bude rozdělena na dílčí třídy, pro zvýšení přehlednosti kódu. Hlavní třídou, která bude deklarována uvnitř třídy detektoru bude třída spravující komunikaci s detektorem. Samotná komunikace s detektorem bude realizována podle následujícího diagramu (obr. 28). Další třídy, které budou deklarovány uvnitř třídy pro detektor, budou třídy, které budou reprezentovat jednotlivé části detektoru. Třída detektoru tedy bude obsahovat třídy pro turbo pumpu, kalibraci, komoru detektoru, rozsahy a takzvané reject pointy.





Obrázek 28: Diagram sériové komunikace s detektorem

Jak je vidět z diagramu sériové komunikace (obr. 28), možností připojení k detektoru je více. Uživatel bude mít možnost připojit se k vybranému sériovému portu. Pokud aplikace na vybraném sériovém portu nalezne připojený detektor, začne s cyklickou komunikací.

Druhou možností připojení k detektoru je autodetekce, které prochází všechny dostupné sériové porty a ke každému se zkusí připojit a hledá připojený detektor. Pokud na sériovém portu není připojený detektor, aplikace vyzkouší následující sériový port. Pokud aplikace vyzkouší všechny dostupné sériové porty a u žádného portu nenalezne připojitelný detektor, ukončí režim autodetekce a notifikuje uživatele.

Samotná cyklická komunikace s detektorem funguje tak, že se v každém cyklu kontroluje připojení detektoru. Pokud je připojen detektor, kontroluje se odesílací fronta, ze které se odesílají jednotlivé příkazy do detektoru. Po každé odeslané zprávě se kontrolují data dostupná na sériovém portu. Pokud jsou nějaká data dostupná, přečtou se a přečtené hodnoty se zapíší do jednotlivých tříd detektoru. Tyto změny se poté pomocí data bindingu propíší do uživatelského rozhraní.

## **Turck modul**

Třída pro připojení měřících a řídicích prvků bude koncipována tak, aby bylo možné tuto třídu opakovaně použít v případě nutnosti připojit více prvků. Tato třída bude univerzální a bude tedy umožňovat připojení jednotlivých typů modulů od firmy Turck. Připojitelné moduly mohou být vstupní i výstupní a analogové i digitální. Aplikace tedy bude konfigurovatelná pro jednotlivé typy měřících stanic a bude umožňovat komplexní řízení a kontrolu měřící stanice.

## **Graf**

Další stěžejní třídou použitou ve výsledné aplikaci bude třída pro grafické zobrazení průběhů jednotlivých měřených veličin. Pro svoji aplikaci jsem v průběhu vypracování vyzkoušel jednotlivé veřejně dostupné grafy pro prostředí WPF. Nakonec jsem pro svoji aplikaci vybral OxyPlot [11], který podporuje data binding, umožňuje posun grafu, přiblížení a oddálení a zároveň zobrazuje i jednotlivé body grafu, pokud je označíme. Třída grafu bude umožňovat filtrování zobrazení jednotlivých průběhů měřených veličin.

## **UI view models**

Třídy, které jsem souhrnně pojmenoval UI view models, jsou třídy, které se budou starat o funkčnost jednotlivých záložek aplikace. Tyto záložky byly popsány výše v uživatelském rozhraní. Pro každou záložku bude vytvořena jedna třída (view model), která bude pomocí data bindingu a commandů zpracovávat uživatelské akce. Budou zde například vytvořeny commandy, které budou odpovídat jednotlivým tlačítkům v záložkách. Data binding bude využit pro ukládání uživatelských akcí. Těmi může být například získání indexu uživatelem označeného řádku v tabulce a následný výpis dat z řádku do připravených textových polí.

## 6 Realizace aplikace

V přechodí kapitole jsem podrobně popsal celkovou strukturu programu a jeho jednotlivé části. V této kapitole popíši, jak byla aplikace realizována a podrobně popíši jednotlivé funkce programu. Nejprve zde zmíním, s jakými ohledy byla aplikace vytvořena, dále popíši jednotlivé prvky použité při vytváření aplikace (User control a Resource dictionary) a konečně i jednotlivé funkce a záložky aplikace.

Jako vývojové prostředí jsem zvolil Visual Studio 2017 od společnosti Microsoft. Aplikace byla navržena na rozlišení 1366x768. Toto rozlišení jsem zvolil z toho důvodu, že firma Labtech, pro kterou tuto aplikaci realizuji, využívá u svých přístrojů pro vizualizaci monitory s rozlišením 1366x768. Aplikace je také koncipována tak, aby mohla být ovládána pomocí dotykové obrazovky. Jednotlivé ovládací a zobrazovací prvky jsou proto dostatečně velké pro ovládání pomocí rukou.

Abych splnil požadavky na design aplikace podle požadavků vedení firmy Labtech, rozhodl jsem se vytvořit aplikaci tak, že nepoužiji typické „windows okno“, ale nadefinuji si jednotlivé ovládací prvky sám. Jak již jsem psal výše, k realizaci aplikace jsem využil WPF (Windows Presentation Foundation), který disponuje širokou paletou formulářových prvků a umožňuje tak lepší stylování aplikace než WF (Windows Forms). Pro definici designu se ve WPF v designeru využívá XAML kód, který se využívá i pro samotný data binding. Za použití XAML kódu jsem tedy nadefinoval celé okno aplikace prázdné, abych si ho později mohl vytvořit podle sebe.

### User controls

V aplikaci hojně využívám takzvané User controls, což jsou prvky, které si může programátor vytvořit například kombinací jiných, už předem vytvořených prvků, anebo umožňují vytvoření úplně nového využitelného prvku. User controls představují způsob, jak nadefinovat funkčnost jednotlivých prvků bez nutnosti využití speciálních stylů. Výhodou vytvořených ovládacích prvků je, že umožňují definici proměnné, které k ovládní prvku budeme využívat. Výsledkem je pak přehlednější a menší kód. V realizované aplikaci jsem například vytvořil všechna tlačítka, která jsem si předefinoval podle požadavků na design, pole pro zobrazování parametrů, dále pak ohraničení, ve kterých jsou v záložkách umístěny ovládací prvky a diody používané pro zobrazení aktuálních stavů detektoru. Jedním z vytvořených ovládacích prvků, které jsou využité v aplikaci, je i tlačítko na následujícím obrázku (obr. 29).



Obrázek 29: Vytvořený user control (tlačítko)

Pomocí speciálních stylů je tlačítko na obrázku č.29 vytvořeno tak, aby bylo zaoblené, překryté pruhy a zobrazovalo text v bílé barvě s definovaným fontem. Tlačítko je dále definováno tak, že se v případě stisknutí o trochu zmenší, a tím simuluje animaci stisknutí.

## Resource dictionary

Součástí aplikace jsou také takzvané Resource dictionary neboli slovníky, které umožňují definovat styly nebo různé pomocné prvky na místě odděleném od hlavního okna. Hlavní výhodou je pak zpřehlednění kódu. K definici se opět využívá jazyka XAML. Následující obrázek (obr. 30) zobrazuje využití slovníku pro definici barev použitých při vytváření aplikace. Použití slovníku je jednoduché. Nejprve se do hlavního okna přidá reference na slovník, a poté lze v hlavním okně používat jednotlivé barvy s použitím statické reference.

```
1 <ResourceDictionary xmlns="http://schemas.microsoft.com/winfx/2006/xaml/presentation"
2     xmlns:x="http://schemas.microsoft.com/winfx/2006/xaml"
3     xmlns:local="clr-namespace:Styles">
4
5     <!--Button green fading background-->
6     <LinearGradientBrush x:Key="GreenFade" EndPoint="0.5,1" StartPoint="0.5,0">
7         <GradientStop Color="#678888" Offset="0.12"/>
8         <GradientStop Color="#224F4F" Offset="0.904"/>
9     </LinearGradientBrush>
10
11     <!--Button light red background-->
12     <SolidColorBrush x:Key="LightRed" Color="#FF9A7575"/>
13
14     <!--Tabitem green fade-->
15     <LinearGradientBrush x:Key="TabItemGreenFade" EndPoint="0.5,1" StartPoint="0.5,0">
16         <GradientStop Color="#FF9CB485" />
17         <GradientStop Color="#FF7FA1A1" Offset="0.087" />
18         <GradientStop Color="#FF4F7D7D" Offset="0.368" />
19         <GradientStop Color="#FF346969" Offset="0.813" />
20     </LinearGradientBrush>
21
22     <!--Tabitem gray fade-->
23     <LinearGradientBrush x:Key="TabItemGrayFade" EndPoint="0.5,1" StartPoint="0.5,0">
24         <GradientStop Color="#FFE9E9E9" />
25         <GradientStop Color="#FFD0D0D0" Offset="0.087" />
26         <GradientStop Color="#FFE4E4E4" Offset="0.368" />
27         <GradientStop Color="#FFE9E9E9" Offset="0.813" />
28     </LinearGradientBrush>
29
30 </ResourceDictionary>
```

Obrázek 30: Definice barev použitých uvnitř aplikace

Slovníky využívám ve výsledné aplikaci také pro změnu jazykové sady aplikace. Jelikož výsledná aplikace podporuje dvě jazykové sady (čeština a angličtina), musel jsem pro implementaci změn jazykové sady vytvořit dva slovníky. V nich jsem vytvořil pro každý zobrazovaný prvek text, který má být zobrazen. K vytvořenému textu se přistupuje pomocí klíče, který je k němu přiřazen. V aplikaci poté stačí, aby byl k textu prvku přiřazen příslušný klíč pomocí dynamické reference. Samotná změna jazykové sady je realizována pomocí metody, která se zavolá při změně vybraného jazyka. Zavolaná metoda odebere aktuálně používaný slovník a nahradí jej nově vybraným slovníkem.

## 6.1 Obrazovka měření

Záložka měření (obr. 31) má za úkol uživatele informovat o všech aktuálních měřených hodnotách, které jsou pro proces měření netěsnosti potřeba. Obrazovku můžeme rozdělit na dílčí segmenty. Vlevo nahoře jsou zobrazeny základní stavy detektoru. Stav komunikace a kalibrace detektoru je zde zobrazen pomocí LED indikátorů. Pod těmito indikátory se nachází pole, do kterého se zapisuje aktuální měřící mód detektoru.

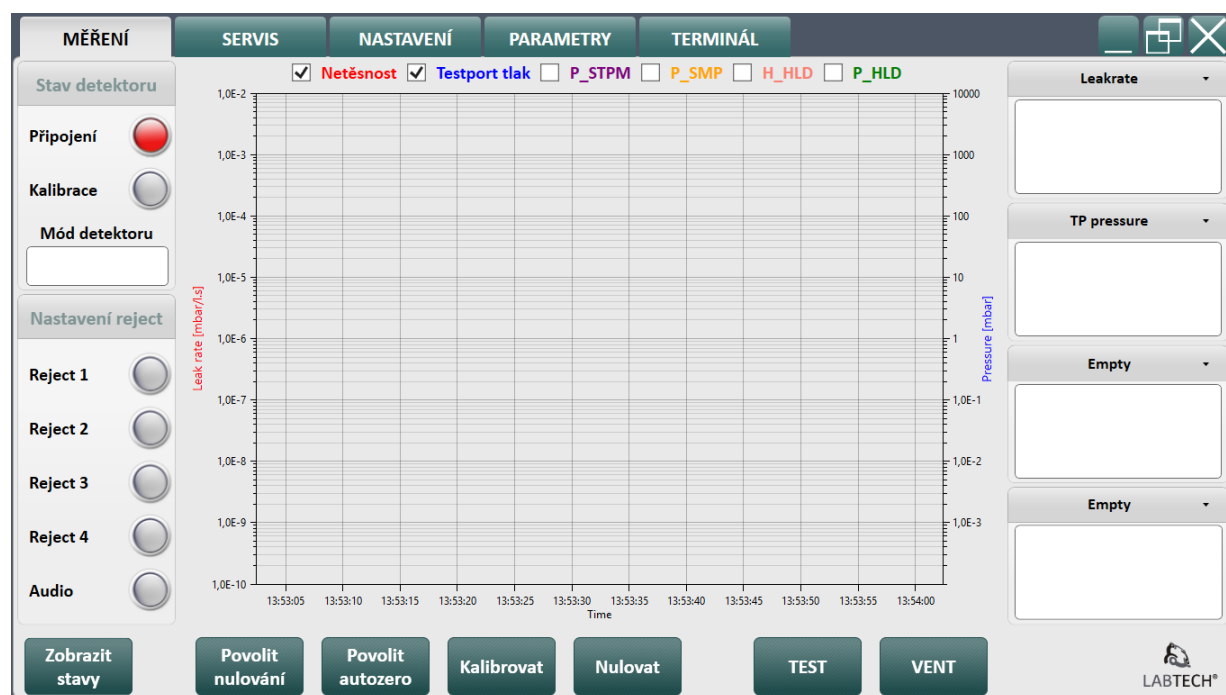
Pod signalizací stavů se nacházejí indikátory takzvaných reject pointů, které si může uživatel sám nastavit. Uživatel je pomocí LED indikátoru informován, zda došlo k překročení některého z limitů, které si sám definoval. Definovat tyto limity lze v záložkách Servis a Parametry.

Celé záložce dominuje graf, který zobrazuje průběh měřených hodnot. Uživatel si může v průběhu měření nastavit, které průběhy se mají zobrazovat pomocí zaškrtnutých políček nad grafem. První dvě políčka se týkají přímo detektoru, kde první je použito pro aktuální měřenou hodnotu úniku a druhé je použito pro měření vstupního tlaku detektoru. Všechna další políčka se vztahují k připojenému analogovému modulu. Uživatel si může jednotlivé připojené sensory pojmenovat v záložce Nastavení.

Další možností zobrazení aktuálně měřených dat jsou pak selektivní pole v pravé části obrazovky. Zde si uživatel může vybrat z jakých čidel se zde budou zobrazovat hodnoty.

Ve spodní části záložky měření se nacházejí tlačítka, která umožňují ovládat detektor pomocí základních příkazů. Nachází se zde tlačítka pro kalibraci, nulování, automatické nulování a tlačítka pro změnu režimu detektoru.

Poslední tlačítko v dolním levém rohu zobrazí další obrazovku s aktuálními stavy a chybami detektoru. Této obrazovce se věnuje poslední část této kapitoly.



Obrázek 31: Obrazovka měření

## 6.2 Obrazovka servis

Hlavní funkcí záložky Servis (obr. 32), je umožnit operátorovi měřicí stanice kontrolu a možnost změny nastavených parametrů detektoru. Obrazovka je rozdělena na dílčí segmenty, které souvisejí s jednotlivými částmi nebo funkcemi detektoru. Data z detektoru jsou pomocí sériové komunikace cyklicky vyčítána s využitím časovače, který vždy po vypršení přidá do fronty na odeslání příslušné dotazy. Získaná data z detektoru se zpracují a zapíše se do jednotlivých textových polí, kde jsou zobrazována.

Segmenty, na které je obrazovka rozdělena, umožňují nastavení jednotlivých částí detektoru a zároveň informují o aktuálních parametrech jednotlivých částí. Některé segmenty jsou čistě informativní (například segment pro turbo pumpu v levém horním rohu obrazovky) a neumožňují tak přepsání měřených hodnot. Jiné segmenty ale přepsání hodnot podporují. Aplikace je koncipována tak, aby byly parametry detektoru ochráněny před náhodným zápisem hodnot. To je vyřešeno tak, že je uživatel po zadání nové hodnoty dotázán, jestli opravdu chce změnit hodnotu parametru. Pokud si to uživatel rozmyslí a neuloží změnu, nebude hodnota parametru změněna a do hodnoty parametru se vrátí předchozí hodnota. Uživatel je rovněž informován, pokud změní parametr, jeho změna se projeví až po restartování detektoru.

Pro jednotlivá pole je implementována i kontrola vstupních hodnot od uživatele a kontrola parametrů detektoru. Například pokud by uživatel chtěl změnit hodnotu interní kalibrované netěsnosti, musí do pole zadat hodnotu o přesně definovaném formátu a potvrdit zadání hodnoty stisknutím klávesy enter. Pokud bude zadaná hodnota v jiném formátu, aplikace uživatele informuje a změnu v parametru od uživatele zruší. V opačném případě se aplikace uživatele dotáže, zda chce změnu parametru opravdu provést. Nutnost zadání parametrů v definovaném formátu vyplývá z tvaru příkazů používaných pro zápis dat do detektoru.

MĚŘENÍ	SERVIS	NASTAVENÍ	PARAMETRY	TERMINÁL			
<b>Turbo pumpa</b>		<b>Komora detektoru</b>		<b>Nastavení reject</b>			
Aktuální mód	<input type="text"/>	Napětí	<input type="text"/>	Vláčno 1 hodiny	<input type="text"/>	Reset	
Chybový status	<input type="text"/>	Emise	<input type="text"/>	Vláčno 2 hodiny	<input type="text"/>	Reset	
Rychlost [ot/m]	<input type="text"/>	Zesílení	<input type="text"/>	Status vláken	<input type="text"/>		
Teplota [°C]	<input type="text"/>	Offset	<input type="text"/>				
Doba provozu	<input type="text"/>						
<b>Povolit softstart</b>	<b>Reset turbo hours</b>	<b>Tune</b>		<b>Změnit aktivní vlákno</b>			
<b>Nastavení detektoru</b>		<b>Kalibrace detektoru</b>		<b>Rozsahy</b>			
<b>Povolit autozero</b>	<b>Povolit nulování</b>	Vnitřní leak	<input type="text"/>	Vnější leak	<input type="text"/>	Manuální rozsah (exponent)	<input type="text"/>
Doba předehřívání	5 minute	Teplota leaku	<input type="text"/>	Poslední kalibrace	<input type="text"/>	Práh citlivosti	<input type="text"/>
		Teplotní faktor	<input type="text"/>	Datum expirace	<input type="text"/>	Konec rozsahu	<input type="text"/>
		Typ kalibrace	Internal	<b>Kalibrovat</b>	<b>Povolit splitflow</b>	<b>Autorange</b>	<b>Povolit rangestop</b>

Obrázek 32: Obrazovka servis

### 6.3 Obrazovka nastavení

Obrazovka nastavení (obr. 33) slouží pro nastavení jednotlivých částí aplikace. Pro samotný detektor zde lze nastavit typ připojeného detektoru a zároveň i sériový port, ke kterému je detektor připojen. Stisknutím tlačítka Připojit, nebo Autodetekce dojde k pokusu o připojení detektoru.

Další možností této záložky je nastavení komunikace s externím modulem, který bude použit pro připojení měřících prvků. Komunikační rozhraní je vytvořeno pro kontrolní moduly od firmy Turck. Jeho připojení je možné pomocí IP nebo MAC adresy modulu. Připojení pomocí MAC adresy je realizováno přes hledání IP adresy v ARP tabulce počítače podle MAC adresy. Samotná komunikace s externím modulem probíhá na základě vybraného typu modulu, a tedy na základě jeho vstupů a výstupů. Pro komunikaci s modulem je využit Modbus TCP.

Aplikace je nyní přizpůsobena tak, aby bylo možné jednoduše nastavit jednotlivé připojené měřící prvky, a to i za běhu programu. Tomu se věnuje segment v pravé horní části obrazovky. Jak je vidět z obrázku č.33, segment umožňuje nastavení čtyř připojitelných analogových sensorů. Připojené sensory jsou nastaveny na rozsah 0-10V. Uživateli je umožněno jednotlivé sensory pojmenovat a vybrat i typ přepočtu jednotek. Data, která analogový modul z připojených sensorů přečte, jsou převáděna pomocí definovaného převodu na inženýrské jednotky.

Firma Labtech, pro kterou jsem tuto aplikaci vytvářel, využívá pro své přístroje různé druhy analogových sensorů. Tři nejčastěji používané jsem využil ve své aplikaci jako předdefinovaný typ převodu. Pro jiné sensory může uživatel využít lineární, exponenciální a kvadratický převod, jehož parametry může nadefinovat pomocí konstant A,B a C. Výsledek přepočtu je poté zobrazen v textovém poli *výsledek*. Takto přepočtené hodnoty se poté propisují do záložky *měření*, kde jsou zobrazeny v grafu a v konfigurovatelných displejích.

Nastavení sériového rozhraní	
Typ detektoru	VS-PR
Sériový port	
<input type="button" value="Automaticky detekovat"/> <input type="button" value="Připojit"/>	

Nastavení řídicího modulu	
Typ řídicího modulu	Turck - S2 - 4AI
IP adresa	192.168.63.50
MAC adresa	AF:AC:B2:C3:D4
<input checked="" type="checkbox"/> Připojit pomocí IP adresy	
<input type="checkbox"/> Připojit pomocí MAC adresy	
<input type="button" value="Připojit"/>	

Nastavení řídicího modulu				
Název analogu	Typ konverze	A	B	Výsledek
P_STPM	Custom - linear			10
Ax + B				
P_SMP	Custom - expone			0,00E+0
10^(A(x-B))				
H_HLD	Custom - Quadra			0,00E+0
Ax^2 + Bx + C				
P_HLD	PCG 750/PCG 75			1,66E-5

Jazyk: Czech

Obrázek 33: Obrazovka nastavení

## 6.4 Obrazovka parametry

Obrazovka parametry (obr. 34) umožňuje uživateli nastavovat a měnit parametry detektoru, podle žádaných hodnot. Další funkcí této záložky je, že umožňuje uživateli zálohovat aktuální použité nastavení detektoru. Mezi parametry, které se zálohují, jsou například nastavené hodnoty takzvaných reject pointů, jejich aktuální stav (vypnuto – zapnuto) a nastavení nulování. Aktuální nastavení lze uložit do textového souboru. Uložený textový soubor lze opět načíst a požadované nastavení parametrů zapsat do detektoru. Těto funkce se využívá v případě, kdy se detektor porouchá a je potřeba jej vyměnit, aby došlo k co nejkratším prostojům ve výrobě. Aktuální nastavení detektoru se zálohuje a vloží se do nového detektoru, který ten starý nahradí. Další možností využití této funkce je případ, kdy měříme netěsnost více typů výrobků a pro každý výrobek je detektor nutné speciálně nastavit. Toho lze dosáhnout vytvořením konfiguračních souborů pro jednotlivé výrobky. Před změnou výrobku pak stačí načíst textový soubor s požadovaným nastavením detektoru.

Parametry používané pro zálohování jsou pevně definované uživatelem a detektor je v průběhu svého měření nemění. Většinu ostatních parametrů není třeba zálohovat, protože si je detektor nastavuje sám dle poslední kalibrace, nebo podle nastavených měřících rozsahů.

Jak je vidět z obrázku č. 34, rozložení tabulky sledovaných parametrů je rozděleno na čtyři části. První částí je název sledovaného parametru, další je požadovaná hodnota parametru, dále pak aktuální hodnota, která je v průběhu připojení k detektoru cyklicky vyčítána a následně informace o parametru.

V pravé části obrazovky je možné změnit požadovanou hodnotu u jednotlivých parametrů pomocí předpřipravené klávesnice. Rovněž se zde nachází i tlačítka na import a export nastavených parametrů.

MĚŘENÍ	SERVIS	NASTAVENÍ	PARAMETRY	TERMINÁL
Název parametru	Požadovaná hodnota	Aktuální hodnota	Popis parametru	
Autozero	1		1 - autozero enabled, 0 - autozero disabled	Název označeného parametru Autozero
Zero enabled	0		1 - zeroing enabled, 0 - zeroing disabled	Hodnota označeného parametru <input type="text"/>
Reject 1	1.8E-4		Reject warning range	Požadovaná hodnota 1
Reject 2	1.6E-4			Změnit požadovanou hodnotu
Reject 3	1.4E-4			1 2 3
Reject 4	1.2E-4		Reject lower range	4 5 6
Audio reject	2E-4		Audio reject warning	7 8 9
Reject 1 active	1		Reject warning range	. 0 C
Reject 2 active	0		Reject warning range	Odeslat do HLD
Reject 3 active	0		Reject warning range	Exportovat hodnoty
Reject 4 active	1		Reject warning range	Importovat hodnoty
Audio reject active	1		Reject warning range	

Obrázek 34: Obrazovka parametry



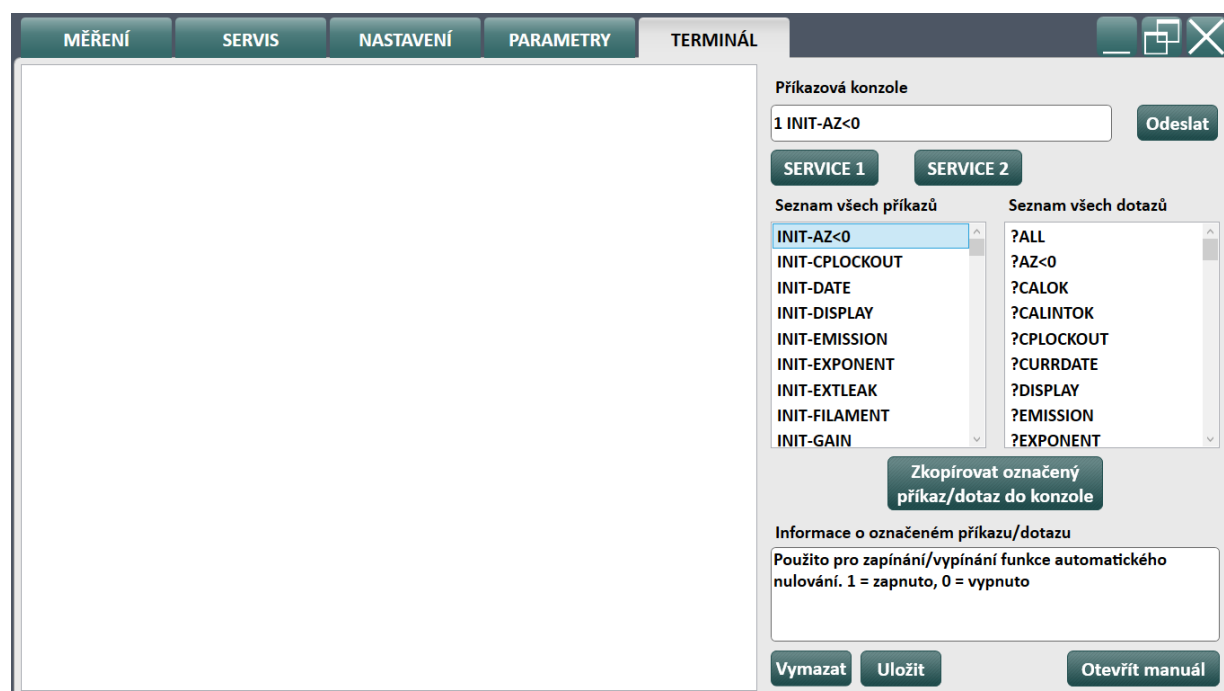
## 6.5 Obrazovka terminál

Obrazovka s názvem terminál (obr. 35) je vyhrazena pro servisní techniky, kterým umožňuje vlastní komunikaci s detektorem. Jsou zde vypsány seznamy všech použitelných příkazů a dotazů pro komunikaci s detektorem. Servisní technik, který provádí diagnostiku detektoru, může jednotlivé příkazy odesílat a tím lépe diagnostikovat jednotlivé závady detektoru. Při diagnostice lze ručně, nebo výběrem z připravených seznamů zadávat jednotlivé příkazy do příkazové konzole. Tlačítkem *odeslat* lze pak vybraný příkaz odesílat do detektoru. Odeslané příkazy a odpovědi na ně z detektoru se zobrazují v levé části obrazovky. Je zde také zaznamenávána každá akce uživatele z celé aplikace (stisknutí tlačítka, změna parametru).

Uživateli terminálu je poskytnuta nápověda při označení příkazu ze seznamu v pravé části obrazovky. V textovém poli pod označeným příkazem se zobrazí popis, případně použití označeného příkazu. Lze tak jednotlivé příkazy procházet a vybrat ten vhodný pro servis detektoru. Další možností diagnostiky detektoru jsou pak tlačítka Service 1 a Service 2, která odesílají do detektoru příkazy na úplný výpis aktuálně nastavených parametrů, které se využívají při diagnostice poruch detektoru.

Ve spodní části obrazovky jsou tlačítka na uložení výpisu komunikace a na jeho smazání. Uložení komunikace je výhodné v případě diagnostiky poruchy detektoru u zákazníka. Zákazník pak může sám pomocí instrukcí po telefonu vytvořit výpis jednotlivých parametrů detektoru a odeslat jej servisnímu technikovi, který pomocí něj stanoví pravděpodobný důvod závady.

Posledním tlačítkem, které tato záložka nabízí je tlačítko pro otevření manuálu, které otevírá manuál heliového detektoru. V něm jsou dostupné popisy jednotlivých příkazů i postupy, jak se zachovat v případě poruchy detektoru.



Obrázek 35: Obrazovka terminál

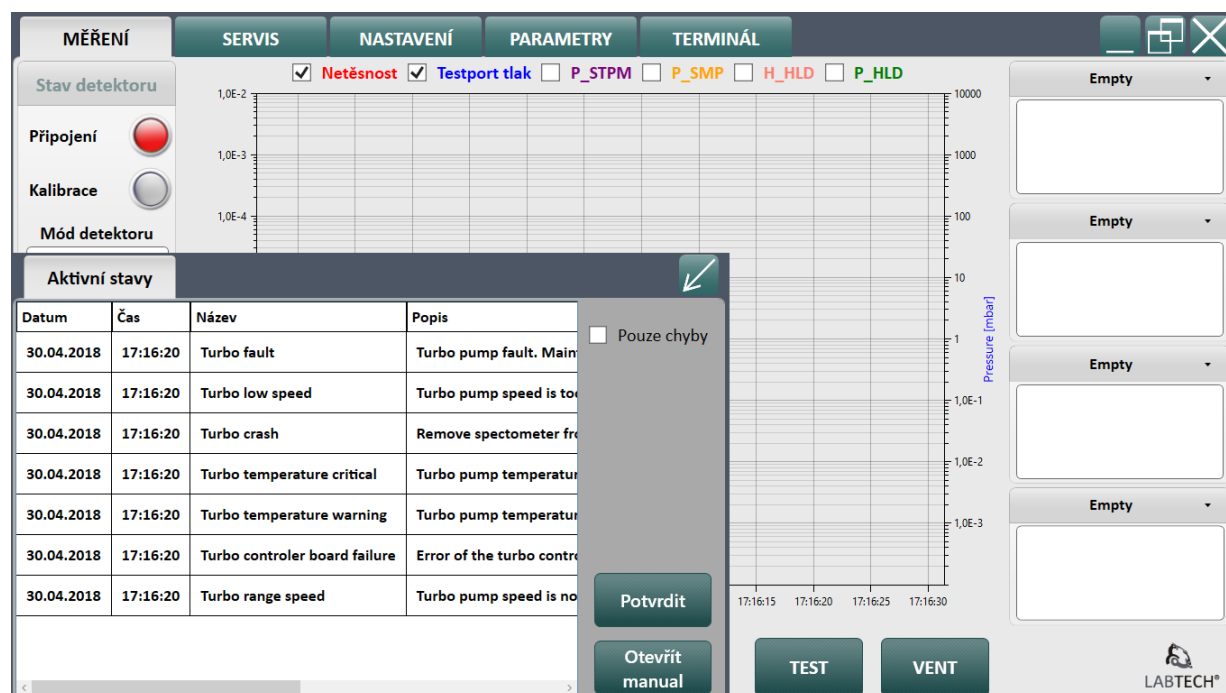
## 6.6 Obrazovka chybových stavů detektoru

Obrazovka zobrazující aktuální stavy a chyby detektoru (obr. 36) je přístupná ze záložky *měření*. Jsou zde zobrazeny jednotlivé aktivní chyby, které můžou v průběhu měření nastat. Většina chyb detektoru je úzce spojená s funkcí turbo pumpy. Jedná se například o chyby ovládací desky turbo pumpy, chyby rozsahu při daných otáčkách turbo pumpy anebo chyby samotného detektoru. Chybami detektoru mohou být spálena ionizační vlákna, chyby hlavní ovládací desky a podobně.

Zobrazování chybových stavů je provedeno tak, že je v aplikaci vytvořen časovač, který cyklicky vyčítá potřebná data z detektoru. Získaná data jsou poté porovnávána s mezními hodnotami, které jsem určil podle manuálu pro heliové detektory. Pokud se získaná data nenachází v daném rozmezí, je za pomoci WPF prvku `ListCollectionView` a data bindingu okamžitě zobrazena související chyba. Prvek `ListCollectionView` umožňuje filtraci vložených prvků v reálném čase podle programátorem vytvořené filtrační funkce. Tento prvek tedy obsahuje kolekci vytvořených chyb a stavů, ale zobrazuje pouze ty aktivní s využitím filtrační funkce. Pokud je chyba zaznamenána a prošla filtrací do tabulky stavů, je k ní přidělen aktuální čas a datum a je zde zobrazen i její popis.

Jak je vidět z obrázku č.36, tabulka stavů umožňuje i filtraci stavů pouze na chyby pomocí zaškrtnutí políčka. Zaškrtnutím tohoto políčka se provede změna filtrační funkce u prvku `ListCollectionView` a v tabulce stavů se tak zobrazí pouze stavy, které jsou definovány jako chyba.

Tato obrazovka umožňuje uživateli pomocí tlačítka potvrdit jednotlivé chyby a tím je vymazat z tabulky stavů. Stav, který jsou i nadále vyhodnoceny jako aktivní se smazat nedají. Obrazovka rovněž umožňuje otevřít manuál detektoru, ve kterém je napsáno co dělat v případě vzniku poruchy. Jsou zde také popsány jednotlivé části detektoru, a i postup, jak jednotlivé části opravit.



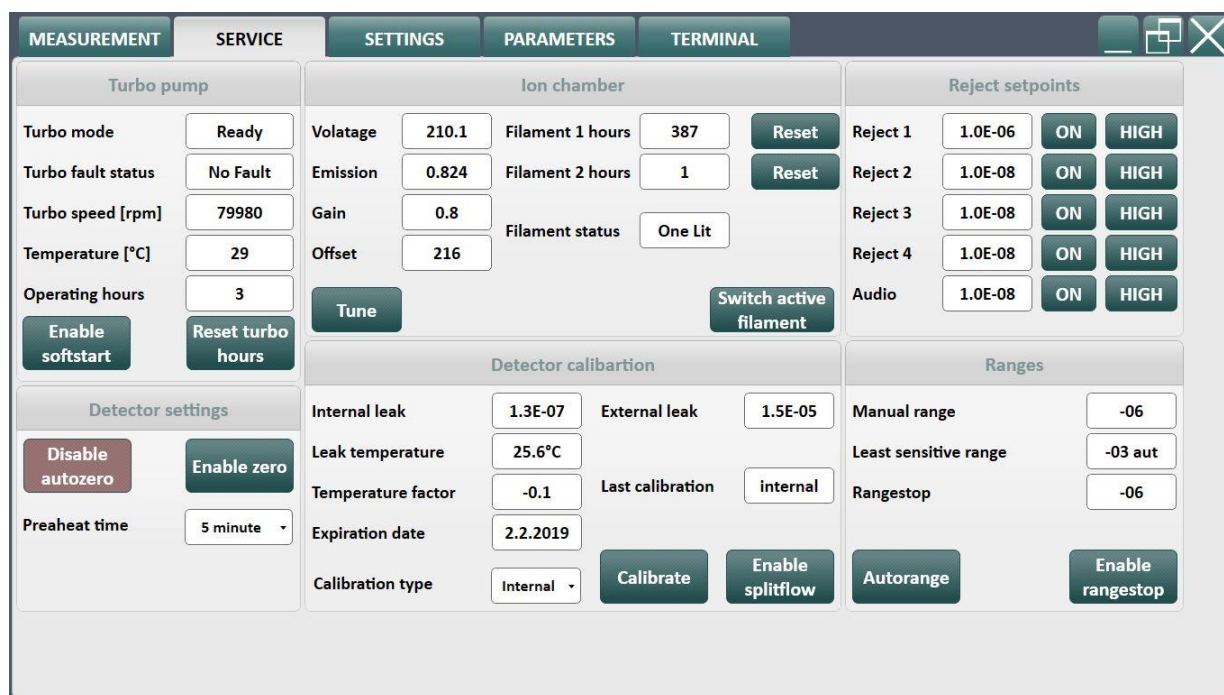
Obrázek 36: Obrazovka chybových stavů detektoru.

## 7 Testování vytvořené aplikace

Po vytvoření aplikace bylo nutné tuto aplikaci otestovat v reálném prostředí s použitím heliového detektoru. Testování vytvořené aplikace bylo provedeno v prostorách firmy Labtech, která mi umožnila sestavit si z jednotlivých komponentů jednoduchou stanici na testování netěsnosti s využitím heliového detektoru. V této kapitole popíši jednotlivé části aplikace, které byly na vytvořené stanici testovány. Popíši zde i vytvořenou heliovou stanici, kterou jsem pro testování sestavil. Poslední část této kapitoly se bude věnovat testování řízení heliové stanice pomocí vytvořené aplikace.

### 7.1 Testování komunikace s detektorem

Hlavním cílem testování vytvořené aplikace bylo vyzkoušení komunikace s detektorem. Komunikace s detektorem byla vyzkoušena pro oba typy heliových detektorů, pro které byla tato aplikace navržena (VS a C15). Komunikace byla vyzkoušena na všech záložkách aplikace. Tímto způsobem bylo vyzkoušeno cyklické získávání dat z detektoru pomocí vytvořených časovačů a také možnosti nastavení parametrů detektoru. Pomocí záložky terminál byly otestovány všechny dostupné komunikační příkazy s jednotlivými typy detektorů. Následující obrázek (obr. 37) zobrazuje aplikaci v záložce servis. Aplikace načetla všechna potřebná data a aktualizovala jednotlivá ovládací tlačítka podle aktuálního nastavení detektoru.



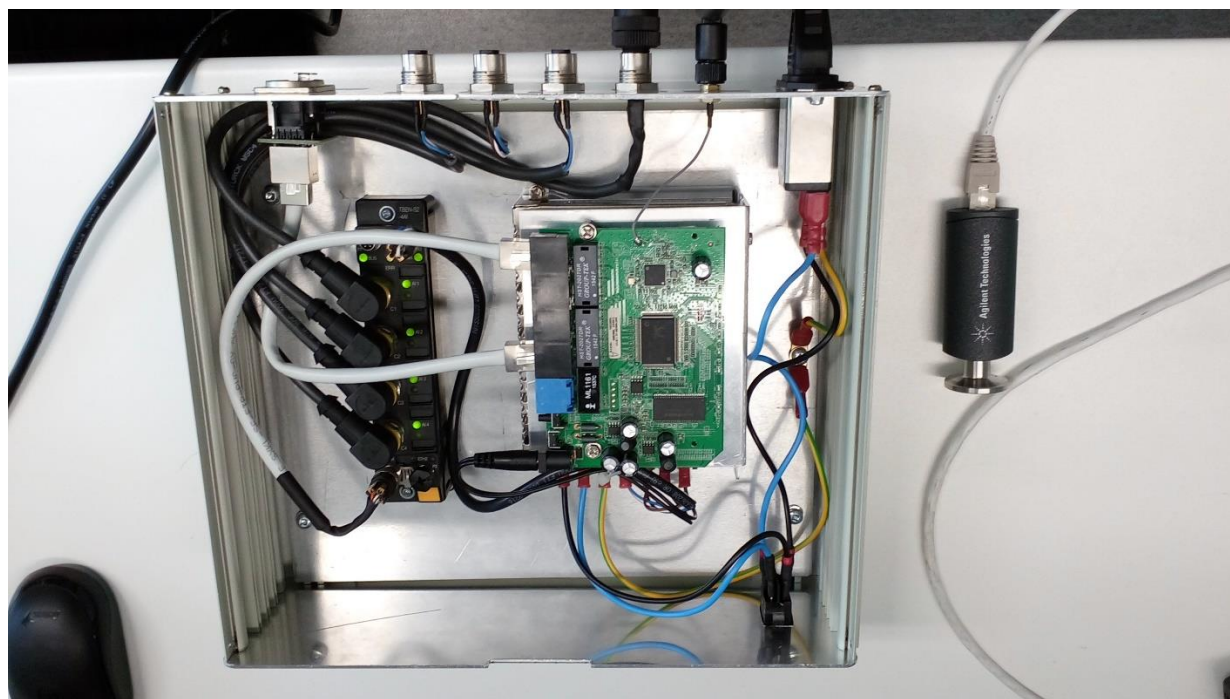
Obrázek 37: Obrázovka Servis s připojeným detektorem

Jak je vidět z předchozího obrázku, aplikace s detektorem komunikuje bez problému. V průběhu testování byla vyzkoušena všechna ovládací tlačítka aplikace. V rámci testování komunikace s detektorem byla otestována i možnost zálohovat nastavení detektoru a poté toto získané nastavení uložit do jiného detektoru. Tato funkce byla otestována na detektoru řady C15, ze kterého jsem získal aktuální nastavení a poté jej uložil do detektoru řady VS.

Další testovanou funkcí byla notifikace chybových stavů detektoru. Pomocí vytvoření speciálních podmínek jsem otestoval jednotlivé chybové stavy detektoru a jejich indikace. Například porucha turbo pumpy byla nasimulována tak, že jsem na vstupním portu detektoru zvýšil tlak nad povolenou úroveň (více jak 1 mbar), který sice z dlouhodobého hlediska může i zničit detektor, ale krátkodobě pouze způsobí značné snížení otáček turbo pumpy. Tento stav byl ihned detekován a zobrazen v tabulce aktuálních stavů.

## 7.2 Testování komunikace s analogovým modulem

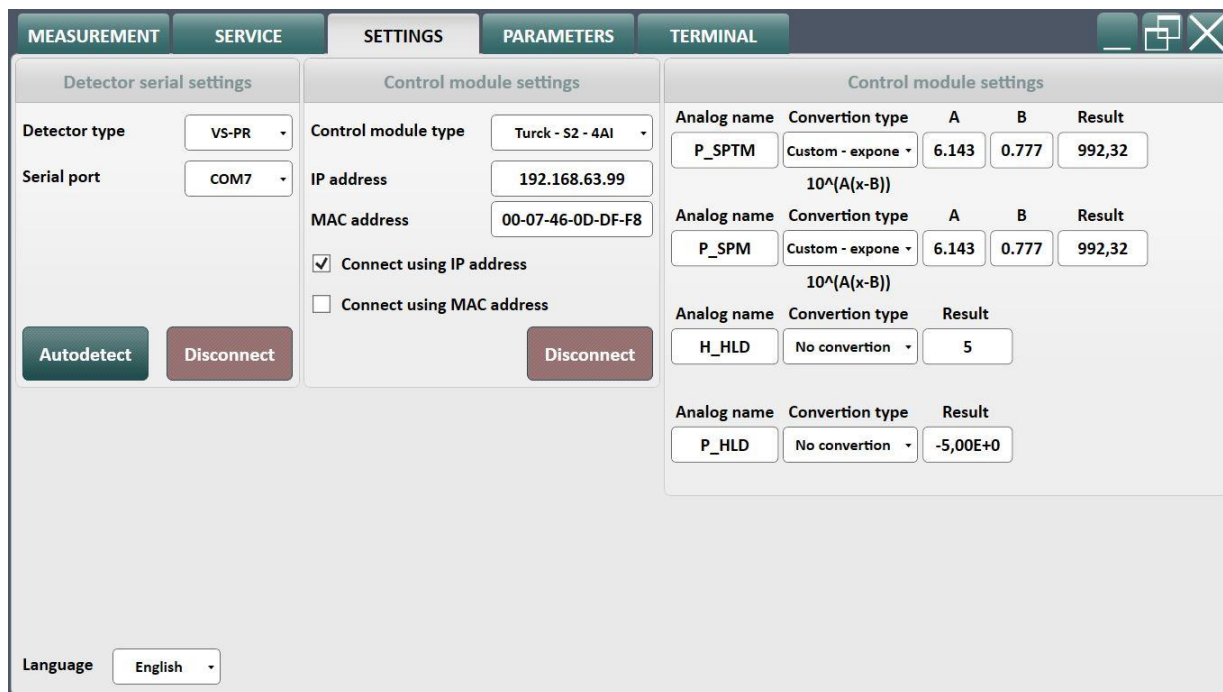
Druhým hlavním cílem testování byl test komunikace s analogovým modulem, který sbírá data z okolí detektoru pomocí připojených senzorů. Analogovým modulem, který byl při testování připojený, byl analogový modul TBEN-S2-4AI od firmy Turck, který jsem použil i při návrhu hardwarového řešení v kapitole 4. Tento modul jsem k počítači se spuštěnou aplikací připojil pomocí bezdrátového připojení Wi-Fi. Bezdrátové připojení jsem využil hlavně z důvodu, že zmíněný modul byl ve firmě Labtech zabudován do přístroje (obr. 38), který má v sobě zabudovaný Wi-Fi router a umožňuje tak bezdrátové připojení k analogovému modulu. Jak je z obrázku č.38 vidět, vytvořené zařízení umožňuje připojení čtyř analogových snímačů. Jednotlivé snímače je možné konfigurovat pomocí webového rozhraní.



Obrázek 38: Zapojení analogového modulu TBEN-S2-4AI

Zařízení z obrázku č.38 jsem využil i pro test ovládání měřicí stanice, který je popsán v poslední části této kapitoly.

Test komunikace s analogovým modulem probíhal tak, že jsem nejprve otestoval oba možné způsoby připojení (pomocí IP adresy a MAC adresy) a poté jsem otestoval i samotnou komunikaci s jednotlivými měřícími prvky přes Modbus TCP. Komunikace s modulem byla realizována podle vývojového schéma na obrázku č.22. Následující obrázek (obr.39) zobrazuje nastavení analogových měřících prvků připojených k analogovému modulu.



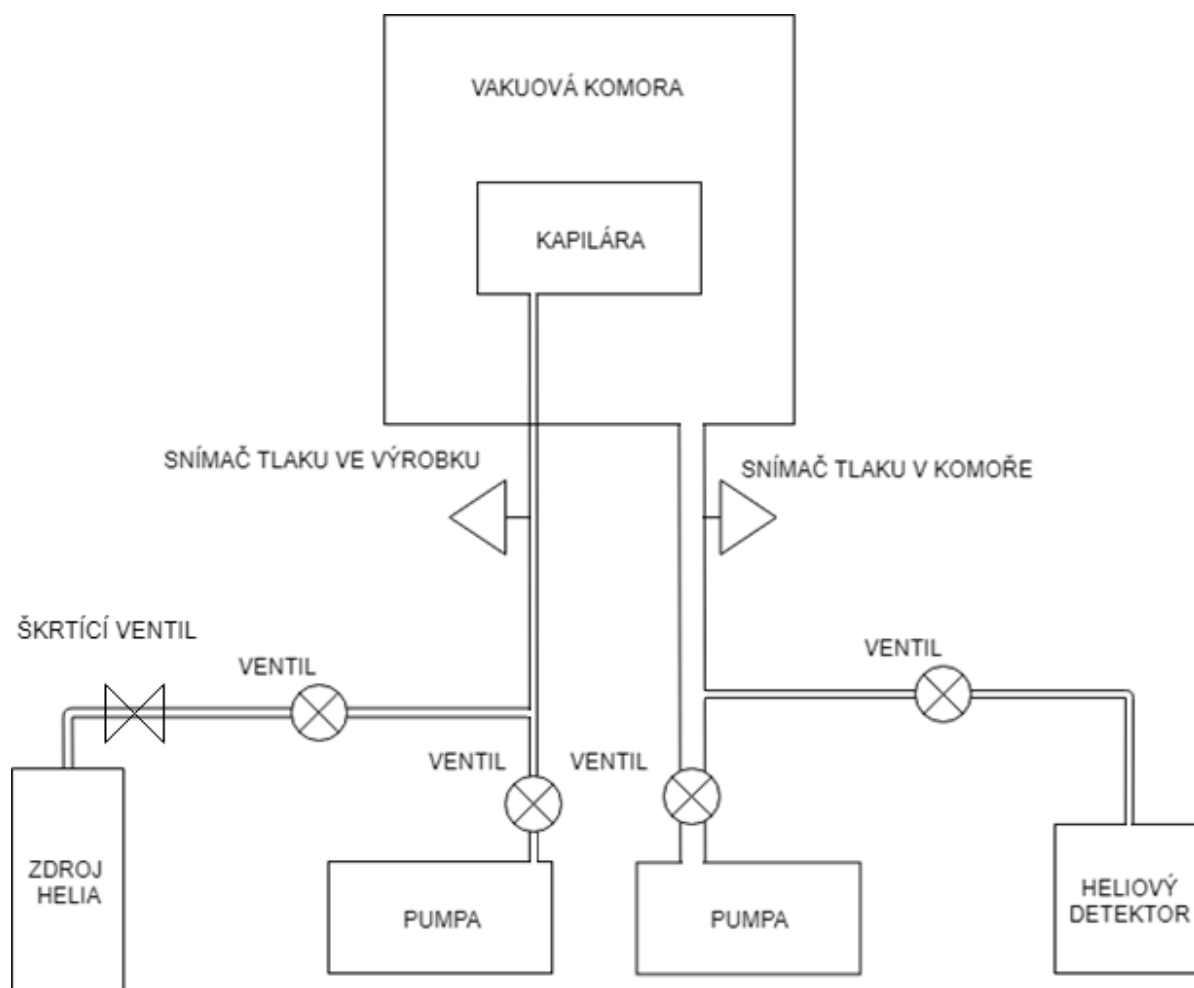
Obrázek 39: Testování komunikace s analogovým modulem

Připojení k analogovému modulu pomocí obou zmíněných možností proběhlo bez problému. V rámci testování komunikace s analogovým modulem jsem vyzkoušel jednotlivé typy převodů pro připojené měřící prvky. V průběhu testování byly k analogovému modulu připojeny dva tlakové senzory PVG-500S Pirani Gauge od firmy Agilent. Pro tyto senzory jsem v průběhu měření využil možnosti definovat vlastní typ převodní charakteristiky, jak je vidět na obrázku č.39. Oba připojené senzory využívají exponenciální převodní charakteristiku a byly nastaveny na rozsah 0-10V.

Komunikace s moduly od firmy Turck byla vytvořena tak, aby byla univerzální a bylo tak možné k aplikaci připojit jakýkoliv modul z aktuální nabídky firmy Turck. Komunikace je tedy připravena pro digitální a analogové moduly, které mohou být využity například pro řízení ventilů použitých v měřící stanici. V rámci testování jsem otestoval pouze komunikaci s analogovým modulem TBEN-S2-4AI se čtyřmi vstupy. Komunikace s ostatními moduly nebyla otestována, protože jsem jiné moduly neměl k dispozici.

### 7.3 Testování řízení měřicí stanice

Posledním bodem testování bylo testování využití aplikace pro ovládání heliové měřicí stanice netěsností. To bylo realizováno pomocí vytvoření jednoduché měřicí stanice s heliovým detektorem řady C15. V průběhu měření jsem využíval možnosti ovládání detektoru a nastavení jeho parametrů. V průběhu měření jsem rovněž využíval připojený analogový modul, abych mohl získávat údaje o aktuálním tlaku v měřicí komoře a tlaku helia ve výrobku. Měřicí stanice byla sestavena dle následujícího schéma (obr. 40).



Obrázek 40: Schéma měřicí stanice

Jak je vidět z obrázku č. 40, měřicí stanice byla sestavena s použitím dvou vakuových pump, které zajišťovali odčerpání vzduchu z vakuové komory a z měřeného výrobku. Pumpa, která byla použita pro evakuaci komory, sloužila také pro zajištění požadovaného vstupního tlaku detektoru. Jako zdroj helia jsou využit tlakovou lahev se stoprocentním heliem. Většina částí měřicího systému byla s komorou propojena pomocí vakuového vedení. Některé části, jako například snímače tlaku, byly připojeny pomocí pneumatických hadic.

Jako snímače tlaku použité pro měření tlaku v komoře a ve výrobku jsem využil dva tlakové senzory PVG-500S od firmy Agilent (obr. 19). Jejich měřicí rozsah se pohybuje od atmosférického tlaku až do  $10^{-4}$  mbar. Oba tyto snímače byly připojeny k analogovému modulu TBEN-S2-4AI od firmy Turck. Tento modul byl poté při testování připojen pomocí Wi-Fi k počítači se spuštěnou aplikací. Aplikace v průběhu měření získávala data z připojených snímačů. Počítač byl také propojen s heliovým detektorem, který byl ovládán pomocí vytvořené aplikace.

V následujících odstavcích popíši důležité části měřicí stanice, kterou jsem pro testování aplikace sestavil. Následně zde popíši i postup a výsledky měření.

### Testovaný výrobek

Pro nasimulování úniku helia z výrobku jsem využil kapiláru (obr. 41), jejíž jeden konec jsem připevnil k části měřicí stanice, které umožňuje vevakuovat a natlakovat výrobek heliem. Druhý konec kapiláry jsem zploštil tak, aby nedošlo k dokonalému uzavření konce a helium tak mohlo volně unikat do měřicí komory. Vytvořená kapilára tedy sloužila jako simulace netěsného výrobku v měřicí komoře. Kapilára byla v průběhu testování nejprve vevakuována a poté naplněna heliem. Tlak helia jsem pomocí škrtícího ventilu omezil na 1000 mbar. Toto omezení jsem zvolil z důvodu použitých snímačů tlaku, které měří pouze do atmosférického tlaku. Velikost úniku helia z kapiláry byla měřena připojeným heliovým detektorem řady C15.

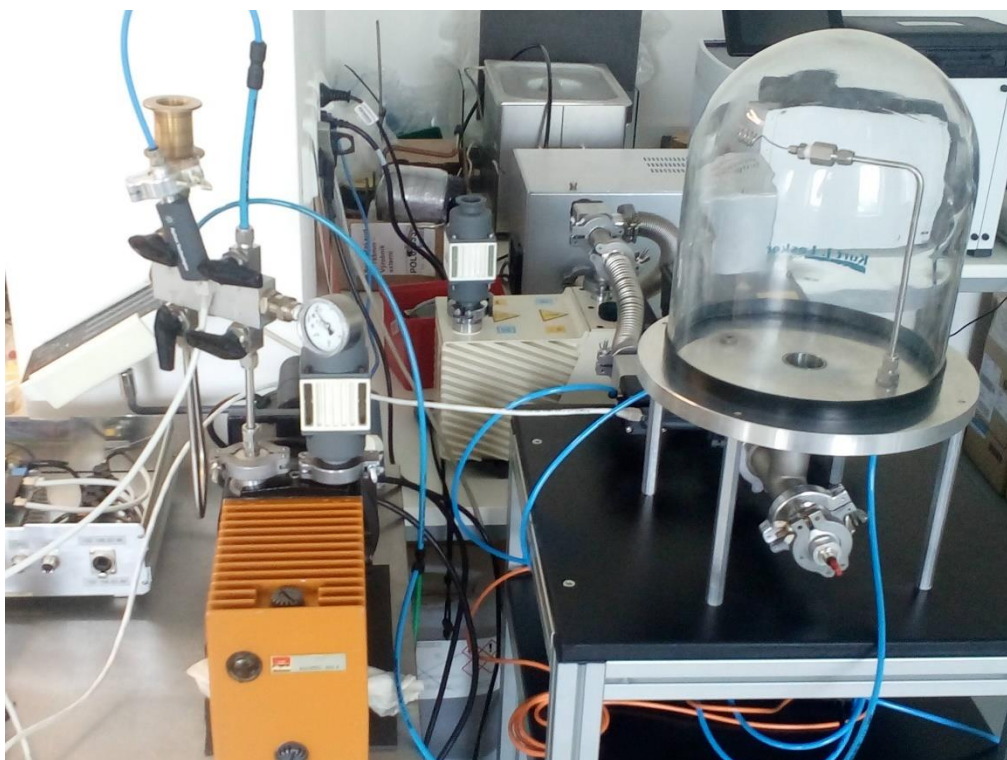


Obrázek 41: Testovaný výrobek

## Vakuová komora

Pro sestavení měřicí stanice byla využita vakuová komora (obr. 42), která je realizována pomocí tvrzeného skla. Hrany skla jsou potaženy těsnící gumou, která umožňuje vytvoření vakua uvnitř komory. Komora je postavena na kovovém podstavci, který slouží jako základna komory a umožňuje připojení výrobku a samotné komory k ostatním prvkům měřicí stanice. Podstavec má v sobě dva vstupy/výstupy, které umožňují připojení výrobku tak, aby bylo možné kontrolovat průchodnost výrobku v průběhu měření. Testovaná kapilára byla připojena pouze k jednomu ze vstupů. Druhý vstup byl v průběhu měření zaslepen.

Hlavní vakuové vedení, které se nachází uprostřed podstavce, slouží k připojení heliového detektoru a k evakuaci komory. Vakuová komora je od zbytku měřicího systému oddělena soustavou ventilů, které umožňují jednoduše řídit celou měřicí stanici. V průběhu měření tak můžeme například zavřít ventil před detektorem a otevřít ventil před pumpou čerpající komoru. Tím dosáhneme úplného odčerpání komory a zároveň tím ochráníme detektor před vysokým tlakem. Po odčerpání komory pak lze otevřít ventil před detektorem a začít měřit velikost úniku helia z výrobku.



Obrázek 42: Vakuová komora a její zapojení



### 7.3.1 Postup měření

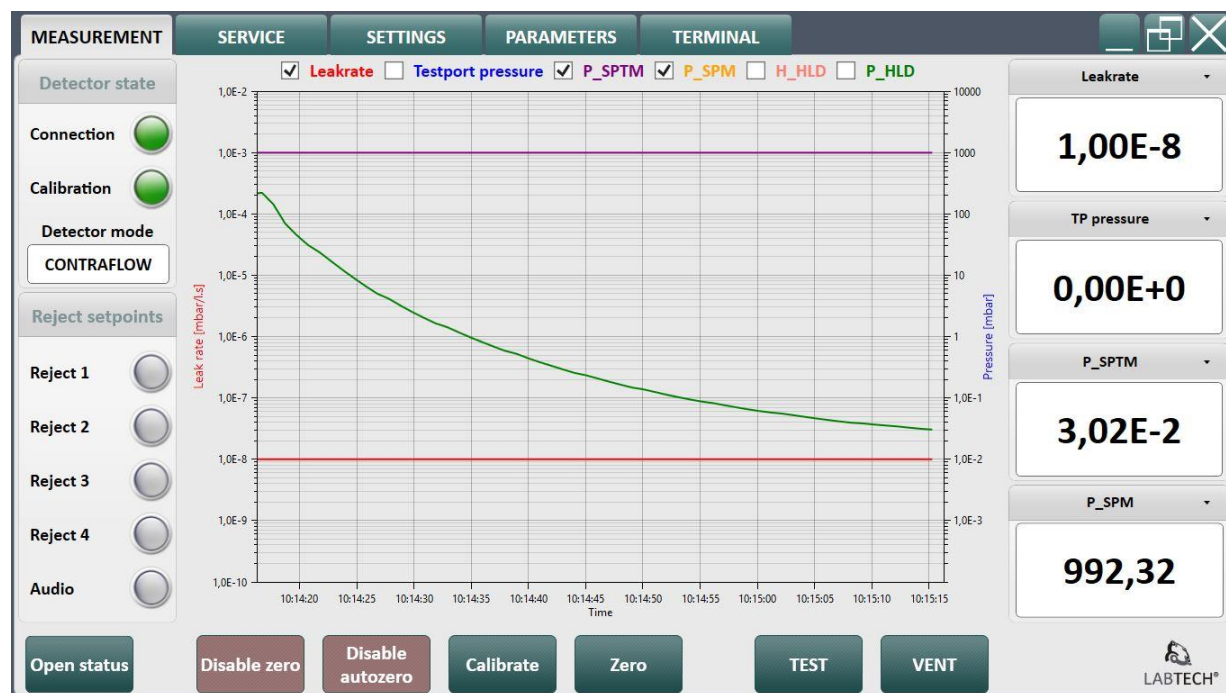
Abych mohl otestovat možnost řízení měřicí stanice pomocí vytvořené aplikace, rozhodl jsem se nasimulovat celý měřicí proces. Vytvořenou kapiláru jsem proto připevnil k adaptéru uvnitř komory a snažil jsem se změřit velikost úniku helia z kapiláry. Samotný měřicí proces lze zjednodušeně rozdělit do následujících bodů.

Postup měření:

1. Evakuace komory
2. Evakuace výrobku
3. Měření pozadí helia v komoře
4. Natlakování výrobku heliem
5. Měření úniku helia z výrobku
6. Zavzdušnění výrobku
7. Zavzdušnění komory

### Evakuace komory

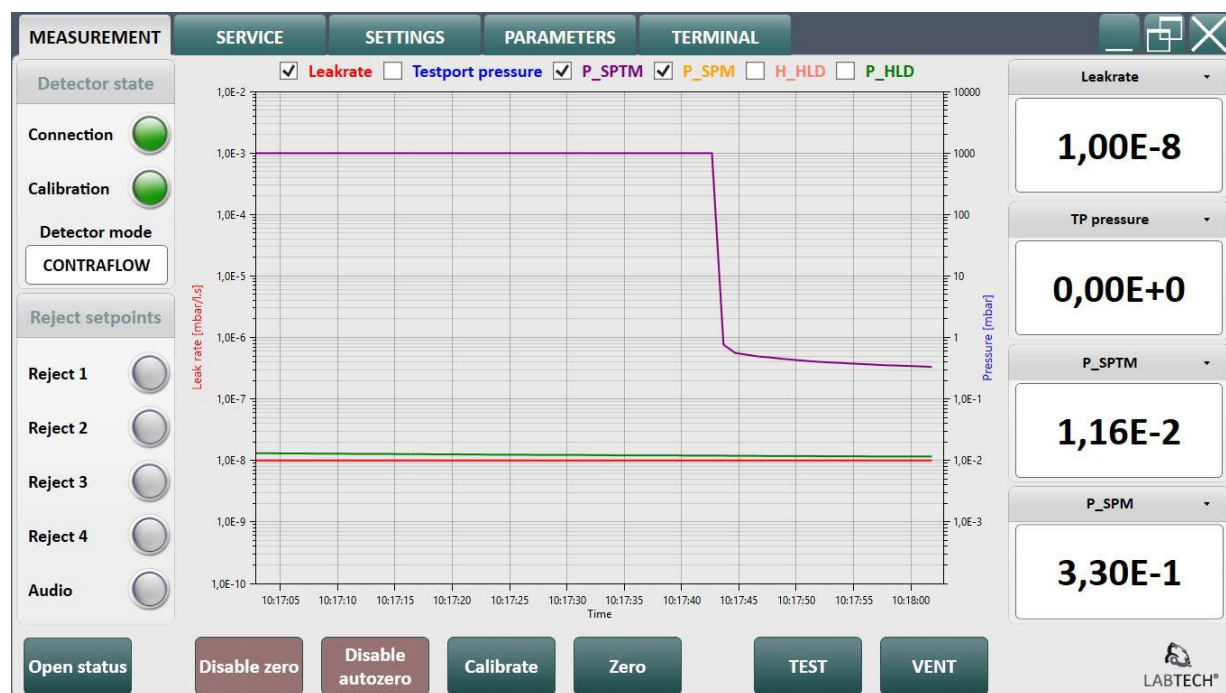
První fází procesu měření je fáze evakuace komory. Proces čerpání vzduchu z vakuové komory je zobrazen na následujícím obrázku (obr. 43). Na obrázku je tlak v komoře zobrazen zelenou barvou, tlak ve výrobku fialovou barvou a měřený únik detektorem je znázorněn červenou barvou. V této fázi je ventil k detektoru zavřený, a proto je měřený únik konstantní. Jak je z obrázku vidět, boční panely jsou nastaveny na zobrazování aktuálních dat z připojených analogových modulů. Měřený tlak v komoře je zobrazen v předposledním panelu.



Obrázek 43: Čerpání komory výrobku

## Evakuace výrobku

Druhou fází měření netěsnosti je evakuace výrobku, aby mohl být poté natlakován heliem. Následující obrázek zobrazuje proces čerpání výrobku. Jak je vidět z hodnot na bočním panelu, tlak v komoře se mezitím ustálil na hodnotě  $10^{-2}$  mbar. Jak je vidět z grafu na obrázku č.44, výrobek byl vevakuován téměř okamžitě kvůli svému malému objemu.



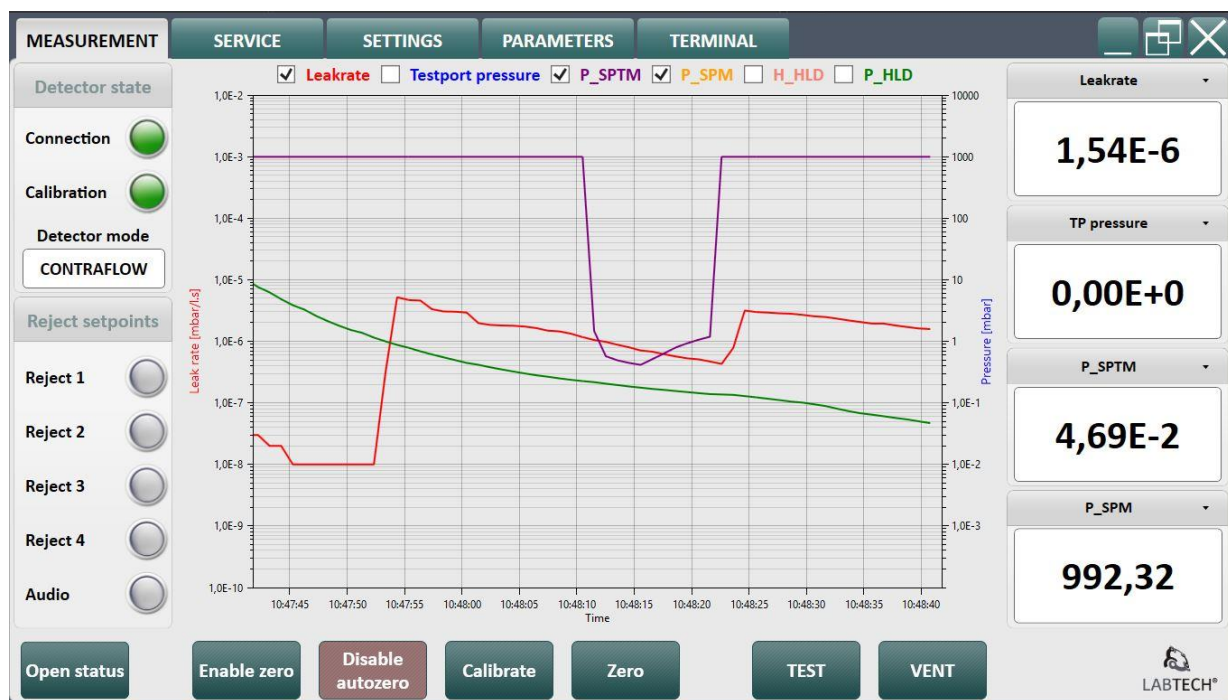
Obrázek 44: Čerpání výrobku

## Měření pozadí v komoře

Měření pozadí helia v komoře se provádí z důvodu, že se helium běžně vyskytuje v atmosféře v koncentraci 5 ppm (parts per million). Pokud chceme měřit menší úniky (řádově  $10^{-9}$  mbar.l/s) musíme čerpat komoru tak dlouho, dokud nebude pozadí helia v komoře dostatečně malé. Poté můžeme využít funkce nulování signálu detektoru pomocí tlačítka Zero a měřit tak samotný únik helia z výrobku.

## Natlakování a měření výrobku

Proces natlakování a měření úniku helia z výrobku je zobrazen na následujícím obrázku (obr. 45). Tento obrázek zobrazuje kompletní měřící cyklus. V grafu lze vidět proces čerpání komory (zelená barva), proces evakuace a tlakování výrobku (fialová barva) a samotný měřený únik (červená barva). Na obrázku je vidět nárůst signálu helia v momentě, kdy byl otevřen ventil do detektoru a začalo se tak měřit pozadí komory. Toto pozadí s dalším čerpáním komory klesá. Jakmile byl výrobek natlakován, detektor zaznamenal nárůst signálu helia. Výsledný naměřený únik helia z kapiláry byl přibližně  $1,5 \cdot 10^{-6}$  mbar.l/s.



Obrázek 45: Měření úniku helia z výrobku

## Výsledek testování aplikace

V průběhu měření jsem využíval aplikaci k ovládání a nastavení parametrů detektoru. Měnil jsem tak pomocí tlačítek měřicí mód a nastavoval rozsah detektoru tak, abych byl schopen měřit únik z kapiláry. Dále jsem využíval analogového modulu pro měření tlaku v komoře a ve výrobku. Hodnoty těchto tlaků jsem poté zobrazoval v grafu a v bočních panelech.

Měření úniku kapiláry tedy proběhlo úspěšně a v průběhu měření jsem otestoval možnost řídit jednoduchou stanicí pomocí vytvořené aplikace. Aplikace umožňovala v průběhu měření nastavení a kontrolu parametrů detektoru a zobrazovala důležité průběhy a měřené hodnoty. Test aplikace byl tedy dle mého názoru úspěšný a výsledkem je, že tuto aplikaci lze využít pro řízení jednoduché měřicí stanice netěsností.

## 8 Možnosti využití vytvořené aplikace

Vytvořená aplikace byla otestována na možnost řízení jednoduché měřicí stanice. Řízení stanice spočívalo především v možnostech ovládání detektoru a zobrazování měřených hodnot. Samotná aplikace je přizpůsobena tak, aby představovala pro uživatele komplexní systém pro ovládání, servis a diagnostiku měřících stanic netěsností. Aplikace je tedy všestranná a lze jí použít pro každou měřicí stanici, která využívá heliové detektory od firmy Agilent. Výhodou vytvořené aplikace je možnost připojit libovolný modul od firmy Turck. Možnost připojení těchto modulů značně rozšiřuje možnosti využití celé aplikace. Některé z těchto možností jsou popsány dále v této kapitole.

### 8.1 Využití aplikace pro diagnostiku a servis měřících stanic

Hlavním cílem, kterého mělo být dosaženo vývojem aplikace pro heliové detektory bylo nahrazení ovládacích panelů, které je možné dokoupit k heliovým detektorům. Tyto ovládací panely neumožňují komplexní nastavení a řízení heliových detektorů. Vytvořená aplikace zmíněné ovládací panely plně nahrazuje a zprostředkovává uživateli možnost diagnostiky závad heliových detektorů. Diagnostika závad je umožněna díky metodám použitých při vývoji aplikace pro měřicí stanice (detektory). Aplikace značně ulehčuje práci při diagnostice závad pomocí záznamu komunikace s detektorem a také možností sledování aktuální parametrů detektoru. Jak již bylo zmíněno výše, aplikace také umožňuje výpis všech parametrů detektoru a diagnostiku závad pomocí odesílání jednotlivých příkazů. Aplikace také sama detekuje poruchové stavy detektoru a upozorňuje na ně uživatele.

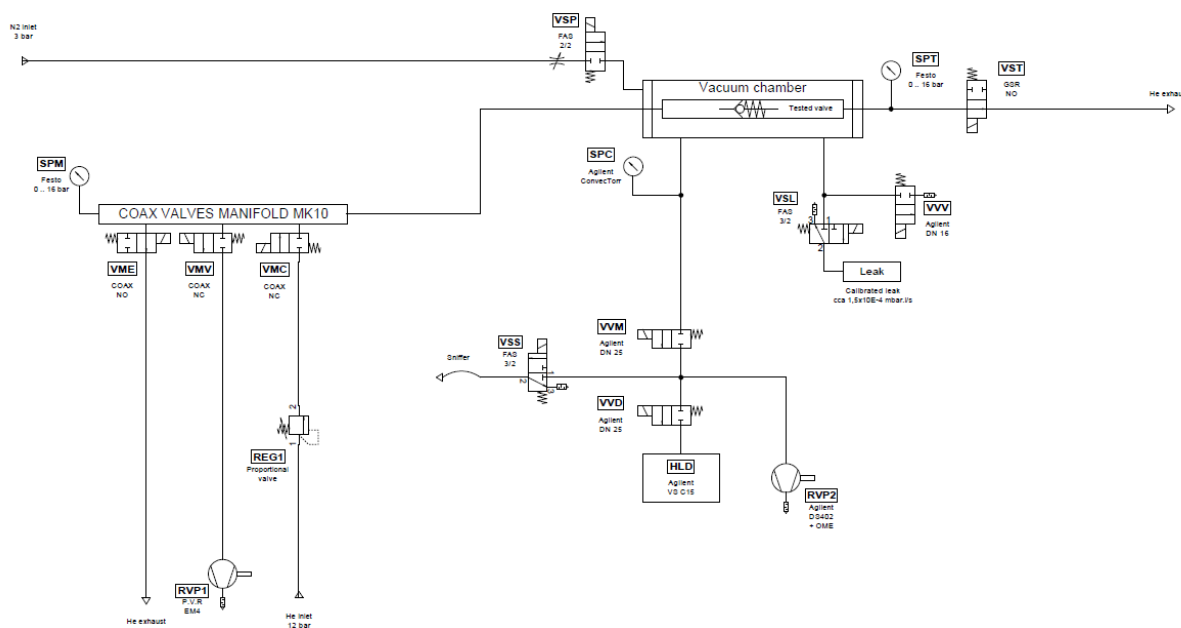
Výše zmíněné možnosti diagnostiky umožňují použití aplikace i pro servis detektorů řady VS a C15. Aplikace tak může být spuštěna na osobním počítači servisního technika a přes připojený sériový port může diagnostikovat závady detektoru. Po odstranění závad může být aplikace také využita pro ověření funkčnosti detektoru. Vytvořená aplikace může být využita i pro zálohování nastavení jednotlivých měřících stanic. Toho může využít servisní technik a uložená nastavení tak může použít pro simulaci funkčnosti měřicí stanice. Uložená nastavení lze jednoduše nahrát do detektoru, který bude mít servisní technik k dispozici a může tak otestovat, zda detektor funguje správně s daným nastavením.

Další využití aplikace je možné i bez použití detektoru. Lze tak aplikaci využít čistě pro připojení digitálních a analogových modulů. Aplikace pak může sloužit jako univerzální nástroj pro měření a zobrazování dat nebo pro ovládání jednoduchých zařízení. Jak již bylo zmíněno výše, aplikace by v tomto případě vyžadovala pouze minimální softwarové úpravy. Pokud bychom uvažovali, že k aplikaci připojíme modul digitálních výstupů, pak by se změny v softwaru týkaly hlavně uživatelského rozhraní, které by bylo nutné přizpůsobit pro snadnější ovládání jednotlivých výstupů. Jednalo by se tak o zajištění vizualizace výstupů a možnost změnit aktuální stav výstupu stisknutím tlačítka.

## 8.2 Ovládání stanice pomocí připojitelných modulů

Jak již bylo zmíněno výše, aplikace je přizpůsobena pro připojení různých vstupních a výstupních modulů od firmy Turck. Připojení těchto modulů by vyžadovalo pouze minimální úpravy v kódu a vizualizaci aplikace. Připojením digitálních modulů bychom mohli dosáhnout lepších ovládacích možností měřicí stanice. To zahrnuje například ovládání jednotlivých ventilů použitých v měřicí stanici. Ovládáním ventilů přímo z aplikace bychom dosáhli menšího času měření a do jisté míry i automatizace měření. Mohli bychom tak pomocí jednoho tlačítka spustit měřicí cyklus, ve kterém by se jednotlivé ventily postupně otvíraly a hodnota úniku výrobku by byla změřena.

Aplikace využívající digitálních modulů pro ovládání ventilů by mohla být využita u jednodušších měřicích stanic, ve kterých by se z důvodu jednoduchosti nevyplatilo použití PLC jako hlavního řídicího prvku. Jednou ze stanic, na které by bylo vhodné využití této aplikace, může být například stanice realizovaná firmou Labtech dle následujícího pneumatického schéma (obr. 46).

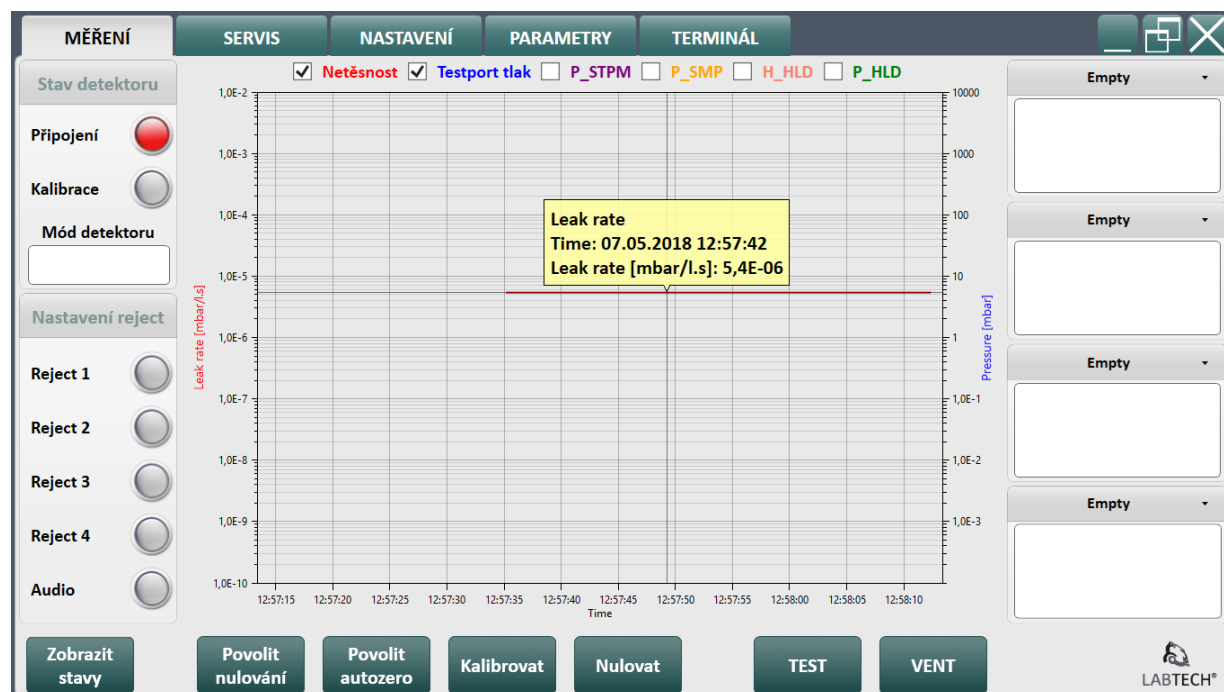


Obrázek 46: Pneumatické schéma měřicí stanice

Jak je z obrázku č.46 vidět, měřicí stanice je velice jednoduchá a využívá pouze deset ventilů, tři analogové snímače a jeden proporcionální ventil. Řízení této stanice by bylo možné s využitím vytvořené aplikace, ke které bychom připojili 3 moduly od firmy Turck. Jednalo by se o digitální výstupní modul, analogový vstupní modul a analogový výstupní modul. Třída pro komunikaci s moduly Turck je napsána univerzálně a lze jí tedy pouze třikrát implementovat v aplikaci. Změny v aplikaci by tak byly minimální. Využitím této aplikace s moduly od firmy Turck by se náklady na realizaci celé měřicí stanice výrazně zmenšily oproti původní realizaci s PLC a pneumatickými moduly. Další nespornou výhodou využití této aplikace je fakt, že použitím připojitelných modulů odpadá nutnost použití OPC serveru, který je většinou zapotřebí pro komunikaci s PLC a výslednou realizaci opět prodražuje.

### 8.3 Využití aplikace pro dlouhodobé testy a sběr dat

Aplikace je také vhodná pro ukládání naměřených hodnot a pro zpětnou kontrolu naměřených výsledků. V aktuální formě aplikace umožňuje posun grafu a lze také zobrazit i jednotlivé naměřené body v grafu, jak je vidět na obrázku č. 47. Toho lze využít například při diagnostice závad měřeného výrobku. Pokud u výrobku naměříme vysoký únik, můžeme graf zpětně posunout a zkontrolovat jednotlivé body grafu a zjistit tak při jakém tlaku ve výrobku došlo k nárůstu signálu helia.



Obrázek 47: Zobrazení měřených hodnot v grafu

Funkce posunu grafu je výhodná pro dlouhodobé měření netěsností, kdy měříme velmi malý únik z výrobku ( $10^{-9}$  mbar.l/s a méně). Při měření takto malých úniků je důležité snížit pozadí helia v komoře na minimum, a proto proces čerpání komory může trvat i několik hodin. Funkce posunu grafu nám umožní jednoduše zkontrolovat celý průběh měření.

## Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce byl návrh a realizace aplikace, která by nahradila ovládací panely k heliovým detektorům netěsností řady VS a C15 a umožnila jejich řízení. Nejprve jsem proto v této práci popsal problematiku měření netěsností s důrazem na metodu měření pomocí stopového množství helia.

Před návrhem struktury aplikace zde byly podrobně popsány jednotlivé možnosti komunikace s heliovými detektory. Tyto možnosti byly porovnány a pro výslednou aplikaci bylo vybráno sériové rozhraní jako hlavní možnost komunikace.

Dalším bodem této práce byl návrh hardwarového a softwarového řešení pro připojení měřících prvků k heliovému detektoru. Byly zde porovnány jednotlivé možnosti připojení měřících prvků k detektoru. Výsledného hardwarového řešení bylo dosaženo využitím modulů od firmy Turck, pro které bylo navrženo softwarové řešení spočívající především v návrhu komunikace s moduly.

Následující část této práce se věnovala návrhu struktury aplikace. Byly zde podrobně popsány jednotlivé prvky, kterých jsem využíval při vývoji aplikace. Tato část se také věnovala rozdělení aplikace do jednotlivých částí, u kterých byla popsána jejich funkčnost. Popsána byla i komunikace mezi jednotlivými částmi programu.

Hlavní částí této práce byla pak samotná realizace aplikace. Aplikace byla vytvořena v objektově orientovaném jazyce C# s důrazem na celkovou robustnost. V této části jsem podrobně popsal funkčnost celé aplikace. Vytvořená aplikace umožňuje komplexní nastavení a řízení heliových detektorů od firmy Agilent. Dále umožňuje připojení měřících prvků a do jisté míry i řízení heliové stanice.

Testování vytvořené aplikace se věnuje předposlední část této práce. V průběhu testování aplikace byla ověřena možnost komunikace s detektorem a s připojitelným analogovým modulem. Dále byla aplikace otestována na možnost řízení heliové stanice.

Poslední část této práce se věnovala shrnutí možností využití vytvořené aplikace. Vytvořená aplikace je vhodná pro ovládání detektoru, dále je připravená pro servisní a diagnostické využití. Aplikaci lze také využít pro řízení jednoduchých měřících stanic s využitím připojitelných modulů.

Vytvořená aplikace splňuje všechny požadavky dle zadání této práce. Na jejím rozvoji se bude dále pracovat a v budoucnu bude využívána pro řízení jednodušších měřících stanic netěsností. Vytvořená aplikace je již nyní využívána především pro její servisní a diagnostické možnosti.

## Použitá literatura

- [1] METSKER, Steven John. *Design patterns in C#*. 1. Boston: Addison-Wesley, c2004. ISBN 03-211-2697-1.
- [2] BARNABY, Tom. *Distributed .NET programming in C#*. 1. New York: Apress, 2002. ISBN 1590590392.
- [3] SHARP, John. *Microsoft Visual C# 2010: krok za krokem*. Brno: Computer Press, 2010. Krok za krokem (Computer Press). ISBN 978-80-251-3147-3.
- [4] Lokalizace netěsností, zkoušky netěsností | detekce-netesnosti.cz. Detekce netěsností, testování, měření netěsností | detekce-netesnosti.cz [online]. Copyright © 2011, Pracoviště Telnice, K nádraží 191, Telnice 664 59, Tel [cit. 02.11.2017]. Dostupné z: <https://www.detekce-netesnosti.cz/lokalizace-netesnosti-zkousky-netesnosti/>
- [5] The MVVM Pattern. *Learn to Develop with Microsoft Developer Network / MSDN* [online]. Copyright © 2018 Microsoft [cit. 15.12.2017]. Dostupné z: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh848246.aspx>
- [6] Vacuum Screws - Scitek Technologies for Science. *Scitek Australia - Technologies for Science* [online]. Copyright © 2011 [cit. 20.10.2017]. Dostupné z: [http://www.scitek.com.au/applications/vacuum\\_screws](http://www.scitek.com.au/applications/vacuum_screws)
- [7] *Chemical Analysis, Life Sciences, and Diagnostics / Agilent* [online]. Copyright © [cit. 07.01.2018]. Dostupné z: [https://www.agilent.com/cs/library/usermanuals/public/6999-09-948C\\_Eng%20VS%20Component%20Leak%20Detector%20Operations%20Manual.pdf](https://www.agilent.com/cs/library/usermanuals/public/6999-09-948C_Eng%20VS%20Component%20Leak%20Detector%20Operations%20Manual.pdf)
- [8] *Introduction to helium mass spectrometer leak detection*. 2. Palo Alto, Calif. (611 Hansen Way, Palo Alto 94303): Varian Associates, c1995. ISBN 0981699909070.
- [9] *Data Binding Overview* [online]. 2017 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/framework/wpf/data/data-binding-overview>
- [10] *Mvvm ve wpf a silverlightu, část 3: commands* [online]. 2011 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.dotnetportal.cz/blogy/15/Null-Reference-Exception/5193/MVVM-ve-WPF-a-Silverlightu-cast-3-Commands>
- [11] *OxyPlot* [online]. 2016 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://www.oxyplot.org/>
- [12] TBEN-S2-4AI - Turck - Compact I/O Module. *Walker Industrial* [online]. Copyright © [cit. 09.05.2018]. Dostupné z: <https://www.walkerindustrial.com/TBEN-S2-4AI-Turck-p/tben-s2-4ai.htm>
- [13] *VS Series Helium Mass Spectrometer Leak Detectors* [online]. J. Agilent, 2014 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: [https://www.agilent.com/cs/library/usermanuals/Public/6999-09-942J\\_Eng%20VS%20Series%20Helium%20Mass%20Spectrometer%20Leak%20Detectors%20Operations%20Manual.pdf](https://www.agilent.com/cs/library/usermanuals/Public/6999-09-942J_Eng%20VS%20Series%20Helium%20Mass%20Spectrometer%20Leak%20Detectors%20Operations%20Manual.pdf)



[14] *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. Copyright © [cit. 010.03.2018]. Dostupné z: [https://www.mmspektrum.com/content/image/gallery/07\\_2013\\_55\\_1371714783/festo\\_obr\\_01.jpg](https://www.mmspektrum.com/content/image/gallery/07_2013_55_1371714783/festo_obr_01.jpg)

[15] PVG-500S Pirani Gauge | Agilent. *Chemical Analysis, Life Sciences, and Diagnostics / Agilent* [online]. Copyright © [cit. 20.4.2018]. Dostupné z: <https://www.agilent.com/en/products/vacuum-technologies/vacuum-measurement/active-gauges/pvg-500s-pirani-gauge>

[16] *Southern Automation Sales, Inc. / Welcome* [online]. Copyright © [cit. 20.4.2018]. Dostupné z: <http://www.southern-automation.com/PageDisplay.asp?p1=23091&PF=Y>