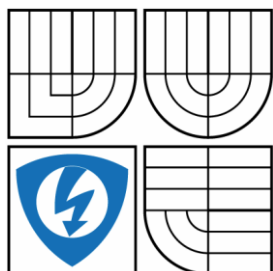


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

AUTOMATIZACE TRATI PRO MĚŘENÍ VODNÍCH VENTILŮ

AUTOMATION OF TRACK FOR MEASUREMENT OF WATER VALVES CHARACTERISTIC

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PAVEL LEKEŠ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. SOŇA ŠEDIVÁ Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Pavel Lekaš

ID: 89368

Ročník: 2

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Automatizace trati pro měření vodních ventilů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- 1) Proveďte literární řešení v oblasti vodních ventilů.
- 2) Proveďte posouzení stávajícího stavu testovací trati pro měření charakteristik vodních ventilů umístěné ve firmě Honeywell.
- 3) Definujte parametry dílčích částí, které lze použít pro automatizaci testovací trati, a proveďte průzkum trhu s posouzením a výběrem vhodných komponent.
- 4) Navrhněte metodiku automatického ovládání testovací trati a sběr dat pomocí programu LabVIEW.
- 5) Vytvořte program pro ovládání testovací trati a pro sběr dat v programu LabVIEW.
- 6) Ověřte funkčnost programu na testovací trati.

Tato diplomová práce je realizována ve spolupráci s firmou Honeywell.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] MILLER, R. W.: Flow Measurement Engineering Handbook. New York: McGRAW-HILL Publishing Company, 1989, ISBN 0-07-042046-7.
- [2] LIPTAK, B. G.: Instrument Engineers' Handbook: Process measurement and analysis. CRC Press, 2003. ISBN 9780849310836.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 19.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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 částí druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vylepšením stávajícího zařízení pro měření charakteristik vodovodních ventilů. Úvod je věnován teorii vodních regulačních ventilů, následuje popis současného stavu zařízení, definice žádaných změn, návrh řešení s definicí potřebných komponent, finální provedení. Závěr je věnován zhodnocení provedených prací.

Klíčová slova

měřicí trať, měření, charakteristika, ventil, regulační ventil, DPCV, PICV, voda, čerpadlo, aktuátor, program, LabVIEW, tlak, průtok, implementace, vylepšení, automatizace, regulace, senzor.

Abstract

Diploma thesis describes upgrade of flow bench serving as test rig for regulation valves characteristic measurement. There is an introduction to the water regulation valves theory followed by current machine condition description. Other chapters define necessary improvements, proposition of improvements, necessary component definition and final realization. Final chapter summarizes complete project.

Keywords

test rig, measurement, characteristic, valve, regulation valve, DPCV, PICV, water, pump, actuator, program, labVIEW, pressure, flow, implementation, improvement, automation, regulation, sensor.

Bibliografická citace:

LEKEŠ, P. Automatizace trati pro měření vodních ventilů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 79s. Vedoucí diplomové práce byla Ing. Soňa Šedivá Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Automatizace trati pro měření vodních ventilů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **8. srpna 2014**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Soni Šedivé Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval společnosti Honeywell, díky které se celý projekt uskutečnil, svému manažerovi, který zajistil financování projektu a dal mi prostor k práci a kolegům za jejich vstřícnost a pomocnou ruku v dobách potřeby.

V neposlední řadě bych rád poděkoval svému synovi a manželce, kteří byli mojí velkou motivací, a vůbec celé rodině za velkou podporu, kterou mi po dobu mého studia prokazovala.

V Brně dne: **8. srpna 2014**

.....
podpis autora

OBSAH

1	Úvod.....	11
2	Regulační ventil.....	12
2.1	Jmenovitá světlost DN.....	12
2.2	Jmenovitý tlak PN	13
2.3	Průtokový součinitel K_v	13
2.4	Zdvih ventilu	13
2.5	Maximální teplota média	13
2.6	Maximální diferenciální tlak	14
2.7	Statická charakteristika ventilu.....	14
2.8	Médium.....	15
2.9	Regulátor konstantního tlaku (DPCV).....	15
2.10	Regulátor konstantního průtoku (PICV).....	17
3	Popis zařízení	19
3.1	Mechanická část	20
3.2	Elektrická část.....	20
3.3	Software.....	21
3.4	Technický přehled základních prvků zařízení	23
3.4.1	Čerpadlo, elektrický motor a frekvenční měnič	24
3.4.2	Průtokoměry	25
3.4.3	Převodníky diferenciálního tlaku	26
3.4.4	Statický tlakoměr.....	26
3.4.5	Měřicí karta	26
3.4.6	Aktuátor k regulačnímu ventilu.....	27
3.4.7	Regulační ventil.....	27
4	Definice nevyhovujících oblastí.....	28
4.1	Manuální nastavení měřicího okruhu	28
4.1.1	Dopouštění vody do nádrže.....	28
4.1.2	Nastavení statického tlaku.....	28
4.1.3	Volba průtokoměru.....	28
4.1.4	Nevhodně provedený sběr dat	29
4.1.5	Nedostatečná přesnost regulačního ventilu	29
4.1.6	Chybějící ochrana čerpadla proti nedostatku vody	30
4.1.7	Zlepšení výstupního formátu dat.....	30
4.1.8	Nedostatek diferenciálních tlakoměrů.....	30

4.1.9	Chybějící měření teploty vody	31
4.1.10	Zlepšení přesnosti měřených dat.....	31
4.1.11	Přepřepočování uživatelského rozhraní	31
5	Řešení definovaných nedostatků	32
5.1	Dopouštění vody do nádrže	32
5.1.1	Navrhované řešení pro dopouštění vody do nádrže	33
5.1.2	Alternativní řešení pro dopouštění vody do nádrže.....	33
5.2	Nastavení statického tlaku v systému	34
5.2.1	Navrhované řešení nastavení statického tlaku.....	34
5.2.2	Alternativní řešení pro nastavení statického tlaku.....	35
5.3	Chybějící diferenciální tlakoměr	35
5.4	Chybějící měření teploty vody	35
5.5	Automatizace volby měřicího okruhu	36
5.5.1	Definice vybraných prvků pro modifikaci hydraulické části	37
5.6	Měřicí a řídicí systém	37
5.6.1	Analogové vstupy.....	38
5.6.2	Digitální výstupy	38
5.6.3	Analogové výstupy.....	39
5.6.4	Digitální vstupy	39
5.6.5	Definice prvků měřicího systému.....	40
5.7	Softwarové změny	40
6	Realizace	42
6.1	Mechanické úpravy.....	42
6.2	Pneumatická část	48
6.3	Elektrická část.....	52
6.3.1	Silový rozváděč	54
6.3.2	Měřicí a ovládací rozváděč.....	55
6.4	Software.....	59
6.4.1	Sběr a zpracování dat	59
6.4.2	Uživatelské prostředí.....	65
6.4.3	Zdrojový kód.....	69
7	Výsledky měření.....	71
7.1	Měření DPCV	71
7.2	Měření PICV	73
7.3	Měření k_v	74

8	Závěr.....	75
9	Zdroje	76
10	Přílohy	78

Obrázek 1:	a) Radiátorový ventil s kuželkou b) Samotná kuželka	12
Obrázek 2:	Ukázka lineární a rovnoprocentní charakteristiky ventilu.....	15
Obrázek 3:	DPC ventil Kombi Auto od firmy Honeywell. Převzato z [6]	16
Obrázek 4:	Typická regulační křivka DPC ventilu. Převzato z [6].....	16
Obrázek 5:	PICV od společnosti Pettinaroli. Převzato z [7]	17
Obrázek 6:	Typická regulační charakteristika PICV. Převzato z [7]	18
Obrázek 7:	Celkové foto zařízení.....	19
Obrázek 8:	Blokové schéma testovací trati.....	20
Obrázek 9:	Testovací stůl pro zapojení vzorku.	20
Obrázek 10:	Rozváděč s měřicí elektronikou	21
Obrázek 11:	Obrazovka ovládacího programu testovací trati	22
Obrázek 12:	Náhled zdrojového kódu ovládacího softwaru	23
Obrázek 13:	charakteristika použitého čerpadla	25
Obrázek 14:	Návrh řešení automatizovaného dopouštění vody.....	33
Obrázek 15:	Návrh řešení automatického nastavení statického tlaku v systému.....	34
Obrázek 16:	Detail navrhované úpravy.....	36
Obrázek 17:	Možná podoba interaktivní grafické vizualizace měřící trati	40
Obrázek 18:	Situační náčrt nového potrubí	44
Obrázek 19:	Potrubí testovací trati v původním stavu	45
Obrázek 20:	Pohled po odmontování průtokoměrů a čerpadla	45
Obrázek 21:	Stav podkladové desky po odstranění potrubí.....	46
Obrázek 22:	Testovací trať připravena na montáž nového potrubí.....	46
Obrázek 23:	Zkompletované potrubí včetně ventilů a průtokoměrů.....	47
Obrázek 24:	Detail připojení čerpadla do okruhu	48
Obrázek 25:	Návrh zapojení vstupního obvodu pneumatické části	49
Obrázek 26:	Detail vstupní části rozvodu tlakového vzduchu.....	50
Obrázek 27:	Detail zapojení 5/3 ventilu sloužícího k ovládní statického tlaku	51
Obrázek 28:	detail připojení baterie 5/2 ventilů ovládajících pneumatické pohony	51
Obrázek 29:	Schéma zapojení silového rozváděče	53
Obrázek 30:	Výsledná realizace silového rozváděče.	55

Obrázek 31: Výsledná realizace měřicího a ovládacího rozváděče.	56
Obrázek 32: Možnosti nastavení aktuátoru regulačního ventilu.....	57
Obrázek 33: Detekce hladiny nádrže přes stěnu stavoznaku.	58
Obrázek 34: Provedení strukturované kabeláže pomocí kabelových lišt.....	58
Obrázek 35: konfigurace virtuálních kanálů pro definici měřicího tasku.....	63
Obrázek 36: výřez smyčky provádějící sběr dat.....	65
Obrázek 37: Rozložení obrazovek uživatelského rozhraní.....	66
Obrázek 38: Úvodní obrazovka.....	67
Obrázek 39: Uživatelské rozhraní testovací procedury pro měření DPCV.....	67
Obrázek 40: Obrazovka pro zadání parametrů DPCV testovací procedury.....	69
Obrázek 41: Srovnání naměřených výsledků – DPCV procedura.....	71
Obrázek 42: Srovnání naměřených výsledků – DPCV procedura.....	72
Obrázek 43: Porovnání měření PICV.....	73
Obrázek 44: Demonstrace výsledku KV procedury.....	74

1 ÚVOD

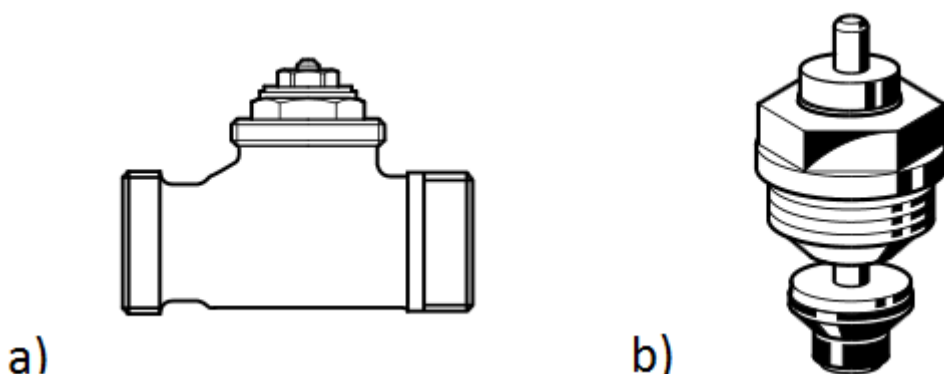
Historie testovací trati pro měření vodních ventilů začíná na přelomu tisíciletí, kdy společnost Honeywell zakoupila německého výrobce vodní regulační techniky MNG v Arnsbergu a přesunula jak výrobu tak vývoj nových produktů do své centrály poblíž německého Mosbachu. Výrobní i vývojová sekce vyžadovaly testovací kapacity pro ověření parametrů vyráběných či navrhovaných ventilů. Nastalou situaci se němečtí kolegové rozhodli vyřešit realizací vlastní měřicí trati. V roce 2012 bylo rozhodnuto o přesunu trati do Brna, kde bylo rozhodnuto o její modernizaci.

Tato diplomová práce se zabývá automatizací trati pro měření charakteristik vodních ventilů. V prvním kroku je proveden rozbor původního stavu měřicí trati, popis základních komponent a zhodnocení jejich využití pro modernizaci. Následně jsou identifikovány celkové nedostatky zařízení a navrhnuo řešení vedoucí k jejich odstranění.

Druhá polovina diplomové práce se věnuje realizaci projektu. Dokumentuje fázi mechanických změn a úprav, zapojení elektroinstalace a tvorbu ovládacího programu. Závěrečné kapitoly jsou věnovány naměřeným výsledkům a celkovému zhodnocení projektu.

2 REGULAČNÍ VENTIL

Vodní regulační ventily jsou základním prvkem otopných, chladících, případně distribučních soustav pitné či odpadní vody. Ventil samotný se skládá ze dvou základních částí. Těla ventilu a kuželky. Zatímco tělo ventilu bývá opracovaný odlitek či výkovek, kuželka se skládá z mnoha různých částí (plunger, pružina, dřík, zarážka...) a mnohdy i materiálů (kov, plast, pryž, teflon).



Obrázek 1: a) Radiátorový ventil s kuželkou b) Samotná kuželka

Tělo ventilu slouží zejména k mechanickému upevnění do otopného okruhu a poskytuje základní průtočný profil, nad kterým bude regulace prováděna. Samotnou regulaci obstarává kuželka. Vzhledem k tomu, že kuželka je do těla ventilu zašroubována, je možné ji kdykoliv vyměnit za jinou. Ať již z důvodu chybné funkce, změny projektu nebo v případě požadavku na jinou průtokovou charakteristiku. To umožňuje snížení nákladů na údržbu systému.

I když rozeznáváme hned několik typů regulačních ventilů s různou funkcí, existuje několik obecných atributů charakteristických pro celou množinu regulačních ventilů.

2.1 Jmenovitá světlost DN

Jedná se o jmenovitou světlost udávající průměr vstupního a výstupního hrdla ventilu. Číslo je bezrozměrné a zhruba odpovídá vnitřnímu průměru potrubí v milimetrech. Ve většině případů mají regulační ventily stejnou nebo menší světlost než je světlost potrubí na které je ventil napojen. V praxi údaj DN často zastupuje pojem „velikost ventilu“.

2.2 Jmenovitý tlak PN

Jmenovitý statický tlak, kterému může být ventil vystaven, aniž by došlo k jeho poškození. Jedná se o výrobcem garantovanou hodnotu. Samotný ventil může snést i vyšší tlak bez vlivu na jeho funkci, nicméně rizika v takovém případě nese provozovatel zařízení.

2.3 Průtokový součinitel K_v

K_v hodnota ventilu je hodnota objemového průtoku při určitém zdvihu ventilu. Udává hodnotu průtoku ventilem v metrech krychlových za hodinu při tlakové ztrátě 100 000 Pa (1 bar). Pro jiné hodnoty diferenciálního tlaku existuje přepočtový vzorec:

$$k_v = Q \sqrt{\left(\frac{\Delta p_{Kv}}{\Delta p}\right) \left(\frac{\rho}{\rho_w}\right)} \quad \left[\frac{m^3}{h}, \frac{m^3}{h}, Pa, Pa, \frac{kg}{m^3}, \frac{kg}{m^3}\right]$$

Vzorec 1

Pokud je měřenou veličinou voda, výsledek poslední závorky bude 1 a celý vzorec se tím výrazně zjednoduší. V případě, že se jedná o plné otevření ventilu, hovoříme o K_{vs} hodnotě, která je spjatá se jmenovitým zdvihem ventilu.

2.4 Zdvih ventilu

Zdvih ventilu je vzdálenost, kterou urazí plunger ventilu od úplného uzavření ventilu (kdy se dotýká sedla) až do úplného otevření ventilu (kdy je plunger na svém horním dorazu). Udává se v milimetrech. Zdvih ventilu je hodnota, kterou řídíme, abychom dosáhli požadovaného stavu v systému. V neposlední řadě hraje roli při výběru vhodného aktuátoru pro daný ventil.

2.5 Maximální teplota média

Hodnota T-max je definována jako maximální pracovní teplota média, při které může být armatura provozována. Je určena konstrukcí ventilu (pryžové těsnící prvky, připojené ovládání, atd.)

2.6 Maximální diferenciální tlak

Maximální diferenciální tlak je maximální výrobcem povolená hodnota tlakové difference mezi vstupem a výstupem ventilu. V praxi často není výhodné se této hodnotě blížit, ať již kvůli energetickým ztrátám nebo nežádoucím zvukovým projevům. Konkrétně u radiátorových ventilů je typický mezní diferenciální tlak 1 bar, zatímco doporučené tlakové ztráty se pohybují v rozmezí 0,1 – 0,3 bar.

2.7 Statická charakteristika ventilu

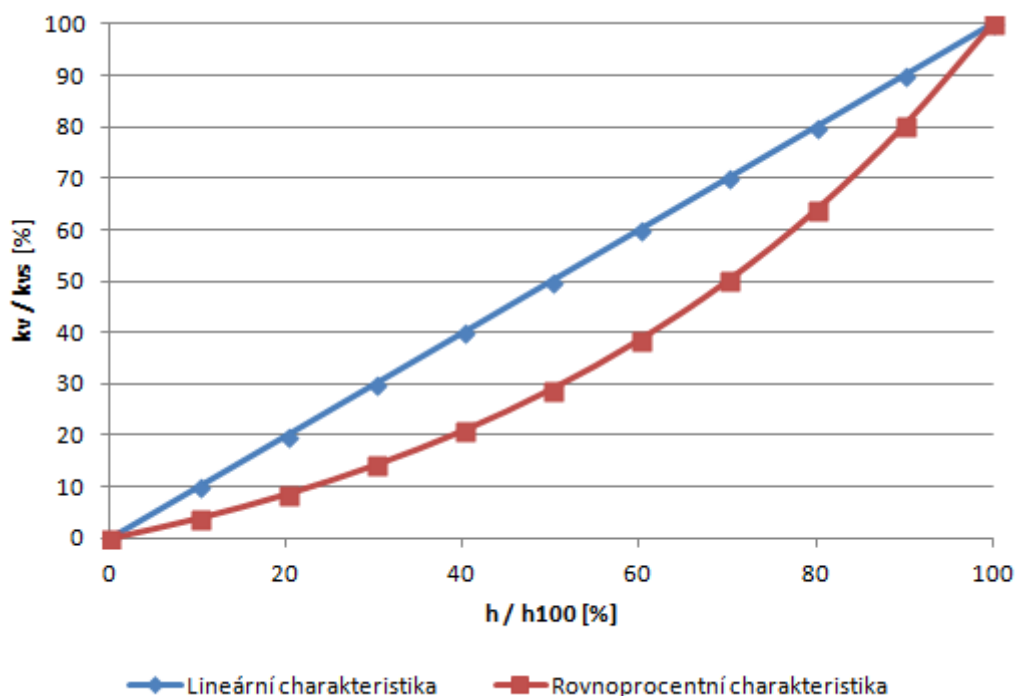
Statickou charakteristikou vodovodního regulačního ventilu se rozumí závislost poměru k_v/k_{vs} hodnot na poměrném zdvihu (aktuální zdvih / maximální zdvih).

Rozlišujeme dvě základní používané charakteristiky. Lineární a rovnoprocentní (ekviprocentní).

U lineární charakteristiky – jak už sám název napovídá – se poměr k_v / k_{vs} mění lineárně. Jinými slovy, stejné změně zdvihu odpovídá stejná změna k_v hodnoty.

U ekviprocentní charakteristiky odpovídá procentuálně stejné změně zdvihu procentuálně stejná změna k_v hodnoty. Obě charakteristiky jsou zobrazeny na obrázku níže.

Na první pohled se zdá, že lineární charakteristika je výrazně výhodnější než ekviprocentní, nicméně v určitých aplikacích, kdy ovládaná zátěž má logaritmický charakter tepelných ztrát (výměník tepla, radiátor), je to právě ekviprocentní charakteristika, která zajišťuje lineární průběh tepelné regulace.



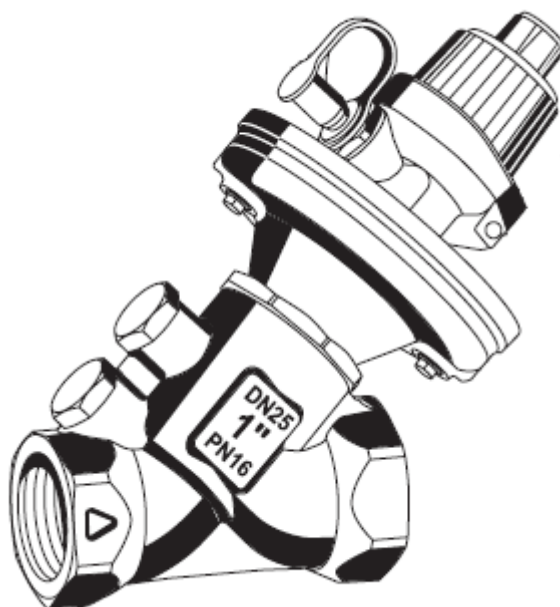
Obrázek 2: Ukázka lineární a rovno procentní charakteristiky ventilu

2.8 Médium

U všech regulačních ventilů je také specifikována látka sloužící k přenosu a výměně tepla. Nejtypičtější teplotonosnou látkou je voda, případně směs vody s glykolem.

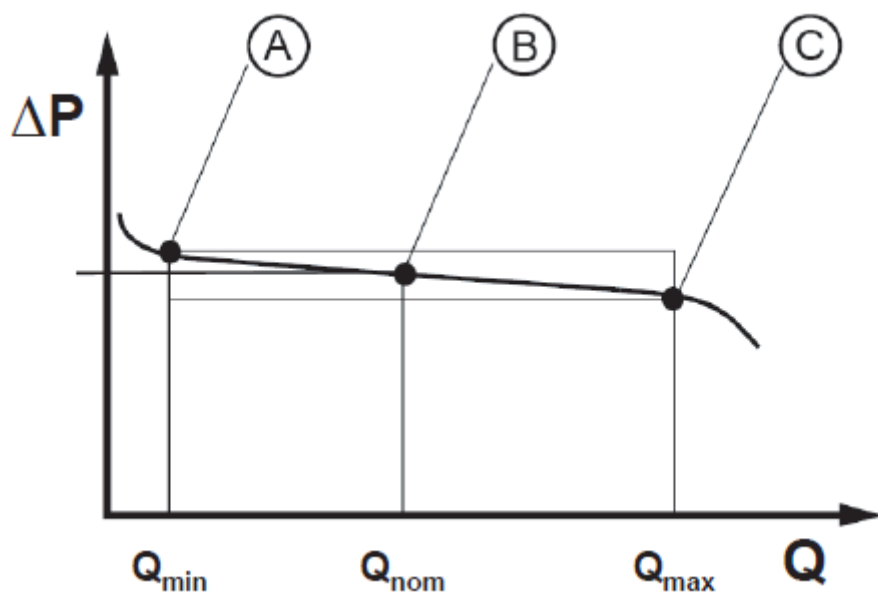
2.9 Regulátor konstantního tlaku (DPCV)

DPCV (differential pressure control valve) je speciálním typem regulačního ventilu. Používá se v dynamickém vyvažování. Montuje se na větev vratného potrubí s přípojem signálního tlaku ze stoupační větve. Jeho úkolem je hlídat konstantní tlakový rozdíl mezi stoupačím a vratným potrubím a zajistit tak konstantní tlakovou ztrátu na všech otopných tělesech, bez ohledu na požadovaný průtok. Jedná se tedy o regulátor diferenciálního tlaku na konstantní hodnotu.



Obrázek 3: DPC ventil Kombi Auto od firmy Honeywell. Převzato z [6]

U DPC ventilů není možnost ovládat zdvih (nepočítáme – li možnost bezpečnostního uzavření ventilu). Lze pouze přednastavit hodnotu žádaného diferenciálního tlaku. Dále už pracuje ventil automaticky. Regulační křivka DPC ventilu je zobrazena na obrázku 4.



Obrázek 4: Typická regulační křivka DPC ventilu. Převzato z [6]

Pro každou DN velikost ventilu je určen nominální průtok (Q_{nom}), pro který je ventil určen. Pásmo regulace je dáno minimálním (Q_{min}) a maximálním (Q_{max}) průtokem.

V těchto mezích průtoků je garantováno udržení přednastaveného diferenciálního tlaku v rámci tolerancí, které jsou typicky 10 – 20%.

Na obrázku 4 je tlaková ztráta na počátku regulačního rozsahu naznačena bodem A, v tlaková ztráta při nominálním průtoku bodem B a tlaková ztráta na konci regulačního rozsahu bodem C.

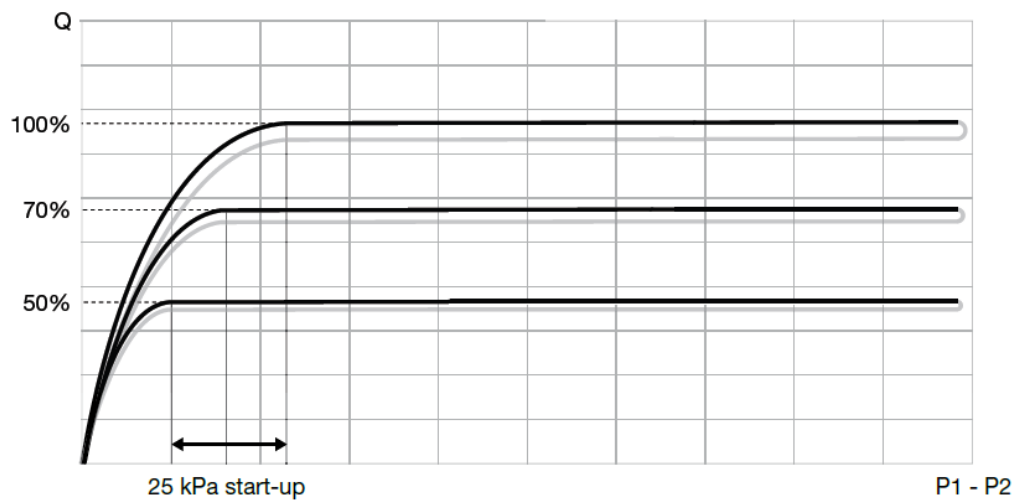
2.10 Regulátor konstantního průtoku (PICV)

PICV (pressure independent control valve) je dalším ze speciálních typů regulačních ventilů. Jeho úkolem je držet konstantní průtok systémem, bez ohledu na tlakovou ztrátu v systému.



Obrázek 5: PICV od společnosti Pettinaroli. Převzato z [7]

Základem funkce PICV je regulátor tlaku, který udržuje konstantní tlakovou ztrátu přes sedlo ventilu. Při konstantním diferenciálním tlaku přes konstantní průřez sedla ventilu musí pak i průtok být konstantní. Obrázek typické regulační charakteristiky PICV je na obrázku 6.

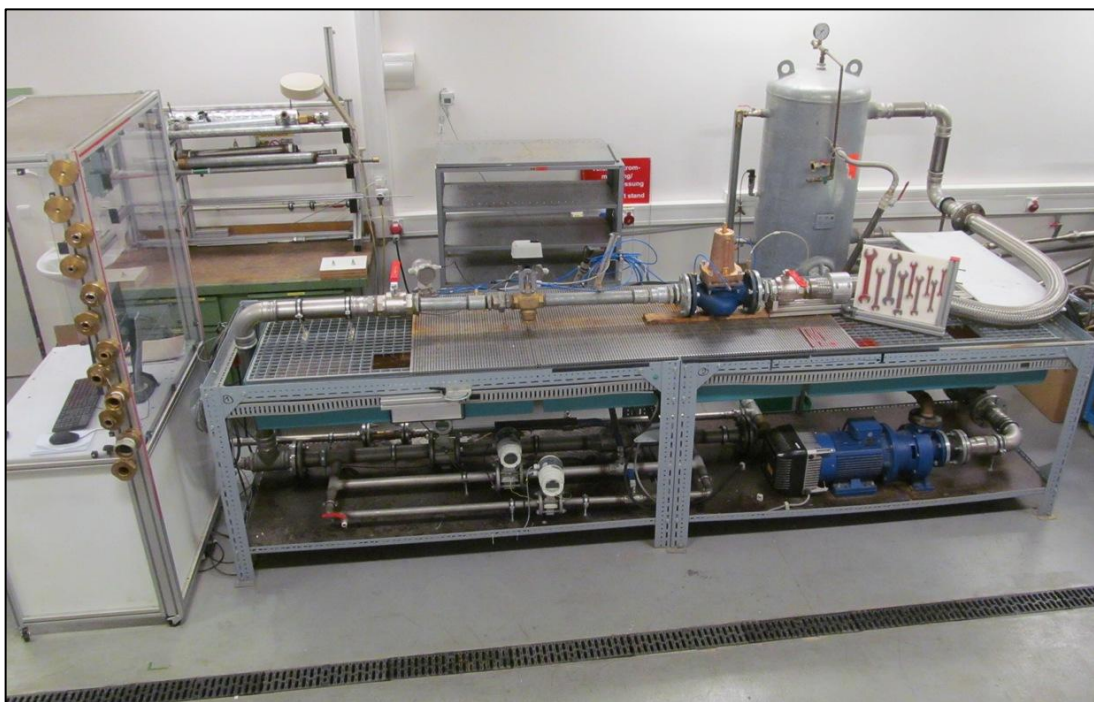


Obrázek 6: Typická regulační charakteristika PICV. Převzato z [7]

Stejně jako u DPCV, i u PICV je definován regulační rozsah, pro který je ventil určen. Naznačená procenta na grafu z obrázku 6 ukazují křivky pro různá přednastavení. Z obrázku je též patrné, že každé přednastavení má mírně odlišnou minimální tlakovou diferenci, od které je průtok konstantní. To je způsobeno tuhostí regulační pružiny.

3 POPIS ZAŘÍZENÍ

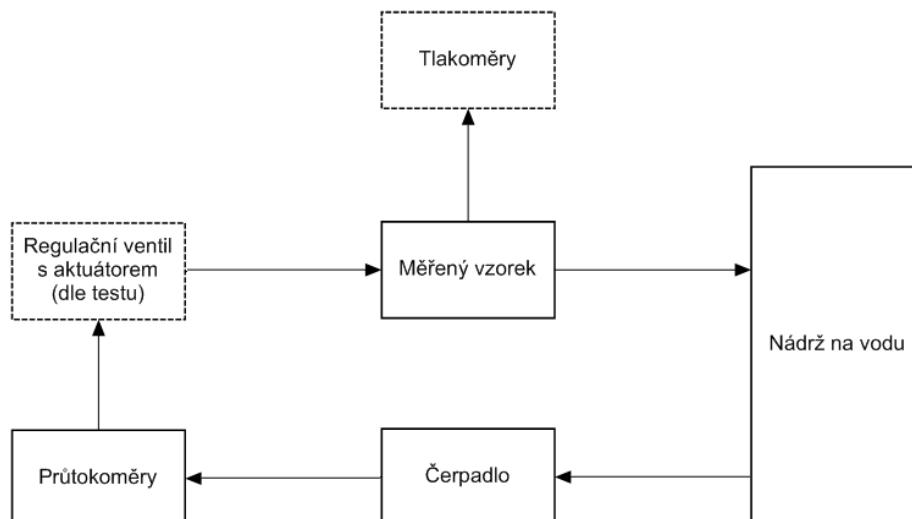
Účelem této práce je navrhnout vylepšení trati určené k měření charakteristik vodních regulačních ventilů. Celkové foto zařízení je na obrázku 7.



Obrázek 7: Celkové foto zařízení

Testovací trať tvoří čtyři metry dlouhá lavice o dvou úrovních. Spodní úroveň z překližkové desky je vyhrazena pro (po směru průtoku zprava doleva) filtr nečistot, čerpadlo, sestavu průtokoměrů a k nim patřících kulových kohoutů, ovládající průtok jednotlivými větvemi. Horní patro lavice slouží k upevnění regulačního ventilu, tlakoměrů, měřeného vzorku a zároveň jako nosná část ocelových van, určených k zachycení unikající vody. Nádrž na vodu a počítačový stůl s elektrickým rozváděčem stojí bokem respektive v čele lavice samotné.

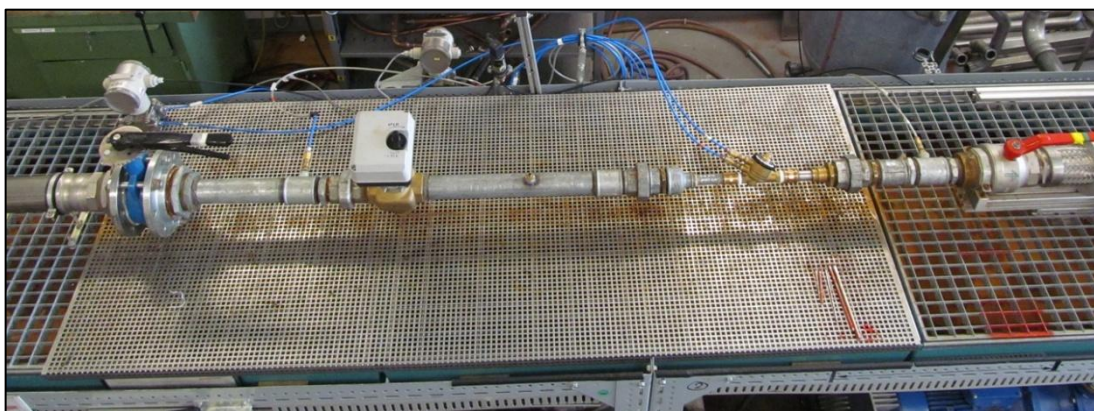
Dle samotné podstaty jednotlivých prvků, ze kterých se testovací trať skládá, ji lze rozdělit na tři samostatné části. Mechanickou, elektrickou a softwarovou část.



Obrázek 8: Blokové schéma testovací trati

3.1 Mechanická část

Do mechanické části patří veškeré mechanické i hydraulické prvky. Jedná se o celý vodní okruh tvořený čerpadlem, nádrží na vodu, filtrem nečistot, regulačním ventilem, kulovými kohouty, trubkami, veškerým spojovacím materiálem, nosným rámem atd.



Obrázek 9: Testovací stůl pro zapojení vzorku.

3.2 Elektrická část

Do elektrické části spadají veškeré prvky, které se účastní elektrického přenosu, od hlavního vypínače na rozváděči, přes měřicí kartu, převodníky v průtokoměrech a tlakoměrech až po PC sloužící k základnímu ovládní zařízení a sběr dat.

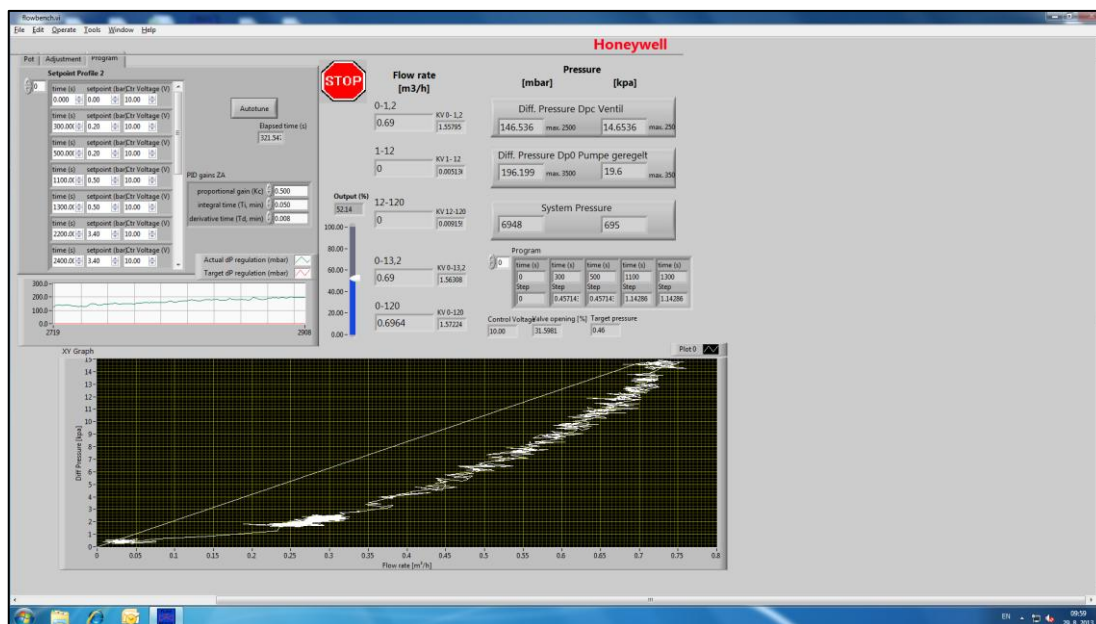


Obrázek 10: Rozváděč s měřicí elektronikou

V rozváděči je přítomno několik různých napájecích napětových úrovní. Frekvenční měnič čerpadla je napájen třífázovým rozvodem. Jedna z fází je vyvedena jako 230 V_{AC} přívod pro jednofázové spotřebiče. Jedním je 24 V_{DC} zdroj, určený pro napájení měřicí techniky. Dalším zdrojem napětí je 24V_{AC} transformátor, určený pro napájení aktuátoru regulačního ventilu, případně přídatných ovládacích aktuátorů. Měřicí karta NI 6229 je připojena k vlastnímu zdroji elektrické energie s napětovou úrovní 9 V_{DC}.

3.3 Software

Jedná se o uživatelsky psaný software vytvořený v programu NI Labview, verze 8.6, vytvořený kolegy z Německa, odkud byla testovací trať v rámci transferu přivezena do Brna. Základní obrazovka pro komunikaci s uživatelem je na obrázku 11.



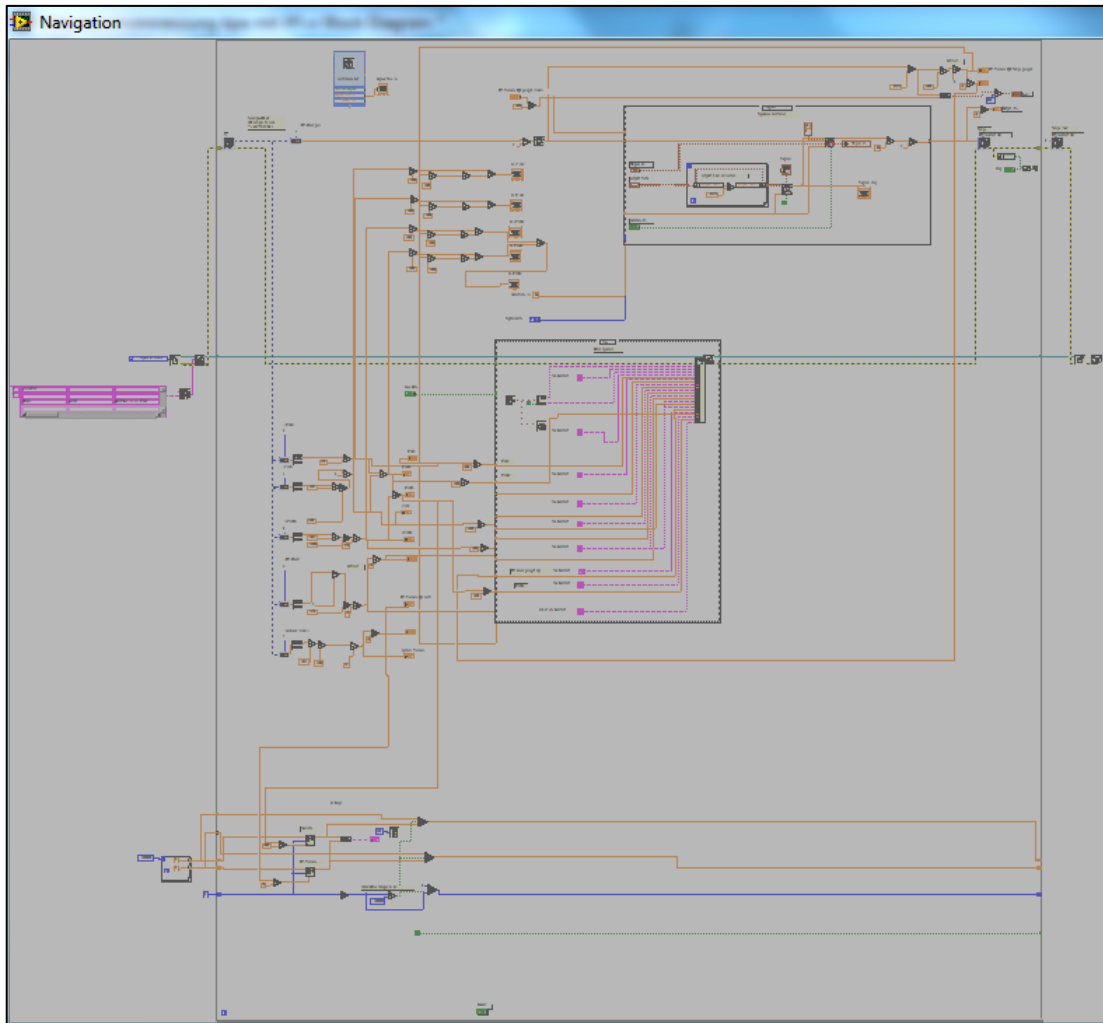
Obrázek 11: Obrazovka ovládacího programu testovací trati

Vlevo nahoře je umístěn „tab control“ prvek, umožňující tři různé způsoby řízení čerpadla a aktuátoru regulačního ventilu.

- První způsob („Pot“) je zcela manuální. Uživatel nastaví otáčky čerpadla (převedené na % výkonu) a řídicí napětí na aktuátoru (0 – 10 V) pomocí ovládacích prvků na libovolnou hodnotu.
- Druhý způsob („Adjustment“) umožňuje nastavit konstantní tlakovou ztrátu na svorkách diferenciálního tlakoměru P2, kterou pak program udržuje nezávisle na měnících se podmínkách průtoku.
- Třetí způsob („Program“) umožňuje nastavit tlakovou ztrátu na svorkách diferenciálního tlakoměru P₂ a hodnotu řídicího napětí na aktuátoru v uživatelem definovaných časových okamžicích. Takto je možné simulovat měnící se podmínky v hydraulickém okruhu a používá se zejména pro měření DPC a PICV ventilů (viz kapitola 1).

Vpravo nahoře jsou okénka s vyčítáním hodnot všech tří průtokoměrů, obou diferenciálních tlakoměrů a statického tlaku v systému. Ve spodní části obrazovky je umístěn graf se zobrazením průběhu naměřeného diferenciálního tlaku P₂ v závislosti na měřeném průtoku.

Program obsahuje základní možnosti ukládání naměřených dat do *.txt souboru.



Obrázek 12: Náhled zdrojového kódu ovládacího softwaru

Samotný zdrojový kód se skládá ze *While – do* smyčky do které vstupují inicializační data pro měřicí kartu. *Flat sequence* struktura (na obrázku 12 uprostřed) zprostředkovává formátování výstupního souboru. Realizace nového softwaru pro ovládání testovací trati je jedním z bodů této diplomové práce.

3.4 Technický přehled základních prvků zařízení


V této podkapitole se nachází souhrn základních parametrů nejdůležitějších prvků, ze kterých se testovací trať skládá.

3.4.1 Čerpadlo, elektrický motor a frekvenční měnič.

Čerpadlo je zařízení, které dodává kapalině v potrubí kinetickou a potenciální energii. Elektrický motor je zařízení sloužící k přeměně elektrické energie na energii mechanickou. Bližší informace o motoru ATB 132S lze nalézt v [24].

Frekvenční měnič slouží k přeměně elektrického proudu určitého kmitočtu na elektrický proud o kmitočtu jiném.


Tabulka 1: Technické údaje motoru

	výrobce	ATB
	model	132 S
	příkon	7,5 kW
	otáčky	3470 min ⁻¹

Celá sestava je připevněna k lavici pomocí čtyř šroubů. Styčné plochy s lavicí jsou podloženy pryžovými pásy, z důvodu zmírnění přenosu vibrací na pracovní stůl. Ze stejného důvodu je na vstupu čerpadla použit pryžový tlumič rázů.

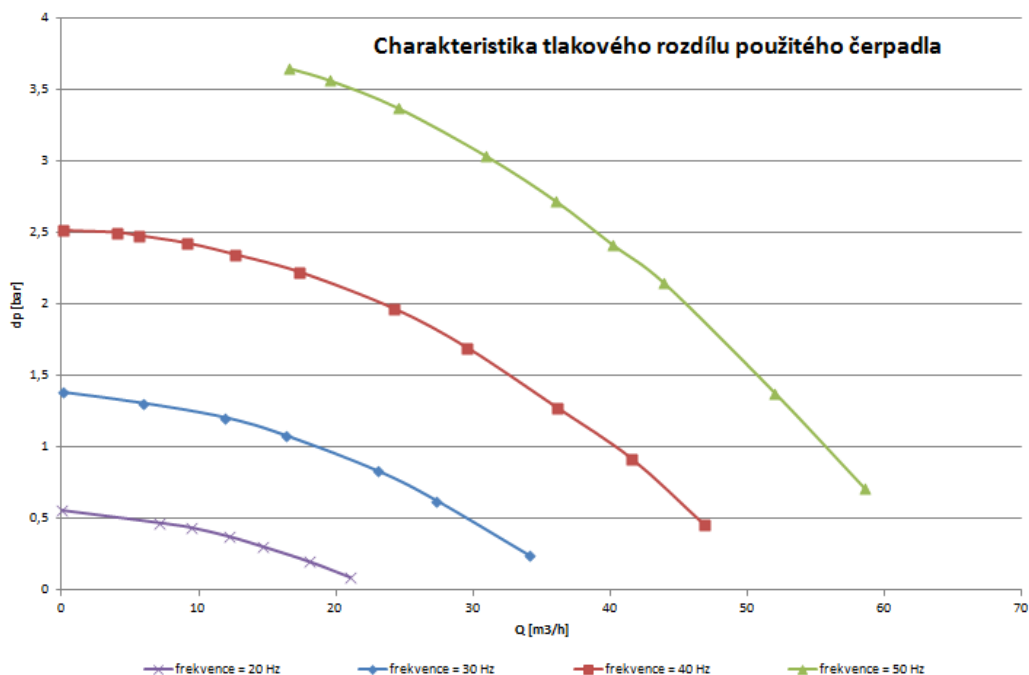
Sestava čerpadlo, elektrický motor a frekvenční měnič je patrně sestavena přímo na objednávku. Čerpadlo není označeno štítkem, takže k němu nelze dohledat žádnou dokumentaci. Výrobce frekvenčního měniče sice vyznačen je, ale dokumentace ke konkrétnímu typu není dostupná. Na internetu lze vyhledat dokumentaci k velmi podobnému typu, nicméně uváděný popis svorkovnice nesouhlasí.

Tabulka 2: Technické údaje frekvenčního měniče

	výrobce	Lowara
	model	Hydrovar
	řídící signál	4 – 20 mA
	max. frekvence	70 Hz

Díky frekvenčnímu měniči je možné plynule regulovat výkon elektrického motoru a tím i čerpadla. Hodnota minimální frekvence měniče je nastavena na 10 Hz. V následující práci jsem se rozhodl toto nastavení akceptovat a neměnit jej.

Z důvodu doplnění dat o čerpadlu, zejména jeho maximálních možnostech, byla změřena charakteristika tlakového rozdílu, což je závislost poskytovaného tlakového rozdílu na objemovém průtoku V , pro různé frekvence otáček.



Obrázek 13: charakteristika použitého čerpadla


Křivku pro frekvenci 50 Hz nebylo možné měřit od počátku, jelikož hodnota diferenciálního tlaku pro průtok nižší než 15 m³/h překračovala horní hranici rozsahu tlakoměrů.

3.4.2 Průtokoměry

Testovací trať obsahuje celkem tři průtokoměry. Všechny jsou stejného typu, využívají principu elektromagnetické indukce, a liší se pouze v průřezu a měřicím rozsahu. Na průtokoměr označený Q06 s nejnižším rozsahem 0 – 1,2 m³/h navazuje průtokoměr Q25 s rozsahem 1,2 – 12 m³/h a kaskáda je zakončena Q65 o rozsahu 12 – 120 m³/h. Uvedené rozsahy jsou pro dané průtokoměry zároveň maximální možné.

Dle charakteristiky tlakového rozdílu na obrázku 13 je maximální průtok, kterého lze v testovací dosáhnout 60 m³/h, takže polovina měřicího rozsahu Q65 zůstává nevyužita.

Tabulka 3: Technické údaje průtokoměrů


	výrobce	ABB
	model	DX43W
	typ	elektromagnetický
	měřicí rozsah	viz. text
	výstupní signál	4 – 20 mA

Více informací o parametrech průtokoměrů lze nalézt v [8] a [14]

3.4.3 Převodníky diferenciálního tlaku

V současné době jsou na testovací trati umístěny dva diferenciální tlakoměry. Jeden od společnosti YAMATAKE, druhý od společnosti Wika. Bližším zkoumáním, se podařilo zjistit, že jsou oba prakticky totožné, protože převodník Wika je licenčně koupený od společnosti YAMATAKE. V rámci technických údajů tedy bude stačit pouze jedna tabulka.

Tabulka 4: Technické údaje diferenciálních tlakoměrů


	výrobce	YAMATAKE
	model	STD930-E1P
	typ	piezorez.
	měřicí rozsah	0 – 3,5 bar
	výstupní signál	4 – 20 mA

Více informací o tlakoměru YAMATAKE lze nalézt v [11]

3.4.4 Statický tlakoměr

Slouží k měření statického tlaku v hydraulickém systému. Před podernizací vykazoval offset cca 1 bar, což bylo dáno chybou převodního rezistoru.

Tabulka 5: Technické údaje statického tlakoměru

	výrobce	VEGA
	model	BAR14
	typ	kapacitní
	měřicí rozsah	0 – 6 bar
	Výstupní signál	4 – 20 mA

Více informací o tlakoměru VEGA BAR 14 lze nalézt v [12]

3.4.5 Měřicí karta


Karta umožňuje zapojení analogových I/O jako proti zemi (single ended), tak diferenciálně. Při diferenciálním zapojení je však dostupný počet I/O poloviční.

Pro zamýšlenou přestavbu má karta několik závažných nedostatků.

- nemá proudové analogové výstupy 4 – 20 mA.
- nedostatečný počet analogových výstupů
- kompatibilní pouze s TTL logikou (maximální napětí $\pm 10V$)

Tato měřicí karta bude jediným komponentem, který bude zcela nahrazen. Detailní popis měřicí karty je uveden v [10]


Tabulka 6: Technické údaje měřicí karty

	výrobce	NI
	typ	USB-6229
	počet AI	32 (SE)
	počet AO	4
	počet DI / DO	48

3.4.6 Aktuátor k regulačnímu ventilu

Aktuátor slouží k ovládání níže uvedeného regulačního ventilu LDM RV102. Jeho výhodou je možnost manuálního ovládání, což se u některých měření opravdu využívá.

Tabulka 7: Technické údaje aktuátoru


	výrobce	Honeywell
	typ	ML 7420
	napájecí napětí	24 V _{AC}
	ovládací signál	0 – 10 V _{DC}
	zdvih	20 mm

Detailnější informace jsou k nalezení v [9]

3.4.7 Regulační ventil

Regulační ventil slouží k simulaci hydraulického odporu potrubních instalací. Využívá se zejména při měření DPC a PICV ventilů. Na jeho přesnosti spolu s jemností kroku aktuátoru závisí kvalita výsledků.

Tabulka 8: Technické údaje regulačního ventilu

	Výrobce	LDM
	Typ	RV 102
	k_{vs}	40
	zdvih	16 mm

4 DEFINICE NEVYHOVUJÍCÍCH OBLASTÍ

Před zásadní úpravou jakéhokoliv zařízení je vhodné popsat výchozí situaci a jasně definovat, proč je tento stav nadále nevyhovující. V případě testovací trati je těchto důvodů hned několik a jejich výčet se vyskytuje v níže uvedených odstavcích.

4.1 Manuální nastavení měřicího okruhu

Operátor, který s měřicím zařízením pracuje, musí před samotným měřením manuálně provést hned několik úkonů.

4.1.1 Dopouštění vody do nádrže

Jelikož okruh není vybaven recyklací, která by vracela vodu ze záchytných van zpátky do nádrže, je třeba hladinu vody v nádrži sledovat a pravidelně dopouštět. Výchozí stav je v podobě natažení hadice, povolení patřičných kulových kohoutů a dopuštění patřičného množství vody.

4.1.2 Nastavení statického tlaku

Před každým měřením je potřeba nastavit žádaný statický tlak v okruhu. To se děje pomocí vzduchu z tlakového okruhu 6 – 7 bar, který je nutno manuálně napustit do tlakové nádoby na požadovanou hodnotu statického tlaku. Obsluha musí pokles tlaku (např. z důvodu drobné netěsnosti v okruhu) hlídat a včas reagovat na nežádoucí změny.

4.1.3 Volba průtokoměru

Vzhledem k tomu, že kulové kohouty určující tok vody v okruhu (včetně výběru průtokoměru) jsou manuálně ovládané, je na operátorovi zařízení, aby před každým měřením trať manuálně nastavil. Tento postup má řadu nevýhod:

- nemožnost změřit kontinuální charakteristiku ventilu zasahující do rozsahu více než jednoho průtokoměru.
- nemožnost plně automatického měření s možností automatické volby průtokoměru za běhu programu

- fyzické nároky na operátora

4.1.4 Nevhodně provedený sběr dat

Pro sběr dat a ovládání frekvenčního měniče čerpadla je použita karta NI-USB6229, která má I/O uzpůsobené pouze pro TTL logiku, a neposkytuje žádné proudové vstupy/výstupy. Vzhledem k tomu, že výstupním signálem použitých tlakoměrů, průtokoměrů i frekvenčního měniče je proudová smyčka 4-20 mA, je nutné čtený signál nejprve převést na napěťovou úroveň. Na výstupní svorky měřicích přístrojů jsou připojeny rezistory o hodnotě 560Ω a měřený úbytek napětí na rezistorech je následně přiveden na analogové vstupy karty 6229.

Bezpochyby se jedná o funkční a v praxi běžně používané řešení, nicméně v případě testovací trati není nejvhodnější. Maximální povolené napětí vstupních svorek měřicí karty, 11 V, je překročeno již při hodnotě proudu 19,64 mA. Setrvání kteréhokoliv měřicího přístroje na horní hranici jeho rozsahu vede k chybě měřicí karty, kterou lze odstranit pouze jejím odpojením od zdroje elektrické energie. Dále toto řešení postrádá kompenzaci změny odporu rezistorů při změně teploty v rozváděči.

Robustnějším řešením by bylo použití převodníků 4-20mA / 0–10V (například SL-UI-UI z portfolia společnosti Phoenix contacts), které výše zmíněné nedostatky eliminují, nicméně je třeba si uvědomit, že každý převodník je zatížen určitou chybou.

Preferovaným řešením je vybavit testovací trať takovým měřicím systémem, který proudové I/O obsahuje a umožní přímé připojení měřicích zařízení.

4.1.5 Nedostatečná přesnost regulačního ventilu

Pro simulaci hydraulického odporu vedení a otopných prvků je na testovací trati umístěn regulační ventil LDM RV102 s elektrickým aktuátorem Honeywell ML7420. Ventil samotný má k_{vs} hodnotu 40. Pro měřené exponáty s podobnou k_{vs} hodnotou může být simulace hydraulického odporu a jeho změn dostatečně věrná.

Pro menší ventily, například DN15 s k_{vs} hodnotou 2,5 však dochází už po prvních krocích aktuátoru k saturaci průtoku na měřeném prvku. Pro taková měření je tedy jeho použití naprosto nevhodné.

Další nevýhodou je to, že regulační ventil s aktuátorem nepatří mezi pevné prvky testovací trati, nýbrž jsou zapojovány do obvodu dle potřeby, což zvyšuje čas přípravy měřicího okruhu a vnáší potenciální místa netěsností.

4.1.6 Chybějící ochrana čerpadla proti nedostatku vody

Pro autonomní běh zařízení bez dozoru obsluhy je důležité, aby zařízení v rámci možností chránilo v případě poruchy nejen své okolí, ale i samo sebe. Materiální ztráty v případě, že kdy dojde k úniku vody z okruhu a motor čerpadla se chodem bez zátěže poškodí, mohou být velmi vysoké. Zdaleka přitom nejde jen o náklady na opravu / pořízení nového čerpadla, nýbrž také o zpoždění projektů, jejichž další postup je na laboratorních měřeních závislý.

4.1.7 Zlepšení výstupního formátu dat

V současné podobě je výstup dat řešen uložením všech, tabelátorem oddělených, naměřených hodnot do *.txt souboru. Data se vyčítají každých 0,5s bez ohledu na aktuální stav měření. Při jedenácti zaznamenávaných hodnotách (datum, čas, 3 průtokoměry, 3 tlakoměry, dvě sumy průtoků, poloha aktuátoru) na jeden řádek, se za hodinu běhu programu zaznamená 79 200 hodnot. Výsledné soubory dosahují velikostí v řádu megabytů a často se musí data zpětně promazávat a filtrovat.

Použití tečky pro oddělení desetinných míst přináší při práci s pořízenými daty administrativní úkony navíc.

4.1.8 Nedostatek diferenciálních tlakoměrů

Testovací trať obsahuje dva diferenciální tlakoměry. *P2*, který slouží zároveň jako řídicí signál pro ovládání čerpadla, a *P3*, který se používá k měření tlakové ztráty na vzorku samotném.

Pro určitá měření však dva diferenciální tlakoměry nestačí. Pokud je potřeba regulovat celkový tlakový spád v zapojení a zároveň měřit tlakovou ztrátu jak na měřeném vzorku, tak na regulačním ventilu simulujícím hydraulický odpor, pak jsou dva diferenciální tlakoměry málo. V určitých případech se dá tato nevýhoda odstranit

vhodným zapojením a výpočtem třetího tlaku z naměřených hodnot obou tlakoměrů, nicméně ne vždy je tato metoda dostatečně přesná.

4.1.9 Chybějící měření teploty vody

Nádrž na vodu zásobující čerpadlo má objem 500 l. Probíhá-li měření se zaznamenaným průtokem nad 20 m³/h, dokáže způsobené tření dokáže ohřát vodu v okruhu až na 45°C. Takové výkyvy teploty média již nejsou zanedbatelné, takže by teplota měla být jedním z měřených údajů.

4.1.10 Zlepšení přesnosti měřených dat

Hardwarová část problému je již popsána v odstavci 3.1.2. Na ni ovšem navazuje i softwarová část v podobě implementace určité metody filtrování dat, které by ztlumilo rušení analogových měřících signálů.

4.1.11 Přepřeprogramování uživatelského rozhraní

Ovládací program nabízí velmi omezené možnosti interakce mezi měřícím zařízením a uživatelem. Celé uživatelské rozhraní je značně nepřístupné a neintuitivní. Při psaní nového softwaru je potřeba ovládání zjednodušit a zpřístupnit uživatelům.

5 ŘEŠENÍ DEFINOVANÝCH NEDOSTATKŮ

V minulé kapitole se definovaly nedostatky zařízení, které je by bylo dobré odstranit. Tato kapitola slouží k nástinu řešení, případně s přímou definicí nových komponentů tak, aby byla většina problémů eliminována.

V tomto případě je nutno začít od konce. Nejprve se musí definovat všechna dílčí řešení a analyzovat jejich hardwarovou náročnost, aby bylo možné navrhnout řídicí a měřicí systém vyhovující patřičným požadavkům.

5.1 Dopouštění vody do nádrže

U dopouštění vody do nádrže by se mělo dbát na dvě základní věci:

- 1) voda z okruhu by se nikdy neměla dostat zpět do vodovodního řádu
- 2) dopouštění vody musí být navrženo tak, aby v případě výpadku elektrické energie došlo k samočinnému zastavení přívodu.

První podmínku splní zařazení ventilu se zpětnou klapkou („backflow preventer“) do napájecího okruhu vodní cesty, druhou podmínku uspokojí solenoidový ventil s pružinou, zajišťující zavření ventilu v případě výpadku elektrické energie.

Dále je třeba rozhodnout o způsobu detekce hladiny v nádrži. Řešení navrhované na obrázku 13 využívá sestavy čtyř kapacitních senzorů DINEL GPLS-25 upevněných na stavoznak. Vnitřní dvojice senzorů ovládá samotné dopouštění vody, vnější dvojice senzorů slouží pro detekci havarijních stavů. Pokud hladina vody klesne pod úroveň spodního havarijního senzoru, dojde k okamžitému přerušení programu, vypnutí čerpadla a výpisu chybové hlášky o nedostatečné hladině vody. Na operátorovi zařízení pak bude, aby vyhodnotil důvody poklesu vody v systému, sjednal nápravu a restartoval měření.

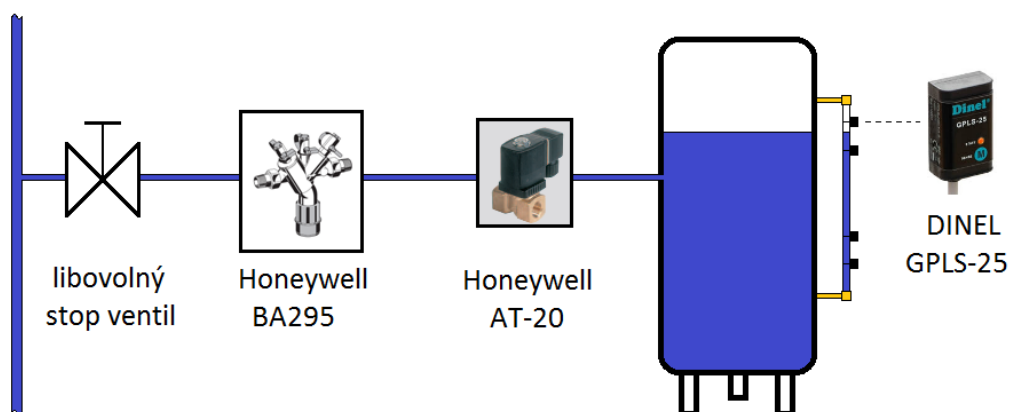
Procedura při překročení horního havarijního senzoru je prakticky totožná s postupem při nedostatku vody. Dojde k přerušení měření a výpisu chybového hlášení. Jelikož

system sám osobě nemá možnost hladinu vody snížit, akce ze strany operátora bude nezbytná. Navrhované řešení je naznačeno na obrázku 13.

5.1.1 Navrhované řešení pro dopouštění vody do nádrže

Zvolené řešení pomocí kapacitních senzorů připevněných na stavoznak bylo vybráno z následujících důvodů:

- nízká cena (náklady naznačeného řešení jsou cca 6 000 Kč)
- velká spolehlivost měření
- bez nutnosti zásahu do nádoby



Obrázek 14: Návrh řešení automatizovaného dopouštění vody

5.1.2 Alternativní řešení pro dopouštění vody do nádrže

Existuje několik možných variant měření hladiny vody v nádrži. Níže uvedená řešení však mají oproti finálnímu návrhu vždy určitou nevýhodu.

1) Kontinuální měření pomocí kapacitních tyčových senzorů:

Nespornou výhodou je analogový výstup umožňující měření s rozlišením řádově na centimetry. Nevýhodou je vyšší cena a nutnost zásahu do nádrže.

2) Kontinuální měření pomocí diferenčního tlakoměru:

Opět je zde výhodou analogový výstup. Proti použití diferenčního tlakoměru hovoří výrazně vyšší cena, nutnost zásahu do nádrže a možná netěsnost přípojů.

3) Limitní měření pomocí ultrazvukových senzorů

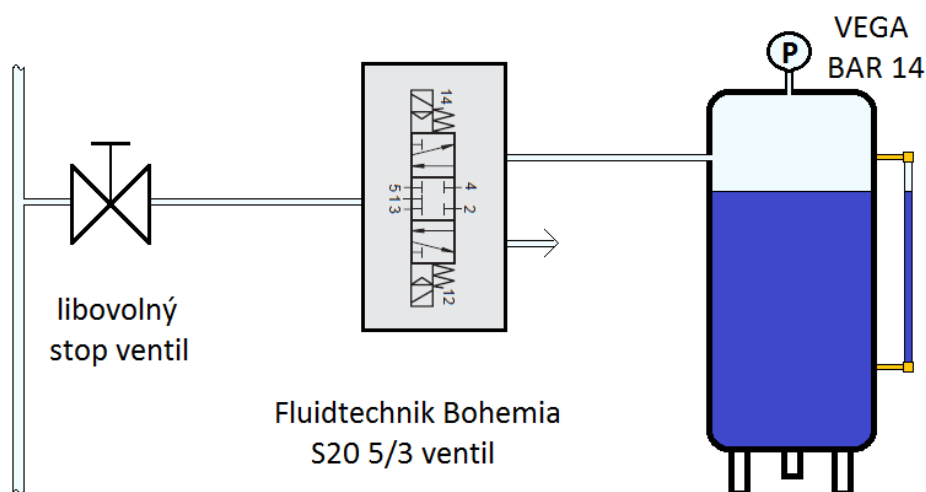
Aplikace bez zásahu do nádrže. Možné problémy s kovovými otřepy a nečistotami obsaženými ve vodě. Nižší spolehlivost oproti kapacitnímu měření.

5.2 Nastavení statického tlaku v systému

Vzhledem k velmi volnému požadavku na přesnost nastaveného statického tlaku ($\pm 10\%$ žádané hodnoty) je preferováno levnější, byť méně přesné řešení.

5.2.1 Navrhované řešení nastavení statického tlaku

Na vstup elektricky ovládaného 5/3 ventilu s vratnými pružinami je připojen tlakový rozvod vzduchu (6 – 7 bar). Aktivací horní cívky, dojde k přepouštění tlaku do nádoby až do požadované hodnoty měřené stávajícím tlakoměrem VEGA BAR 14. Po odpojení napětí se přívod uzavře pomocí vratné pružiny. Aktivací spodní cívky se tlak nahromaděný v nádobě upustí do atmosféry. Uzavření odvodu je opět realizováno vratnou pružinou.



Obrázek 15: Návrh řešení automatického nastavení statického tlaku v systému

Zvolené řešení je v podstatě nejjednodušší a zároveň nejlevnější možné. Potenciální nebezpečí spočívá v kondenzaci vody v ovládacím ventilu, což může výrazně zkrátit jeho životnost. Následným řešením je zařazení odlučovače mezi 5/3 ventil a nádrž.

5.2.2 Alternativní řešení pro nastavení statického tlaku

Jako alternativní řešení lze využít dvou samostatných solenoidových ventilů, jeden pro napouštění tlakového vzduchu do nádoby, druhý pro odfuk. Z důvodu nutnosti vyřezání dalšího otvoru do nádoby se však nejeví jako výhodnější.

Použití regulovatelného vzduchového kompresoru, který by sám nastavil hodnotu tlaku v nádobě dle předané hodnoty, je zase zbytečně drahým řešením.

5.3 Chybějící diferenciální tlakoměr

Po intenzivním hledání vhodného diferenciálního tlakoměru byl vybrán přístroj XMD od společnosti BD SENSORS. Jedná se o jediný přístroj nabízející přesnost 0,1% FS v cenové relaci do 20 000 Kč.

Tabulka 9: Technické údaje diferenciálního tlakoměru XMD

	výrobce	[-]	BD SENSORS
	model	[-]	XMD
	rozsah	[bar]	0 – 7
	napájení	[V _{DC}]	24
	výstupní signál	[mA]	4 - 20
	přesnost	[%FS]	0,1
	přetížitelnost	[bar]	13
	IP krytí	[-]	67

Tělo tlakoměru je vyrobeno z nerezové oceli a duralu, což zajišťuje dostatečnou antikorozi odolnost. Krytí IP 67 je zcela odpovídající prostředí, ve kterém bude tlakoměr umístěn. HART protokol a s ním spojená možnost digitálního vyčítání dat je další z výhod přístroje XMD.

5.4 Chybějící měření teploty vody

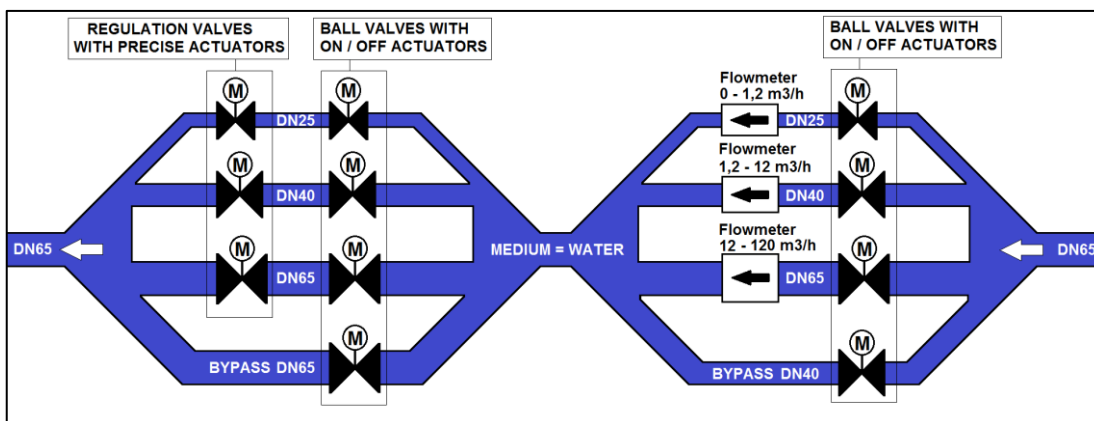
Vzhledem k panující teplotě vzduchu v laboratoři, která je stabilně udržována na hodnotě 23°C ± 1°C není potřeba měřit záporné teploty. Co se horní hranice týče, 50°C by jistě zcela postačovalo, nicméně pro případ budoucích změn v podobě přídavného ohřevu vody se maximum v podobě 100°C jeví jako vhodnější.

Jedno z možných řešení je použití odporového snímače teploty 232 s jímkou a převodníkem od společnosti ZPA Nová Paka. Jako čidlo teploty je použit odporový článek PT100.

Tato konfigurace umožňuje měření teploty v rozsahu 0 – 100°C, s proudovým výstupem 4 – 20 mA a komunikaci pomocí HART protokolu v ceně do 6 000 Kč. Jedná se o kompaktní řešení nabízející postačující přesnost za přijatelnou cenu.

5.5 Automatizace volby měřicího okruhu

Modifikace hydraulické části je nejpotřebnější a zároveň velmi nákladnou úpravou. Nejde pouze o nahrazení stávajících ručně ovládaných kulových kohoutů automatickými, ale také o zapracování regulačních ventilů s přesnými aktuátory do měřicího okruhu. Vizualizace možného stavu je na obrázku 16.



Obrázek 16: Detail navrhované úpravy

V současné podobě je v testovací trati implementováno rozvětvení pro průtokoměry a obtokovou větev (pravá strana obrázku 15). Rozdíl je pouze ve způsobu ovládní kulových kohoutů před průtokoměry. Začlenění regulačních ventilů s aktuátory a předřadnými kulovými kohouty do měřicího okruhu již bude složité a to jak z pohledu prostorového uspořádání tak ve smyslu výsledné regulace.

Pro ovládní kulových kohoutů byly vybrány pneumatické pohony. Elektrické pohony napájené napětím 230V_{AC} nebyly zvoleny z bezpečnostních důvodů, u pohonů na 24V_{AC} byly nevyhovující dlouhé časy přejezdu (cca 15 sekund). Pro detekci aktuální polohy je každý z kulových kohoutů vybaven indukčními koncovými spínači polohy.

Regulační ventily mají k_{vs} 10 (DN25), 25 (DN40) a 63 (DN65), díky čemuž je zajištěna dostatečná plynulost regulace pro potřebná měření. Statická charakteristika ventilů je ekviprocentní z důvodu jemnější regulace průtoku pro menší hodnoty zdvihu.

Aktuátory pro regulační ventily jsou napájené napětím $24V_{AC}$, řídicím signálem je proudová smyčka 4 – 20 mA. Regulační poměr 1:50. Předřadné kulové kohouty slouží k rychlé změně regulované větve bez nutnosti přejezdu aktuátoru, což by se mělo projevit na jejich vyšší životnosti.

5.5.1 Definice vybraných prvků pro modifikaci hydraulické části

Pro modifikaci hydraulické části byly představiteli firmy Honeywell vybrány ventily společnosti Fluidtechnik Bohemia. Hlavním kritériem byla celková cena kompletní zakázky, kvalita servisu a dobré zkušenosti z dosavadní spolupráce. Celková nabídka zahrnuje:

- 1) sestavu na úpravu vzduchu (regulátor tlaku, filtr, odlučovač, manometr)
- 2) rozvodnou desku a 10ks 5/2 ventilů S9 pro pohony kulových kohoutů
- 3) 2x kulový kohout FP3-STN-25 s pohonem AT251US10-B
- 4) 3x kulový kohout FP3-STN-40 s pohonem AT301US10-B
- 5) 3x kulový kohout FP3-STN-65 s pohonem AT401US10-B
- 6) 8x koncový spínač EPP2I-01 v indukčním boxu
- 7) DN25 regulační ventil ARI-STEVI s el. pohonem PREMIO-PLUS
- 8) DN40 regulační ventil ARI-STEVI s el. pohonem PREMIO-PLUS
- 9) DN65 regulační ventil ARI-STEVI s el. pohonem PREMIO-PLUS
- 10) Pneumatické hadice, fitinky a další spojovací materiál

5.6 Měřicí a řídicí systém

Jako měřicí a ovládací systém doposud sloužila karta NI-USB6229 od společnosti National Instruments. Nevýhody jejího použití jsou popsány v kapitole 3.1.2. Jelikož k ovládacímu PC patří i developerská licence na LabVIEW verze 2011, bylo

rozhodnuto o zachování kontinuity a zakoupení data acquisition systému od společnosti National Instruments.

Požadavkem byl dostatek vstupů a výstupů pro modifikace popsané v kapitole 4, nativní analogové proudové vstupy a výstupy, dostatečné rozlišení A/D převodníku (minimálně 12 bit) a modulární konstrukce, aby porucha jednoho komponentu nevyřadila z provozu celé zařízení.

Tyto požadavky splnil systém CompactDAQ. Základem je šasi se čtyřmi, případně osmi, pozicemi pro měřicí karty. Ty si vybírá uživatel z dostupné nabídky dle svých aktuálních potřeb. Volba měřicích karet pro testovací trať jednoznačně vychází z počtu potřebných vstupů a výstupů.

5.6.1 Analogové vstupy

Z úprav navržených v kapitole 4 vyplývá, že je potřeba vyčítat 11 proudových analogových signálů 4 - 20 mA. Jejich výčet je k dispozici v tabulce 10.

Tabulka 10: seznam analogových vstupů

ANALGOVÉ VSTUPY	
Q1 průtokoměr	4 – 20 mA
Q2 průtokoměr	4 – 20 mA
Q3 průtokoměr	4 – 20 mA
dP1 tlakoměr	4 – 20 mA
dP2 tlakoměr	4 – 20 mA
dP3 tlakoměr	4 – 20 mA
statický tlakoměr	4 – 20 mA
teplota vody	4 – 20 mA
feedback DN25 aktuátoru	4 – 20 mA
feedback DN40 aktuátoru	4 – 20 mA
feedback DN65 aktuátoru	4 – 20 mA

5.6.2 Digitální výstupy

Z úprav navržených v kapitole 4 vyplývá, že je potřeba ovládat 11 prvků. Ovládání bude realizováno přes relé signálem 24 V_{DC}. Jejich výčet je k dispozici v tabulce 11.

Tabulka 11: seznam digitálních výstupů

DIGITÁLNÍ VÝSTUPY	
Solenoidový ventil	24 V DC
5/3 ventil dopouštění	24 V DC
5/3 ventil odfuk	24 V DC
Kulový kohout Q1	24 V DC
Kulový kohout Q2	24 V DC
Kulový kohout Q3	24 V DC
Kulový kohout R1	24 V DC
Kulový kohout R2	24 V DC
Kulový kohout R3	24 V DC
Kulový kohout obtok R	24 V DC

5.6.3 Analogové výstupy

Z úprav navržených v kapitole 4 vyplývá, že je potřeba ovládat 4 prvky proudovým analogovým signálem 4 - 20 mA. Jejich výčet je k dispozici v tabulce 12.

Tabulka 12: seznam analogových výstupů

ANALGOVÉ VÝSTUPY	
frekvenční měnič čerpadla	4 – 20 mA
ovládání DN25 aktuátoru	4 – 20 mA
ovládání DN40 aktuátoru	4 – 20 mA
ovládání DN65 aktuátoru	4 – 20 mA

5.6.4 Digitální vstupy

Z úprav navržených v kapitole 4 vyplývá, že je potřeba sledovat 20 napěťových signálů 24 V_{DC}. Výčet sledovaných prvků je k dispozici v tabulce 12.

Tabulka 13: seznam digitálních vstupů

DIGITÁLNÍ VSTUPY	
limitní senzor hladiny 1	24 V _{DC}
limitní senzor hladiny 2	24 V _{DC}
limitní senzor hladiny 3	24 V _{DC}
limitní senzor hladiny 4	24 V _{DC}
Kulový kohout Q1 otevřen	24 V _{DC}
Kulový kohout Q2 otevřen	24 V _{DC}
Kulový kohout Q3 otevřen	24 V _{DC}
Kulový kohout obtok otevřen	24 V _{DC}
Kulový kohout R1 otevřen	24 V _{DC}
Kulový kohout R2 otevřen	24 V _{DC}
Kulový kohout R3 otevřen	24 V _{DC}
Kulový kohout obtok otevřen	24 V _{DC}

5.6.5 Definice prvků měřícího systému

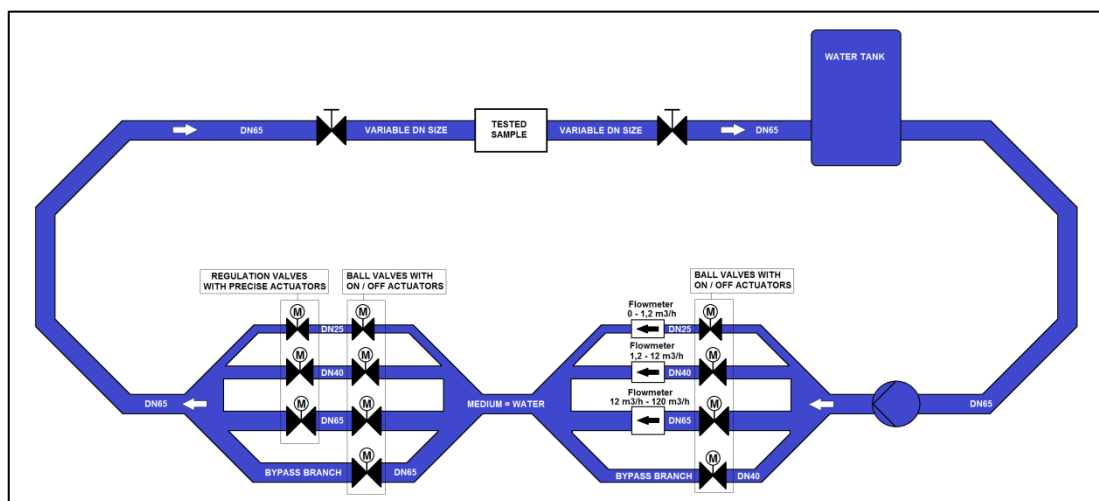
Jelikož je cena komponent podstatným kritériem výběru, byl z řady CompactDAQ zvolen nejlevnější rack pro osm měřících karet s komunikací po USB kabelu. Z výše uvedených počtů jednotlivých vstupů a výstupů pak vyplynuly potřebné měřící karty.

- 1) cDAQ-9187, CompactDAQ šasi (8 slotů, USB komunikace)
- 2) NI 9476, 32 kanálová karta digitálních výstupů
- 3) NI 9425, 32 kanálová karta digitálních vstupů
- 4) NI 9265, 4 kanálová karta proudových analogových výstupů, 16 bit
- 5) NI 9208, 16 kanálová karta proudových analogových vstupů, 24 bit
- 6) kabely, konektory, příslušenství

Bližší info ke všem uvedeným komponentům je možné nalézt na www stránkách <http://www.ni.com>.

5.7 Softwarové změny

Mezi konkrétní cíle patří interaktivní vizualizace měřící trati s možností ovládání prvků pomocí kurzoru myši. Návrh grafiky je zachycen na obrázku 16.



Obrázek 17: Možná podoba interaktivní grafické vizualizace měřící trati

Další cíle pro psaní softwaru jsou:

- zcela nový uživatelský interface s intuitivním ovládáním
- revize ukládání dat z měření - zachování jen smysluplných hodnot v ideálním případě určených uživatelem.
- filtrování naměřených dat – potlačení šumu
- implementace uživatelských návrhů vznikajících v průběhu programování

6 REALIZACE

Samotná fáze realizace projektu začala v březnu roku 2014, kdy se na přestavbu schválily potřebné finance. Jelikož původní poptávky na hlavní komponenty pro přestavbu byly již po době platnosti, bylo potřeba je aktualizovat a případně doplnit o komponenty, které byly v prvním kole poptávek opomenuty.

Pro lepší přehlednost je realizace projektu rozdělena na čtyři samostatné podkapitoly, které se věnují jinému úseku provedených prací. Z navržených změn nebyl schválen nákup třetího diferenciálního tlakoměru a realizace automatického dopouštění vody do tlakové nádoby.

6.1 Mechanické úpravy

Nejpodstatnější mechanickou úpravou bylo bezesporu kompletně nové potrubí pro průtokoměry a kulové a regulační ventily, které nahradilo dosavadní rozvody s manuálně ovládanými kulovými kohouty.

Možnosti nového potrubí byly do značné míry ovlivněny rozměry rámu testovací trati, který má šířku 0,92 a délku 4,05 metrů, přičemž 1,2 metru délky zabírá samotné čerpadlo a jeho přípojně potrubí.

S přihlédnutím k celkové délce a váze sestavy ventilů bylo rozhodnuto o rozdělení potrubí na dvě samostatné části. Přední část (po směru proudění vody) obsahující kulové kohouty a průtokoměry a část zadní s kulovými a regulačními ventily. Obě části jsou zakončeny přírubou o světlosti DN65. V ustalovací části přívodu k regulačním ventilům je umístěn návarek pro přípravu tlakového odběrného bodu.

Dále bylo potřeba dodržet minimální ustalovací délku potrubí před a za průtokoměry. V manuálu k průtokoměrům [8], [14] je jako minimální ustalovací délka potrubí uvedena 3 x DN na vstupu průtokoměru a 2 x DN na výstupu průtokoměru (platí pro médium voda / slabě znečištěná voda), nicméně cílem při realizaci potrubí bylo dosáhnout aspoň dvojnásobku minimálních hodnot udávaných výrobcem. Ustalovací potrubí pro kulové a regulační ventily nebylo potřeba a délka jejich sestavy měla být co nejkratší v rámci technických možností sváření a následné instalace ventilů do okruhu.

Vzhledem k tomu, že montáž použitých bezpřírubových průtokoměrů do okruhu a jejich přesné vystředění do profilu potrubí je časově i fyzicky velmi náročný úkon, byl do specifikací přidán i požadavek na svěrné příruby s vodícími drážkami pro snadnější instalaci průtokoměrů do okruhu. V neposlední řadě pak muselo být potrubí navrženo v souladu se zakoupenými pneumatickými a regulačními ventily.

Změnou oproti původnímu návrhu bylo nahrazení obtokové větve pro průtokoměry slepou větví světlosti DN15 zakončenou převlečnou maticí, která umožňuje případnou budoucí montáž průtokoměru pro měření nejmenších průtoků a k němu příslušejícího kulového kohoutu.

Výchozí specifikace pro nacenění potrubí vypadala následovně:

materiál potrubí:	nerezová ocel
maximální délka sestavy:	2,5 metru
maximální šířka sestavy:	0,8 metru
ustalovací vzdálenost:	6 x DN před a 4 x DN za průtokoměry
upevnění průtokoměrů:	příruby s vodícími drážkami a těsnícím kroužkem
tlakový odběrný bod:	před regulačními ventily, závit 3/8“
dodatky:	
	slepá větev DN15 pro případnou instalaci dalšího průtokoměru
	uzpůsobení potrubí zakoupeným pneumatickým a regulačním ventilům

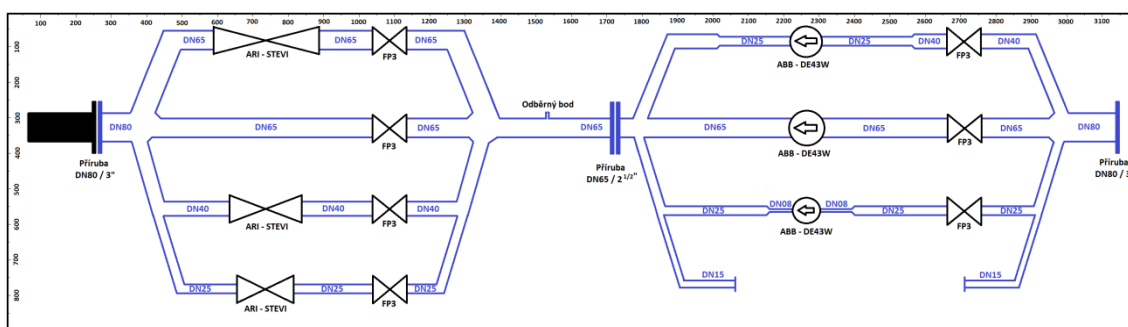
Realizace potrubí byla zadána společnosti AUTEK-Engineering s.r.o., která má s obráběním a svařováním nerezového materiálu dlouholeté zkušenosti a se kterou společnost Honeywell již několik let spolupracuje.

Z následné konzultace se zaměstnancem společnosti AUTEK-Engineering odpovědným za zakázkovou výrobu nerezového potrubí vyplynulo, že v specifikované potrubí není realizovatelné, a je potřeba buď zkrátit ustalovací délku pro průtokoměr DN65, nebo zvětšit maximální délku potrubí. Po zvážení obou možností bylo rozhodnuto o následujících změnách:

přesun čerpadla mimo rám testovací trati na samostatný podstavec

přesun vodního filtru ze sání čerpadla na jeho výstup
nárůst maximální délky potrubí z 2,5 na 3 metry
zvětšení ustalovacích délek průtokoměru DN65 na 9 x DN z obou stran

Výsledný situační náčrtek nového potrubí, který byl součástí zadávací specifikace je znázorněn na obrázku 17. Pozice prvků v potrubí je volena s ohledem na zamýšlenou funkci. Průtokoměry jsou obklopeny kulovými kohouty z důvodu snadného servisního zásahu bez nutnosti vypuštění vody z celé trati.



Obrázek 18: Situační náčrtek nového potrubí

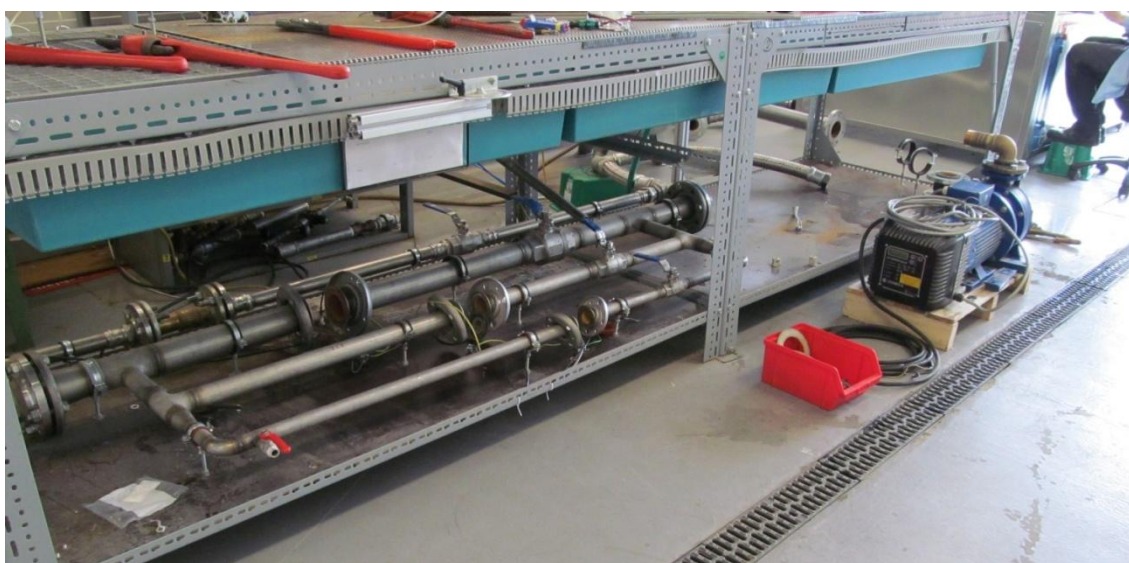
Nová pozice čerpadla vyplynula z praktické nemožnosti zasahovat do lisovaného potrubí výstupní části nádrže. Zachytným bodem byla příruba DN80, která původně tvořila vstupní část filtru. K přírubě se připojil kompenzátor následovaný čerpadlem. Výstup čerpadla je vyveden gumovou hadicí s opletem o světlosti DN50, na kterou navazuje filtr nečistot a přední část nerezového potrubí s průtokoměry. Při použití dostupných hliníkových profilů a PVC desky se podařilo celou změnu realizovat bez jakýchkoliv vícenákladů.

Průběh instalace nového potrubí je zachycen na fotkách níže.



Obrázek 19: Potrubí testovací trati v původním stavu

Původní plán použít materiál starého potrubí jako podklad pro potrubí nové nebyl naplněn z důvodu zachování kontinuity provozu trati během maximální možné doby.



Obrázek 20: Pohled po odmontování průtokoměrů a čerpadla

Při demontáži starého potrubí bylo zjištěno, že u průtokoměrů DN08 a DN25 bylo zcela ignorováno ustalovací potrubí. Průtokoměr DN08 byl napojen přímo do potrubí světlosti DN25 a průtokoměr DN25 byl napojen přímo do potrubí DN40. Zatímco přesnost menšího z průtokoměrů by touto skutečností neměla být výrazně snížena (vzhledem k malé světlosti tvoří ustalovací délku samotné tělo průtokoměru), vliv na přesnost průtokoměru DN25 jistě nebyl zanedbatelný. Ostrá hrana přechodu mezi tělem

průtokoměru a potrubím navíc způsobovala porušení profilu proudění a byla příčinou tvorby vířů.



Obrázek 21: Stav podkladové desky po odstranění potrubí

Podkladová deska byla v **překvapivě** dobrém stavu. Častý kontakt s vodou na ní nezanechal žádné trvalé následky. Po odšroubování záchytných ok potrubí a vyčištění nebylo její povrch potřeba nijak ošetřovat.



Obrázek 22: Testovací trať připravena na montáž nového potrubí

Vlevo na obrázku 21 je vidět příruba DN80, která tvoří záchytný bod pro montáž nového potrubí. Pozice příruby byl jediný fixní bod v zadávací specifikaci. Opačná strana je připojena přes gumovou hadici s opletem takže povoluje jistou míru flexibility.



Obrázek 23: Zkompletované potrubí včetně ventilů a průtokoměrů

Po kompletaci potrubí bylo nutné nastavit jeho sklon tak, aby byla přední část s průtokoměry v nejnižším bodě trati a každá z navazujících částí byla výš než část předchozí. Tím se dosáhne lepšího odvodu vzduchu, kdy jsou vzduchové bubliny hnány proudem vody směrem nahoru až do nádrže.

Vzhledem k výšce aktuátorů regulačních ventilů musela být z trati odstraněna jedna z van pro odchyt unikající vody. Její náhrada z nerezového plechu byla naceněna společně s novým potrubím, nicméně její nákup byl odložen. Díky zkrácení nutné délky pro upevnění vzorků již prostor pod odstraněnou vanou nepatří k montážní pracovní délce ohrožené případnými úniky vody.

Na obrázku 22 vpravo je možné si všimnout připojení čerpadla ke vstupní části větve s průtokoměry. Výhodou přesunu čerpadla mimo rám trati byl nejen zisk místa pro nové potrubí, ale také výrazné odrušení vibrací, které jsou neoddelitelnou součástí jeho provozu. V momentální konfiguraci, kdy je na vstupu čerpadla gumový kompenzátor a na výstupu čerpadla gumová hadice jsou vibrace pracovního stolu pocitově výrazně menší než předtím



Obrázek 24: Detail připojení čerpadla do okruhu

Po dokončení všech instalačních prací na hydraulickém okruhu byla provedena tlaková zkouška maximálním statickým tlakem, který je možno v testovací trati dosáhnout (7 bar) pro ověření těsnosti spojů.

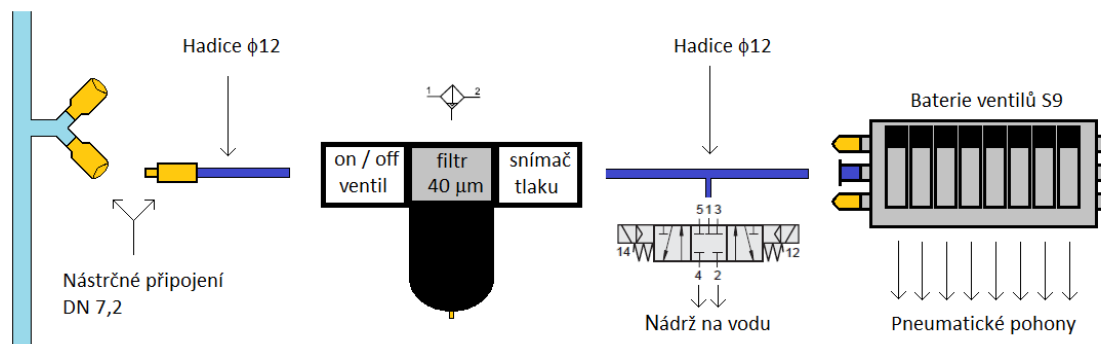
Po úspěšném odstranění všech drobných úniků byla montáž potrubí prohlášena za hotovou a mohlo se přistoupit k sestavení pneumatického okruhu.

6.2 Pneumatická část

Tlakový vzduch připojený k testovací trati slouží především jako zdroj energie pro pneumatické ventily. Druhou a neméně důležitou úlohou je ovládání statického tlaku v měřicím systému.

Na vstupu tlakového rozvodu je sestava pro úpravu vzduchu, která se skládá z kulového ventilu s funkcí odvětrání výstupu při zavření, filtru-odlučovače s filtrační vložkou 40 μm , analogového manometru a tlakového spínače. Odvětrávací funkce kulového ventilu zajišťuje bezpečné odtlakování systému za ventilem po odpojení od zdroje tlaku. Filtr-odlučovač je vybaven funkcí automatického odpouštění kondenzátu. Tlakový spínač se aktivuje v rozmezí 1 – 10 barů a slouží jako zdroj signálu pro ovládací program. Za

úpravou vzduchu se nachází baterie 5/2 ventilů pro ovládání pneumatických pohonů a 5/3 ventil pro nastavení statického tlaku. Návrh zapojení vstupního obvodu je zakreslen na obrázku 23.



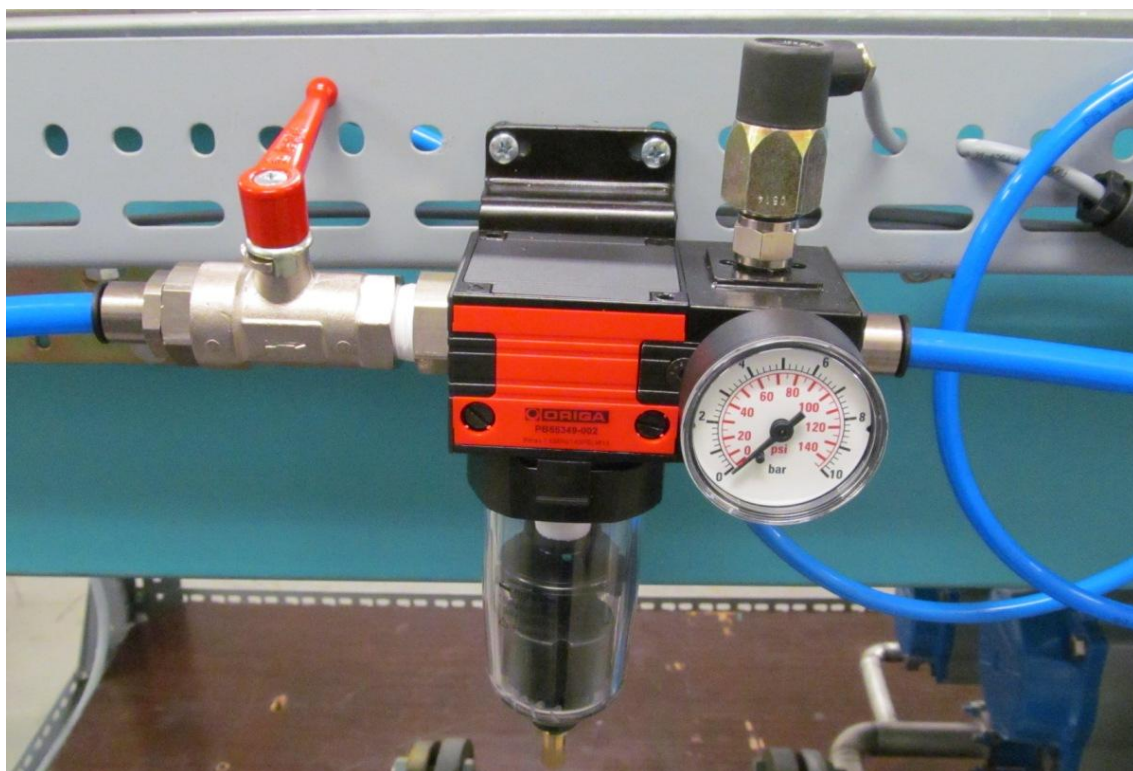
Obrázek 25: Návrh zapojení vstupního obvodu pneumatické části

Použité pneumatické pohony AIR TORQUE jsou jednozvrtné pohony vybavené pružinami pro automatický návrat ventilu do polohy „zavřeno“. Důvody použití ventilů s fixní klidovou polohou jsou dány hlavně požadavkem na spolehlivé samočinné uzavření spodní větve potrubí pro případ servisních zásahů či kalibrace průtokoměrů.

Samotné ovládání ventilů je provedeno dvojjzvrtně, tzn. trvalým tlakem na jednu nebo druhou stranu pístu. Pružiny v pístu se tak dostávají ke slovu pouze v případě, kdy je pneumatický systém odpojen od energie.

Vstupy pístů jsou vybaveny fittinkami se škrticí funkcí pro precizní vyladění otvíracích a zavíracích časů kulových kohoutů. Zavírání nesmí být příliš rychlé, aby nedošlo k vytváření tlakových rázů, ani příliš pomalé, aby nezdržovalo uživatele. Délka časového intervalu pro zavření kulových kohoutů byla určena na 4 sekundy a je sjednocena pro všechny ventily v testovací trati.

V mezních případech, například při současném otvírání všech sedmi ventilů s pneumatickými pohony, může nastat situace, kdy vstupní filtr nebude po určitou dobu schopen zajistit potřebný průtok a otvírací čas se prodlouží, nicméně při praktickém pokusu se tento předpoklad nepotvrdil.



Obrázek 26: Detail vstupní části rozvodu tlakového vzduchu

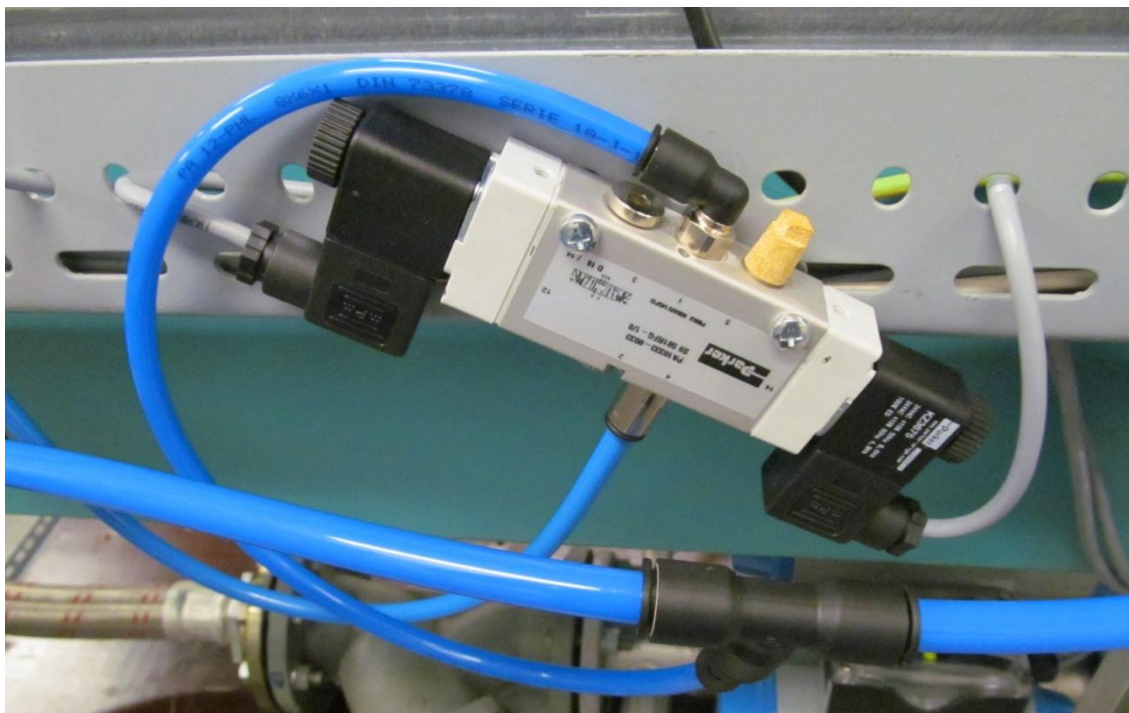
Na obrázku 25 vlevo se nachází kulový kohout sloužící k odstavení pneumatického systému. Aktuálně je v poloze zavřeno a jeho výstup je odvětrán do atmosféry, takže se systém vychází ve stavu nulové energie, což dokazuje i ručička manometru.

Nad manometrem se nachází tlakový spínač, který je v rozváděči připojen ke kontrolnímu relé. Přípoje jsou provedeny hadicí $\phi 12/10$ (vnitřní / vnější průměr v milimetrech).

Na obrázku 26 (níže) je vyfocen detail zapojení 5/3 ventilu sloužícímu k ovládání statického tlaku v systému. Přívod tlakového vzduchu na vstup ventilu je řešen fittinkou tvaru T, která je zapojena mezi úpravu vzduchu a baterii ovládacích 5/2 ventilů. V nulové poloze jsou všechny vstupy i výstupy ventilu blokovány.

Při sepnutí horní cívky dojde k propojení vstupu ventilu (brána 1) s výstupem ventilu (brána 4) a nádrž se začíná tlakovat.

Při sepnutí spodní cívky se propojí výstupní brána 4 se vstupní branou 5 opatřenou tlumičem hluku a dojde k odtlakování nádoby.



Obrázek 27: Detail zapojení 5/3 ventilu sloužícího k ovládání statického tlaku



Obrázek 28: detail připojení baterie 5/2 ventilů ovládajících pneumatické pohony

Detail baterie 5/2 ventilů ovládajících pneumatické pohony je uveden na obrázku 27. Jednotlivé ventily je možné ovládat manuálně aktivací červených aretačních západek. Pro automatické ovládání jsou k dispozici elektromagnetické ventily s cívkami na 24V_{AC}. Připojení k pneumatickým pohonům je realizováno hadicí $\phi 8$. Odfuky tlakového vzduchu z ventilů jsou vybaveny tlumiči hluku.

Po připojení všech hadic a kontrole netěsností se mohlo přejít na další část, kterou je elektrická instalace.

6.3 Elektrická část

Elektrická část testovací trati prošla naprosto kompletní proměnou, což je dáno hlavně kvalitativní změnou systému pro sběr dat. Nárůst počtu digitálních vstupů (z 0 na 15) a výstupů (z 0 na 10) sebou nese požadavky na celou řadu podpůrných prvků. Dále bylo potřeba zlepšit vyčítání analogových hodnot, jelikož v původní podobě přesahovaly rozkmity měřených tlaků za klidového stavu hodnotu 10 mbar. Definované požadavky na elektrickou část byly následující:

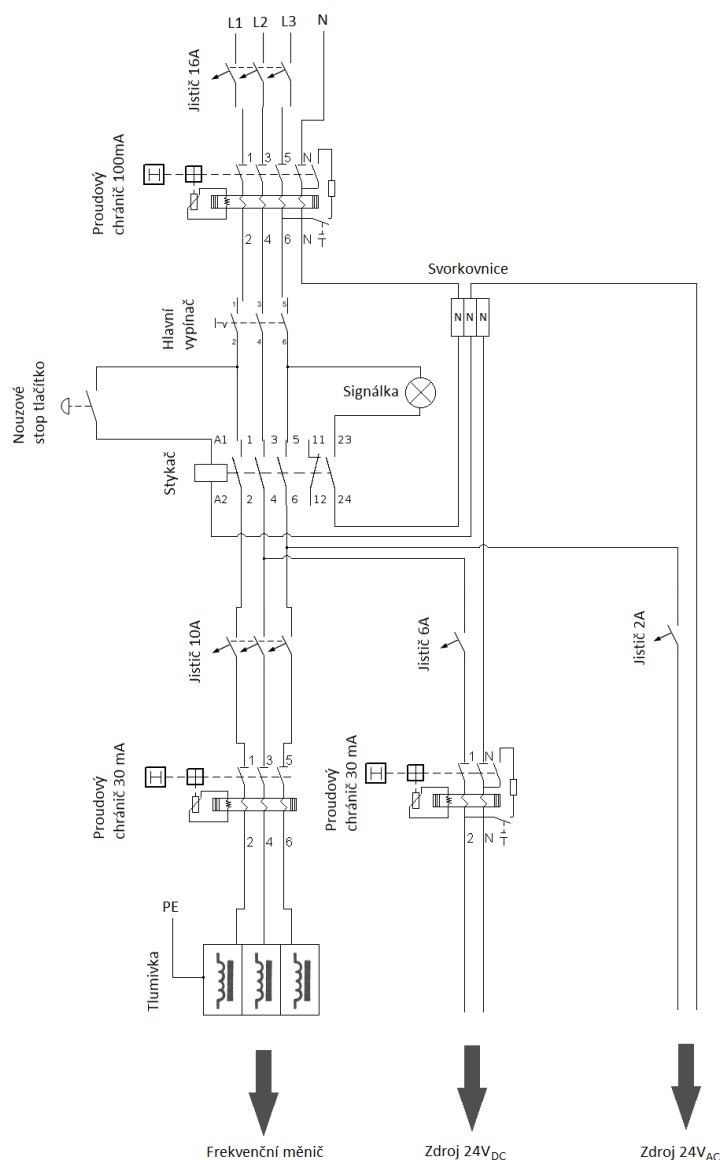
- zvýšení bezpečnosti zařízení
 - o integrace doplňkové ochrany proudovými chrániči
 - o prvky napájené bezpečným elektrickým napětím
- implementace systému pro sběr dat NI cDAQ-9178
- implementace ovládací části
- minimalizace rušení analogových signálů
 - o použití stíněných kabelů
 - o odrušení měřicí části
 - o řádné uzemnění přístrojů
- minimalizace rušení generovaného samotnou testovací tratí
 - o zařazení síťové tlumivky

Z výše zmíněných požadavků vyplynul celkový obraz elektrického zapojení. Frekvenční měnič čerpadla je napájen trojfázově, takže i přívod elektrické energie musel být trojfázový. K vypínání zařízení primárně slouží vačkový hlavní vypínač, nouzové vypnutí je řešeno kombinací nouzového tlačítka a stykače. K potlačení elektromagnetického rušení od frekvenčního měniče bylo potřeba použít stíněný přívodní kabel a na vstup měniče zapojit síťovou tlumivku.

Elektromagnetické ventily pro ovládání pneumatické části mají cívky na $24V_{AC}$, stejně jako aktuátory regulačních ventilů. Periferie systému pro sběr dat NI cDAQ-9178 a všechny senzory jsou napájeny napětím $24V_{DC}$. Rozváděč tedy musí obsahovat zdroje uvedených napětí o dostatečném výkonu.

Rozhraní mezi digitálními výstupy a napájecím napětím ventilů vytvořily relé s cívkou pro napětí $24V_{DC}$ a k rozvodu signálů bylo použito různých typů svorkovnic.

Vzhledem k tomu, že samotná přítomnost třífázového silového rozvodu v jednom rozváděči společně s měřicím systémem by šla proti požadavku na kvalitní odrušení analogových signálů, byly vytvořeny dva samostatné rozváděče. V jednom rozváděči je umístěna veškerá silová část jako jsou jističe, chrániče, stykač a síťová tlumivka, zatímco druhý rozváděč obsahuje pouze zdroje malého napětí a měřicí a ovládací elektroniku.



Obrázek 29: Schéma zapojení silového rozváděče

6.3.1 Silový rozváděč

Jedním ze způsobů zvýšení bezpečnosti zařízení je implementace proudových chráničů jako doplňkové ochrany před nebezpečným dotykem živých částí i jako vylepšení ochrany před nebezpečným dotykem neživých částí samočinným odpojením od zdroje.

Do silového rozváděče byla proto implementována kaskáda proudových chráničů s hodnotami rozdílových proudů zaručujících selektivitu jednotlivých větví. Na vstupu do rozváděče je použit proudový chránič s maximální hodnotou reziduálního proudu 100mA. Slouží jako vstupní prvek do elektrické části testovací trati a poskytuje také ochranu zařízení před vznikem požáru v důsledku zkratu v elektrické instalaci.

Za vstupním chráničem jsou zapojeny chrániče s maximálním reziduálním proudem 30 mA pro elektrický okruh čerpadla a okruh stejnosměrného zdroje.

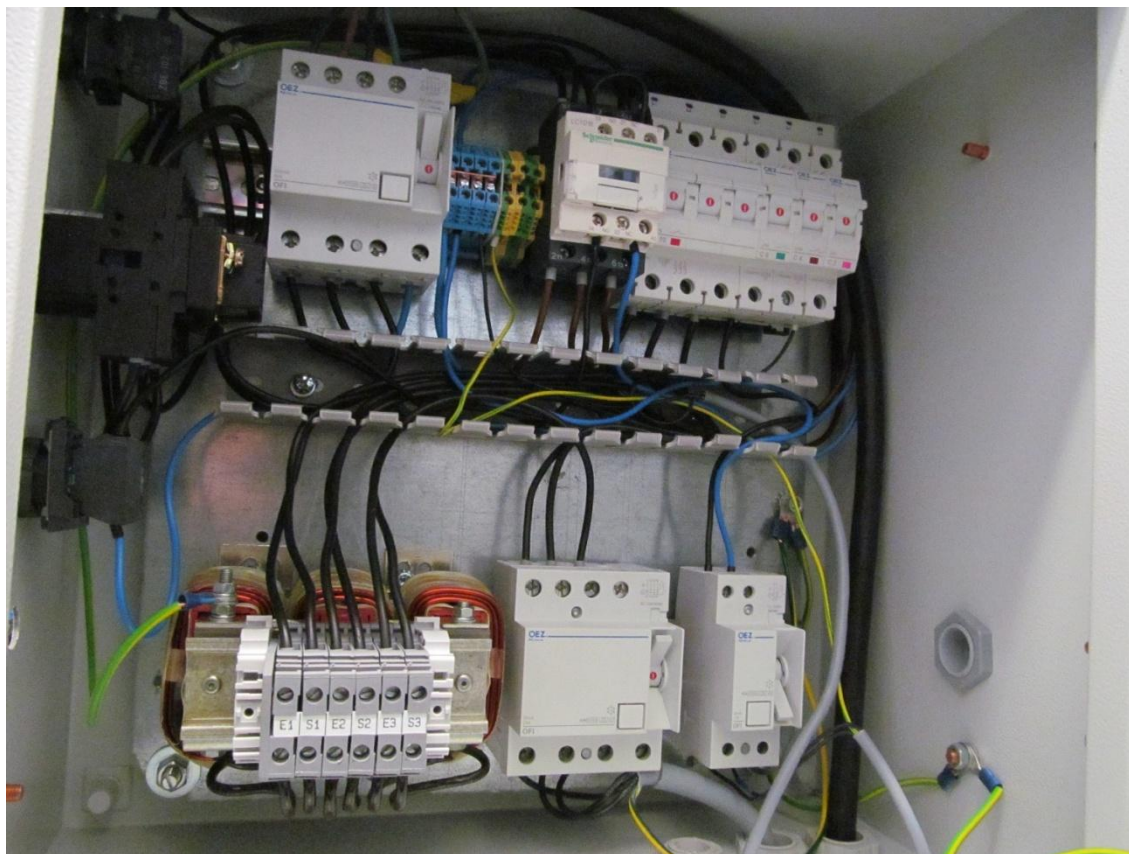
Všechny chrániče jsou typu A, reagující jak na sinusové střídavé reziduální proudy, tak na pulzující stejnosměrné reziduální proudy. Na přívodu k frekvenčnímu měničů čerpadla je použit proudový chránič typu AG se zpožděnou vypínací charakteristikou.

Bližší specifikace k použitým proudovým chráničům lze najít v [18].

Ochranu samočinným odpojením od zdroje zajišťuje sada jističů. Třífázový jistič určený pro připojení čerpadla má hodnotu nominálního proudu 10 A, hodnota nominálního proudu jističe pro zdroj 24 V_{DC} je 6 A a okruh bezpečnostního transformátoru je jištěn na 2 A. Všechny jističe mají charakteristiku C. Bližší informace lze dohledat v [19].

Použitá síťová tlumivka má hodnotu indukčnosti 2 mH a její nominální proud je 17A. V elektrickém obvodu je zapojena před proudovým chráničem, aby proudové špičky při zapnutí rozváděče nezpůsobovaly jeho neustálé vybavování.

Přívod elektrické je veden přes trojfázový vačkový hlavní spínač. Správnou funkci tlačítka nouzového vypnutí obstarává bezpečnostní stykač. Ovládání stykače je současně vedeno i přes nouzový vypínač v měřicím rozváděči, takže je zajištěno rychlé odstavení přívodu elektrické energie ze dvou míst.



Obrázek 30: Výsledná realizace silového rozváděče.

Výsledná realizace silového rozváděče je k nahlédnutí na obrázku 30. Oproti předchozímu textu je doplněna o zelenou signální kontrolku stavu zapnuto / vypnuto.

6.3.2 Měřicí a ovládací rozváděč

Výkonové parametry zdroje střídavého napětí 24 V_{AC} musí bezpečně pokrýt nároky patnácti cívek elektromagnetických ventilů a třech aktuátorů regulačních ventilů. Z proudového odběru $0,15\text{ A}$ na jeden ventil a $0,5\text{ A}$ na jeden aktuátor vyplynulo, že potřebný výkon transformátoru je cca 100 VA .

Stejnou měrou zdroj napětí 24 V_{DC} musí zabezpečit napájení měřících a ovládacích karet, cívek relé, měřících přístrojů a senzoru. Při maximálním proudovém odběru $0,5\text{ A}$ na přístroj, $0,05\text{ A}$ na relé a $0,15\text{ A}$ na senzor vyplynula potřeba zdroje schopného dodat do 24 V_{DC} okruhu proud překračující hodnotu 6 A .

Po pečlivém uvážení byl jako zdroj 24 V_{AC} vybrán bezpečnostní transformátor ACT 100 výrobce Block o výkonu 100 VA , (bližší parametry jsou dohledatelné na [21]) a

jako zdroj napětí 24 V_{DC} byl vybrán výrobek řady SITOP o nominální hodnotě proudu 10A od společnosti Siemens. Bližší informace k parametrům jsou k nalezení na [22].



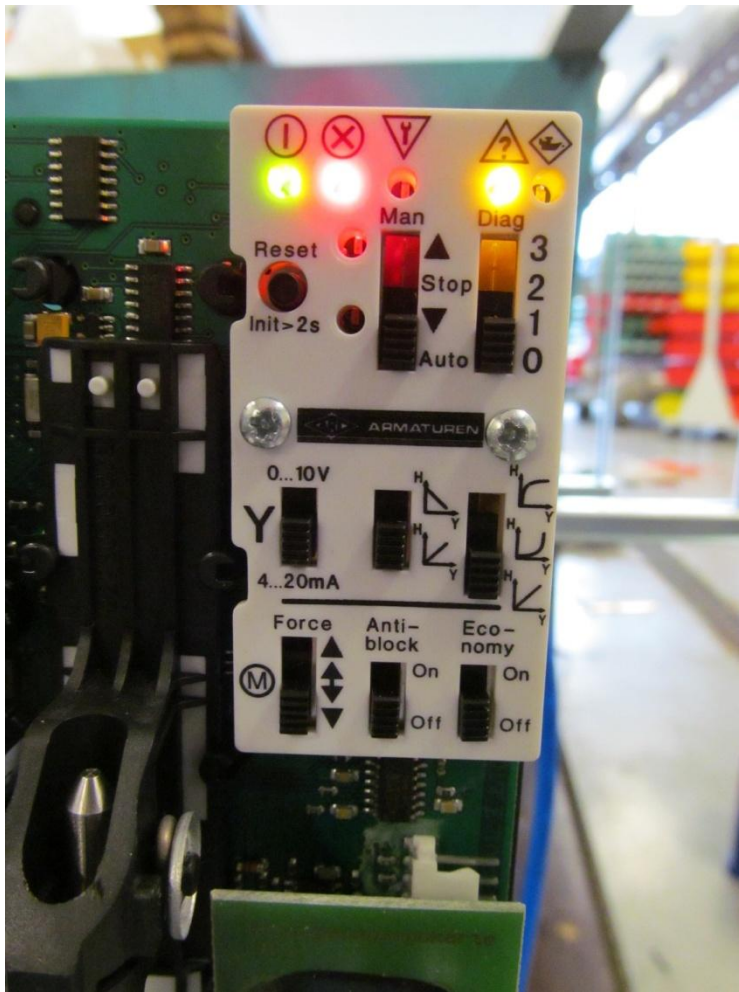
Obrázek 31: Výsledná realizace měřicího a ovládacího rozváděče.

Měřicí a ovládací rozváděč je kabelovými lištami rozdělen na 3 samostatná patra. Horní patro je vyhrazeno zdrojům elektrické energie, prostřední patro tvoří ovládací interface a spodní patro je vyhrazeno pro data acquisition systém.

Horní a spodní řadu není třeba nijak zvlášť popisovat, neboť obrázek je sám o sobě poměrně jednoznačný. Prostřední řadu tvoří zleva:

Svorky s vyvedeným napětím zdroje 24 V_{DC}, svorky pro hladinové snímače DINEL GPLS-25, relé pro detekci funkce zdrojů elektrické energie a ovládání elektromagnetických ventilů, svorky s vyvedeným napětím 24 V_{AC} a lištu zakončují zemní svorky.

Žádný ze zdrojů malého napětí není spojen se zemním potenciálem. Stínění kabelů analogových signálů je uzemněno na kostrách měřicích přístrojů, které k tomu mají vyhrazeny svorky. Ukázky zapojených vybraných prvků jsou na obrázcích níže.

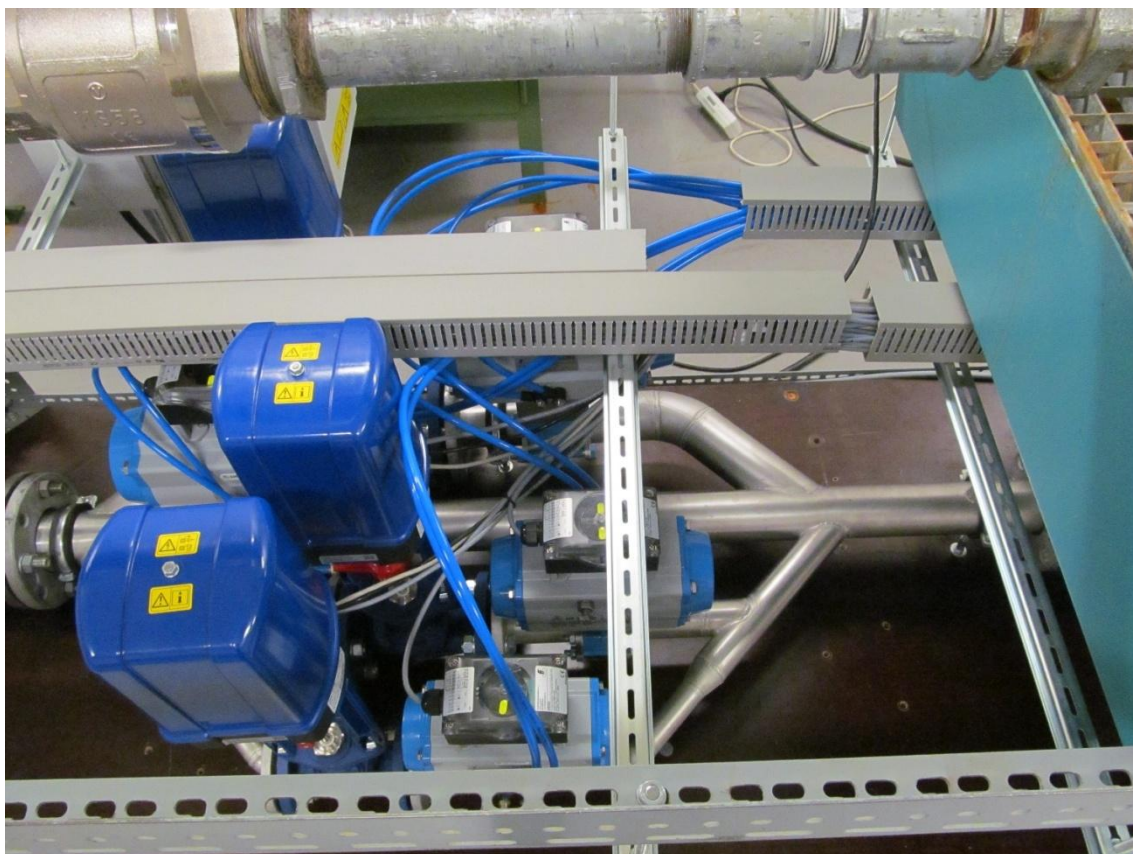


Obrázek 32: Možnosti nastavení aktuátoru regulačního ventilu

Aktuátor regulačního ventilu poskytuje celou řadu nastavení. Je možné jej ovládat manuálně, zaměňovat jeho koncové polohy, nastavovat charakteristiku regulace, nebo měnit typ ovládacího signálu.



Obrázek 33: Detekce hladiny nádrže přes stěnu stavoznaku.



Obrázek 34: Provedení strukturované kabeláže pomocí kabelových lišt.

6.4 Software

Ovládací program měřicí trati je vytvořen v programu NI Labview. Při jeho tvorbě byl kladen velký důraz na funkčnost a uživatelskou přívětivost.

Cílem při tvorbě uživatelského prostředí bylo vytvořit interaktivní grafické rozhraní, ve kterém se uživatel bude pohybovat intuitivně a které nebude přehlceno nesrozumitelnými ovládacími prvky, křiklavými barvami, případně jinými rušivými elementy. Cílem při psaní funkčního kódu bylo vytvoření robustních procedur a podprogramů, které minimalizují chybové stavy a budou pracovat autonomně.

Nevyhnutelnou úlohou bylo vytvoření názvosloví pro jednotlivé prvky testovací trati.

U průtokoměrů byla zvolena kombinace značky průtoku Q a vnitřního průměru měřicího elementu. Průtokoměr ABB DX43W DN06 je v programu (a dále v textu) označován jako $Q06$. Analogické označení zbývajících průtokoměrů je $Q25$ a $Q65$. Regulační ventily jsou značeny zkratkou anglického názvu (regulation valve) a vnitřním průměrem. Regulační ventil ARI-STEVI DN25 s el. pohonem PREMIO-PLUS je popisován jako $RV25$, zbývající regulační ventily jako $RV40$ a $RV65$.

Kulové kohouty jsou značeny zkratkou anglického názvu (ball valve) a elementem, který ovládají. Kulový kohout ovládající větev s průtokoměrem $Q06$ je značen jako $BV Q06$. Ostatní kulové ventily jsou značeny obdobně. Kulový kohout ovládající obtokovou větev je označen jako $BV Rbypass$.

Tlakoměry jsou označeny velkým P a číslem. P1 je relativní tlakoměr, P2 je diferenciální tlakoměr používaný k regulaci, P3 a P4 jsou pomocné diferenciální tlakoměry. Čerpadlo je označeno slovíčkem *PUMP*, teplotní čidlo slovíčkem *Temp*.

Jelikož je oficiálním jazykem společnosti Honeywell angličtina, jsou i všechny popisy a hlášení programu napsány v anglickém jazyce. Většina použitých slovíček je však natolik mezinárodně používaná, že by orientace v programu neměla činit problémy ani osobě bez znalostí tohoto jazyka.

6.4.1 Sběr a zpracování dat

Sběr dat je kompletní proces začínající změřením elektrického signálu měřicím přístrojem a končící zobrazením hodnoty fyzikální veličiny LabView. Fyzické připojení

ventilů a měřicích prvků bylo provedeno v rámci elektrické instalace a bude detailněji popsáno v rámci následujících kapitol.

Způsob, jakým jsou periferie využívány, závisí z velké části na samotném zařízení. V případě testovací trati je nutné informace o měřených veličinách, jako jsou průtoky, tlaky či pozice kulových kohoutů, aktualizovat často, aby bylo možné plynule sledovat změny jejich hodnot a případně na ně včas reagovat.

Ovládání výstupů již z hlediska časování nijak kritické není. Doba přepnutí kulového kohoutu i čas přejezdu aktuátoru regulačního ventilu o minimální krok je v řádu jednotek sekund. Vzhledem k tomu, že tyto činnosti slouží k nastavení žádaných hydraulických podmínek pro měření, nedá se očekávat jejich využití s maximální možnou frekvencí. Nejčastěji vytíženým výstupním portem je ovládání čerpadla během fáze regulace, nicméně i v tomto případě je časový interval mezi jednotlivými zásahy regulátoru nastaven na jednu sekundu, aby do regulátoru vstupovala ustálená hodnota regulační odchylky.

Jelikož může v rámci použitého měřicího systému přistupovat k periferiím pouze jedna instance v daném okamžiku, je třeba vícenásobné přístupy ošetřit.

6.4.1.1 Karta analogových vstupů NI 9208

Měřicí karta poskytuje 16 kanálů pro měření proudových signálů o amplitudě $\pm 21,5$ mA v režimu měření jednotlivých kanálů proti společnému potenciálu (single ended connection). Měřené signály jsou postupně multiplexorem přiváděny na vstup sigma – delta AD převodníku, který pracuje s rozlišením 24 bitů. V režimu vysokého rozlišení (high resolution mode) trvá digitalizace jedné hodnoty 54 ms při střední hodnotě šumu 50nA. Ve vysokorychlostním režimu (high speed mode) trvá převod 2ms při 200nA střední hodnoty šumu.

Tabulka 14: Přiřazení kanálů karty NI 9208

NI 9208	
Číslo měřicího kanálu	Připojené zařízení
kanál 0	průtokoměr Q06
kanál 1	průtokoměr Q25
kanál 2	průtokoměr Q65
kanál 3	relativní tlakoměr P1
kanál 4	diferenciální tlakoměr P2
kanál 5	diferenciální tlakoměr P3
kanál 6	nevyužitý kanál
kanál 7	teploměr
kanál 8	zpětná vazba R25
kanál 9	zpětná vazba R40
kanál 10	zpětná vazba R65
kanály 11 - 15	nevyužité kanály

Vzhledem k tomu, že implementace diferenciálního tlakoměru P4 nebyla schválena, zůstává kanál 6 dočasně neobsazen.

6.4.1.2 Karta digitálních vstupů NI 9425

NI 9425 obsahuje 32 digitálních vstupů kompatibilních s napětíovou úrovní $24V_{DC}$. Karta pracuje v uzemňovacím režimu (sinking mode). Impedance jednotlivých vstupů je $30\text{ k}\Omega \pm 5\%$. Doba aktualizace signálu na vstupech činí $7\mu\text{s}$.

Tabulka 15: přiřazení kanálů fyzickým signálům pro kartu NI 9425

NI 9425	
Číslo měřicího kanálu	Význam signal
kanál 0	pozice BV Q06
kanál 1	pozice BV Q25
kanál 2	pozice BV Q65
kanál 3	pozice BV R25
kanál 4	pozice BV R40
kanál 5	pozice BV R65
kanál 6	pozice BV Rbypass
kanál 7	nevyužitý kanál
kanál 8	výška hladiny v nádobě MIN
kanál 9	výška hladiny v nádobě LOW
kanál 10	výška hladiny v nádobě HIGH

kanál 11	výška hladiny v nádobě MAX
kanál 12	signalizace napětí 230VAC
kanál 13	signalizace napětí 24VAC
kanál 14	signalizace napětí 24VDC
kanál 15	signalizace tlakového vzduchu
kanál 16 – 31	nevyužité kanály

Kanál 7 je vyhrazen pro čtení pozice kulového kohoutu ve slepé větvi DN15 v případě jejího pozdějšího využití.

6.4.1.3 Karta analogových výstupů NI 9625

Jedná se o kartu poskytující 4 kanály pro ovládání proudových signálů o amplitudě 0-20 mA do zátěže o maximální impedanci 600Ω. Výstupní signály jsou tvořeny DA převodníkem typu string, který pracuje v rozlišení 16 bit. Doba zápisu hodnoty na výstup činí cca 3μs / kanál (dle počtu aktualizovaných kanálů).

Tabulka 16: Přiřazení kanálů ovládaným zařízením pro kartu NI 9625

NI 9625	
Číslo ovládacího kanálu	Připojené zařízení
kanál 0	frekvenční měnič čerpadla
kanál 1	RV 25
kanál 2	RV 40
kanál 3	RV 65

6.4.1.4 Karta digitálních výstupů NI 9476

NI 9476 obsahuje 32 digitálních výstupů kompatibilních s napěťovou úrovní 24V_{DC}. Karta pracuje ve zdrojovém režimu (sourcing mode). Výstupní impedance činí 0,3Ω. Maximální proud dodaný do jednoho kanálu je 0,25A. Doba aktualizace signálu na vstupech činí 500μs.

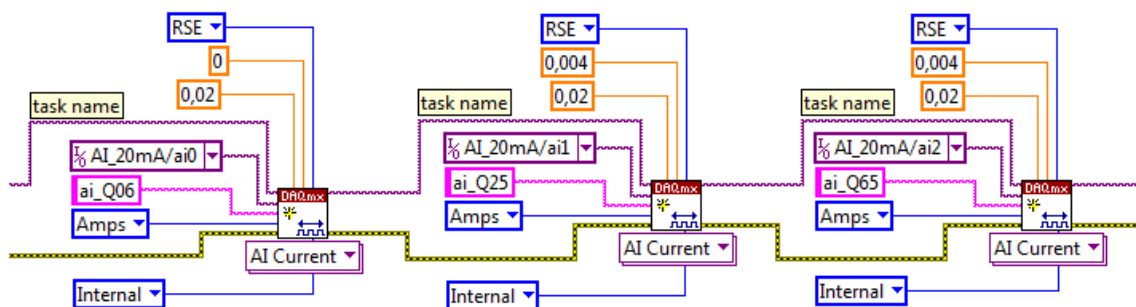
Tabulka 17: přiřazení kanálů fyzickým signálům pro kartu NI 9476

NI 9476	
Číslo ovládacího kanálu	Význam signálu
kanál 0	ovládání BV Q06
kanál 1	ovládání BV Q25
kanál 2	ovládání BV Q65
kanál 3	ovládání BV R25
kanál 4	ovládání BV R40
kanál 5	ovládání BV R65
kanál 6	ovládání BV Rbypass
kanál 7	nevyužitý kanál
kanál 8	zvýšení statického tlaku v trati
kanál 9	snížení statického tlaku v trati
kanály 10 – 31	nevyužité kanály

Kanál 7 je vyhrazen pro ovládání kulového kohoutu pro větev DN15 v případě jejího pozdějšího využití.

6.4.1.5 Softwarové řešení sběru dat

Nástroje pro sběr dat v programovacím prostředí LabVIEW jsou takzvané tasky (tasks) a virtuální kanály (virtual channels). Virtuální kanál slouží k identifikaci připojeného zdroje signálu. Obsahuje informace o názvu tasku, do kterého je přiřazen, definici fyzického kanálu, typu připojení, rozsahu měřených hodnot, jednotkách měřeného signálu (viz. obrázek 35)



Obrázek 35: konfigurace virtuálních kanálů pro definici měřicího tasku

Taskem se rozumí jeden či více virtuálních kanálů, které mají určité logické předpoklady k tomu, aby byly zpracovávány zároveň. Vytvoření všech tasků pro testovací trať zajišťuje podprogram *task_init.vi*. Jejich seznam je uveden v tabulce 18.

Tabulka 18: seznam tasků definovaných v podprogramu *task_init.vi*

Název tasku	Měřicí karta	Obsah tasku	Popis
ai_all	NI 9208	kanály 0 – 10	obsazené analogové vstupy
di_all	NI 9475	kanály 0 - 31	všechny digitální vstupy
ao_Freq_chgr	NI 9625	kanál 0	frekvenční měnič čerpadla
ao_R25	NI 9625	kanál 1	regulační ventil R25
ao_R40	NI 9625	kanál 2	regulační ventil R40
ao_R65	NI 9625	kanál 3	regulační ventil R65
do_bv_ctrl	NI 9425	kanály 0 - 6	ovládání kulových ventilů
do_tank_ctrl	NI 9425	kanály 8 - 11	ovládání tlakové nádoby

V rámci konfigurace tasku *ai_all* je karta NI 9208 přepnuta do vysokorychlostního režimu. Pokud by zůstala v režimu vysokého rozlišení, trvalo by odečtení jednoho vzorku pro každý z 11 měřených analogových kanálů 594 ms.

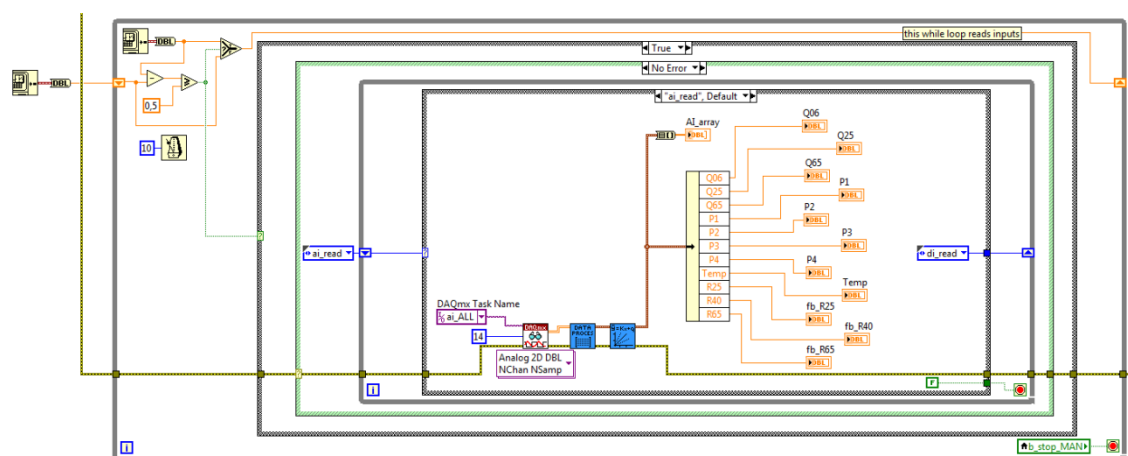
Ve vysokorychlostním režimu ten samý úkon trvá 22 ms, což umožňuje výrazné zkrácení doby potřebné pro sběr dat i při čtení více hodnot z každého kanálu.

Spuštění tasků pro analogové a digitální vstupy zajišťuje podprogram *task_start.vi*. Tyto tasky zůstávají aktivní až do ukončení programu. Tasky pro analogové a digitální výstupy jsou využívány odlišně. Při potřebě zapsat hodnotu na výstup je task spuštěn, hodnota zapsána a poté je task zastaven. Tento přístup zabraňuje kolizím při ovládání výstupních periférií z více míst programu. Nastavení analogových výstupů je úkolem podprogramu *ao_set.vi*, nastavení digitálních výstupů provádí podprogram *do_set.vi*. Vymazání všech tasků z paměti počítače zajišťuje podprogram *task_clear.vi*.

Pro čtení a zpracování dat ze vstupních periférií je v každé testovací proceduře vyhrazena samostatná while smyčka v režimu stavového automatu opakujícího se s periodou 0,5 sekundy. V části „ai_read“ se přečte 14 hodnot měřeného proudu z každého analogového vstupu. Tím vznikne pole hodnot o jedenácti řádcích a čtrnácti sloupcích. Toto pole je předáno podprogramu *ai_data_processing.vi*, který postupně provede extrakci jednotlivých řádků pole, vzestupné seřazení hodnot a odstranění dvou nejmenších a dvou největších naměřené hodnoty. Ze zbylých deseti hodnot vypočítá aritmetický průměr a výslednou hodnotu přiřadí na patřičné místo ve výstupním clusteru.

Ten je předán podprogramu *scale_value_X.vi*, jehož úkolem je přiřadit naměřeným proudům hodnoty souvisejících fyzikálních veličin. Ty jsou následně přiřazeny proměnným reprezentujícím jednotlivé analogové měřicí přístroje.

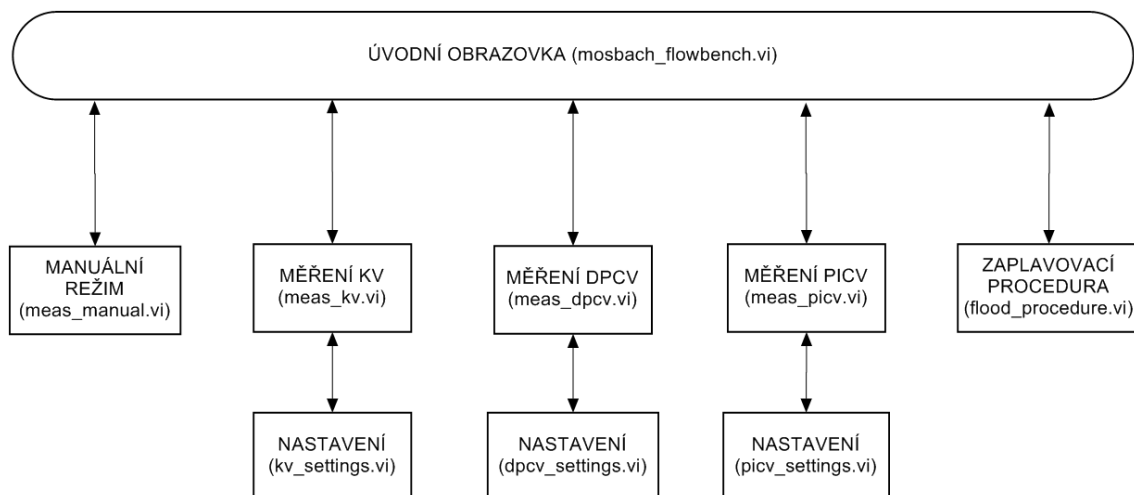
V části „di_read“ dojde k přečtení všech kanálů karty NI 9476. Ze vzniklého pole hodnot se vyextrahují stavy kulových kohoutů, hladinových čidel a zdrojů energie, které se zapíše do souvisejících proměnných, se kterými se dále pracuje. Zároveň v této části programu dochází k vyhodnocení signálu ze senzoru, který indikuje minimální hladinu vody v nádrži.



Obrázek 36: výřez smyčky provádějící sběr dat

6.4.2 Uživatelské prostředí

Uživatelské prostředí je tvořeno čelními panely hlavního programu a podprogramů testovacích procedur. Tyto čelní panely se vzájemně překrývají dle pořadí v jakém byly zavolány. Vzhledem ke koncepci programu nejsou nikdy otevřeny více než tři okna najednou (viz. obrázek 36). Rozměry oken uživatelského rozhraní jsou pevně nastaveny, aby nemohlo dojít k nežádoucímu zobrazení použitých grafických prvků. Výhodou je možnost umístění pomocných proměnných mimo oblast aktivního okna, což velmi zjednodušuje programování a odladění kódu.



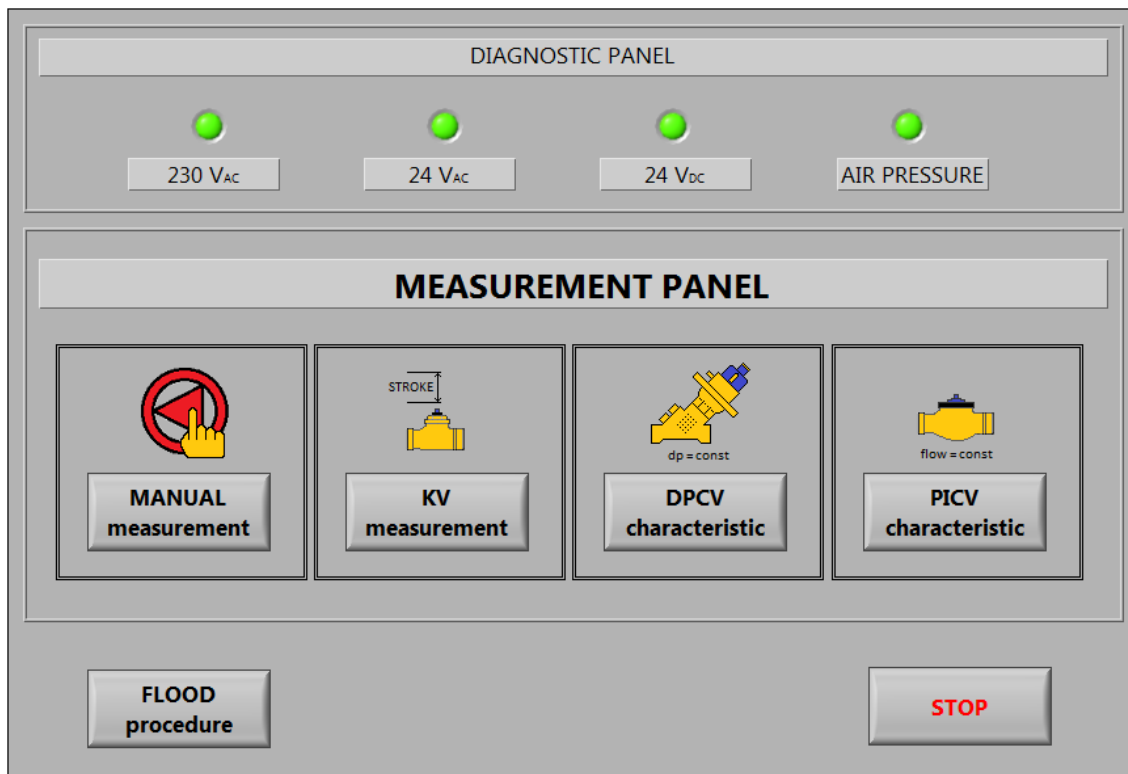
Obrázek 37: Rozložení obrazovek uživatelského rozhraní

Testovací trať obsahuje tři druhy uživatelských obrazovek.

- a) úvodní obrazovku
- b) obrazovku testovací procedury
- c) obrazovku pro zadání parametrů testu

6.4.2.1 Úvodní obrazovka

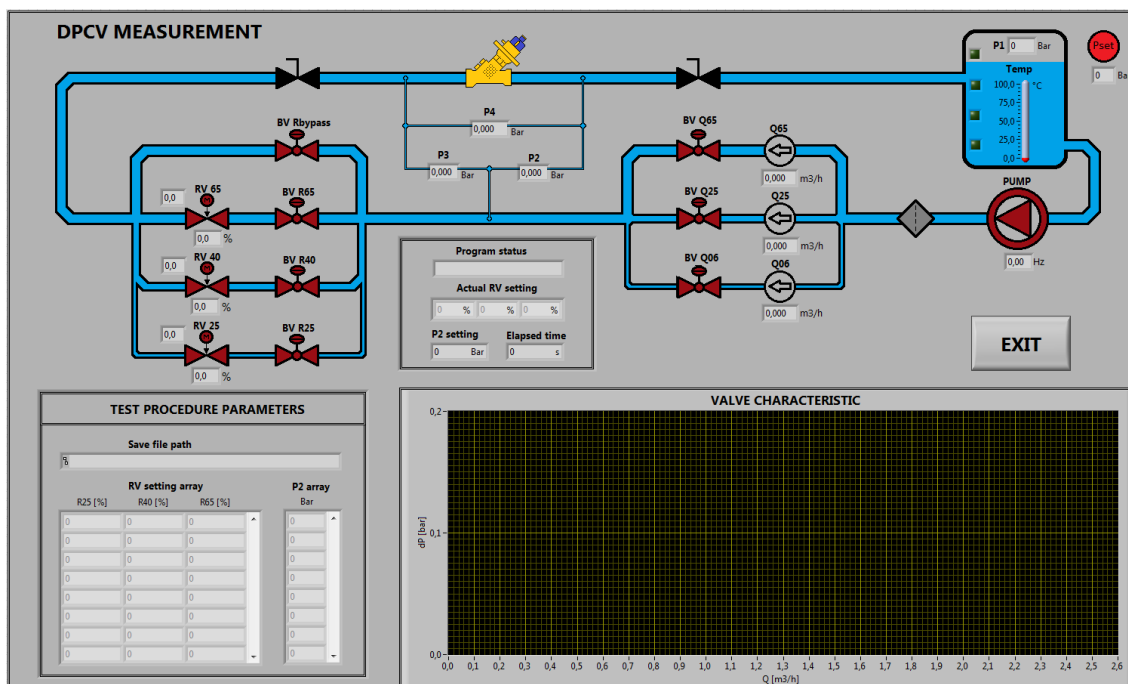
Úvodní obrazovka je základním prvkem uživatelského prostředí. Slouží jako rozcestník ke spuštění testovacích procedur i jako návratová obrazovka po jejich ukončení. Vrchní část obrazovky tvoří diagnostický panel, který zobrazuje dostupnost zdrojů energií potřebných k provozu zařízení. Měřicí panel umístěný ve středu okna umožňuje uživateli spouštět testovací procedury. Použité obrázky dokreslují význam každého z tlačítek. Spodní část obrazovky je vyhrazena pro tlačítko zaplavovací procedury a STOP tlačítko, které slouží k ukončení programu.



Obrázek 38: Úvodní obrazovka

6.4.2.2 Obrazovka testovací procedury

Okno testovací procedury je vykresleno na ploše 900 x 1500 pixelů. Rozměr je zvolen s ohledem na potřebu rozmístění všech prvků při zachování jejich přehlednosti.



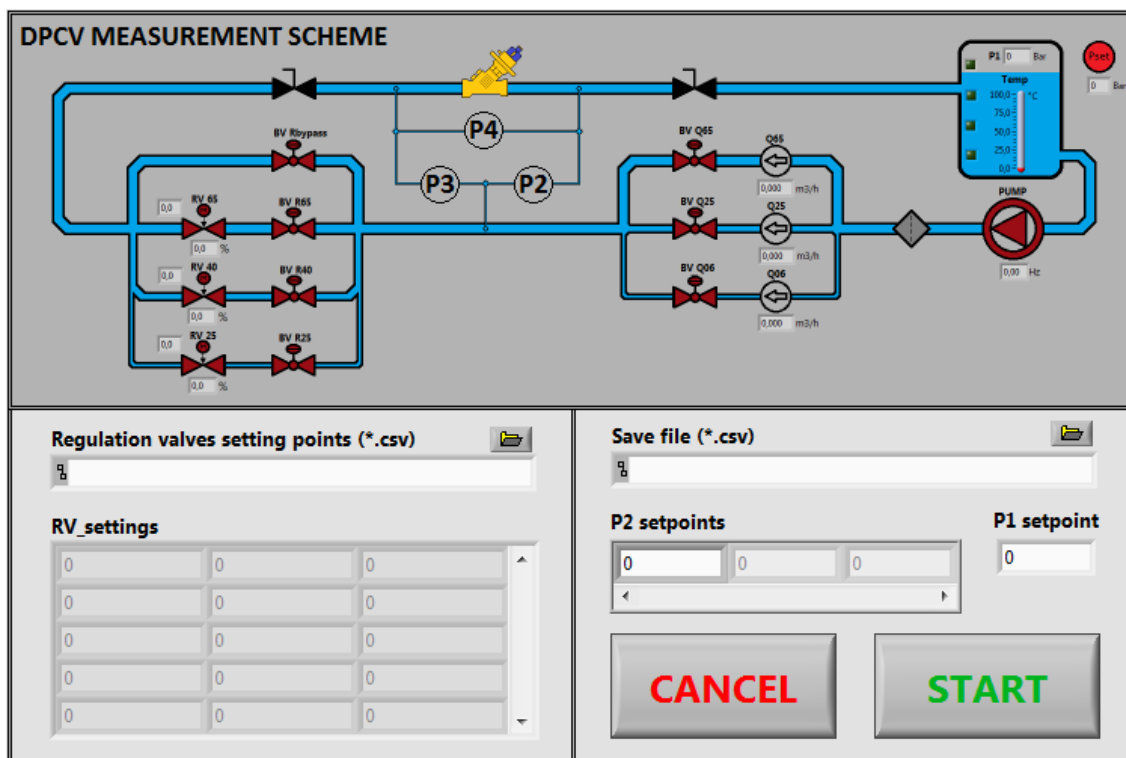
Obrázek 39: Uživatelské rozhraní testovací procedury pro měření DPCV

V horní části se nachází schéma testovací tratě s vizualizací všech měřených případně nastavovaných hodnot na daných prvcích. V rámečku uprostřed je přehled nastavovaných hodnot v aktuálním kroku, což uživateli umožňuje orientaci v právě probíhajícím testu. Rámeček vlevo dole slouží ke kontrole parametrů zadaných při spuštění testu. V pravé spodní části je umístěn graf, který slouží k vizualizaci naměřených hodnot. S jeho pomocí lze rychle vyhodnotit dosavadní průběh testu. Ukončení testu se provádí tlačítkem EXIT umístěným vpravo uprostřed. Tlačítko EXIT tvoří jediný uživatelem kontrolovaný prvek testovací procedury. Vše ostatní probíhá automaticky na základě uživatelem zadaných parametrů.

Na obrázku 39 je zobrazeno uživatelské prostředí testovací procedury pro měření regulátorů konstantního tlaku (DPCV). Rozhraní testovacích procedur pro měření regulátorů konstantního průtoku a kv charakteristik jsou prakticky totožná. Uživatelské prostředí zaplavovací procedury obsahuje z výše uvedených prvků pouze schéma testovací trati a ukončovací tlačítko. To je případ i obrazovky manuálního měření. V tomto případě jsou ovšem veškeré ovládací prvky interaktivní a aktivují se po kliknutí kurzorem myši na značku ovládaného prvku.

6.4.2.3 Obrazovka zadávání parametrů

Při spuštění testovací procedury, která vyžaduje vstupy od uživatele, se objeví obrazovka pro zadání parametrů testu. Horní polovinu obrazovky tvoří schéma zapojení tlakoměrů pro dané měření. Spodní polovina obrazovky slouží k zadání samotných parametrů a tlačítka pro začátek testu, případně jeho zrušení.



Obrázek 40: Obrazovka pro zadání parametrů DPCV testovací procedury

Program hlídá vyplnění všech žádaných parametrů. Při detekci nepovolené hodnoty je uživatel na tuto skutečnost upozorněn hlášením s nápovědou na možný zdroj problému. Po stisku tlačítka START jsou parametry předány volajícímu programu, kde začne vlastní měření. Stisk tlačítka CANCEL ukončí celou testovací proceduru a vrátí uživatele na úvodní obrazovku.

6.4.3 Zdrojový kód

Zdrojový kód tvoří celkem 30 *.vi souborů, ve kterých jsou použity různé programovací techniky. Základem podprogramů, u nichž je podstatná část jejich funkce založena na interakci s uživatelem, je event struktura. V případě uživatelské nečinnosti se provádí kód v části „timeout“. Jakmile dojde k předem definované změně stavu některé z proměnných, vykoná se obslužný kód. V programu Mosbach_flowbench.vi zprostředkovávajícím hlavní obrazovku se pomocí event struktury obsluhuje stisk tlačítek. V manuálním režimu měření (meas_manual.vi) se vyhodnocuje jak změna stavu tlačítek, tak změna hodnoty control prvků sloužících k ovládní čerpadla a regulačních ventilů. U podprogramů sloužících k načtení parametrů testovacích

procedur jsou veškeré kontrolní mechanizmy hodnot zadaných uživatelem iniciovány event strukturou.

Měřicí procedury pracují na základě stavového automatu. V každém kroku se vykoná daný kód, na jehož základě se rozhodne, kterým krokem bude program pokračovat.

Podprogramy volané měřicími procedurami jsou navrhnuté jako jednorůchodové. Při každém volání se vyhodnotí předané parametry a na základě stavu vnitřních proměnných dojde k jejich aktualizaci a předání výstupních parametrů. Cílem je co nejrychlejší průchod podprogramem, aby hlavní autoritu měla smyčka s uživatelským rozhraním, což se projeví na její plynulosti.

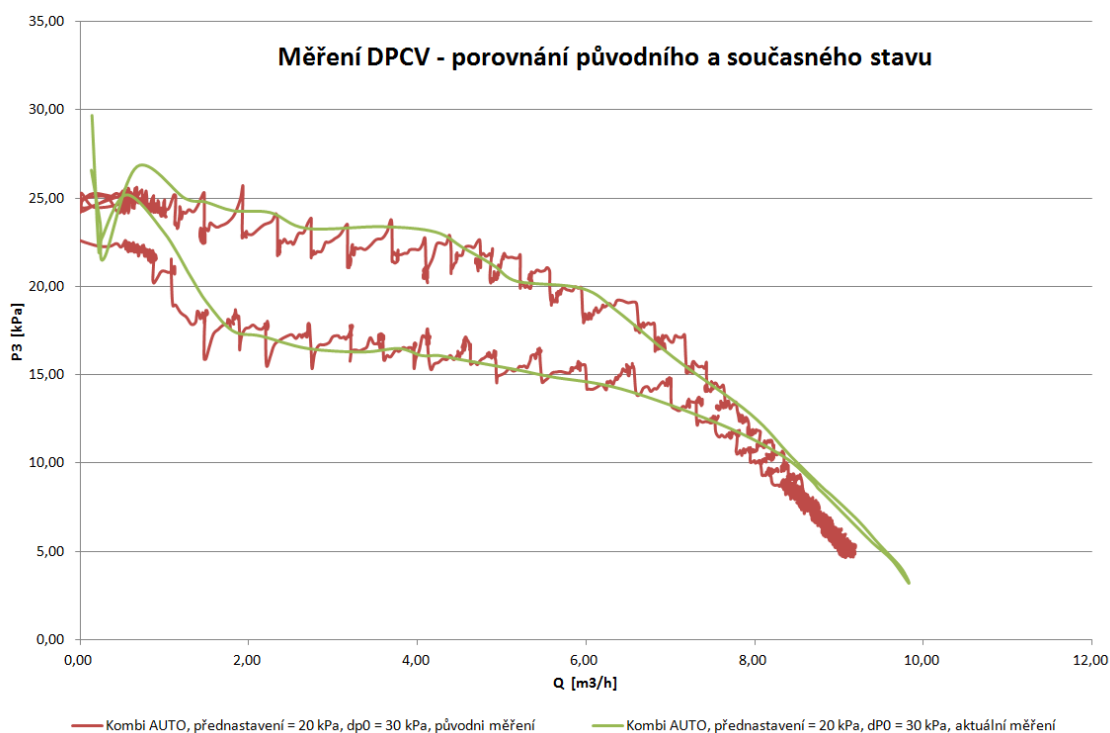
7 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Měřicí trať obsahuje tři testovací procedury realizující automatické (v případě KV procedury poloautomatické) měření regulačních ventilů. Tato kapitola se věnuje prezentaci výsledků a jejich porovnání s daty naměřenými před modernizací trati.

Také bych pro pořádek připomenul, že zkratka DPCV (diferential pressure control valve) značí regulátor konstantního tlaku a zkratka PICV (pressure independent control valve) značí regulátor konstantního průtoku.

7.1 Měření DPCV

Jako testovaný vzorek pro porovnání výsledků DPCV procedury byl zvolen regulační ventil Kombi Auto o světlosti DN40. Jelikož se jedná o nejčastěji měřený ventil na testovací trati, má tato volba své opodstatnění. Světlost použitého ventilu zaručuje využití všech tří průtokoměrů během měření.



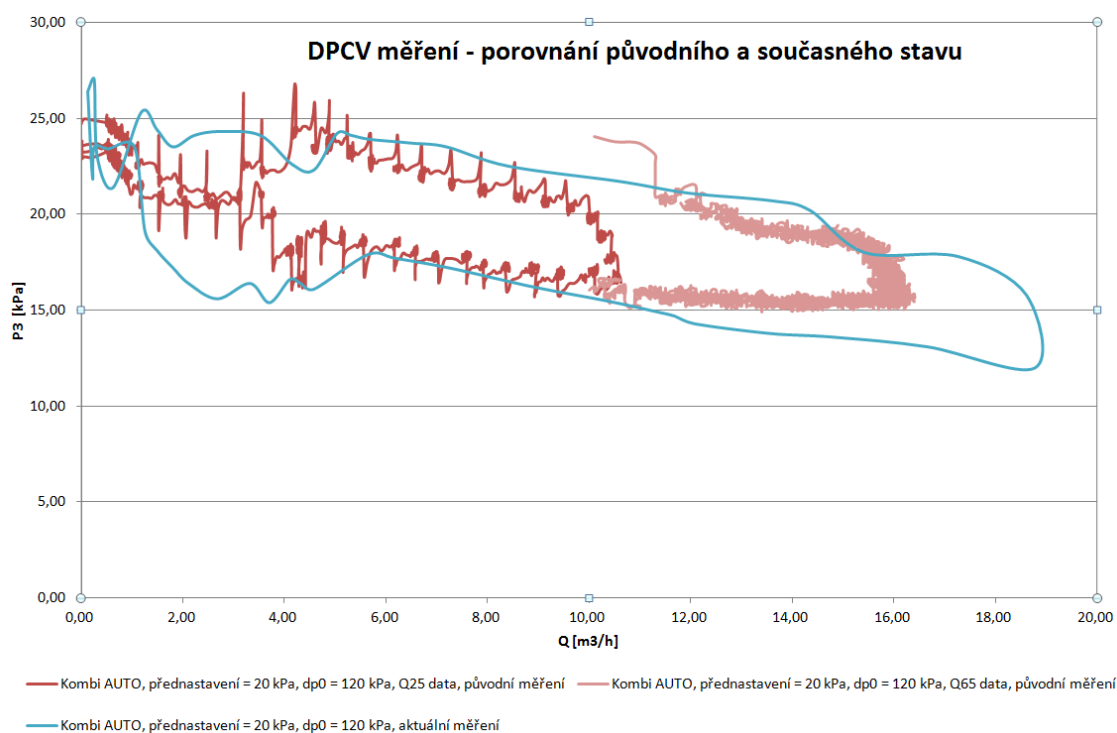
Obrázek 41: Srovnání naměřených výsledků – DPCV procedura

Křivka původního měření (červená barva) je vykreslena z 5205 hodnot průtoku a stejného počtu hodnot tlaku P3. Zákmity charakterizují pohyb regulačního ventilu

Honeywell ML 7420 použitého k simulaci hydraulického odporu. Počáteční i koncový bod křivky vykazují nulovou hodnotu průtoku. Ve skutečnosti tomu však není. Průtoky menší než 0,6 m³/h jsou pod prahem citlivosti průtokoměru Q25, takže jsou vyhodnoceny jako nulové.

Křivku aktuálního měření (zelená barva) tvoří 51 hodnot průtoku a diferenciálního tlaku P3. Díky automatickému přepínání větví s průtokoměry obsahuje křivka relevantní informace o chování měřeného ventilu již od nulového průtoku. Záleží jen na uživateli a parametrech, které zadá na počátku testu.

Obě křivky vykazují značnou hysterezi, nicméně to je v pořádku. V katalogových listech se vždy uvádí střední hodnota regulovaného tlaku. Proto není hystereze vyznačena ani na obrázku 4.



Obrázek 42: Srovnání naměřených výsledků – DPCV procedura

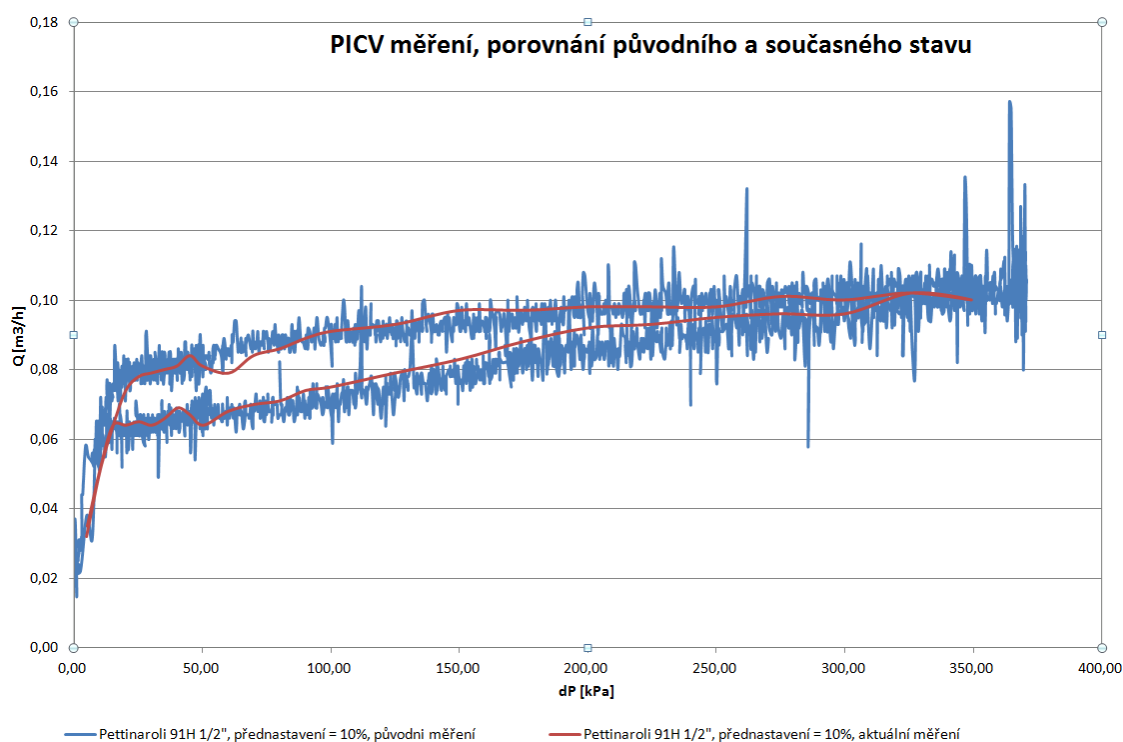
Graf na obrázku 42 demonstruje výhodu automatického přepínání větví s průtokoměry během testu. Křivka původního měření (na obrázku vyznačena červenou barvou) je složena ze dvou samostatných průběhů. Tmavě červená část znázorňuje měření průtokoměrem Q25, světle červená křivka je vytvořena z hodnot naměřených průtokoměrem Q65. Takový postup vyžadoval dvojnásobek času pro měření a zpracování dat obsluhou. Část hodnot pro průtoky menší než 0,6 m³/h opět chybí.

Křivka aktuálního měření je vykreslena modrou barvou. Maximální průtok je o 3 m³/h vyšší než u původního měření. To je dáno nižším hydraulickým odporem kaskády regulačních ventilů oproti dříve používanému regulačnímu ventilu ML 7420.

Dále je třeba vyzdvihnout významné zkrácení testovacího času. Obě křivky aktuálního měření byly pořízeny během jedné testovací sekvence za celkový čas 65 minut. Původní naměřené charakteristiky jsou složeny ze tří samostatných měření jejichž doba v souhrnu přesáhla 150 minut.

7.2 Měření PICV

Pro porovnání výsledků PICV procedury byl zvolen regulační ventil Pettinaroli 91H o světlosti DN15 a volbou přednastavení 10%. Tyto hodnoty byly zvoleny záměrně, jako demonstrace naměřených dat pro oblast malých průtoků (méně než 8% nominální hodnoty průtokoměru Q06).



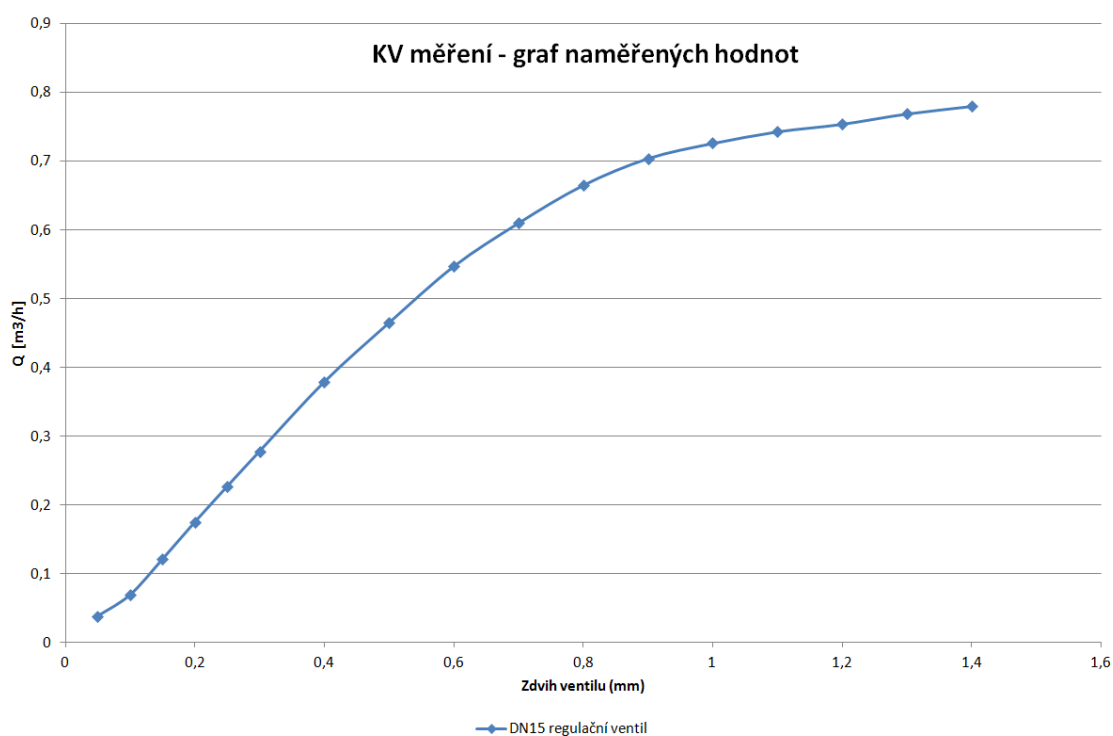
Obrázek 43: Porovnání měření PICV

Hodnoty naměřené před modernizací trati jsou vykresleny modrou barvou. Z grafu je patrné kolísání měřeného průtoku až o desítky procent. Výsledek aktuální PICV procedury je zachycen červeně. Díky odrušení signálových vodičů, použité filtraci a

vhodně provedenému sběru dat nevykazuje aktuálně změřená PICV charakteristika žádné zákmity.

7.3 Měření k_v

Měření závislosti k_v hodnoty (případně průtoku) na zdvihu ventilu nebylo v původní testovací trati nikdy realizováno, takže předchozí data nejsou k dispozici. Jedná se o poloautomatické měření, kdy je operátor v každém kroku hlášením vyzván k nastavení patřičného zdvihu ventilu. Ostatní kroky již procedura realizuje sama.



Obrázek 44: Demonstrace výsledku KV procedury

Výsledný graf zcela odpovídá očekávanému průběhu.

8 ZÁVĚR

Renovace testovací trati pro měření průtokových charakteristik regulačních ventilů dopadla velmi úspěšně díky citlivému skloubení původních a nových komponent.

Implementace pneumaticky ovládaných kulových kohoutů umožnila automatizaci volby vodní cesty a změny průtokoměru v průběhu testu. Použití kaskády regulačních ventilů s aktuátory poskytuje dostatečně jemnou simulaci hydraulického odporu. Robustnější systém pro sběr dat, použití stíněných kabelů a správné uzemnění přístrojů přispěly k lepšímu odrušení měřených hodnot.

Použité senzory poloh kulových kohoutů, hladiny a detekce funkce zdrojů energie poskytují spolu s výstupy měřicích přístrojů ucelený přehled o aktuálním stavu testovací trati. Tyto informace tvoří základní údaje pro uživatelské prostředí a v případě hladinových čidel umožňují realizaci funkce bezpečného odstavení čerpadla při nedostatku vody v nádrži.

Vytvořený ovládací program všechny uvedené body shrnuje a prezentuje uživateli. Testovací procedury umožňují manuální i automatické měření a díky grafickému znázornění naměřených hodnot má uživatel přímou kontrolu nad průběhem testu. Uložená data lze následně jednoduše zpracovat v libovolném tabulkovém editoru. Program byl řádně odzkoušen. Přehled naměřených hodnot je uveden v kapitole 7.

V práci lze nadále pokračovat několika různými směry. Soustředit se na vylepšení stávajících procedur, implementovat nové prvky, jako je například komunikace s přístroji pomocí HART protokolu, nebo se věnovat zlepšení grafické stránky a interaktivity uživatelského prostředí. Výrazné zjednodušení práce s automatizovanou trati však ukázalo, že současným slabým článkem měřicího procesu je montáž testovaného vzorku do potrubí. Tento úkon vyžaduje sestavení a řádné zatěsnění několika závitových spojů a často trvá déle než samotná měřicí procedura. Nalezení vhodného systému pro upevnění testovaného ventilu do trati je však již zcela mimo rámec zadání této diplomové práce.

9 ZDROJE

- [1] BAŠTA, Jiří a Karel KABELE. *Otopné soustavy - teplovodní*. Druhé přepracované vydání. Praha 1: Společnost pro techniku prostředí, 2001. ISBN 80-02-01426-X.
- [2] ĎAĎO, Stanislav, Ludvík BEJČEK a Antonín PLATIL. *Měření průtoku a výšky hladiny*. 1. Vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 447 s. ISBN 80-730-0156-X.
- [3] BAŠTA, Jiří. *Hydraulika a řízení otopných soustav*. Vydání. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-010-2808-9.
- [4] BAŠTA Jiří. Regulační armatury: teoretická základna (I). [online]. [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2181-regulacni-armatury-teoreticka-zakladna-i>
- [5] BAŠTA Jiří. Regulační armatury:teoretická základna (II). [online]. [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2198-regulacni-armatury-teoreticka-zakladna-ii>
- [6] HONEYWELL INTERNATIONAL INC. *V5001P Kombi-Auto: Differential pressure control valve*. 2011. [online]. [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <https://products.ecc.emea.honeywell.com/europe/pdf/v5001p-pd-en0h2325ge25r0911.pdf>
- [7] EvoPICV: Pressure independent control valve. FRATELLI PETTINAROLI SPA. [online]. [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: http://www.pettinaroli.com/images/stories/schede_tecniche/EvoPICV_ENG.pdf
- [8] ABB FXE 4000. [online]. [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: http://www.controlwarehouse.com/sheets/abbauto/abb_fxe4000_spec.pdf

- [9] Honeywell ML7420. [online]. [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <https://products.ecc.emea.honeywell.com/europe/pdf/en0b0261-ge51r1112.pdf>
- [10] M Series Multifunction DAQ for USB. [online]. [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-10/lang/cs>
- [11] ST3000 Series 900 Smart Transmitter. [online]. [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://yamatake.de/products/bi/iap/ss/fi/SS2-STJ400-0100.pdf>
- [12] VEGABAR14 PRODUCT INFORMATION. [online]. [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://www.vega.com/downloads/PI/EN/29730-EN.PDF>
- [13] Kulové kohouty, typ FP3. [online]. [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: http://www.fluidbohemia.cz/resources/upload/data/1021_FP3.pdf
- [14] Electromagnetic Flowmeter FXT4000. [online]. [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot211.nsf/veritydisplay/f9a37f3d4061ff50c125739a0049096b/\\$file/d184b094u02-03-10_2007.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot211.nsf/veritydisplay/f9a37f3d4061ff50c125739a0049096b/$file/d184b094u02-03-10_2007.pdf)
- [15] ČSN EN 60204-1. Bezpečnost strojních zařízení - Elektrická zařízení strojů: Část 1: Všeobecné požadavky. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2007.
- [16] ČSN EN 60534-1. Regulační armatury pro průmyslové procesy: Část 1: Terminologie pro regulační armatury a všeobecné požadavky. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2006.
- [17] AIR TORQUE 4th Generation Line PNEUMATICS ACTUATORS. [online]. [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: http://www.fluidbohemia.cz/resources/upload/data/991_Catalog%20n%B0%204THGU-E-02_ft.pdf
- [18] Proudové chrániče OFI (10 kA). [online]. [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/4336-z01-11_cz_sk.pdf
- [19] Jističe LPN do 63A (10 kA). [online]. [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/3286-z01-11_cz_sk.pdf

- [20] VW3A4553 Product data sheet. [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <http://datasheet.octopart.com/VW3A4553-Schneider-Electric-datasheet-14430785.pdf>
- [21] Safety transformer ACT Range. [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/29841.pdf>
- [22] SITOP SIEMENS, reliable 24 VDC Power. [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/20766.pdf>
- [23] Dinel, návod k obsluze GPLS-25. [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <http://www.dinel.cz/uploads/pdf/130814114513-gpls-25-nav-cz.pdf>
- [24] ATB, Technical documentation, 3phase explosion proof motors. [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <http://www.dietzelectric.com/documents/ATB%20Technical%20Catalog%202009.pdf>
- [25] National Instruments. [online]. [cit. 2014-08-08]. Dostupné z: <http://www.ni.com>.

10 PŘÍLOHY

Příloha 1 – DVD s elektronickou verzí diplomové práce, vytvořeným programem, naměřenými daty a videomateriálem znázorňujícím jednotlivé měřicí procedury.