

# 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

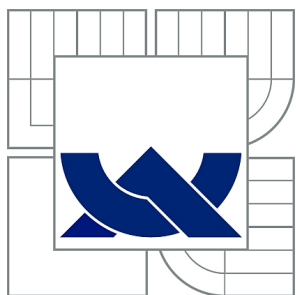
MODEL VÝMĚNÍKU TEPLA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

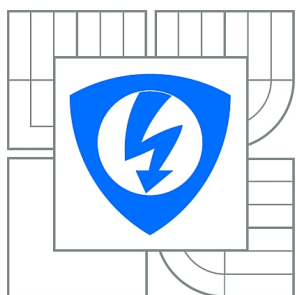
MARTIN DUFEK

BRNO 2011



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

## MODEL VÝMĚNÍKU TEPLA

HEAT EXCHANGER MODEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN DUFEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RADEK ŠTOHL, Ph.D.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Automatizační a měřicí technika**

**Student:** Martin Dufek

**ID:** 106414

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2010/2011

**NÁZEV TÉMATU:**

## Model výměníku tepla

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s instrumentací firmy Rockwell Automation a modelem výměníku tepla.
2. Navrhněte a realizujte modelovou úlohu pro výměník tepla.
3. Navrhněte a realizujte vizualizaci výměníku tepla v prostředí Factory Talk.
4. Ověřte funkčnost softwaru a vizualizace modelu.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Logix5000 Controllers General Instructions (Reference Manual). Milwaukee: Rockwell Automation, Inc. 2008.

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

**Termín zadání:** 7.2.2011

**Termín odevzdání:** 30.5.2011

**Vedoucí práce:** Ing. Radek Štohl, Ph.D.

**prof. Ing. Pavel Jura, CSc.**  
*Předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

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

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá seznámením s programovatelným automatem ControlLogix, panelem PanelView Plus, modelem výměníku tepla a jeho součástmi. Hlavním úkolem je návrh modelové úlohy pro výměník tepla a zpracování vzorového řešení. V modelové úloze se zabývá regulací a ošetřením poruchových stavů. Pro jednodušší ovládání a práci s modelem řeší návrh a realizaci vizualizace, která umožní vzdálené sledování stavu modelu a jeho ovládání.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

linearizace, model výměníku, PID regulátor se zpožděním, PLC, vizualizace, výměník tepla, vytápění místnosti

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with programmable logic controller ControlLogix, panel PanelView Plus, model of the heat exchanger and its components. The main goal is to suggest a model exercise for exchanger and processing of standard measurements. Model exercise is solving regulation and handling fault conditions. Visualization solves a draft and a realization within a work with the model which makes possible to monitor a state of the model in distance conditions and its controlling.

## **KEYWORDS**

exchanger model, heat exchanger, linearization, PID controller with time delay, PLC, room heating, visualization

DUFEK, Martin *Model výměníku tepla*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2011. 51 s. Vedoucí práce byl Ing. Radek Štohl, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Model výměníku tepla“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Radek Štohl, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Děkuji rodičům za podporu a umožnění studií.

V Brně dne ..... Podpis autora .....

# OBSAH

<b>1 Model výměníku tepla</b>	<b>12</b>
1.1 Varianty výměníků . . . . .	12
1.2 Schéma modelu výměníku . . . . .	13
1.3 Popis použitých prvků v modelu výměníku tepla . . . . .	14
1.4 Automat ControlLogix 5000 . . . . .	20
1.4.1 Použité moduly . . . . .	21
1.5 PanelView Plus 1000 . . . . .	23
<b>2 Návrh a realizace modelové úlohy</b>	<b>24</b>
2.1 Zadání modelové úlohy . . . . .	24
2.2 Návod na identifikaci soustavy . . . . .	25
2.3 Pracovní postup . . . . .	26
2.4 Tabulka vstupů a výstupů . . . . .	27
2.5 Popis procesu . . . . .	28
2.6 Identifikace soustavy . . . . .	29
2.7 Linearizace ventilu . . . . .	31
2.8 Návrh programu . . . . .	32
<b>3 Návrh a realizace vizualizace</b>	<b>33</b>
3.1 Zadání vizualizace . . . . .	33
3.2 Realizace vizualizace . . . . .	34
3.2.1 Postup . . . . .	34
3.2.2 Popis vizualizace . . . . .	34
<b>4 Ověření funkčnosti softwaru a vizualizace</b>	<b>36</b>
4.1 Návrh regulátoru . . . . .	36
4.2 Ověření vizualizace . . . . .	38
<b>5 Závěr</b>	<b>39</b>
<b>Literatura</b>	<b>40</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>42</b>
<b>A Hardwarová konfigurace automatu</b>	<b>43</b>
<b>B Schéma zapojení - hlavní přívod napájení a zdroje</b>	<b>44</b>

C Schéma zapojení - digitální výstupy	45
D Schéma zapojení - čerpadla, ventilátor a průtokový ohřívač	46
E Schéma zapojení - analogový vstupy	47
F Schéma zapojení - digitální vstupy	48
G Schéma zapojení - průtokoměry	49
H Schéma zapojení - analogové výstupy	50
I Schéma zapojení - analogový vstup hart	51

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Model výměníku[14]	13
1.2	Princip průtoku média výměníkem Alfa Laval[2]	14
1.3	Trojcestný ventil [9]	17
1.4	Průtočná charakteristika ventilů [9]	18
1.5	Převodník TMT162 [10]	19
1.6	Teploměr TMR 35 [10]	19
1.7	Automat ControlLogix [11]	20
1.8	PanelView Plus [12]	23
2.1	Přechodová charakteristika	25
2.2	Blokové schéma řízení modelu	26
2.3	Linearizace ventilu přímkami	31
3.1	Ukázková vizualizace	33
3.2	Vizualizace - hlavní okno	35
3.3	Vizualizace - graf	35
4.1	Skutečná odezva na jednotkový skok ze 34 °C na 40 °C	36
4.2	Skutečná odezva na jednotkový skok ze 40 °C na 50 °C	37
4.3	Skutečná odezva na jednotkový skok ze 40 °C na 55 °C	37
4.4	Přenos řízení	38

## SEZNAM TABULEK

1.1	Používaná média ve výměnících tepla [1]	12
1.2	Nastavení čerpadla otočným přepínačem [8]	16
2.1	Aliases pro jednotlivé vstupy a výstupy	27
2.2	Převodní tabulka analogových vstupů a výstupů	28
2.3	Teploty pro identifikaci	29
2.4	Časy identifikace	29
2.5	Přímky proložení	31

# ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je seznámit se s instrukcemi firmy Rockwell Automation, modelem výměníku tepla, zobrazovací jednotkou PanelView Plus a pro tyto prostředky navrhnout vzorovou úlohu. V první části se seznámíme s obecnými vlastnostmi výměníku tepla, modelem výměníku, komponenty používanými v modelu výměníku tepla, s automatem ControlLogix, jeho prvky a panelem PanelView Plus. Navrhnou zadání a vizualizaci pro model výměníku tepla. Tyto jednotlivé návrhy realizují na modelu výměníku. Součástí návrhu řízení je postup vypracování, návod na identifikaci a na linearizaci. V poslední části mé práce vypracuji zkušební měření dle zadání, navrhnou vizualizaci a vyzkouším funkčnost programu a vizualizace.

# 1 MODEL VÝMĚNÍKU TEPLA

## 1.1 Varianty výměníků

Výměník tepla[1] je zařízení, do kterého na primární straně vstupuje teplejší (studenější) látka a na straně sekundární látka studenější (teplejší). Úkolem výměníku je předat nebo odebrat teplo sekundárním látkám.

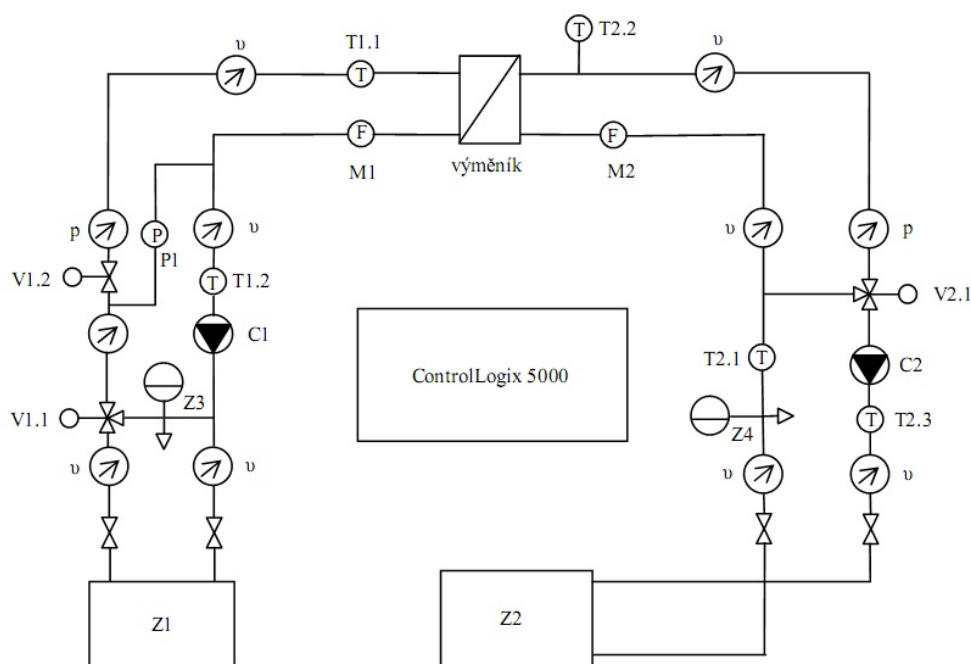
Dělení podle předávání tepla mezi medii:

- Rekuperační - v nich se teplo sdílí prostupem přes teplosměnnou plochu oddělující obě látky.
- Regenerační - v nich se teplosměnná plocha střídavě ohřívá teplejší (ochlazuje) látkou a ochlazuje chladnější (ohřívanou) látkou. Náplň musí mít jednak dostatečně velký povrch pro sdílení tepla, jednak velkou tepelnou kapacitu pro akumulaci tepla.
- Směšovací - (nazývané též zcela přesně kontaktní) - v nich se obě látky stýkají a přenos tepla je zpravidla spojen s přenosem hmoty.

Tab. 1.1: Používaná média ve výměnících tepla [1]

Ohřívající látky	Ohřívané látky
Pára	Pára
Voda	Voda
Olej	

## 1.2 Schéma modelu výměníku



Obr. 1.1: Model výměníku[14]

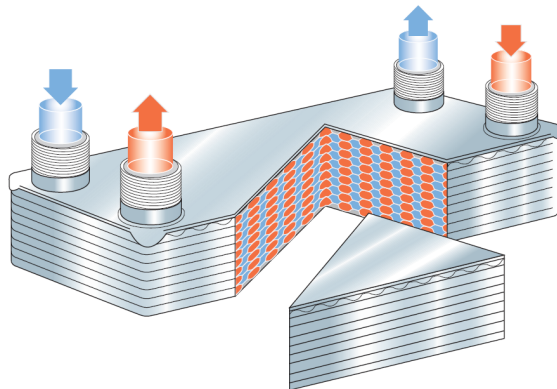
- Z1 - zdroj tepla, zásobníkový ohřivač ARISTON o objemu 10 litrů s výkonem 2 kW
- Z2 - spotřebič tepla, vzduchový konvektor s ventilátorem
- Z3 - tlaková expanzní nádoba primárního okruhu s pojišťovacím ventilem
- Z4 - tlaková expanzní nádoba sekundárního okruhu s pojišťovacím ventilem
- V1.1 - trojcestný regulační ventil primárního okruhu LDM RV111 R3313 s pohonem SSC61/M
- V1.2 - regulační ventil primárního okruhu LDM RV111 R2333 s pohonem SSC61/M
- V2.1 - trojcestný regulační ventil sekundárního okruhu LDM RV111 R3313 s pohonem SSC61/M
- C1 - oběhové čerpadlo primárního okruhu GRUNDFOS ALPHA+ 15-40
- C2 - oběhové čerpadlo sekundárního okruhu GRUNDFOS ALPHA+ 15-40

- M1 - průtokoměr na primární straně výměníku
- M2 - průtokoměr na sekundární straně výměníku
- P1 - rozdílový tlakový snímač, BD Sensors DMD331
- T1.1 - teplota primárního okruhu před vstupem do výměníku, příložný snímač Rawet PTP05
- T1.2 - teplota primárního okruhu po výstupu z výměníku, příložný snímač Rawet PTP05
- T2.1 - teplota sekundárního okruhu výstupu z radiátoru, příložný snímač Rawet PTP05
- T2.2 - teplota sekundárního okruhu výstupu z výměníku, příložný snímač Rawet PTP55
- T2.3 - teplota sekundárního okruhu vstupu radiátoru, příložný snímač Rawet PTP05
- T3.1 - teplota v místnosti (není v modelu zakreslen, nepřipojuje se k potrubí), převodník Endress Hauser TMT162 s teploměrem TMR35

Dále pak jsou v modelu namontovány analogové ručkové teploměry (  $t$  ) s rozsahem 0-120 °C a tlakoměry (  $p$  ) s rozsahem 0-250 kPa.

### 1.3 Popis použitých prvků v modelu výměníku tepla

Způsob zapojení všech prvků naleznete v příloze B-I.



Obr. 1.2: Princip průtoku média výměníkem Alfa Laval[2]

#### Alfa Laval CB14-HVC[2]

Základem mědí pájeného deskového výměníku je svazek profilovaných desek lisovaných z nerezového plechu. Desky jsou k sobě poskládány tak, aby mezi nimi

vznikly kanály, do kterých je vstupními otvory distribuována teponosná kapalina. Každá deska je obtékána primárním médiem z jedné strany a sekundárním médiem ze strany druhé. Mezi jednotlivými médii tak dochází k přestupu tepla. Pevné spojení měděnou pájkou na všech styčných bodech zajišťuje optimální účinnost přestupu tepla a vysokou odolnost proti tlaku a teplotnímu namáhání. Objem kanálu 0,02 l. Maximální průtok 1,3 l/s.

#### **Zásobníkový ohříváč ARISTON[3]**

Objem ohříváče je 10 l, regulace teploty se provádí otočením regulátoru ve směru hodinových ručiček, ideální provozní teplota je cca 55. . . 60 °C. Tato teplota umožňuje optimální výkon ohříváče, výraznou úsporu energie a dlouhodobou životnost přístroje.

#### **Odporový teploměr příložený PTP05 [4]**

Přístroj je určen pro měření teploty potrubí. Vhodný pro trubky s průměrem od 15 mm. Vhodný pro venkovní použití, krytí IP65, výstup 4-20 mA, rozsah teplot 0...80 °C, přesnost  $\pm 2,5$  °C, napájení 12-34 V DC.

#### **Odporový teploměr příložený PTP55 [5]**

Teploměr určený pro montáž do potrubí. Stonek s čidlem je vyroben z nerezů s krytím IP56. Rozsah měřených teplot 0. . . 100 °C, s přesností 0,25 °C, výstupem je proud 4-20 mA, napájecí napětí je 12-34 V DC.

#### **Rozdílový tlakový snímač, BD Sensors DMD331 [6]**

Snímač převádí rozdíl tlaku mezi pozitivním a negativním vstupem na analogový výstupní signál. Nabízí se výstupy 4-20 mA/2-vodič, 0-10 V/3-vodič. Přesnost  $\pm 0,5$  % a časová odezva  $< 5$  ms. Teplotní rozsah měřeného média -25...125 °C.

#### **Průtokoměr ENBRA EV-I [7]**

Velikost měřidla 80 mm, měření do teploty 90 °C, jednovtokový lopatkový suchoběžný vodoměr v provedení s impulzním výstupem 1 l/imp. a 10 l/imp..

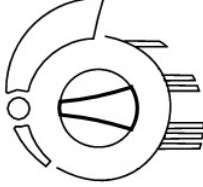
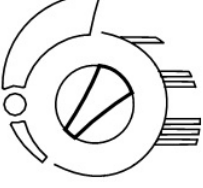
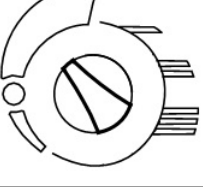
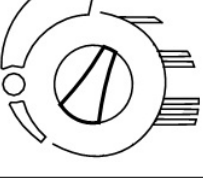
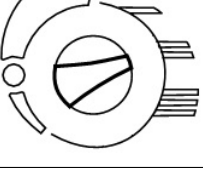
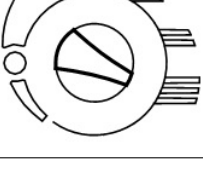
#### **Oběhová čerpadla GRUNDFOS ALPHA+ 15-40[8]**

Jsou čerpadla sloužící pro dopravu médií v zařízení pro vytápění. Čerpadla mohou být používána v systémech teplé užitkové vody.

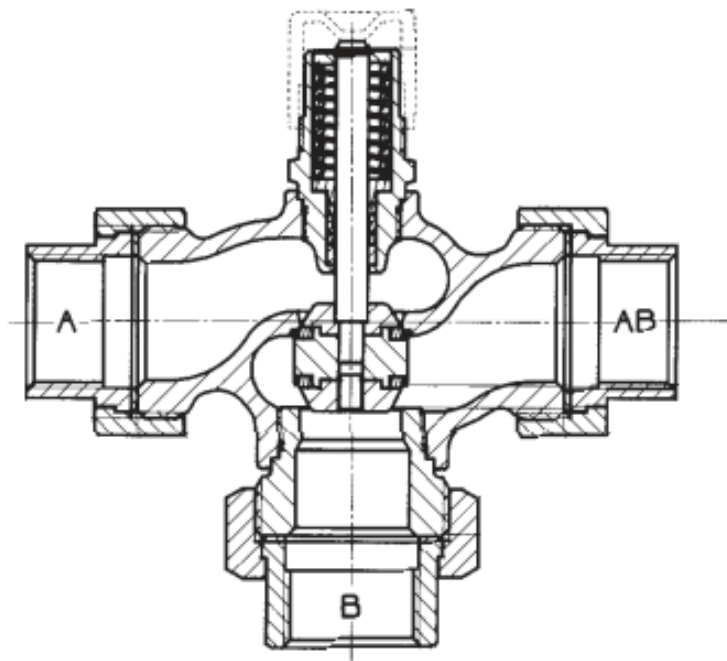
Čerpadla GRUNDFOS ALFA+ jsou vhodná pro použití:

- V zařízeních s konstantním nebo kolísajícím průtokem.
- V zařízeních s proměnlivou vstupní teplotou média.
- V zařízeních, u nichž se požaduje noční regulovaný provoz.

Tab. 1.2: Nastavení čerpadla otočným přepínačem [8]

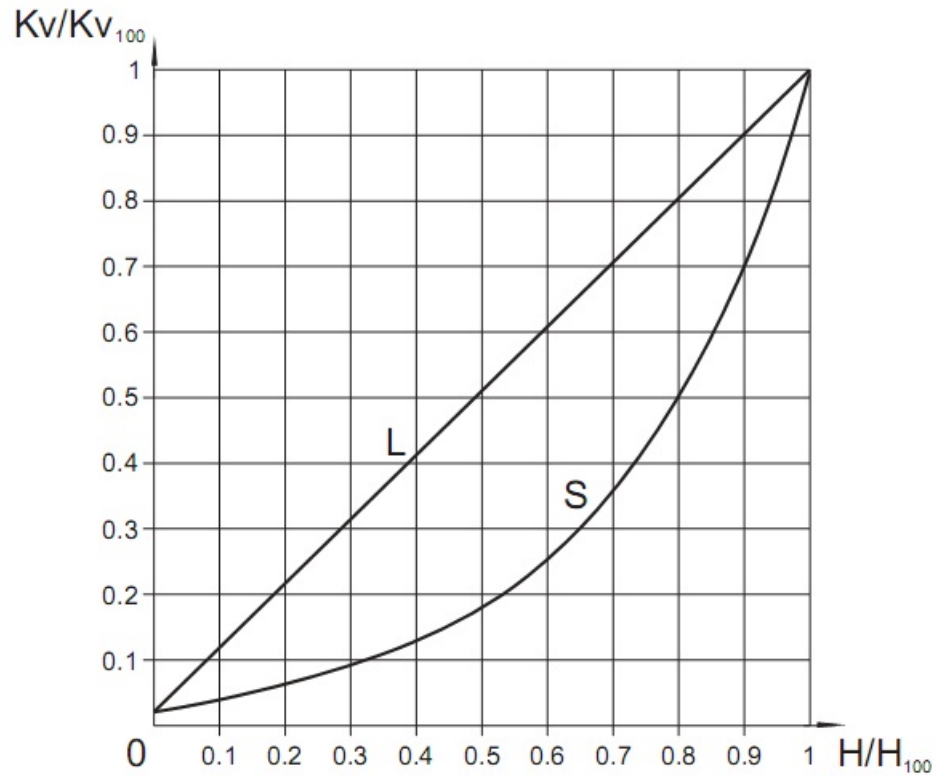
Nastavení	Výsledek	Systém
	<p>Výkon čerpadla nastaven podle požadavků na vytápění (pro 80-90 % rodinných domů).</p>	<p>Otopný systém s proměnným průtokem s normálním odporem, s termostatickým ventilem nebo bez termostatického ventilu.</p>
	<p>Výkon čerpadla je regulován.</p>	<p>Otopný systém s proměnným průtokem s nízkým odporem, s termostatickým ventilem nebo bez termostatického ventilu.</p>
	<p>Výkon čerpadla je zvýšen.</p>	<p>Otopný systém s proměnným průtokem s vysokým odporem, s termostatickým ventilem nebo bez termostatického ventilu.</p>
	<p>Čerpadlo běží na minimální výkon.</p>	<p>Otopný systém s malým konstantním průtokem. Nastavení v případě použití obtokového ventilu v systému.</p>
	<p>Čerpadlo běží na střední výkon.</p>	<p>Středně velký obtokový systém s konstantním průtokem.</p>
	<p>Čerpadlo běží na maximální výkon.</p>	<p>Otopný systém s velkým konstantním průtokem. Nastavení v případě odvzdušnění otopného systému.</p>

**Trojcestný regulační ventil LDM RV111 R3313 s pohonem SSC61/M[9]**  
Ventily RV111 se vyznačují minimálními stavebními rozměry a hmotností, kvalitní regulační funkcí a vysokou těsností v závěrném směru. Pracovní rozsah teplot je 2...150 °C. Ventily jsou ovládány elektrickým pohonem SSC61/M napájeným 24 V AC a řízeny 0-10 V DC. Doba přechodu ventilu je 30 s. Při řídicím napětí 10 V je ventil propustný mezi A - AB, při 0 V je propustný B - AB.



Obr. 1.3: Trojcestný ventil [9]

**Dvoucestný regulační ventil LDM RV111 R2333 s pohonem SSC61/M[9]**  
Dvoucestný ventil se od trojcestného liší tím, že ve vývodu B je ucpávka. Funguje pouze jako uzavírací ventil.



Obr. 1.4: Průtočná charakteristika ventilů [9]

L - Lineární charakteristika

$$Kv/Kv_{100} = 0.0183 + 0.9817 \cdot (H/H_{100}) \quad (1.1)$$

S - LDM spline charakteristika

$$\begin{aligned} Kv/Kv_{100} = & 0.0183 + 0.269 \cdot (H/H_{100}) - 0.380 \cdot (H/H_{100})^2 \\ & + 1.096 \cdot (H/H_{100})^3 - 0.194 \cdot (H/H_{100})^4 \\ & - 0.265 \cdot (H/H_{100})^5 + 0.443 \cdot (H/H_{100})^6 \end{aligned} \quad (1.2)$$

$Kv/Kv_{100}$  - Skutečný průtok ventilem

$H/H_{100}$  - Požadovaný průtok ventilem

### Teplotní převodník Endress Hauser TMT 162 [10]

Převodník teploty TMT162 je univerzální programovatelný dvoudrátový převodník se dvěma měřicími vstupy pro odporové teploměry. Převodník je vybaven LCD zobrazovačem ukazující měřenou teplotu a sloupcový graf. Výstupní analogový signál s HART protokolem o proudu 4-20 mA. Řídicím napětí 11-40 V DC. Krytí převodníku IP66/67.



Obr. 1.5: Převodník TMT162 [10]

### Teploměr Endress Hauser TMR 35 CITACE [10]

Kompaktní teploměr PT100, třídy A, s výstupem 4-20 mA. Teplotní rozsah měřeného média -50...100 °C. Vyroben z nerezové oceli s krytím IP66/67.



Obr. 1.6: Teploměr TMR 35 [10]

## 1.4 Automat ControlLogix 5000

Flexibilní systém ControlLogix[11] dovoluje kombinaci více procesorů, sítí a I/O bez omezení.

- ControlLogix umožňuje integraci do existujících PLC systémů. Uživatelé existujících sítí mohou posílat a přijímat do/z řídicích systémů na jiné síť.
- Platforma ControlLogix poskytuje vysokorychlostní datový přenos po vnitřní sběrnici a procesorová jednotka ControlLogix poskytuje velmi rychlé řízení.
- Platforma ControlLogix poskytuje modulární přístup k řízení. Můžete přidat tolik procesorových jednotek a komunikačních modulů, kolik potřebujete. Velikost procesorové paměti lze zvolit tak, aby vyhovovala vaší aplikaci.
- Hardwarová platforma navržena tak, aby odolávala vibracím, tepelným extrémům a elektrickému rušení vyskytujícím se v drsných průmyslových podmínkách.
- ControlLogix vytváří platformu, která sjednocuje množství technologií zahrnující sekvenční, měničové, pohonové a procesní aplikace.
- Vyhovuje potřebám mnoha aplikací, kde je řízení vysoce distribuované a velikost prostoru omezena.
- ControlLogix umožňuje komunikovat pomocí EtherNet/IP, ControlNet, DeviceNet, Data Highway Plus, Remote I/O a SynchLink

Architektura systému ControlLogix poskytuje široký rozsah vstupních a výstupních modulů pro přizpůsobení mnoha aplikacím od rychlých diskretních po řízení procesů. Architektura systému ControlLogix používá technologii producent/spotřebitel, která dovoluje, aby byly vstupní informace a výstupní stav sdíleny mezi více ControlLogix procesy.



Obr. 1.7: Automat ControlLogix [11]

## 1.4.1 Použité moduly

### **Procesorový modul 1756 - L63**

Modul má uživatelskou paměť 8 MB.

### **Komunikační modul Ethernet/IP 1756 - ENBT/A**

Modul je schopen komunikovat rychlostí 100/10 Mb/s full duplex a 10 Mb/s half duplex, obsahuje více paměti na desce, umožňuje přenos řídicích a informačních dat současně, provozní teplota 0...60 °C. Tento modul využívám pro komunikaci mezi osobním počítačem a automatem.

### **Komunikační modul Web server 1756 - EWEB/A**

Je to první modul, který přináší tento typ s webovou funkcí pro řízení Logix platformu. S modulem EWEB uživatelé mohou zobrazit kontrolní informace kdekoli a kdykoli ve standardním webovém prohlížeči. EWEB modul může být použit k odesílání zpráv o kritické události prostřednictvím e-mailu. Dále je schopný předávat informace různým softwarovým aplikacím pomocí XML dat.

### **Modul s analogovými vstupy 1756 - IF8H**

Má 8 diferenciálních analogových vstupů podporujících HART konektivitu modelu. Příkaz HART lze přenášet jako neplánované zprávy. Rozlišení 16-21 bit. Podporované senzory  $\pm 10, 25 V$ ;  $0...5, 25 V$ ;  $0...10, 25 V$ ;  $0...20 mA$ ;  $4...20 mA$ . Modul má vyjímatelnou svorkovnici RTB.

### **Měřicí modul (průtokoměr) 1756 - CFM/A**

CFM je inteligentní I/O modul, který provádí vysokorychlostní měření průtoku v průmyslových aplikacích s frekvencí 100kHz. CFM má dva kanály pro měření průtoku. Modul má vyjímatelnou svorkovnici RTB.

### **Modul s analogovými vstupy 1756 - IF16**

Analogový modul podporuje datový alarm v modulu, vzorkování kanálu v reálném čase a formát dat 32-bitový s plovoucí desetinou čárkou nebo 16-bitový Integer podle IEEE. Tři možnosti využití vstupů 8 diferenciálních, 4 rychlé diferenciální a 16 jednoduchých. Rozlišení 16 bit. Podporované senzory  $\pm 10, 25 V$ ;  $0...5, 25 V$ ;  $0...10, 25 V$ . Modul má vyjímatelnou svorkovnici RTB.

### **Modul s analogovými výstupy 1756 - OF8H/A**

Analogový modul podporuje datový alarm v modulu, vzorkování kanálu v reálném čase a formát dat 32-bitový s plovoucí desetinou čárkou nebo 16-bitový Integer podle IEEE. Modul má 8 napěťových nebo proudových kanálů o rozlišení 15 bit. Modul má vyjímatelnou svorkovnici RTB.

**Modul s digitálními vstupy 1756 - IB16D** Tento modul poskytuje diagnostické vlastnosti na bodové úrovni. Modul má 16 vstupů, napětí vstupů při zapnutí 12/24 V DC a provozní napětí 10...30 V DC, maximální proud při zapnutí 13 mA. Modul má vyjímatelnou svorkovnici RTB.

**Modul s digitálními výstupy 1756 - OB16D** Tento modul poskytuje diagnostické vlastnosti na bodové úrovni. Modul má 16 vstupů, napětí vstupů při zapnutí 24 V DC a provozní napětí 19,2...30 V DC, jmenovitý proud 1 výstupu (2 A při 30 °C ; 1 A při 60 °C), Modul má vyjímatelnou svorkovnici RTB.

**Vyjímatelná svorkovnice RTB** Poskytuje flexibilní spojení mezi vodiči z technologie a I/O moduly. Svorkovnice ulehčí výměnu karty a práci s moduly. Svorkovnice RTB jsou buď šroubovací, nebo pružinové. Možnost 20 nebo 30 piny.

## 1.5 PanelView Plus 1000



Obr. 1.8: PanelView Plus [12]

PanelView Plus 1000 [12] je operátorový panel s rozměry 211x158 mm, s dotykovou obrazovkou velikosti 10.4" o rozlišení 640x480, klávesnicí, napájení je 24 V DC. Vyrábějí se varianty s ochranným potahem, jsou k dispozici pro splnění zvláštních podmínek prostředí.

### **Panel obsahuje:**

- Komunikační port: RS-232, Ethernet, ControlNet, DeviceNet, RemoteI/O
- Dva USB porty pro podporu klávesnice a myši

U terminálů PanelView Plus obsahuje vnitřní paměť CompactFlash software FactoryTalk View Machine Edition a paměť Flash. Terminál PanelView Plus je konfigurován pomocí nástroje FactoryTalk View Studio, je k dispozici ve dvou verzích. FactoryTalk View Studio pro Machine Edition je pouze pro vývoj projektů Machine Edition. FactoryTalk View Studio pro FactoryTalk View Site Edition konfiguruje jak Machine Edition, tak Site Edition.

V programu FactoryTalk View Studio lze projekty vyvíjet a odzkoušet, čímž se ušetří vývojový čas.

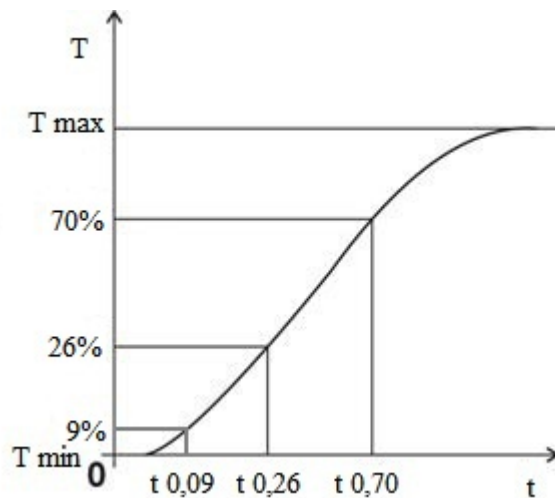
## 2 NÁVRH A REALIZACE MODELOVÉ ÚLOHY

### 2.1 Zadání modelové úlohy

Vytvořte řízení pro primární a sekundární okruh modulu výměníku tepla. Navrhněte řízení pro primární okruh teploty vstupující vody do výměníku tepla. Teplotu řiďte za stálého průtoku pomocí trojcestného ventilu, který bude podle potřeby míchat teplou vodu od průtokového ohřívače s chladnější vodou vracující se z výměníku tepla. K řízení použijte PID regulátor. Automat ControlLogix je vybaven podprogramem pro spojitou regulaci technologických procesů. V sekundárním okruhu řiďte teplotu v místnosti. Regulaci teploty v místnosti řešte pomocí otevírání a zavírání s hysterezí  $\pm 1^\circ\text{C}$ , který podle potřeby přepíná mezi teplou vodou od výměníku tepla a chladnější vodou vracující se od spotřebiče. Pro rychlejší a přesnější vytopení místnosti je spotřebič opatřen ventilátorem. Vytvořte přehlednou a snadno pochopitelnou vizualizaci, kterou by mohla poučená osoba vypínat, zapínat, měnit žádané teploty a vidět případné poruchy v modulu výměníku tepla. Vizualizace musí zobrazovat všechny důležité informace o chodu modelu tak, aby uživatel věděl, co model dělá i v případě, že na model nevidí.

## 2.2 Návod na identifikaci soustavy

Jako nejjednodušší možnost identifikace doporučuji identifikaci pomocí přechodové charakteristiky. Soustava je druhého řádu s dopravním zpožděním. Z přechodové charakteristiky si odečteme dobu, ve které jsme dosáhly 9%, 26% a 70% z rozsahu možných měřitelných teplot, jako 0 % si dosadíme počáteční snímanou teplotu ( $T_{min}$  - nejnižší ustálená teplota ve výměníku) a jako 100 % si dosadíme maximální teplotu ( $T_{max}$ ) průtokového ohříváče 60 °C. Více informací k identifikaci viz [13].



Obr. 2.1: Přechodová charakteristika

Přenos soustavy:

$$F_s(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1)} \cdot e^{-T_d p} \quad (2.1)$$

Výpočet časových konstant  $T_d$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  a zesílení  $K$ :

$$T_d = 2 \cdot t_{0,09} - t_{0,26} \quad (2.2)$$

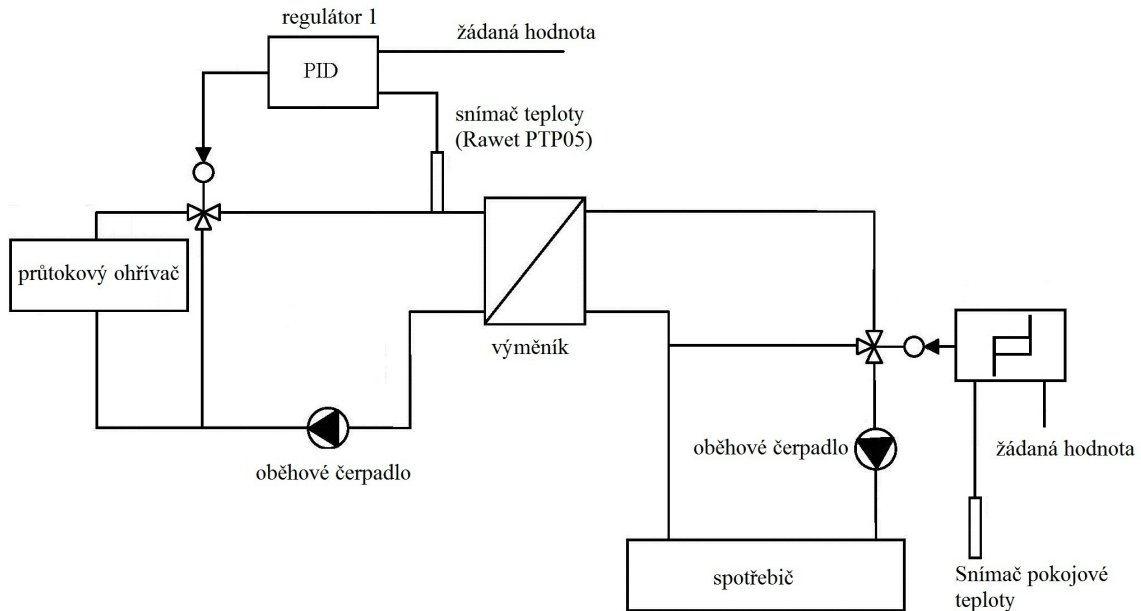
$$B = 0,83 \cdot t_{0,70} - 0,24 \cdot t_{0,26} + 0,48 \cdot t_{0,09} - T_d \quad (2.3)$$

$$C = 4 \cdot (t_{0,26} - t_{0,09})^2 \quad (2.4)$$

$$T_1 = \frac{B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot C}}{2} \quad (2.5)$$

$$T_2 = \frac{B - \sqrt{B^2 - 4 \cdot C}}{2} \quad (2.6)$$

$$K = T_{max} - T_{min} \quad (2.7)$$



Obr. 2.2: Blokové schéma řízení modelu

## 2.3 Pracovní postup

1. Seznamte se s modelem výměníku tepla (principem, jeho prvky a automatem)
2. Spusťte program RSLinx a RSLogix 5000. Vytvořte nový projekt a hardwarovou komunikaci nastavte podle návodu v adresáři.  
Q:\vyuka\stohl\BPGA\komunikace
3. Zlinearizujte ventil.
4. Identifikujte soustavu primárního okruhu, navrhňte regulátor a ověřte funkčnost na modelu.
5. Ošetřete všechny nebezpečné stavy, které by mohly zapříčinit poškození součástí.
6. Navrhňte vizualizaci a nastavte komunikaci mezi automatem a panelem View.

## 2.4 Tabulka vstupů a výstupů

Tab. 2.1: Aliasy pro jednotlivé vstupy a výstupy

Typ	ALIAS	Popis	Adresa
AI	T1_1	Teplota primárního vstupu do výměníku	Local:6:I.Ch0Data
AI	T1_2	Teplota primárního výstupu z výměníku	Local:6:I.Ch1Data
AI	T2_1	Teplota sekundárního výstupu ze spotřebiče	Local:6:I.Ch2Data
AI	T2_2	Teplota sekundárního výstupu z výměníku	Local:6:I.Ch3Data
AI	T2_3	Teplota sekundárního vstupu do spotřebiče	Local:6:I.Ch4Data
AI	T3_1	Teplota v místnosti	Local:4:I.Ch1Data
AI	P_1	Snímač tlakové difference	Local:6:I.Ch5Data
AO	V1_1	Trojcestný regulační ventil primárního okruhu	Local:7:O.Ch0Data
AO	V1_2	Dvojcestný ventil primárního okruhu	Local:7:O.Ch1Data
AO	V2_1	Trojcestný regulační ventil sekundárního okruhu	Local:7:O.Ch2Data
DI	A1_zelena	Zelené tlačítko na výměníku	Local:8:I.Data.4
DI	A2_cervena	Červené tlačítko na výměníku	Local:8:I.Data.5
DI	A3_oranzova	Oranžové tlačítko na výměníku	Local:8:I.Data.6
DI	ZH_ohrivac	Zpětné hlášení od stykače zásuvky ohřívače	Local:8:I.Data.7
DO	C1_cerpadlo _primar	Čerpadlo v sekundární části modelu	Local:9:O.Data.0
DO	C2_cerpadlo _sekundar	Čerpadlo v primární části modulu	Local:9:O.Data.1
DO	Ventilátor	Ventilátor u spotřebiče	Local:9:O.Data.2
DO	Ohrivac	Průtokový ohřívač	Local:9:O.Data.3
DO	A1_LED _zelena	Signalizace zeleného tlačítka	Local:9:O.Data.5
DO	A2_LED _cervena	Signalizace červeného tlačítka	Local:9:O.Data.6
DO	A3_LED _oranzova	Signalizace oranžového tlačítka	Local:9:O.Data.7

Tab. 2.2: Převodní tabulka analogových vstupů a výstupů

Typ	ALIAS	Hodnoty na automatu	Hodnoty v programu
AI	T1_1	4...20 mA	0...80 °C
AI	T1_2	4...20 mA	0...80 °C
AI	T2_1	4...20 mA	-25...120 °C
AI	T2_2	4...20 mA	0...80 °C
AI	T2_3	4...20 mA	0...80 °C
AI	T3_1	4...20 mA	-50...100 °C
AI	P_1	4...20 mA	-1...1
AO	V1_1	0...10 V DC	0...100 %
AO	V1_2	0...10 V DC	0...100 %
AO	V2_1	0...10 V DC	0...100 %

## 2.5 Popis procesu

### Funkce

- Stisknutím tlačítka *A1\_zelena* se spustí *ohrivac*, čerpadlo *C2\_cerpadlo\_sekundar* a otevře se ventil *V1\_2*.
- Pokud bude zadána žádaná teplota v místnosti větší než skutečná spustí se regulace primárního okruhu a otevře se ventil *V2\_1*.
- Čerpadlo *C1\_cerpadlo\_sekundar* se spustí po 40 s příkazu k otevření ventilu *V1\_2*.
- *ventilator* se spustí, až když *T2\_1* bude o 5 °C větší než teplota v místnosti *T3\_1*.
- Stisknutím tlačítka *A2\_cervena* se vypne celý model a otevřou všechny ventily.

### Poruchy

Při dojití k poruše se celý model vypne a zavřou se ventily. Z poruchy se lze dostat po vypnutí a následném zapnutí.

Porucha nastane když:

- Čerpadlo *C1\_cerpadlo\_primar* je zapnuto a průtokoměr hlásí nulový průtok.
- Požadovaná teplota na výměníku je zadána vyšší než 60 °C.
- Požadovaná teplota v místnosti je vyšší než požadovaná teplota na výměníku.

### Signalizace tlačítek

- *A1\_LED\_zelena* svítí pokud je model zapnut a nenastala porucha.
- *A2\_LED\_cervena* svítí pokud je model vypnut a při poruše.
- *A3\_LED\_oranzova* bliká pokud nastala porucha.

## 2.6 Identifikace soustavy

Podle počáteční teploty měření jsem si vypočetl teploty pro identifikaci.

Tab. 2.3: Teploty pro identifikaci

Název	Teplota [°C]
$T_{max}$	60,00
$T_{min}$	34,00
$T_{09}$	36,34
$T_{26}$	40,76
$T_{70}$	52,20

Do programu jsem vložil vypočtené teploty. Program je ovládán třemi tlačítky. Červený tlačítko *A2\_cervena* slouží k vypnutí a nastavím počáteční stav, kdy vypnu čerpadlo v primární větvi, otevřu ventil *V1\_2*, zavřu ventil *V1\_1*, proměnou *pomocna* nastavím na nulu. Hned po nastavení počátečního stavu stisknu tlačítko *A1\_zelena*, které spustí čerpadlo *C1\_cerpadlo\_primar* a *ohrivac*. Výpis programu pro identifikace je na CD.

Pomocí oranžového tlačítka *A3\_oranzova* nastavím proměnou *pomocna* na hodnotu jedna. *Pomocna* ovládá samotnou identifikaci časů pro určité teploty. Požadované časy se uloží po dosažení požadované teploty.

Tab. 2.4: Časy identifikace

Název	Čas [s]
$T_{09}$	42,71
$T_{26}$	50,21
$T_{70}$	68,21

**Výpočet soustavy:** viz 2.2

Výpočet dopravního zpoždění:

$$T_d = 2 \cdot t_{0,09} - t_{0,26} = 2 \cdot 42,71 - 50,21 = 35,21 \text{ s}$$

Výpočet koeficientů B a C:

$$\begin{aligned} B &= 0,83 \cdot t_{0,70} - 0,24 \cdot t_{0,26} + 0,48 \cdot t_{0,09} - T_d \\ &= 0,83 \cdot 68,21 - 0,24 \cdot 50,21 + 0,48 \cdot 42,71 - 35,21 = 30,06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= 4 \cdot (t_{0,26} - t_{0,09})^2 \\ &= 4 \cdot (50,21 - 42,71)^2 = 224,94 \end{aligned}$$

Výpočet časových konstant  $T_1$  a  $T_2$ :

$$\begin{aligned} T_{1,2} &= \frac{B \pm \sqrt{B^2 - 4 \cdot C}}{2} \\ T_1 &= \frac{30,06 + \sqrt{30,06^2 - 4 \cdot 224,94}}{2} = 17 \text{ s} \\ T_2 &= \frac{30,06 - \sqrt{30,06^2 - 4 \cdot 224,94}}{2} = 13 \text{ s} \end{aligned}$$

Výpočet zesílení:

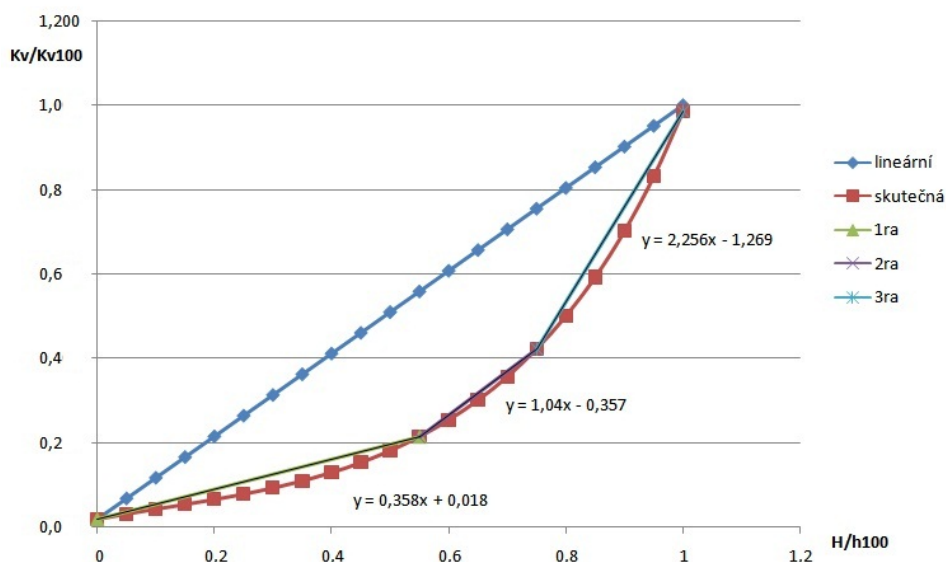
$$K = T_{max} - T_{min} = 60 - 34 = 26$$

Výsledný rovnice soustav:

$$\begin{aligned} F_s(p) &= \frac{K}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1)} \cdot e^{-T_d p} \\ F_s(p) &= \frac{26}{(17p + 1) \cdot (13p + 1)} \cdot e^{-35,21p} \end{aligned}$$

## 2.7 Linearizace ventilu

Podle charakteristiky ventilu jsem se rozhodl, že proložím graf třemi přímkami tak, aby byla odchylka od nelineární charakteristiky co nejmenší. Vypočítal jsem si skutečné hodnoty v místech, kde se měly měnit přímkami.



Obr. 2.3: Linearizace ventilu přímkami

$K_v/K_{v100}$  - Požadovaný průtok ventilem

$H/H_{100}$  - Skutečný průtok ventilem

Přepočty v ControlLogix jsem prováděl v programovém modulu strukturovaný text, do kterého lze zapisovat rovnice a podmínky. Tento program probíhá v cyklu.

Tab. 2.5: Přímký proložení

Přímká	Rovnice	$K_v/K_{v100}$
1ra	$V1.1\_NA\_VENTILU := (V1.1/100 - 0.018) / 2.256 * 100;$	0 - 21,5
2ra	$V1.1\_NA\_VENTILU := (V1.1/100 + 0.357) / 1.04 * 100;$	21,5 - 42,3
3ra	$V1.1\_NA\_VENTILU := (V1.1/100 + 1.269) / 0.358 * 100;$	42,3 - 100

## 2.8 Návrh programu

Nadpis značí název rutiny v programu, celý program je na CD.

### 1. Program

Model výměníku tepla se spouští tlačítkem *A1\_zelena* v případě, že nedošlo k poruše nastaví se proměnná *run* na 1. Vypnutí modelu se provádí tlačítkem *A2\_cervena* nastaví se proměnná *run* na 0, uzavře se ventil *V1\_1*, dojde k vypnutí signalizace poruchy pouze v případě, že byl důvod poruchy odstraněn. V případě, že nastane porucha uzavřou se všechny ventily a nastaví se proměnná *run* na 0. Pokud je model spuštěn otevře se ventil *V1\_2*, spustí se *ohri- vac*, *C2\_cerpadlo\_sekundar* a časovač se 40 s zpožděním spustí čerpadlo *C1\_cerpadlo\_primar* a PID regulátor. *ventilator* se spouští za podmínky, že teplota v radiátoru je vyšší o 5 °C oproti teplotě v místnosti, k automatickému vypnutí dojde pokud je rozdíl teplot pouze 4 °C. Porucha nastane při špatným zadání požadovaných teplot (*Teplota\_sekundar\_pozadovana* > *Teplota\_primar\_pozadovana*). *A1\_LED\_zelena* svítí za chodu pokud není model v poruše. *A2\_LED\_cervena* svítí pokud je model výměníku vypnut nebo ve stavu poruchy. *A3\_LED\_oranzova* bliká při poruše.

### 2. Přepoččet

Je program psaný ve formátu strukturovaného textu. Jeho hlavním úkolem je přepoččet hodnot nelineárního ventilu *V1\_1* tak, aby se ventil choval lineárně. Rovnice pro přepoččet jsou v Tab. 2.5. Dále složí k výpočtu rozdílů teplot.

### 3. Vizualizace

Program je vytvořen kvůli blikání signalizace poruchy. Časovač počítá do 2 s, po doběhnutí času se vynuluje, dojde k vynulování zásobní a běží znova. *tim\_1s* je nastaven na 1 pokud je hodnota zásobníku menší než 1000 ms.

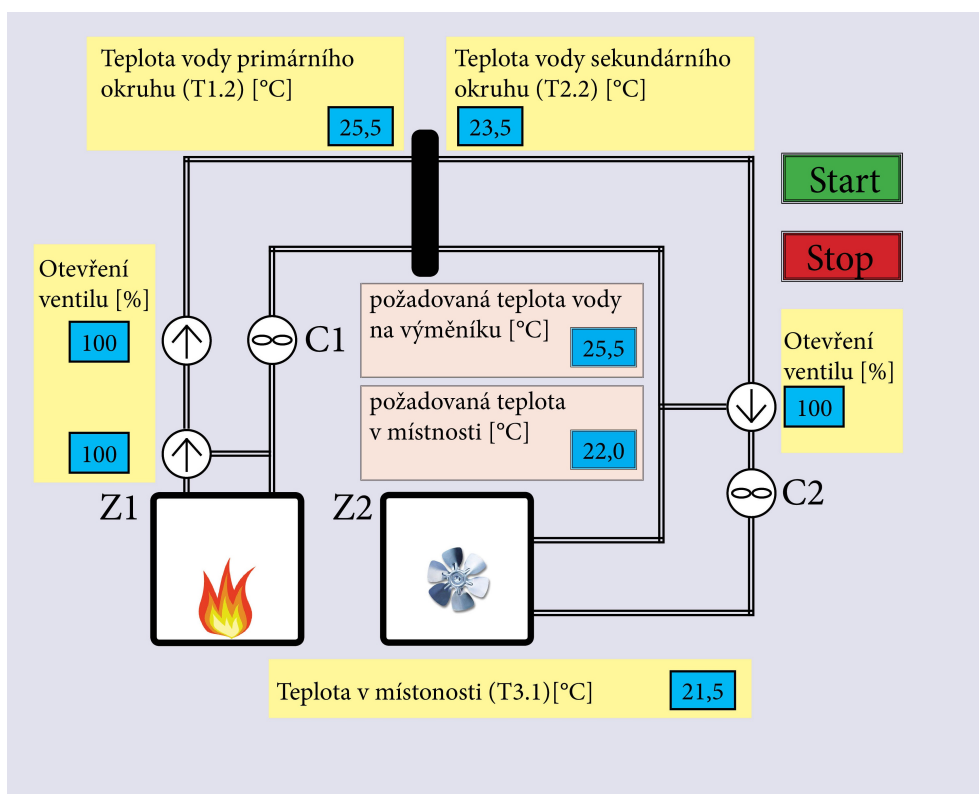
### 4. PID

Regulátor bude regulovat pokud bude nastavena proměnná *pomocna* na 1 a poběží čerpadlo *C1\_cerpadlo\_primar*.

### 3 NÁVRH A REALIZACE VIZUALIZACE

#### 3.1 Zadání vizualizace

Zadáním bylo navrhnout vizualizaci pro barevný dotykový displej. Do vizualizace vložte dvě tlačítka, zelený Start a červený Stop, která budou fungovat stejně jako *A1\_zelena* a *A2\_cervena*. Ve vizualizaci bude možno nastavovat požadované hodnoty teplot. Ve vizualizaci zobrazujte stav ventilů, při 100 % je ventil otevřen v přímém směru (proudí teplejší voda), při 0 % je ventil je v přímém směru uzavřen (proudí chladnější voda). Signalizujte čerpání čerpadel, foukání ventilátoru a ohřev průtokového ohřívače. Ve vizualizaci zobrazte teplotu v místnosti, teploty ve výměníku tepla v primární a v sekundární části. Grafická představa vizualizace je na obrázku Obr. 3.1



Obr. 3.1: Ukázková vizualizace

## 3.2 Realizace vizualizace

Vizualizaci jsem tvořil ve vývojovém prostředí Factory Talk View Studio. Seznámil jsem se s programem a navrhl jsem úvodní obrazovku.

### 3.2.1 Postup

#### Návrh a nastavení

- *Explorer/Martin Dufek 106414/RSLinx Enterprise/Communication Setup* jsem nastavil komunikaci mezi panelem a automatem.
- *Martin Dufek 106414/Graphics* jsem si vytvořil vlastní obrazovku vizualizace. Ve vizualizaci je nutné vložit tlačítka k vypnutí!
- *Martin Dufek 106414/System/Startup* jsem nastavil startovací obrazovku

#### Uložení a otestování vizualizace:

- *Application/create Runtime Application* zde jsem uložil vizualizaci ve formátu .mer
- *Application/Test Application* mi umožnil otestovat funkčnost vizualizace ještě v počítači

#### Přenos do Panelu View a spuštění

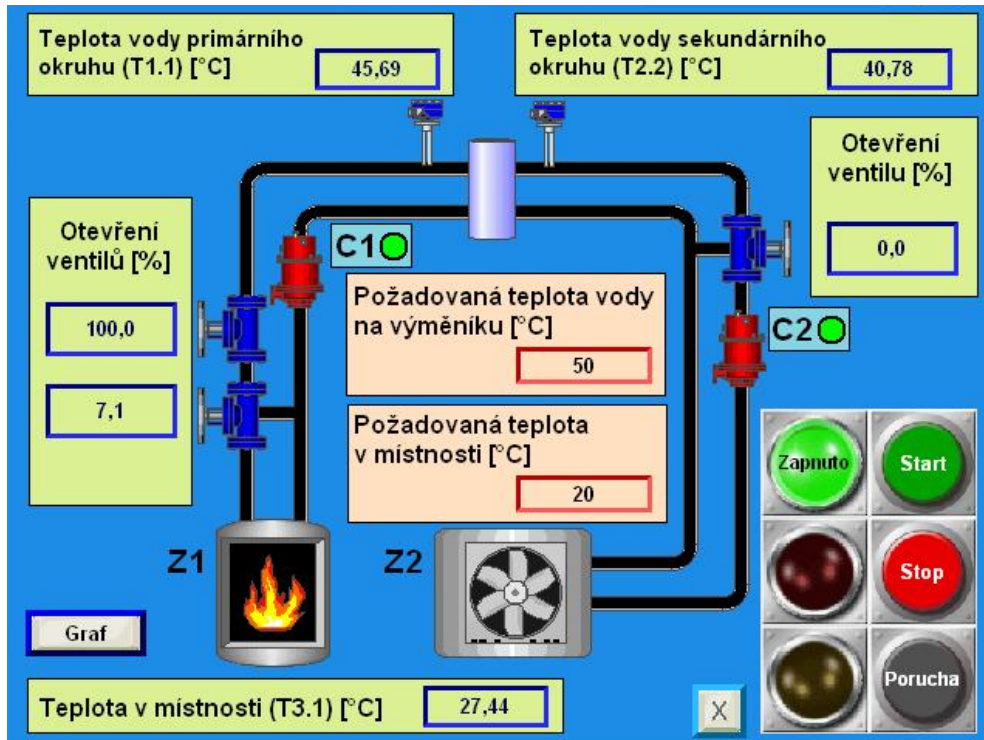
- *Tools/Transfer Utility* nastavím adresu Panelu View a zvolím program, který chci vložit
- na Panelu View otevřu *Load Application* [F1] a vyberu vizualizaci
- na závěr pustím vizualizaci *Run*

### 3.2.2 Popis vizualizace

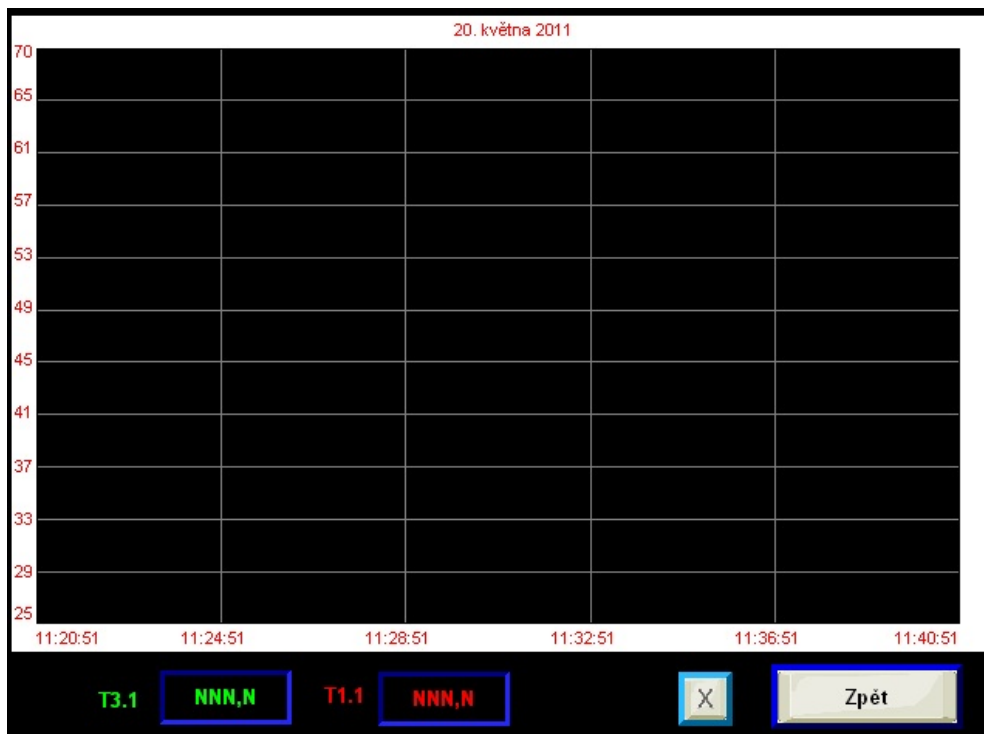
Samotná vizualizace se skládá ze dvou oken, v prvním okně je zobrazena hlavní vizualizace a ve druhém je zobrazen graf.

Na vizualizaci jsou zobrazeny teploty na výměníku, teplota v místnosti. Dále je zobrazeno otevření ventilů. Chod čerpadel je signalizován zelenou kontrolkou. Hodnoty v červených rámečkách lze na vizualizaci měnit, po označení se zobrazí klávesnice k zadání nové hodnoty. Ohřev je zobrazen plamenem, zapnutí ventilátoru signalizuje točící se vrtule. Ve vizualizaci jsou tři tlačítka a kontrolky jako na samotném modelu výměníku tepla. Tlačítka mají vlastnosti viz 2.5. Tlačítka *Graf* otevře druhé okno s grafem. Program vizualizace je na CD.

V okně *Graf* se vykresluje průběh teploty vstupující do výměníku a teploty v místnosti. Ve spodní části obrazovky se zobrazují přesné hodnoty teplot. V pravém dolním rohu je návratové tlačítka *Zpět*.



Obr. 3.2: Vizualizace - hlavní okno



Obr. 3.3: Vizualizace - graf

# 4 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI SOFTWARE A VIZUALIZACE

## 4.1 Návrh regulátoru

Po identifikaci a linearizaci ventilu jsem si navrhl PID regulátor. Návrh PID regulátoru jsem udělal pomocí programu Matlab. Do programu jsem si vložil soustavu a k ní přidal pomocí Padého rozvoje 2.řádu dopravní zpoždění. Do podprogramu SISOTOOL jsem vložil celou soustavu. Přidal jsem integrátor a dvě nuly. Laděním jsem našel vhodné rozmístění nul a zesílení K.

Regulátor navržený v Matlabu:

$$Fr(p) = Kr \cdot \frac{(T_1p + 1) \cdot (T_2p + 1)}{p} = Kr \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p\right) \quad (4.1)$$

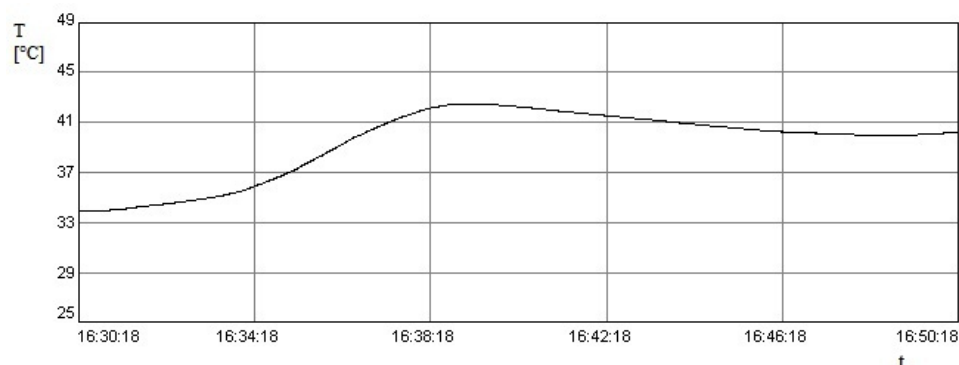
$$Fr(p) = 0,00047 \cdot \frac{(8,5p + 1) \cdot (27p + 1)}{p} = \frac{0,108^2 p \cdot 0,0167p \cdot 0,00047}{p}$$

Po vložení regulátoru do modelu výměníku tepla jsem zjistil, že tento návrh je špatný a je potřeba doladit, regulátor byl příliš pomalý.

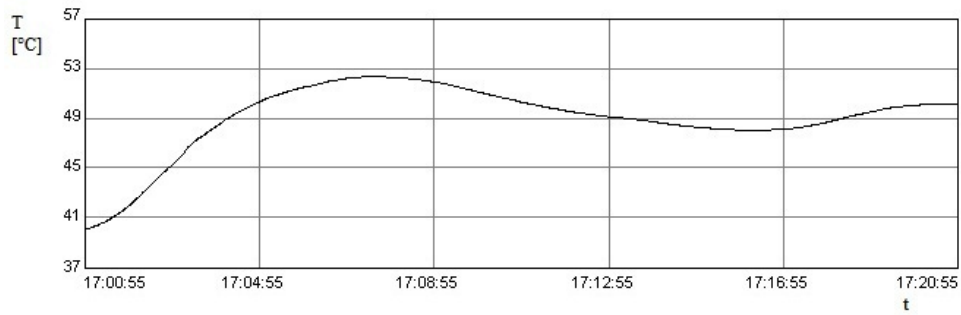
Po odladění:

$$Fr(p) = \frac{0,9747^2 p \cdot 0,039p \cdot 0,0043}{p}$$

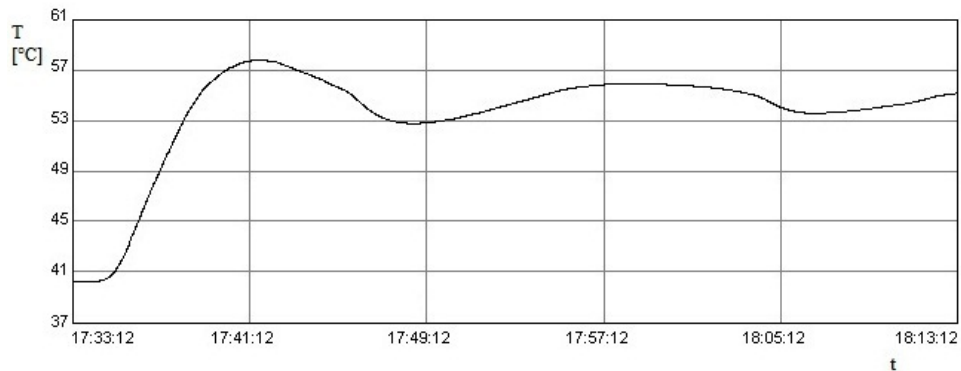
Soustava se v modelu chová stabilně.



Obr. 4.1: Skutečná odezva na jednotkový skok ze 34 °C na 40 °C



Obr. 4.2: Skutečná odezva na jednotkový skok ze 40 °C na 50 °C

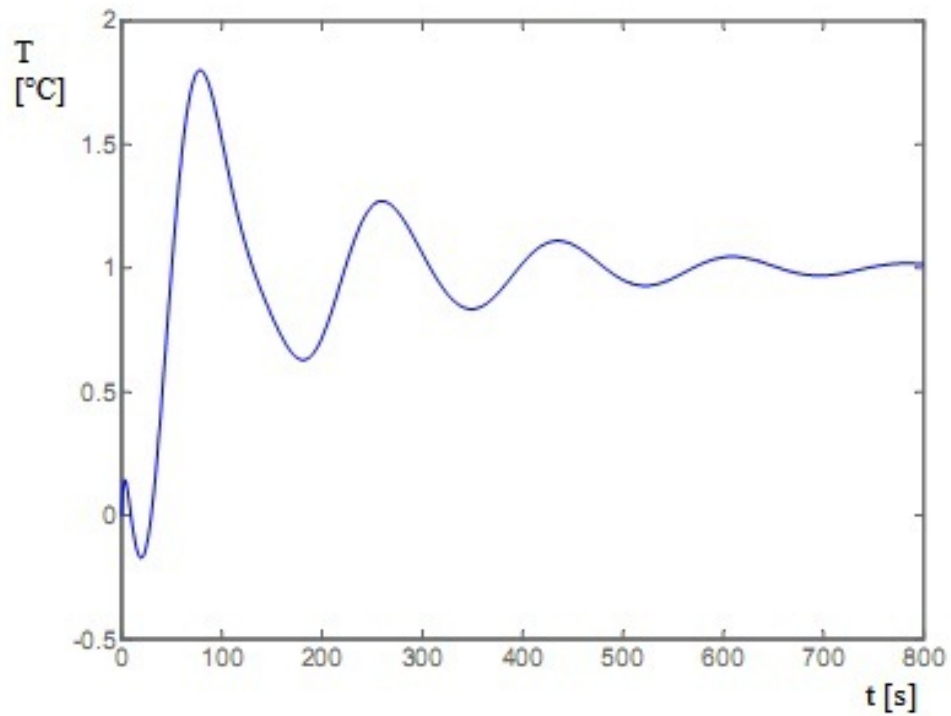


Obr. 4.3: Skutečná odezva na jednotkový skok ze 40 °C na 55 °C

Řízený model má prvotní překmit 22 %

Po zpětné kontrole v programu Matlab jsem zjistil, že při zadání soustavy a regulátoru by měl být obvod nestabilní. Pro dosažení stability postačí snížit  $K_i$  nebo celkové zesílení, čímž se celé řízení zpomalí a stabilita zvýší.

$$Fr(p) = \frac{0,9747^2 p \cdot 0,039 p \cdot 0,0023}{p}$$



Obr. 4.4: Přenos řízení

## 4.2 Ověření vizualizace

Vizualizace funguje podle zadání, zobrazuje všechny potřebné hodnoty a umožňuje ovládat model výměníku tepla popis vlastností a vzhled oken vizualizace je ukázán v kapitole 3.2.2.

## 5 ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem se zabýval návrhem zadání modelové úlohy pro model výměníku tepla. Seznámil jsem se s prvky od firmy Rockwell Automation, vizualizačním panelem PanelView Plus a modelem výměníku tepla. Zpracoval jsem podrobnou dokumentaci všech součástí modelu a nakreslil přehledné schéma zapojení viz příloha B-I. Součástí návrhu zadání jsem vypracoval návod na identifikaci soustavy. Napsal jsem postup pro linearizaci ventilů. V zadání jsem navrhl pro primární obvod řízení PID regulátorem, pro sekundární obvod řízení s hysterezí. V úloze jsem se věnoval ošetření chybových stavů při poruchách a špatným zadání hodnot. K modelu výměníku tepla jsem navrhl zadání vizualizace. Vypracoval jsem vzorovou vizualizaci. Ve vizualizaci nastavil komunikaci s modelem výměníku.

Nelinearita ventilů, kterou jsem si z počátku neuvědomil mi činila velké problémy při zkoušení regulace. V zadání úlohy jsem počítal s kontrolou poruch v závislosti na průtokoměrech. Z důvodu nefunkční karty nebyla realizace ošetření poruch možná.

Řízení PID regulátorem je dost pomalé, pro řízení by byl vhodnější rozvětvený regulační obvod. Model výměníku tepla by mohl být rozšířen o vzdálenou komunikaci, o program vytápění podle určitého časového plánu. Vizualizace by mohla nabízet údržbářský režim pro manuální ovládání.

## LITERATURA

- [1] DVOŘÁK, Zdeněk. *Výměníky tepla (pro hydraulické a pneumatické stroje)*. 1. Praha 1, Husova 5: Edita středisko ČVUT, 1983. 119 s.
- [2] ALFA LAVAL *CB14: Pájené deskové výměníky tepla* Alfa Laval spol. s.r.o. [online][cit. 9. 12. 2010] Dostupné z WWW: <<http://local.alfalaval.com/cs-cz/produkty/prenos/deskove/vytapeni/pajene/Documents/CB14.pdf>>.
- [3] ARISTON *Elektrické ohříváče vody* Ariston Thermo CZ s.r.o. [online]. poslední aktualizace 6. 2. 2007 [cit. 9. 12. 2010] Dostupné z WWW: <[http://www.ariston.cz/up\\_files/53265d7a6b38d192bc9\\_product\\_file2.pdf](http://www.ariston.cz/up_files/53265d7a6b38d192bc9_product_file2.pdf)>.
- [4] RAWET *Odporové teploměry příložené a interiérové* Rawet s.r.o. [online]. [cit. 9. 12. 2010]. Dostupné z WWW: <<http://www.rawet.cz/cz/tepl/pt20.pdf>>.
- [5] RAWET *Odporové teploměry s hlavicí* Rawet s.r.o. [online]. [cit. 12. 5. 2011]. Dostupné z WWW: <<http://www.rawet.cz/cz/tepl/pm55.pdf>>.
- [6] BD SENSORS *DMD 331 Snímač tlakové difference* BD Sensors [online]. 2008, poslední aktualizace 1.7.2008 [cit. 12. 5. 2011]. Dostupné z WWW: <[http://www.bdsensors.cz/download/datasheet\\_dmd.331\\_cs.014.pdf](http://www.bdsensors.cz/download/datasheet_dmd.331_cs.014.pdf)>.
- [7] ENBRA *Bytové suchoběžné vodoměry Enbra EV, EV-I* ENBRA, a.s. [online]. [cit. 12. 5. 2011]. Dostupné z WWW: <<http://www.enbra.cz/files/download-attachment/mereni-regulace/vodomery/bytove-vodomery/prospekt-vodomer-ev.pdf>>.
- [8] GRUNDFOS *ALPHA+ Montážní a provozní návod* GRUNDFOS [online]. 18.04.2006 [cit. 12. 5. 2011]. Dostupné z WWW: <<http://termogold.ru/upload/pdf/nasosi/Grundfosliterature-5421.pdf>>.
- [9] LDM *Regulační ventily LDM, COMAR line* LDM, spol. s.r.o. [online]. [cit. 12. 5. 2011]. Dostupné z WWW: <<http://www.ldm.sk/Katalog/01024CZ.pdf>>.
- [10] Endress + Hauser *Měření teploty* Endress+Hauser Czech, s.r.o. [online]. [cit. 12. 5. 2011]. Dostupné z WWW: <<http://www.cz.endress.com>>.
- [11] CONTROLTECH *ControlLogix: Průvodce řídicím systémem ControlLogix* ControlTech, s.r.o. [online]. 2002 [cit. 12. 5. 2011]. Dostupné z WWW: <<http://www.controltech.cz/data/controllog.pdf>>.
- [12] CONTROLTECH *Platformy vizualizace: průvodce výběrem* ControlTech, s.r.o. [online]. [cit. 12. 5. 2011]. Dostupné z WWW: <[http://www.controltech.cz/data/view\\_selection\\_guide.pdf](http://www.controltech.cz/data/view_selection_guide.pdf)>.

- [13] NOSKIEVIČ, Petr *Modelování a identifikace systémů* MONTANEX, a.s [online]. 1999. [cit. 12. 5. 2011]. Dostupné z WWW: <[http://www.352.vsb.cz/uc\\_texty/Identifikace/str/metody.htm#ma1](http://www.352.vsb.cz/uc_texty/Identifikace/str/metody.htm#ma1)>. ISBN 80-7225-030-2.
- [14] WOJNAR, P *Bezdrátový sběr dat z výměníku tepla* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 39 s., 8 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radek Štohl, Ph.D. [cit. 12. 5. 2011]. Dostupné z WWW: <[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=7350](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=7350)>.

# SEZNAM PŘÍLOH

A	Hardwarová konfigurace automatu	43
B	Schéma zapojení - hlavní přívod napájení a zdroje	44
C	Schéma zapojení - digitální výstupy	45
D	Schéma zapojení - čerpadla, ventilátor a průtokový ohříváč	46
E	Schéma zapojení - analogový vstupy	47
F	Schéma zapojení - digitální vstupy	48
G	Schéma zapojení - průtokoměry	49
H	Schéma zapojení - analogové výstupy	50
I	Schéma zapojení - analogový vstup hart	51

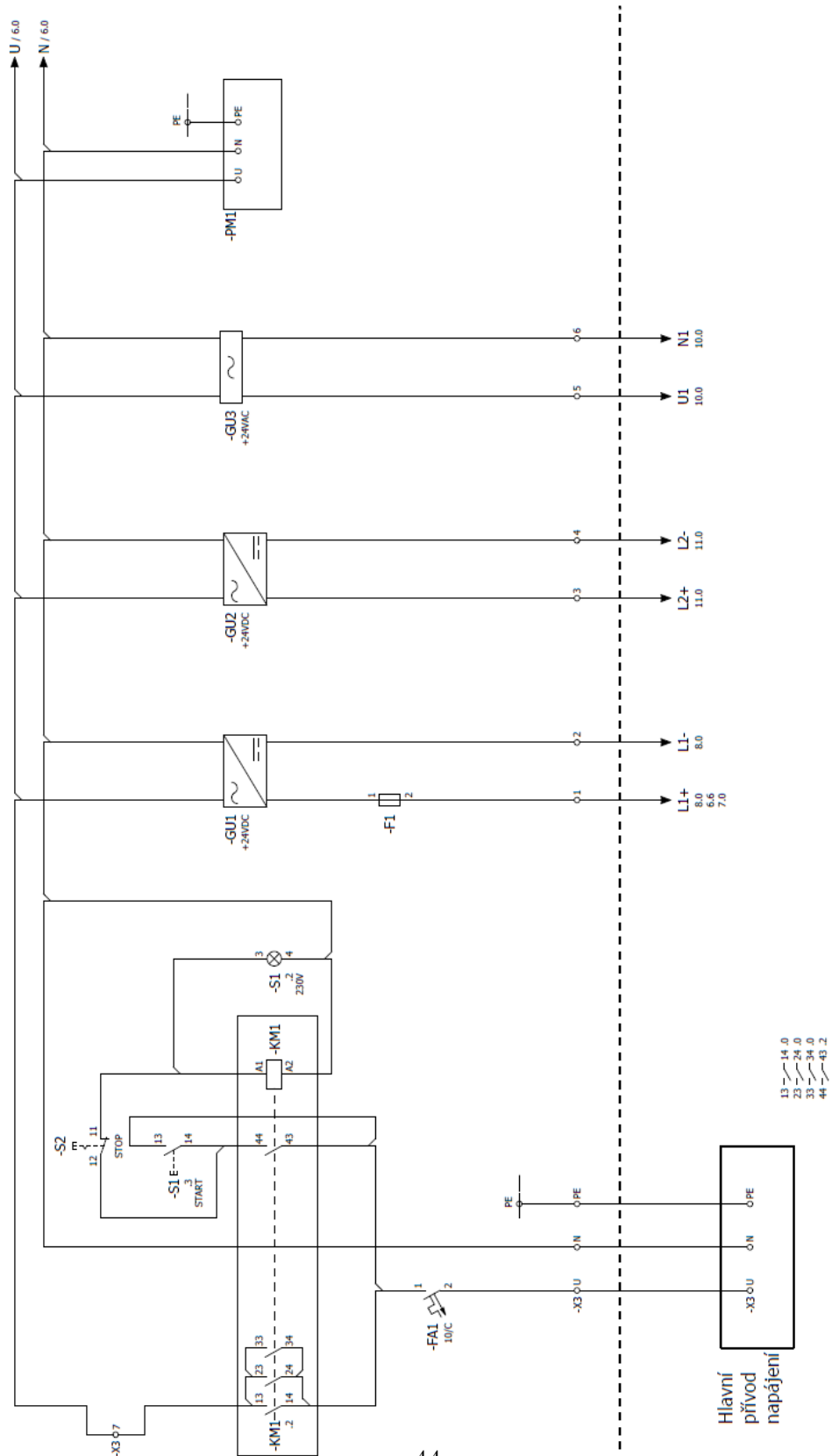
## Přílohy na CD:

- Program.pdf
- Program.ACD
- Identifikace.pdf
- Identifikace.ACD
- Regulátor.m
- Vizualizace.apa

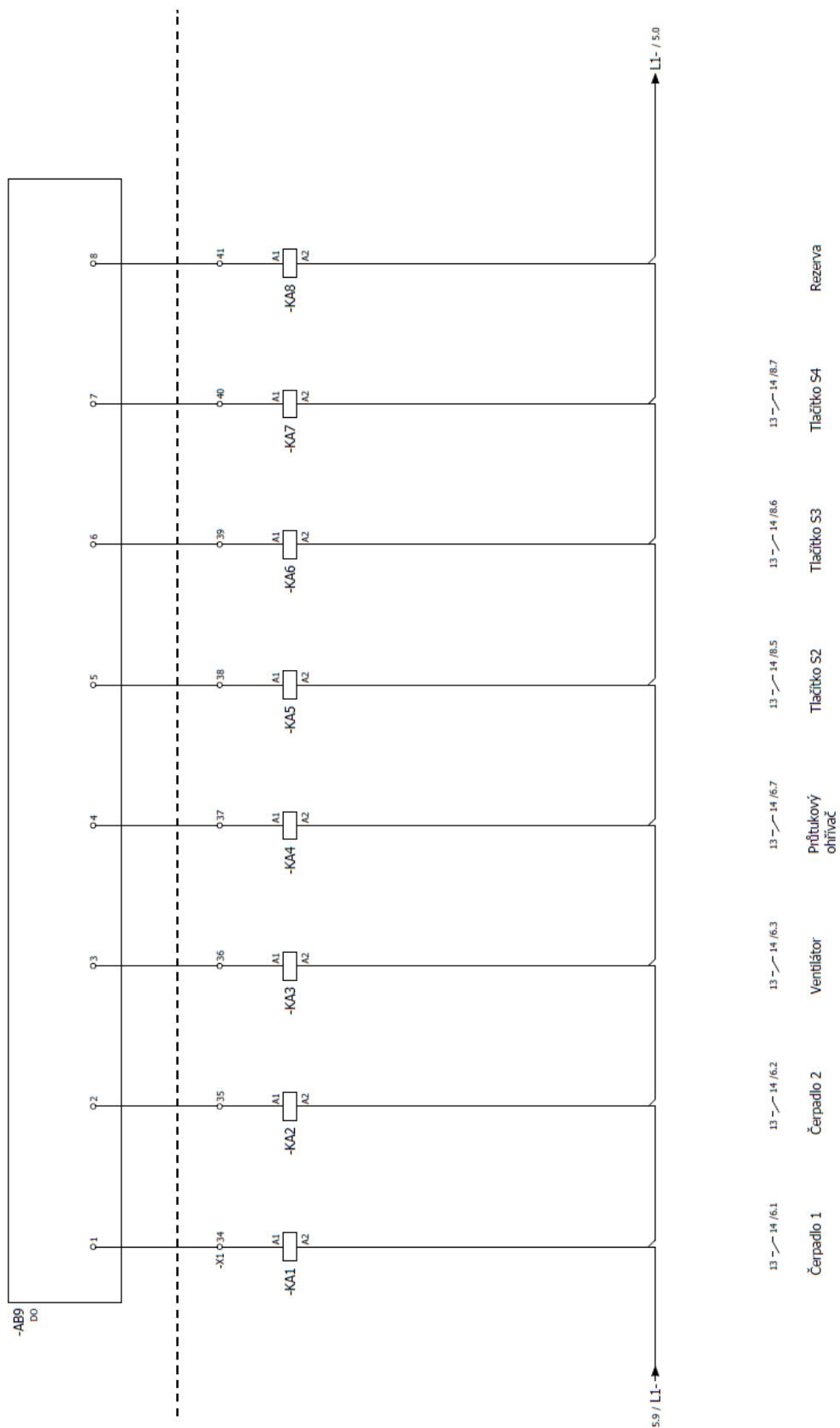
## A HARDWAROVÁ KONFIGURACE AUTOMATU

Pozice	Typ	Revize
0.pozice	Procesorový modul 1756 - L63 Logix 5563	19.11
1.pozice	Komunikační modul (Ethernet/IP) 1756 - ENBT/A	4.3
2.pozice	Komunikační modul (Web server) 1756 - EWEB/A	4.3
3.pozice	Neobsazená	
4.pozice	Modul s analogovými vstupy 1756 - IF8H	1.2
5.pozice	Měřicí modul (průtokoměry) 1756 - CFM/A	2.4
6.pozice	Modul s analogovými vstupy 1756 - IF16	1.5
7.pozice	Modul s analogovými výstupy 1756 - OF8H/A	1.2
8.pozice	Modul s digitálními vstupy 1756 - IB16D	3.2
9.pozice	Modul s digitálními výstupy 1756 - OB16D	3.2

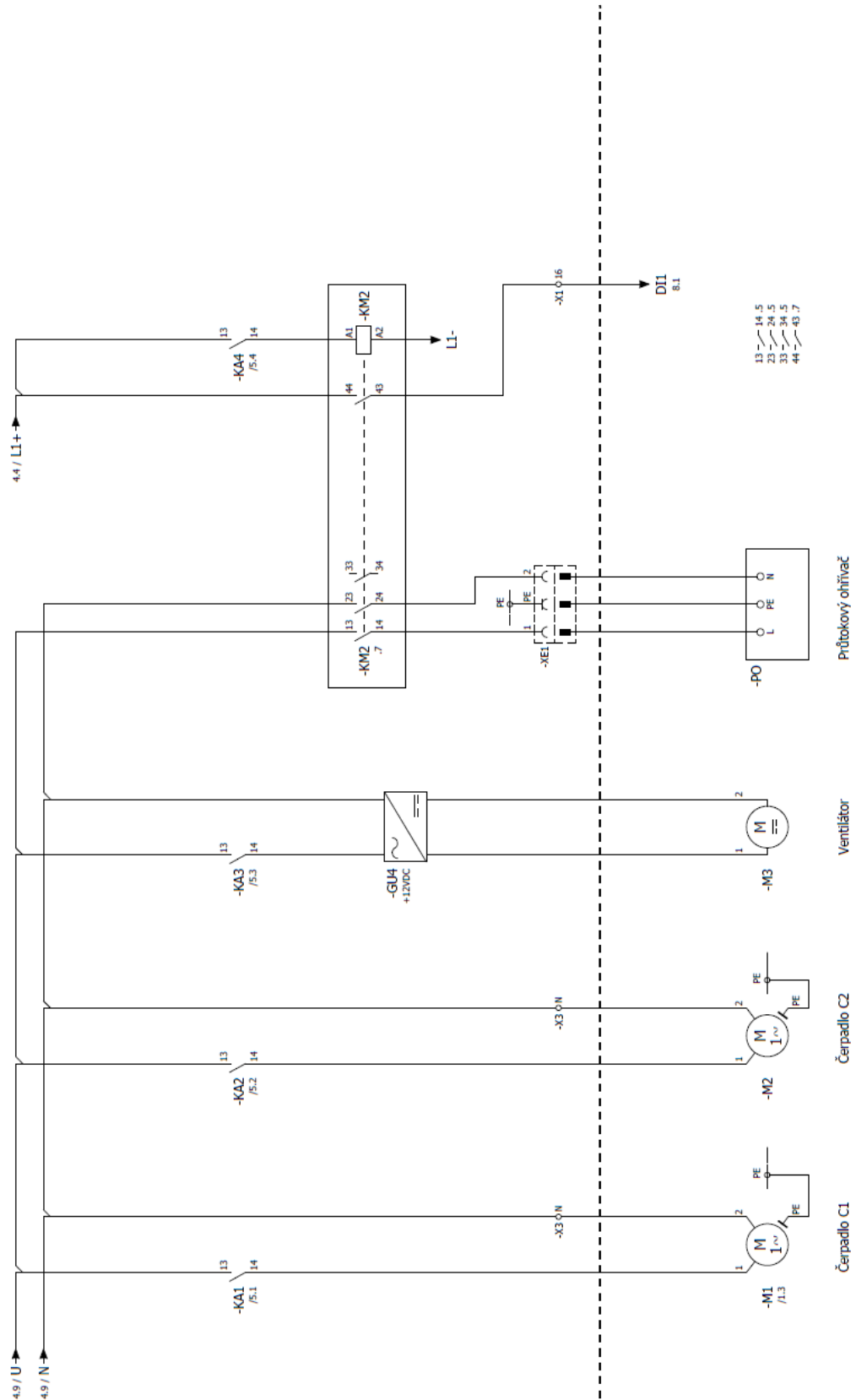
# B SCHÉMA ZAPOJENÍ - HLAVNÍ PŘÍVOD NAPÁJENÍ A ZDROJE



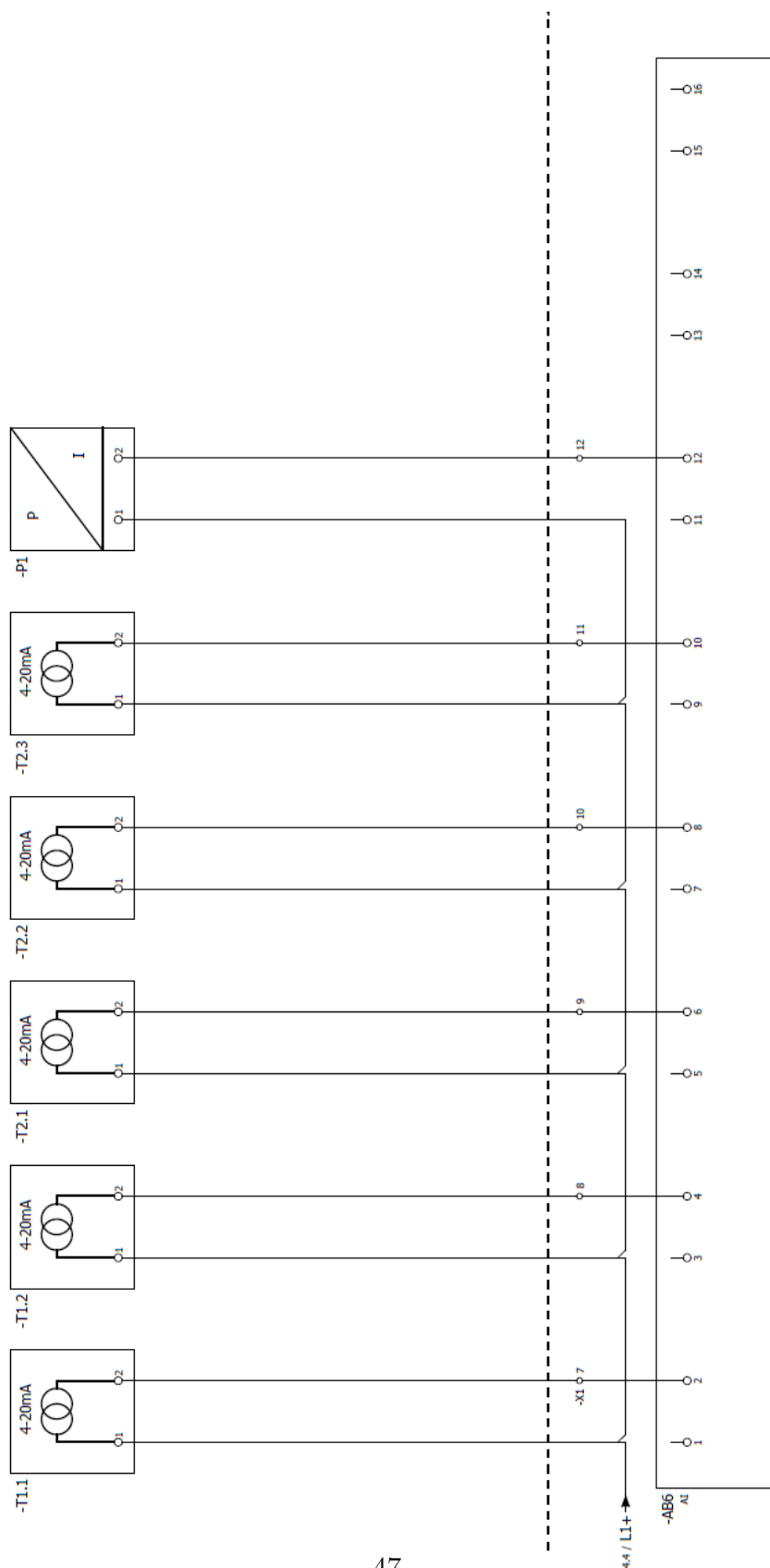
# C SCHÉMA ZAPOJENÍ - DIGITÁLNÍ VÝSTUPY



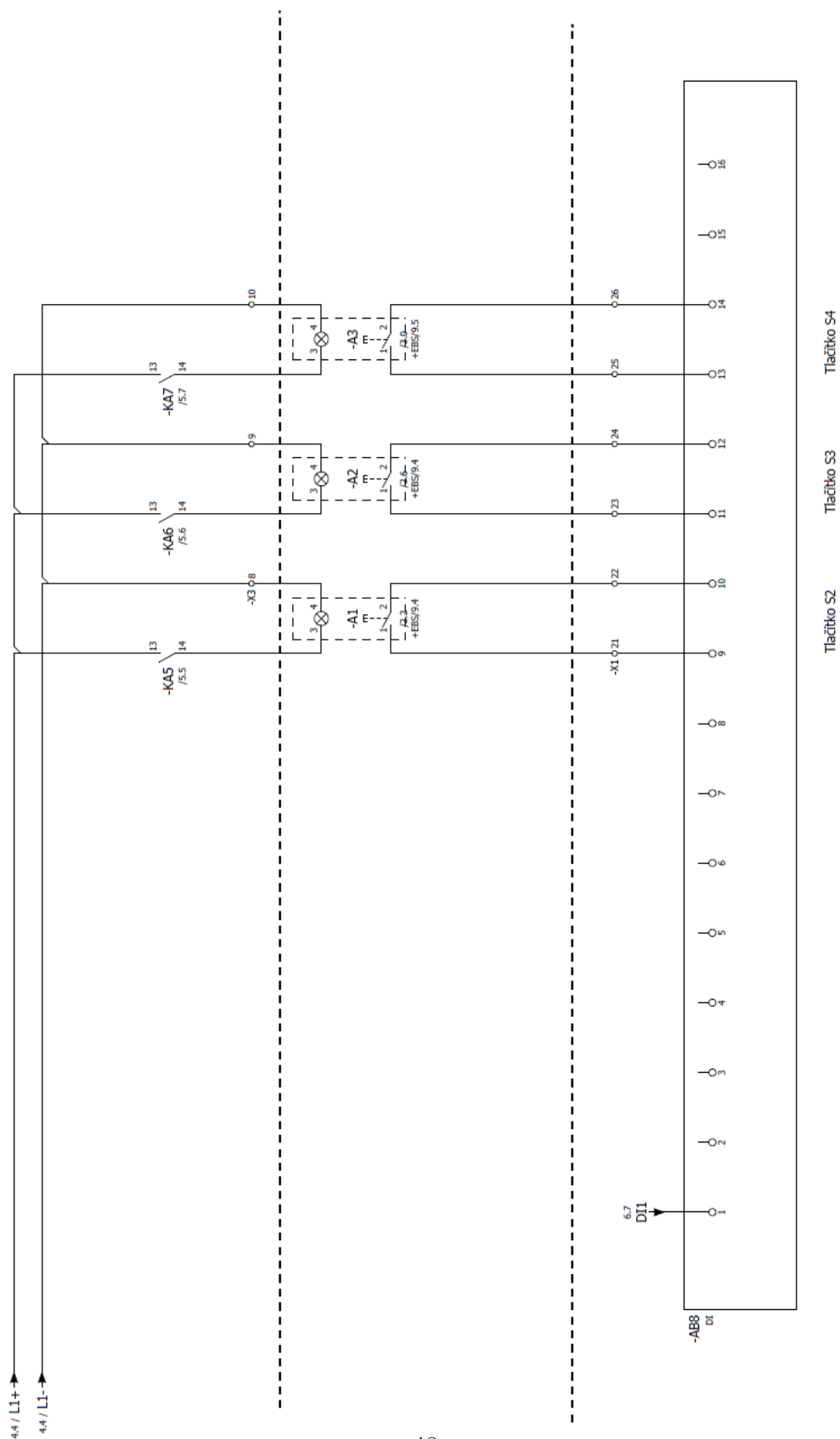
# D SCHÉMA ZAPOJENÍ - ČERPADLA, VEN- TILÁTOR A PRŮTOKOVÝ OHŘÍVAČ



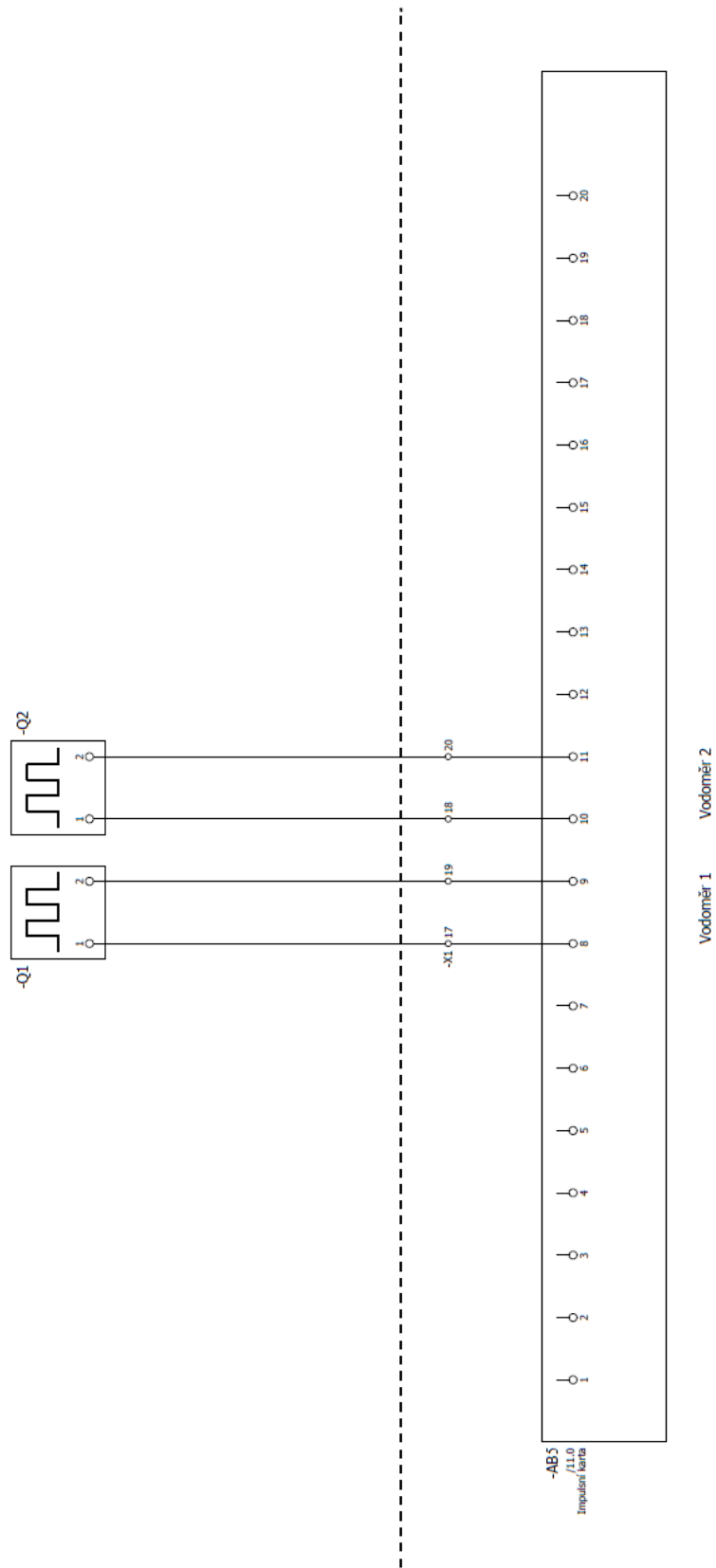
# E SCHÉMA ZAPOJENÍ - ANALOGOVÝ VSTUPY



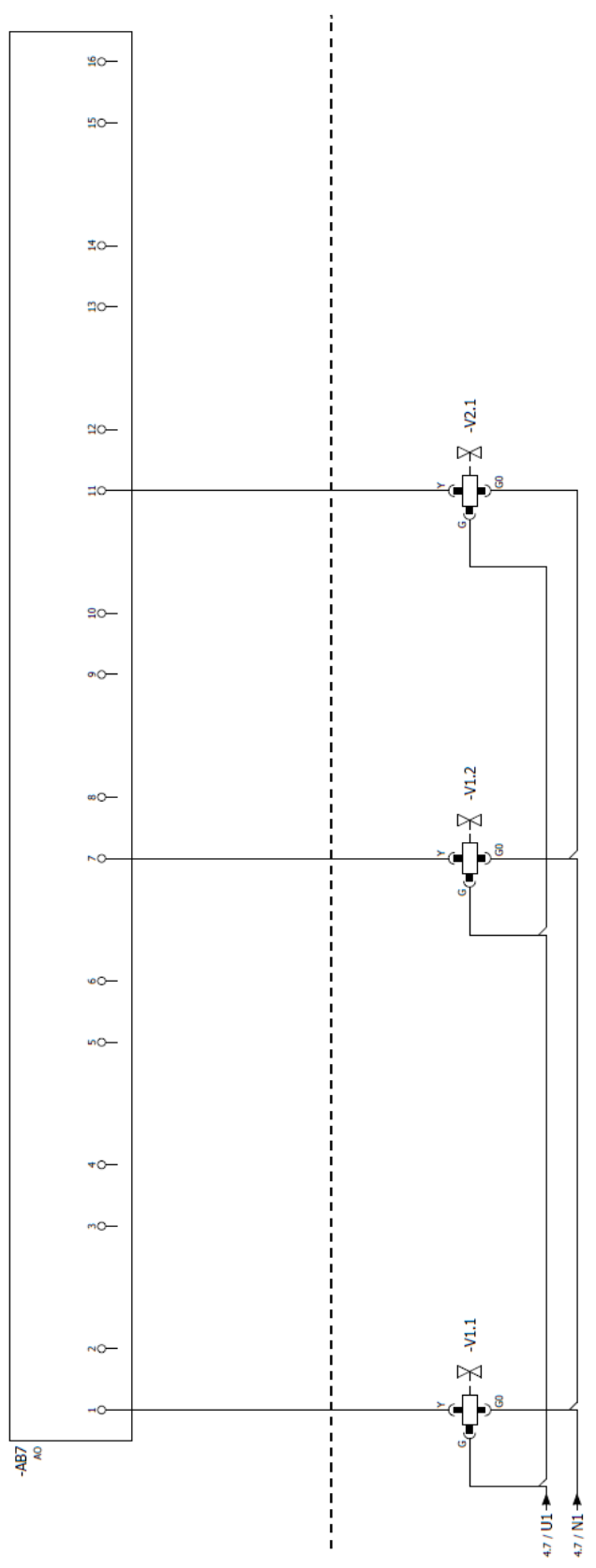
# F SCHÉMA ZAPOJENÍ - DIGITÁLNÍ VSTUPY



# G SCHÉMA ZAPOJENÍ - PRŮTOKOMĚŘY



# H SCHÉMA ZAPOJENÍ - ANALOGOVÉ VÝSTUPY



# I SCHÉMA ZAPOJENÍ - ANALOGOVÝ VSTUP HART

