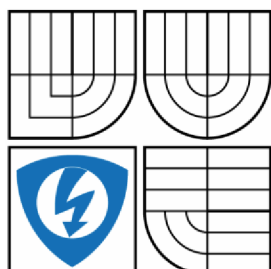


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

# MODERNIZACE OVLÁDÁNÍ VULKANIZAČNÍHO LISU

MODERNISATION OF CONTROL VULCANIZING PRESS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PATRIK SÁBLÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAKUB ARM

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA ELEKTROTECHNIKY  
TECHNICKÉ A KOMUNIKAČNÍCH  
V BRNĚ TECHNOLOGIÍ

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Automatizační a měřicí technika**  
Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Patrik Sáblik

**ID:** 164775

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2015/16

**NÁZEV TÉMATU:**

## Modernizace ovládání vulkanizačního lisu

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Modernizovat ovládání vulkanizačního lisu za použití průmyslových automatizačních komponent.

- 1) Deklarujte požadavky.
- 2) Vypracujte model lisu.
- 3) Vypracujte řešerši a provedte volbu automatizačních komponent.
- 4) Navrhněte řídicí systém.
- 5) Provedte realizaci a testování.
- 6) Vypracujte dokumentaci.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pásek J.: Programovatelné automaty v řízení, elektronické texty, přednášky (CS)

**Termín zadání:** 8. 2. 2016

**Termín odevzdání:** 23. 5. 2016

**Vedoucí práce:** Ing. Jakub Arm

**Konzultant bakalářské práce:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, 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. 121/2000Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně/Technická3058/10/61600/Brno

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá návrhem ovládacího systému pro modernizaci ovládání vulkanizačního lisu s využitím řízení pomocí PLC od firmy Teco a.s. První část práce popisuje jednotlivé požadavky a funkce vulkanizačního lisu. Je zde provedena rešerše potřebných komponent od tří různých výrobců PLC. Dalším krokem je návrh řídicího systému, který zahrnuje sestavení programu pro PLC a návrh regulátorů teploty forem lisu. Poslední část se zabývá samotným zapojením všech komponent, jejich oživení, testování a odladění případných nedostatků.

## **Klíčová slova**

Vulkanizační lis, PLC, Foxtrot, regulátor

## **Abstract**

This thesis deals with the design of the controller system for modernisation of operating the vulcanising press with the usage of the control through the PLC designed by Teco a.s. First part of the thesis describes requirements and functions of a vulcanising press. It contains a background research of needed components from three different producers of the PLCs. Next step is a design of the operating system. It contains the PLC programme and design of the regulators of the press forms temperature. The last part is concerned with wiring of all the components, their activation and checking out eventual failures of the designed programme.

## **Keywords**

Vulcanising press, PLC, Foxtrot, regulator

### **Bibliografická citace:**

SÁBLÍK, P. *Modernizace ovládní vulkanizačního lisu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 55s. Vedoucí bakalářské práce byl Ing. Jakub Arm.

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Modernizace ovládnání vulkanizačního lisu 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **23. května 2016**

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jakubu Armovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Poděkování také patří panu Liboru Gargulákovi, který mi umožnil tuto práci realizovat a v neposlední řadě panu Josefu Trchalíkovi za cenné rady při realizaci.

V Brně dne: **23. května 2016**

.....  
podpis autora

# Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ .....	8
SEZNAM TABULEK.....	9
ÚVOD .....	10
1 POŽADAVKY NA FUNKCE LISU.....	10
1.1 Původní systém ovládání lisu.....	10
1.2 Požadavky na nový ovládací systém .....	10
2 AKČNÍ ČLENY .....	11
3 REŠERŠE A VOLBA KOMPONENTŮ .....	12
3.1 Akční členy .....	12
3.2 Výběr PLC a rozšiřujících modulů .....	13
3.3 Zvolené PLC a moduly .....	16
3.4 Výkonové spínací a ovládací prvky .....	17
4 NÁVRH ŘÍDICÍHO SYSTÉMU .....	18
4.1 Popis cyklu.....	18
4.2 Vývojové prostředí.....	18
4.3 Program.....	18
4.4 Uživatelské bloky.....	19
4.5 Konfigurace operátorského panelu.....	21
4.6 Identifikace soustavy.....	22
4.7 Nastavení nástroje PIDMaker .....	25
5 ZAPOJENÍ A TESTOVÁNÍ FUNKČNOSTI.....	26
5.1 Zapojení .....	26
5.2 Oživení PLC.....	27
5.3 Ověření zapojení stykačů a koncových spínačů.....	27
5.4 Manuální ovládání.....	27
5.5 Automatický vulkanizační cyklus .....	28
5.6 Nastavení regulátorů teploty .....	28
5.7 Dokumentace .....	29
6 ZÁVĚR.....	30

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Mechanismus vysouvání formy .....	11
Obrázek 2 - Mechanismus otevírání formy .....	12
Obrázek 3 - Blok PWM_ul .....	19
Obrázek 4 - TimeConvert.....	20
Obrázek 5 - Blok Blokovani .....	21
Obrázek 6 - Vizualizace simulace panelu .....	22
Obrázek 7 - Vizualizace PID Maker .....	24
Obrázek 8 - Průběh nastavování parametrů regulátoru a přechodová charakteristika .....	24
Obrázek 9 - Dialogové okno 1 .....	25
Obrázek 10 - Dialogové okno 2 .....	26
Obrázek 11 - Nežádoucí akční zásahy .....	29
Obrázek 12 - Vývojový diagram.....	33
Obrázek 13 - Ukázka LD č. 2.....	34
Obrázek 14 - Fotografie 1 .....	36
Obrázek 15 - Fotografie 2 .....	37
Obrázek 16 - Výkres rozvaděče 1 .....	40
Obrázek 17 - Výkres rozvaděče 2 .....	41
Obrázek 18 - Výkres rozvaděče 3 .....	42
Obrázek 19 - Rozložení tlačítek a operátorského panelu .....	43
Obrázek 20 - Schéma zapojení 1.....	44
Obrázek 21 - Schéma zapojení 2.....	45
Obrázek 22 - Schéma zapojení 3.....	46
Obrázek 23 - Schéma zapojení 4.....	47
Obrázek 24 - Odezva systému.....	48
Obrázek 25 - Aproximace soustavy .....	49
Obrázek 26 - Přechodová charakteristika - regulátor podle frek. charakteristik.....	50
Obrázek 27 - Porovnání navržených PID regulátorů .....	54
Obrázek 28 - Průběh regulace s dvoustavovým regulátorem.....	55



# SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Elektromagnetický rozvaděč .....	13
Tabulka 2 - Hlavní moduly .....	14
Tabulka 3 - Moduly digitálních vstupů .....	14
Tabulka 4 - Moduly analogových vstupů pro teplotní senzory .....	15
Tabulka 5 - Moduly digitálních výstupů .....	15
Tabulka 6 - Operátorské HMI panely .....	16
Tabulka 7 - Napájecí zdroje .....	16
Tabulka 8 - Stykače.....	17
Tabulka 9 - Nadproudové ochranné relé .....	17
Tabulka 10 - SSR Relé.....	18
Tabulka 11 - Popis vstupů a výstupů bloku PWM_ul.....	19
Tabulka 12 - Časový registr S13 .....	20
Tabulka 13 - Popis vstupů a výstupů bloku TimeConvert .....	20
Tabulka 14 - Popis vstupů a výstupů bloku Blokovani.....	21
Tabulka 15 - Hodnoty odezvy na skok žádané hodnoty (metoda frek. charakteristik).....	23
Tabulka - 16 Hodnoty odezvy na skok žádané hodnoty (návrh autotunerem).....	28
Tabulka 17 - Rozpiska materiálu 1 .....	38
Tabulka 18 - Rozpiska materiálu 2 .....	38
Tabulka 19 - Rozpiska materiálu 3 .....	38
Tabulka 20 - Rozpiska materiálu 4 .....	39

# ÚVOD

Cílem bakalářské práce je modernizovat zastaralý systém řízení vulkanizačního lisu. Toho má být docíleno instalací programovatelného automatu, který nahradí původní ovládací logiku. Hlavním důvodem je celková nespolehlivost současného řízení.

Vulkanizační lis je zařízení, ve kterém se provádí vulkanizace gumárenské směsi, to je proces kde vlivem tepla a tlaku dochází k propojení jednotlivých molekul jak přírodních, tak umělých kaučuků. Tímto provázáním dojde ke změně základních vlastností kaučuků. Nejdůležitějšími změnami jsou zvýšení elasticity, mechanické pevnosti, snížení trvalých deformací, nárůst teplotní odolnosti a zvýšené odolnosti proti některým rozpouštědlům.

## 1 POŽADAVKY NA FUNKCE LISU

### 1.1 Původní systém ovládání lisu

Lis byl vyroben v 80. letech. Původní ovládání se skládalo z tzv. reléové logiky. Celé zapojení obsahovalo asi 40 třípólových přepínacích relé, doplněných ještě o zapojení pomocných kontaktů na stykačích a kombinací spínacích a rozpínacích kontaktů tlačítek. Časování v cyklu zajišťovala mechanická časová relé. Žádanou teplotu forem udržovaly dvoustavové regulátory s hysterezí. Vzhledem k tomu, že dokumentace a schémata k zapojení chybí, byla každá oprava časově náročná. Často se při opravě postupovalo vyměňováním jednotlivých relátek a ostatních částí ovládání.

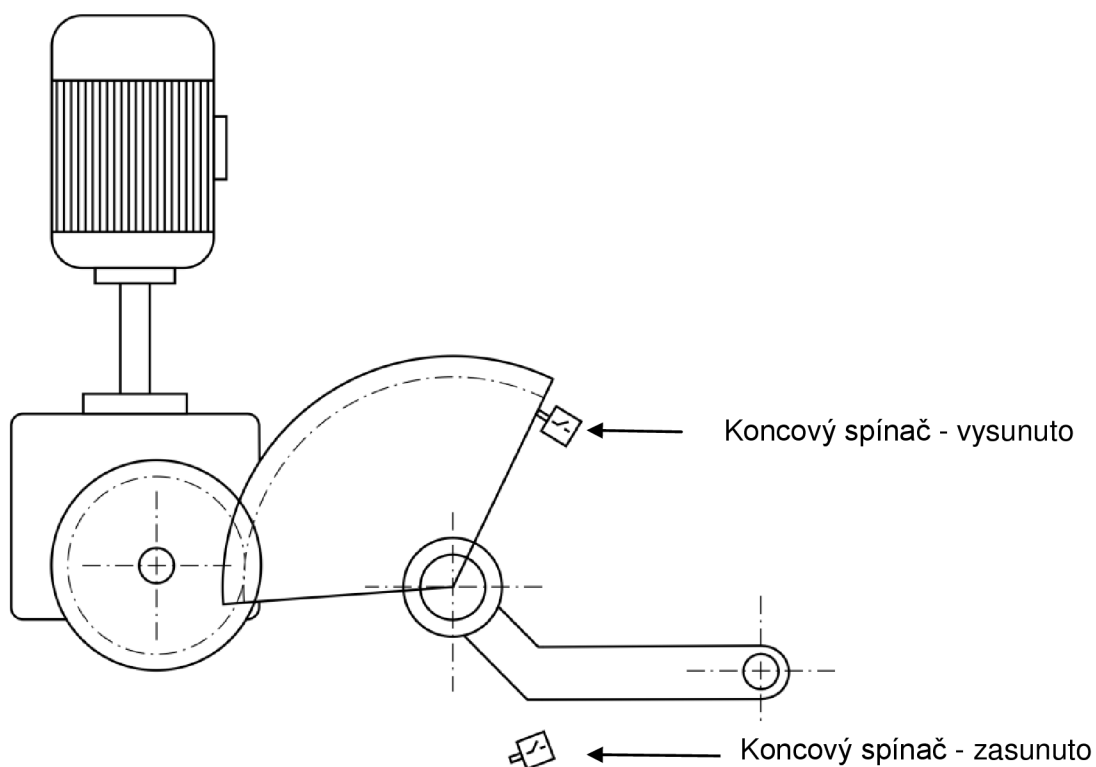
### 1.2 Požadavky na nový ovládací systém

Systém musí být schopný zajistit vykonávání původního ovládání. To zahrnuje možnost jak manuálního, tak automatického ovládání vulkanizačního lisu. V manuálním režimu ovládání pomocí tlačítek musí lis zavřít formu, zasunout formu, během zasunutí formy do lisu vykonávat pohyb pístu v obou směrech, a pokud je píst v nejnižší poloze, tak povolit opětovné vyjetí a otevření formy. Cyklus zahrnuje zavření a zasunutí formy. Poté je forma pístem uzavřena na maximální tlak. Pokud je nastaveno vzduchování, probíhá opakované uvolnění a následné zase zvýšení tlaku. Aby bylo zajištěno pevné sevření formy, je ještě potřeba dosáhnout maximálního tlaku hydrauliky. Poté nastává odpočet času pro vulkanizaci. Jakmile je vulkanizace dokončena, píst sjede do nejnižší polohy, forma je vysunuta a otevřena. V průběhu automatického cyklu musí být možné přerušit cyklus v jakékoli fázi. Při regulaci teploty dosáhnout alespoň stejné kvality regulace, což znamená udržovat teplotu v rozsahu  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  od nastavené hodnoty. Posledním požadavkem je bezpečnostní tlačítko na nouzové zastavení v případě poruchy, nebo ohrožení obsluhy.

## 2 AKČNÍ ČLENY

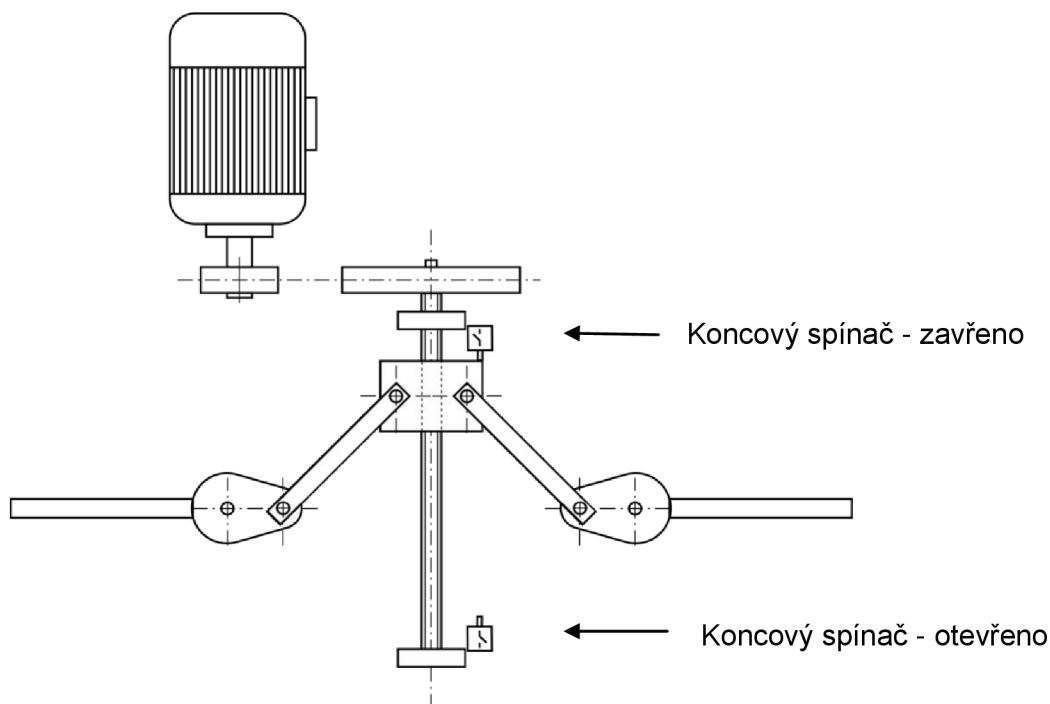
Chod hydraulického válce je řízen přes dvojcestný hydraulický rozvaděč se zámkem ve střední poloze. Hydraulické čerpadlo pohání 3 fázový asynchronní motor. Pro vyvinutí vysokého tlaku oleje je nejprve spuštěno zubové olejové čerpadlo, po dosažení maximálního tlaku zubového čerpadla je čerpání přepnuto na pístové čerpadlo, které má vyšší výstupní tlak.

Pohon ramene pro zasouvání a vysouvání formy do lisu je na Obrázek 1 - Mechanismus vysouvání **formy**. Motor je připojený na šnekovou převodovku, na jejím výstupu je ozubené kolo. Toto kolo pohybuje přes ozubený hřeben pákou, která je připojená otočným čepem na formu. Tento mechanismus je z obou stran lisu.



Obrázek 1 - Mechanismus vysouvání formy

Mechanismus pro zavírání formy je zobrazen na Obrázek 2 - Mechanismus otevírání formy. Jedná se o 3 fázový asynchronní motor s řemenicí - převod cca 3:1. Převod otáčí s trapézovou šroubovicí, která přes pákový mechanismus otevírá a zavírá formu. Polohy snímají koncové spínače.



Obrázek 2 - Mechanismus otevírání formy

## 3 REŠERŠE A VOLBA KOMPONENTŮ

### 3.1 Akční členy

Pro nahřívání forem slouží dvě až tři tělesa, záleží na počtu etáží, ze kterých se forma skládá. Otevírání a zavírání formy zajišťuje 3f asynchronní elektromotor, který přes trapézovou šroubovici pohybuje víkem formy. Pro zasunutí a vysunutí formy jsou instalovány dva 3f asynchronní elektromotory doplněné o šnekovou převodovku. Pohon hydraulického čerpadla zajišťuje 3f asynchronní elektromotor. Přes dvojcestný hydraulický rozvaděč se ovládá chod dvojčinného hydraulického válce. Snímání poloh všech pohyblivých částí sledují mechanické koncové spínače.

V průběhu návrhu došlo k výměně hydraulického rozvaděče. Původní rozvaděč netěsnil, to způsobovalo klesání tlaku při uzavření formy. Jeho nevýhodou bylo také poněkud složitější ovládání. Pro změnu směru pohybu pístu bylo nutné nejprve zapnout motor a ten přes třecí spojku ovládanou elektromagnetem připojit na šroubovici. Podle zvoleného směru otáček došlo k přesunu kanálků. Poloha kanálků byla snímána pomocí koncových snímačů. Tento rozvaděč byl náchylný na poruchu z důvodu občasného přejetí koncového snímače, což vedlo k utažení šroubovice do té míry, až začala prokluzovat spojka motoru. Kvůli této poruše bylo nutné rozvaděč rozdělat a pomocí speciálního klíče ručně povolit. Rozvaděč byl vyměněn za elektromagnetický s hydraulickým zámekem ve střední poloze.

Tabulka 1 - Elektromagnetický rozvaděč

<b>Výrobce</b>	<b>Duplomatic oleodinamica</b>
<b>Napájecí napětí cívek</b>	230 V AC
<b>Proud při spínání</b>	2,8 A
<b>Proud v sepnutém stavu</b>	0,46 A
<b>Maximální tlak</b>	14 MPa
<b>Maximální průtok</b>	120 l/min
<b>Doba spínání</b>	15-30 ms
<b>Doba rozpínání</b>	20-50 ms

### 3.2 Výběr PLC a rozšiřujících modulů

Výběr ovládacího systému byl proveden od tří výrobců PLC- Tecno, Siemens a Phoenix contact. Od firmy Tecno byla zvolena řada systému Foxtrot s vývojovým prostředím Mosaic, z výrobků Siemens řídicí systém S7-1200 prostředím TIA Portal a od firmy Phoenix contact hlavní modul řady ILC s moduly řady IB IL, prostředí PC Worx Express. Systémy všech tří firem jsou centralizované. Hlavním prvkem celé sestavy je tedy centrální řídicí jednotka, se kterou komunikují přes sběrnici připojené rozšiřující moduly. V tabulkách jsou porovnány komponenty podle parametrů podstatných pro tuto aplikaci. Mezi další parametry systému neméně důležité parametry se řadí také např. termín dodání, technická podpora, rozšiřitelnost systému, další komponenty od výrobce (svorky, ochrany, záložní zdroje,...). Důležitými parametry jsou i dostupnost servisu během i po uplynutí záruční doby výrobku a dodání náhradních dílů v co nejkratší době.

Tabulka 2 - Hlavní moduly

<b>Výrobce</b>	<b>Teco</b>	<b>Siemens</b>	<b>Phoenix contact</b>
<b>Řada</b>	Foxtrot	S7-1200	ILC
<b>Označení</b>	CP-1014	6ES7 211-1BE40-0XB0	ILC 131 ETH 2700973
<b>Napájecí napětí</b>	24 V DC	24V DC	24V DC
<b>Počet rozšiřitelných modulů</b>	10	16	63 (nutné dodržet proudový odběr)
<b>DO</b>	6	4	4
<b>DI</b>	8	6	8
<b>AI</b>	4	2	0
<b>Display</b>	Ano	Ne	Ne
<b>Komunikace</b>	Ethernet, T2L2, CIB, RS-232, 1xvolitelný přídatný modul	Ethernet, PROFINET	Profinet, Modbus TCP, RS-232
<b>Cena [Kč]</b>	11 300	4 370	6 000

Tabulka 3 - Moduly digitálních vstupů

<b>Výrobce</b>	<b>Teco</b>	<b>Siemens</b>	<b>Phoenix contact</b>
<b>Řada</b>	Foxtrot	S7-1200	IB IL
<b>Označení</b>	IB-1301	6ES7 221-1BH32-0XB0	IB IL 24 DI 16-PAC 2861250
<b>Napájecí napětí</b>	24V DC	24V DC	24V DC
<b>DI</b>	12	16	16
<b>Napět'ová úroveň pro "log. 0"</b>	od -5 do 5 V DC	5 V DC	od -3 do 5 V DC
<b>Napět'ová úroveň pro "log. 1"</b>	od 15 do 30 V DC	15 V DC	od 15 do 30 V DC
<b>Cena [Kč]</b>	2 600	4 090	3 000

Tabulka 4 - Moduly analogových vstupů pro teplotní senzory

<b>Výrobce</b>	<b>Teco</b>	<b>Siemens</b>	<b>Phoenix contact</b>
<b>Řada</b>	Foxtrot	S7-1200	IB IL
<b>Označení</b>	IT-1604	6ES7 231-5PD32-0XB0	IB IL TEMP 4/8 RTD- PAC 2863915
<b>Napájecí napětí</b>	24 V DC	24 V DC	24 V DC
<b>AI</b>	8 + (2 x AO 10 bit)	4	8
<b>Rozlišení AD převodníku</b>	16 bit	16 bit	16 bit
<b>Měření</b>	4-20mA, 0-10V, Pt, Ni, PTC	Pt, Ni, Cu	Pt, Ni, KTY Cu
<b>Cena [Kč]</b>	5 550	7 370	7 100

Tabulka 5 - Moduly digitálních výstupů

<b>Výrobce</b>	<b>Teco</b>	<b>Siemens</b>	<b>Phoenix contact</b>
<b>Řada</b>	Foxtrot	S7-1200	IB IL
<b>Označení</b>	OS-1401	6ES7 222-1BH32-0XB0	IB IL 24 DO 16-PAC 2861292
<b>Napájecí napětí</b>	24V DC	24V DC	24V DC
<b>DO</b>	12	16	16
<b>Typ výstupu</b>	Tranzistor	Tranzistor	Tranzistor
<b>Spínané napětí</b>	9,6 - 28,8 V DC	20 - 24 V DC	19,2 - 30 V DC
<b>Spínaný proud</b>	2 A(DO0-DO3), 0,5A(DO4-DO11)	0,5A	0,5A
<b>Ošetření indukční zátěže</b>	Vnější	Ano	Ano
<b>Ochrana proti zkratu</b>	Ano	Ne	Ano
<b>Cena [Kč]</b>	3600	4 090	3800

Tabulka 6 - Operátorské HMI panely

<b>Výrobce</b>	<b>Teco</b>	<b>Siemens</b>	<b>Phoenix contact</b>
<b>Řada</b>	Foxtrot	KP 300	
<b>Označení</b>	ID-14	6AV6 647-0AH11-3AX0	TD 1030T 2701257
<b>Napájecí napětí</b>	24V DC	24V DC	24
<b>Display</b>	Alfanumerický	LCD monochromatický	Alfanumerický
<b>Ovládání</b>	25 kláves	20 kláves	Dotykové
<b>IP krytí</b>	IP 54 čelo, IP 20 celek	IP 65 čelo, IP 20 celek	IP 54 čelo, IP 20 celek
<b>Komunikace</b>	TCL2	Ethernet	Ethernet
<b>Cena [Kč]</b>	6 500	4 800	6 000

Tabulka 7 - Napájecí zdroje

<b>Pro</b>	<b>Teco</b>	<b>Siemens</b>	<b>Phoenix contact</b>
<b>Označení</b>	DR-60-24	6EP1332-1SH71	UNO-PS/1AC/24DC/60W 2902992
<b>Výstupní napětí</b>	24 V DC	25 V DC	24 V
<b>Výstupní proud</b>	2,5A	2,5A	2,5 A
<b>Cena [Kč]</b>	1 090	1 860	1 200

### 3.3 Zvolené PLC a moduly

K vyhodnocení signálů z koncových snímačů, ovládacích a signalizačních prvků, je potřeba celkem 17 digitálních vstupů. Ovládání motorů, hydraulického rozvaděče, spínání topných těles a bezpečnostního zastavení obslouží 13 digitální výstupů. Měření analogové hodnoty čidel teploty Pt100 z jednotlivých etáží formy zajišťují 3 analogové vstupy.

Pro ovládání lisu jsem zvolil PLC od firmy Teco řady Foxtrot z důvodu předchozích zkušeností s tímto systémem. Sestava se skládá z hlavního modulu, jednoho modulu digitálních vstupů, jednoho modulu digitálních výstupů, modulu analogových vstupů, HMI panelu a dvou napájecích zdrojů. Ty jsou nutné pro zajištění dostatečného výkonu při napájení modulů PLC, připojených periférií a cívek stykačů.

Hlavní řídicí modul je propojen s ostatními přes sběrnici s názvem TCL2. Jedná se o uzavřenou sběrnici. Moduly musí být propojeny touto sběrnici pouze lineárně. Znamená to, že moduly jsou zapojeny jeden za druhým. Propojuje se vždy svorka



TCL2+ s TCL2+ a TCL2- s TCL2-. Konec sběrnice, který není zapojen v hlavním modulu, je potřeba zakončit odporem 120Ω. K propojení je nutné použít stíněný kabel.

Cena sestavy je celkem 31 730Kč. Další položka je vývojové prostředí, které firma Teco poskytuje ve verzi Lite zdarma. Lite verze má omezení pouze v tom, že je možné do sestavy umístit jen nejmenší PLC z řady Foxtrot. K plné verzi je potřeba dokoupit klíč, aby bylo možné programovat jakoukoli sestavu.

### 3.4 Výkonové spínací a ovládací prvky

Z důvodu regulace teploty s výstupem PWM jsou na spínání topných těles instalovány SSR relé, aby nedocházelo k rychlému opotřebování mechanických stykačů. Pro ovládání motorů vyhovují mechanické 3 pólové stykače doplněné o ochranné nadproudové relé. Stykače mají v cívkách zabudovanou ochranu realizovanou varistorem, aby při rozepnutí obvodu nedošlo k poškození připojeného ovládacího obvodu. Jelikož dochází k postupnému opotřebování varistoru je paralelně k cívce stykače ještě zapojena dioda v závěrném směru. Pro spínání cívek hydraulického rozvaděče jsou požity dva 1- pólové stykače.

Obsluha má k dispozici ovládání lisu, mimo operátorského panelu, ještě celkem šest tlačítek a jedno tlačítko bezpečnostního zastavení. Přes tyto tlačítka je možné spustit cyklus, přerušit cyklus a manuálně ovládat lis. Manuální ovládání zahrnuje ruční zavření formy, zajištění formy do lisu a pohyb pístu oběma směry.

Tabulka 8 - Stykače

Výrobce	Eaton Electric	Eaton Electric
Jmenovitý proud	7A	12A
Počet pólů	3	3
Napětí ovládací cívky	24 V DC	24 V DC
Cena [Kč]	525	838

Tabulka 9 - Nadproudové ochranné relé

Výrobce	Eaton Electric	Eaton Electric
Rozsah proudové spouště	4 - 6 A	0.4 - 0.6 A
Cena [Kč]	744	880

Tabulka 10 - SSR Relé

<b>Výrobce</b>	<b>Anly electronics</b>
<b>Jmenovitý proud</b>	15A (s chladičem)
<b>Vstupní napětí</b>	4 - 32 V DC
<b>Způsob spínání</b>	v nulové hodnotě
<b>Cena [Kč]</b>	565

## 4 NÁVRH ŘÍDICÍHO SYSTÉMU

### 4.1 Popis cyklu

Lis vykonává cyklus, kterému předchází zahřátí formy na požadovanou teplotu a nastavení všech požadovaných časů cyklu. Hodnoty teploty a časy se zadají přes HMI panel. Prvotní zahřátí formy na požadovanou teplotu se provádí, když je forma zasunuta v lisu a uzavřena. Po dosažení nastavené teploty je forma pomocí manuálního režimu ovládaní vysunuta z lisu. Jakmile se forma otevře, obsluha může do formy vložit gumovou směs. Ke spuštění nastaveného cyklu stiskne obsluha tlačítko, a pokud je celý cyklus nastaven správně, forma se uzavře a zasune do lisu. V první fázi lisování jde lis do maximálního tlaku, aby se směs rozprostřela po celé formě. V další fázi je nutné ze směsi odstranit vzduchové bubliny a to pomocí několikanásobným uvolněním a opětovným zvýšením tlaku lisu tzv. vzduchování. Následuje uzavření lisu na maximální tlak a zahájení vulkanizace směsi. Po uběhnutí doby vulkanizace se uvolní tlak, forma vyjede z lisu a otevře se. Obsluha odebere hotové výrobky.

### 4.2 Vývojové prostředí

Pro vývoj a ladění programů PLC firmy Teco slouží vývojové prostředí Mosaic. Toto prostředí je v souladu s mezinárodní normou IEC EN-61131-3. Program se skládá z tzv. programových organizačních jednotek. Tyto jednotky se dělí na funkce, funkční bloky a nejvyšší jednotka v této hierarchii je program. Programování může probíhat v jazycích LD (Ladder Diagram, ST (Structured Text), FBD (Function Block Diagram), IL (Instruction List).

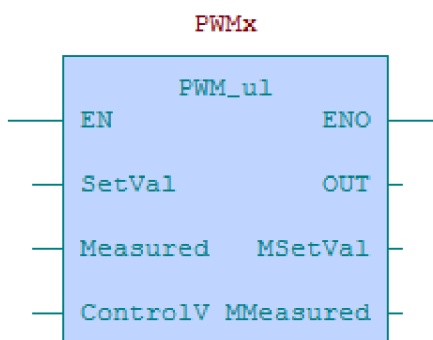
### 4.3 Program

Program pracovního cyklu byl naprogramován jako stavový automat. Hlavní část programu je sestavena v jazyku LD, ve kterém jsou použity převážně knihovní programové bloky. Dále je program doplněn o několik uživatelských bloků psaných

v jazyce ST a to z důvodu jednodušší implementace matematických a časových operací. Vývojový diagram viz příloha.

## 4.4 Uživatelské bloky

Blok s názvem PWM\_ul slouží pro převod akční veličiny z PID regulátoru na pulzně šířkově modulovaný signál, aby bylo možné ovládat výkon tělesa pomocí SSR relé. Nosná frekvence PWM signálu má periodu o délce jedné sekundy. Od náběžné hrany nosné frekvence je odvozeno spuštění časovače s přednastavenou délkou pulzu odpovídající velikosti akční veličiny regulátoru. Dále tento blok obsahuje úpravy pro přepočítání hodnot zadávaných z operátorského panelu a měřené hodnoty teploty, tak aby byly přizpůsobeny pro vstupy regulátoru.



Obrázek 3 - Blok PWM\_ul

Tabulka 11 - Popis vstupů a výstupů bloku PWM\_ul

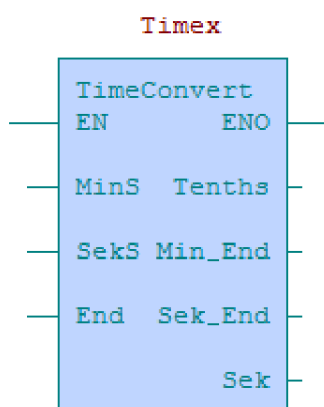
Proměnná	Datový typ proměnné	Funkce
SetVal	REAL	Nastavení požadované teploty
Measured	REAL	Měřená teplota
ControlV	REAL	Akční veličina z PID regulátoru
OUT	BOOL	PWM výstup
MSetVal	REAL	Upravená hodnota požadované teploty pro regulátor
MMeasured	REAL	Upravená hodnota měřené teploty pro regulátor

Blok TimeConvert provádí převod časů nastavených na operátorském panelu na desetiny sekund z důvodu zpřesnění načítání hodnot na čítačích. Časové boolovské proměnné generované vnitřními hodinami viz

Tabulka 12 - Časový registr **S13** běží nezávisle na uživatelském programu, proto kdybychom použili například proměnou reprezentující minuty a spouštěcí impuls přišel v polovině periody této proměnné, vznikla by nepřesnost v časovém řízení. Z tohoto důvodu je nejlepší převést nastavené hodnoty na nejmenší generované časové jednotky, což je v tomto případě 100ms. Blok také poskytuje informaci o času do konce operace, pro kterou provádí konverzi.

Tabulka 12 - Časový registr S13

Adresa registru	S13.7	S13.6	S13.5	S13.4	S13.3	S13.2	S13.1	S13.0
Perioda	1 den	1hodina	10min	1min	10sek	1sek	500ms	100ms

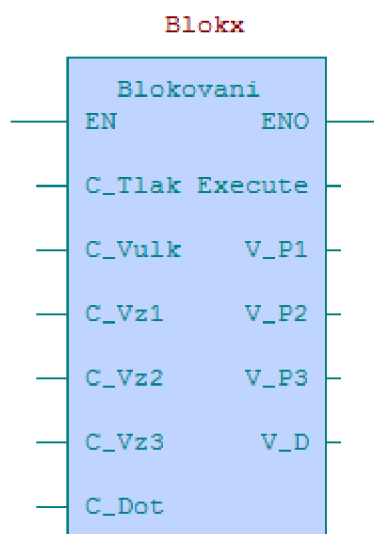


Obrázek 4 - TimeConvert

Tabulka 13 - Popis vstupů a výstupů bloku TimeConvert

Proměnná	Datový typ proměnné	Funkce
MinS	INT	Čas v minutách zadaný z HMI
SekS	INT	Čas v sekundách zadaný z HMI
End	INT	Čas načítaný na čítači
Tenths	INT	Převedená hodnota času na desetiny vteřiny
Min_End	INT	Čas v minutách do konce
Sek_End	INT	Čas v sekundách do konce
Sek	INT	Součet časů do konce v sekundách

Blok Blokovani zajišťuje nemožnost spuštění cyklu při špatném nastavení časů z operátorského panelu a to proto, aby nedošlo k poškození lisu a úrazu obsluhy. Při nastavení času na hodnotu nula znamená vypnutí funkce cyklu. Například při nastavení času vzduchování pro pohyb pístu směrem dolů, ale nezadání času pro následný pohyb nahoru, nelze cyklus spustit.



Obrázek 5 - Blok Blokovaní

Tabulka 14 - Popis vstupů a výstupů bloku Blokovaní

Proměnná	Datový typ proměnné	Funkce
C_Tlak	INT	Čas tlakování
C_Vulk	INT	Čas vulkanizace
C_Vz1	INT	Čas 1. vzduchování
C_Vz2	INT	Čas 2. vzduchování
C_Vz3	INT	Čas 3. vzduchování
C_Dot	INT	Čas v sekundách do konce
Execute	BOOL	Potvrzení o možnosti spustit cyklus
V_P1	BOOL	Povolení / přeskočení 1. vzduchování
V_P2	BOOL	Povolení / přeskočení 2. vzduchování
V_P3	BOOL	Povolení / přeskočení 3. vzduchování
V_D	BOOL	Povolení dotlakování po vzduchování

## 4.5 Konfigurace operátorského panelu

Operátorský panel slouží k nastavování teplot a časů cyklu obsluhou lisu. Panel ID-14 má alfanumerický display o velikosti 4x20 znaků. K ovládání slouží celkem 25 kláves, z toho je 6 programovatelných. Připojuje se k hlavnímu modulu přes sběrnici TCL2. Vytváření programu pro panel probíhá v prostředí Mosaic s využitím nástroje PanelMaker. Jedná se o programování na vizualizaci obrazovky operátorského panelu. Naprogramované funkce je možné ověřit i na simulaci panelu. Při inicializaci je nutné nastavit typ hlavního modulu PLC, rack adresu a adresu umístění.



Obrázek 6 - Vizualizace simulace panelu

## 4.6 Identifikace soustavy

Identifikaci soustavy naměřením odezvy na jednotkový skok se ukázala jako nevyhovující z důvodu příliš vysoké maximální teploty, která by mohla formu poškodit a teplotní čidlo s možností automatického měření jen do 230°C. V lisu se střídají různé formy skládající se ze dvou nebo tří dílů, pro které by bylo potřeba pokaždé měnit parametry regulátoru.

Z výše uvedených důvodů nebylo možné provést identifikaci kompletní odezvou soustavy na skok. Bylo ale možné naměřit odezvu na časově omezený akční zásah a naměřený průběh nahřívání a následného chladnutí aproximovat v prostředí Matlab s využitím identifikačního toolboxu Ident. Tento toolbox umožňuje provést identifikaci systému s využitím známého vstupního signálu a odezvy systému na tento signál. Systém byl aproximován soustavou prvního řádu bez dopravního prostředí s hodnotami (1).

$$F_{s(p)} = \frac{0,0008415}{5966,59p + 1} \quad (1)$$

Průběh naměřené odezvy a její aproximace v příloze č. 9 Průběh odezvy systému. Na takto identifikovanou soustavu již bylo možné navrhnout regulátor. Zvolil jsem metodu návrhu pomocí frekvenčních charakteristik. Soustava obsahuje jeden pól, což znamená jeden zlom se sklonem -20dB/dekádu. Důležitým kritériem je také schopnost vyregulovat poruchu, proto musí regulátor obsahovat I složku.

Ze standardních regulátorů tedy vyhovují typy PI a PID. Z těchto dvou vyhovujících byl vybrán PID regulátor. Výsledný regulátor má přenos (2).

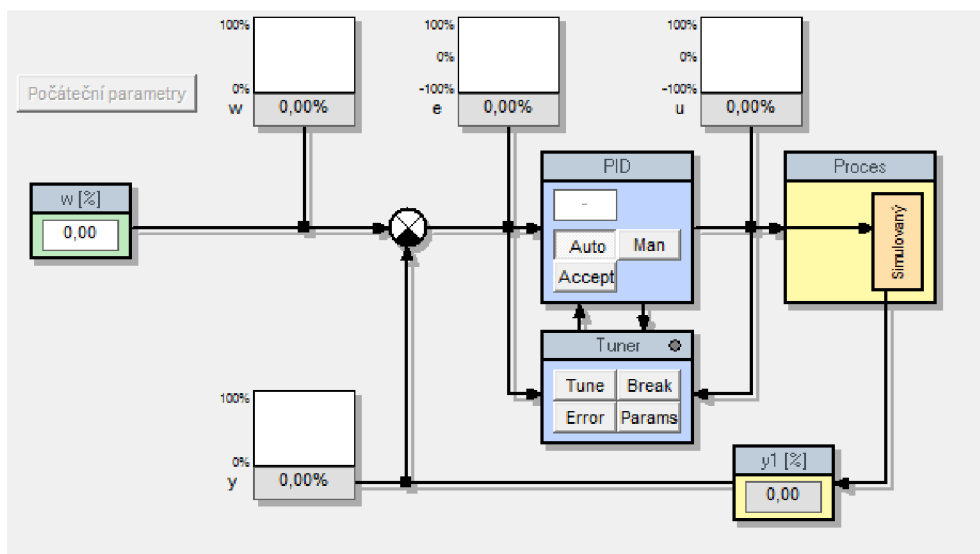
$$F_{r(p)} = 0,85 \frac{(5966,59p + 1)(50p + 1)}{p(5p + 1)} \quad (2)$$

Jedna nula regulátoru byla záměrně umístěna do pólu soustavy, tak aby úsek se sklonem -20dB/dek byl co nejdelší a následně pomocí zesílení zvolit vhodnou rychlost regulačního děje. Při plném akčním zásahu je možné dosáhnout zvýšení teploty asi o 5°C/minutu. Podle této hodnoty bylo upraveno zesílení regulátoru. Pro ověření nastavení regulátoru jsou provedeny simulace v prostředí Matlab. Výsledné přechodové charakteristiky jsou v příloze č. 11 Odezva na skok žádané hodnoty a č. 12 Odezva regulátoru na skok žádané hodnoty a působení konstantní poruchy, kde v čase  $t = 10\,000\text{s}$  začne působit konstantní porucha o velikosti  $-10^\circ\text{C}$ .

Tabulka 15 - Hodnoty odezvy na skok žádané hodnoty (metoda frek. charakteristik)

max. překmit [%]	0
čas ustálení $\pm 5\%$ [s]	4193
dosažení 90% pož. hodnoty [s]	3219
velikost ustálené odchylky [%]	0

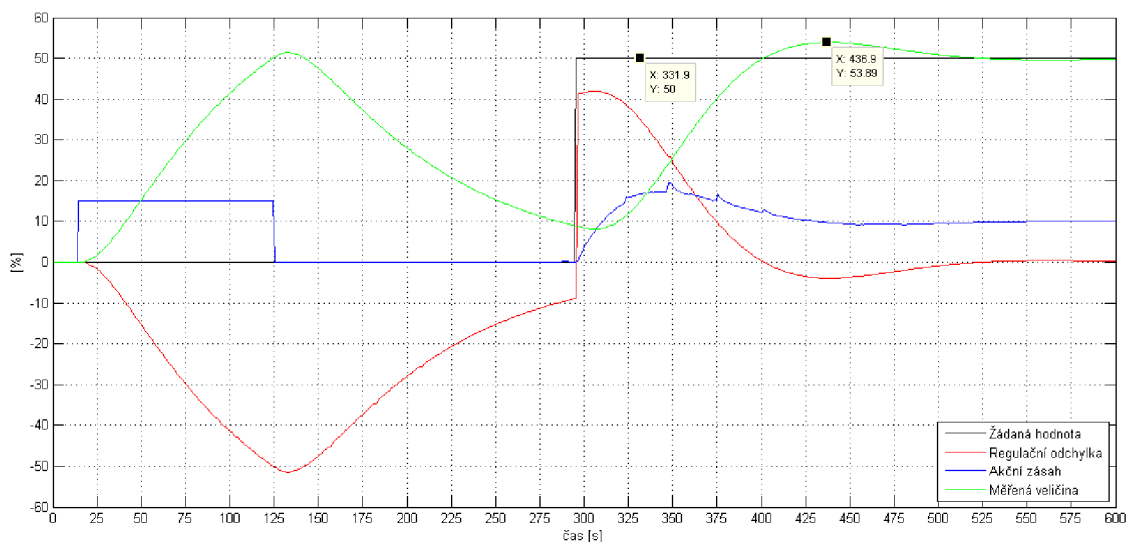
Návrh tohoto regulátoru řeší regulaci teploty pouze pro jeden typ forem. Pro jinou formu by bylo nutné provést opět identifikaci soustavy a navrhnout regulátor. Jako jedna z možností se jeví PID regulátor s automatickým laděním, který je přímo implementován v PLC. Nastavení regulátoru v prostředí Mosaic je možné provést jako součást programu v jazyce ST, nebo využít grafického rozhraní tzv. PIDMaker. Toto prostředí umožňuje přehlednější nastavení všech žádaných parametrů a následné vygenerování zdrojového kódu pro regulátor. Je zde i možnost ověření parametrů regulátoru na simulované soustavě i jeho nastavení na této soustavě.



Obrázek 7 - Vizualizace PID Maker

Automatické nastavení regulátoru probíhá pomocí experimentu a to na základě přivedení akčního zásahu tvaru impulzu na vstup soustavy, kterému musí předcházet ustálený stav měřené i žádané veličiny.

Průběh experimentu je zobrazen na Obrázek 8 - Průběh nastavování parametrů regulátoru a přechodová charakteristika.



Obrázek 8 - Průběh nastavování parametrů regulátoru a přechodová charakteristika

Experiment začíná přivedením akčního zásahu na vstup soustavy. Na základě odezvy je poté nastaven regulátor. Problematika nastavování parametrů regulátoru bohužel není nikde v dokumentaci od firmy Teco blíže popsána. Zkusil jsem se obrátit přímo na firemní podporu Teca o další informace, ale větší podrobnosti o výpočtu parametrů jsem se nedozvěděl.



## 4.7 Nastavení nástroje PIDMaker

První dialogové okno po zapnutí PIDMakeru složí k nastavení druhu regulátoru (P, I, PI, PD, PID). Automatické nastavení funguje pouze u regulátorů typu PI a PID. V případě, že již máme regulátor navržen, je zde možné zadat jeho parametry. Přenos regulátoru se zadává ve tvaru přenosové funkce (3).

$$F_r(p) = K \left( 1 + \frac{1}{T_i p} + \frac{T_d p}{N p + 1} \right) \quad (3)$$

kde:

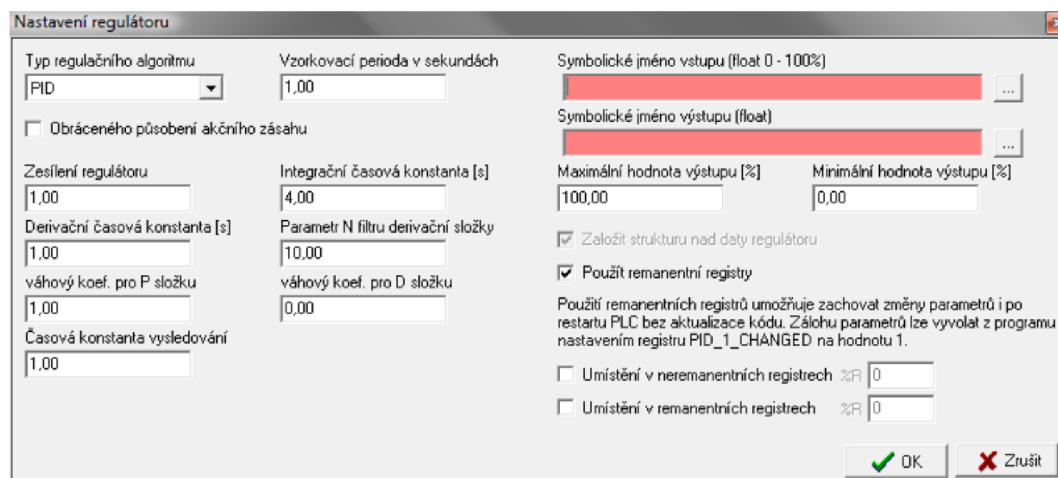
K - zesílení proporcionální složky

$T_i$  - integrační časová konstanta

$T_d$  - derivační časová konstanta

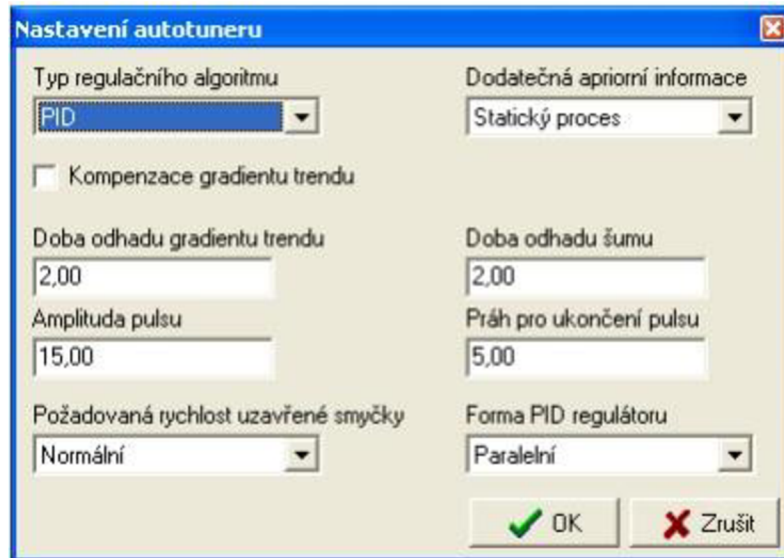
N - konstanta filtru derivační složky

Posledními nastavovanými parametry jsou symbolická vstupní, výstupní proměnná a volba, zda chceme uložit parametry regulátoru do remanentních paměťových registrů, což zajistí obnovení i po restartu PLC.



Obrázek 9 - Dialogové okno 1

Nastavením všech parametrů a jejich potvrzením se dostaneme k dialogu, kde je v nabídce volba z PI a PID regulátoru. Důležitým parametrem je také zda se jedná o statickou soustavu, nebo astatickou soustavu. Amplituda pulzu udává hodnotu pulzu, který se používá při identifikačním experimentu. Práh pro ukončení pulsu, jedná se o hodnotu, která se přičte k aktuální hodnotě měřené veličiny při začátku identifikace. Jakmile měřená veličina dosáhne součtu těchto hodnot je ukončen akční zásah.



Obrázek 10 - Dialogové okno 2

## 5 ZAPOJENÍ A TESTOVÁNÍ FUNKČNOSTI

### 5.1 Zapojení

V prvním kroku bylo nutné provést demontáž stávajícího ovládacího systému. Ten se skládal z rozvaděčové skříně umístěné mimo samotnou konstrukci lisu a propojovacího rozvaděče umístěného ve spodní části konstrukce lisu. Odstraněním těchto rozvaděčů bylo možné přistoupit k úpravě bočního krytu tak, aby byl umožněn přístup k nově nainstalovaným rozvaděčům. Vyřezáním otvorů a přivařením pantů pro zavěšení plechových dvířek je zajištěna ochrana samotných rozvaděčů a navíc rozvaděče nenarušují vzhled lisu. Uchycení rozvaděčových krabic je provedeno navařením železné konstrukce z profilovaného materiálu na základnu lisu.

Komponenty PLC byly umístěny do rozvaděče s průhledným víkem a krytím IP65 o velikosti 24 modulů. Stykače, relé a ostatní prvky jsou umístěny ve dvou rozvaděčích s krytím IP56. Všechny moduly jsou zavěšeny na DIN liště, což usnadňuje jejich montáž i případnou výměnu. Pro zachování stupně krytí rozvaděčů jsou pro přívod kabeláže použity kabelové vývodky s gumovým utažitelným těsněním. Rozmístění komponentů je patrné na výkresu rozvaděčů v příloze č. 6. Výkresy rozložení rozvaděčů. Operátorský panel byl umístěn na čelní stranu lisu tak, aby byl lehce přístupný obsluze. Pod tento panel byla umístěna ovládací tlačítka pro zajištění, vyjetí formy, manuálního posuvu hydraulického pístu, přerušení chodu pístu a tlačítka nouzového zastavení. Rozložení tlačítek v příloze č. 7. Rozložení tlačítek a operátorského panelu.

## 5.2 Oživení PLC

Před připojením spínaných zdrojů bylo nastaveno jejich výstupní napětí pomocí ladícího trimru a současného připojení voltmetru na požadovaných 24V pro napájení modulů PLC a ostatních komponentů. Teprve po tomto kroku byly zdroje připojeny do obvodu. Po připojení PLC a následného nahrání programu, který okamžitě hlásil chybu na sběrnici TCL2. Hlášení obsahovalo chybu o neexistujícím modulu na sběrnici. Což mohlo být způsobeno konfliktem HW adres jednotlivých modulů, protože na modulu digitálních výstupů a analogových vstupu byla omylem nastavená stejná adresa. Ale i nastavením neshodných adres se ale chyba i nadále opakovala. Proto jsem vyřadil z programu rozšiřující všechny moduly. Postupným povolováním modulů a jejich připojováním na sběrnici se ukázalo, že chybu způsoboval propojovací kabel.

## 5.3 Ověření zapojení stykačů a koncových spínačů

Nejprve jsem ověřoval pomocí ručního spínání a to krátkým sepnutím stykače, zda směr otáčení jednotlivých motorů odpovídá. Pouze u motoru čerpadla otáčky neodpovídaly. Zde ale stačilo zaměnit dva vodiče na výstupu tepelného relé. Podobným způsobem jsem otestoval správnost zapojení koncových snímačů a tlačítek při sledování signalizace v prostředí Mosaic, zda jednotlivé stisknuté spínače odpovídají jednotlivým digitálním vstupům. Jednotlivé digitální výstupy PLC jsem taktéž testoval z prostředí Mosaic, a to tak, že na příslušný testovaný výstup byla zapsána log. 1. Testování výstupu bylo prováděno za vypnutého hlavního stykače, takže se motory neotáčely, pouze byly sledovány jednotlivé stykače a relé. Kromě jedné výše zmíněné závady nebyly zjištěny žádné další problémy v zapojení.

## 5.4 Manuální ovládání

V druhé fázi proběhlo testování ovládacího programu lisu. Kvůli možné chybě v programu, kterou se nepodařilo odhalit během ladění ve vývojovém prostředí, byla z lisu vytažena forma a nahrazena železnými bloky proto, aby nedošlo k vystřelení pístu z válce při jeho plném vysunutí. V první části testování programu bylo vyzkoušeno manuální ovládání lisu. Při zasouvání formy se celý proces několikrát v každé fázi přerušil pomocí Stop tlačítka i bezpečnostním tlačítkem a poté znovu spuštěn. Během tohoto testu se vyskytly drobné nedostatky z důvodu špatně nastavených vzdáleností koncových spínačů od snímaných prvků. Postup se opakoval i pro vysouvání formy. Zajetím formy dojde k odblokování manuálního pohybu pístu. Ten se při vysouvání, ale pohyboval trhaně, jelikož se dostal do svorky ovládací cívky kus plastu a způsobil, že i při jejím dotažení se vodič pouze náhodně dotýkal. Tento nedostatek byl bez větších obtíží ihned odstraněn.

## 5.5 Automatický vulkanizační cyklus

Samotný cyklus začíná nastavením všech časů potřebných pro jeho vlastní spuštění, proto byly postupně nastavovány časy záměrně špatně tak, aby se ošetřily všechny nežádoucí stavy a nedošlo k spuštění cyklu. Tato část také proběhla úspěšně. Správným nastavením časovačů se uvolnilo spuštění cyklu. Ten byl opět otestován na bezpečné odstavení. Dále proběhl test přerušení během vysouvání pístu tak, aby mohla být forma správně při uzavírání sesazena na čepy a nedošlo k jejímu poškození.

## 5.6 Nastavení regulátorů teploty

Poslední test byl zaměřen na regulaci teploty forem. Nastavení parametrů PID probíhalo pomocí PIDMakeru. Hodnota přenosu regulátoru (4). Porovnání průběhů regulátorů v příloze č. 15 porovnání navržených regulátorů. Jak je možné vidět v příloze č. 14. Odezva s regulátorem navrhnutým autotunerem a akční zásah, má regulátor také minimální proporcionální složku. Celá identifikace trvala cca 115 minut. Dále je nutné brát v úvahu i čas pro nahřívání na požadovanou pracovní teplotu a ponechání času pro rovnoměrné prohřátí celé formy.

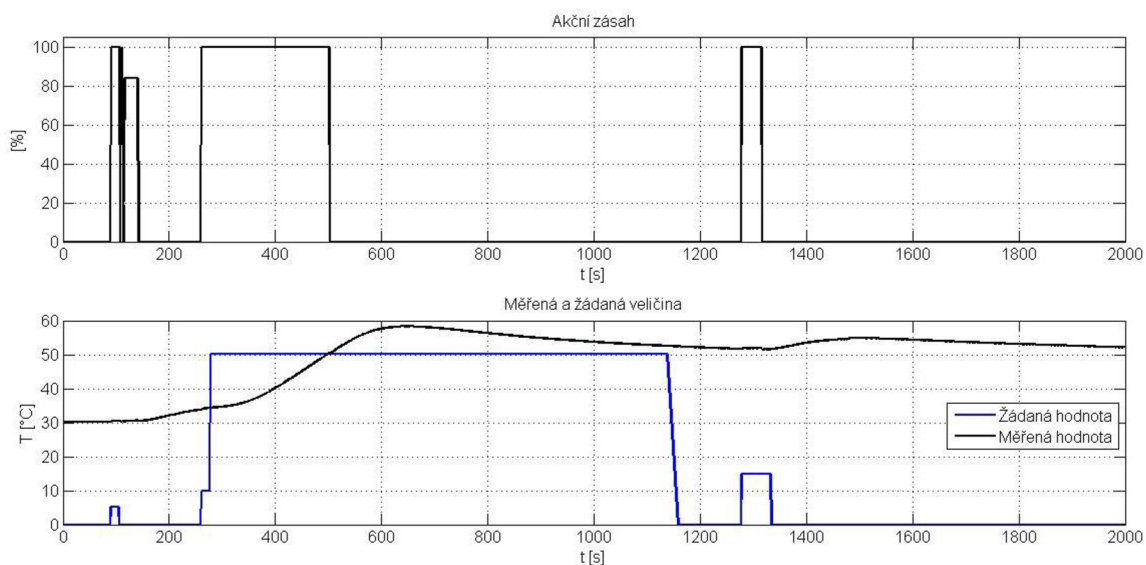
$$F_{r(p)} = 6,67 \left( 1 + \frac{1}{1410,13p} + \frac{314,32p}{\frac{314,32}{4}p + 1} \right) \quad (4)$$

Tabulka 16 - Hodnoty odezvy na skok žádané hodnoty (návrh autotunerem)

max. překmit [%]	10,08
čas ustálení ± 5% [s]	7220
dosažení 90% pož. hodnoty [s]	4005
velikost ustálené odchylky [%]	0

Ve výsledku to znamená zdržení o více než jeden a půl hodiny oproti původním dvoustavovým regulátorům. S těmito regulátory byla forma připravena zhruba do dvou až dvou a půl hodin. Tyto regulátory sice způsobují kolísání teploty v rozmezí kolem žádané teploty zhruba o  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ , ale na kvalitu výsledných výrobků nemá vliv. Průběh regulace v příloze č. 16. Průběh regulace teploty dvoustavovým regulátorem.

Během ověřování nastavení regulátoru přímo na soustavě docházelo při zadání teploty nižší, než byla teplota měřená k nežádoucím akčním zásahům. Ty způsobily další zvýšení teploty a akční zásah musel být ručně ukončen vypnutím regulátoru. Toto chování je zobrazeno na Obrázek 11 - Nežádoucí akční zásahy, kdy v časech cca 80s je nastavená teplota  $5^{\circ}\text{C}$  a v čase 1280s je nastavena teplota na  $15^{\circ}\text{C}$  a měřená teplota je několikanásobně vyšší, na výstupu regulátoru objeví akční zásah a dochází k dalšímu zvyšování teploty.



Obrázek 11 - Nežádoucí akční zásahy

Z důvodu časové náročnosti na identifikaci soustavy pomocí autotuneru a nežádoucím chováním regulátoru při nastavování teplot byl pro regulaci použit dvoustavový regulátor s hysterezí.

## 5.7 Dokumentace

Dokumentace obsahuje schémata zapojení, výkres rozložení rozvaděčů, rozpisky materiálů. Tyto dokumenty jsou přiloženy v přílohách č. 5. Rozpisky materiálu, č. 6. Výkresy rozložení rozvaděčů, č. 7. Rozložení tlačítek a operátorského panelu, č. 8. Schémata zapojení.

## 6 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout ovládací systém s využitím PLC pro vulkanizační lis.

V úvodní části práce je popsáno původní ovládání vulkanizačního lisu a deklarace požadavků na nový ovládací systém. Následujícím krokem je rešerše vhodných komponent. Ze systémů od firem Siemens, Phoenix Contact a Teco bylo vybráno PLC Foxtrot firmy Teco. Jedním z hlavních bodů práce je návrh řídicího programu PLC. Ten zahrnuje kromě samotného programu pro manuální ovládání a automatický cyklus, také návrh regulátorů teploty. Závěrečná část se věnuje vlastnímu fyzickému zapojení všech prvků, následným oživením, otestování správnosti jejich zapojení a kompletnímu testu. Posledním bodem zadání bylo vytvořit dokumentaci pro údržbu a případný servis.

Jedním z bodů zadání je požadavek na vypracování modelu lisu, na němž by se dali odladit nedostatky řídicího programu. Z důvodu nenalezení vhodného softwaru pro provedení této simulace se testování omezilo na využití simulovaného PLC v prostředí Mosaic.

Zadavatelem práce byla firma AGA Speciální technická pryž s.r.o. Všechny jednotlivé požadavky kladené na funkce lisu byly v rámci této práce splněny. Lis tak může být nasazen opět do výroby. Vedení firmy také projevilo zájem o přestavbu ovládacích systémů několika dalších lisů.

# Literatura

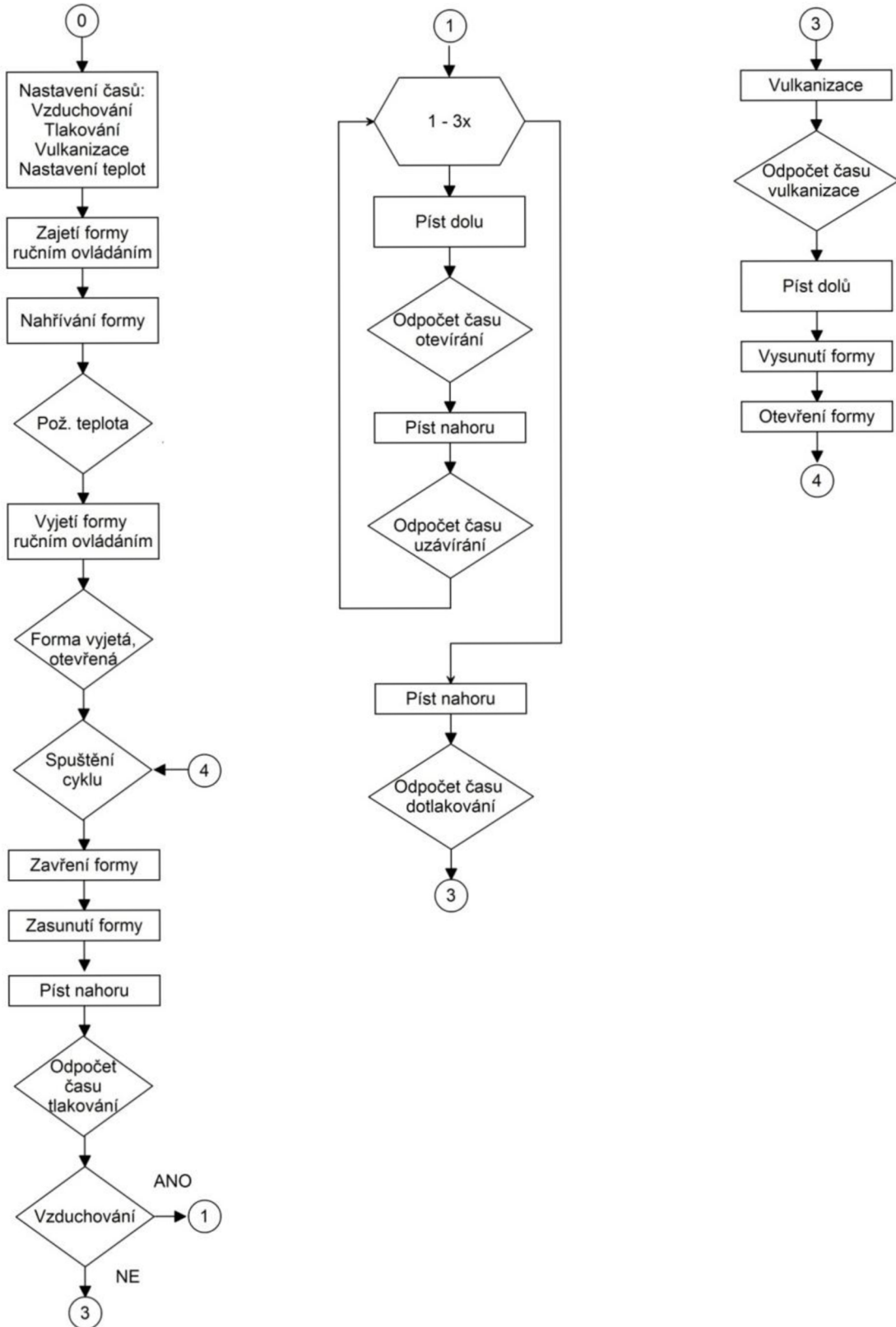
- [1] ŠMEJKAL, Ladislav a Marie MARTINÁSKOVÁ. *PLC a automatizace*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999, 223 s. ISBN 80-86056-58-9.
- [2] Pásek J.: Programovatelné automaty v řízení, elektronické texty, přednášky (CS)
- [3] TECO a.s.. Programování PLC podle normy IEC 61 131-3 v prostředí Mosaic, 105s.
- [4] TECO a.s.. Nástroj PIDMaker, 28s.
- [5] TECO a.s.. PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY TECOMAT FOXTROT CP-1004, CP-1014, říjen 2014, 129s.
- [6] TECO a.s.. PERIFERNÍ MODULY PLC TECOMAT FOXTROT, říjen 2014, 129s.
- [7] TECO a.s.. PŘÍRUČKA PROJEKTOVÁNÍ CFOX, RFOX A FOXTROT, březen 2015, 581s.
- [8] Mikrosystémy, [ONLINE] [CIT. 18-5-2016].  
Dostupné z:  
[http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?ctxnh=5dc8474325&ctxp=sale\\_cenik](http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?ctxnh=5dc8474325&ctxp=sale_cenik)
- [9] Simens Product Support [ONLINE] [CIT 18-5-2016]  
Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/products?lc=en-WW>
- [10] DS5 SOLENOID OPERATED DIRECTIONAL CONTROL VALVE  
[ONLINE] [CIT. 18-5-2016] Dostupné z:  
[http://www.duplomatic.com/en\\_US/prodotti/valvole-direzionali/elettrovalvole-/ds5-elettrovalvola-direzionale-a-comando-diretto-iso-4401-05/](http://www.duplomatic.com/en_US/prodotti/valvole-direzionali/elettrovalvole-/ds5-elettrovalvola-direzionale-a-comando-diretto-iso-4401-05/)
- [11] Phoenix contact, s.r.o., Řídící jednotka - ILC 131 ETH - 2700973, 4s.
- [12] Phoenix contact, s.r.o., Svorky Inline - IB IL 24 DI 16-PAC - 2861250, 3s.
- [13] Phoenix contact, s.r.o., Inline svorka funkce - IB IL TEMP 4/8 RTD-PAC - 2863915, 3s.
- [14] Phoenix contact, s.r.o., Svorky Inline - IB IL 24 DO 16-PAC - 2861292, 3s.
- [15] Phoenix contact, s.r.o., Dotykový panel - TD 1030T - 2701257, 3s.
- [16] Eaton s.r.o., Katalog - Stykače a relé, 1-11-2011, 208s
- [17] Eaton s.r.o., Katalog - Přehled průmyslových výrobků, 1-1-2013, 210s
- [18] Ing. Petr BLAHA PhD., Prof. Ing. Petr VAVŘÍN DrSc. Řízení a regulace I, Základy regulace lineárních systémů - spojitě a diskrétní (v. 1. 3. 1)
- [19] Miroslav NOVÁK, Konstrukční kancelář [ONLINE] [CIT 18-5-2016]  
Dostupné z: <http://www.mn-kk.freepage.cz/nova-stranka-155756/>

# Seznam příloh

- Příloha 1. Vývojový diagram cyklu
- Příloha 2. Ukázky zdrojového kódu LD
- Příloha 3. Ukázka zdrojového kódu ST
- Příloha 4. Fotografie lisu
- Příloha 5. Rozpisky materiálu
- Příloha 6. Výkresy rozložení rozvaděčů
- Příloha 7. Rozložení tlačítek a operátorského panelu
- Příloha 8. Schémata zapojení
- Příloha 9. Průběh odezvy systému
- Příloha 10. Aproximace systému
- Příloha 11. Odezva na skok žadané hodnoty
- Příloha 12. Odezva na skok žadané hodnoty a působení konstantní poruchy
- Příloha 13. Odezva na skok žadané hodnoty s regulátorem navrhnutým autotunerem
- Příloha 14. Odezva s regulátorem navrhnutým autotunerem a akční zásah
- Příloha 15. Porovnání navržených regulátorů
- Příloha 16. Průběh regulace teploty dvoustavovým regulátorem
- Příloha 17. Disk CD
  - Struktura adresářů na CD
  - bp\_PSablik.pdf
  - zdrojový kód PLC: PG\_VulkLis\_AGA.piz

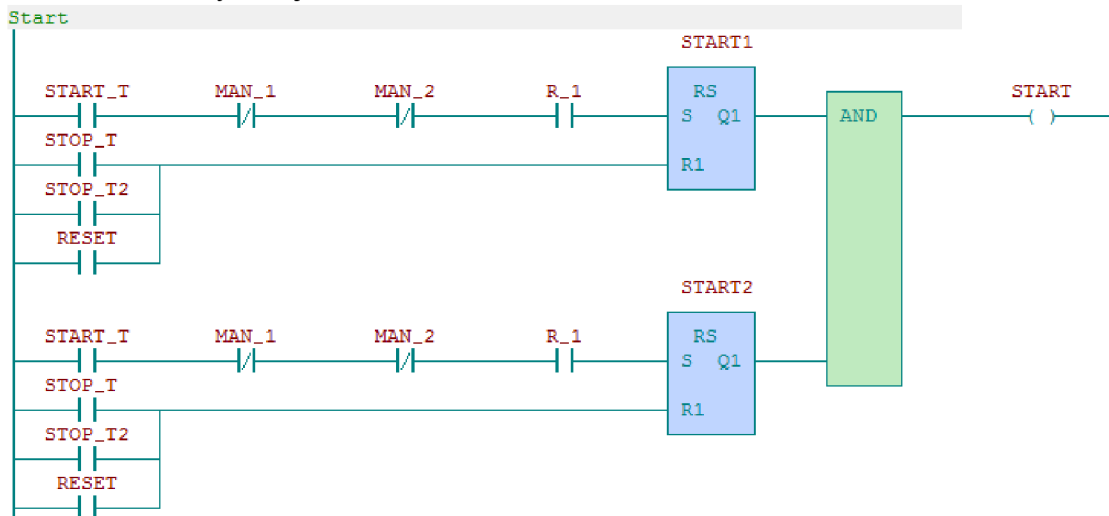


Příloha 1. Vývojový diagram cyklu

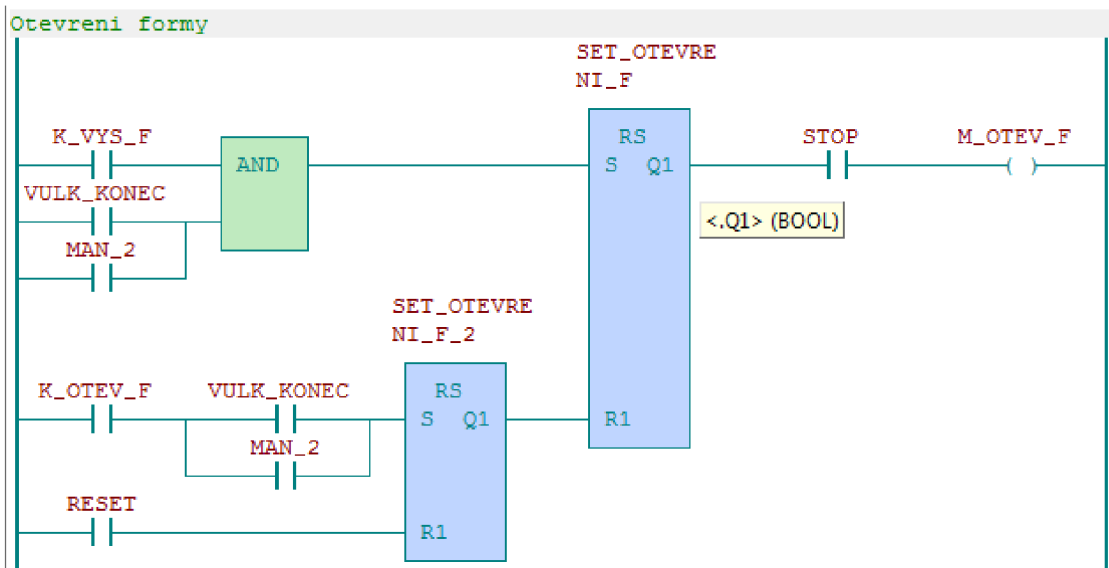


Obrázek 12 - Vývojový diagram

## Příloha 2. Ukázky zdrojového kódu LD



Obrázek 11 - Ukázka LD č. 1



Obrázek 13 - Ukázka LD č. 2

### Příloha 3. Ukázka zdrojového kódu ST

```
FUNCTION_BLOCK PWM_ul
VAR_INPUT
  SetVal : UINT;
  Measured : REAL;
  ControlV : REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  OUT : BOOL;
  MSetVal : REAL;
  MMeasured : REAL;
END_VAR
VAR
  PWidth : REAL;
  TPulse : TIME;
  CLK : BOOL;
  Q : BOOL;
  M : BOOL ;
  Timer_TP: TP;
END_VAR

IF SetVal = 0 THEN
  OUT := false;
  PWidth := 0.0;
  MSetVal := 0.0;
ELSE
  //Úprava a ošetření vstupních veličin
  IF (PWidth > 1.0) OR (PWidth < 0.0) THEN
    IF PWidth > 1.0 THEN
      TPulse := REAL_TO_TIME(1.0 * 1000.0);
      END_IF;

      IF PWidth < 0.0 THEN
        TPulse := T#0s;
        END_IF;
    ELSE
      Pwidth := ControlV/100.0;
      TPulse := REAL_TO_TIME(PWidth * 1000.0);
    END_IF;
  MSetVal := UINT_TO_REAL(SetVal)/3.0;
  MMeasured := Measured/3.0;
  CLK := SEKUNDA;
  //Detekce náběžné hrany nosné frekvence
  Q := clk and not M; M := CLK;

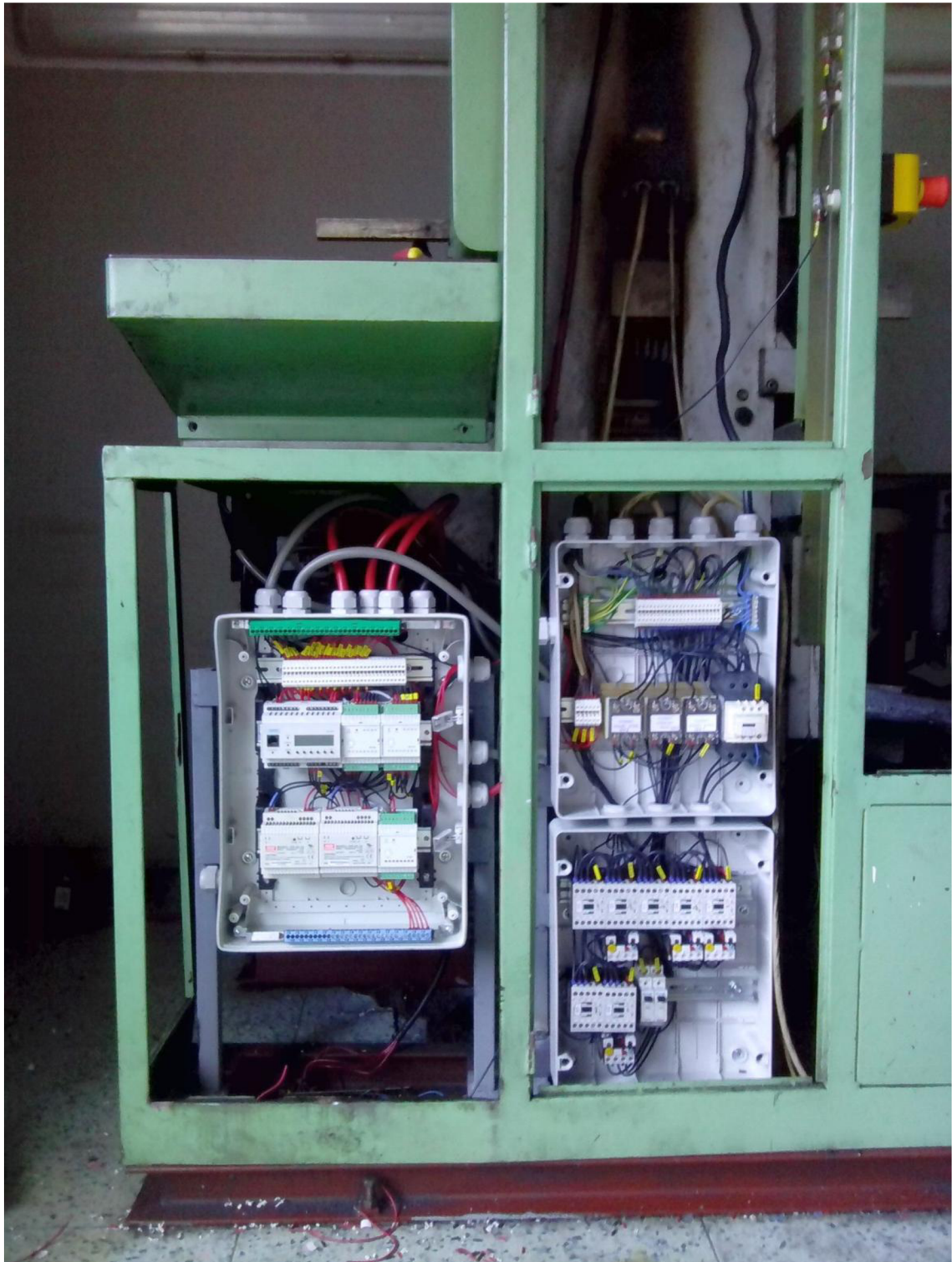
  //Pulz dané délky odvozený od náběžné hrany nosné frekvence
  Timer_TP( IN := Q, PT := TPulse, Q => OUT );

END_IF;
END_FUNCTION_BLOCK
```

Příloha 4. Fotografie lisu



Obrázek 14 - Fotografie 1



Obrázek 15 - Fotografie 2

Příloha 5. Rozpisky materiálu

Tabulka 17 - Rozpiska materiálu 1

<b>Rozvaděč 1</b>			
<b>Označení</b>	<b>Popis</b>	<b>Cena</b>	<b>Počet</b>
CP- 1014	Hlavní modul	11 300 Kč	1 ks
IB- 1301	Modul digitálních vstupů	2 600 Kč	1 ks
OS- 1401	Modul digitálních výstupů	3 600 Kč	1ks
IT- 1604	Modul analogových vstupů	5 550 Kč	1 ks
DR- 60- 24	Zdroj 60W 24V DC	1 090 Kč	2 ks
RSA- 2,5	Řadová svorka na DIN lištu	10,94 Kč	30 ks
Vývodka PG21	Vývodka	11,86 Kč	10 ks
13433 Kaedra - Schneider	Rozvodnice pro modulární přístroje 2x12 modulů, IP 65	1840 Kč	1 ks

Tabulka 18 - Rozpiska materiálu 2

<b>Rozvaděč 2</b>			
<b>Označení</b>	<b>Popis</b>	<b>Cena</b>	<b>Počet</b>
LC1D50AP	Stykač 3pol., 230VAC, 50A, NOx3	2275 Kč	1 ks
ASR- 15DA- H	SSR relé + pasivní hliníkový chladič	634 Kč	3 ks
HS- 60- 50	Chladič SSR relé	170 Kč	3 ks
Nulovací můstek 7x16mm <sup>2</sup>	Nulovací můstek modrý (N)	13 Kč	1 ks
Nulovací můstek 7x16mm <sup>2</sup>	Nulovací můstek zelený (PE)	13 Kč	1 ks
RSA- 2,5	Řadová svorka na DIN lištu	10,94 Kč	30 ks
GW 44 220	Krabice s vysokým víkem, IP 56	880 Kč	1ks
Vývodka PG21	Vývodka	11,86 Kč	11 ks

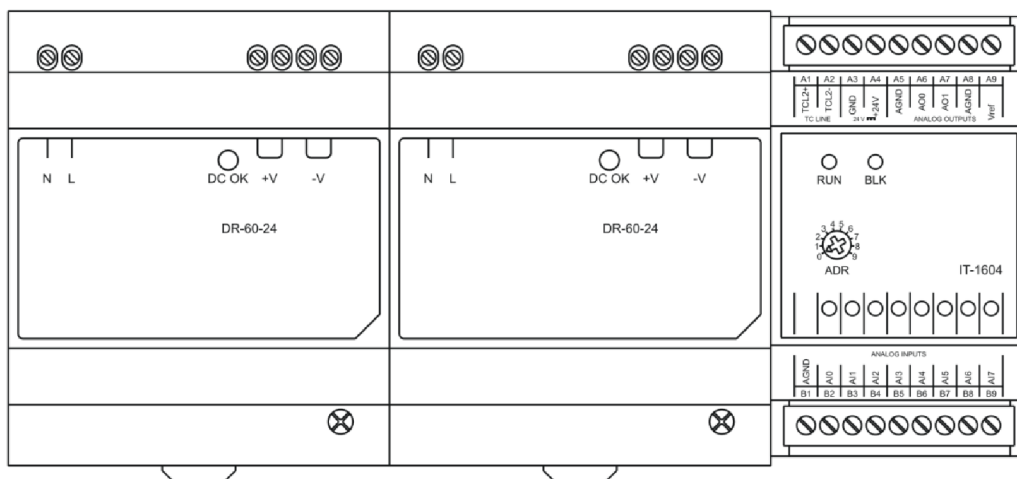
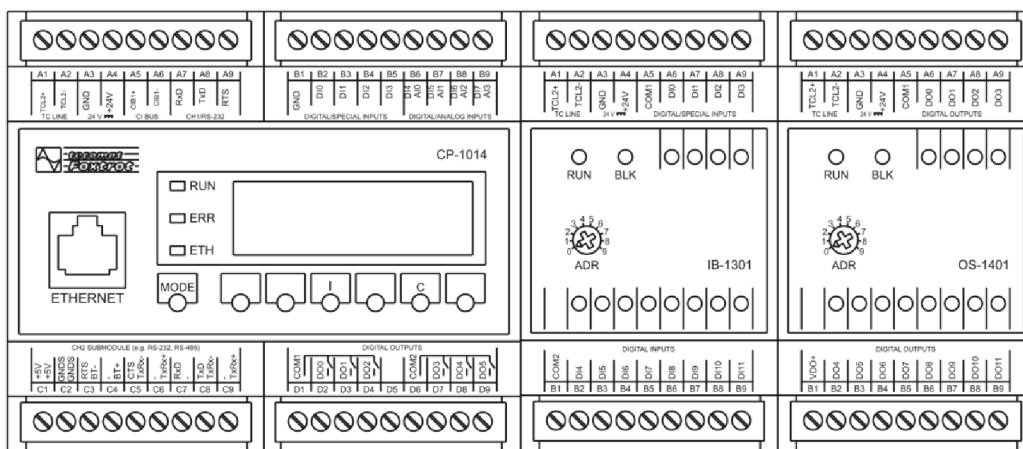
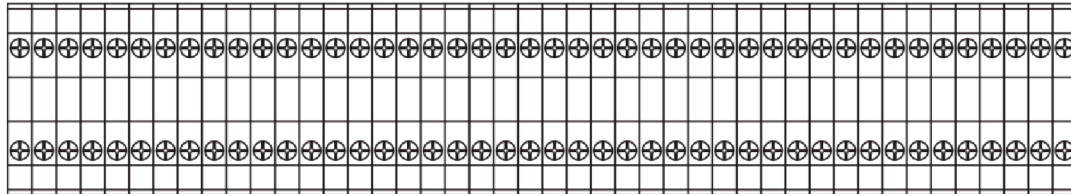
Tabulka 19 - Rozpiska materiálu 3

<b>Rozvaděč 2</b>			
<b>Označení</b>	<b>Popis</b>	<b>Cena</b>	<b>Počet</b>
DILM7- 01	Stykač 3pol, 24VDC, 7A, NOx3	525 Kč	6 ks
DILM12- 01	Stykač 3pol, 24VDC, 12A, NOx3	838 Kč	1 ks
Z-R230/SS	Relé instalační 1p, 230VAC, 20A, NOx2	453 Kč	2 ks
ZB12- 0,6	Tepelné relé	734 Kč	3 ks
ZB12- 6	Tepelné relé	880 Kč	1 ks
Vývodka PG21	Vývodka	11,86 Kč	3 ks
GW 44 220	Krabice s vysokým víkem, IP 56	880 Kč	1ks

Tabulka 20 - Rozpiska materiálu 4

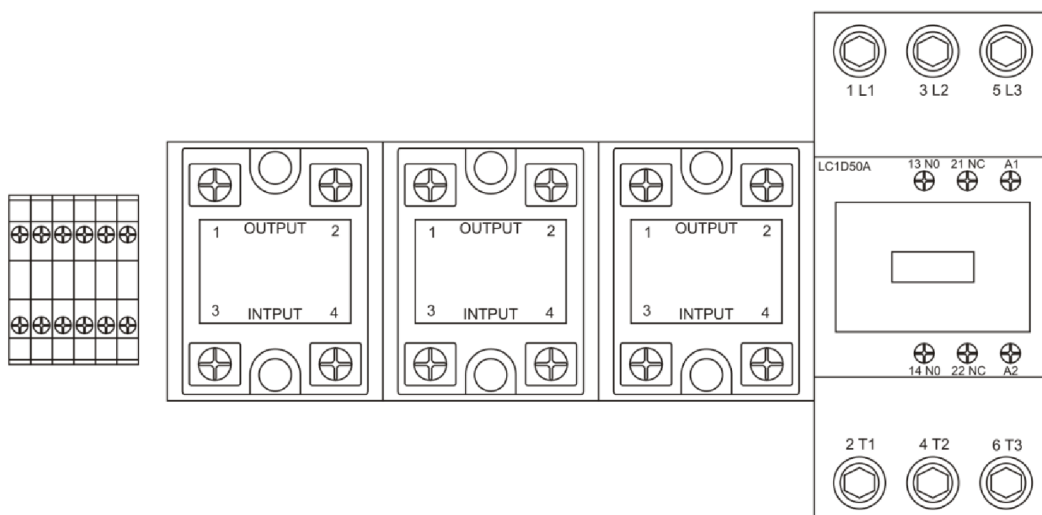
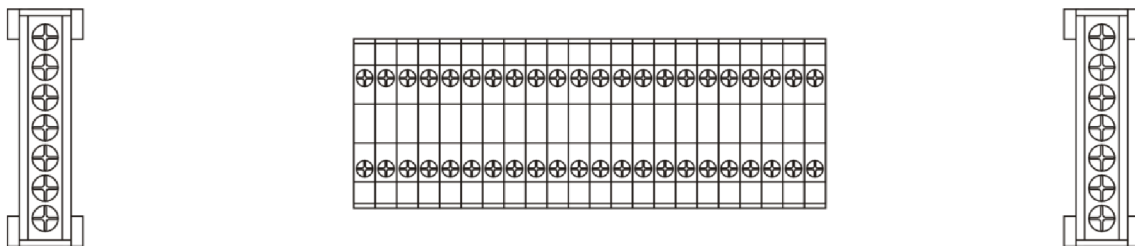
<b>Ostatní</b>			
<b>Označení</b>	<b>Popis</b>	<b>Cena</b>	<b>Počet</b>
DIN lišta TS 35	DIN lišta 2m	70 Kč	1 ks
CYA 2,5 ČE	Vodič ohebný černý 2,5mm <sup>2</sup>	6,20 Kč	20 m
CYA 1,5 Č	Vodič ohebný červený 1,5 mm <sup>2</sup>	3,86 Kč	20 m
CYA 1,5 ČE	Vodič ohebný černý 1,5 mm <sup>2</sup>	3,92 Kč	30 m
LIYCY 2x0.14	Kabel 2x0,14mm <sup>2</sup> , stíněný	14 Kč	5 m
Dutinka 2,5 mm <sup>2</sup>	Zakončovací dutinka lisovací	0,35 Kč	150 ks
Dutinka 1,5 mm <sup>2</sup>	Zakončovací dutinka lisovací	0,22 Kč	150 ks

Příloha 6. Výkresy rozložení rozvaděčů

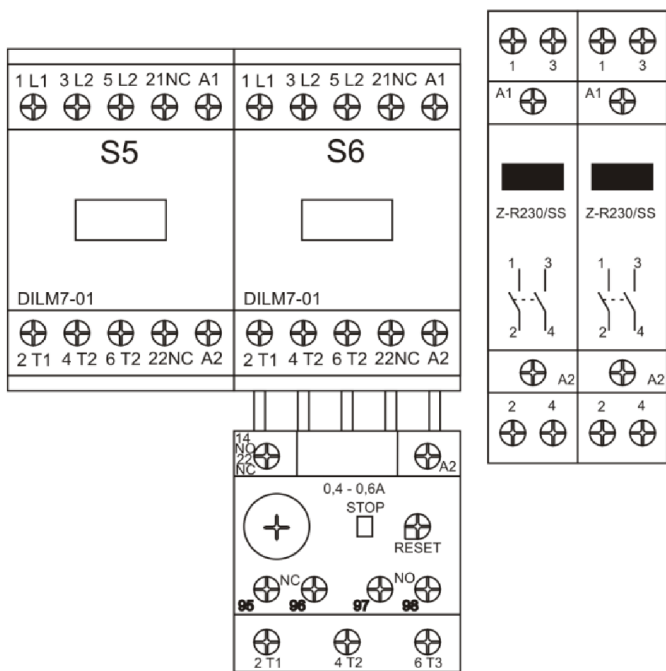
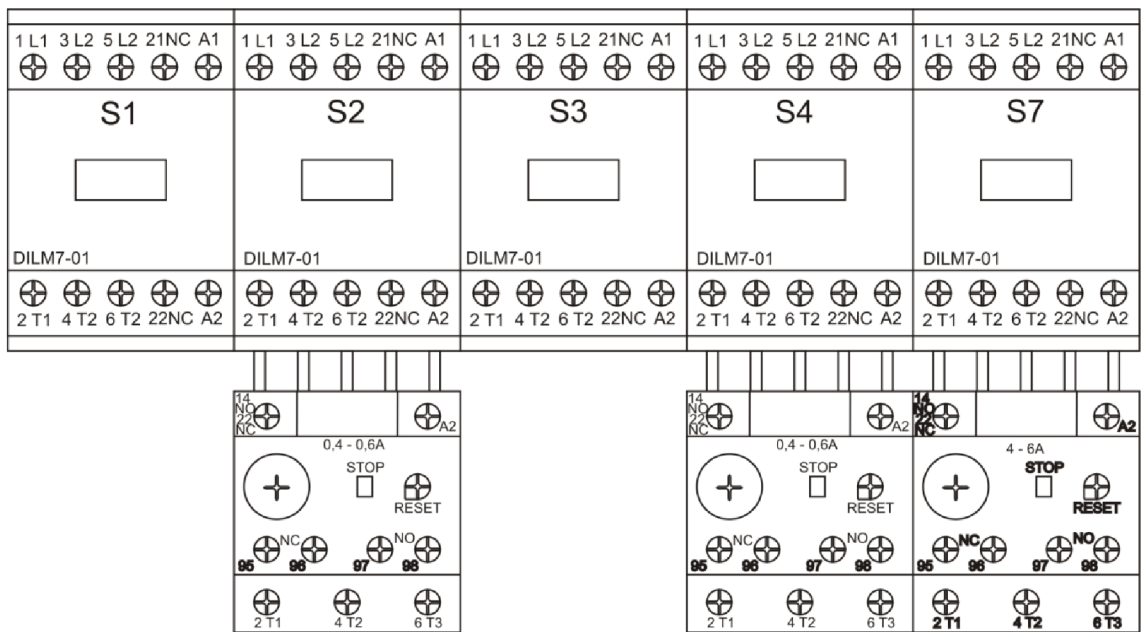


Obrázek 16 - Výkres rozvaděče 1



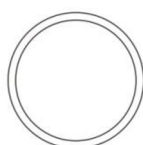
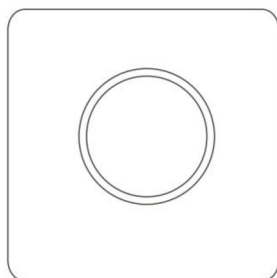
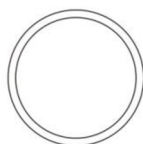
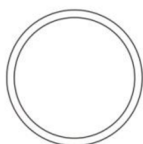
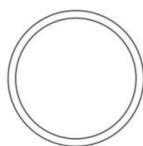
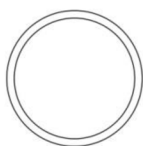
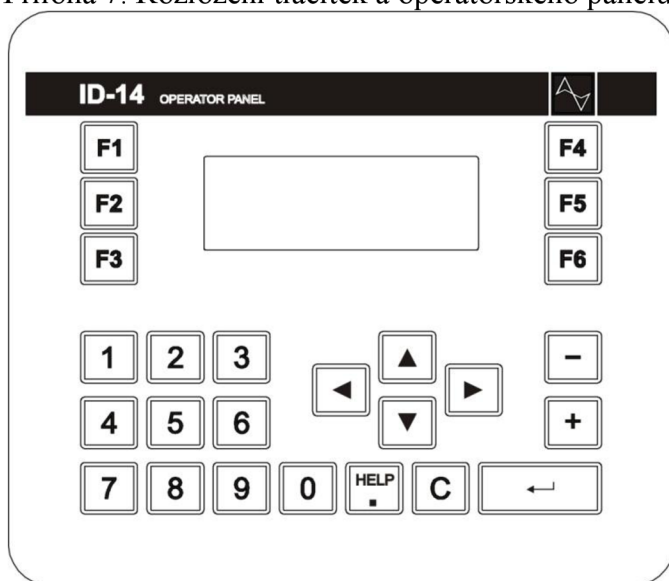


Obrázek 17 - Výkres rozvaděče 2



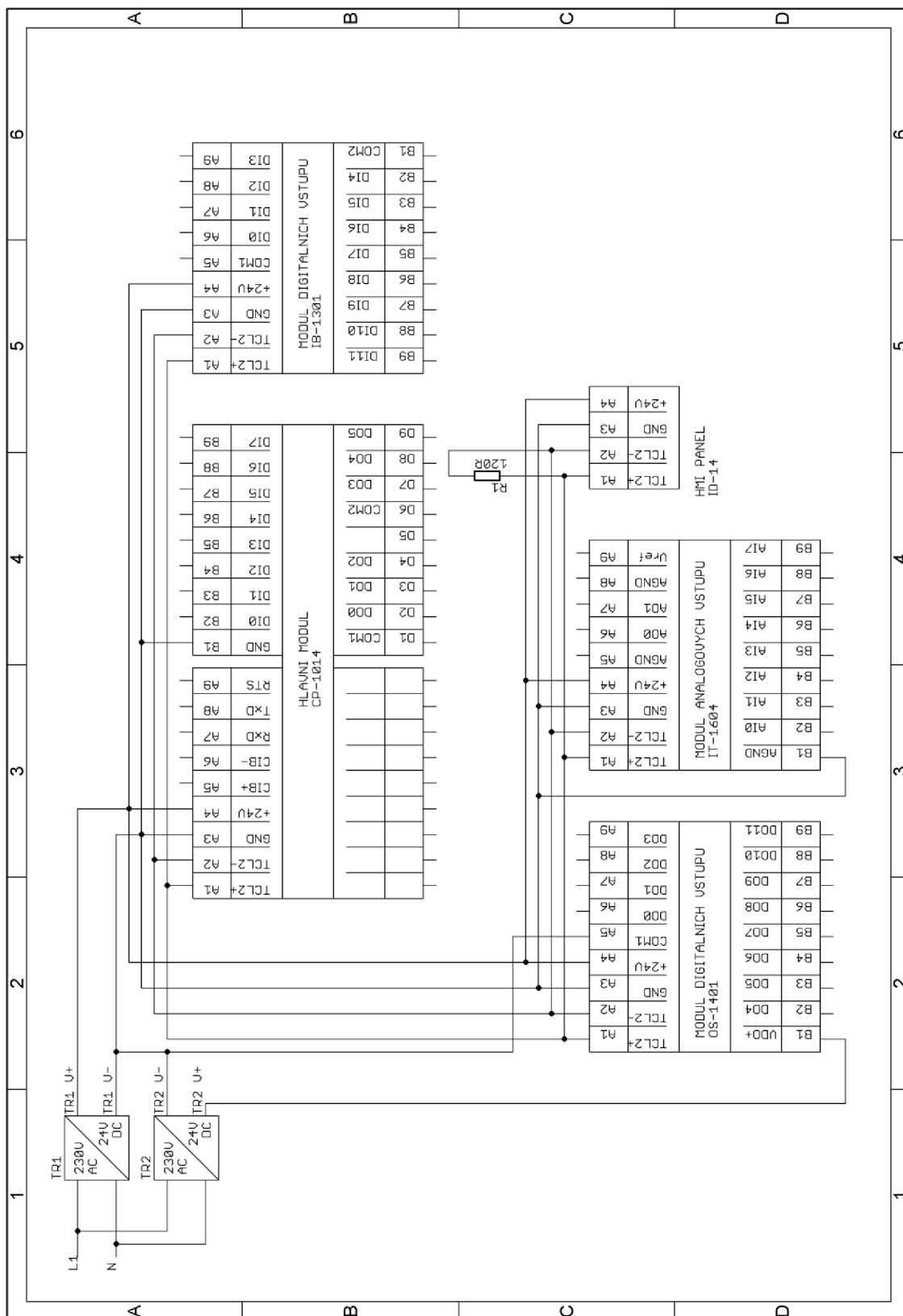
Obrázek 18 - Výkres rozvaděče 3

Příloha 7. Rozložení tlačítek a operátorského panelu



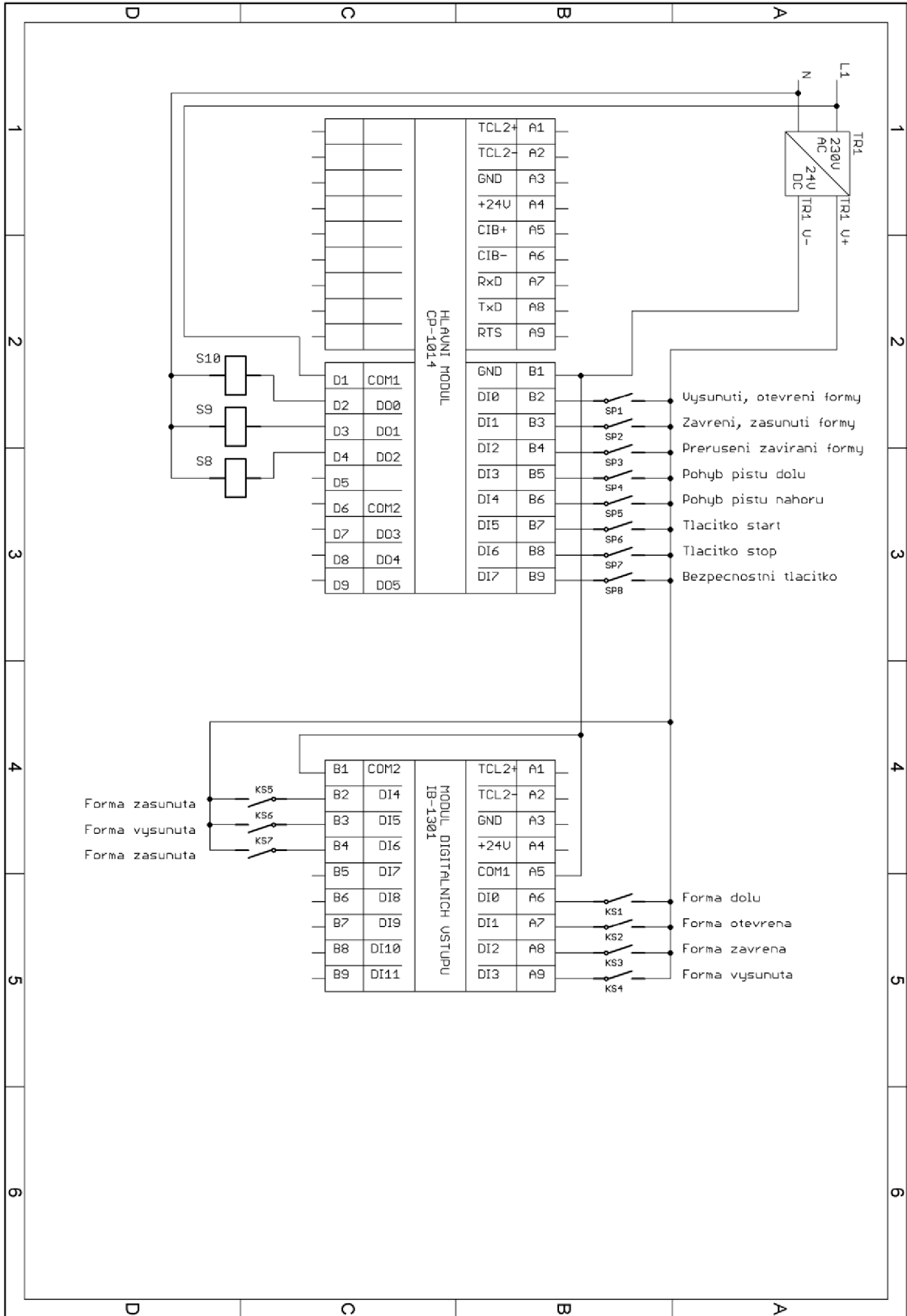
Obrázek 19 - Rozložení tlačítek a operátorského panelu

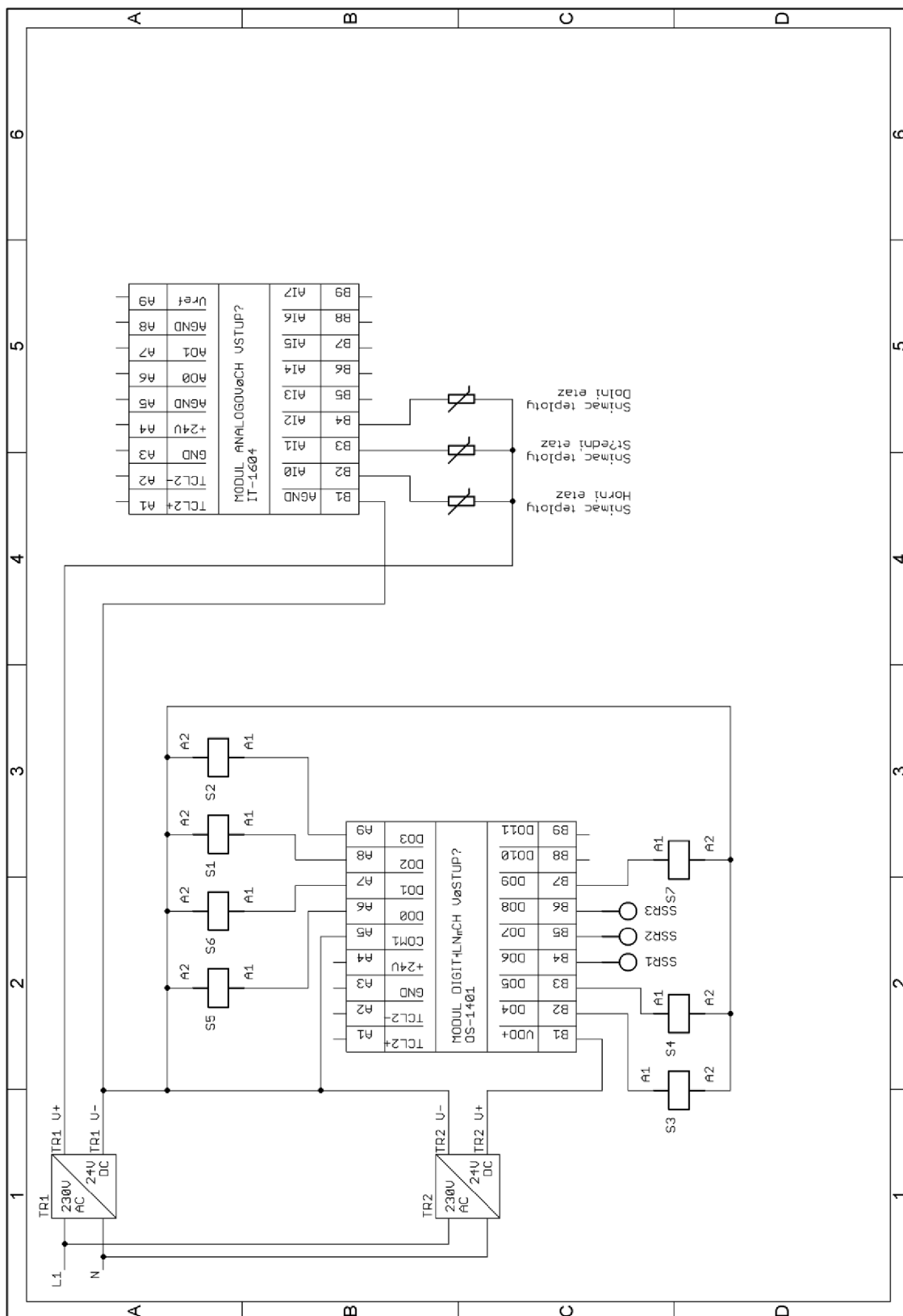




Obrázek 21 - Schéma zapojení 2

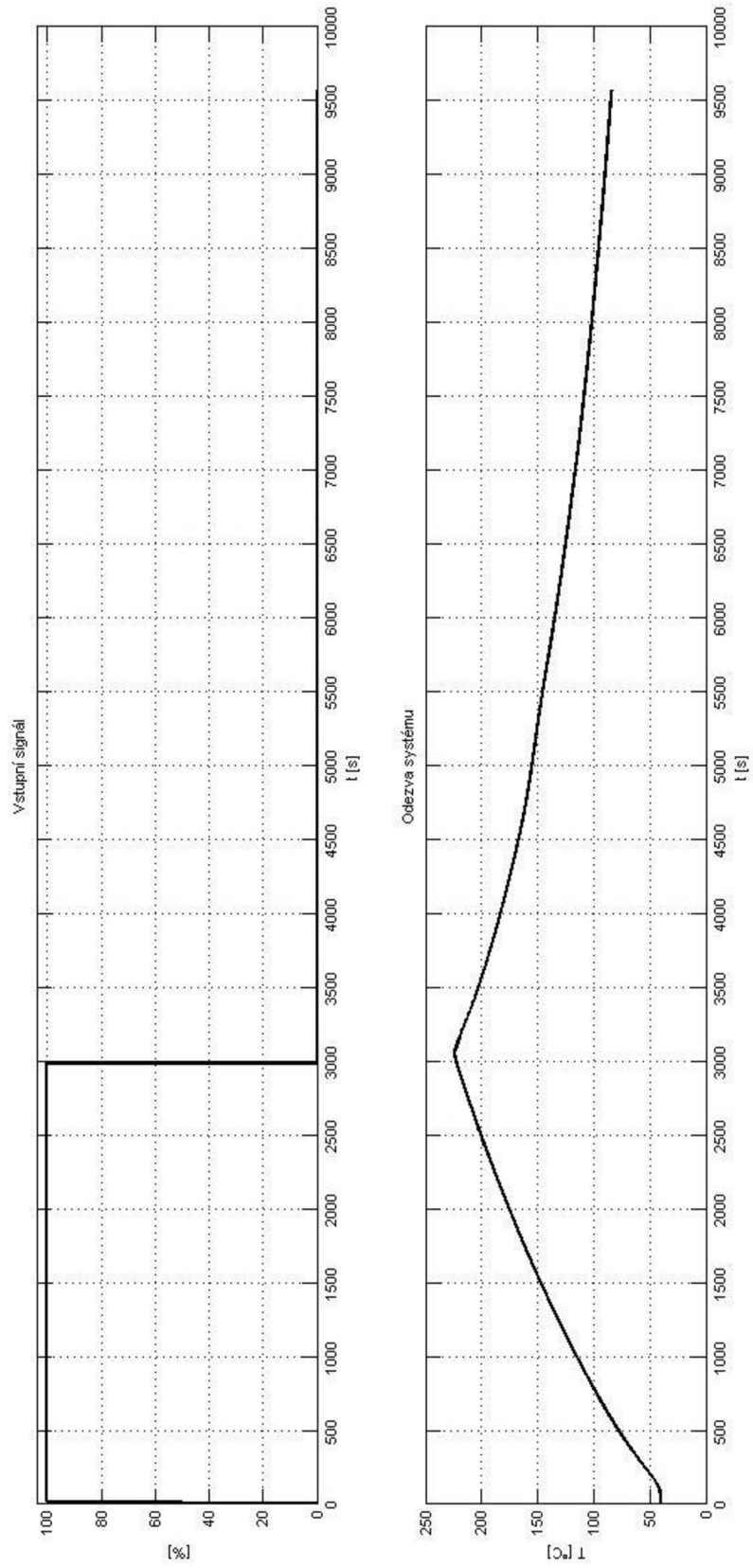
Obrazek 22 - Schéma zapojení 3





Obrázek 23 - Schéma zapojení 4

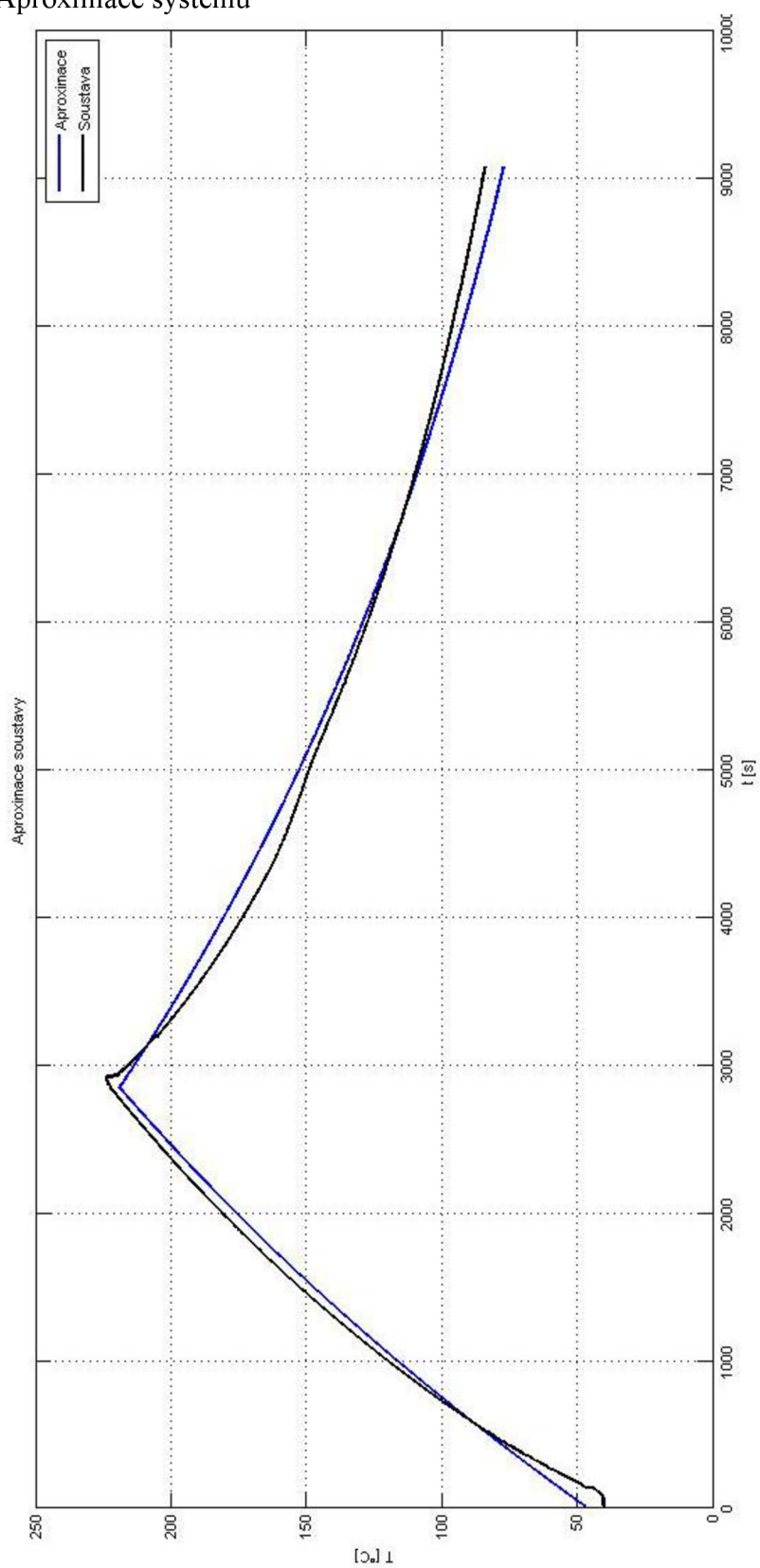
Příloha 9. Průběh odezvy systému



Obrázek 24 - Odezva systému

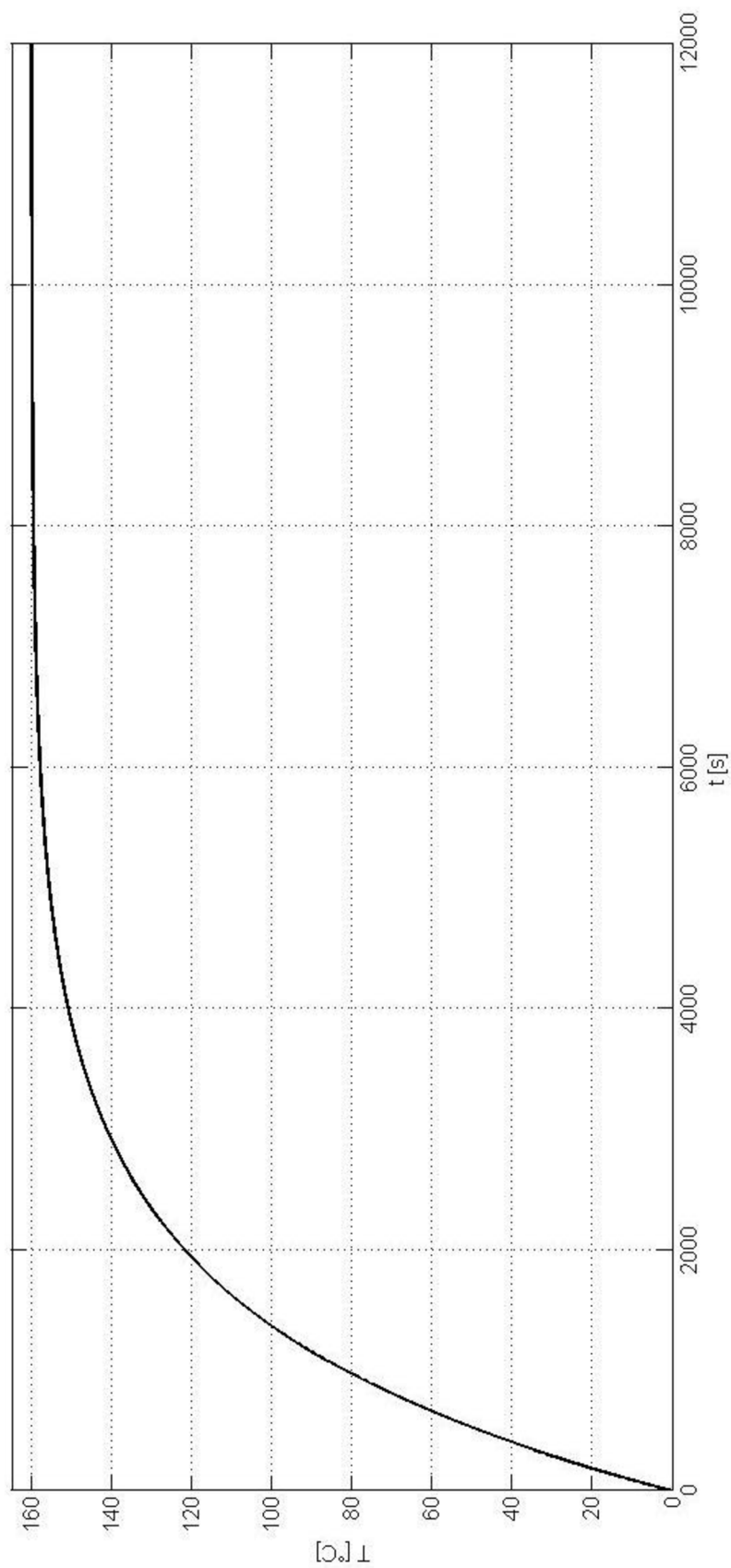


Příloha 10. Aproximace systému



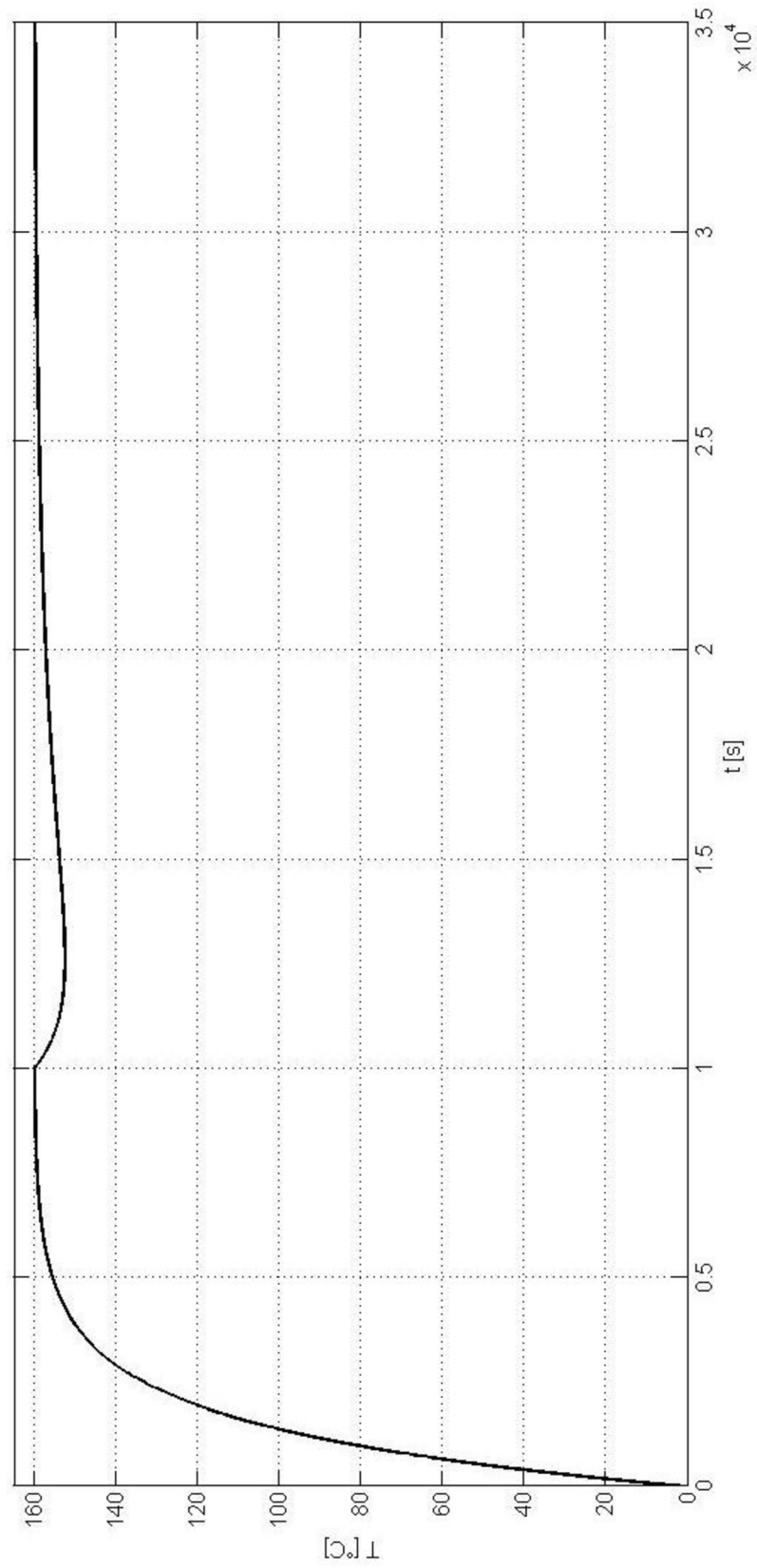
Obrázek 25 - Aproximace soustavy

Příloha 11. Odezva na skok žadané hodnoty



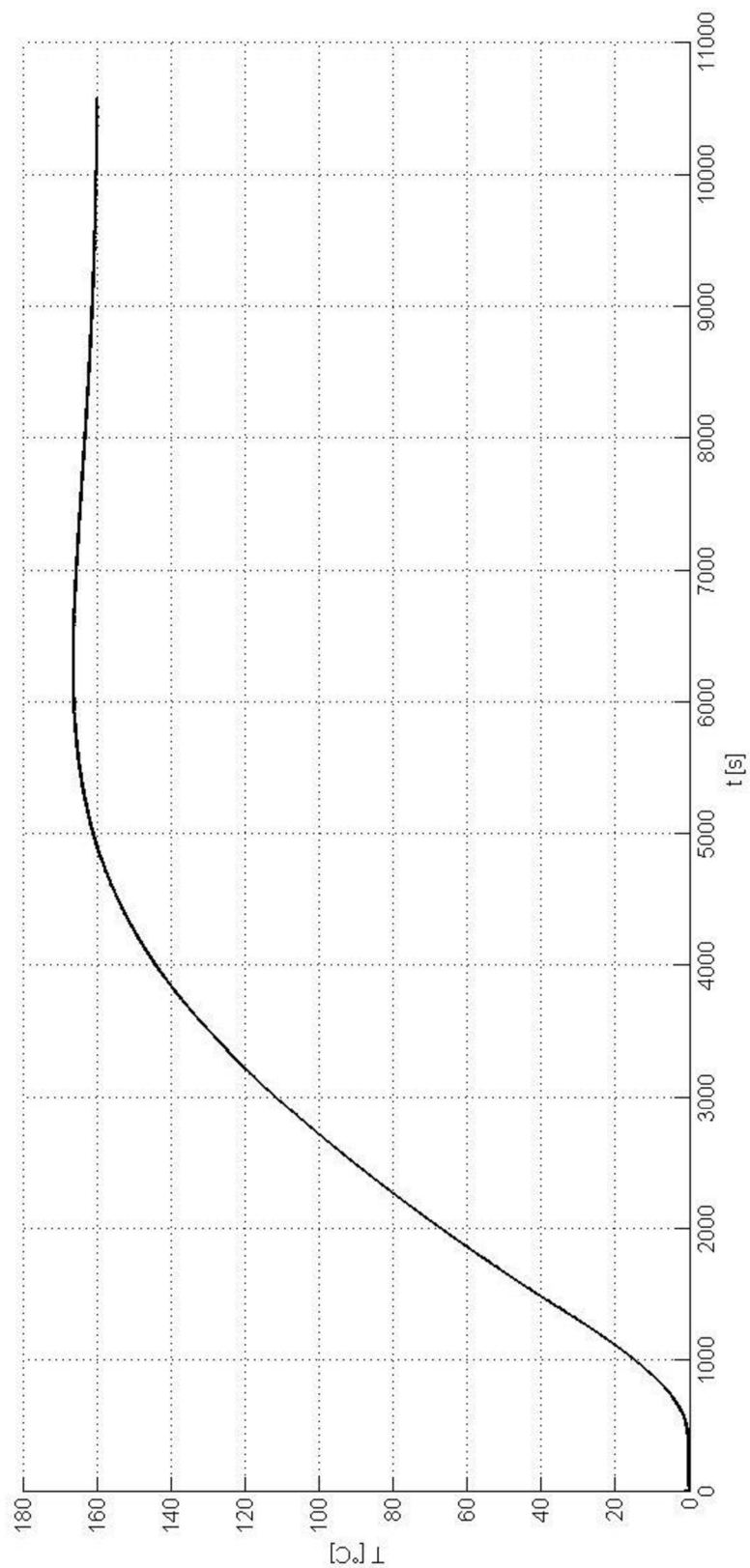
Obrázek 26 - Přejchodová charakteristika - regulátor podle frek. charakteristik

Příloha 12. Odezva na skok žadané hodnoty a působení konstantní poruchy



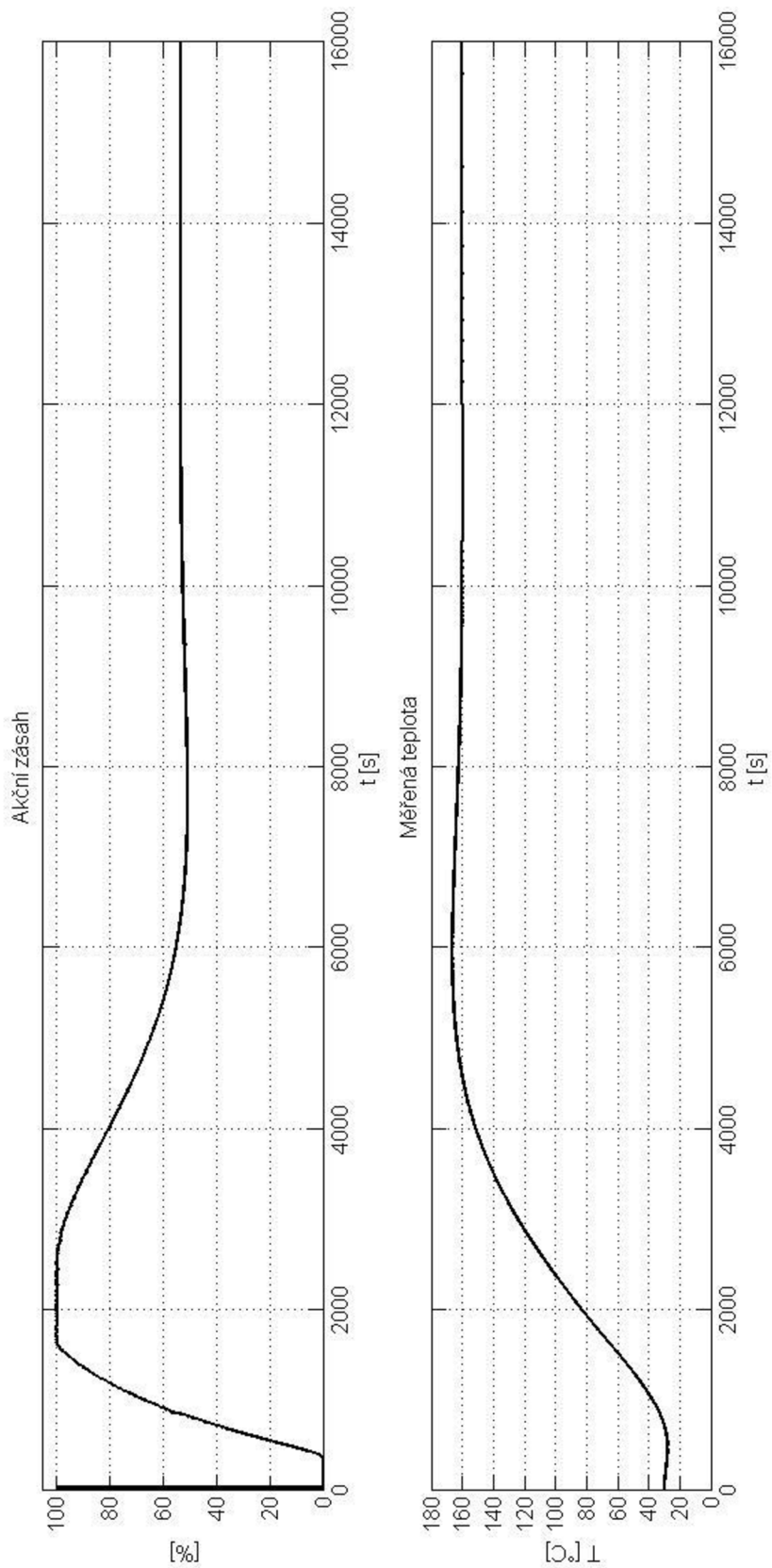
Obrázek 26 - Vyregulování poruchy - regulátor podle frek. char

Příloha 13. Odezva na skok žadané hodnoty s regulátorem navrhnutým autotunerem



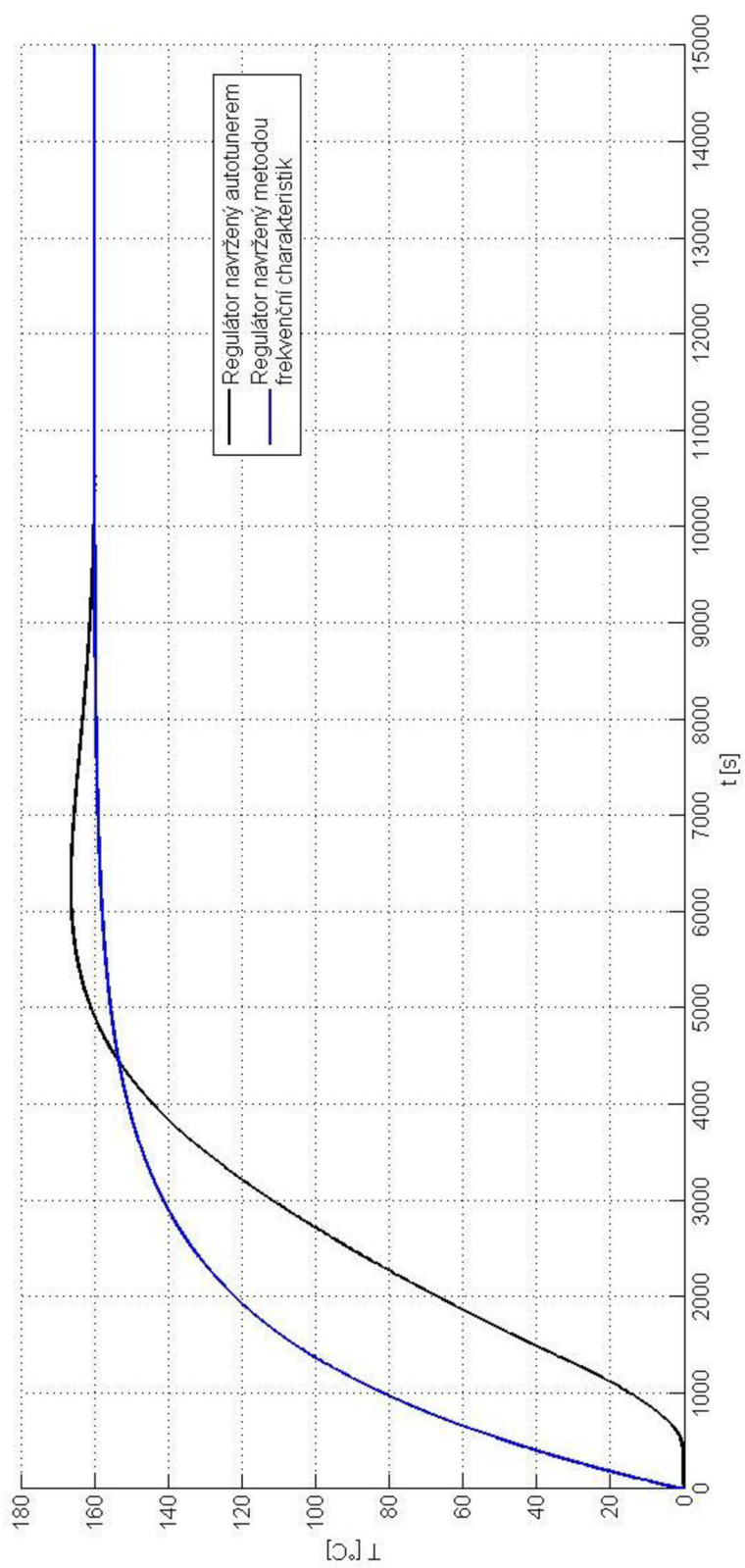
Obrázek 27 - Přechodová charakteristika - regulátor navržený autotunerem

Příloha 14. Odezva s regulátorem navrhnutým autotunerem a akční zásah



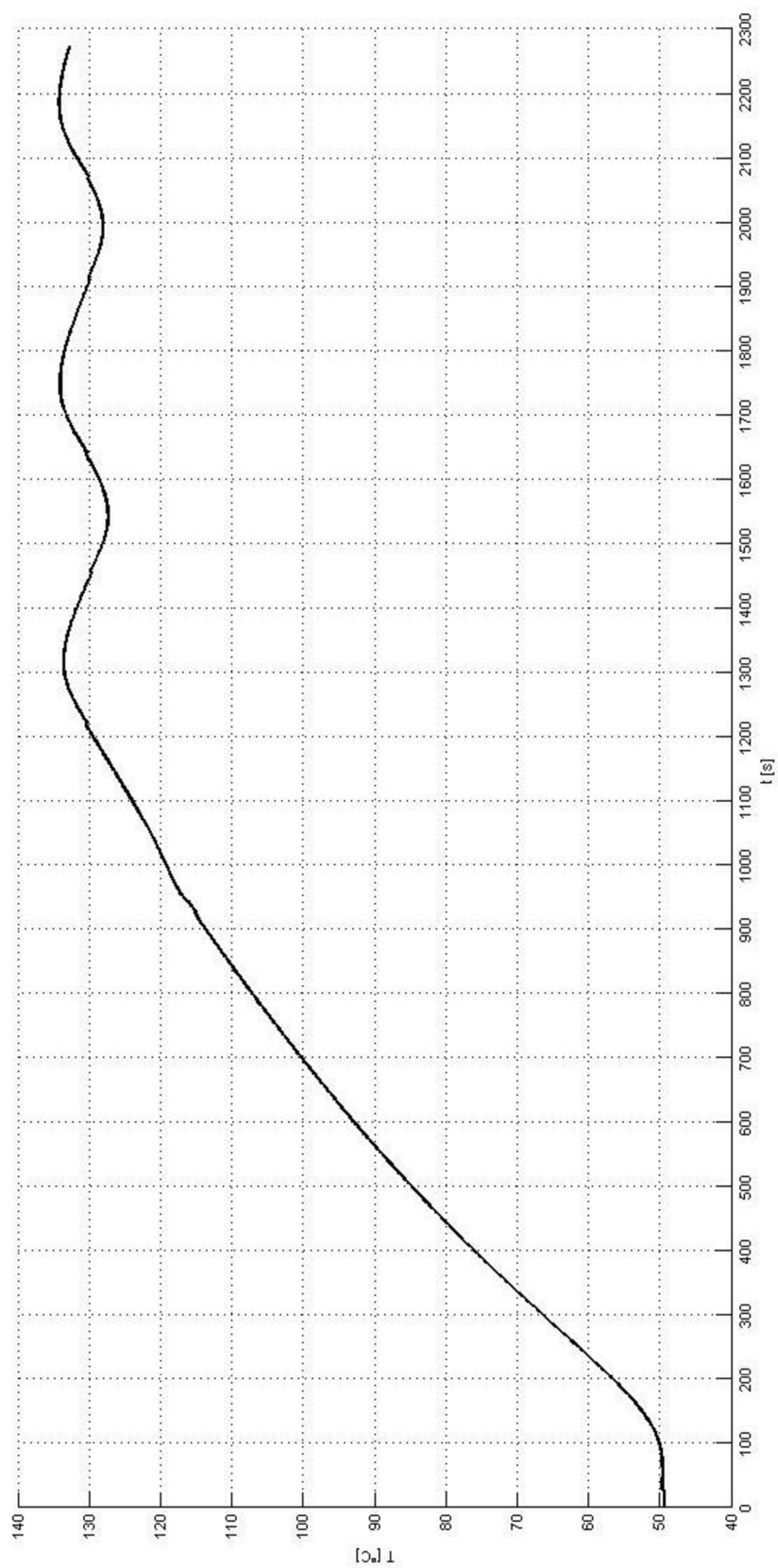
Obrázek 28 - Přejchodová charakteristika, akční zásah - regulátor navrhžený autotunerem

## Příloha 15. Porovnání navržených regulátorů



Obrázek 27 - Porovnání navržených PID regulátorů

Příloha 16. Průběh regulace teploty dvoustavovým regulátorem



Obrázek 28 - Průběh regulace s dvoustavovým regulátorem