

Řízení úlohy výšky hladiny pomocí PLC Rockwell

Bakalářská práce

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: Elektronické a informační systémy

Autor práce: **Vojtěch Kraus**

Vedoucí práce: Ing. Petr Mrázek, Ph.D.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vojtěch Kraus**
Osobní číslo: **M12000307**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**
Název tématu: **Řízení úlohy výšky hladiny pomocí PLC Rockwell**
Zadávající katedra: **Ústav mechatroniky a technické informatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s prvky úlohy a jejich zapojením: snímače, akční členy, PLC.
2. Navrhněte a realizujte vybrané řídicí algoritmy na vybraném fyzikálním modelu.
3. Implementujte a ověřte funkčnost použitých řídicích algoritmů a vytvořte vzorovou úlohu.
4. Navrhněte vizualizaci úlohy ve vývojovém prostředí RS View pro Rockwell Automation.
5. Ověřte funkčnost navržených řešení na fyzikálním modelu a vypracujte závěrečnou technickou zprávu.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby dokumentace**

Rozsah pracovní zprávy: **cca 30–40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] Bayer, J.; Hanzálek, Z.; Šusta, R. Logické řízení. 2. vyd. Praha : ČVUT, 2008. 270 s., ISBN 978-80-01-04106-2
- [2] Hlava, J.: Prostředky automatického řízení II: Analogové a číslicové regulátory, Praha: ČVUT, 2000. 162 s.
- [3] Allen-Bradley. 1768 CompactLogix Controllers User Manual [online]. [s.l.] : Rockwell Automation, 2010 [cit. 2010-10-11]. Dostupné z WWW: <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1768-um001_-en-p.pdf>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Mrázek, Ph.D.**
Ústav mechatroniky a technické informatiky


Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jan Koprnický, Ph.D.**
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2016**


prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan




doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 10. října 2015

Bibliografická citace této práce:

Kraus V. Řízení úlohy výšky hladiny pomocí PLC Rockwell. Liberec: Technická univerzita v Liberci, FM, 2016. 62s.

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo. Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL. Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše. Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem. Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 12.5.2016

Podpis: 

Poděkování

Děkuji především mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petrovi Mrázkovi, PH.D. za odborné konzultace a praktické rady při vypracování bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá regulací výšky hladiny pomocí programovatelného automatu PLC Rockwell od firmy Allen Bradley. Řízení je provedeno na reálném fyzickém modelu, sloužící pro řízení výšky hladiny. V první části si popíšeme jednotlivé komponenty a princip činnosti modelu. Řekneme si, co je to spojitá i dvoupolohová regulace. Spojitá regulace se zabývá matematickým popisem úlohy, simulací v prostředí Matlab, naprogramováním PLC a vizualizací úlohy v prostředí RSview studio. U dvoupolohové regulace si představíme princip činnosti. Zhotovíme jednoduchý ovládací panel a popíšeme si program pro tento typ řízení.

Abstract

This Bachelor thesis is concerned with the control water level, who is formed by PLC from Rockwell Allen Bradley. The control is performed on the real physical model, which it controls water level. In the first part we will describe the components and model activity. We will tell, what is continuous and two-state regulation. Continuous control is concerned with the mathematical description this task, simulation in Matlab, PLC programming and visualization tasks in the RsView Studio. For two-state regulation, we can imagine principle of regulation. We can make a simple control panel and describe the program for the two-point control.

Klíčová slova

Řízení výšky hladiny, PLC, Allen-Bredley, logické řízení, průmyslová automatizace, regulátor, dvoupolohová regulace, spojití řízení.

Keywords

Water level control, PLC, Allen-Bradley logic control, industrial automation, control, position control, continuous control.

Obsah

Obsah	8
1. Úvod.....	13
1.1 Specifikace zadání.....	13
1.2 Úvod do PLC.....	13
1.3 Výrobci PLC	14
1.3.1 Allen Bredley.....	14
1.3.2 SIEMENS	14
1.3.3 Schneider Elektrik	14
1.3.4 Teco	14
1.4 Rozdělení PLC	14
1.5 Jednotlivé části programovatelného automatu	16
1.5.1 Princip činnosti PLC.....	16
1.5.2 Procesor	16
1.5.3 Paměť RAM a ROM.....	17
1.5.4 Vstupní moduly	17
1.5.5 Výstupní moduly	17
1.5.6 Čítače.....	17
1.5.7 Komunikace.....	17
1.6 Cíle bakalářské práce	18
2 Model řízení výšky vodní hladiny	19
2.1 Představení modelu	19
2.2 Komponenty našeho modelu.....	21
2.2.1 PLC.....	21
2.2.3 Vzdálený vstupně-výstupní modul	21
2.2.4 Čerpadlo Aqua 8	22
2.2.5 Ventil RV 111 COMAR.....	22
2.2.6 Elektrický pohon	22
2.2.7 Vstupní ventil (SCG202A053V)	23
2.1.2.7 Tlakové čidlo	23
2.1.2.7 Průtokoměr (VISIO 2006 2F66).....	23
2.2.8 Převodník frekvence na napětí (PXF-20).....	24
2.2.9 Řídící jednotka maxon LSC 30/2	24
2.2.10 Control D	24
2.2.11 Zdroje napětí.....	24
2.2.12 Panel view 600	25
3 Spojitá regulace - Příklad 1.....	25
3.1 Obecně o spojitě regulaci	25
3.2 Matematický popis úlohy	27
3.3 Linearizace	30
3.4 Metody seřízení regulátoru	31
3.5 Postup při realizaci zadání:	35

3.5.1 Použité programy	35
3.5.1.1 RSLogix5000.....	35
3.5.2 Nastavení komunikace PLC a PC	37
3.5.2.1 BOOTP/DHCP Server.....	37
3.5.2.2 RSlinx	37
3.5.2.3 RSLogix 5000.....	38
3.5.3 Programová část	41
3.5.3.1 Průtok a výška hladiny	41
3.5.3.2 PID blok.....	42
3.5.3.3 Řízení výšky hladiny pomocí čerpadla.....	43
3.5.4 Vizualizace.....	44
3.5.6 Naměřené průběhy regulace.....	46
3.5.5 Dosažené výsledky spojitě regulace.....	47
4 Dvoupolohová (dvoustavová) regulace - příklad 2.....	49
4.1 Obecně.....	49
4.2 Zadání.....	49
4.3 Realizace	50
4.3.1 Schéma zapojení.....	50
4.3.2 Programová část	51
4.4 Dosažené výsledky dvoupolohové regulace	52
5. Závěr	52
Seznam použité literatury	54
Seznam použitého softwaru	57
Seznam Příloh:.....	58

Seznam obrázků:

Obrázek 1 – Modulární systém	15
Obrázek 2-Kompaktní systém	15
Obrázek 3 – Struktura programovatelného automatu	16
Obrázek 4 – Pohled na kompletní model	19
Obrázek 5 - Blokové schéma soustavy	20
Obrázek 6 – PLC L32e.....	21
Obrázek 7-Analogový modul	21
Obrázek 8-1734-AENT	21
Obrázek 9-Čerpadlo aqua	22
Obrázek 10-Charakteristika výstupního ventilu	22
Obrázek 11-Elektrický pohon	22
Obrázek 12-Charakteristika vstupního ventilu	23
Obrázek 13-Tlakové čidlo	23
Obrázek 14-Průtokoměr	23
Obrázek 15-Převodník frekvence	24
Obrázek 16-Jednotka Maxon	24
Obrázek 17-Control D	24
Obrázek 18-Zdroj PS-30-24.....	24
Obrázek 19-Panel view 600.....	25
Obrázek 20-Regulační schéma	25
Obrázek 21-Schéma regulátoru PID	26
Obrázek 22-Model soustavy.....	27
Obrázek 23-Simulační schéma v programu Matlab	29
Obrázek 24-Simulační průběh výšky hladiny.....	29
Obrázek 25 - Simulační schéma obrazového přenosu soustavy	31
Obrázek 26 - Simulační průběh obrazového přenosu bez regulátoru	31
Obrázek 27 - Tabulka pro nastavení hodnot regulátoru	32
Obrázek 28 - Nastavení PI.....	32
Obrázek 29 - Simulační schéma soustavy s regulátorem typu P	33
Obrázek 30-Simulační schéma s regulátorem typu I	33
Obrázek 31 - Simulační schéma s regulátorem PI	34
Obrázek 32 - Simulační průběh výšky hladiny a regulátorem PI	34
Obrázek 33-Instrukce XIC	35
Obrázek 34-Instrukce XIO	35
Obrázek 35-Instrukce OTL	35
Obrázek 36-Instrukce OTU.....	35
Obrázek 37-Instrukce TON.....	35
Obrázek 38-Instrukce MOV	36
Obrázek 39-Instrukce MUL	36
Obrázek 40-Instrukce LIM.....	36
Obrázek 41-Instrukce GRT.....	36
Obrázek 42 - Nastavení IP adresy PLC.....	37

<i>Obrázek 43 - Úvodní nastavení v RSLinx</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 44 - Aktivní připojení PLC a AENT</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 45- Úvodní nastavení v programu RSLogix 5000</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 46 - Definice I/O modulů</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 47 - Definice vstupního modulu</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 48 - Přehled nadefinovaných vstupně-výstupních modulů</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 49 - RSWho v RSLogix 5000</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 50-Blok PID.....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 51 - Nastavení PID 1</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 52 - Nastavení PID 2</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 53-Proměnné v RSLogix 5000.....</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 54 - Prostředí program RSview-studia.....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 55-Vizualizace úlohy</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 56 - Přenos vizualizace do panelu view 600</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 57-Vizualizace v panelu view</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 58 - Průběh regulace na 30cm - varianta 2</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 59 - Průběh regulace na 30cm-varianta 1</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 60-Ustálení výšky-varianta 1</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 61 - Ustálení výšky-varianta 2</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 62 - Průběh dvoustavové regulace</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 63 - Ovládací panel</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 64 - Přehled vstupů a výstupů z/do PLC</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 65-Příklad programu.....</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 66 - Schéma zapojení elektro - str.1</i>	<i>59</i>
<i>Obrázek 67 - Schéma zapojení elektro str.2</i>	<i>59</i>
<i>Obrázek 68 - Schéma zapojení elektro str.3</i>	<i>60</i>
<i>Obrázek 69 - Schéma zapojení elektro str.4</i>	<i>60</i>
<i>Obrázek 70 - Schéma zapojení elektro str.5</i>	<i>61</i>

Seznam zkratek, symbolů a termínů:

AC	Střídavý proud (alternating current)
AČ	Akční člen
A/D	Analogově/Digitální
BP	bakalářská práce
CPU	Centrální procesorová jednotka (central processing unit)
d(t)	Porucha na výstup
DC	Stejnosměrný proud (direct current)
DF1	Protokol sloužící pro komunikaci po sériové lince
e(t)	Regulační odchylka
g	Gravitační konstanta
h(t)	Výška hladiny
I/O	Vstupy a výstupy programovatelného automatu (IN/OUT)
IP	Internetový protokol - identifikace v síti
K	Statické zesílení soustavy
K_p	Proporcionální konstanta
K_i	Integrační konstanta
K_D	Derivační konstanta
K_v	Charakteristika ventilu
PAC	Programovatelný řídicí automat (Programmable Automation Controller)
PLC	Programovatelný Logický automat (Programmable Logic Controller)
$Q_p(t)$	Množství přitékající vody
$Q_o(t)$	Množství odtékající vody
R	Regulátor
RAM	Přepisovatelná paměť jednotky (Random Access Memory)
ROM	Paměť sloužící pouze pro čtení (Read-Only Memory)
RS232	Sériová linka - komunikační rozhraní
RS	Regulovaná soustava
SPEC	Blok speciálních obsahující speciální funkce (čítače, časovače..)
s	Snímač
S_1	Plocha nádrže
S_2	Plocha odtékajícího potrubí
u(t)	Akční signál
y(t)	Výstupní signál
v_2	Rychlost vytékající vody
w(t)	Žádaná hodnota

1. Úvod

Tato práce se zabývá průmyslovou automatizací, která má veliký rozsah použití od výrobních linek přes regulaci technologických celků až po domovní instalace. V této práci řešíme regulaci výšky hladiny, která je řízena pomocí kompaktního programovatelného automatu (PLC-Compact logix L32e) od firmy Allen Bradley. V první části díla se seznámíme se samotným modelem a s jednotlivými komponenty. Popíšeme si funkci automatu, jednotlivých čidel a zařízení. V následující části se budeme věnovat matematickému popisu úlohy a spojitému řízení pomocí regulátoru. Měli bychom pomocí analytického řešení najít výslednou rovnici pro popis našeho systému a následně navrhnout vhodné nastavení jednotlivých složek regulátoru pro optimální řízení výšky hladiny. Pro lepší přehlednost řízení vytvoříme v programu RSview vizualizaci úlohy. V navazující kapitole okrajově popíšeme dvoupolohovou regulaci a vyzkoušíme ji na modelu.

1.1 Specifikace zadání

Ze zadání bakalářské práce plyne, že bychom rádi realizovali řízení výšky vodní hladiny pomocí programovatelného automatu od firmy Allen bradley. Samotné řízení bude probíhat na fyzickém modelu, který již byl sestaven a zapojen. Vlastním výsledkem práce by mělo být optimální řízení výšky hladiny pro spojitě řízení, ale i dvoupolohové. Podrobněji se jednotlivým částem budeme věnovat více. Poslední věcí, která by měla být zahrnuta v této práci je vizualizace řízení v programu, který je k tomu určen.

1.2 Úvod do PLC

PLC, tzv. programovatelný automat známe již řadu let. První zmínky o programovatelných automatech, neboli PLC sahá až do 70. let minulého století. Již mezi prvními firmami se na vývoji podílela firma Allen Bradley, kterou uvádím z důvodu využití jejich komponentů v bakalářské práci. Prvním PLC zmiňované firmy bylo PLC-5, které bylo velice zdařilé a bohatě postačovalo jak pro malé stroje, tak pro větší výrobní linky. Postupem vývoje se v posledních letech jeho použití rozšiřuje nejen do všech průmyslových odvětví, ale i mezi domácí uživatele. Bez programovatelného automatu si dnešní svět již nedovedeme téměř představit. Použitím programovatelných automatů se dají řídit malé stroje, ale i složité výrobní linky. Dříve se výrobní stroje realizovaly obtížně pomocí reléové techniky. Nyní se dají jednoduše programovat pomocí PLC. Poslední dobou se PLC dostává i do povědomí běžným uživatelům v podobě tzv. domovní inteligentní elektroinstalace. V domácnostech se tento systém využívá různými způsoby. Nejčastější pro použití dálkového ovládní rolet, časové spínání venkovního nebo vnitřního osvětlení, zapínání topení, ovládní pomocí mobilních telefonů a další.

1.3 Výrobci PLC

Mezi hlavní představitelé výrobců PLC v současné době patří 4 významnější firmy:

1.3.1 Allen Bradley

Firma byla založena v roce 1903. Zakladatelé byli bratři Lynde a Harry Bradleyovi a Dr. Stanton Allen. Prvním výrobkem byl uhlíkový regulátor stejnosměrných motorů. V roce 1985 se Allen-Bradley sloučila s nadnárodní firmou ROCKWELL INTERNATIONAL. V současné době se podnik zabývá především výrobou programovatelných automatů, komunikace (software a hardware). Dále například výrobou frekvenčních měničů, softstartérů, operátorské panely a další. [1]

1.3.2 SIEMENS

Založení firmy Siemens se datuje kolem roku 1847. Tehdy vznikla firma Siemens und Halske, kterou založili Werner von Siemens a Johann Georg Halske. První otevřenou pobočkou v české republice byla pobočka v Praze a Brně. Výrobní sortiment je v současné době opravdu široký. Od jisticích prvků, stykačů, nadproudových relé až po automatizační techniku. Mezi kterou patří snímače, regulátory, termostaty a další. Siemens má také softwarovou podporu pro programování programovatelných automatů. [2]

1.3.3 Schneider Electric

Firma byla založena roku 1836 bratry Schneidery. O dva roky později založili Schneider & Cie. Ve 20. století se firma přesunula k řízení elektřiny a automatizaci. Firma se v dnešní době zabývá velmi širokým sortimentem v oblasti elektroinstalací, měření a regulací atd. [3]

1.3.4 Teco

Vznik firmy se datuje k roku 1993, kdy vznikla firma Teco s.r.o. z divize průmyslové automatizace společnosti TESLA a zahájení výroby systému NS950. Firma se zabývá především automatizací, jak domovních instalací, tak průmyslovými. [4]

1.4 Rozdělení PLC

Programovatelný automat můžeme rozdělit dle více specifikací. Dělíme ho na PLC a PAC. Hlavní rozdíl mezi PLC a PAC je ten, že PLC neumožňuje řešení více úloh najednou. Pro starší aplikace bylo použití PLC postačující, avšak v posledních letech velkého rozmachu v oblasti automatizace je zapotřebí řešit instrukce rychleji, efektivněji a v reálném čase. PLC tyto možnosti dříve neumožňovaly. Automaty PAC umožňují lepší kompatibilitu s jinými zařízeními. PLC jsou vhodnější pro řízení méně náročnějších aplikací. V dnešní době je možné použití programovatelných automatů například na spojité řízení, řízení přes webové rozhraní a internet. Dále se využívá vzdálená komunikace, která je přenášena pomocí ethernetu. [5]

Programovatelný automat dělíme na modulární a kompaktní systém. Modulární je využit tam, kde je potřeba řídit obsáhlejší soustavy a řízení náročnějších aplikací. Tento

system se vyznačuje tím, že je umožňuje rozšíření o jednotlivé vstupní a výstupní moduly. Moduly mohou být analogové, digitální, technologické nebo komunikační. Modulární systém je sice finančně náročnější, ale umožňuje více variant zapojení a možností, které u kompaktního systému nenajdeme. Na obrázku 1 vidíme fotku modulárního systému. Nevýhodou těchto systémů bývá vyšší cena, cyklus čtení vstupů a výstupů může být oproti kompaktním sestavám pomalejší. Jsou však vhodnější pro řízení složitějších aplikací, strojů. Modulární systém má velký rozsah použití.



Obrázek 1 – Modulární systém

Kompaktní systém slouží pro menší a méně náročnější aplikace. Není zde taková možnost rozšíření o vstupní a výstupní moduly, ale některé typy to v rámci možností také umožňují. Kompaktní systém je omezen vstupně-výstupními moduly již z výroby. Výhodou kompaktního systému bývá cena a také rychlost přístupu k perifériím. Signály totiž jako u modulárních systémů nemusí procházet přes řadič sběrnice. Na obrázku vpravo vidíme příklad kompaktního systému.

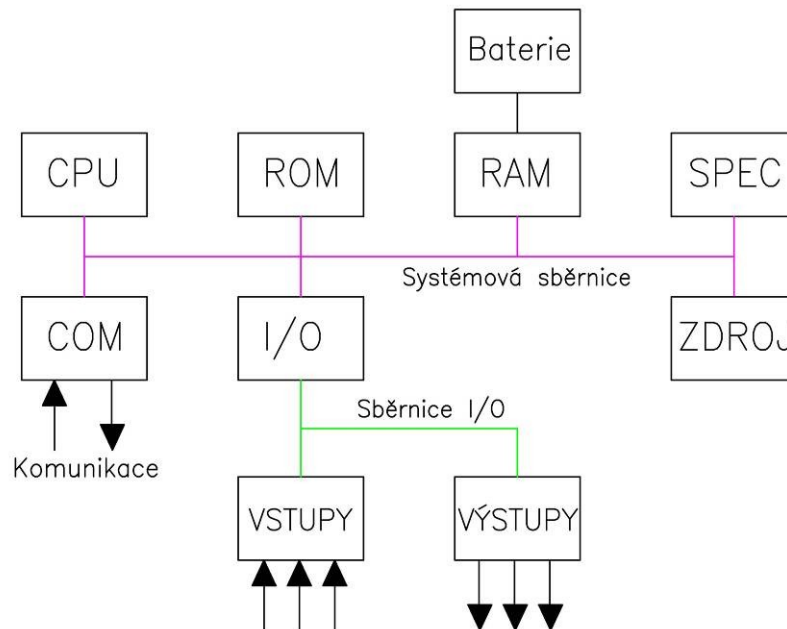


Obrázek 2-Kompaktní systém

1.5 Jednotlivé části programovatelného automatu

1.5.1 Princip činnosti PLC

Princip činnosti PLC si vysvětlíme na jednoduchém obrázku, který je znázorněn níže. Zde vidíme jednoduché strukturální schéma PLC. [6]



Obrázek 3 – Struktura programovatelného automatu

Z toho je zřejmé, že programovatelný automat se skládá z několika částí. Mezi hlavní patří: CPU, RAM, ROM, baterie, SPEC, COM, I/O, zdroj. Činnost programovatelného automatu se provádí neustále (cyklicky) dokola. Jedná se o opakované čtení vstupů a provádění instrukcí podle nahraného programu. Blok I/O skenuje připojené vstupy. Hodnoty vstupů ukládá do operační paměti RAM. Jednotka CPU čte z paměti data a zpracovává je dle naprogramovaných instrukcí. Paměť ROM slouží pouze pro systémové řízení programu. Blok SPEC obsahuje speciální bloky, mezi které patří čítače, časovače a registry. Blok COM zajišťuje komunikaci. Pro napájení automatu slouží zdroj.

1.5.2 Procesor

Jak již bylo zmíněno, PLC se skládá z více částí. Jádrem každého automatu je procesor, neboli CPU (central procesor unit). Tento pojem je velmi známý, neboť ho najdeme v každém stolním počítači či notebooku. Programovatelný automat obsahuje hlavní procesor, který zpracovává program a od něhož se odvíjí výkon automatu. Dále také existují řídicí jednotky, ve kterých nalezneme více procesorů. Tyto procesory řídí komunikaci nebo jiné výpočty. Jsou však řízeny hlavním procesorem, tím mu usnadňují práci a zkracují samotnou délku cyklu. Tato perioda se pohybuje v jednotkách

milisekund, až desítky milisekund. Záleží na velikosti programu, počtu připojených vstupů a výstupů.

1.5.3 Paměť RAM a ROM

Další součástí je paměť RAM (Random Access Memory), která jako u stolních PC slouží k uložení dat při pracovním běhu. Paměť RAM je závislá na napájení. Při odpojení od zdroje se data z paměti vymažou. Oproti tomu paměť ROM (Read Only Memory) při výpadku elektrické energie uložené informace nevymaže, avšak nelze ji uživatelem přepisovat. Z ROM je možné pouze data číst. Data jsou nahrána již při výrobě do paměti a slouží pro činnost automatu.

1.5.4 Vstupní moduly

Vstupní moduly u PLC slouží především k získávání hodnot ze snímačů, tlačítek a koncových spínačů. Moduly můžeme dělit na digitální a analogové. U digitálních vstupů pracujeme pouze se dvěma stavy: zapnuto a vypnuto. V logickém řízení tyto stavy nazýváme: jedničkou a nulou. U analogových vstupů pracujeme se spojitou analogovou hodnotou, kterou získáme ze snímačů. Snímače snímají fyzikální veličinu (tlak, napětí, proud), tu pomocí A/D převodníku převádíme na číselnou hodnotu se kterou, již dále pracujeme v počítači.

1.5.5 Výstupní moduly

Výstupní moduly u PLC slouží pro ovládání akčních členů. Moduly ovládají a řídí regulovanou soustavu. Výstupní moduly mohou být digitální i analogové. Pro názornou ukázkou uvedeme jednoduchý příklad: Pomocí PLC chceme rozsvítit žárovku s časovým zpožděním. Na svorku vstupního modulu přivedeme napětí. V PLC nahraný program provede danou instrukci a s časovým zpožděním přivede na výstupní svorku napětí a poté rozsvítí žárovku. Pomocí těchto výstupů se dají ovládat cívky stykačů, relé, signalizace, frekvenčních měničů, zapínání a vypínání motorů.

1.5.6 Čítače

Čítače v programovatelných automatech jsou standardním blokem pro zjednodušení práce programátora. Čítače počítají pulsy, přičemž jeho perioda sčítání je shodná s periodou smyčky programu. Čítače se dále mohou dělit na inkrementační, dekrementační a podle volby směru čítání. [7]

1.5.7 Komunikace

Komunikace mezi PC a programovatelným automatem je většinou zajištěna pomocí dvou typů. Prvním typem je sériový port RS232 a druhým typem v dnešní době více rozšířeným ETHERNET. U některých PLC se také vyskytuje komunikační protokol PROFI BUS odolný na rušící vlivy (elektromagnetická indukce, chyby v síti). U sériového portu tzv. protokol DF1, neboli klasická sériová linka umožňující spojení bod-bod. Protokol ETHERNET/IP je vybudovaný na architektuře NetLinx. Tento protokol podporují automaty, které pracují s danými objekty.

1.6 Cíle bakalářské práce

Cílem této bakalářské práce bylo řízení výšky hladiny v nádrži pomocí programovatelného automatu PLC Rockwell. Řešená je především problematika řízení a využíváme teoretických znalostí k návrhu spojitě regulace. Mezi hlavní cíle práce patří:

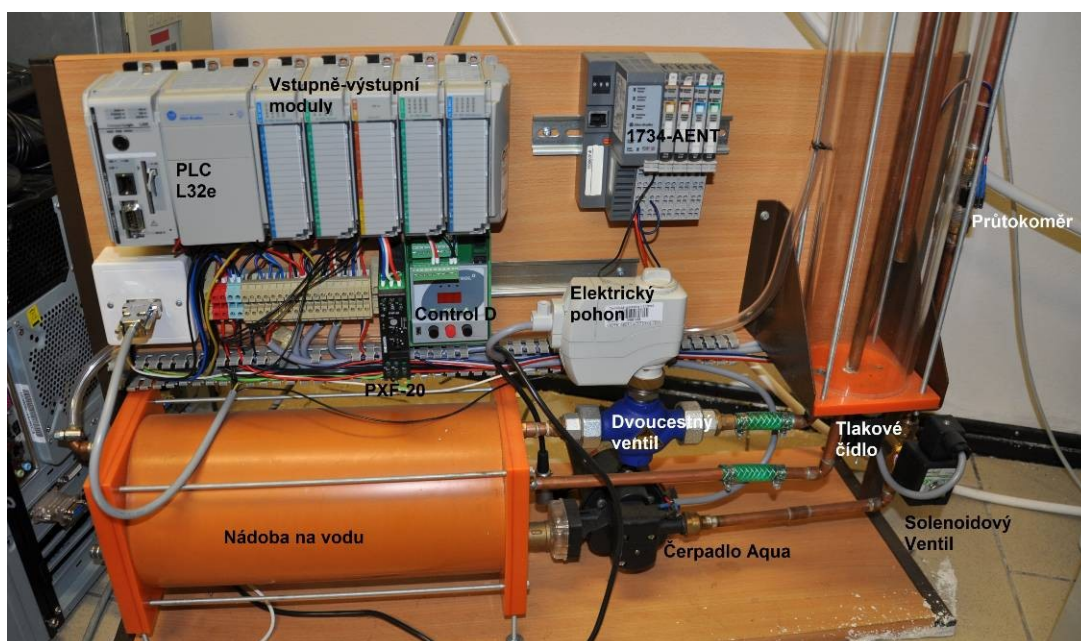
- 1.) Detailně se seznámit s modelem - zapojení čidel, součástek. Seznámit se s funkcemi jednotlivých komponentů (akčních členů).
- 2.) Provést algoritmy řízení - Zvolit optimální nastavení řízení
- 3.) Vytvořit vlastní vzorovou úlohu pro řízení výšky hladiny a ověřit funkčnost návrhu.
- 4.) Provést vizualizaci v programu RS view studiu.
- 5.) Ověřit funkčnost na fyzickém modelu a sepsat závěrečnou zprávu

Po seznámení se zapojením modelu a nastudování jednotlivých komponentů, jsou zvoleny dva typy regulace. První variantou je spojitá regulace pomocí regulátoru. V ní si představíme soustavu matematickým popisem úlohy, simulováním průběhu v programu Matlab-simuling, nastavením a naprogramováním PLC. Následně vizualizací úlohy v programu RSview-studio. Druhým typem řízení je dvupolohová regulace, kterou v praxi také často najdeme.

2 Model řízení výšky vodní hladiny

2.1 Představení modelu

Model, na němž realizujeme řízení výšky vodní hladiny je vyfocen na fotografii. Samotné komponenty jsou orientačně označeny na fotce. Soustava se skládá z několika částí, které si postupně popíšeme.

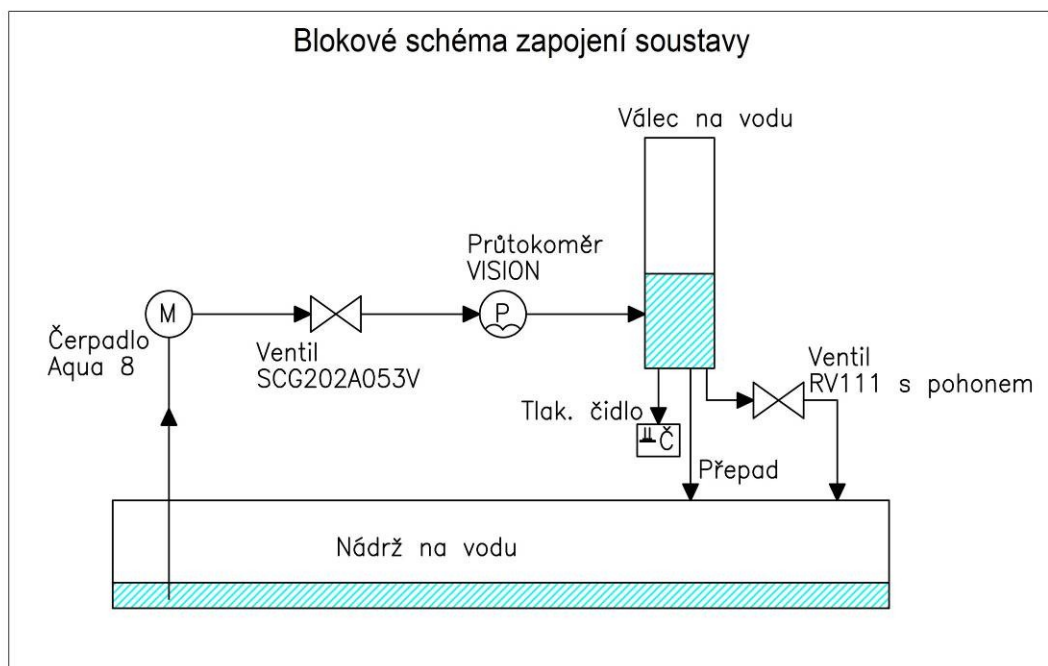


Obrázek 4 – Pohled na kompletní model

V prvé řadě se seznámíme s hardwarovým, elektrickým zapojením a nastudujeme jednotlivé komponenty modelu. S celou soustavou jsem se detailně seznámil a následně vytvořil v programu progeCAD 2016 Professional jednoduché blokové schéma zapojení modelu. Komponenty modelu jsou ve schématu vyznačeny a popsány. V CAD programu jsem nakreslil liniové schéma, které slouží pro lepší orientaci v samotném zapojení. Ten je součástí Příloha A.

Na fotografii vidíme celou soustavu. Skládá se z několika základních komponentů. Mezi ně patří PLC, ve kterém se provádí všechny výpočty a instrukce. K němu jsou připevněny vstupně-výstupní moduly. Vstupní moduly slouží pro získávání hodnot ze senzorů a tlačítek. Výstupní moduly jsou využity pro ovládání vstupního ventilu, čerpadla a signalizačních diod. Moduly mohou být analogové a digitální. Podrobněji si je popíšeme v následující kapitole. Napravo od vstupně-výstupních modulů je umístěno ještě jedno zařízení 1734-AENT, které funguje jako vstupně-výstupní modul, avšak nemusí být připevněn přímo k PLC. Komunikuje s ním vzdáleně po síti Ethernet. V popředí modelu se nachází oranžová nádoba, která slouží jako zásobník vody.

Vpravo od zásobníku je umístěno čerpadlo, které je napájeno z řídicí jednotky Maxon. Ta slouží pro ovládání napětí a otáček. Čerpadlo čerpá do oběhu vodu. Jak můžeme vidět na blokovém schématu soustavy je umístěn vstupní ventil, který je ovládán přes regulátor Control D. Za ventilem se nachází průtokoměr, který slouží pro měření aktuálního průtoku kapaliny. Průtokoměr generuje kmitočety, proto musí být připojen na měnič. Ten převádí frekvenci na napětí, se kterým již pracujeme v PLC. Pod nádrží na vodu se nachází tlakové čidlo, které snímá tlak vody. Ten se dále využívá pro určení výšky hladiny. Na výstupu ze soustavy je umístěn dvoucestný ventil, který je řízen elektrickým pohonem a kapalina se vrací do nádrže na vodu.



Obrázek 5 - Blokové schéma soustavy

2.2 Komponenty našeho modelu

2.2.1 PLC

Pro samotné řízení bylo zvoleno PLC (**CompactLogix 1769-L32e**). Tento programovatelný automat je vhodnější pro méně náročné aplikace, avšak pro naše účely bude stačit.

Základní parametry našeho PLC:

Uživatelská paměť: 750 KB

Maximální počet lokálních I/O modulů: 16

Komunikační kanál 0: RS 232

Komunikační kanál 1: EtherNet/IP 10/100Mbps

Další výhodou tohoto typu je součástí řídicích systémů řady Logix, proto má i společný softwarový program pro samotné programování, tj. RSLogix 5000. [8]



Obrázek 6 – PLC L32e

2.2.2 Vstupně-výstupní moduly

CompactLogix se skládá z několika modulů. Programovatelný automat je složen ze dvou digitálních vstupů (**1769-IQ16**). Slouží pro získávání logických hodnot. A také ze dvou digitálních výstupů (**1769-OB16**), které slouží pro ovládání signalizace a z jednoho analogového vstupně-výstupního modulu. Ten si popíšeme podrobněji v následujícím odstavci.



Popis analogového vstupně-výstupního modulu (**1769-IF4XOF2**): Analogový modul, který je součástí

CompactLogixu L32e obsahuje čtyři napěťové vstupy v rozsahu (0-10V) a dva napěťové výstupy. Dále také čtyři proudové vstupy v rozsahu (0-20mA) a dva proudové výstupy. Modul má zabudovaný 8 bitový A/D převodník. Ten slouží pro převádění analogové hodnoty na číselný signál, se kterým již dále pracujeme. [9]

Obrázek 7-Analogový modul

2.2.3 Vzdálený vstupně-výstupní modul

Modul 1734 – AENT pracuje na stejném principu jako předchozí, avšak nemusí být zcela připevněn k PLC. Může s ním komunikovat přes ethernetové rozhraní. Tento modul můžeme využít pro dálkové řízení, kdy potřebujeme získat data na konci výrobní linky. V tomto případě umístíme modul do místa, odkud připojíme všechna čidla a další akční členy. Tímto krokem ušetříme kabely, které bychom museli přivést až k rozvaděči, v němž je umístěno PLC. K vzdálenému modulu stačí přivést síťový kabel a navážeme komunikaci. [10]



Obrázek 8-1734-AENT

2.2.4 Čerpadlo Aqua 8

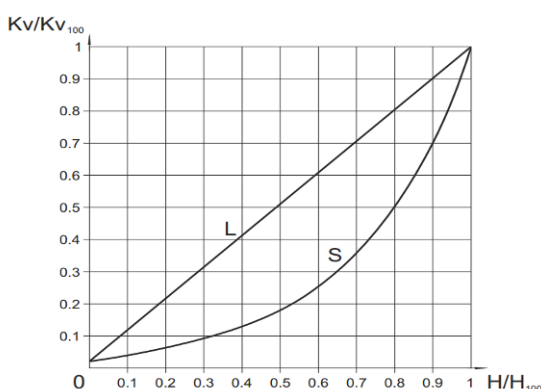
Vodní elektrické čerpadlo je napájeno 12V DC. Množství kapaliny, které dovede čerpat je 6 litrů/min. Má tlakový ventil a vestavěný filtr. Čerpadlo je samonasávací a jeho výtlak je do 3m. [11]



Obrázek 9-Čerpadlo aqua

2.2.5 Ventil RV 111 COMAR

Ventily typu RV 111 se vyznačují minimálními stavebními rozměry a hmotností. Také kvalitní regulační funkcí a vysokou těsností v zavřeném stavu. Díky jedinečné průtokové charakteristice LDMspline optimalizované pro regulaci termodynamických dějů, jsou ideální pro použití ve vytápěcích a klimatizačních zařízeních. [12]



Obrázek 10-Charakteristika výstupního ventilu

2.2.6 Elektrický pohon

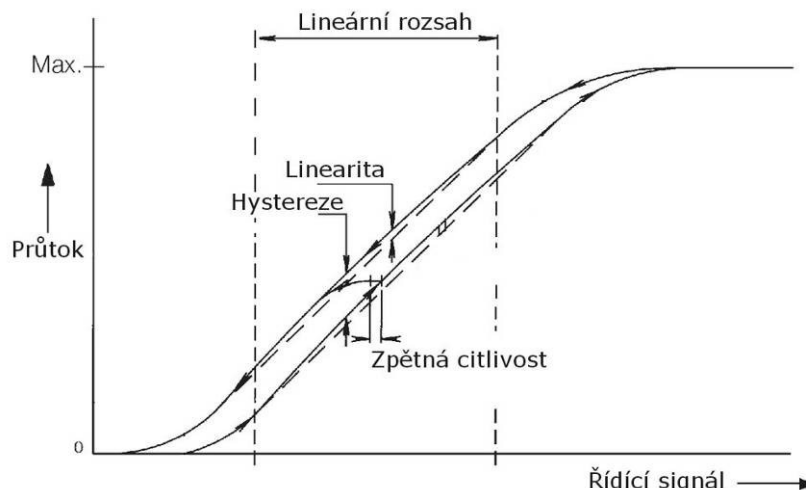
Elektrický pohon typu SSC61/M slouží pro ovládání výše uvedeného ventilu. Je napájen střídavým napětím 24V. Ovládání pohonu je zajištěno z analogového výstupu 1734-AENT s rozsahem 0-10V DC. Doba přeběhu pro zdvih je 30s. Další výhodou u tohoto pohonu je využití manuálního nastavení. [13]



Obrázek 11-Elektrický pohon

2.2.7 Vstupní ventil (SCG202A053V)

Solenoidový ventil je umístěn na vstupu do soustavy. Je řízen napětím 0-10V DC a napojen na regulátor Control D. Tento typ ventilu vypadá na první pohled jako klasický dvoucestný ventil, avšak je uzpůsoben tak, aby bylo možné plynulé řízení průtoku kapaliny. Řídicí signál může být napěťový nebo proudový. V našem případě využíváme signál napěťový. Zdvih jádra je přímo úměrný proudu přes cívku. Hodnota jmenovitého průtoku k_v je $0,12 \text{ m}^3/\text{h}$. [14]



Obrázek 12-Charakteristika vstupního ventilu

2.1.2.7 Tlakové čidlo

Snímač tlaku DMP 331 je vhodný pro univerzální použití téměř ve všech oblastech průmyslu. Čidlo je napájeno stejnosměrným napětím 14-30V a výstupní signál 0-10V, který se dále zpracovává v analogovém modulu PLC. Čidlo slouží pro snímání tlaku v nádobě a následně z něho vypočítáme výšku hladiny. Podrobnějšímu popisu získávání výšky hladiny se budeme věnovat v další kapitole.[15]



Obrázek 13-Tlakové čidlo

2.1.2.7 Průtokoměr (VISIO 2006 2F66)

Průtokoměry řady visio jsou vhodné pro měření malých průtoků. Průtok kapaliny roztočí lopatky, které se nacházejí uvnitř průtokoměru. Lopatky prochází kolem magnetické cívky a je generován frekvenční signál. Každý pulz odpovídá přesnému objemu proteklé kapaliny. Při průtoku jednoho litru kapaliny je vygenerováno 6900 pulzů. Výše uvedený průtokoměr je na svoje poměry velice kvalitní a dokáže měřit s přesností $\pm 3\%$. [16]



Obrázek 14-Průtokoměr

2.2.8 Převodník frekvence na napětí (PXF-20)

Převodník frekvence typu PXF-20 slouží pro převod kmitočtu na napětí. Ten je získáván jako signál z průtokoměru. Převodník nám frekvenci převede na napětí, přičemž jeho pracovní rozsah je 0-500 Hz a tomu odpovídá napětí 0-10V DC. Takto získané napětí je připojeno k analogovému modulu PLC. [17]



Obrázek 15-Převodník frekvence

2.2.9 Řídící jednotka maxon LSC 30/2

Jedná se o čtyř kvadrantovou jednotku pro řízení stejnosměrných motorů. V našem případě ji využíváme pro napájení čerpadla. Jelikož výstupní analogový modul dokáže dodat na výstup pouze 10V, ale čerpadlo potřebuje 12V DC. Můžeme jí využít jako regulátor napětí pro čerpadlo, pro řízení otáček motoru atd. Maxon je možné napájet DC napětím v rozmezí 12-30V. [18]



Obrázek 16-Jednotka Maxon

2.2.10 Control D

Control D slouží pro řízení proporcionálních ventilů pomocí pulzně šířkové modulace. Jednotka může pracovat ve více režimech. V otevřené regulační smyčce nebo uzavřené regulační smyčce. Control D nabízí možnost připojení přes USB rozhraní k PC. Pro nastavení hodnot poslouží dodávaný software. Regulátor lze řídit dálkově pomocí signálu z PLC. [19]



Obrázek 17-Control D

2.2.11 Zdroje napětí

V modelu jsou umístěny tři zdroje napětí, které slouží k napájení jednotlivých zařízení. Zdroj PS-30-24 je napájen 230V AC a jeho výstupní napětí je 24V DC. Ten slouží pro napájení programovatelného automatu, převodníku frekvence a řídicí jednotky Control D. Další zdroj PS2118 napájený z téže sítě 230V AC a výstupní napětí je 24V AC. Zdroj slouží pro napájení elektrického pohonu. Třetí zdroj Goldsource s výstupním napětím 13V DC a slouží pro napájení řídicí jednotky Maxon a switche. [20]



Obrázek 18-Zdroj PS-30-24

2.2.12 Panel view 600

Panel view 600 slouží pro vizualizaci úlohy. Panel je dotykový a 5,5 palců veliký. Napájen je stejnosměrným napětím 24V a pro komunikaci s programovatelným automatem využívá Ethernet. [21]



Obrázek 19-Panel view 600

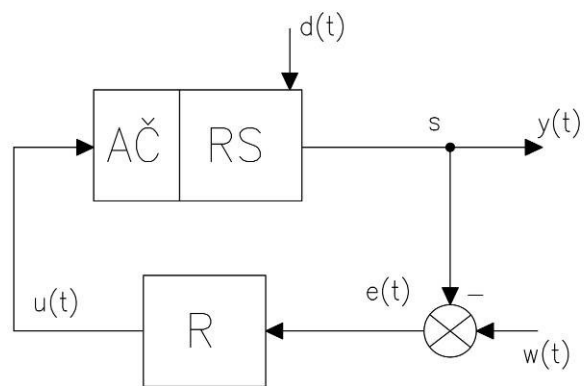
3 Spojitá regulace - Příklad 1

3.1 Obecně o spojitě regulaci

Spojité regulace spočívá v plynulém řízení výstupní veličiny pomocí akčního členu. Akční členy pro spojitě řízení se využívají tam, kde je potřeba řídit výstupní signál plynule. Mezi ně můžeme zařadit například: ventily, servomotory, řízení frekvenčních měničů, elektrické pohony, stejnosměrné motory a další. Dynamické vlastnosti systému se dají popsat různými způsoby, např. diferenciální rovnicí, obrazovým přenosem. Diferenciálním a obrazovým přenosem systému se budeme věnovat v následující kapitole. Pomocí těchto dvou způsobů si popíšeme náš systém, který budeme chtít regulovat. [22]

Základní schéma regulované soustavy:

- AČ.....Akční člen
- RS.....Regulovaná soustava
- R.....Regulátor
- $w(t)$Žádaná hodnota
- $e(t)$Regulační odchylka
- $u(t)$Akční signál
- $d(t)$Porucha na výstupu
- $y(t)$Výstupní signál
- sSnímač

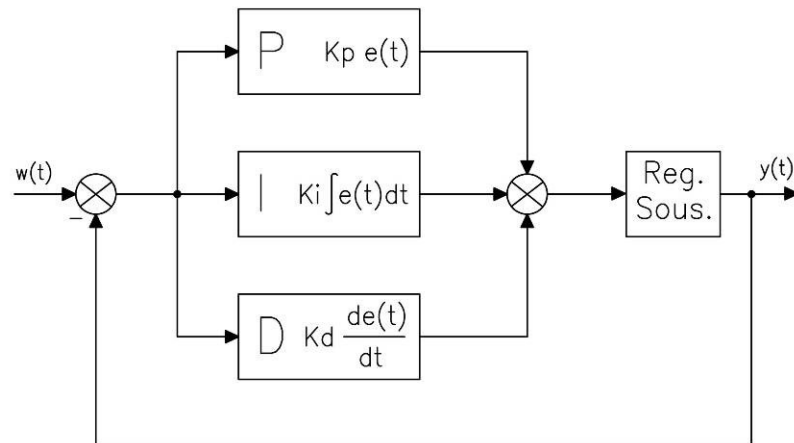


Obrázek 20-Regulační schéma

Na regulačním schématu vidíme soustavu. Do porovnávacího členu na vstupu regulátoru je připojena žádaná hodnota $w(t)$ a výstupní hodnota $y(t)$. Porovnávací člen porovná skutečnou hodnotu ze snímače (s) a žádanou hodnotou. Z porovnávacího členu vzniká regulační odchylka $e(t)$, která vstupuje do regulátoru. Dle nastavených parametrů na tuto změnu reaguje a vysílá akční signál do akčního členu. Akčním členem v našem případě je vstupní ventil, avšak můžeme využít i čerpadlo. Do regulační soustavy

mohou vstupovat různé poruchy. Konkrétně to může být náhlé otevření výstupního ventilu nebo nefunkčnost čerpadla. Tyto poruchy se projeví na regulaci výšky hladiny.

V mnoha případech se pro spojitou regulaci využívá regulátor. Níže na obrázku máme základní schéma regulátoru s jeho nejčastějšími parametry. Na obrázku je znázorněn regulátor typu PID:



Obrázek 21-Schéma regulátoru PID

Složka P - využívá proporcionálního zesílení, které zesiluje výstupní signál. K_p je proporcionální konstanta. Když bude mít soustava velikou regulační odchylku, tak nastavíme hodnotu do složky P a proporcionální složka regulátoru vyvolá změnu, aby se k žádané hodnotě přiblížila. U některých systémů, především vyšších řádů, nedosáhne proporcionální složka žádané regulační odchylky.

Složka I - obsahuje integrátor. K_i je integrační konstanta, kterou se regulační odchylka $e(t)$ vynásobí a přičte si ji ke své složce. Při velké regulační odchylce bude složka integrovat rychle. Po dosažení žádané hodnoty, složka udržuje příznivou odchylku.

Složka D - obsahuje derivační členek. K_d je derivační konstanta. Derivační členek reaguje na rychlost změny odchylky.

Z těchto tří složek se dají poskládat různé typy regulátorů. Známe několi typů regulátorů, např. P, I, PI, PD a PID. Regulátor typu P se hodí na méně náročné aplikace. Většinou však pracujeme s trvalou regulační odchylkou. Regulátor PI je univerzální a můžeme ho využít velké množství regulací. S regulátorem PI již v mnoha případech odstraníme trvalou regulační odchylku. Je vhodný na soustavy vyšších řádů. Regulátor D nemůžeme použít samostatně. Při použití všech tří složek bývá regulace plynulá i při řízení soustav vyšších řádů. [23]

3.2 Matematický popis úlohy

Pro vytvoření simulačního modelu v PC si nejdříve musíme určit rovnici, která danou soustavu popisuje. Na obrázku 22 je zakreslena soustava s nádrží válcovitého tvaru.

Jednotlivé hodnoty soustavy:

S_1plocha nádrže ($82,999 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$)

S_2plocha odtékajícího potrubí ($7,8 \cdot 10^{-5} \text{m}^2$)

g ...gravitační konstanta ($9,81 \text{ms}^{-1}$)

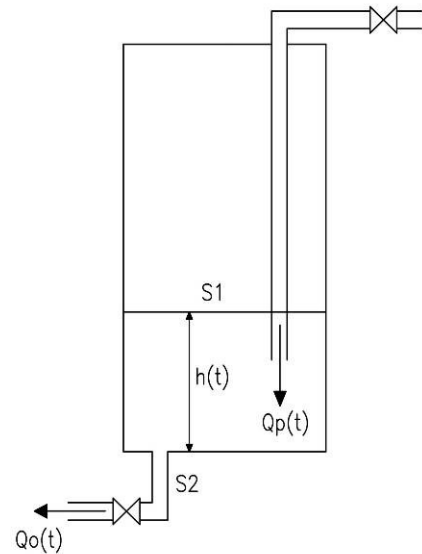
K_v ...charakteristika ventilu

$Q_p(t)$...množství přitékající vody ($3,33 \cdot 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$)

$Q_o(t)$...množství odtékající vody

$h(t)$výška hladiny

v_2 ...rychlost vytékající vody



Obrázek 22-Model soustavy

Z obrázku je patrné, že výška hladiny závisí na množství přitékající vody a množství odtékající vody. Základní rovnice je:

$$Q_p(t) - Q_o(t) = \frac{dV}{dt} = S_1 \cdot h'(t) \quad (1)$$

Kde Q_p je množství přitékající vody, která je ovlivněna vstupním ventilem, jehož průtoková charakteristika je uvedena na Obrázku 10. Průtokový součinitel ventilu k_v je $0,12 \text{ m}^3/\text{h}$. Q_o je množství odtékající vody, které je dáno charakteristikou rovnicí výstupního ventilu, tak výškou hladiny.

$$K_v = 0,0183 + 0,269 \cdot \left(\frac{H}{H_{100}}\right) - 0,380 \cdot \left(\frac{H}{H_{100}}\right)^2 + 1,096 \cdot \left(\frac{H}{H_{100}}\right)^3 - 0,194 \cdot \left(\frac{H}{H_{100}}\right)^4 - 0,265 \cdot \left(\frac{H}{H_{100}}\right)^5 + 0,443 \cdot \left(\frac{H}{H_{100}}\right)^6 \quad (2)$$

Množství odtékající vody je ovlivněno rychlostí kapaliny. Rychlost odtékající vody vychází z rovnice zachování energií. Na levé straně je vzorec pro kinetickou energii a na straně pravé pro potenciální energii.

$$\frac{1}{2} \cdot dm \cdot v_2(t)^2 = dm \cdot g \cdot h(t) \quad (3)$$

Pro výpočet rychlosti v_2 stačí základní matematické dovednosti. Zjistíme, že na hmotnosti kapaliny nezáleží a výsledný tvar pro rychlost vytékající vody z nádoby můžeme zapsat:

$$v_2(t) = \sqrt{2 \cdot g \cdot h(t)} \quad (4)$$

Z rovnice je patrné, že rychlost vytékající vody především závisí na výšce hladiny. Čím je hladina vyšší, tím bude rychlost vytékající vody rychlejší. Množství odtékající vody je tedy dáno vztahem:

$$Q_o(t) = v_2(t) \cdot S_2 \quad (5)$$

Proto tvar rovnice pro popis výšky hladiny v nádrži je následující:

$$\frac{dV}{dt} S_1 \cdot h(t) = Q_p(t) - Q_o(t) \quad (6)$$

$$S_1 h'(t) = Q_p(t) - S_2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h(t)} \quad (7)$$

Po konečné úpravě dostaneme konečný tvar, ve kterém si vyjádříme výšku hladiny na levou stranu a zbytek na pravou. Tento krok děláme proto, abychom mohli v programu matlab vytvořit simulační schéma a rovnice vypadá takto:

$$h'(t) = \frac{1}{S_1} \cdot [Q_p(t) - S_2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h(t)}] \quad (8)$$

Nyní se dostáváme do fáze, kdy potřebujeme řešit rovnici konkrétně s hodnotami pro náš případ. Plochu nádrže bylo obtížné změřit, jelikož jsme neznali tloušťku skla. Postupovali jsme tak, že jsme do válce napustili známé množství vody, které odpovídalo výšce 10 cm. Množství vody jsme změřili v odměrné nádobě a získali jsme množství 830ml. Z těchto informací jsme určili plochu podstavy válce. Plochu odtékajícího potrubí jsem pouze změřil.

Naměřené hodnoty:

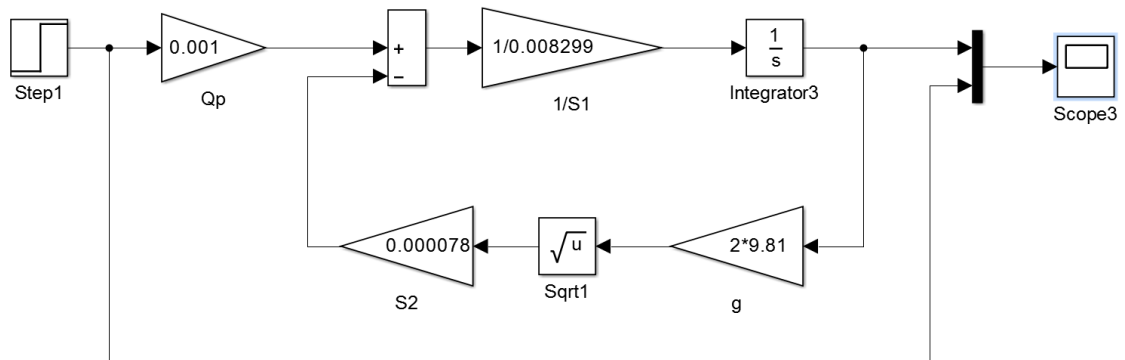
S_1plocha nádrže ($82,999\text{cm}^2$)= $82,999 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$

S_2plocha odtékajícího potrubí ($0,78\text{cm}^2$)= $7,8 \cdot 10^{-5}\text{m}^2$

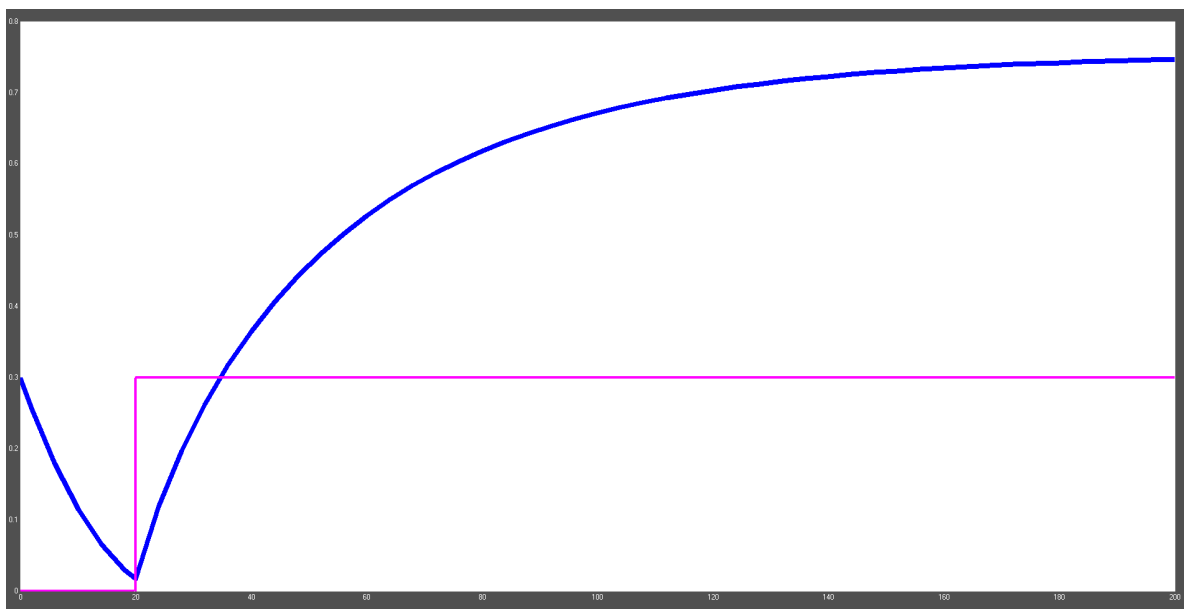
g ...gravitační konstanta ($9,81\text{ms}^{-1}$)

$Q_p(t)$...množství přitékající vody ($0,12\text{m}^3/\text{h}$)= $3,33 \cdot 10^{-5}\text{m}^3/\text{s}$

Do konečné rovnice zbývá dosadit změřené a vypočítané hodnoty. Posledním krokem je vytvoření simulačního schématu v programu matlab-simuling a spustit výpočet. Toto základní schéma vytvoříme pomocí základních bloků. Mezi ně patří: Step – generátor skokové funkce, Scope – zobrazuje průběhy, Integrator – číselně integruje hodnoty vstupního signálu podle času, Gain – zesílení signálu, Sum – sčítání nebo odečítání signálu. Níže na obrázku můžeme vidět základní simulační schéma s hodnotami pro náš případ.



Obrázek 23-Simulační schéma v programu Matlab



Obrázek 24-Simulační průběh výšky hladiny

Jak je znázorněno na simulovaném průběhu, počáteční stav výšky hladiny je nastaven na 30cm. Na začátku simulace je přítok vody vypnutý a v čase 20s se skokově změní (fialová čára). Výška hladiny (modrá čára) na tuto skokovou změnu reaguje a ustálí se na výšce cca 70cm.

3.3 Linearizace

Pro další postup [24] je potřeba rovnici (7) zlinearovat a opět nasimulovat. Proto do rovnice (7) dosadíme vypočtené hodnoty plochy nádrže, množství přitékající vody, ostatní naměřené hodnoty a dostaneme následující vztah:

$$82,99 \cdot 10^{-4} h'(t) + 1,1065 \cdot 10^{-4} \sqrt{h(t)} = Q_p(t) \quad (9) \quad m^3/s$$

$$8,299 h'(t) + 0,11065 \sqrt{h(t)} = q_p(t) \quad (10) \quad l/s$$

Z důvodu lepší představitivosti se soustava převede do přijatelnějších jednotek jako například l/s. Z rovnice (10) je patrné, že nelinearitu nám způsobuje člen $\sqrt{h(t)}$.

Zvolíme pracovní bod, ve kterém budeme soustavu linearizovat. Hladina by měla být ve výšce 30cm. Po dosazení do rovnice (10) získáme pro výšku 30cm přítok roven 0,06 l/s.

Linearizaci provedeme pomocí Taylorova rozvoje a nelineární člen je znázorněn:

$$\sqrt{h(t)} = \sqrt{h_0} + \frac{1}{2 \cdot \sqrt{h_0}} \cdot \Delta h(t) \quad (11)$$

Do původní rovnice (10) dosadíme linearizovaný člen. V ní se nám vykrátí členy a získáme linearizovanou funkci ve tvaru:

$$8,299 h'(t) + \frac{0,11065}{2 \cdot \sqrt{h_0}} \cdot \Delta h(t) = \Delta q_p(t) \quad (12)$$

V neposlední řadě stačí dosadit do linearizované funkce pracovní bod, který jsme si zvolili na začátku linearizace. Po výpočtu dostaneme tvar:

$$\begin{matrix} 8,299 h'(t) + 0,101 \cdot \Delta h(t) = \Delta q_p(t) & (13) \\ a_1 & a_0 & b_0 \end{matrix}$$

Koeficienty a_0 a b_0 poslouží pro výpočet statického zesílení soustavy. Statické zesílení je rovno:

$$K = \frac{b_0}{a_0} = \frac{1}{0,101} = 9,9 \quad (14)$$

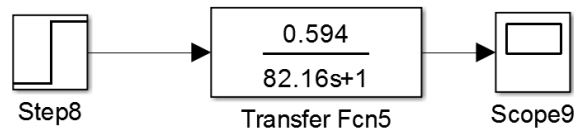
Statické zesílení je podíl ustálených hodnot vybuzené a budící veličiny. Z linearizované rovnice můžeme určit ustálení výšky hladiny při zvoleném přítoku.

$$0,101 \cdot h(\infty) = 0,06 \cdot q_p(\infty) \quad (15)$$

$$h(\infty) = 0,594m$$

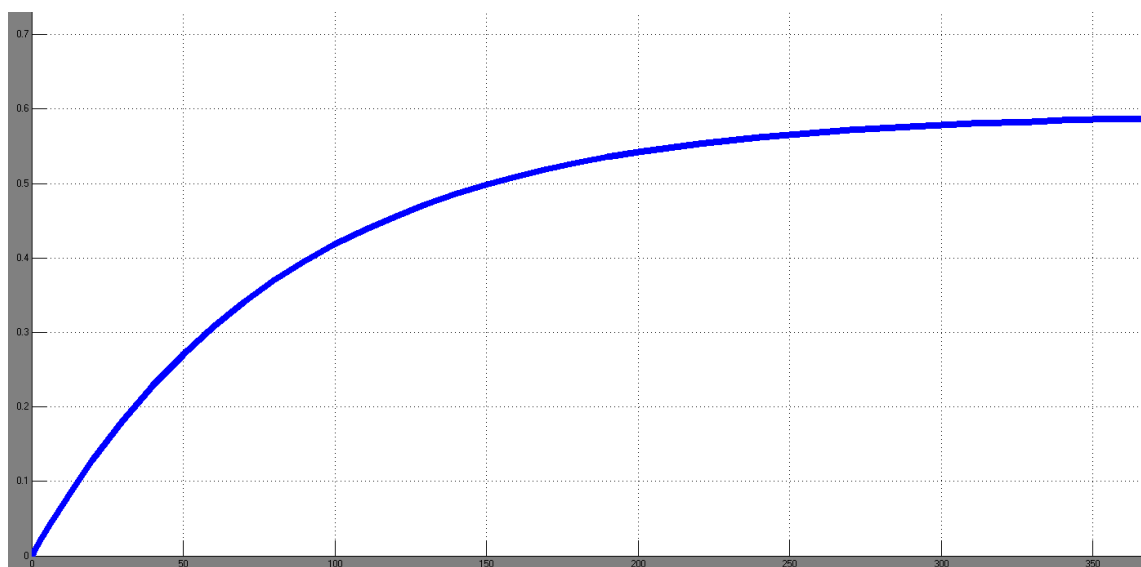
Z linearizované funkce pomocí Laplaceovy transformace je získán obrazový přenos soustavy:

$$Y(s) = \frac{0,06}{8,299s + 0,101} = \frac{0,594}{82,16 + 1} \quad (16)$$



Obrázek 25 - Simulační schéma obrazového přenosu soustavy

Níže na obrázku je znázorněn průběh výšky hladiny po linearizaci. Průběh byl pořízen z obrazového přenosu soustavy. Výška se ustálila dle výpočtu na 0,594m.



Obrázek 26 - Simulační průběh obrazového přenosu bez regulátoru

3.4 Metody seřízení regulátoru

Metod pro seřízení regulátoru je opravdu celá řada. Mezi nejznámější patří **Ziegler-Nichols**, která je charakteristická tím, že zjišťuje kritické zesílení, to znamená soustavu na mezi stability. Postupujeme tak, že zvyšujeme zesílení regulátoru až na mez stability. Pokud soustava začne kmitat s konstantní amplitudou je to stav, který hledáme a nazýváme ho kritickým stavem zesílením. Následně zjistíme hodnotu kmitů a podle tabulky, která je dostupná na mnoha zdrojích, vypočítáme hodnoty regulátoru. Tuto metodu jsem chtěl pouze uvést, avšak pro náš systém se nehodí, protože se zde pracuje s

kritickou periodou kmitů. Naši soustavu nerozkmitáme. Z toho důvodu si musíme vybrat jinou, která je pro tento případ vhodnější. Mezi další metody seřízení regulátoru patří například: Cohen Coonova pravidla či Kuhnova metoda. Pro náš případ jsem zvolil a porovnal dvě metody seřízení regulátorů:

Pravidla Chiena, Hronese a Reswicka - pokud je regulovaná soustava popsána přenosem:

$$G_s(s) = \frac{Ke^{-sT_D}}{\tau s + 1} \quad (17)$$

Tato metoda umožňuje výběr ze dvou variant regulačního pochodu. První variantou je aperiodický pochod a pochod s 20% překmitem. Naši soustavu je potřeba řešit bez překmitu. Proto do tabulky dosadíme hodnoty a získáme parametry regulátoru. Z uvedené tabulky vypočteme koeficienty naší soustavy.

Regulátor	Aperiodický regulační pochod		Překmit 20%	
	Žádaná hodnota	Porucha	Žádaná hodnota	Porucha
P	$r_o=0,3 \tau/(KT_D)$	$r_o=0,3 \tau/(KT_D)$	$r_o=0,7 \tau/(KT_D)$	$r_o=0,7 \tau/(KT_D)$
PI	$r_o=0,35 \tau/(KT_D)$ $T_i=1,2 \tau$	$r_o=0,6 \tau/(KT_D)$ $T_i=4T_D$	$r_o=0,6 \tau/(KT_D)$ $T_i=\tau$	$r_o=0,7 \tau/(KT_D)$ $T_i=2,3T_D$
PID	$r_o=0,6 \tau/(KT_D)$ $T_i=\tau$ $T_d=0,5T_D$	$r_o=0,95 \tau/(KT_D)$ $T_i=2,4T_D$ $T_d=0,42T_D$	$r_o=0,95 \tau/(KT_D)$ $T_i=1,35 \tau$ $T_d=0,47T_D$	$r_o=1,2 \tau/(KT_D)$ $T_i=2T_D$ $T_d=0,42T_D$

Obrázek 27 - Tabulka pro nastavení hodnot regulátoru

Jako další metodu, kterou jsem pro seřízení regulátoru využíval je **Latzelova metoda**. Soustava je popsána přenosem:

$$G_m(s) = \frac{K}{(\tau_M s + 1)^n} \quad (18)$$

Tato metoda spočívá v poměru časové konstanty k časům, kdy je dosaženo 10, 50 a 90% ustálené hodnoty. Vypočítáme si μ_A , které slouží pro určení řádu soustavy a z ní určíme časovou konstantu podle vzorce:

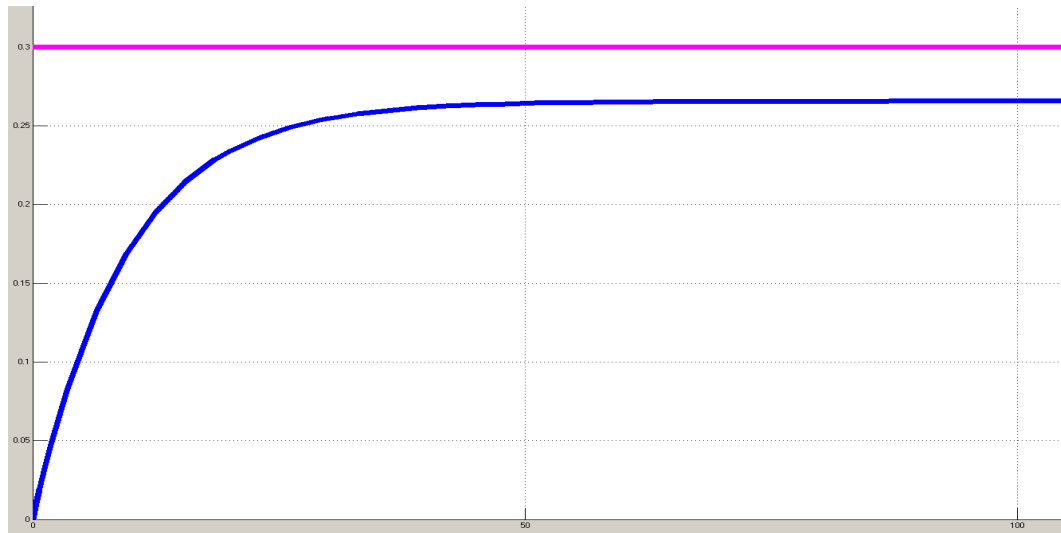
$$\tau_M = \frac{(\alpha_{10} \cdot t_{10} + \alpha_{50} \cdot t_{50} + \alpha_{90} \cdot t_{90})}{3} \quad (19)$$

Výsledná konstanta pro PI regulátor se dopočítává podle tabulky, kterou vidíme na obrázku. Kde T_i je integrační konstanta. [22]

n	T_i/τ_M	$r_o K$	
		10%	20%
2	1,55	1,650	2,603
2,5	1,77	1,202	1,683
3	1,96	0,884	1,153
4	2,30	0,656	0,812
5	2,59	0,540	0,654
6	2,86	0,468	0,561
7	3,10	0,417	0,497
8	3,32	0,379	0,451
9	3,53	0,349	0,413
10	3,73	0,325	0,384
11	3,92	0,305	0,360
12	4,10	0,287	0,340
13	4,27	0,272	0,322
14	4,44	0,260	0,307
15	4,60	0,248	0,293
16	4,75	0,238	0,281
17	4,90	0,229	0,271
18	5,05	0,220	0,261
19	5,19	0,213	0,252
20	5,33	0,206	0,244

Obrázek 28 - Nastavení PI

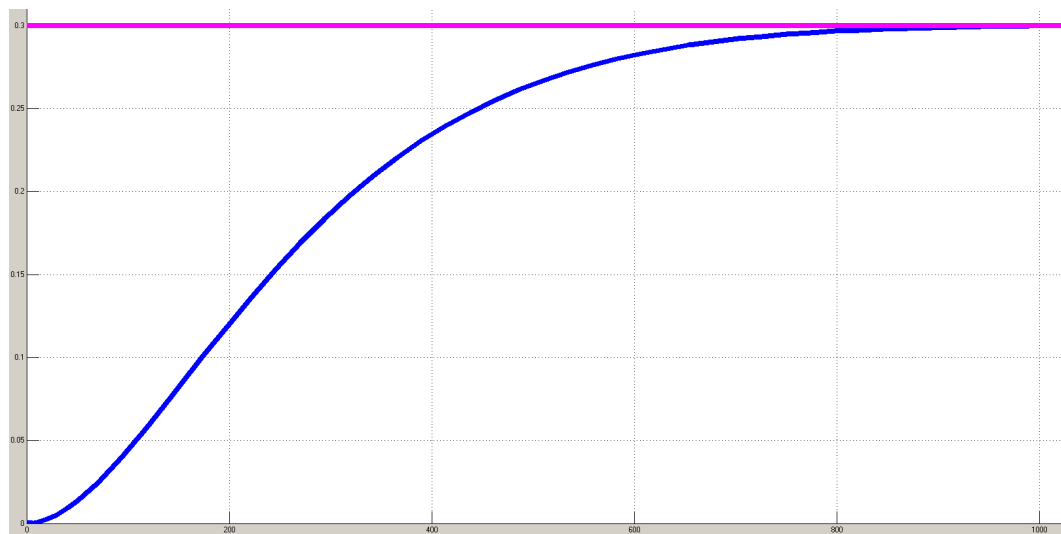
V programu matlab-simuling vytvoříme regulační schéma s vypočtenými konstantami. Samotných výpočtů pro nastavení regulátoru byla celá řada, avšak vybíráme pouze ty, které jsou pro nás přijatelné. Soustava je reprezentována obrazovým přenosem. V prvním simulačním průběhu je použita pouze konstanta typu P. Na obrázku vidíme simulační průběh soustavy s regulátorem typu P.



Obrázek 29 - Simulační schéma soustavy s regulátorem typu P

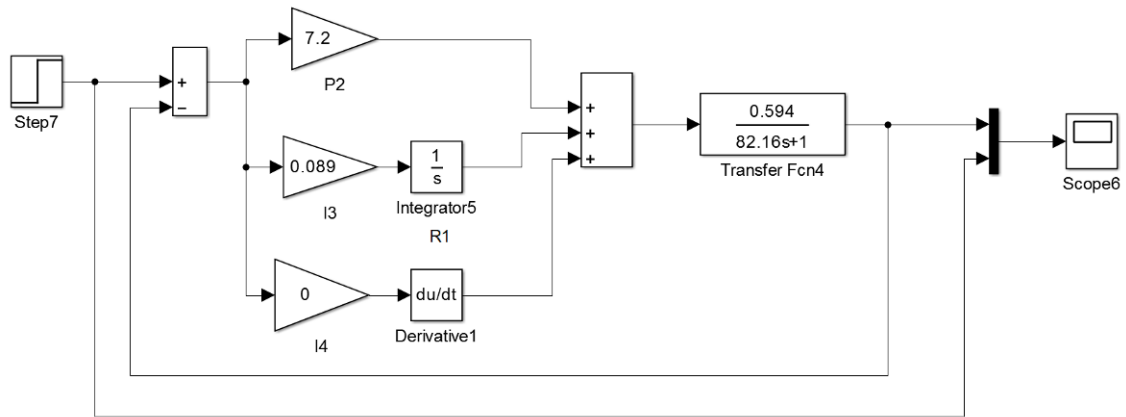
Z průběhu je na první pohled patrné, že nastavení pouze proporcionální složky nebude pro nulovou odchylku postačovat. I při vyšší hodnotě P nedosáhneme požadované výšky hladiny a soustava bude mít trvalou regulační odchylku.

Další variantou je simulován průběh s nastavenou integrační složkou. Nastavením této složky už sice požadované výšky dosáhneme, avšak za dlouhou dobu regulace a to není v našem případě žádoucí. Integrační složka již odstraní trvalou regulační odchylku, avšak za dlouhou dobu.

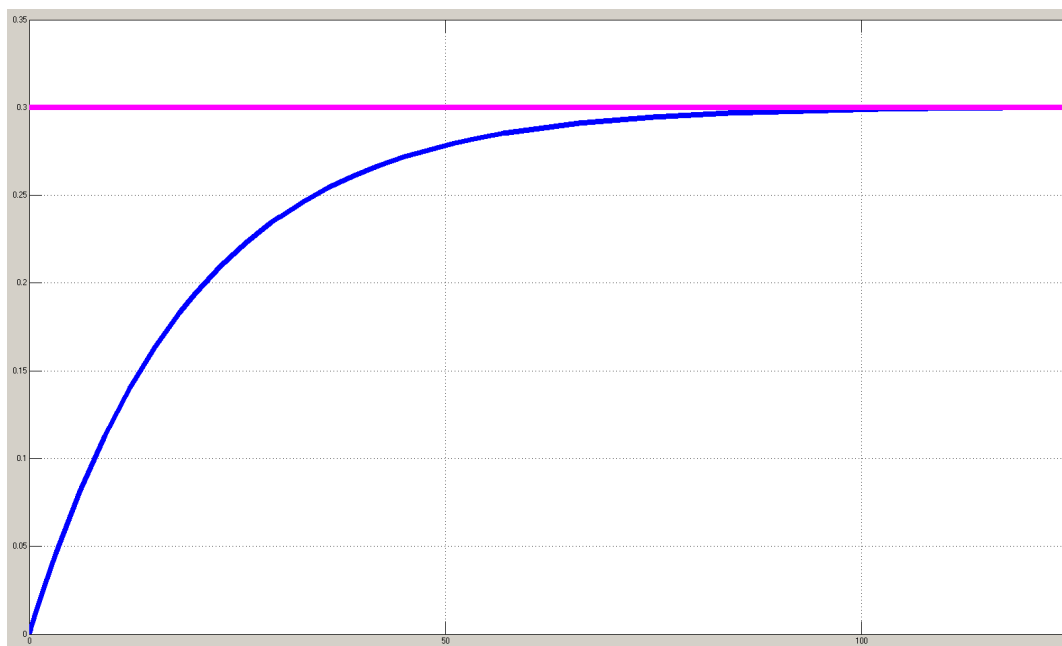


Obrázek 30-Simulační schéma s regulátorem typu I

Proto vytvoříme ještě poslední průběh s kombinací regulátoru PI. Na následujícím obrázku je znázorněno regulační schéma s nastavenými hodnotami regulátoru, které již trvalou regulační odchylku odstraní a doba regulace je přijatelná.



Obrázek 31 - Simulační schéma s regulátorem PI



Obrázek 32 - Simulační průběh výšky hladiny a regulátorem PI

Při použití regulátoru typu PI se hladina ustálí na požadované výšce i s přijatelnou dobou regulace. Z matematického popisu a simulací se dostáváme k závěru. Pro řízení výšky hladiny je nevhodnější PI regulátor. V závislosti na zvolených konstantách regulátoru ovlivníme dobu regulace.

3.5 Postup při realizaci zadání:

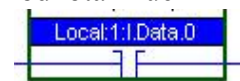
Model, na kterém realizujeme samotné řízení se skládá z několika komponentů, které jsou uvedené v kapitole 2.2. Mezi další pomůcku patří osobní počítač a uvnitř nainstalovaný software. Hlavními programy jsou: RSlogix 5000, RS links, Boot/DHCP server, RSview-studio a další.

3.5.1 Použité programy

3.5.1.1 RSLogix5000

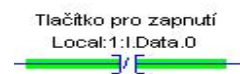
Vývojový program RSLogix 5000 nabízí širokou škálu předdefinovaných instrukcí. Část si jich popíšeme podrobněji. Jedná se především o instrukce, které byly použity v této práci. Mezi základní instrukce patří:[25]

Examine If Closed - instrukce zkoumá hodnotu na vstupu. Pokud je hodnota True instrukce se provede, pokud je na vstupu False. Program instrukci přeskóčí a provádějí se kroky na dalším řádku.



Obrázek 33-Instrukce XIC

Examine If Open - tato naopak zkoumá zda-li je na vstupu logická nula. Jinak pracuje úplně stejně jako instrukce Examine IF Closed.



Obrázek 34-Instrukce XIO

Output Latch - nastaví výstup na logickou jedničku a stav si zapamatuje. Instrukce se využívá například pro rozsvícení žárovky.



Obrázek 35-Instrukce OTL

Output Unlatch - nastaví výstup na logickou nulu a stav si zapamatuje. Instrukce se využívá například pro zhasnutí žárovky.



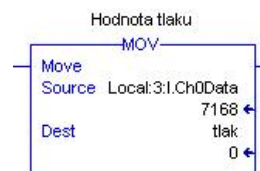
Obrázek 36-Instrukce OTU

TON - Time of Delay - neboli časovač. Slouží pro zpožděné zapnutí výstupu. Jakmile je tlačítkem či jakýmkoliv jiným způsobem přiveden impuls na časovač a časovač začne počítat nastavenou dobu. Čas po který chceme, aby časovač počítal, nastavujeme do záložky Preset. Časy jsou nastavovány v ms.



Obrázek 37-Instrukce TON

MOV - instrukce MOV slouží pro přesun hodnoty z jednoho místa na druhé. V našem případě instrukci MOV využíváme k získávání hodnoty z tlakového čidla a ukládáme ji do pomocné proměnné Tlak.



Obrázek 38-Instrukce MOV

MUL - slouží pouze pro vynásobení dvou hodnot a výslednou hodnotu uloží do položky Dest.



Obrázek 39-Instrukce MUL

LIM - zkoumá hodnotu, která je uvedena v položce Test a porovnává ji s hodnotami, které jsou uvedeny v Low limit (minimum) a High Limit (maximum). Pokud je tato podmínka splněna, provede se instrukce, Pokud položka test není splněna, řádek se přeskočí a provádějí se další instrukce.



Obrázek 40-Instrukce LIM

GRT - slouží pouze pro porovnání dvou hodnot. Pokud je hodnota v položce A větší jak hodnota B, příkaz se provede. Pokud je to naopak, řádek se přeskočí. Mezi další instrukce patří například: DIV-dělení, EQU - porovnává dvě položky zda-li jsou stejné, LEQ-roven nebo menší, ADD - přičítá.

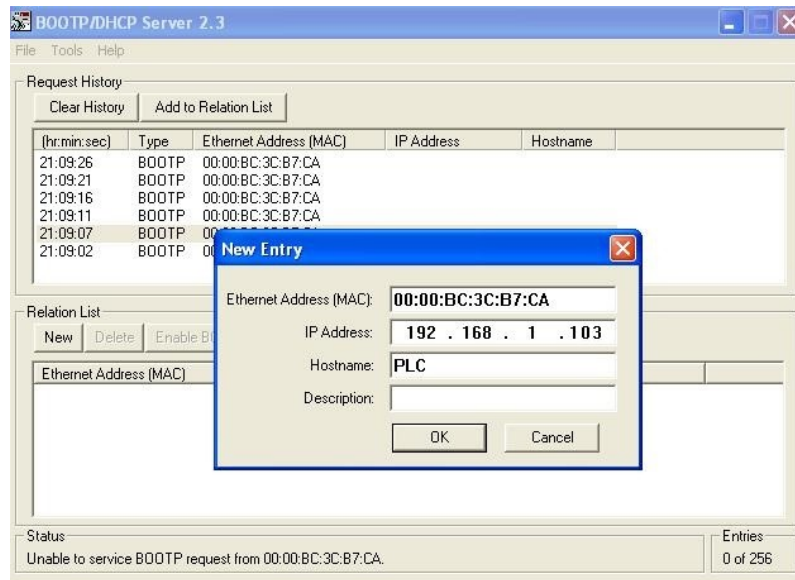


Obrázek 41-Instrukce GRT

3.5.2 Nastavení komunikace PLC a PC

3.5.2.1 BOOTP/DHCP Server

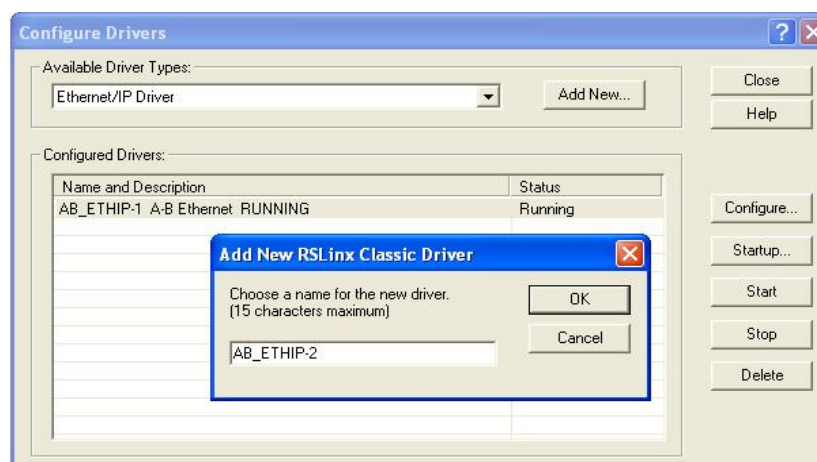
V prvé řadě bylo potřeba zajistit, aby PLC komunikovalo s PC. Proto jsme po zapnutí programu BOOTP v request history zobrazila MAC adresa PLC. Kliknutím na Add Relation List jsme ji přiřadili IP adresu: 192.168.1.103. Na obrázku vidíme nastavení v BOOTP/DHCP serveru. Tento postup aplikujeme také na vzdálený modul 1734-AENT, kterému přiřadíme IP adresu: 192.168.1.70.



Obrázek 42 - Nastavení IP adresy PLC

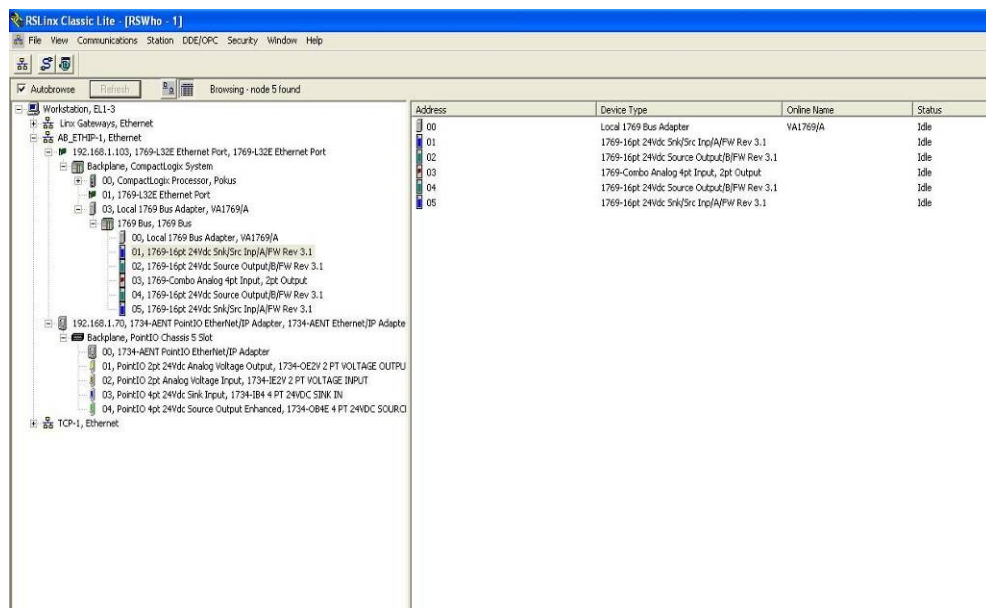
3.5.2.2 RSlinx

RSlinx je komunikační server sloužící pro vzájemnou komunikaci PC a PLC. Zajišťuje připojení pro řadu aplikací: RSlogix 5/500/5000, RSview-studio a další aplikace od firmy Allen Bradley-Rockwell. Pro nakonfigurování připojení je potřeba zvolit typ z nabídky Configure drives. Objeví se okno, ve kterém ze seznamu Available Driver Types vybereme Ethernet IP/driver a klikneme na Add New. Na obrázku je vidět základní nastavení.



Obrázek 43 - Úvodní nastavení v RSlinx

V nabídce zvolíme název pro náš ovladač, avšak je doporučeno nechat výchozí, který je již předdefinován a klikneme na tlačítko OK. Následně můžeme okno configure drivers zavřít. Nyní vybereme z horní lišty, ze záložky Comutations položku RSWho. Tato služba umožňuje zobrazit všechna aktivní připojení. Při prvním spuštění RSLinx, byla tato služba nedostupná a hlásila chybu. Závadu jsme odstranili aktivováním služby Harmony. Poté již byla RSWho plně funkční a zobrazila všechna připojení. Na obrázku 43 vidíme aktuální připojení programovatelného automatu se všemi vstupními a výstupními moduly. Z obrázku je vidět, že nyní je připojené jak PLC, tak vzdálený modul 1734-AENT.

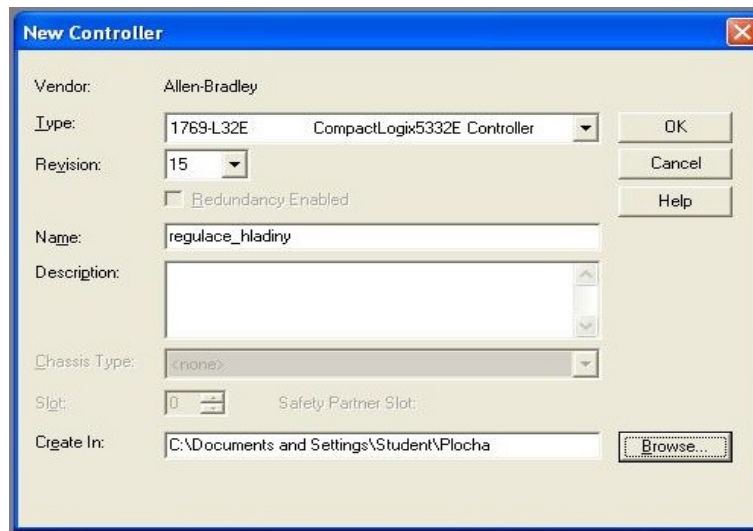


Obrázek 44 - Aktivní připojení PLC a AENT

3.5.2.3 RSLogix 5000

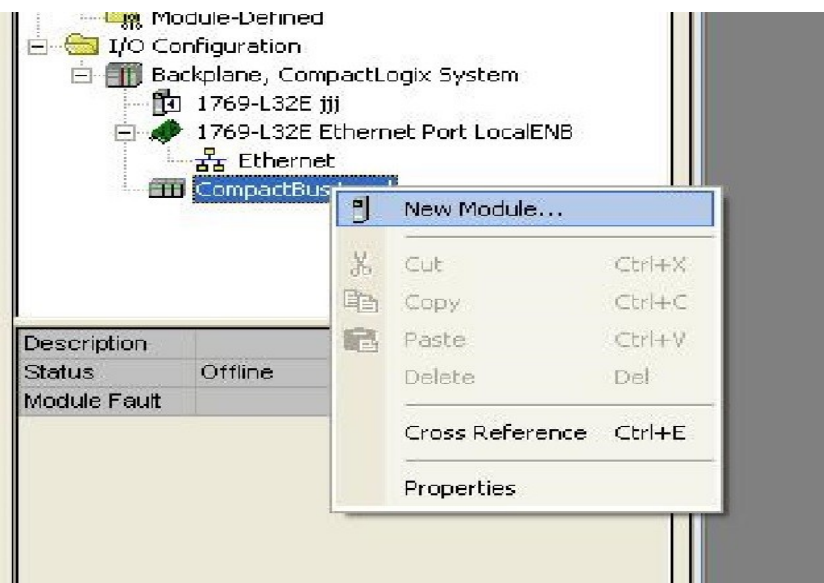
Dalším velmi důležitým krokem je konfigurace a nastavení v programu RS logix 5000. Pokud máme nastavenou komunikaci v programu RSLinx, můžeme přejít ke spuštění programu RSLogix 5000. Tento software slouží především pro programování programovatelných automatů a obsahuje velké množství předdefinovaných instrukcí, které usnadňují programování. RSLogix 5000 umožňuje programování v příčkovém diagramu nebo v blokových schématech (function block).

Po zapnutí programu klikneme v horní nabídce na file a new. Zobrazí se okno (New Controller), ve kterém definujeme náš typ programovatelného automatu. Z nabídky Type vybereme PLC, kterým je typ 1769-L32e a z menu revision zvolíme 15. Do položky name napíšeme název projektu, pod kterým bude uložen. Do části Description můžeme uvést podrobnější popis. V poslední řadě navolíme umístění pro ukládání souboru. Na obrázku 43 je vidět nastavení typu PLC.



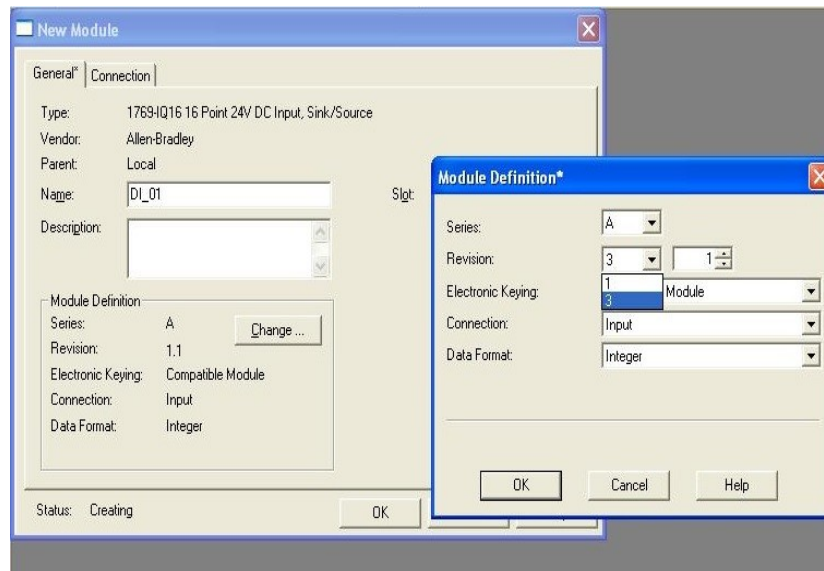
Obrázek 45- Úvodní nastavení v programu RSLogix 5000

Po kliknutí na tlačítko OK se objeví obrazovka rozdělená do dvou částí. V pravé části, která je nyní prázdná, budeme vytvářet program. V levé části se nachází stromová nabídka sloužící pro změnu jednotlivých parametrů programovatelného automatu: vstupů, výstupů, možnosti připojení a dalších možností. Po rozkliknutí záložky I/O Configuration z levé části obrazovky se nám zobrazí možnosti pro nakonfigurování vstupních a výstupních modulů PLC. Klikneme na poslední položku Compact pravým tlačítkem a zvolíme New module, jak je zobrazeno na dalším obrázku.



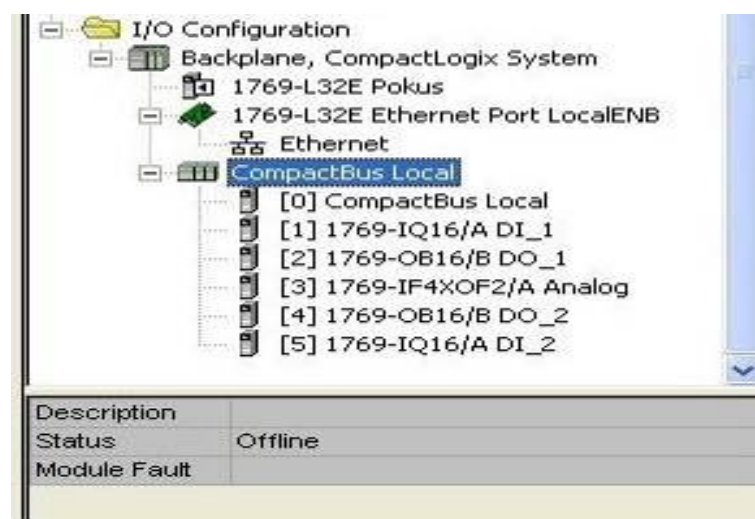
Obrázek 46 - Definice I/O modulů

Po kliknutí na položku New Module se objeví okno, ve kterém je potřeba najít přesné typy vstupních a výstupních modulů, které máme fyzicky připojené k PLC. Do vyhledávacího zadáme typ, který je uveden na štítku u každého z nich. Zkontrolujeme, zda-li souhlasí počet vstupů a jmenovité napětí. Klikneme na tlačítko ok a modul si pojmenujeme. Tlačítko Change slouží pro výběr správné revize, my zvolíme revision 3. Potvrdíme ok a máme vytvořený první modul k našemu PLC.



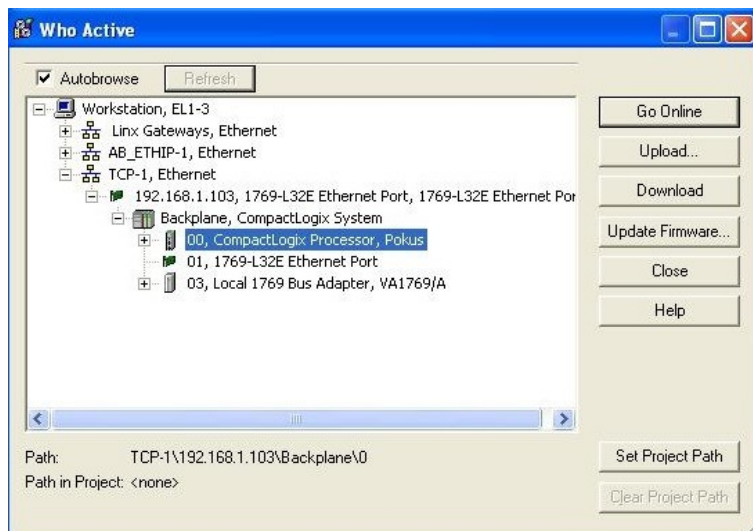
Obrázek 47 - Definice vstupního modulu

Postupně přidáme všechny vstupně-výstupní moduly, které máme připojené k programovatelnému automatu. Naš automat obsahuje dva digitální vstupní moduly, dva digitální výstupní moduly a jeden vstupně-výstupní modul analogový. Po takto nadefinovaných modulech se nám všechny moduly zobrazí v levé stromové nabídce, hned pod položkou CompactBus Local.



Obrázek 48 - Přehled nadefinovaných vstupně-výstupních modulů

Pokud máme moduly nadefinované, nic nám nebrání v propojení PLC a PC. Proto vybereme z horní nabídky Communications a zvolíme službu Who Active, která nám zobrazí aktivní připojení, tak jak je máme nadefinované v programu RSLinx. Z možných připojení zvolíme náš automat, klikneme na Go Online a komunikaci bychom měli mít navázanou.



Obrázek 49 - RSWho v RSLogix 5000

Pro stahování programu z počítače do programovatelného automatu slouží tlačítko Download. Pro stahování programu z PLC do PC naopak tlačítko Upload.

Dalším krokem je nastavení vzdáleného modulu 1734-AENT, který pracuje přes rozhraní ETHERNET. Pro přidání tohoto zařízení jsme opět využili BOOT/DHCP server. V programu RSLogix 5000 jsme modul přidali obdobně jako compactlogix L32e.

3.5.3 Programová část

3.5.3.1 Průtok a výška hladiny

V první řadě, je potřeba získat z tlakového senzoru výšku hladiny. Ze senzoru získáme analogovou hodnotu, která se v zabudovaném A/D převodníku převádí na číslo. Toto číslo pomocí instrukce MOV uložíme do pomocné proměnné. Proměnnou vynásobíme konstantou, kterou získáme z rovnice lineární regrese. Tato rovnice odpovídá závislosti naměřených digitálních hodnot z tlakového senzoru a výšky hladiny.

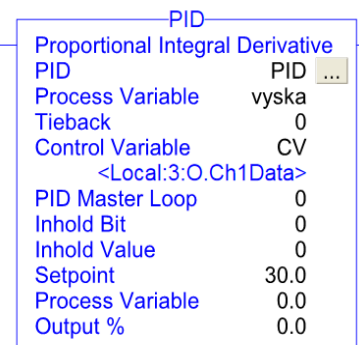
Dále z převodníku frekvence získáme napětí odpovídající určitému množství vody, která protéká průtokoměrem. Hodnota napětí však při maximální hodnotě frekvence není očekávaných 10V, ale napětí se ustálilo na napětí 9,16V. Z tohoto důvodu je v programu ještě instrukce MUL, která odstraní tuto chybu. Tato hodnota je uložena pomocí instrukce MOV do pomocné proměnné. Avšak samotné číslo nám nic o sobě neříká, proto postupujeme tak, že do válce napustíme vodu do výšky 10 cm a měříme

čas. 10 cm nateklo za 25s. Z těchto údajů vypočítáme průtok. V programu je udáván průtok v litrech za sekundu.

3.5.3.2 PID blok

Pro spojitě řízení výšky hladiny je zvolena instrukce, kterou RSLogix 5000 nabízí. Jmenuje se PID. Je to blok pracující s rovnicí regulátoru PID. V něm navolíme požadované hodnoty a samotné nastavení jednotlivých parametrů bude popsáno níže.

Na pravé straně vidíme blok. Jako první položku vidíme PID - jedná se o název bloku, v našem případě PID.



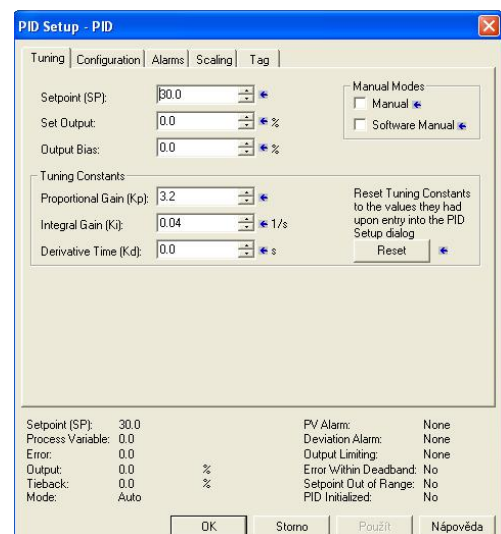
Obrázek 50-Blok PID

Process Variable (PV) - do této položky zadáme řídicí proměnou, která bude regulována. Proměnná může být zadána přímo místem adresy, kde je žádaná proměnná připojena nebo místem proměnné v programu. Jak vidíme v PID bloku PV je zadávána proměnnou v programu s názvem "vyska". Tato hodnota je již přepočtená výška z tlakového senzoru. Postup získání hodnoty jsme si popsali výše.

Control Variable (CV) - v této položce nastavíme výstup, který chceme blokem PID ovládat. Takto budeme řídit vstupní ventil. V PID instrukci je zadána s jeho názvem CV a ukazuje na adresu, kde je připojen vstupní ventil.

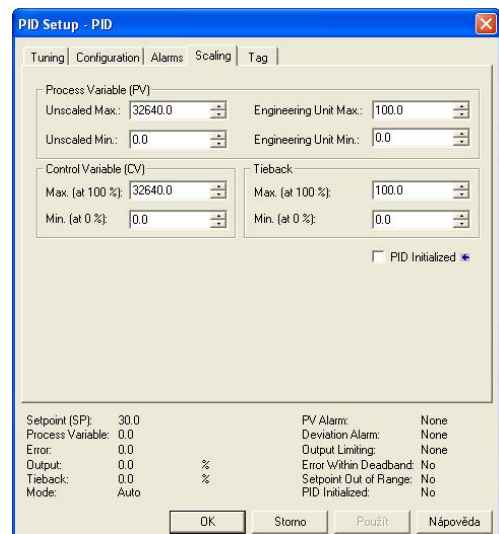
Set-Point - neboli žádaná hodnota. Zde uvedeme požadovanou hodnotu, kterou chceme aby regulátor udržel.

Tyto parametry jsou pouze základní nastavení, které je potřeba provést. Dalším krokem je konfigurace přímo PID bloku. Otevřeme ho pomocí kliknutí a zobrazí se nám následující okno. Do položek K_p , K_i a K_d zadáváme konstanty regulátoru.



Obrázek 51 - Nastavení PID 1

Kliknutím na záložku Scaling se dostaneme do dalšího nastavení. Ve kterém určíme hodnoty pro správnou funkci instrukce. Poslední částí je potřeba zajistit proměnné pro ovládání parametrů pomocí panelu view 600, na kterém byla vytvořena vizualizace. Více o vizualizaci bude popsáno v následující kapitole. V programu RSLogix 5000 jsou vytvořeny proměnné pro jednotlivé parametry. U proporcionální složky je to proměnná: "složka_P", pro set-point: "setpoint" atd.



Obrázek 52 - Nastavení PID 2

V programu je řešena částečně automatická regulace pro jednotlivé výšky hladiny, které mohou být navoleny z panelu view 600. Pro výšky jsou předdefinované nastavení regulátoru. Tuto část řešíme instrukcí, která porovnává zadanou výšku s konstantou. Při shodné informaci se do položky K_p a K_i načtou patřičná nastavení regulátoru. Tato funkce je umožněna v automatické režimu. Při manuálním režimu volíme parametry regulátoru ručně přímo z panelu view 600. Na obrázku vidíme přehled proměnných, které program používá.

Name	Alias For	Base Tag	Data Type	Style	Description
manual			INT	Decimal	
ON			TIMER		
PI_cerpadlo			PID		
PID			PID		
pomocna_vyska			REAL	Float	
pomocna01_prutok			REAL	Float	
prutok			REAL	Float	
prutok_real			REAL	Float	
Set_point			DINT	Decimal	
složka_D			REAL	Float	
složka_D_manual			REAL	Float	
složka_I			REAL	Float	
složka_I_manual			REAL	Float	
složka_P			REAL	Float	
složka_P_manual			REAL	Float	
Svetlo_zap			DINT	Decimal	
tlak			INT	Decimal	
tlak_real			REAL	Float	
vyska			REAL	Float	
vyska2			REAL	Float	

Obrázek 53-Proměnné v RSLogix 5000

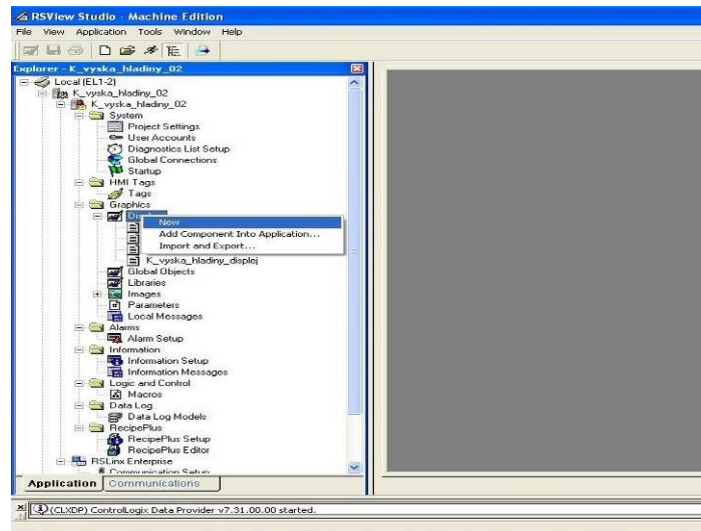
3.5.3.3 Řízení výšky hladiny pomocí čerpadla

Dalším typem řízení výšky hladiny, která je ověřena bylo řízení výšky hladiny pomocí čerpadla. Čerpadlo je řízeno přes řídicí jednotku Maxon. Na svorku SET+,SET-

přivedeme z analogového modulu řídicí signál (0-10V). V závislosti na požadovaném napětí je čerpadlo ovládáno a řízeno.

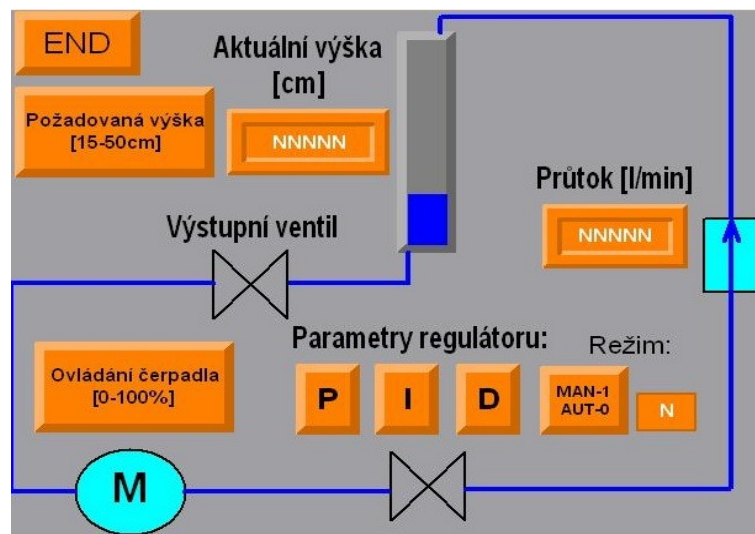
3.5.4 Vizualizace

Poslední částí je vypracování vizualizace úlohy pro spojitě řízení. Vizualizace je vytvořena v program RSview studio-machine edition. Po zapnutí studia se nám zobrazí okno, ve kterém si zvolíme vhodný název našeho projektu a tlačítkem create vytvoříme nový projekt. Nyní se dostáváme do základního prostředí studia. To vidíme na obrázku.



Obrázek 54 - Prostor prostředí program RSview-studia

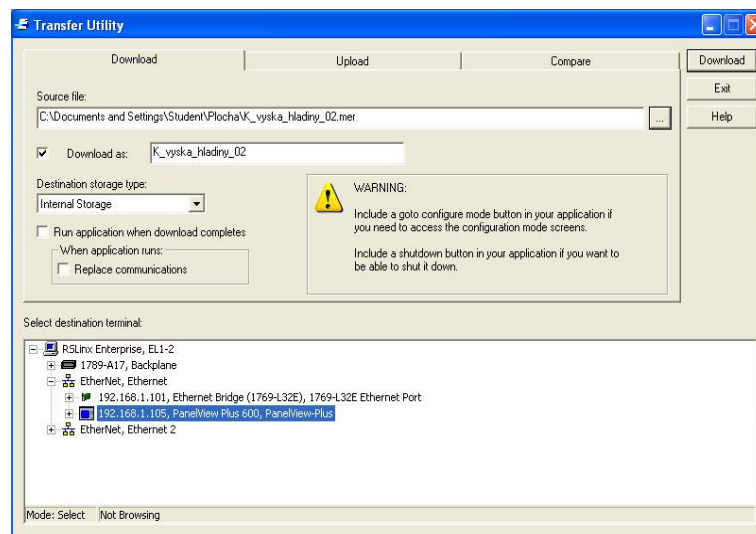
Z menu, které je znázorněno na obrázku, klikneme na položku Display-new a začneme vytvářet vizualizaci. Pro zadávání hodnot (požadované výšky, atd.) je využit prvek, který nám po kliknutí na ně, zobrazí numerickou klávesnici a my můžeme zadávat požadované hodnoty. Pro zobrazení snímaných hodnot se využívá číselný displej. Ten slouží pro zobrazení aktuálního průtoku kapaliny a výšky hladiny. Na obrázku je vidět jednoduché schéma vizualizace.



Obrázek 55-Vizualizace úlohy

V rohu nahoře je tlačítko pro zavření aplikace a pod ním pro nastavení požadované výšky. Po potvrzení hodnoty v panelu view se zapíše do proměnné "set-point", která do je vložena do bloku PID. Vedle tlačítka pro zadání výšky je umístěno číselné pole zobrazující aktuální výšku hladiny. Ovládání výkonu čerpadla lze také navolit stejným způsobem jako výšku žádanou. Na panelu dále najdeme volbu manuálního a automatického režimu. Pokud zvolíme manuální režim, zadáváme parametry regulátoru ručně a to pomocí tlačítek P, I a D. Pokud však zvolíme automatický režim, jsou pro jednotlivé výšky hladiny již předdefinované konstanty regulátoru, které se v programu do bloku PID nahrají.

V poslední fázi je potřeba nahrát vizualizaci do panelu view 600. K tomu ve vývojovém studiu slouží tlačítko Transfer Utility, kde vybereme místo nahrání vizualizace. Na obrázku je znázorněn přenos ze studia do panelu view.



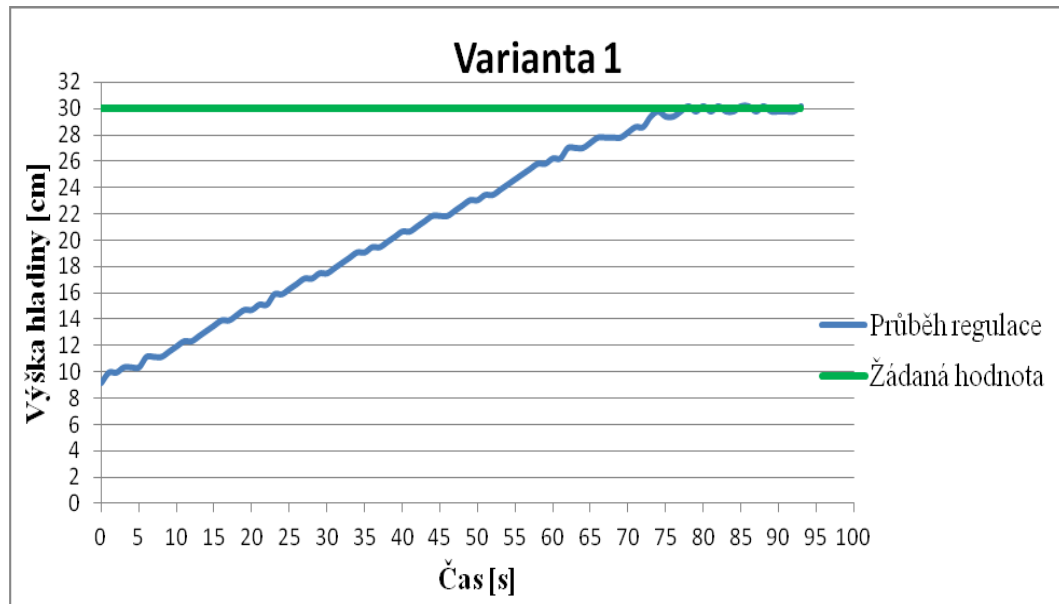
Obrázek 56 - Přenos vizualizace do panelu view 600



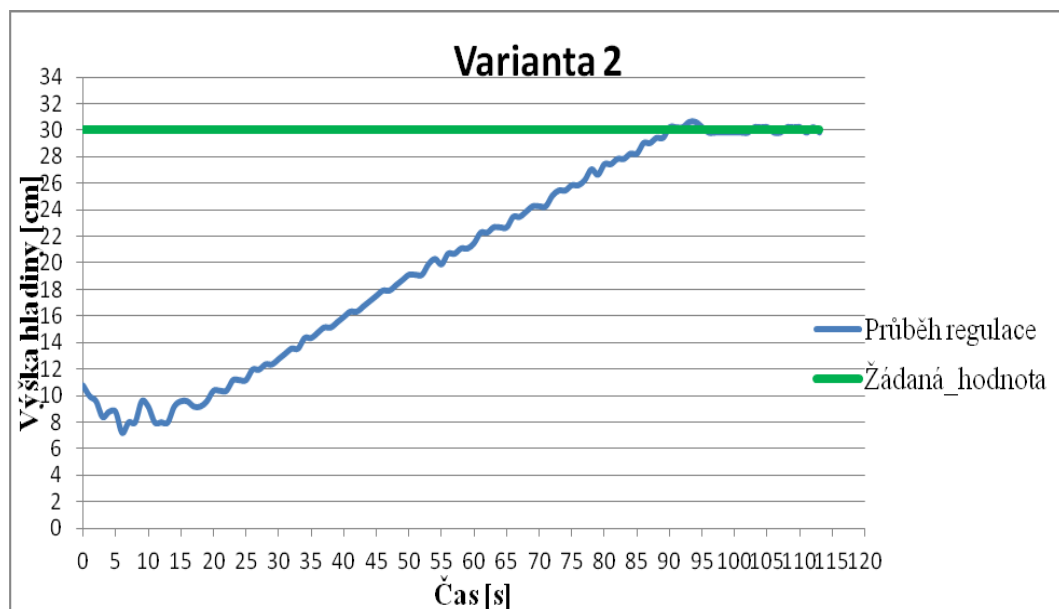
Obrázek 57-Vizualizace v panelu view

3.5.6 Naměřené průběhy regulace

Program RSLogix 5000 umožňuje sledovat jednotlivé průběhy připojených čidel. Tato volba je využita i při pořizování průběhů regulace. Na dalších obrázcích si ukážeme naměřené průběhy. První variantou je řízení hladiny ve výšce 30cm a s nastavenými parametry regulátoru: $K_p=7,2$ a $K_i = 0,089$. Druhou variantou je regulace s konstantami $K_p=0,99$ a $K_i=0,0102$ ve stejné výšce.

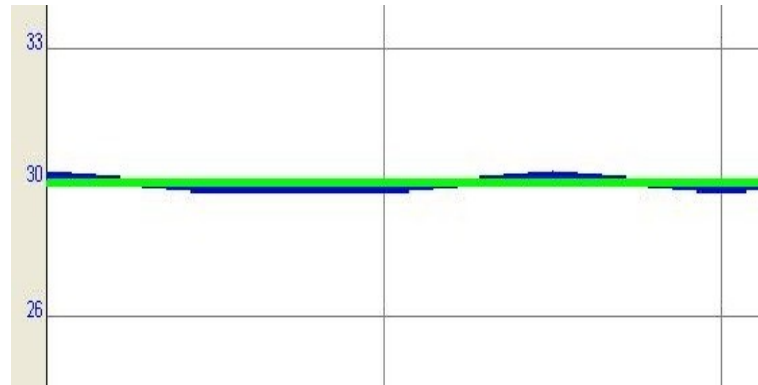


Obrázek 58 - Průběh regulace na 30cm-varianta 1



Obrázek 59 - Průběh regulace na 30cm - varianta 2

Z obrázků je patrné, že obě varianty dosáhnou žádané hodnoty. Avšak varianta 2 je s malým překmitem, který není zcela žádoucí. U druhého typu jsou konstanty regulátoru nastavené pro pomalý regulační pochod, který však dosáhne přesně žádané hodnoty. Dalším důkazem dosažení hodnoty jsou obrázky, pořízené přímo ze studia RSLogix 5000 na kterých je zobrazen ustálení hladiny na požadované výšce. U varianty 1, je sice žádané výšky dosaženo, avšak průběh snímáný 200ms kolem žádané výšky nepatrně kolísá. Oproti tomu u varianty 2 je dosažena přesná výška. J



Obrázek 60-Ustálení výšky-varianta 1



Obrázek 61 - Ustálení výšky-varianta 2

Z průběhů je patrné, že při nastavení parametrů u varianty 1 nenastane žádný překmit, avšak není zcela docílena přesná požadovaná výška. Oproti tomu u druhého typu dosáhneme skoro nulové regulační odchylky. Pro výšku 20 cm byly pořízeny stejné průběhy a vykazovaly podobné vlastnosti, které jsou uvedeny v této práci. Avšak nastavení jednotlivých složek regulátoru bylo jiné.

3.5.5 Dosažené výsledky spojitě regulace

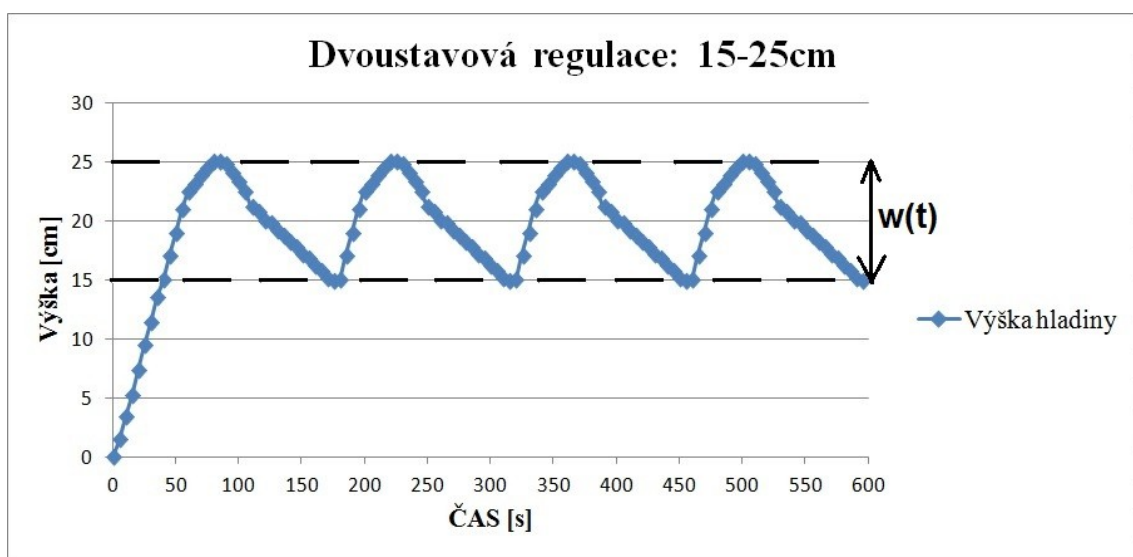
Při napouštění vody z počáteční nulové výšky reagovalo tlakové čidlo především na proud vody a ne na aktuální výšku hladiny. Není vhodné regulovat hladinu na nízké výšce. Tlakové čidlo začalo měřit správně přibližně od 12cm. Doporučená hodnota je

však od 15cm, kde již čidlo měřilo bez větších problémů a hodnoty se ustálily. Při použití pouze P složky nebylo docíleno požadované výšky hladiny a regulační odchylka byla příliš velká. U integračního regulátoru bylo sice požadované výšky dosaženo, avšak ne v přijatelném časovém průběhu. Z několika různých nastavení a odzkoušení optimálního seřízení regulátoru se jako nevhodnější regulátor stal PI, který snížil regulační odchylku prakticky na nulu. Při použití derivační složky se na výstupním signálu prakticky vůbec nepodílela. Derivační složka se spíše hodí tam, kde je nutné tlumit přemity. V našem případě žádné kmity nebylo potřeba tlumit, proto PID regulace nebyla vhodná. Ta se hodí na řízení soustav vyšších řádů s periodickým kmitáním. Řízení z panelu view se také podařilo realizovat. Při volbě automatického režimu se nastaví jednotlivé složky regulátoru v závislosti na volbě výšky. U manuálního režimu se volí parametry regulátoru ručně. Z pořízených průběhů výšky hladiny je zřejmé, že přesnost regulace se odvíjí od nastavených parametrů regulátoru. Pokud chceme docílit rychlejší, avšak méně přesné regulace navolíme jednotlivé složky regulátoru na vyšší hodnoty. Se snižováním parametrů regulátoru se nám zvyšuje doba regulace, avšak soustava je klidnější a stabilnější.

4 Dvoupolohová (dvoustavová) regulace - příklad 2

4.1 Obecně

Tato část úlohy vychází ze stejného nastavení komunikace a zařízení jako je v předchozí úloze. Dvoustavovou regulaci využíváme tam, kde není zapotřebí přesně dodržet požadovanou hodnotu. Dvoustavová regulace funguje na principu zapnuto a vypnuto. V našem případě, budeme opět řídit výšku hladiny. Na obrázku níže je znázorněn časový průběh výšky hladiny. Výšku hladiny řídíme v rozmezí od 15cm do 25cm. Do výšky 25cm je čerpadlo i vstupní ventil zapnutý a voda bude natékat do válce. Jakmile dosáhne 25cm ventil i čerpadlo se vypne a voda bude volně odtékat. Při 15cm se opět obě zařízení zapnou.



Obrázek 62 - Průběh dvoustavové regulace

4.2 Zadání

Výstupní ventil je odpojen od elektrického napájení a manuálně otevřen cca na 80% hodnoty k_v . Tento krok provedeme z důvodu simulace stálého odtoku z nádoby. Úkolem tedy je vybrat v jakém rozmezí se výška vody bude regulovat. Konkrétně jsou zvoleny tyto hodnoty:

Nízká hladina (0-15cm) - signalizační dioda (modrá barva)

Optimální hladina (15-25cm) - signalizační dioda (zelená barva), přičemž od výšky 20cm začne blikat vysoká hladina. Jako upozornění, že se blížíme k vysoké hladině.

Vysoká hladina (25-30cm) - signalizační dioda (oranžová barva)

Havarijní hladina (>30 cm) - signalizační dioda (červená barva)

4.3 Realizace

Pro tento typ regulace je opět použit fyzický model, který sloužil pro spojitou regulaci. Zde jsem však navíc využil digitální vstupní modul (1769-IQ16) i výstupní modul (1769-OB16). Na vstupní modul je připojeno přepínací tlačítko, které zapíná a vypíná soustavu. Na výstupní modul jsou připojeny 4 signalizačních diody, které signalizují stavy hladiny a jedna dioda určující stav zapnutí soustavy. Na obrázku je znázorněn ovládací panel, který jsem pro danou úlohu vytvořil.



Obrázek 63 - Ovládací panel

4.3.1 Schéma zapojení

Pro lepší orientaci jsem vytvořil schéma elektrického zapojení úlohy, které je součástí Příloha A. Analogový modul je zapojen stejně jako v předchozím případě. Na obrázku je uveden přehled vstupů a výstupů z PLC.

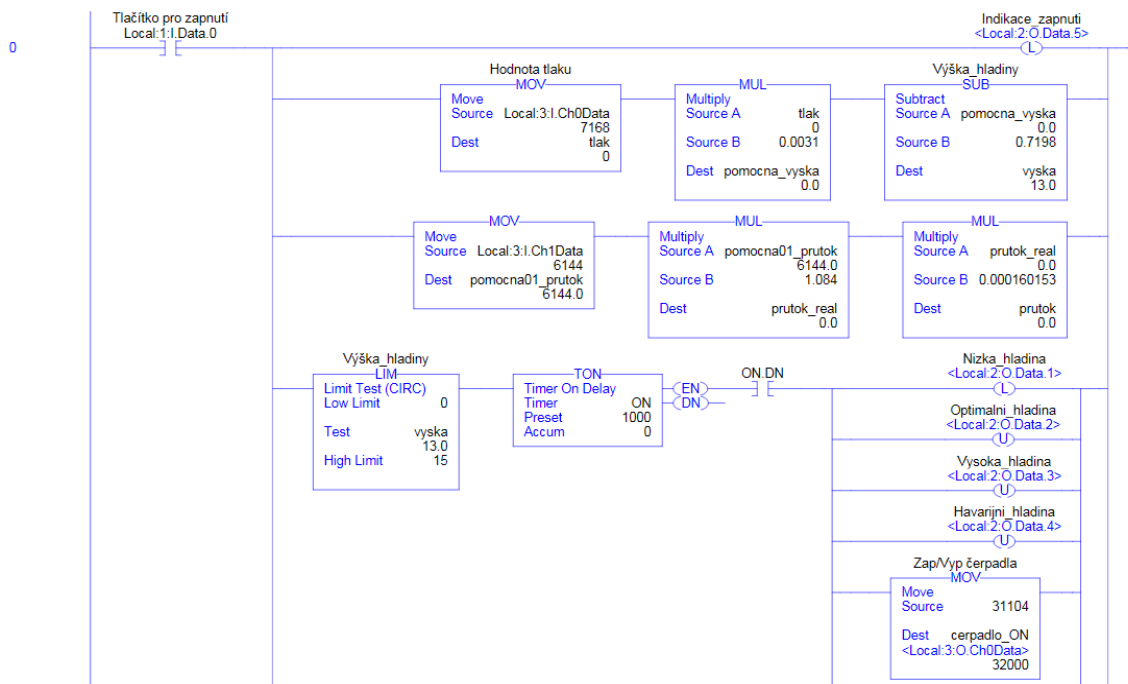
PIN:	Kabel (č. vodiče)	Význam:
IN 0	Vodič 01	Zapnutí soustavy
OUT 1	Vodič 02	Signalizace nízké hladiny
OUT 2	Vodič 03	Signalizace optimální hladiny
OUT 3	Vodič 04	Signalizace vysoké hladiny
OUT 4	Vodič 05	Signalizace havarijní hladiny
OUT 5	Vodič 06	Signalizace zapnutí
$V_{in} 0+$	WS 1 (1)	Snímání výšky hladiny
$V_{in} 1+$	WS 1 (2)	Aktuální průtok
$V_{out} 0+$	WS 1 (3)	Ovládání čerpadla
$V_{out} 0$ (AENT)	WS 1 (4)	Ovládání výstupního ventilu
$V_{out} 1+$	WS 1 (5)	Ovládání vstupního ventilu

Obrázek 64 - Přehled vstupů a výstupů z/do PLC

4.3.2 Programová část

V této části se věnujeme bližšímu popisu programování v RSLogix 5000. Jedná o podobný postup jako je u příkladu 1. Z tlakového senzoru získáváme analogové napětí, které se v A/D převodníku převede na číselnou hodnotu, se kterou již dále pracujeme. Pro určení výšky hladiny je použit stejný postup jako u spojitě regulace.

Pokud je přepínací tlačítko v poloze zapnuto, čerpadlo a vstupní ventil se zapne a zároveň se rozsvítí i výstup OUT 5, na kterém je připojena dioda, signalizující stav zapnutí. Obdobná situace je nastavena i při vypnuté stavu, avšak dioda nesvítí. Programová část je vidět níže na obrázku.



Obrázek 65-Příklad programu

Při nižší hladině než je 15 cm bude svítit modrá dioda. Mezi 15-25 cm bude svítit zelená dioda. Oranžová dioda začne blikat při výšce 20cm a po dosažení 25cm přestane blikat a rozsvítí se. Nad 30 cm bude svítit červená dioda. Jednotlivé části pro určení těchto výšek je řešeno instrukcemi LIM. Instrukce testuje výšku hladiny v námi zvoleném rozmezí. Za instrukcí LIM je časovač, který zpožďuje rozsvícení jednotlivých diod. Toto opatření je zavedeno z důvodu toho, že tlakový senzor mění hodnoty kolem zvolené výšky a díky tomu diody blikají. Opatření realizujeme časovačem, který zpozdí rozsvícení a zhasnutí diod. Úloha je naprogramována tak, že po zapnutí tlačítka se zapne čerpadlo a vstupní ventil. Po dosažení výšky 25 cm se čerpadlo i ventil vypnou a hladina klesá k 15 cm. Hladina klesá díky výstupnímu ventilu, který je pootevřen a voda skrz něj může proudit. Výstupní ventil se však musí nastavit manuálně, jelikož

nereagoval na vstupní signál posílaný z výstupního modulu PLC. Po klesnutí hladiny na 15 cm se čerpadlo a ventil opět zapne a voda je čerpána do výšky 25cm.

4.4 Dosažené výsledky dvoupolohové regulace

S výsledky dvoupolohové regulace jsem byl spokojen. Výška hladiny získávána z tlakového čidla byla postačující, avšak pro tento typ regulace bych volil například umístěná čidla v jednotlivých výškách. Jakmile se smočí čidlo ve vodě, přivede se signál na vstupní modul a výstupem se rozsvítí požadovaná dioda. Tento typ regulace jsem si zvolil proto, jelikož jsem si chtěl ověřit, vyzkoušet a zrealizovat řízení, které bude ovládána přes PLC dvoupolohově. Dalším důvodem bylo to, že bych se v budoucnu chtěl dané problematice věnovat více. Z praxe víme, že se dvoupolohové řízení v automatizaci často vyskytuje a jsem rád, že jsem se s ní mohl alespoň v rámci reálného modelu seznámit a odzkoušet.

5. Závěr

Tato bakalářská práce popisuje jak spojitou, tak dvoupolohovou regulaci. Cílem bakalářské práce bylo seznámit se s komponenty pro automatické řízení výšky vodní hladiny, navrhnout optimální spojitě řízení a dvoupolohovou regulaci. Při realizaci práce však nastaly komplikace. Prvním problémem bylo zrenutí výstupního ventilu, který byl uzavřen a voda z nádrže neodtékala. Bylo zapotřebí ventil rozebrat a promazat. Po mechanické stránce již byla soustava funkční. První problémy po softwarové stránce nastaly při realizování komunikace mezi PC a PLC. Nejdříve nebyla přístupná služba RSWho v programu RSlinx, bez které nebylo možné zobrazit PLC a další zařízení připojené do sítě. Při nastavování modulu 1734-AENT v programu RSLogix se dostavily obdobné komplikace, kdy nechtěl modul s programem vůbec komunikovat.

V kapitole spojitěho řízení jsme se zabývali matematickým popisem systému. V prostředí matlab-simulink, bylo navrženo regulační schéma a simulován průběh napouštění nádrže. V části věnované programování jsme se seznámili se získáváním analogových hodnot ze senzorů a práci s nimi. Jednotlivými matematickými instrukcemi a nastavením PID bloku. Vizualizace byla vytvořena v prostředí RSview-studio a slouží pro dálkové ovládání a řízení soustavy z panelu view 600. V kapitole věnované dvoupolohové regulaci byl popsán princip řízení. Pro odzkoušení byl vyroben ovládací panel s diodami, které signalizovali jednotlivé stavy výšky hladin. V programové části jsme se seznámili a popsali další instrukce z prostředí RSLogix 5000.

Díky zvolenému tématu bakalářské práce jsem si mohl otestovat teoretické znalosti při použití v praxi. I tato myšlenka byla důvodem, proč jsem si zvolil toto téma. Dalším důvodem výběru bylo, že automatické řízení se v životě neustále více a více vyskytuje a vidím v ní velmi zajímavé možnosti uplatnění do budoucna. Mohl jsem si otestovat spojitou i dvoupolohovou regulaci. Seznámil jsem se s programovacím prostředím

RSLogix 5000 a RSview Studio a dalšími programy, které byly zapotřebí při vykonávání této práce. Vypracováním jsem získal mnoho cenných zkušeností a praktických informací, které se budou jistě hodit do budoucna.

Seznam použité literatury

- [1] Allen Bradley [online]. [30.4.2016]. Dostupné z:
<http://www.rockwellautomation.com/global/about-us/history/overview.page#tab3>
- [2] Siemens [online]. [30.4.2016]. Dostupné z:
http://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/o_nas/pages/historie.aspx#
- [3] Schneider-electric [online]. [30.4.2016]. Dostupné z:
<http://www.schneider-electric.cz/sites/czech-republic/cz/spolecnost/profil/historie/historie-schneider-electric.page>
- [4] Teco [online]. [30.4.2016]. Dostupné z:
<http://www.tecomat.com/clanek-58-kdo-jsme.html>
- [5] Harenczyk Marek, Řízení modelu vodní elektrárny automatem CompactLogix- Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze-Fakulta elektrotechnická. 2009.Vedoucí: Ing. Jindřich Fuk. Dostupné z:
https://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/0/09/Dp_2009_harencyk_marek.pdf
- [6] Snětivý Tomáš. Modelování a řízení úlohy pro kaskádní regulaci průtoku a výšky hladiny s využitím řídicích systémů Rockwell řady CompactLogix. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI-Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií. 2010. Vedoucí: Doc. Dr. Ing. Mgr. Jaroslav Hlava
Dostupné z:
http://www.fm.tul.cz/esf0247/download_file.php/Tomas_Snetivy_Bakalarsky_Projekt.pdf?id=451
- [7] Bayer, J.; Hanzálek, Z.; Šusta, R. Logické řízení. 2. vyd. Praha : ČVUT, 2008. 270 s. ISBN 978-80-01-04106-2
- [8] Manuál k programovatelnému Automatu-1769 CompactLogix Controllers User Manual [online]. [30.4.2016]. Dostupné z:
http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um011_-en-p.pdf
- [9] Vstupně-výstupní analogový modul [online]. [30.4.2016]. Dostupné z:
http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in057_-en-p.pdf
- [10] Vzdálený modul 1734-AENT [online]. [30.4.2016]. Dostupné z:
http://www.pacpro.com/upload/data/Rockwell%20IO/1734PointIO/1734UserManual-um011_-en-p.pdf

- [11] Čerpadlo aqua 8 [online]. [30.4.2016]. Dostupné z:
http://www.karavan.cz/300_114-membranove-cerpadlo-fiamma-aqua-8-12v-aqua--6-litru-min.htm
- [12] Regulační ventily LDM- RV111 [online]. [30.4.2016]. Dostupné z:
<http://www.ldmvalves.com/images/stories/katalog/01024CZ.pdf>
- [13] Elektrický pohon SSC61/M [online]. [30.4.2016]. Dostupné z:
http://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/IBT/mereni_a_regulace/ventily_a_pohony/el_pohony_5_5_6_5/Documents/N4895C_SSC_.pdf
- [14] Vstupní ventil SCG202A053V [online]. [30.4.2016]. Dostupné z:
http://www.eurofluid.cz/static/dokumenty/1/4/6/4/7/ASCO_solenoidove_ventily.pdf
- [15] Tlakové čidlo [online]. [30.4.2016]. Dostupné z:
http://www.bdsensors.cz/fileadmin/user_upload/Download/Datenblaetter_datasheets/DMP331_CS.pdf
- [16] Průtokoměr VISION 2006 2F66 [online]. [30.4.2016]. Dostupné z:
<http://www.techreg.sk/snim%20prietok%20vision%202000.pdf>
- [17] Měníč frekvence [online]. [30.4.2016]. Dostupné z:
http://www.nortonicsfoxtam.co.uk/cataloguefiles/frequency_to_analogue_converter.pdf
- [18] Řídící jednotka Maxon [online]. [30.4.2016]. Dostupné z
http://bl831.als.lbl.gov/~gmeigs/PDF/250521_LSC_30-2_Operating_Instructions_En.pdf
- [19] Control D [online]. [30.4.2016]. Dostupné z
<https://www.asconumatics.eu/pdf2/IM14152gb.pdf>
- [20] Zdroj PS-30-24 [online]. [30.4.2016]. Dostupné z
http://www.elkoep.cz/fileadmin/produkty/Elko/PS-10/CS/Katalogovy_list_PS.pdf
- [21] Panel view pv600 [online]. [30.4.2016]. Dostupné z
http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711p-um001_en-p.pdf
- [22] HLAVA, Jaroslav . Prostředky automatického řízení II: Analogové a číslicové regulátory. Praha: ČVUT, 2000. 162 s.

[23] Miroslav Kirchner. Porovnání diskrétního spojitého regulátoru při přímovazební a zpětnovazební regulaci. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně-fakulta aplikované informatiky. 2009. Vedoucí: Ing. Karlu Perůtkovi Ph.D. Dostupné z:
https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/10048/kirchner_2009_bp.pdf?sequence=1

[24] Doc. Ing. Josef Janeček CSc. Linearizace popisu dynamického systému. Učební text [online]. [30.4.2016]. Dostupné z:
<http://www.fm.tul.cz/esf0247/index.php?page=vysledky&subject=5>

[25] Manuál RSLogix 5000 [online]. [30.4.2016]. Dostupné z
http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pm/1756-pm008_-en-p.pdf

Seznam použitého softwaru

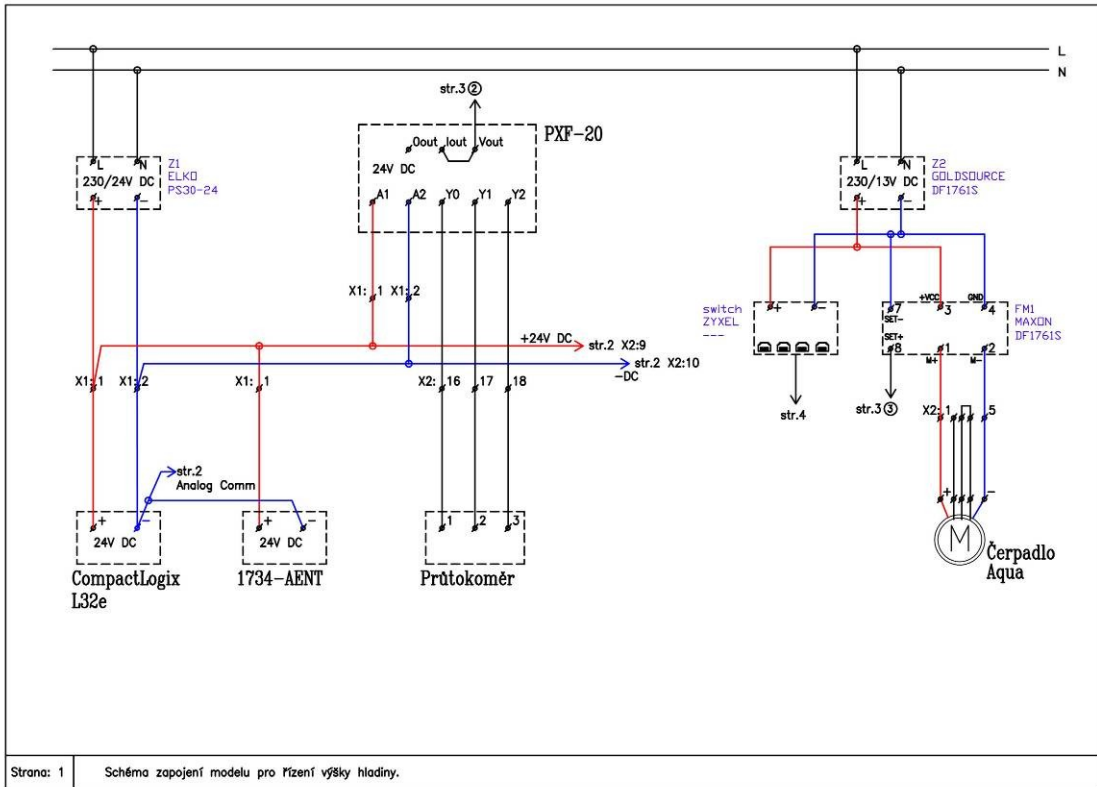
- RSLogix 5000 - 15.02
- RSLinx Classic Lite
- RSview studio-machine edition
- ProgeCAD 2016 Professional - Czech
- Microsoft Office
- MATLAB R2009b

Seznam Příloh:

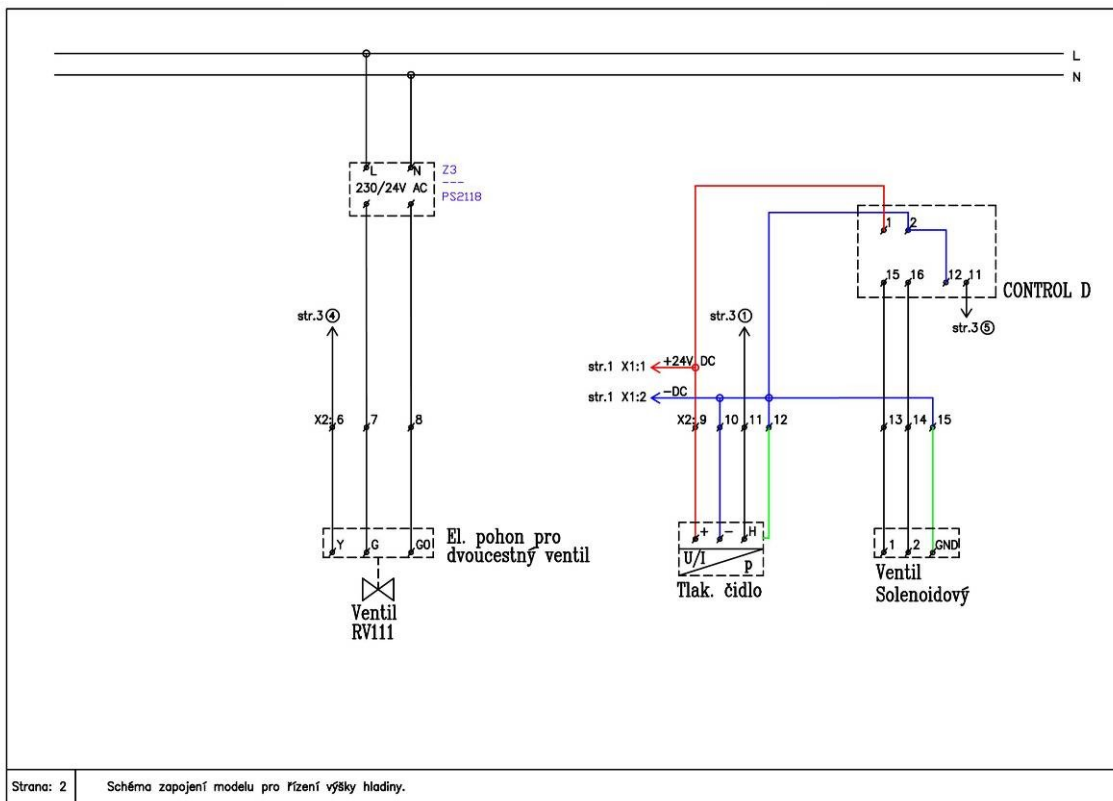
Příloha A - Výkresová dokumentace reálného modelu

Příloha B - Obsah přiloženého CD

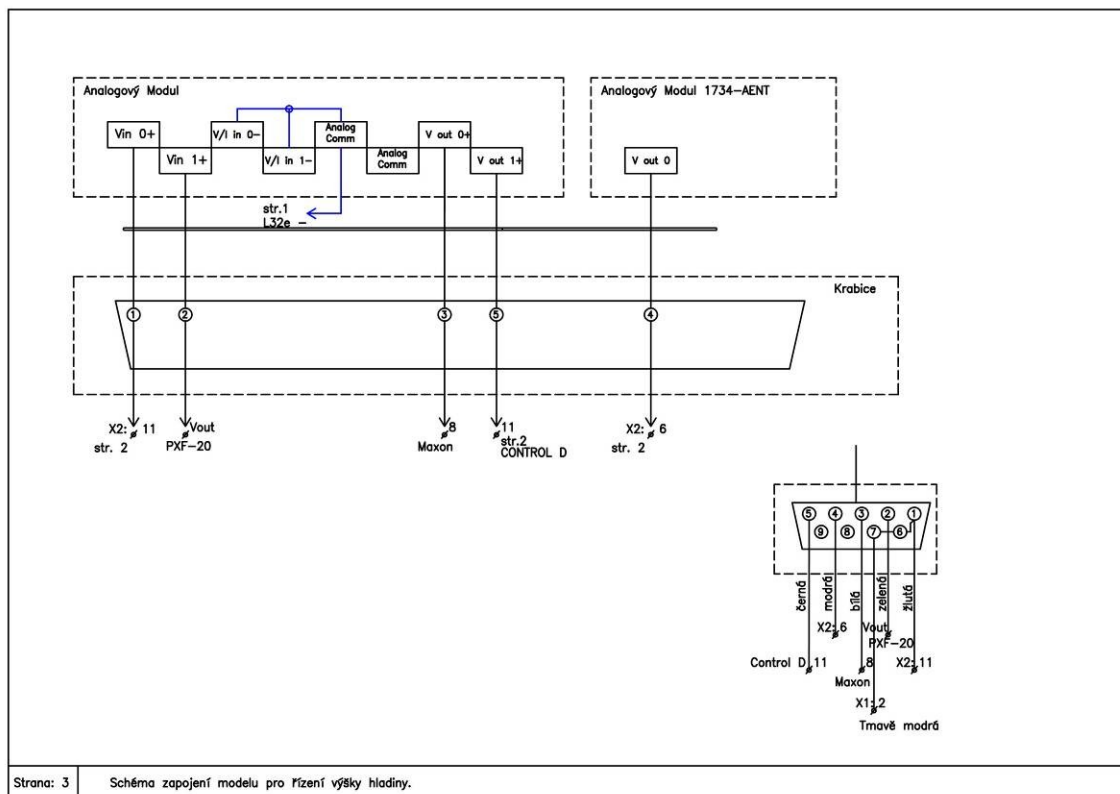
Příloha A:



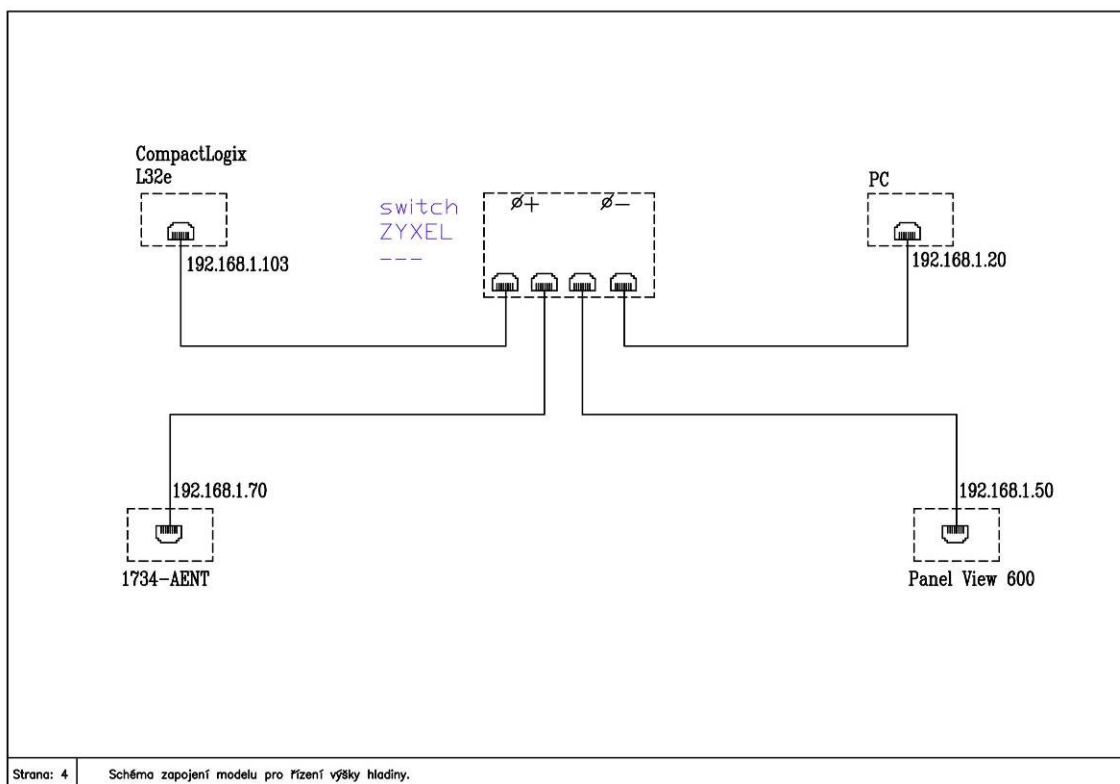
Obrázek 66 - Schéma zapojení elektro - str.1



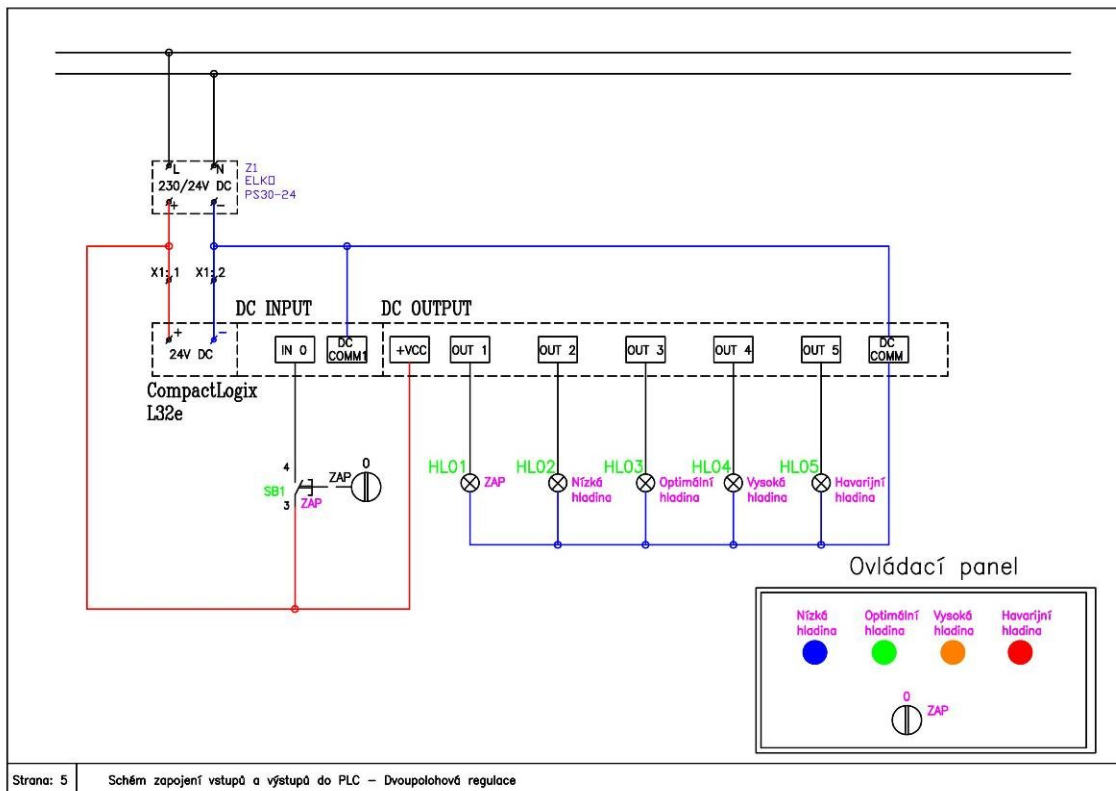
Obrázek 67 - Schéma zapojení elektro str.2



Obrázek 68 - Schéma zapojení elektro str.3



Obrázek 69 - Schéma zapojení elektro str.4



Obrázek 70 - Schéma zapojení elektro str.5

Příloha B - Obsah přiloženého CD

Text práce:

- Bakalarska_prace_2016_Vojtech_Kraus.doc
- Bakalarska_prace_2016_Vojtech_Kraus.pdf
- Kopie zadání bakalářské práce: zadani_prace.pdf

Matlab:

- Simulace_analytickeho_reseni.mdl
- Simulace_regulovane_soustavy.mdl

Výkresová dokumentace:

- Liniove_schema.dwg
- Liniove_schema.pdf

Zdrojové kódy programu:

- Spojita_regulace_Vojtech_Kraus.ACD
- Dvoupolohova_regulace_Vojtech_Kraus.ACD
- Vizualizace_Vojtech_Kraus.MER