

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Distribuovaný řídicí systém s automaty  
Rockwell Automation

Praha, 2008

Autor: Jiří Hanzlík



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady ( literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

V Praze dne \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
podpis

## Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Jindřichu Fukovi za vedení, připomínky a poznámky k práci. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mě při práci podporovali.

## Abstrakt

Cílem práce byla realizace distribuovaného řídicího systému s programovatelnými automaty firmy Rockwell Automation pro komplexní řízení modelů v laboratoři K23. Pro systém byly použity některé stávající modely a vytvořeny nové modely představující soustavu spojených nádrží. K řídicímu systému byla vytvořena vizualizace a u jednoho modelu spojených nádrží je zajištěna možnost vzdáleného řízení a monitorování přes internet.

Model spojených nádrží představuje systém řízení výšky hladiny. Je osazen průmyslovými akčními členy a senzory, splňuje požadavek na napájení z bezpečného napětí 24 V. Dále umožňuje prioritní předávání řízení, mezi PAC, počítačem s programem Matlab a lokálním ovládacím panelem.

Součástí práce jsou i demonstrační programy pro výuku programovatelných automatů.

## Abstract

The main goal of this master thesis is realization of distributed control system for models in the K23 laboratory. Control system is based on Rockwell Automation controllers. This system contains some existing models and new models that represent model of coupled tanks realized within the scope of this thesis. Visualization is also created and one model can be remote controlled and monitored using internet.

The Coupled Tanks model represents control of liquid level in tanks. The model satisfies requirements for secure voltage supply and is equipped by industrial sensors and actuators. PAC, PC with Matlab and control panel are able to control the model. Operating point selection is priority based.

The thesis also contains demo programs for PAC education.





**Katedra řídicí techniky**

**Školní rok: 2006/2007**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

**Student:** Jiří Hanzlík

**Obor:** Technická kybernetika

**Název tématu:** Distribuovaný řídicí systém s automaty Rockwell Automation

### **Zásady pro vypracování:**

1. Realizujte distribuovaný řídicí systém s programovatelnými automaty firmy Rockwell Automation pro komplexní řízení fyzikálních modelů v laboratoři K23 (Allen-Bradley). Použijte vhodné stávající výukové modely, popřípadě proveďte nezbytné úpravy v jejich připojení.
2. Dále navrhnete a realizujete výukové modely představující systém řízení výšky hladiny ve spojených nádržích s uzavřeným cyklem, jejichž doba odezvy se bude pohybovat maximálně v řádu minut. Modely by měly být kompaktní s průmyslovými senzory a akčními členy a vhodnou elektronikou napájenou z odděleného bezpečného zdroje 24 V. Elektronika bude zajišťovat prioritní přepínání řízení mezi počítačem (Matlab) a automatem s možností ručního ovládání. U některých modelů zajistíte možnost vzdáleného řízení přes internet využívající systém vytvořený v rámci diplomové práce Zdeňka Prokůpka (2007).
3. K řídicímu systému vytvořte vizualizaci a potřebné výukové materiály. V práci též popište základní principy řízení pomocí automatů typu ControlLogix.

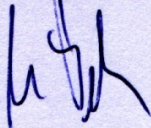
**Seznam odborné literatury:** Dodá vedoucí práce.

**Vedoucí diplomové práce:** Ing. Jindřich Fuka

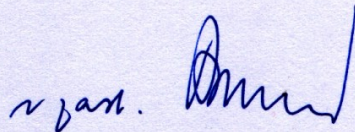
**Termín zadání diplomové práce:** zimní semestr 2006/2007

**Termín odevzdání diplomové práce:** leden 2008

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Zbyněk Škvor, CSc.  
děkan









# Obsah

<b>Seznam obrázků</b>	<b>xi</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>xv</b>
<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Výukový model Vodárna</b>	<b>3</b>
2.1 Návrh modelu . . . . .	3
2.1.1 Matematický popis . . . . .	4
2.1.2 Simulace pro návrh modelu . . . . .	5
2.1.3 Mechanická konstrukce modelu . . . . .	7
2.1.4 Akční členy a senzory . . . . .	9
2.1.4.1 Snímač výšky hladiny . . . . .	9
2.1.4.2 Čerpadlo . . . . .	10
2.1.4.3 Ventily . . . . .	11
2.1.5 Provozní kapalina . . . . .	12
2.2 Návrh elektroniky . . . . .	12
2.2.1 Požadavky na řídicí jednotku . . . . .	13
2.2.2 Vstupní rozhraní . . . . .	13
2.2.3 Výstupní rozhraní . . . . .	14
2.2.3.1 Budiče ventilů . . . . .	15
2.2.3.2 Budič čerpadla . . . . .	15
2.2.4 Logická část . . . . .	17
2.2.4.1 Programování procesoru . . . . .	18
2.2.5 Zdroj . . . . .	20
2.2.6 Funkce řídicí jednotky . . . . .	21
2.2.6.1 Možnosti využití řídicí jednotky . . . . .	22

2.2.7	Konstrukce řídicí jednotky . . . . .	23
2.2.8	Konstrukce ovládacího panelu . . . . .	24
2.3	Připojení modelu a ovládání . . . . .	24
2.3.1	Ovládací panel . . . . .	25
2.3.2	Matlab . . . . .	26
2.3.2.1	Připojení modelu k PC . . . . .	26
2.3.2.2	Ovládání pomocí Matlabu . . . . .	26
2.4	Uvedení do provozu a testování . . . . .	28
2.4.1	Identifikace laboratorního modelu . . . . .	28
2.4.2	Linearizace . . . . .	31
2.4.3	Návrh regulátoru . . . . .	32
2.4.4	Využití modelu ve výuce . . . . .	32
2.5	Základní technické parametry modelu . . . . .	34
<b>3</b>	<b>Distribuovaný řídicí systém</b>	<b>35</b>
3.1	Integrated Architecture . . . . .	35
3.1.1	Logix Control Platform . . . . .	35
3.1.2	FactoryTalk suite . . . . .	36
3.1.2.1	FactoryTalk Administration Console . . . . .	37
3.2	Zapojení sítě v laboratoři K23 . . . . .	39
3.3	Připojení laboratorních modelů . . . . .	41
3.3.1	V1 a V4 . . . . .	41
3.3.2	V2 . . . . .	41
3.3.3	V3 . . . . .	42
3.4	Funkce řídicího systému . . . . .	43
3.4.1	Lokální řízení modelu . . . . .	43
3.4.2	Řízení distribuovaného systému a demonstrace . . . . .	44
<b>4</b>	<b>Vizualizace</b>	<b>47</b>
4.1	RSView SE . . . . .	47
4.2	Hlavní obrazovka . . . . .	49
4.3	Ovládání modelu . . . . .	50
4.3.1	Nastavení PID . . . . .	50
4.3.2	Obrazovka časových průběhů . . . . .	51
<b>5</b>	<b>Vzdálené řízení pomocí internetu</b>	<b>53</b>

<b>6 Závěr</b>	<b>55</b>
<b>Literatura</b>	<b>58</b>
<b>A Seznam zkratk</b>	<b>I</b>
<b>B Použitý software</b>	<b>III</b>
<b>C Obsah přiloženého CD</b>	<b>V</b>
<b>D Elektronická část</b>	<b>VII</b>
D.1 Popis konektorů na deskách tištěného spoje . . . . .	VII
D.1.1 Deska ovládání . . . . .	VII
D.1.2 Deska zdroje . . . . .	IX
D.1.3 Ovládací panel . . . . .	X
D.2 Osazovací postup a oživení . . . . .	X
D.2.1 Deska zdroje . . . . .	X
D.2.2 Deska ovládání . . . . .	XI
D.2.2.1 Seznam oprav . . . . .	XI
D.2.2.2 Změna konfigurace . . . . .	XII
D.2.2.3 Spojení více ovládacích desek . . . . .	XIII
D.2.3 Ovládací panel . . . . .	XIII
D.2.3.1 Seznam oprav . . . . .	XIII
D.2.4 Schéma zapojení a podklady pro výrobu . . . . .	XV
D.3 Seznam použitých součástek . . . . .	XXV
<b>E Zapojení modelů do sítě v K23</b>	<b>XXIX</b>
E.1 Připojení modelů k PC . . . . .	XXIX
E.2 Připojení V1 a V4 k PAC . . . . .	XXX
E.3 Připojení V2 k PAC . . . . .	XXXI
E.4 Připojení V3 k PAC . . . . .	XXXII
E.5 Rozšířené schéma zapojení sítě v laboratoři K23 . . . . .	XXXII



# Seznam obrázků

2.1	Schematický model . . . . .	5
2.2	Simulační schéma . . . . .	6
2.3	Odezva teoretického modelu na sérii skokových změn řídicího napětí $U_i$ .	7
2.4	Celkový pohled na systém Vodárna . . . . .	8
2.5	Snímač výšky hladiny LM331 . . . . .	9
2.6	Čerpadlo CM10P7-1 . . . . .	10
2.7	Převodní charakteristika průtok – výška hladiny vyjádřená v barech čerpadla CM10P7-1 . . . . .	11
2.8	Digitální ventil . . . . .	12
2.9	Proporcionální ventil . . . . .	12
2.10	Blokové zapojení řídicí jednotky . . . . .	13
2.11	Zapojení budiče digitálního ventilu . . . . .	15
2.12	Zapojení obvodu LM2576 pro řízení čerpadla . . . . .	16
2.13	Převodní charakteristika budiče čerpadla . . . . .	17
2.14	Programátor PRESTO . . . . .	18
2.15	Pracovní prostředí UP . . . . .	19
2.16	Zdroj XP Power AED100US24 . . . . .	20
2.17	Zapojení obvodu MC33063 . . . . .	21
2.18	Osazený tištěný spoj <i>Zdroj</i> . . . . .	23
2.19	Osazený tištěný spoj <i>Ovládání</i> . . . . .	23
2.20	Umístění konektorů pro připojení PAC a PC . . . . .	24
2.21	Ovládací panel . . . . .	25
2.22	Šablona pro ovládání modelu ze Simulinku . . . . .	27
2.23	Porovnání skutečného a matematického modelu . . . . .	28
2.24	Nelineární model systému . . . . .	29
2.25	Závislost hladiny $H_1$ v levé nádrži na vstupním napětí $U_i$ a její aproximace kvadratickou funkcí . . . . .	30



2.26	Porovnání fyzikálního systému a nelineárního modelu . . . . .	30
2.27	Porovnání fyzikálního systému, lineárního a nelineárního modelu . . . . .	31
2.28	Porovnání regulace na fyzikálním systému a jeho nelineárním modelu . . .	32
2.29	Porovnání regulace na fyzikálním systému a jeho nelineárním modelu v pracovním bodě . . . . .	33
3.1	FactoryTalk Directory . . . . .	36
3.2	FactoryTalk Administration Console . . . . .	37
3.3	Procházení sítě ve FactoryTalk Administration Console . . . . .	38
3.4	Okno pro nastavování práv ve FactoryTalk Administration Console . . .	39
3.5	Schéma distribuovaného řídicího systému laboratoři K23 . . . . .	40
3.6	Releový přepínač analogových vstupů . . . . .	42
3.7	Průběh demonstračního programu . . . . .	46
4.1	RSView SE - přidání nového uživatele . . . . .	48
4.2	Hlavní obrazovka . . . . .	49
4.3	Obrazovka pro ovládání modelu V3 . . . . .	50
4.4	Okno Nastavení PID regulátoru . . . . .	51
4.5	Obrazovka časových průběhů při ovládání konkrétního modelu z vizualizace	51
5.1	Vzdálené řízení pomocí internetu . . . . .	54
D.1	Schéma zdroje . . . . .	XV
D.2	Zdroj - spodní strana spojů . . . . .	XVI
D.3	Zdroj - vrchní strana spojů . . . . .	XVI
D.4	Zdroj - rozmístění součástek . . . . .	XVII
D.5	Zdroj - kompletní tištěný spoj . . . . .	XVII
D.6	- spodní strana spojů . . . . .	XVIII
D.7	- vrchní strana spojů . . . . .	XVIII
D.8	- rozmístění součástek . . . . .	XIX
D.9	- kompletní tištěný spoj . . . . .	XIX
D.10	Deska Ovládání - schéma zapojení . . . . .	XXI
D.11	Ovládací panel - schéma zapojení . . . . .	XXII
D.12	Ovládací panel - spodní strana spojů . . . . .	XXIII
D.13	Ovládací panel - vrchní strana spojů . . . . .	XXIII
D.14	Ovládací panel - rozmístění součástek . . . . .	XXIV

D.15 Ovládací panel - kompletní tištěný spoj . . . . .	XXIV
E.1 Rozšířené schéma distribuovaného řídicího systému laboratoři K23 . . . .	XXXIII



# Seznam tabulek

2.1	Řídicí signály $A, B$ . . . . .	22
2.2	Zapojení konektorů CANON pro připojení PC a PAC . . . . .	27
2.3	Konstanty nelineárního modelu . . . . .	29
2.4	Základní technické parametry modelu . . . . .	34
3.1	Struktura <i>Vodarna_out</i> . . . . .	43
3.2	Struktura <i>Vodarna_in</i> . . . . .	44
3.3	Struktura <i>PolohaIn</i> a <i>PolohaOut</i> . . . . .	45
D.1	Zapojení konektoru PAC a MATLAB na desce ovládání . . . . .	VII
D.2	Zapojení konektoru MANUAL na desce ovládání . . . . .	VIII
D.3	Zapojení konektoru SV1 . . . . .	IX
D.4	Zapojení svorkovnice . . . . .	IX
D.5	Zapojení konektoru na desce ovládacího panelu . . . . .	X
D.6	Nastavení propojek na desce ovládání pro A/D převod a PWM při pohledu ze strany součástek s konektorem vpravo dole . . . . .	XII
D.7	Seznam součástek pro zdroj . . . . .	XXV
D.8	Seznam součástek pro ovládání . . . . .	XXVI
D.9	Seznam součástek pro ovládací panel . . . . .	XXVII
E.1	Zapojení vstupní karty PCI-1711 . . . . .	XXIX
E.2	Připojení V1 a V4 . . . . .	XXX
E.3	Připojení V2 . . . . .	XXXI
E.4	Připojení V3 . . . . .	XXXII





# Kapitola 1

## Úvod

Práce je podle zadání tvořena několika na sebe navazujícími částmi. První je návrh a realizace výukového modelu Vodárna, který umožňuje řízení výšky hladiny ve spojených nádržích s uzavřeným cyklem. Model je vybaven průmyslovými akčními členy a snímači a je napájen z 24 V ss zdroje. Umožňuje prioritní předávání řízení mezi programovatelným automatem, počítačem s programem Matlab a ručním ovládáním. Doba ustálení modelu v řádu minut umožňuje jak rychlou práci v laboratoři, tak i vzdálené ovládání a monitorování pomocí internetu.

Další část se zabývá návrhem a realizací distribuovaného řídicího systému s programovatelnými automaty firmy Rockwell Automation. Systém je postaven na ControlLogixové platformě a využívá dva způsoby připojení modelů: pomocí lokálních vstupních a výstupních karet a vzdálené vstupy a výstupy Flex I/O. Komunikace mezi kontroléry probíhá po ControlNetu, vyšší vrstvy řídicího systému využívají Ethernet a EthernetIP.

Poslední část diplomové práce se věnuje vizualizaci a vzdálenému řízení. Z vizualizace je možné pohodlně ovládat jednotlivé modely nebo celý řídicí systém dle požadavků uživatele. Jeden z modelů je sledován webovou kamerou a umožňuje vzdálené řízení a monitorování přes internet.

Součástí práce je množství programů, nejen pro modely vytvořené v rámci této diplomové práce. Část programů je pro demonstraci řídicího systému, část je určena pro výuku v podobě šablon, do kterých se doplní požadovaný kód.

Popis, konstrukce a ovládání laboratorního modelu jsou uvedeny v kapitole 2. Popis distribuovaného řídicího systému následuje v kapitole 3. Vizualizace a vzdálené ovládání je popsáno v kapitole 4. a 5. Výsledky práce pak shrnuje 6. kapitola, která je následována obsáhlou přílohou zahrnující detaily nutné pro konstrukci a ovládání laboratorního modelu.



# Kapitola 2

## Výukový model Vodárna

Model představuje systém spojených nádrží s uzavřeným cyklem. Řízení výšky hladiny v nádržích a průtoku mezi jednotlivými nádržemi je jeden ze základních problémů v praktických aplikacích. V průmyslových procesech jsou kapaliny často čerpány, uchovávány v nádržích a posléze přečerpávány dále. Často dochází k jejich směšování s jinými látkami, jindy jsou podrobeny různým chemickým procesům, ale vždy musí být řízena výška hladiny a průtok. Dokonalé zvládnutí této problematiky je nezbytné pro zajištění lepšího řízení a dokonalejšího využití zdrojů.

### 2.1 Návrh modelu

Model je navržen na základě požadavků vedoucího práce a zkušeností získaných na původních laboratorních modelech umístěných v laboratoři K23 (Allen–Bradley). Jedním z hlavních požadavků na model byla zaručená doba odezvy (ustálení) v řádu minut. Toto bylo hlavním vodítkem při prvotním návrhu modelu, který jsem provedl teoreticky v simulačním prostředí Simulink. Podrobnosti jsou popsány v následujících dvou sekcích. Na základě těchto výpočtů jsem provedl konstrukční návrh, našel vhodné senzory a akční členy, které odpovídají požadavkům zadavatele a zároveň vyhovují požadavkům plynoucím z teoretického modelu.

### 2.1.1 Matematický popis

Matematický popis systému je velice důležitou částí při návrhu řízení. Systém s jednou nádrží lze popsat dvěma rovnicemi. Pro jednu nádobu platí rovnice (2.1)

$$\frac{dV}{dt} = S \frac{dH}{dt} = q_i - q_o, \quad (2.1)$$

kde:

- $q_i$  objemový přítok [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ],
- $q_o$  objemový odtok [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ],
- $H$  výška hladiny v nádrži [m],
- $S$  průřez nádrže [ $\text{m}^2$ ], (předpokládá se nádrž s konstantním průřezem po celé výšce),
- $V$  objem nádrže [ $\text{m}^3$ ].

Za předpokladu, že je výtokový otvor ideálně tvarovaný, pak pro množství vytékající kapaliny  $q_o$  platí rovnice (2.2)

$$q_o = aC\sqrt{2gH}, \quad (2.2)$$

kde:

- $C$  průřez výtokového otvoru [ $\text{m}^2$ ],
- $a$  konstanta vyjadřující ztráty.

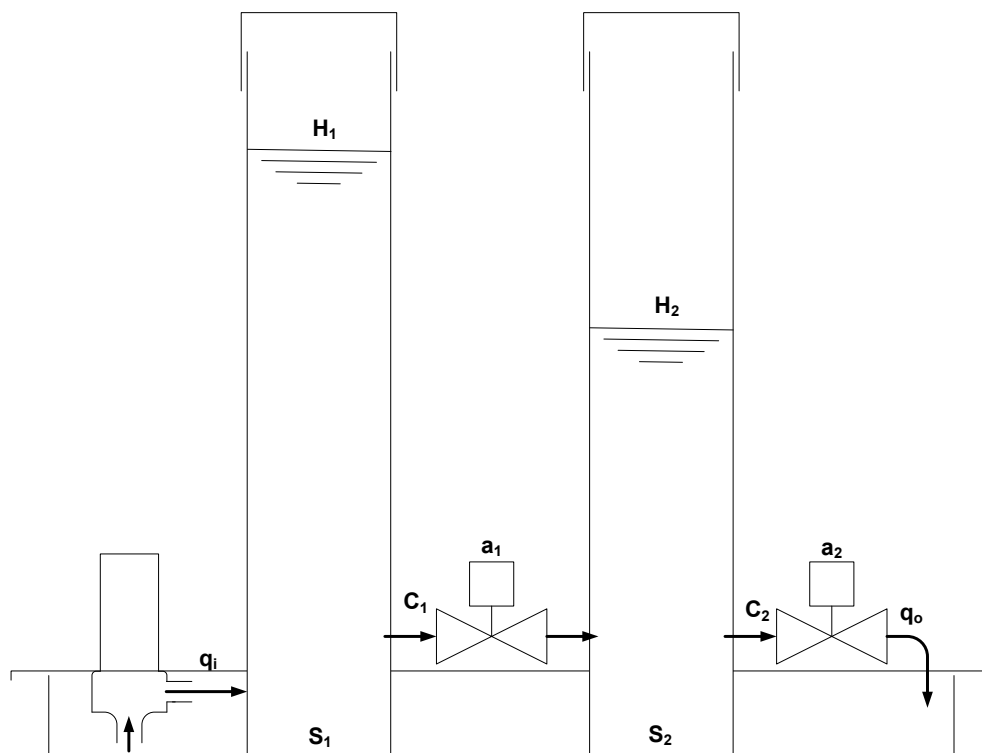
V případě tohoto laboratorního modelu se jedná o dvě spojené nádrže (Obr. 2.1), které lze popsat diferenciálními rovnicemi (2.3) a (2.4)

$$S_1 \frac{dH_1}{dt} = q_i - a_1 C_1 \sqrt{2g(H_1 - H_2)}, \quad (2.3)$$

$$S_2 \frac{dH_2}{dt} = a_1 C_1 \sqrt{2g(H_1 - H_2)} - a_2 C_2 \sqrt{2gH_2}, \quad (2.4)$$

kde:

- $q_i$  objemový přítok [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ],
- $q_o$  objemový odtok [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ],
- $H_1, H_2$  výška hladiny v první resp. druhé nádobě [m],
- $S_1, S_2$  průřezy příslušných nádob [ $\text{m}^2$ ], (předpokládá se nádrž s konstantním průřezem po celé výšce),
- $C_{12}$  průřez výtokového otvoru první nádrže [ $\text{m}^2$ ],
- $C_{20}$  průřez výtokového otvoru druhé nádrže [ $\text{m}^2$ ],
- $a_1, a_2$  ztráty v prvním resp. druhém ventilu,
- $g$  gravitační konstanta  $9,81\text{ms}^{-2}$ .



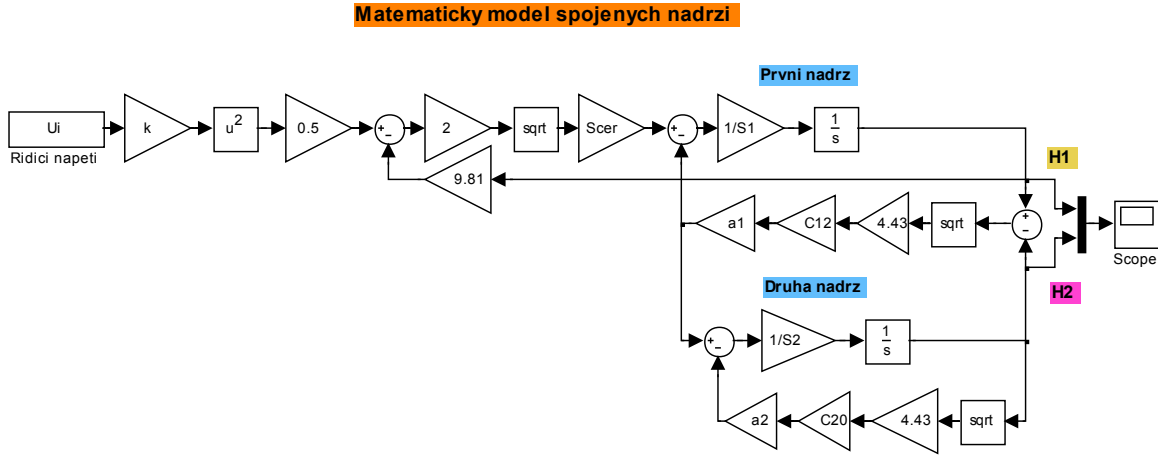
Obrázek 2.1: Schematický model

### 2.1.2 Simulace pro návrh modelu

Na základě matematického popisu uvedeného výše jsem provedl simulaci v prostředí Simulink, kde jsem modeloval chování systému a testoval vhodné parametry navrhovaného modelu (rozměry nádob, výkon čerpadla apod.). Na základě této simulace jsem dospěl k závěru, že bude nutné postavit model s kapacitou každé svislé nádrže přibližně 2l, výtokovým otvorem o průměru 6 mm a čerpadlem o výkonu  $3 \text{ lmin}^{-1}$ , aby byla zaručena doba ustálení cca do 3 minut.

Návrh mechanických rozměrů a výběr akčních členů a senzorů je popsán v sekci 2.1.3. Konkrétním návrhem byly upřesněny rozměry a potřebné konstanty. Na jejich základě jsem mohl model znovu teoreticky ověřit dříve, než byla započata jeho výroba. Bylo nutné rozšířit matematický popis ze sekce 2.1.1 o teoretický popis čerpadla. Odstředivé čerpadlo, které jsem vybral pro tento model (2.1.4.2), je poháněné ss motorem.





Obrázek 2.2: Simulační schéma

Rovnice (2.5) popisuje vztah mezi napětím  $U_i$  na čerpadle a rychlostí oběžného kola  $v_1$ .

$$v_i = kU_i \quad (2.5)$$

Závislost průtoku  $q_i$  na napětí  $U_i$  vyjádřím z rovnice (2.5) a (2.7). Rovnice (2.6), po dosazení (2.7), vyjadřuje kinetickou energii kapaliny vtékající do nádrže, vyjádřenou z energetické rovnováhy na výstupu čerpadla, danou rozdílem kinetické energie kapaliny dodané čerpadlem a potenciální energie kapaliny v nádrži. Rovnice (2.7) modeluje chování odstředivého čerpadla. Konstantu  $k$  lze vyjádřit z rovnic (2.7) a (2.5) dosazením známých parametrů čerpadla (průtok při známém tlaku). Vztahy (2.7) a (2.6) platí pouze v případě, že vstupní otvor do nádrže je umístěn u dna.

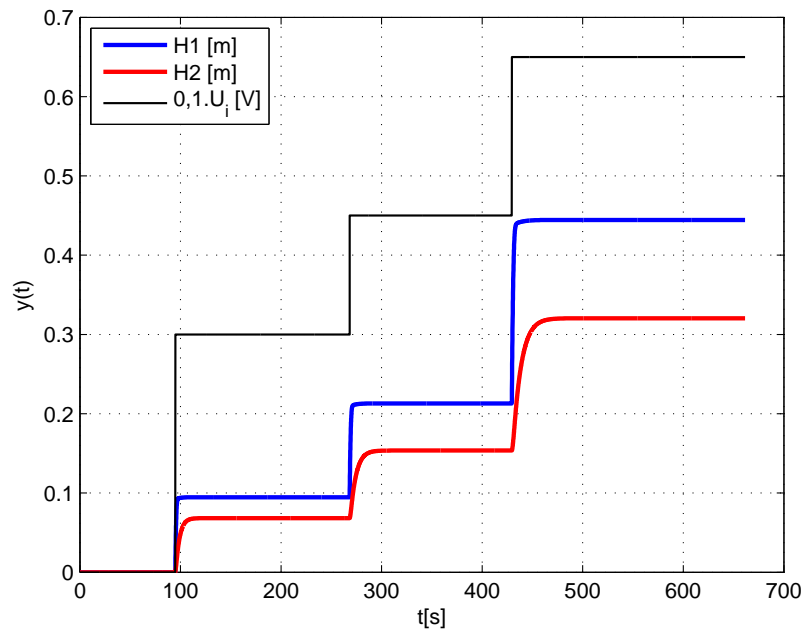
$$E_{k\text{cerpadlo}} - E_p = E_{k\text{donadrze}} \quad (2.6)$$

$$\frac{1}{2} v_i^2 - gH_1 = \frac{q_i^2}{2S_{\text{cerp}}^2} \quad (2.7)$$

Kde:

$E_{k\text{čerpadlo}}$	kinetická energie kapaliny udělená čerpadlem [ $\text{kgm}^2\text{s}^{-2}$ ],
$E_p$	potenciální energie kapaliny v nádrži [ $\text{kgm}^2\text{s}^{-2}$ ],
$E_{k\text{donadrze}}$	kinetická energie kapaliny vtékající do nádrže [ $\text{kgm}^2\text{s}^{-2}$ ],
$q_i$	objemový odtok z čerpadla [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ],
$v_i$	rychlost oběžného kola [ $\text{ms}^{-1}$ ],
$H_1$	výška hladiny v první nádrži [m],
$g$	gravitační konstanta $9,81\text{ms}^{-2}$ ,
$S_{\text{čerp}}$	průřez výtokového otvoru čerpadla [ $\text{m}^2$ ].

Rozšířené simulační schéma je uvedeno na Obr. 2.2. Simulace ukazuje rychlost modelu a potvrzuje správnou volbu akčních členů a mechanických rozměrů.



Obrázek 2.3: Odezva teoretického modelu na sérii skokových změn řídicího napětí  $U_i$

### 2.1.3 Mechanická konstrukce modelu

Model se skládá ze zásobní nádrže a dvou svislých nádob představujících samotný systém spojených nádob. Pro lepší představu skutečného modelu jsem nejprve vyrobil papírovou maketu, ze které jsme společně s vedoucím práce odvodili rozvržení modelu



Obrázek 2.4: Celkový pohled na systém Vodárna

a s ohledem na výsledek simulace jsme upravili i rozměry. Zásobní nádoba je dostatečně dimenzována, aby pokryla spotřebu obou plných pracovních nádrží. Rozmístění akčních členů a pracovních nádrží je provedeno tak, aby tok kapaliny byl zleva doprava. V přední části je umístěn ovládací panel, jenž umožňuje plnou manuální kontrolu modelu. Celý model (Obr. 2.4), je slepen z plexiskla firmou *MK Plexi* dle výkresové dokumentace, která je součástí přiloženého CD. Použity jsou dva druhy plexiskla:

- matné* – zásobní nádrž, kryty, ovládací panel,
- čiré* – pracovní nádoby.

Víko zásobní nádrže je složeno ze tří částí. Dvě zadní části jsou přišroubovány k modelu a společně s ovládacím panelem fixují zbývající část krytu ve správné pozici. Tento koncept byl zvolen z důvodu menšího počtu šroubových spojů, ale později se to ukázalo být nevýhodou. U velkých částí, které nejsou pevně spojeny s jinými (lepením, šroubovým spojem), může dojít k deformaci. Plexisklo, jako makromolekulární materiál, může do své

struktury absorbovat molekuly vody a tím měnit svůj tvar. Pro další konstrukce by bylo vhodné přišroubovat celý kryt zásobní nádrže a tím zamezit deformacím.

### 2.1.4 Akční členy a senzory

Ze zadání plyne požadavek na osazení modelu průmyslovými akčními členy a senzory. Nabídka sortimentu na českém trhu není stejně široká v oblasti snímačů hladiny, čerpadel a ventilů, což významně zkomplikovalo výběr některých prvků. Podrobnější popis je uveden v následujících sekcích.

#### 2.1.4.1 Snímač výšky hladiny

V současnosti je na trhu velice široká nabídka snímačů výšky hladiny s rozmanitými principy činnosti (tlakové, optické, kapacitní, atd.). Z možných principů snímání výšky hladiny jsem vybíral mezi kapacitními a hydrostatickými snímači a po konzultaci s vedoucím práce, jsem výběr zúžil pouze na čidla tlaková. Pro tento model jsem vybral čidlo LM331 (Obr. 2.5) firmy Smaris [16]. Jedná se o hydrostatický senzor určený pro kontinuální měření výšky hladiny kapalin, kalů nebo emulzí. Je vyroben z nerezové oceli tř. 17.348, což určuje možnosti jeho použití. Jeho výhodou je vysoká linearita, dobrá reprodukovatelnost měření, možnost různého elektrického připojení a v neposlední řadě i mechanická robustnost.



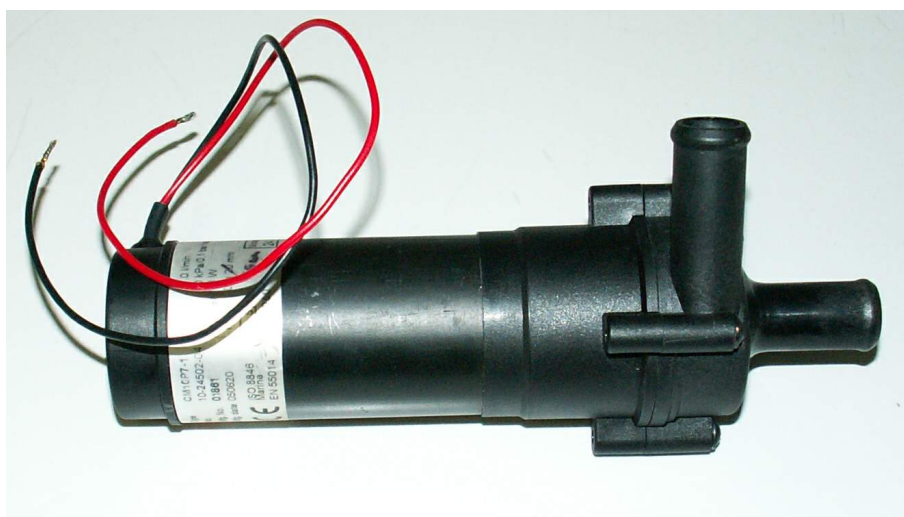
Obrázek 2.5: Snímač výšky hladiny LM331

Základním prvkem senzoru je tlakové čidlo DSP401. Hydrostatický tlak, přímo úměrný výšce hladiny, je přenášen prostřednictvím vhodné náplně na měřicí polovodičový čip. Na tomto čipu je polovodičovou technologií vytvořen tenzometrický můstek, jehož výstupní

signál je teplotně kompenzován a upraven na standardní elektrický výstupní signál např. 4–20 mA. Napájecí napětí může být v rozsahu 12–36 V ss. V tomto případě je senzor kalibrován v metrech vodního sloupce (0–1 m) s napěťovým výstupem (0–10 V).

#### 2.1.4.2 Čerpadlo

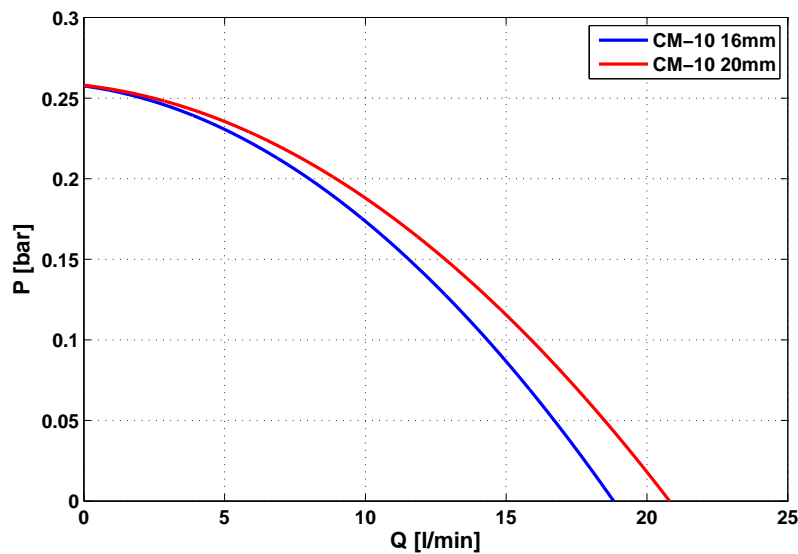
Z velkého množství existujících principů čerpadel se pro tuto úlohu nabízí dva druhy. Čerpadla zubová nebo odstředivá. Zubová čerpadla jsou zdrojem toku kapaliny, tzn. že čerpají konstantním průtokem skoro nezávisle na tlaku při malých výškách hladiny v nádržích. Oproti tomu čerpadla odstředivá jsou zdrojem tlaku, tzn. že průtok čerpadlem závisí na protitlaku do kterého se čerpá. V modelu je použito odstředivé čerpadlo CM10P7–1 (Obr. 2.6) firmy Johnson Pump [11].



Obrázek 2.6: Čerpadlo CM10P7–1

Výhodou tohoto čerpadla je oddělení oběžného kola a motoru magnetickou spojkou. Čerpadlo je osazeno stejnosměrným motorem, jehož moment se na oběžné kolo přenáší pomocí dvou magnetů. Jeden je pevně spojen s motorem a uzavřen ve vodotěsném pouzdře, druhý je připevněn k oběžnému kolu. Magnetické pole pak přes plastický kryt motoru otáčí magnetem oběžného kola. Čerpadlo umožňuje suchý chod po dobu max. 30 minut, je odolné vůči zaseknutí lopatek – nedojde ke spálení motoru. Nemalou výhodou tohoto čerpadla je také jeho tichý chod oproti čerpadlům zubovým. Za nevýhodu lze považovat nelineární charakteristiku průtok – výška hladiny (Obr. 2.7). Čerpadlo je napájeno 24 V ss.





Obrázek 2.7: Převodní charakteristika průtok – výška hladiny vyjádřená v barech čerpadla CM10P7-1

#### 2.1.4.3 Ventily

Jaký druh ventilů a jaké provedení použít, nebylo zpočátku jasné. První úvaha byla použít dvoupolohové mechanické ventily, případně proporcionální ventil s ručně nastavitelným průtokem. Pro zaručení možnosti vzdáleného řízení modelu jsem nakonec použil elektricky ovládané ventily – jeden ventil digitální, druhý proporcionální s možností záměny ventilů mezi sebou. Samotné ventily jsem zvolil s ovládáním solenoidovou cívkou. Tyto ventily jsou méně přesné než ventily ovládané servopohonem, ale přestavení z polohy *zavřeno* do polohy *otevřeno* je řádově rychlejší, což je podstatné pro výukové experimenty.

Ventily jsou od firmy Asco Joucomatic [14]. Digitální ventil SCG262A264 (Obr. 2.8) je v klidovém stavu otevřený, má bronzové tělo a je ovládán 24 V ss cívkou. Doba odezvy je řádově 10 ms, šterbina má průměr 5,6 mm. Proporcionální ventil SCG202A057V (Obr. 2.9) je konstrukčně podobný jako digitální ventil. Šterbina má průměr 7,1 mm. Opakovatelnost nastavení ventilu je  $< 3 \%$  a hystereze je  $< 5 \%$ . Pro ovládání ventilu je použita řídicí jednotka E908A001, dodaná společně s ventily. Řídicí signál je možné použít proudový nebo napěťový. Zde se používá napěťové řízení v rozsahu 0–10 V, kde při 0 V je ventil zavřený, při 10 V je otevřený na maximální průtok. Převodní charakteristika řídicí napětí – průtok je nastavitelná pomocí trimrů v řídicí jednotce ventilu.



Obrázek 2.8: Digitální ventil



Obrázek 2.9: Proporcionální ventil

### 2.1.5 Provozní kapalina

Jeden z problémů, který musel být řešen v průběhu návrhu a posléze testování modelu, bylo nalezení vhodné provozní náplně. Zpočátku byla v modelu jako provozní náplň destilovaná voda. Na stěnách nádob nezanechává stopy, je snadno dostupná a není to agresivní kapalina, která by ničila některé části modelu. Přesto tato kapalina není vhodná, protože na kameře při vzdáleném řízení není znatelná skutečná výška hladiny. Proto se přistoupilo k testování jiných kapalin. Bylo nutné najít kapalinu, která nebude ulpívat na stěnách, nebude agresivní k žádnému použitému materiálu a bude snadno dostupná. Roztok modré skalice splňuje většinu požadavků, jeho silnou nevýhodou je agresivita k železným prvkům. Stejné problémy skýtá použití roztoku zelené skalice. Roztok modrého inkoustu nepatrně ulpívá na stěnách. Jiné barvivo, splňující výše uvedené požadavky, se zatím nepodařilo najít.

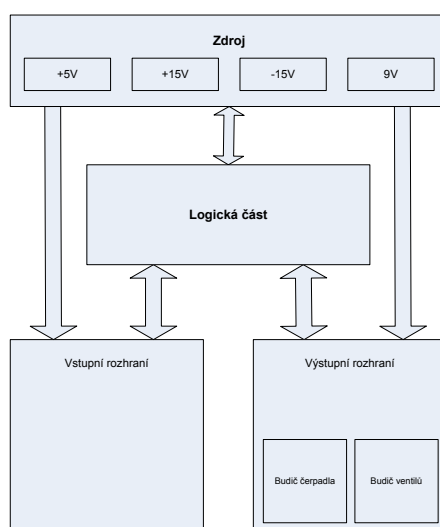
## 2.2 Návrh elektroniky

Součástí modelu je řídicí jednotka, která zajišťuje ovládání modelu, obsahuje výkonové prvky pro ovládání akčních členů modelu a předzpracovává měřené signály. Je navržena co nejuniverzálněji, aby bylo s malými úpravami možné její použití i v jiných laboratorních modelech. Výhodou tohoto přístupu je sjednocení ovládacích jednotek u jednotlivých modelů v laboratoři a s tím spojená snazší údržba nebo případná oprava. Nevýhodou je

větší složitost zapojení oproti jednoúčelovému zapojení pro konkrétní model.

### 2.2.1 Požadavky na řídicí jednotku

Celá řídicí jednotka by měla být napájena z 24 V ss zdroje. Musí umožnit ovládání ze třech míst, v tomto případě se vycházelo z požadavků na ovládání z PC – prostředí Matlab, PAC – vstupně výstupní karty a v neposlední řadě manuální ovládání z panelu umístěného na modelu. Analogové vstupní signály jsou v rozsahu 0–10 V, digitální signály v rozsahu 0–24 V. Výstupní signály by měly být vhodně škálovány. Koncepce řídicí jednotky je uvedena na Obr. 2.10. Jednotlivé bloky jsou podrobněji rozebrány v následujících sekcích.



Obrázek 2.10: Blokové zapojení řídicí jednotky

### 2.2.2 Vstupní rozhraní

Tento blok musí zpracovat všechny vstupní signály, zajistit správnou činnost řízeného modelu a přitom ochránit řídicí jednotku a model před poškozením. Vstupní signály můžeme rozdělit na tři druhy:

- ON/OFF signály,

- Měření hodnoty,
- Ovládací signály.

Signály typu ON/OFF jsou digitální signály v rozmezí 0–3 V pro OFF a 4,5–30 V pro ON. Tento specifický rozsah signálů je nutný pro zajištění správné činnosti jak při ovládání z PC, tak při ovládání z PAC. Tyto signály se po napěťové korekci přivádí do bloku logické části, kde jsou posléze vyhodnoceny.

Měření hodnoty jsou dva analogové signály z procesu. V tomto případě se jedná o výšku hladiny v levém a pravém zásobníku. Změřené hodnoty mohou být zpracovány dvěma způsoby. První možností je vhodná analogová úprava (např. korekce nuly) a transport na vzdálená zařízení, druhou možností je digitalizace pomocí A/D převodníku a zpracování digitálních dat v logické části. Úroveň signálů je v rozsahu 0–10 V.

Ovládací signály jsou všechny ostatní signály. Řídicí jednotka je schopna přijímat dva digitální a dva analogové signály. Podle konfigurace řídicí jednotky se signály zpracovávají. V případě modelu spojených nádrží je digitální signál (ovládání digitálního ventilu) zpracován podobně jako signály ON/OFF v procesoru. Analogové signály (ovládání čerpadla a proporcionálního ventilu) jsou přivedeny na vstupy příslušných budičů. Druhou možností, při změně konfigurace, je zpracování analogových signálů v bloku logické části, kde jsou signály pomocí A/D převodníku digitalizovány a následně zpracovány dle požadované aplikace v mikroprocesoru. Změna konfigurace řídicí jednotky je popsána v příloze D.2.2.2.

Řídicí jednotka pracuje vždy s ovládacími signály z jednoho místa. Výběr je proveden pomocí analogových multiplexorů 4052 ovládaných z logické části, na jejichž vstupy jsou přivedeny signály ze všech ovládacích míst. Digitální signál může mít hodnotu 0–30 V, analogový 0–10 V.

### 2.2.3 Výstupní rozhraní

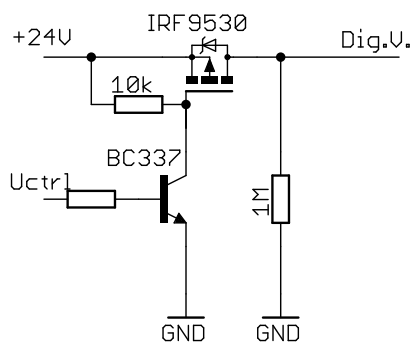
Řídicí jednotka je schopna distribuovat signály na tři místa. Všechny analogové signály jsou upraveny na rozsah 0–10 V, digitální signály jsou na úrovni TTL kromě signálů pro PAC, které respektují 24 V. Na všech ovládacích místech je možné měřit stejné signály, nerozlišuje se zde místo, které aktuálně ovládá model. Tedy při ručním řízení jsou zbývající dvě stanice (PAC, Matlab) schopny monitorovat ovládací signály. Stejně tak je tomu i u všech ostatních kombinací řízení.

Pokud je řídicí jednotka konfigurována tak, že logická část bude zpracovávat i analogové signály, je možné digitální signál převést pomocí PWM a filtru na analogový signál v rozsahu 0–10 V.

### 2.2.3.1 Budiče ventilů

V modelu jsou použity dva druhy ventilů, digitální a proporcionální. Oba jsou ovládány ss solenoidovou cívkou. Digitální ventil je ovládán 24 V ss. Ovládací napětí se spíná výkonovým MOS-FET tranzistorem s P kanálem IRF9530. V sepnutém stavu má tranzistor velmi malý odpor ( $0.2 \Omega$ ), je tedy možné ovládat libovolné zařízení s odběrem do 3 A bez použití chladiče. Zapojení tranzistoru je na Obr. 2.11. Výstup obvodu je chráněn polovodičovou vratnou pojistkou odpovídající hodnoty.

Proportionální ventil je ovládán řídicí jednotkou E908A001 fy Asco Joucomatic. Vstupem této ovládací jednotky může být proudový nebo napěťový signál. Zde je použit napěťový řídicí signál v rozsahu 0–10 V. Tento rozsah odpovídá vstupnímu řídicímu signálu, není tedy nezbytně nutné signál upravovat.



Obrázek 2.11: Zapojení budiče digitálního ventilu

### 2.2.3.2 Budič čerpadla

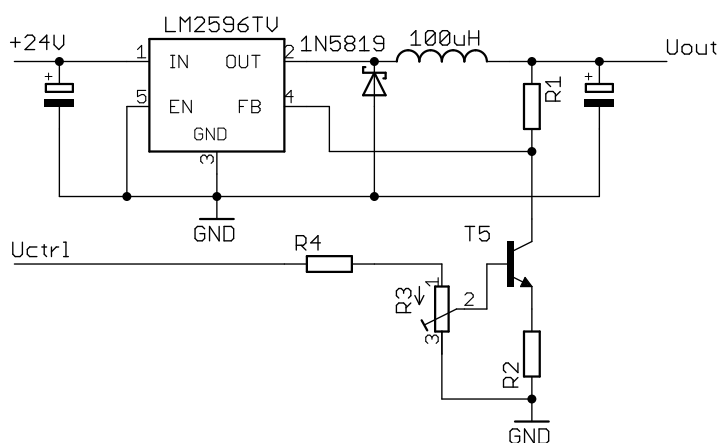
Pro řízení ss motoru se jeví jako nejlepší řešení použití PWM. Tento princip řízení nedával u tohoto čerpadla dobré výsledky (malý výkon čerpadla, špatná možnost regulace). Přesný důvod těchto problémů se nepodařilo zjistit. Pravděpodobně není čerpadlo osazeno pouze ss motorem, ale i nespecifikovanou elektronikou, která potřebuje pro svoji činnost spojitě napájení. Proto jsem přistoupil ke koncepci napětím řízeného výkonového

Step-Down konvertoru. Celé zapojení (Obr. 2.12), je postaveno na obvodu LM2576. Jedná se o monolitický integrovaný obvod s max. 3 A výstupním proudem a minimem externích součástek potřebných pro správnou funkci. Modifikace obvodu LM2576-ADJ má oproti jiným klonům umístěn zpětnovazební dělič vně obvodu. Vhodnou volbou dělicího poměru tohoto děliče lze nastavovat výstupní napětí.

V tomto případě je v sérii s  $R_2$  umístěn přechod C-E bipolárního NPN tranzistoru, u kterého řídicím napětím měníme proud protékající tranzistorem. Řídicím napětím je tedy přímo ovlivněno napětí na snímacím pinu 4 obvodu LM2576, aniž by se musela rozpojit zpětná vazba nezbytná pro správnou činnost obvodu. Výstupní napětí je možné plynule regulovat v rozsahu 1,23–23 V. Proti přetížení je výstup ochráněn polovodičovou vratnou pojistkou. Hodnoty rezistorů ve zpětné vazbě se spočítají dle vzorce (2.8).

$$U_{out} = 1,23(1 + \frac{R_1}{R_2}) \quad (2.8)$$

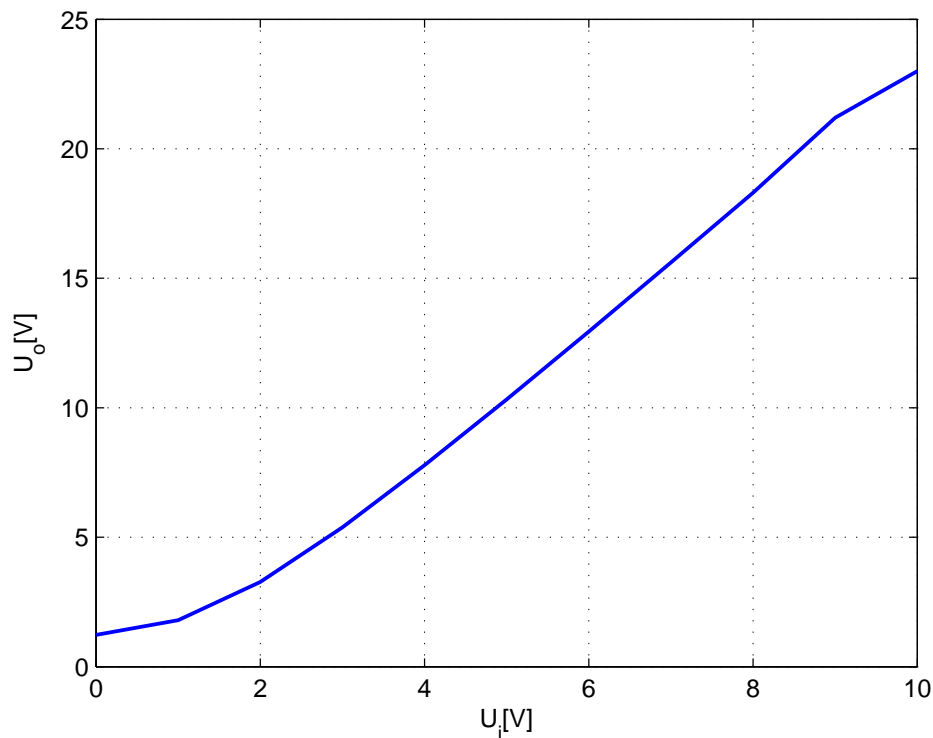
Při výpočtu se neuvažuje zapojený tranzistor a výstupní napětí se předpokládá nejvyšší možné. Rezistor  $R_2$  se volí řádově ve stovkách  $\Omega$  až jednotkách  $k\Omega$ . Po výpočtu je vybrána nejbližší vyšší hodnota z řady E24 pro rezistor  $R_1$ . Po zapojení tranzistoru a nastavení vhodného pracovního bodu je otestován rozsah výstupního napětí a pokud není dostatečný, je možné zmenšit hodnotu rezistoru  $R_2$  a tím částečně zvětšit rozsah výstupního napětí.



Obrázek 2.12: Zapojení obvodu LM2576 pro řízení čerpadla

Převodní charakteristika ze vstupního napětí 0–10 V na výstupní napětí je na Obr. 2.13. Je vidět, že charakteristika je v téměř celém rozsahu lineární. Nelinearita se projevuje na

začátku a na konci převodní charakteristiky, ale pro tento účel je zanedbatelná, protože předpokládaná činnost čerpadla je ve středu této převodní charakteristiky.



Obrázek 2.13: Převodní charakteristika budiče čerpadla

### 2.2.4 Logická část

Základním prvkem tohoto bloku je procesor ATmega8 firmy Atmel [3]. V tomto případě by mohla být použita celá řada dalších procesorů ať už od fy Atmel nebo např. Microchip. ATmega8 je 8 bitový procesor, vybavený dnes již všemi běžnými funkcemi pro tuto třídu procesorů (RISC, Flash paměť, A/D převodníky, sériové rozhraní USART, sériové sběrnice (SPI, I<sup>2</sup>C), volitelné vstupně výstupní porty). Výhodou je dobrá dostupnost vývojového prostředí pro programování v jazyce C (WinAVR – Freeware nebo komerční software CodeVision AVR, případně IAR Studio). Pro programování v ASM je možné použít AVR Studio, které umožňuje i odladění kódu v jazyce C. Podrobný popis programování procesoru je uveden v části 2.2.4.1.

Procesor reaguje na příchozí požadavky: na zapnutí nebo na převzetí řízení nadřazeným

místem. Pro model spojených nádrží jsou na základě programu generovány ovládací signály pro přepínače a signály pro ovládání digitálních ventilů. Při jiném využití řídicí jednotky může procesor obstarávat A/D převody, generování PWM, případně jiné funkce závislé na konkrétním programu. Funkce A/D převodu nejsou v programu implementovány, pro požadovanou funkci modelu nejsou nezbytně nutné.

#### 2.2.4.1 Programování procesoru

Program pro procesor jsem vytvořil ve vývojovém prostředí *CodeVisionAVR*, jehož bezplatnou zkušební verzi omezenou velikostí generovaného kódu je možné získat na stránkách výrobce [5]. Toto prostředí umožňuje programovat procesory Atmel v jazyce C. Součástí je integrovaný průvodce, kde lze z přehledné nabídky vybrat nastavení procesoru. Vývojové prostředí automaticky vygeneruje zdrojový kód, ve kterém jsou nastaveny hodnoty všech potřebných registrů a hlavičky předpřipravených funkcí, do kterých se doplní kód.

Společně s tímto prostředím lze použít AVR Studio, které je volně k dispozici na stránkách výrobce [4]. Jedná se o vývojové prostředí společnosti Atmel, které umožňuje psát programy v Assembleru. Součástí tohoto prostředí je simulátor umožňující odladění zdrojového kódu v jazyce C. Je tedy možné testovat program dříve, než se nahraje do procesoru, a odstranit případné chyby.

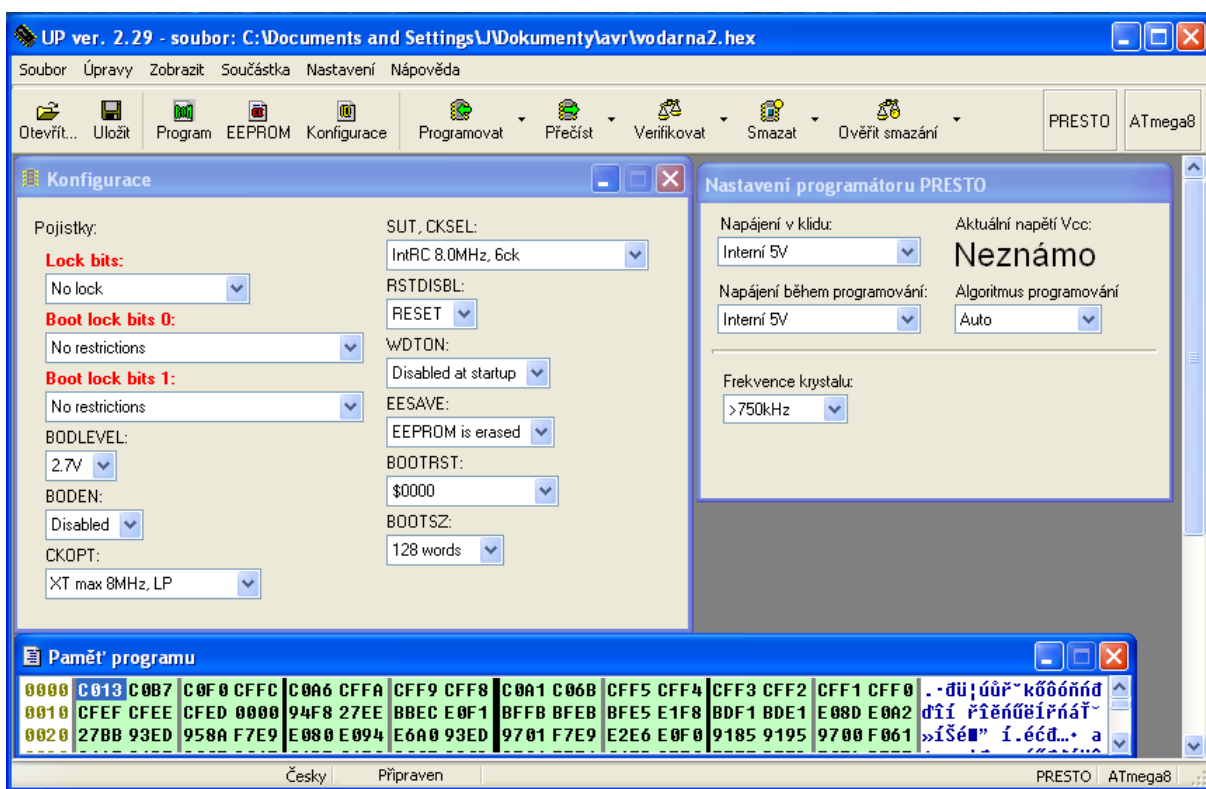


Obrázek 2.14: Programátor PRESTO

K samotnému programování jsem použil programátor PRESTO (Obr. 2.14) od firmy ASIX [15]. Jedná se o moderní rychlý programátor umožňující programování velkého množství součástek, včetně programování osazených součástek technologií ISP (In-System Programming). Programátor se k počítači připojuje přes sběrnici USB. Po připojení

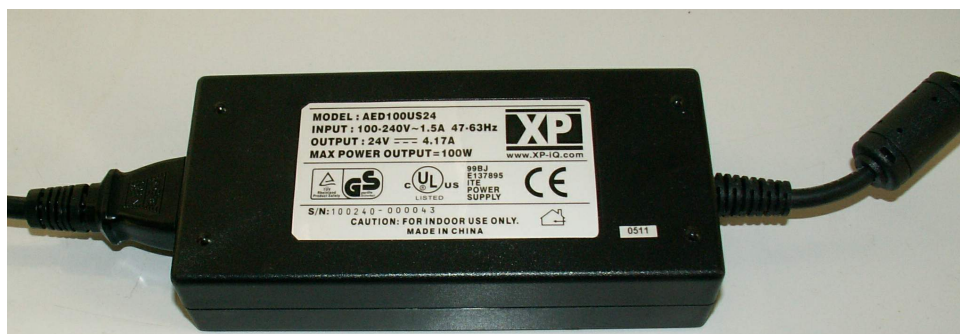


k počítači je programátor rozpoznán jako nové zařízení a je třeba ho nainstalovat do systému. Ovladač k zařízení je na CD u programátoru. S programátorem je možné použít univerzální desku *ISP2ZIF*, ve které lze programovat libovolný procesor v pouzdře DIL podporovaný programátorem. Stačí pouze připojit desku k programátoru a pomocí popojek nastavit správné zapojení procesoru. Konkrétní nastavení je specifické pro každý procesor a je uvedeno v příslušném katalogovém listu.



Obrázek 2.15: Pracovní prostředí UP

K ovládání programátoru slouží program UP, který je volně k dispozici na stránkách výrobce. Před spuštěním programu je nutné připojit k počítači programátor. Po spuštění je programátor nalezen a potvrzením úvodní obrazovky se program spustí (Obr. 2.15). Standardním postupem načteme přeložený zdrojový kód a zkontrolujeme nastavení pojistek v okně *Konfigurace*. Pokud je programátor připojen k procesoru, stisknutím tlačítka *Programovat* se program nahraje do procesoru. Výsledek programování nebo případné chyby jsou zobrazeny na samostatné obrazovce. Při programování procesoru ATmega8 jsem se setkal s problémy při nahrávání programu, které byly způsobeny nevhodným



Obrázek 2.16: Zdroj XP Power AED100US24

nastavení frekvence krystalu v okně *Nastavení programátoru PRESTO*, kde je nutné nastavit nízkou frekvenci krystalu např. 750kHz.

### 2.2.5 Zdroj

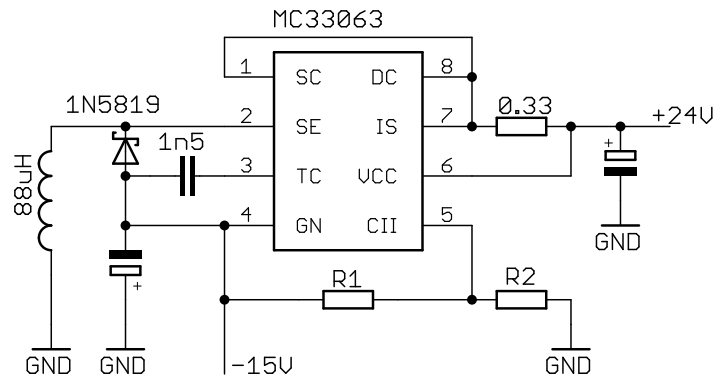
Celý model je postaven pro napájení z 24 V ss. Aby bylo možné používat model i v místech, kde není dostupný 24 V zdroj, je u modelu použit externí zdroj firmy XP Power AED100US24 (Obr. 2.16), který má potřebné atestace a splňuje všechny požadované předpisy. Lokální zdroj toto napětí upravuje na hodnoty +5V, +/-15V a 9V. Popis jednotlivých částí zdroje je uveden níže.

**+5V** Slouží k napájení logické části. Zdroj je tvořen napěťovým Step-Down konvertorem LM2576-5. Jedná se o stejný obvod, jaký je použit pro napájení čerpadla, jen v jiné modifikaci. Výhodou je malý ztrátový výkon a výrazně větší účinnost oproti lineárním stabilizátorům.

**+15V** Slouží k napájení vstupních obvodů. Je tvořen lineárním stabilizátorem 7815, který je pro tento účel plně postačující.

**-15V** Stejně jako napětí +15V se využívá pro napájení vstupních obvodů. Základem této části zdroje je monolitický integrovaný obvod MC33063. Jedná se o řídicí obvod pro DC-DC měniče. Může být zapojen jako Step-Down nebo Step-Up konvertor. Zde je zapojen jako invertující Step-Down konvertor (Obr. 2.17).

**+9V** Tato část zdroje není nezbytně nutná pro činnost řídicí jednotky, používá se pro napájení části ovládacího panelu. Jedná se o DC-DC měnič IL2409S fy XP Power. Výhodou tohoto měniče je galvanické oddělení vstupu a výstupu.



Obrázek 2.17: Zapojení obvodu MC33063

**+10V** Volitelná část zdroje, nutná při využití PWM generátoru. Je tvořena lineárním stabilizátorem 7810, ale může se použít i jiná hodnota v závislosti na požadovaném výstupním napětí.

### 2.2.6 Funkce řídicí jednotky

Celá řídicí jednotka se dá použít jako rozhraní mezi laboratorním modelem a vzdálenými místy (PAC, PC-Matlab). Primárně je deska navržena pro použití v modelu spojených nádrží, ale lze ji využít i pro jiné modely s obdobnými vstupními a výstupními signály.

Po zapnutí napájení je řídicí jednotka ve stavu *StandBy*. Všechny výstupy jsou v klidovém stavu, ovládací vstupní signály jsou ignorovány, pouze se čeká na příchod signálu ON/OFF. Ve chvíli kdy je takový signál rozpoznán, přechází řídicí jednotka do jednoho ze tří stavů :

- *Ruční řízení,*
- *Řízení Matlabem,*
- *Řízení PAC.*

Pokud je příchozí signál ON/OFF s vyšší prioritou, dojde k předání řízení. Signály s nižší prioritou jsou ignorovány.

Řídicí jednotka má ještě další čtyři stavy:

- *Kombinované řízení Matlab–manual,*
- *Kombinované řízení PAC–manual,*
- *Panel jako zdroj signálů pro PAC,*
- *Panel jako zdroj signálů pro Matlab.*

Kombinované stavy jsou určené pro manuální řízení a následné beznárazové předání řízení PAC nebo PC. Do těchto stavů se model dostane ve chvíli, kdy je ovládán z Matlabu nebo PAC trojnásobným stisknutím tlačítka ON na ovládacím panelu v intervalu kratším než 2 vteřiny pro celou sekvenci. Poslední dva stavy využívají ovládací panel jako zdroj signálu. Do těchto stavů je možné model přepnout při řízení z PAC nebo Matlabu stisknutím tlačítka ON na ovládacím panelu nejméně po dobu 2 vteřin. Návrat do původního stavu se provede dvojitým stiskem tlačítka ON do 2 vteřin od prvního stisknutí.

Konkrétní stav (řídící místo), ve kterém se model nachází, je indikován na ovládacím panelu rozsvícenou LED diodou. V PAC nebo v Matlabu je možné zjistit aktuální řídící místo ze signálů  $A$  a  $B$  dle Tab. 2.1.

	A	B
Manual	1	1
Matlab	1	0
PAC	0	1

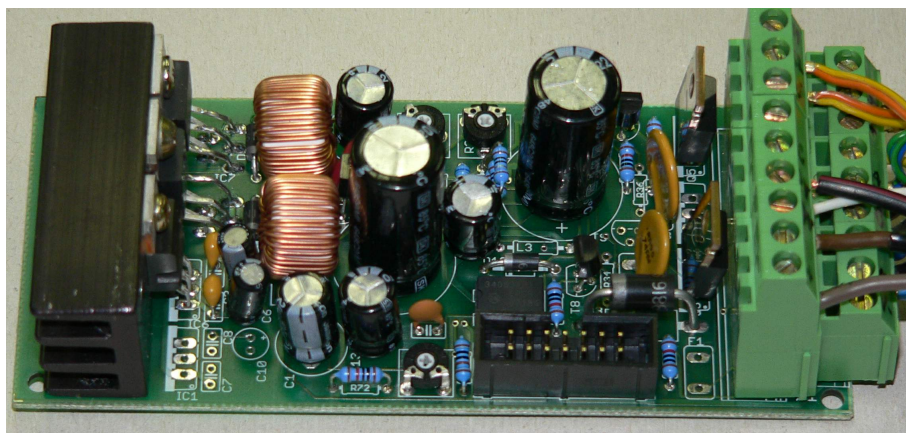
Tabulka 2.1: Řídicí signály  $A, B$

### 2.2.6.1 Možnosti využití řídicí jednotky

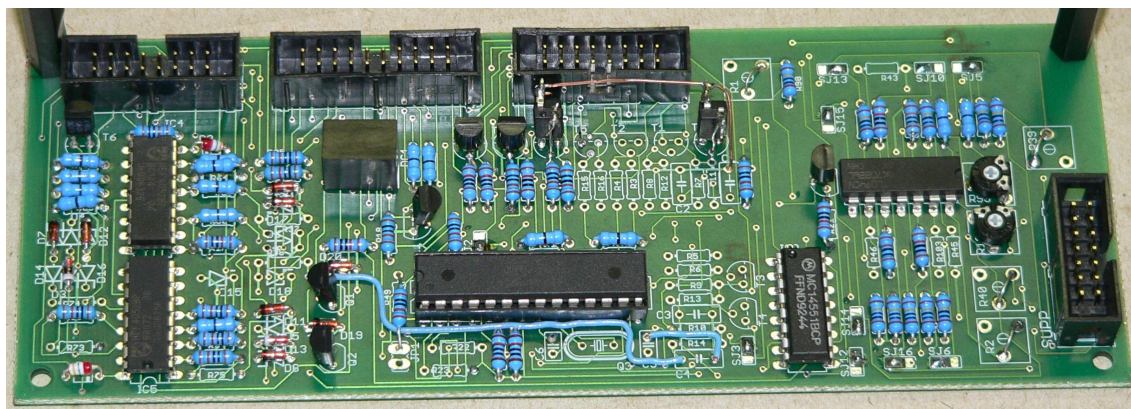
Řídicí jednotku je možné v různých modifikacích využít pro rozmanité účely. Velice podobná konfigurace, jako je použita v modelu spojených nádrží, je použita i v laboratorním modelu popsaném v bakalářské práci [6], kde jsou použity dvě řídicí jednotky. Jedna je podřízena druhé a rozšiřuje tak počet vstupů resp. výstupů řídicí jednotky. Podrobnější popis je uveden v příloze D.2.2.3.

### 2.2.7 Konstrukce řídicí jednotky

Návrh řídicí jednotky jsem provedl v návrhovém systému Eagle. Řídicí jednotka jako celek je rozdělena na dvě části. Zdroj a výkonové části, jako jsou např. budiče ventilů a konektory pro připojení akčních členů a senzorů, jsou umístěny na jedné desce tištěného spoje (Obr. 2.18). Vše ostatní včetně konektorů pro připojení vzdálených ovládacích míst je na desce druhé (Obr. 2.19). Popis konektorů na řídicí jednotce je uveden v sekci D.1.1. Celkové schéma zapojení a všechny další podklady nutné pro výrobu, konstrukci a osazení tištěných spojů včetně seznamu použitého materiálu jsou uvedeny v příloze. Při osazování a oživování bylo nutné provést několik drobných úprav v zapojení. Všechny změny jsou rovněž součástí přílohy.



Obrázek 2.18: Osazený tištěný spoj *Zdroj*



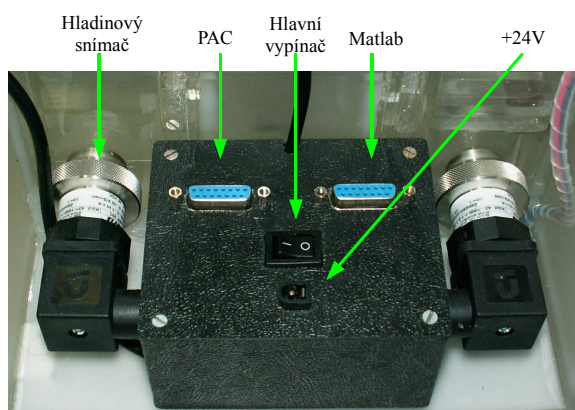
Obrázek 2.19: Osazený tištěný spoj *Ovládání*

### 2.2.8 Konstrukce ovládacího panelu

Stejně jako řídicí jednotka, tak i ovládací panel je navržen v systému Eagle. Panel se skládá z ovládacích tlačítek a spínačů, potenciometrů pro nastavování analogových hodnot, dvou bargrafů a dvou displejů, které zobrazují signál ze snímačů hladiny. Displeje jsou ovládány integrovaným obvodem ICL7107 fy Intersil. Jedná se o 3 1/2 místný budič sedmisegmentového displeje s integrovaným A/D převodníkem. Schéma zapojení, deska tištěného spoje a všechny ostatní podklady pro výrobu a osazení tištěného spoje včetně seznamu oprav jsou uvedeny v příloze D.2.3.

## 2.3 Připojení modelu a ovládání

Model je ovládán ze dvou vzdálených míst (PAC, PC) a lokálně z ovládacího panelu. Ovládací panel je součástí modelu a je připojen přímo k řídicí jednotce. PC a PAC jsou k modelu připojeny pomocí konektorů umístěných v zadní části modelu vedle hlavního vypínače a konektoru pro připojení 24 V napájení (Obr. 2.20). Konektory pro připojení jsou stejné, proto může dojít k prohození kabelů. Nehrozí poškození modelu, ale nelze očekávat správnou činnost modelu. Podrobnější popis připojení a ovládání je uveden v následujících sekcích, vyjma PAC (kapitola 3).

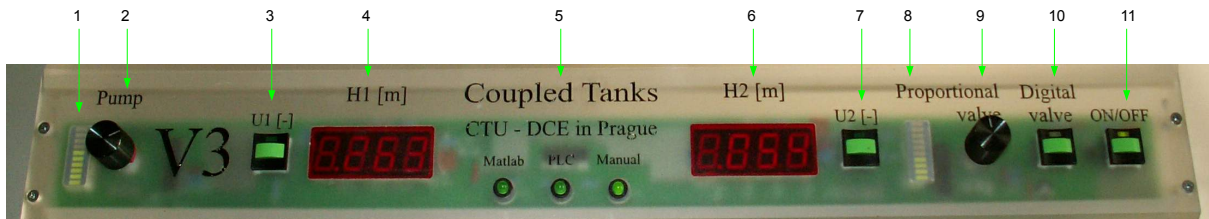


Obrázek 2.20: Umístění konektorů pro připojení PAC a PC



### 2.3.1 Ovládací panel

Ovládací panel (Obr. 2.21) se skládá ze dvou částí. Desky tištěného spoje popsané v 2.2.8 a přední masky, do které jsou na CNC frézce vygravírovány nápisy a vyfrézovány potřebné otvory.



Obrázek 2.21: Ovládací panel

1. Bargraf zobrazující ovládací napětí čerpadla. Vždy je zobrazeno napětí, které se přivádí na vstup příslušného budiče. Ukazatel je pouze informativní.
2. Potenciometr nastavující při ručním řízení řídicí napětí pro čerpadlo. Při jiném řízení je neaktivní, kromě kombinovaných stavů řízení modelu, kdy je možné jej využít jako zdroj signálu pro PAC nebo PC.
3. Při stisku tlačítka displej 4 zobrazí aktuální hodnotu řídicího napětí ve strojových jednotkách místo výšky hladiny.
4. Displej zobrazující výšku hladiny v levém zásobníku v metrech s nastavenou nulou na úrovni přepouštěcího (vypouštěcího) ventilu.
5. Diody indikující aktuální řídicí místo.
6. Displej zobrazující výšku hladiny v pravém zásobníku v metrech vodního sloupce s nastavenou nulou na úrovni přepouštěcího (vypouštěcího) ventilu.
7. Tlačítko při jehož stisku dojde k zobrazení aktuální hodnoty řídicího napětí proporcionálního ventilu na displeji 6.
8. Bargraf zobrazující ovládací napětí proporcionálního ventilu. Vždy je zobrazeno napětí, které se přivádí na vstup příslušného budiče. Ukazatel je pouze informativní.

9. Potenciometr nastavující při ručním řízení řídicí napětí pro proporcionální ventil. Při jiném řízení je neaktivní, kromě kombinovaných stavů řízení modelu, kdy je možné jej využít jako zdroj signálu pro PAC nebo PC.
10. Spínač ovládající digitální ventil. Zelené světlo indikuje otevřený ventil.
11. Tlačítko pro zapnutí nebo vypnutí modelu. Při kombinovaném řízení slouží pro přepnutí do kombinovaného módu (2.2.6).

## 2.3.2 Matlab

Pro práci s modelem na PC je využíváno prostředí Matlab, které umožňuje řízení laboratorního modelu a poskytuje široké možnosti pro simulace, návrhy a testování.

### 2.3.2.1 Připojení modelu k PC

Model je k PC připojen pomocí vstupně výstupní karty. Většina počítačů v laboratoři byla původně osazena moderními kartami Humusoft MF624. K těmto kartám nebylo možné model připojit ze dvou důvodů. Tyto karty mají při vypnutém počítači velice nízký vstupní odpor analogových kanálů a výstupy modelu tak byly neúměrně zatíženy a zkresleny. Druhou podstatnou nevýhodou této karty je náhodné nastavení digitálních výstupů po zapnutí počítače. To způsobovalo nežádoucí zapínání modelu a vzhledem k jeho prioritnímu předávání řízení nebylo možné použít manuální ovládání, dokud nedošlo k inicializaci karty v PC a korektnímu nastavení výstupů. Problémy s touto kartou nebylo možné snadno vyřešit, proto se v počítačích určených pro připojení k tomuto modelu použily karty PCI-1711. Tyto karty nemají předešlé nedostatky a jejich použití neovlivňuje správnou činnost modelu. Počítač je k modelu připojen pomocí konektoru CANON (Obr. 2.20). Význam jednotlivých pinů ukazuje Tab. 2.2 a připojení ke kartě PCI-1711 je uvedeno v Tab. E.1 v příloze.

### 2.3.2.2 Ovládání pomocí Matlabu

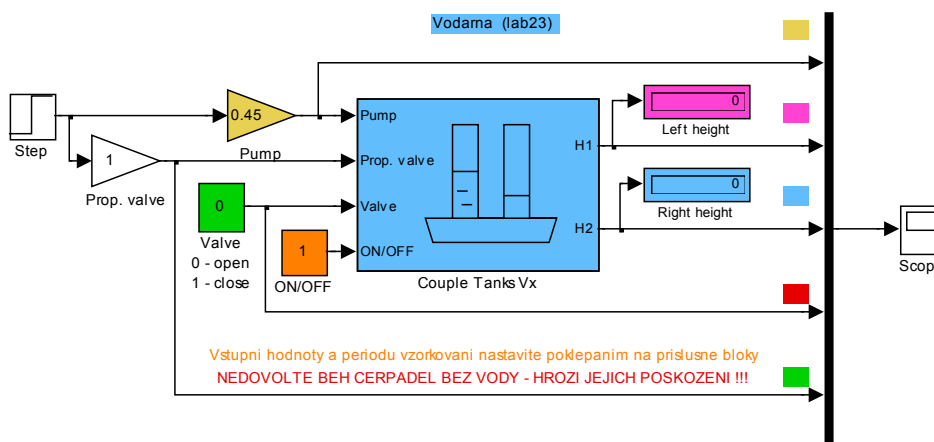
Pro řízení modelu v Matlabu je využíván Simulink a Real Time Toolbox. Pro vytvoření modelu v Simulinku můžeme použít šablonu, která je na přiloženém CD (Obr. 2.22), nebo vytvořit model nový, kde musíme nadefinovat zapojení vstupů a výstupů podle E.1. Při použití šablony se již nemusíme starat o konfiguraci vstupních a výstupních kanálů, stačí pouze připojit příslušné bloky na vstupy šablony a spustit simulaci. Analogové



Pin	PC – Matlab	PAC
1	Stav: dig. vstup 2	Stav: dig. vstup 2
2	Stav: ON/OFF	Stav: ON/OFF
3	Stav: Dig. ventil	Stav: Dig. ventil
4	Stav: Prop. ventil	Stav: Prop. ventil
5	Stav: Čerpadlo	Stav: Čerpadlo
6	GND	GND
7	Stav: Řídicí signál B	Stav: Řídicí signál B
8	Stav: Řídicí signál A	Stav: Řídicí signál A
9	dig. vstup 2 – nepoužitý	dig. vstup 2 – nepoužitý
10	řízení prop. ventilu (0–10 V)	řízení prop. ventilu (0–10 V)
11	řízení dig. ventilu (0/5 V)	řízení dig. ventilu (0/24V)
12	řízení čerpadla (0–10 V)	řízení čerpadla (0–10 V)
13	výška $H_2$ [m]	výška $H_2$ [m]
14	výška $H_1$ [m]	výška $H_1$ [m]
15	ON/OFF (5/0 V)	ON/OFF (24/0 V)

Tabulka 2.2: Zapojení konektorů CANON pro připojení PC a PAC

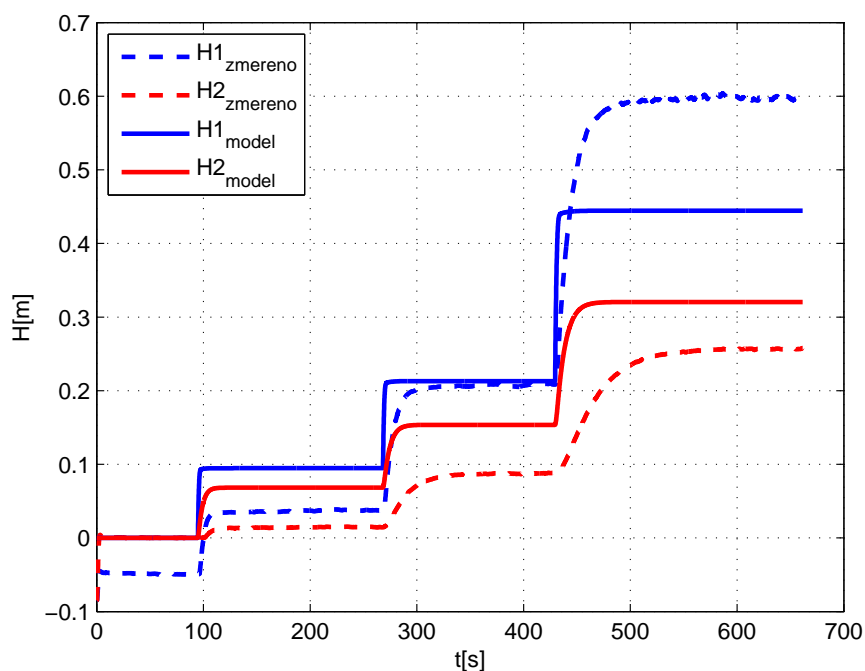
signály mají v Simulinku rozsah 0–1. Digitální signály se nastavují 0/1. Po celou dobu zapnutí modelu musí být signál ON/OFF v log. 1.



Obrázek 2.22: Šablona pro ovládání modelu ze Simulinku

## 2.4 Uvedení do provozu a testování

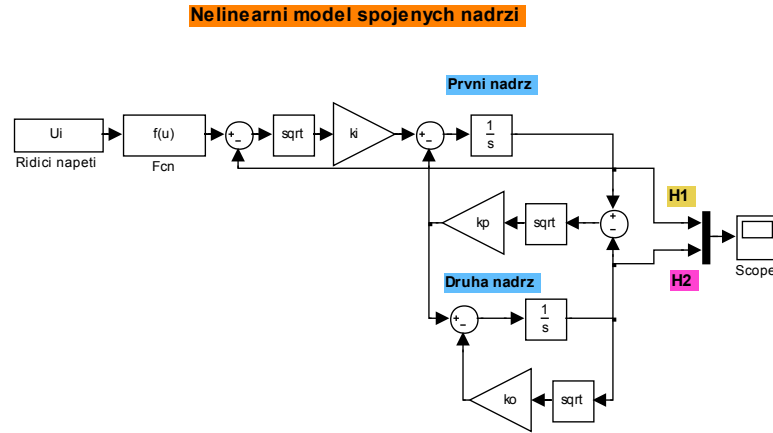
Uvedení modelu do provozu provázely problémy především s připojením k PC a PAC popsané v sekci 2.3.2.1 resp. 3.3. Ověření činnosti a návrhu modelu jsem provedl na PC v Simulinku. Na Obr. 2.23 je vidět porovnání skutečného a matematického modelu odvozeného v sekci 2.1.1 a 2.1.2. Z obrázku je patrný rozdíl mezi reálným a předpokládaným chováním modelu. I přes nedostatečnou znalost parametrů některých akčních členů se podařilo dosáhnout relativně dobré shody. V sekci 2.4.1 je popsána identifikace nelineárního modelu a dále linearizovaný model v daném pracovním bodě (2.4.2). V sekci 2.4.3 je popsán návrh regulátoru.



Obrázek 2.23: Porovnání skutečného a matematického modelu

### 2.4.1 Identifikace laboratorního modelu

Pro identifikaci systému jsem systém uvedený na Obr. 2.2 zjednodušil na model popsáný rovnicemi (2.9), (2.10). Simulační schéma je uvedeno na Obr. 2.24.



Obrázek 2.24: Nelineární model systému

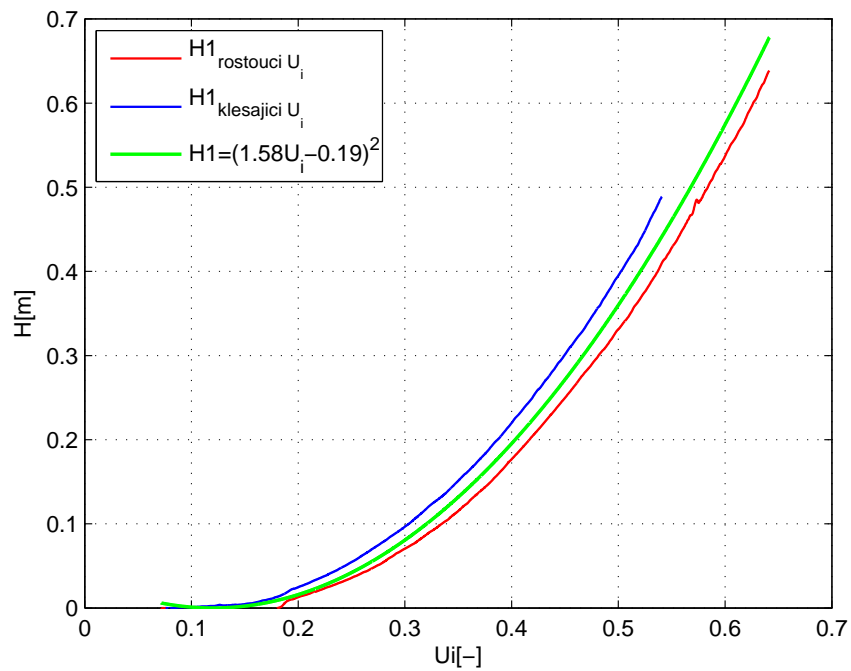
$k_c$	1.6	1.57
$k_i$	0.069	0.052
$k_p$	0.015	0.017
$k_o$	0.022	0.019

Tabulka 2.3: Konstanty nelineárního modelu

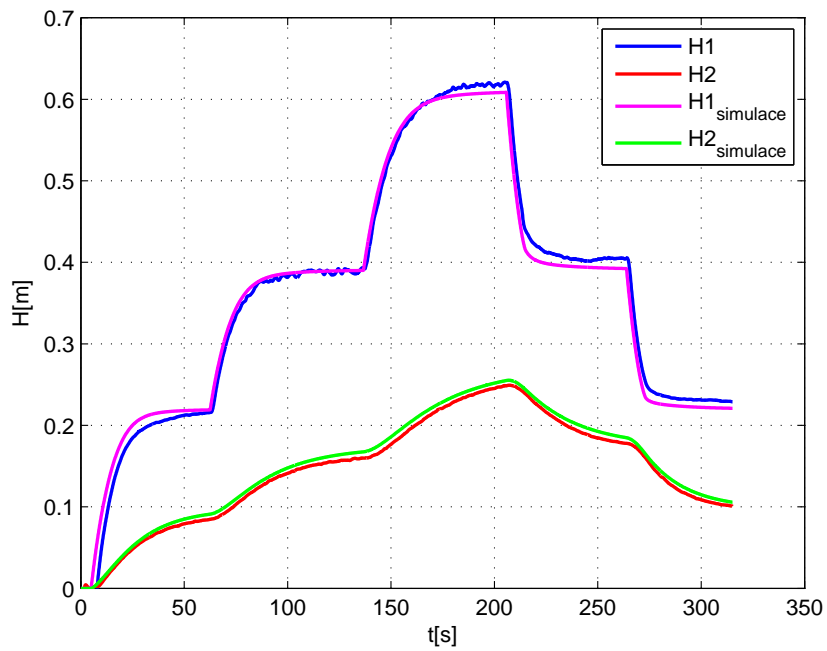
$$\dot{H}_1 = k_i \sqrt{(k_c u - u_r)^2 - H_1} - k_p \sqrt{H_1 - H_2} \quad (2.9)$$

$$\dot{H}_2 = k_p \sqrt{H_1 - H_2} - k_b \sqrt{H_2} \quad (2.10)$$

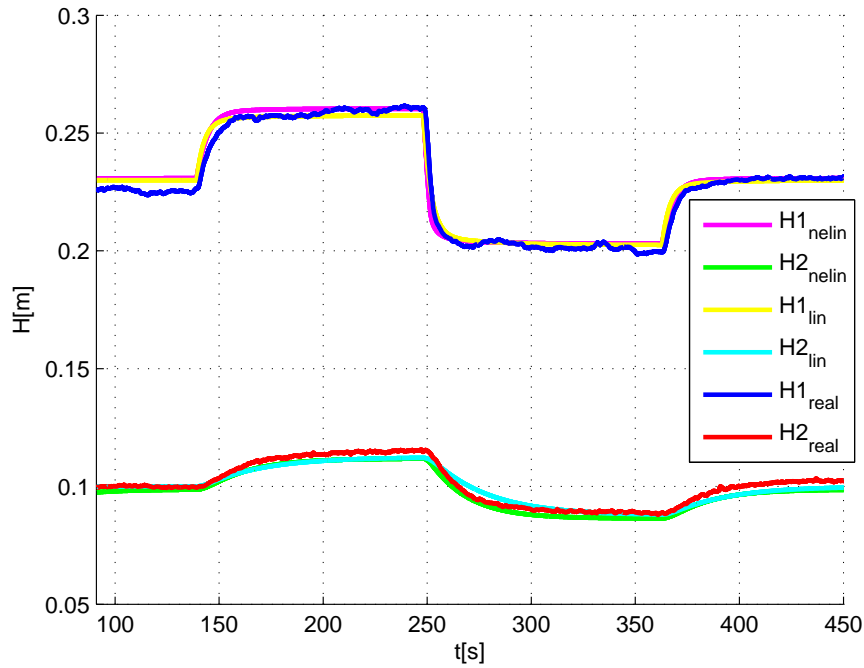
Konstanty uvedené v tomto modelu jsou odhadnuté ze změřených charakteristik. Konstanta  $k_c$  je určena závislostí výšky hladiny v první nádrži na vstupním napětí, při uzavřeném přepouštěcím ventilu mezi nádržemi. Změřené a modelované charakteristiky jsou na Obr. 2.25. Je zde patrná kvadratická závislost s pásmem necitlivosti v počátku. Z výtokových charakteristik jednotlivých nádrží je možné určit zbývající konstanty  $k_i$ ,  $k_p$  a  $k_o$ . Všechny konstanty byly ještě ručně doladěny (Tab. 2.3). Porovnání fyzikálního systému a nelineárního modelu je na Obr. 2.26.



Obrázek 2.25: Závislost hladiny  $H_1$  v levé nádrži na vstupním napětí  $U_i$  a její aproximace kvadratickou funkcí



Obrázek 2.26: Porovnání fyzikálního systému a nelineárního modelu



Obrázek 2.27: Porovnání fyzikálního systému, lineárního a nelineárního modelu

### 2.4.2 Linearizace

Nelineární systém popsany v sekci 2.4.1, má dva stavy,  $x_1 = H_1$ ,  $x_2 = H_2$ , jeden vstup  $u = U_i$  a jeden výstup  $y = x_2$ . Model je linearizován v pracovní bodě

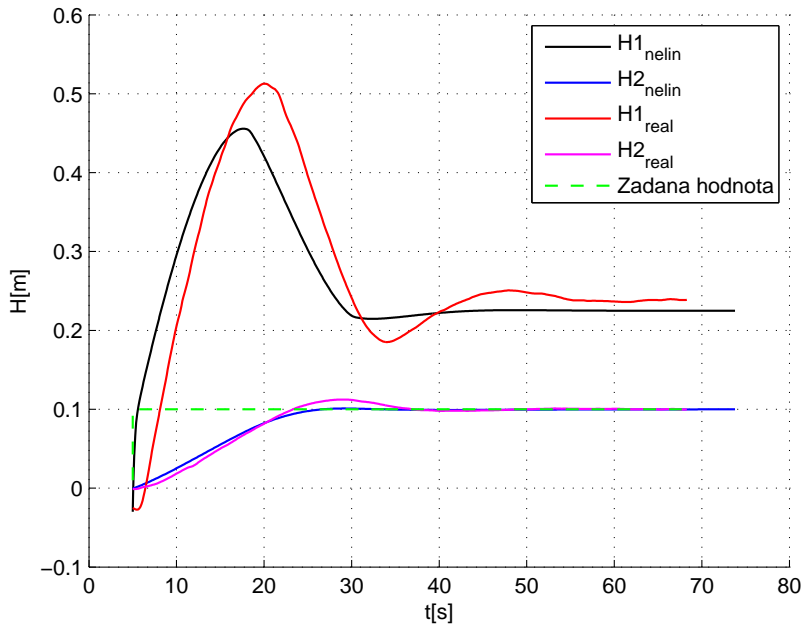
$$[x_1; x_2] = [0.23; 0.1]$$

a rovnice (2.11) vyjadřuje stavový popis linearizovaného systému a rovnice (2.12) přenos systému.

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= \begin{bmatrix} -0.0272 & 0.034 \\ 0.018 & -0.041 \end{bmatrix} & \mathbf{B} &= \begin{bmatrix} 0.35 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \mathbf{C} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} & \mathbf{D} &= 0 \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$G(s) = \frac{0.0063}{s^2 + 0.31s + 0.01019} \quad (2.12)$$

Z Obr. 2.27 je zřejmé, že lineární model pro odchylku  $\pm 10\%$  od pracovního bodu velice dobře aproximuje nelineární resp. skutečný model.



Obrázek 2.28: Porovnání regulace na fyzikálním systému a jeho nelineárním modelu

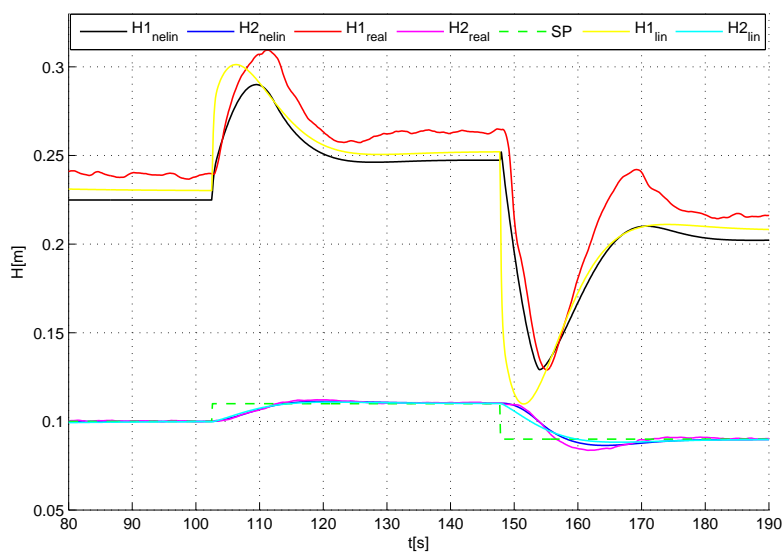
### 2.4.3 Návrh regulátoru

Simulinkový model pro ovládání modelu obsahuje pro filtraci měřeného signálu Butterworthův filtr 2. řádu, protože jsou tlakové senzory překvapivě citlivé na chvění, které generuje poměrně silné rušení, a bez filtrace není řízení možné. Proto jsem linearizovaný model rozšířil o jeho dynamiku a navrhl PID regulátor s filtrem (2.13). Na 2.28 je zobrazena regulace na nelineárním a skutečném modelu pro náběh modelu do pracovního bodu, na 2.29 je zobrazena regulace v pracovním bodě při změně žádané hodnoty o  $\pm 10\%$ .

$$PIDfa = 81.5 \frac{(s + 0.576)(s + 0.0576)}{s(s + 5.76)} \quad (2.13)$$

### 2.4.4 Využití modelu ve výuce

Model byl primárně navrhován pro výuku základů řízení. Z toho vychází i celková koncepce modelu. V současnosti je model hojně využíván ve výuce v předmětech *Systémy a modely* a *Systémy a řízení* k procvičení teoretických znalostí z identifikace, modelování a řízení systémů pomocí základních regulátorů. Modely je možné využít i pro testování



Obrázek 2.29: Porovnání regulace na fyzikálním systému a jeho nelineárním modelu v pracovním bodě

složitějších regulátorů jako jsou LQ nebo prediktivní regulátory.

Druhou třídou úloh je výuka řízení pomocí programovatelných automatů. Zde je možné realizovat celou řadu úloh počínaje základním ovládáním a řízením modelu pomocí vstupů výstupů až po úlohy komplexnější zahrnující vizualizaci nebo řízení několika modelů.

Pro potřeby výuky jsou k modelu vytvořeny demonstrační programy, jak pro řízení pomocí Matlabu (2.3.2.2), tak pro řízení pomocí PAC. Vše je na přiloženém CD v adresáři Matlab resp. PAC.

## 2.5 Základní technické parametry modelu

Napájení	24 V ss
Výška modelu	85 cm
Šířka modelu	50 cm
Hloubka modelu	30 cm
Objem zásobní nádrže	7 l
Objem pracovní nádrže	2 l

Tabulka 2.4: Základní technické parametry modelu



# Kapitola 3

## Distribuovaný řídicí systém

Úkolem této diplomové práce je vybudování distribuovaného řídicího systému v laboratoři K23 (Allen - Bradley), který bude sloužit ke komplexnímu řízení laboratorních modelů průmyslovými automaty. Celá laboratoř je vybavena produkty firmy Rockwell Automation, která dodává kompletní sortiment pro návrh automatizovaných systémů. Základním prvkem tohoto řídicího systému jsou automaty řady Logix. Součástí systému je uživatelské rozhraní v podobě vizualizace.

### 3.1 Integrated Architecture

Rockwell Automation dodává kompletní řešení pro všechny úrovně řídicího systému - Integrated Architecture. Toto řešení můžeme pomyslně rozdělit na dvě části:

- Logix Control Platform,
- FactoryTalk suite.

Výhodou takového komplexního systému je velice dobrá kompatibilita, snadná možnost rozšíření, spolehlivost a v neposlední řadě i snazší uvedení do provozu.

#### 3.1.1 Logix Control Platform

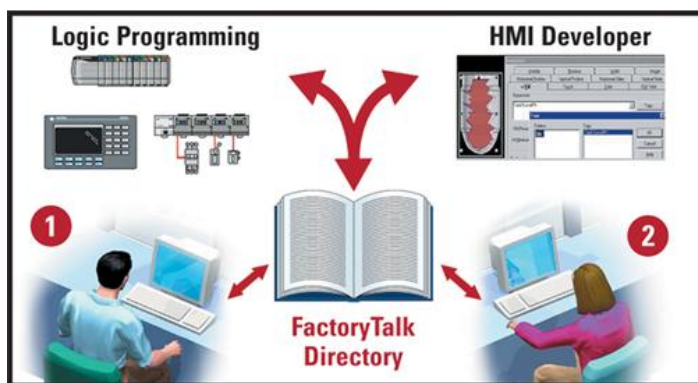
Řídicí systém je postaven na kontrolérech řady Logix (ControlLogix, CompactLogix, GuardLogix atd.) a kompatibilním hardwaru. Tato architektura umožňuje flexibilní nastavení pro konkrétní aplikace. Všechny kontroléry jsou schopny využívat komunikační sítě

NetLinx. Popis sítí je možné najít např. v diplomové práci [10]. Pro všechny kontroléry je společné vývojové prostředí *RSLogix 5000* umožňující použít k programování čtyři jazyky: žebříčkový diagram (LAD), strukturovaný text (ST), funkční bloky (FBD) a sekvenční diagram (SFC). Pro vytváření vizualizace existuje vývojové prostředí *RSView Studio*, které je podrobněji popsáno v kapitole 4.

### 3.1.2 FactoryTalk suite

FactoryTalk zprostředkovává data a služby z řídicího systému do vyšších úrovní počínaje operátorskými pracovišti a konče managementem firmy. Obsahuje nástroje pro návrh a konfiguraci systému, nástroje pro správu dat, kontrolu kvality nebo zobrazování informací z řídicího systému. Mimo jiné poskytuje nástroj pro správu, konfiguraci a ochranu aplikací podporujících FactoryTalk - *FactoryTalk Administration Console* (3.1.2.1).

Všechny produkty podporující platformu FactoryTalk používají FactoryTalk Directory ke sdílení dat jako jsou adresy, přístupová práva, datové struktury apod. FactoryTalk Directory spravuje a poskytuje reference na jakoukoli část řídicího systému. Na Obr. 3.1 je ilustrována struktura systému využívajícího FactoryTalk Directory.



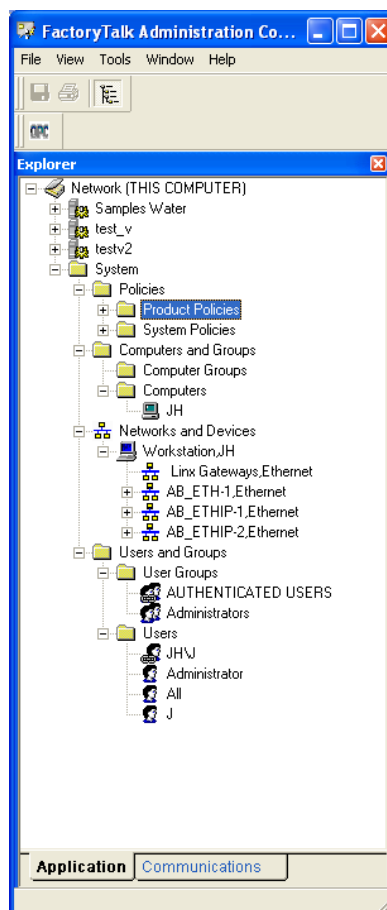
Obrázek 3.1: FactoryTalk Directory

FactoryTalk používá dva oddělené adresáře: Local Directory a Network Directory. FactoryTalk Local Directory spravuje veškeré informace o projektu a potřebný software. Vše je uloženo na lokálním počítači a není možné sdílet informace po síti. Oproti tomu FactoryTalk Network Directory organizuje projekt z několika míst (počítačů) po síti. Na jednom počítači je možné používat oba adresáře, každý má vlastní data a není možné

tato data sdílet mezi jednotlivými adresáři. Adresář, který se bude používat závisí na softwaru který se používá v projektu.

### 3.1.2.1 FactoryTalk Administration Console

Nástroj pro správu systému využívajícího FactoryTalk je FactoryTalk Administration Console. Během instalace je vytvořen účet administrátora pro Local a Network Directory. Při spuštění je nutné vybrat aktuální adresář (Local nebo Network) a přihlásit se platným uživatelským jménem a heslem pro administrátora. Po spuštění je v okně *Explorer* (Obr. 3.2) možné procházet aktuální adresář, tj. všechny projekty a systémová nastavení.

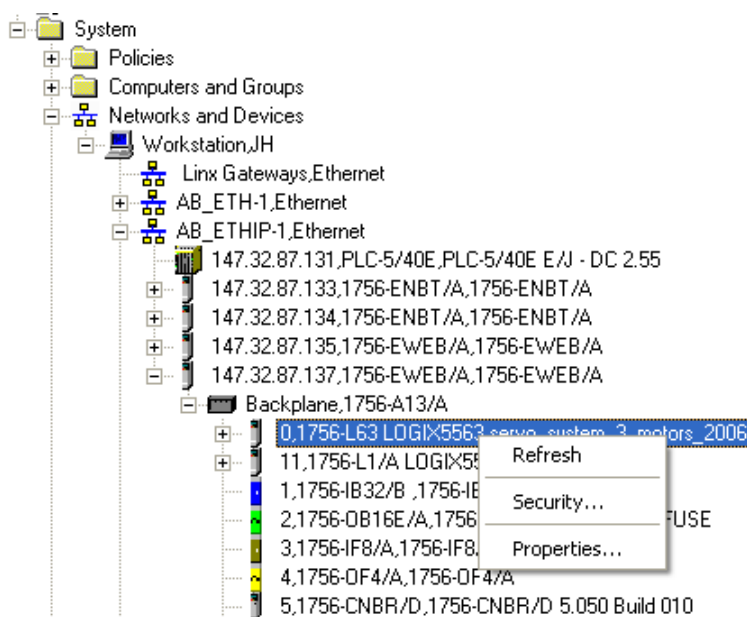


Obrázek 3.2: FactoryTalk Administration Console

Ve složce *System* jsou 4 složky obsahující systémová nastavení:

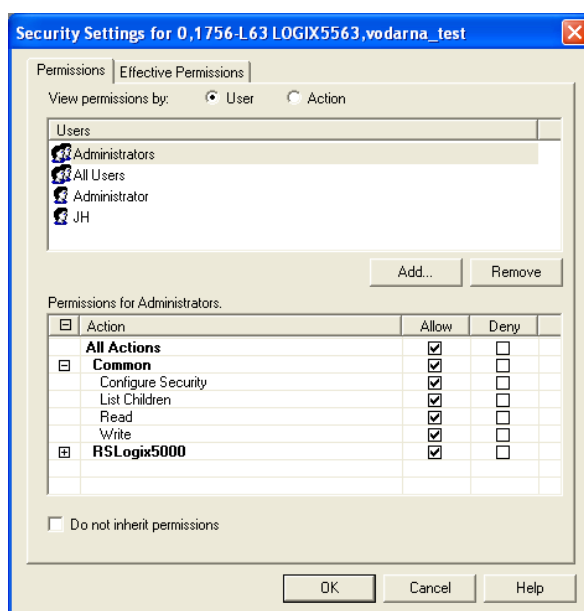
- Policies - definice práv jednotlivých uživatelů pro konkrétní produkty,
- Computers and Groups - správa počítačů a skupin počítačů, které mají přístup do systému s FactoryTalk,
- Networks and Devices - nastavení bezpečnostních pravidel pro uživatele na konkrétním hardwaru,
- Users and Groups - správa uživatelů a skupin uživatelů.

Pro správnou činnost celého systému je vhodné vytvořit nového uživatele (*System* → *Users and Groups* – pravým tlačítkem myši na položce *Users* vybrat *New*). Pro lokální přístup se přidá uživatel do skupiny *Authenticated Users*, pokud taková skupina neexistuje vytvoří se stejně jako nový uživatel a vybere se *Windows Linked Users Group*. Dalším krokem je definování práv pro uživatele resp. skupinu uživatelů. To se provede ve složce *Networks and Devices*, kde se vybere konkrétní zařízení a pravým tlačítkem se zvolí možnost *Security* (Obr. 3.3). Na Obr. 3.4 je vidět okno umožňující nastavování práv. V horní části se tlačítkem *Add* přidají uživatelé, případně skupiny, v dolní části se ve sloupci *Allow* nebo *Deny* zaškrtnou požadovaná políčka. Pokud chceme nastavit neomezená práva na daném zařízení, je možné označit políčko *Allow* v řádku *All Actions*.



Obrázek 3.3: Procházení sítě ve FactoryTalk Administration Console

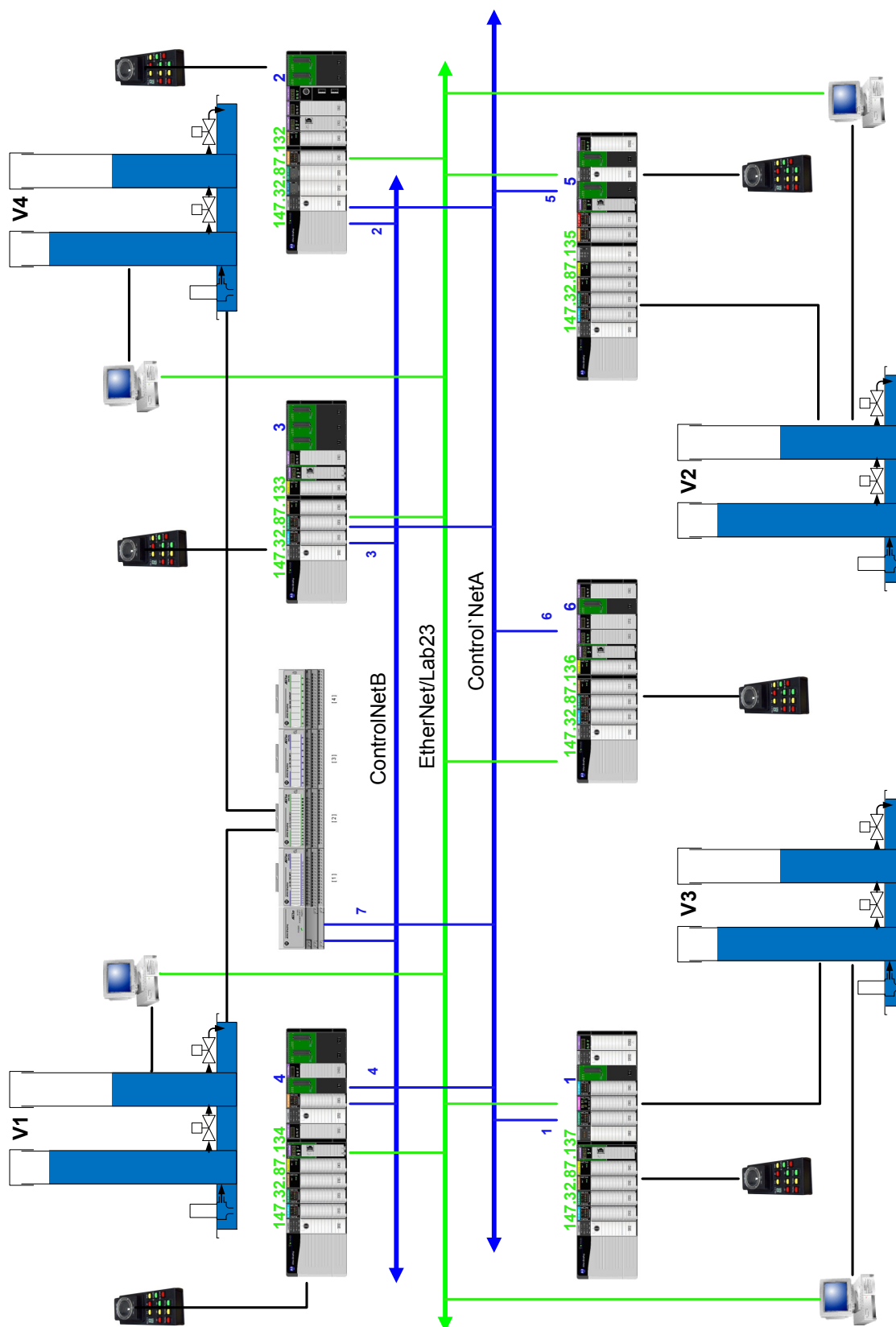
Práva se dědí z nadřazených vrstev, tzn. pokud je na úrovni ethernetového driveru povoleno danému uživateli vše, je to implicitně nastaveno i pro všechna zařízení dále. Je možné práva lokálně změnit, což bude mít vyšší prioritu než vlastnost zděděná z vyšších vrstev. Zděděná práva jsou označena šedou barvou, černě je značeno lokální nastavení (Obr. 3.4).



Obrázek 3.4: Okno pro nastavování práv ve FactoryTalk Administration Console

## 3.2 Zapojení sítě v laboratoři K23

Tento řídicí systém využívá síť Ethernet, EthernetIP a ControlNet. Rozvržení sítě společně s adresami jednotlivých kontrolérů je uvedeno na Obr. 3.5. Část sítě ControlNet je redundantní, připravená pro zálohovaný systém. V zapojení, které je uvedeno na Obr. 3.5, nelze redundanci využít. Redundance je možná pouze v plně redundantní síti a pro její použití je nutné síť na vhodném místě rozpojit.



Obrázek 3.5: Schéma distribuovaného řídicího systému laboratoři K23

### 3.3 Připojení laboratorních modelů

Všechny modely jsou připojeny ke kontrolérům pomocí konektorů CANON umístěných v zadní části modelu (Obr. 2.20), a popsaných v 2.2. Stejné konektory jsou i u každého kontroléru pro jeho snadné odpojení.

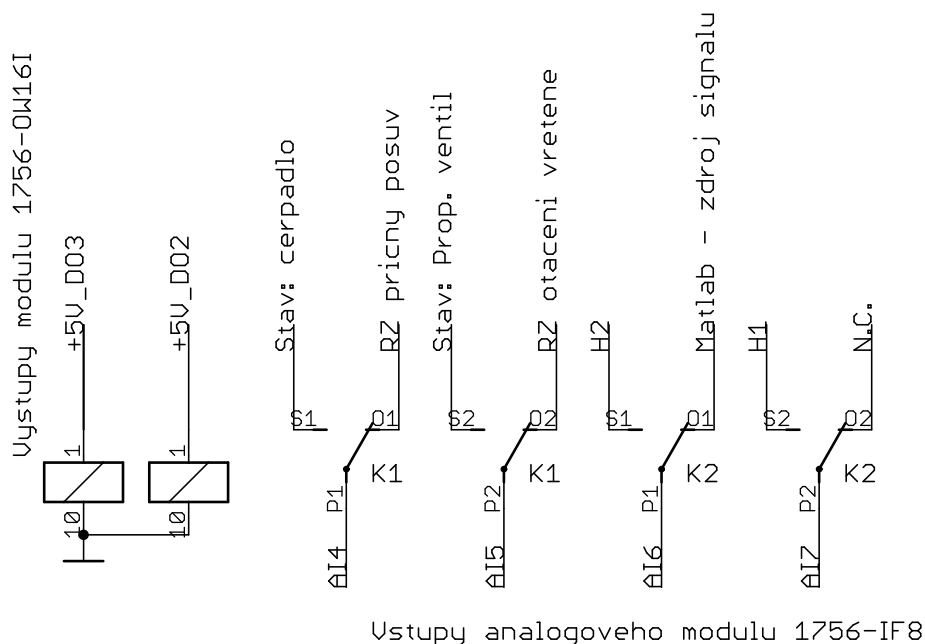
#### 3.3.1 V1 a V4

Laboratorní modely V1 a V4 jsou připojeny ke vzdáleným vstupům Flex I/O v konfiguraci: vstupní digitální modul 1794-IB16, výstupní digitální modul 1794-OB16, vstupní analogový modul 1794-IE8, výstupní analogový modul 1794-OE4 a komunikační jednotka 1794-ACNR15/C. Přesné zapojení jednotlivých pinů je uvedeno v E.2. Automat 147.32.87.134 je osazen dvěma procesory, novým L63 a prvním logixovým procesorem L1, který vlastní tyto vzdálené moduly a po ControlNetu z nich čte data. Ta posléze zprostředkovává jak pro druhý procesor na stejném šasi, tak pro libovolný jiný automat připojený do sítě ControlNet, kam jsou data z laboratorního modelu posílána pomocí produkováných tagů.

#### 3.3.2 V2

Model je připojen k automatu s adresou 147.32.87.135, který současně slouží pro ovládání modelu lineárního servomechanismu popsaného v [8] a polohovacího přípravku. Pro připojení V2 jsou použity následující moduly: vstupní digitální modul 1756-IN16 (7), výstupní reléový modul 1756-OW16I (6), vstupní analogový modul 1756-IF8 (3) a výstupní analogový modul 1756-OF6 (4). Přesný popis zapojení jednotlivých pinů je uveden v příloze E.3 a podrobný popis jednotlivých modulů je možné nalézt v [1].

Před připojením modelu spojených nádrží k automatu, byly digitální výstupy napájeny ze zdroje v modelu lineárního servomechanismu. Toto řešení nebylo možné použít, proto jsem upravil zapojení konektoru pro propojení modelu s automatem a na pinu 9 je do automatu trvale přivedeno +5 V, pokud je model alespoň ve stavu StandBy. Kartou 1756-OW16I lze spínat přivedené napětí a je tedy možné ovládat model spojených nádrží pomocí digitálních signálů. Dále se muselo vyřešit obsazení analogových vstupů. Před připojením modelu spojených nádrží bylo možné použít dva vstupní analogové kanály, ale nutné jsou čtyři. Proto jsem před analogové vstupy zařadil reléový přepínač (Obr. 3.6), který je ovládán z automatu.



Obrázek 3.6: Releový přepínač analogových vstupů

Dále nebylo možné využít volné vstupy karty 1756-IB32 (1). Připojením laboratorního modelu se společnou zemí pro všechny signály a napájeného pouze kladným napětím, došlo ke zkratování záporné části napájecího zdroje servomechanismu. Tento problém bylo možné vyřešit pouze použitím další vstupní karty nebo použitím karty s izolovanými vstupy a přepojením stávajícího modelu.

Stejně jako v předchozím případě, je šasi osazeno dvěma procesory, kde L1 (0) vlastní moduly a všechny potřebné tagy produkuje na ControlNet a lokální sběrnici ControlBus (Backplane) pro L62 (10).

### 3.3.3 V3

Tento model je připojen k automatu s IP adresou 147.32.87.137, který současně slouží pro ovládání modelu převýjecího stroje popsaného v [12] a polohovacího přípravku popsaného v [7]. Pro připojení V3 jsou použity moduly: vstupní digitální modul 1756-IB32 (9), výstupní digitální modul 1756-OB16E (2), vstupní analogový modul 1756-IF8 (3) a výstupní analogový modul 1756-OF4 (4). Přesný popis zapojení jednotlivých pinů je uveden v příloze E.4 a podrobný popis jednotlivých modulů je možné nalézt v [1].



Stejně jako ve všech předchozích případech, je šasi osazeno dvěma procesory, kde L1 (11) je vlastníkem modulů a produkuje a konzumuje všechny potřebné tagy.

### 3.4 Funkce řídicího systému

Každý kontrolér připojený k modelu spojených nádrží je osazen dvěma procesory. Prvním logixovým procesorem L1 a novějším typem L62 nebo L63. L1 je vždy použit pro zprostředkování vstupů a výstupů ostatním procesorům (kontrolérům). Veškerá komunikace mezi kontroléry probíhá po ControlNetu nebo po lokální sběrnici ControlBus (Backplane) pomocí produkovaných/konzumovaných tagů. Pro zjednodušení komunikace jsem vytvořil dvě uživatelské struktury, *Vodarna.in* a *Vodarna.out*, popsané v Tab. 3.2 resp. Tab. 3.1. L1 vždy produkuje jednu nebo více struktur *Vodarna.in*, podle toho kolik modelů obsluhuje a konzumuje struktury *Vodarna.out* z různých řídicích míst. Možné způsoby řízení jsou popsány v následujících kapitolách.

pv	REAL	Proporcionální ventil
ce	REAL	Čerpadlo
SP	REAL	Žádaná hodnota při PID regulaci
pid_P	REAL	P konstanta pro PID
pid_I	REAL	I konstanta pro PID
pid_D	REAL	D konstanta pro PID
pid_en	BOOL	Zapnutí PID regulace
on	BOOL	Zapnutí modelu
dv	BOOL	Ovládání digitálního ventilu
demo	BOOL	zapnutí demo programu

Tabulka 3.1: Struktura *Vodarna.out*

#### 3.4.1 Lokální řízení modelu

Každý model je principiálně možné řídit z libovolného kontroléru v laboratoři. Podmínkou je funkční připojení do sítě ControlNet. Při tvorbě programu je nutné do hardwarové konfigurace přidat jeden ze tří procesorů L1, které poskytují přístup k modelům.

h1	REAL	Výška hladiny v levé nádrži
h2	REAL	Výška hladiny v pravé nádrži
pv_stat	REAL	Stav proporcionálního ventilu
ce_stat	REAL	Stav nastavení čerpadla
pid_P	REAL	Stav P konstanty PID
pid_I	REAL	Stav I konstanty PID
pid_D	REAL	Stav D konstanty PID
on_stat	BOOL	Stav zapnutí
dv_stat	BOOL	Stav digitálního ventilu
pid_en	BOOL	Stav povolení PID řízení
A	BOOL	Signál A
B	BOOL	Signál B

Tabulka 3.2: Struktura *Vodarna\_in*

Nastavení automatu pro produkování a konzumování tagů je popsáno např. v [10]. Komunikace na síti je nastavena s  $RPI = 80$  ms.

Pro ovládání modelu je nutné produkovat strukturu *Vodarna\_out*, ve které jsou buď přímo akční zásahy a regulace se počítá ve vlastním programu, nebo je nastaven bit *pid\_en* a posílá se žádaná hodnota a konstanty pro PID, pokud nechceme použít přednastavené konstanty. Měřená data jsou komunikačním procesorem posílána ve struktuře *Vodarna\_out*. Ke kontrolérům s IP adresou 147.32.87.135 a 147.32.87.137 jsou připojené i další modely využívající stejné moduly. Vzhledem k tomu, že modul může vlastnit pouze jeden procesor, tak je nutné příslušné vstupy a výstupy zprostředkovat i pro ostatní modely pomocí produkovaných tagů. Jsou vytvořeny struktury *PolohaIn* a *PolohaOut* (Tab. 3.3), sloužící pro ovládání polohovacího přípravku popsaného v [7]. Aby nebylo nutné vždy nastavovat konfiguraci v programu, jsou vytvořeny přednastavené programy, kde jsou vstupy a výstupy zpřístupněny jako lokální tagy. Všechny programy, jak pro polohovací zařízení, tak pro řízení modelů spojených nádrží jsou na přiloženém CD v adresáři PAC/Vyuka.

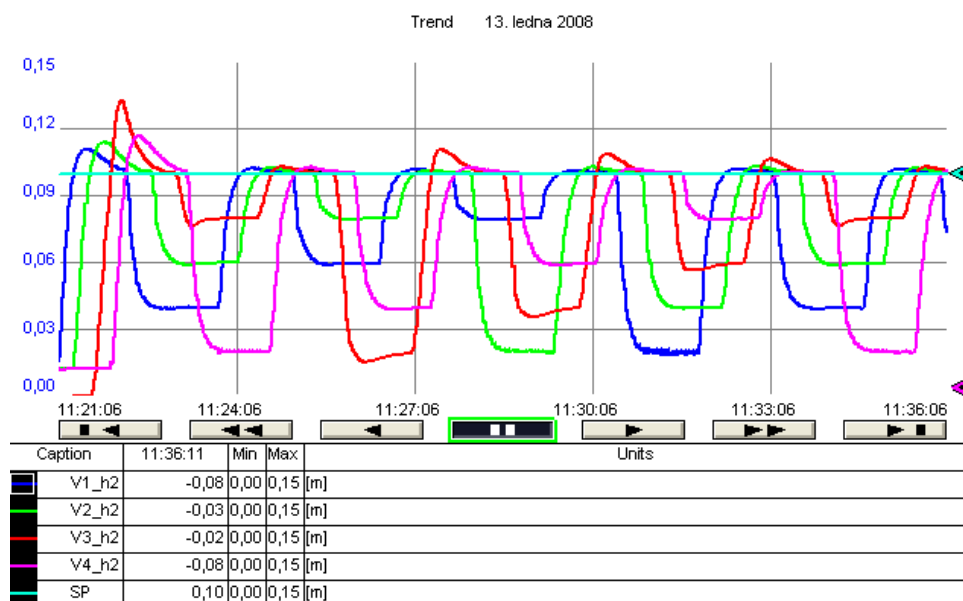
### 3.4.2 Řízení distribuovaného systému a demonstrace

Distribuovaný řídicí systém obsluhuje všechny čtyři modely spojených nádrží. Pro účely této práce je naprogramováno sekvenční napouštění a vypouštění jednotlivých mo-

<i>PolohaOut</i>		<i>PolohaIn</i>	
seg1	BOOL	T0	BOOL
seg2	BOOL	T1	BOOL
seg3	BOOL	T2	BOOL
seg4	BOOL	T3	BOOL
seg5	BOOL	T4	BOOL
seg6	BOOL	P5	BOOL
seg7	BOOL	P6	BOOL
seg8	BOOL	P7	BOOL
LED1	BOOL	P8	BOOL
LED2	BOOL	Poz1	BOOL
LED3	BOOL	Poz2	BOOL
LED4	BOOL	Poz3	BOOL
LED5	BOOL	Poz4	BOOL
LED6	BOOL	Poz5	BOOL
MotorOn	BOOL	Poz6	BOOL
smer	BOOL		
AnalogOut	REAL	AnalogIn	REAL

Tabulka 3.3: Struktura *PolohaIn* a *PolohaOut*

delů. Po spuštění se začne napouštět první model a reguluje hladinu v pravém zásobníku na žádanou hodnotu. V okamžiku kdy tato hladina dosáhne požadované hodnoty, začne se napouštět druhý model. Takto se pokračuje do okamžiku, kdy čtvrtý model dosáhne žádané hodnoty a začne se vypouštět první model na hodnotu 0,2 SP (Set Point). Další modely se postupně vypouští na hodnoty 0,4 SP, 0,6 SP a 0,8 SP. Po vypuštění posledního modelu se cyklus opakuje s tím, že se změní limity vypouštění. Celou sekvenci nejlépe ukazuje Obr. 3.7 Hlavní řídicí program je uložen v procesoru L1 v automatu s IP adresou 147.32.87.134 a sbírá hodnoty z jednotlivých modelů. Na jejich základě počítá žádané hodnoty pro jednotlivé modely. Veškerá komunikace probíhá po síti ControlNet pomocí produkovaných a konzumovaných proměnných uložených v uživatelských strukturách *Vodarna\_in* a *Vodarna\_out* s ostatními procesory L1. Program je odolný vůči výpadku komunikace na síti ControlNet. V každém procesoru se testuje stavové slovo komunikačního modulu. Při zjištění výpadku komunikace, pokračuje automat v re-



Obrázek 3.7: Průběh demonstračního programu

gulaci podle posledních dostupných informací. Pokud do 15 minut nedojde k obnovení komunikace, automat vypíná model Vodárny. Ostatní automaty pokračují ve vykonávání programu a nepřítomný kontroler ignorují. Při obnovení komunikace se automat plynule zapojí do činnosti celého systému.

Výše popsany program pro distribuované řízení je určený zejména pro demonstraci, proto komunikuje pouze s procesory L1 a nepotřebuje žádné specifické programy nahrané v jiných procesorech. Po spuštění jsou všechny ostatní programy pro lokální řízení ignorovány. Aby nenastalo zablokování systému dojde k automatickému vypnutí po 15 minutách. Demonstraci je možné ovládat z vizualizace (4) nebo přímo v programu nastavením tagů *Start\_Demo* pro zapnutí demonstrace a žádané hodnoty pro demonstraci ve struktuře *v2\_out\_demo.SP*.

# Kapitola 4

## Vizualizace

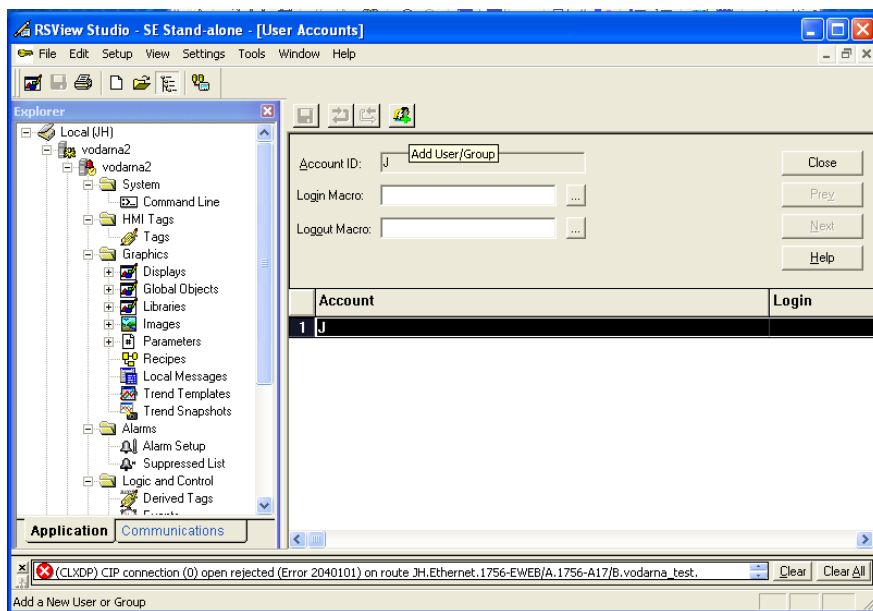
K řídicímu systému popsanému v kapitole 3, je v prostředí RSView SE vytvořena vizualizace umožňující kompletní řízení a monitoring modelů spojených nádrží. Vizualizaci je možné využít jednak pro správu jednotlivých modelů separátně nebo pro ovládání distribuovaného řídicího systému jako celku.

### 4.1 RSView SE

Rockwell Automation dodává vizualizační software RSView Studio. Tento softwarový balík se skládá ze tří částí:

- RSView ME (Machine Edition) - určeno pro vytváření vizualizace pro panely operátora řady PanelView Plus,
- RSView SE Stand-alone (Supervisory Edition) - určeno pro vizualizace na jednom PC,
- RSView SE Distributed - určeno pro vizualizace na PC, oproti verzi Stand - Alone umožňuje redundanci HMI, data serveru atd.

V této práci bylo pro vytvoření vizualizace použito prostředí RSView SE Stand-alone. Po založení nového projektu je nutné definovat uživatele, kteří budou moci vizualizaci spouštět a ovládat. To předpokládá, že systém již má nakonfigurován FactoryTalk Directory a vytvořeny uživatelské účty (3.1.2.1). Nyní je nutné vytvořit uživatelské účty i v RSView, to se provede v menu *Settings* → *RSView User Accounts...* Nový uživatel se přidá ikonkou *Add User/Group* (Obr. 4.1).



Obrázek 4.1: RSVIEW SE - přidání nového uživatele

Podobně jako při nastavování práv uživatelů ve FactoryTalk (3.1.2.1) se i zde nastaví práva pro uživatele. Pokud jsou vytvořeni uživatelé, je možné přejít k vytváření jednotlivých obrazovek. Vizualizaci je možné spustit v RSVIEW SE Client, kde bude vyžadováno uživatelské jméno a heslo uživatele, který má oprávnění spouštět tuto vizualizaci.

Vytváření jednotlivých panelů vizualizace je do značné míry intuitivní a není nutné jej popisovat. Za zmínku stojí možnost vkládání ActiveX objektů do panelů vizualizace. Toho je využito pro zobrazení obrazu z kamery. Do příslušné obrazovky se vloží ActiveX prvek typu *Microsoft Web Browser*. Dále je nutné vytvořit makro, do kterého se zapíše následující řádek:

**Invoke NazevObrazovky.NazevActiveXprvku.navigate2("http://....")**

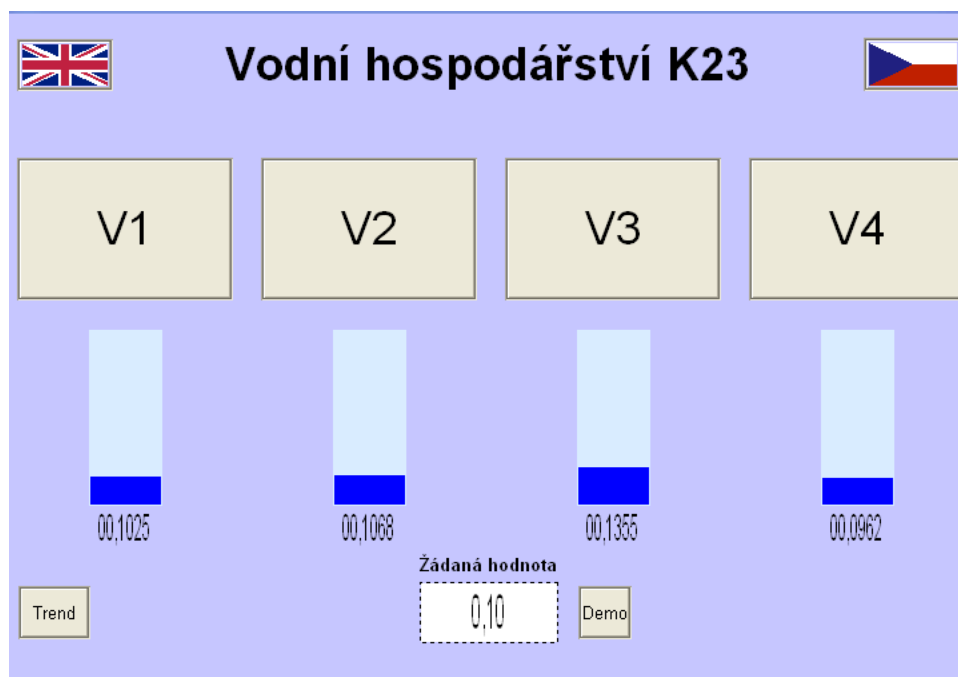
Poslední bodem je zavolání tohoto makra při spouštění příslušné obrazovky (DisplaySettings → Behavior → Commands → Startup). Takto je možné spouštět libovolnou webovou stránku v okně vizualizace. Obdobným postupem je možné vložit i další ActiveX prvky.

Pro spouštění vizualizace na libovolném počítači slouží program *RSVIEW SE Client*. Při prvním spuštění je nutné vytvořit konfigurační soubor, ve kterém se specifikují para-

metry pro spuštění vizualizace, např. jazyk nebo hlavní obrazovka a parametry pro její spuštění.

## 4.2 Hlavní obrazovka

Tato obrazovka je centrálním prvkem celé vizualizace. Pomocí tlačítek se znaky vlajek v horních rozích obrazovky je možné měnit jazyk celé vizualizace. Tlačítka  $V1 - V4$  je možné otevřít okno 4.3, ze kterého je možné ovládat model. Bargrafy pod tlačítka  $V1 - V4$  ukazují výšku hladiny v pravém zásobníku příslušného modelu. Tlačítkem *Demo* je možné spustit demonstrační program popsany v 3.4.2. Žádaná hodnota pro demonstraci se zadává v příslušném políčku na hlavní obrazovce. Poslední tlačítko *Trend* otevře okno s časovými průběhy hladin jednotlivých modelů.

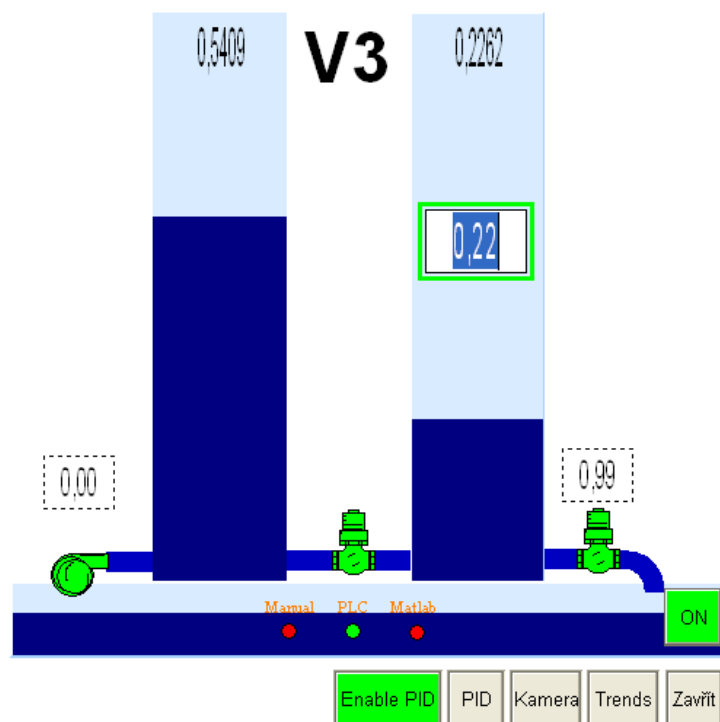


Obrázek 4.2: Hlavní obrazovka

### 4.3 Ovládání modelu

Z této obrazovky je možné ovládat laboratorní model. Tlačítkem *On* je možné model zapínat nebo vypínat. Kontrolky ve středu zásobní nádrže indikují aktuální řídicí místo (Manual, Matlab, PAC). Stav digitálního ventilu se změní po kliknutí na jeho ikonu. Řídicí signál pro čerpadlo a proporcionální ventil se zadává do políček nad příslušnými prvky v rozsahu 0–1.

Pro PID regulaci je nutné povolit PID regulátor tlačítkem *Enable PID*, zadat požadovanou hodnotu do políčka uprostřed pravého zásobníku a na obrazovce PID nastavit konstanty pro PID regulátor. Tlačítko *Kamera* je pouze u modelu V3, a umožňuje sledovat model pomocí webové kamery.



Obrázek 4.3: Obrazovka pro ovládání modelu V3

#### 4.3.1 Nastavení PID

Obrazovka **Nastavení PID regulátoru** umožňuje nastavování PID regulátoru. Je zobrazena aktuální a požadovaná hodnota pro jednotlivé složky PID regulátoru a tlačítkem *Obnovit* je možné nastavit původní hodnoty. Okno je stejné pro všechny PID regulátory.



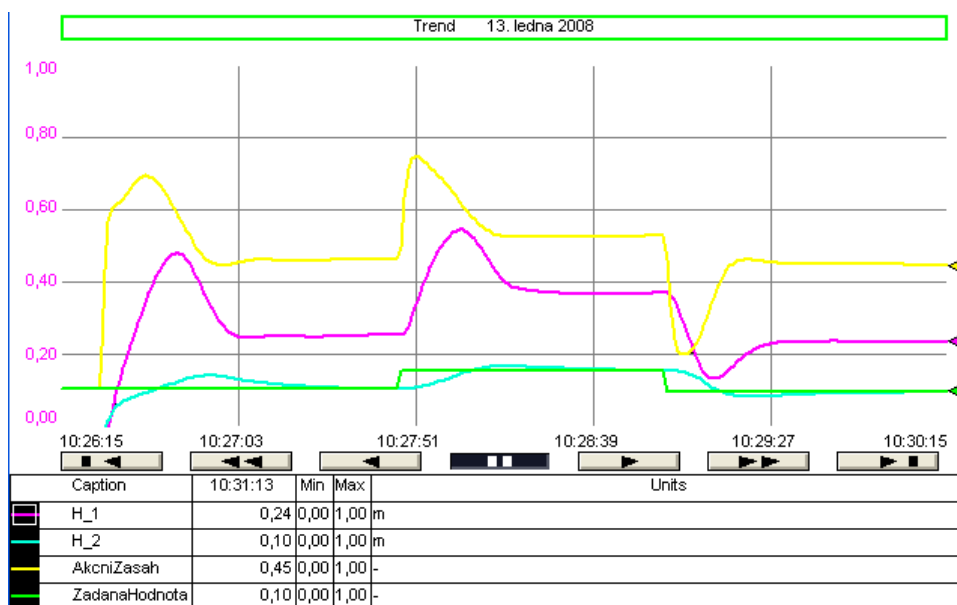
**Nastavení PID**

	Aktuální hodnota	Požadovaná hodnota
P	5,0000	<input type="text" value="5,0000"/>
I	0,3000	<input type="text" value="0,3000"/>
D	20,0000	<input type="text" value="20,0000"/>

Obrázek 4.4: Okno Nastavení PID regulátoru

### 4.3.2 Obrazovka časových průběhů

Na Obr. 4.5 je zobrazena obrazovka časových průběhů. Jsou vykreslovány čtyři průběhy: výška hladiny v levé resp. pravé nádrži, žádaná hodnota a akční zásah na čerpadlo. Použité barvy jsou stejné jako v Simulinkovém modelu prezentovaném v sekci 2.3.2.2.



Obrázek 4.5: Obrazovka časových průběhů při ovládání konkrétního modelu z vizualizace



## Kapitola 5

# Vzdálené řízení pomocí internetu

Pro webové řízení vodárny se využívají jazyky html, javascript, java applet a dvě základní ASP funkce, které poskytuje webový server 1756-EWEB/A. Java applet se používá pro zobrazení změřených dat a video signálu z webové kamery. Javascript se používá pro vytvoření dynamických stránek. Pro webové řízení zatím není použit systém využívající ActionScript vytvořený v rámci diplomové práce [10], protože v době vytváření této diplomové práce nebyl zpřístupněn server s tímto systémem.

Webová prezentace poskytuje několik základních funkcí. Na úvodní stránce je uveden základní popis modelu. Na levé straně je navigační lišta, kde jsou odkazy na vzdálené ovládání a demonstrační program. V demonstračním režimu je možné na kameře sledovat spuštěný systém s PID regulací. Uživatel nemá žádnou možnost ovlivnit průběh regulace. Nejzajímavější částí prezentace je vzdálené řízení modelu (Obr. 5.1). Zde je možné model ovládat přímo definováním řídicích signálů pro ventily a čerpadla. Rozsah analogových hodnot je 0–1, digitální hodnoty je možné zadávat 0/1 nebo TRUE/FALSE. Druhou možností je ovládání pomocí PID regulátoru, kde je možné nastavit jednotlivé konstanty a požadovanou hodnotu. Po zapnutí modelu je PID regulace vypnuta a model reaguje na hodnoty zapsané do vstupních políček. PID regulaci je možné zapnout tlačítkem OK v sekci PID regulátor.

Součástí internetové prezentace je rezervační systém. Nad obrazem z kamery je uživatel informován o aktuálním stavu modelu. Pokud je již model, řízen nelze model ovládat. V opačném případě je možné začít ovládání modelu stisknutím tlačítka *Zapnout* a zároveň tím model rezervovat. Výjimkou je situace, kdy je model ovládán lokálně z panelu. V tomto případě je možné řízení převzít. Při řízení z internetu dojde po deseti minutách k automatickému vypnutí modelu. Čas, který zbývá do vypnutí modelu, je zobrazen ve stavové popisu nad obrazem kamery. Pro delší práci je nutné model znovu zapnout.

Další funkce webového řízení, jako je vykreslování grafů, ukládání naměřených hodnot apod. nejsou z časových důvodů a nedostupnosti serveru s potřebným systémem implementovány.

Webová prezentace je dostupná na adrese <http://147.32.87.137>. Funkce byla ověřena na prohlížečích Internet Explorer 6 a 7, FireFox 2 a Opera 9.

Dnes je sobota, 19. 1. 2008.
Home | Sitemap | DCE

# Allen-Bradley Laboratory

Popis modelu  
Demonstrace  
**Vzdálené ovládání**  
Odkazy

## Vzdálené ovládání

Model máte rezervován na dobu 9:19 minut.

15:09:44  
Zapnout Vypnout  
Digitální ventil  
FALSE  OK  
Proportionalní ventil  
0.990184  OK  
Čerpadlo  
0.492128  OK  
H1[m] H2[m]  
0.270847 0.089840  
PID regulátor  
P 5.000000   
I 0.300000   
D 20.000000   
SP   OK

CTU - DCE © 2008

Obrázek 5.1: Vzdálené řízení pomocí internetu

# Kapitola 6

## Závěr

V práci se podařilo splnit několik úkolů. Jedním byl návrh a konstrukce laboratorního modelu Vodárna. Podařilo se vyrobit čtyři modely, všechny mají stejné rozměry a jsou osazeny stejnými prvky. Pro potřeby výuky mají záměrně upravenou dynamiku omezením průřezu výtokového otvoru čerpadla. Tato úprava zaručuje rozdílnost modelů a brání použití výsledků dosažených na jednom z modelů na modelu jiném. Dále jsou od sebe modely rozlišeny konfigurací ventilů, na dvou modelech jsou střední ventily proporcionální a výtokové digitální, na zbývajících dvou modelech je to obráceně. Všechny modely jsou osazeny průmyslovými akčními členy a snímači, mají prioritní systém předávání řízení a podařilo se dosáhnout požadovanou dobu ustálení v jednotkách minut. Tato doba je dostatečná pro rychlou práci s modelem v laboratoři a zároveň umožňuje vzdálené řízení přes internet.

Řídicí jednotka na základě prioritního rozhodování předává řízení mezi třemi místy: programovatelným automatem, počítačem s programem Matlab a lokálním ovládacím panelem. V modelu je osazena druhá verze řídicí jednotky, která vznikla na základě zkušeností získaných po jednosemestrovém provozu první verze. Řídicí jednotku lze použít i pro jiné laboratorní modely. Příkladem může být model vodní elektrárny, ve kterém jsou použity dvě tyto jednotky.

Při realizaci a především při testování se ukázalo několik nedostatků. Jedním z problémů je citlivost hladinového snímače na vibrace, které se šíří kapalinou. Zdrojem je pravděpodobně samotné čerpadlo, ale projevují se i otřesy způsobené vně modelu, např. bouchnutí do stolu, vibrace v podlaze atd. Dojde k rozhoupání hladiny, což se projeví jako šum při měření a je nutné tento signál filtrovat. Přestože se tato vlastnost snímačů při návrhu neuvažovala, ukazuje se jako výhodná pro potřeby výuky, přibližuje jí tak více k praxi. Další problém, který se ukázal při realizaci, je nesterilní chování vstupních obvodů PC nebo

PAC v zapnutém a vypnutém stavu. U PC se tento problém podařilo vyřešit výměnou měřicí karty, u PAC ve kterých jsou použity lokální I/O karty je problém vyřešen trvalým zapnutím PAC, což je také nutná podmínka pro zajištění vzdáleného řízení pomocí internetu (oba kontroléry poskytují tuto možnost). Moduly Flex I/O nemají výše popsané nedostatky.

Distribuovaný řídicí systém využívá pro komunikaci mezi kontroléry ControlNet. Síť Ethernet a EthernetIP jsou použity pro komunikaci ve vyšších vrstvách řídicího systému. Každé šasi, ke kterému je připojen model Vodárny, je osazeno jednak procesorem L1 a pak novějším typem L62 nebo L63. V L1 je trvale nahrán program a procesor jako vlastník I/O modulů může vždy spustit prezentační program bez ohledu na činnost zbývajících částí sítě. K modelu vodárny je možné teoreticky přistupovat z libovolného kontroléru připojeného do sítě ControlNet pomocí produkovaných konzumovaných struktur *VodarnaIn* a *VodarnaOut*. Při rozpojení sítě, může automat ovládat pouze svůj model v rámci komunikace po lokální sběrnici ControlBus.

Vizualizace umožňuje ovládat každý model separátně nebo využít celý řídicí systém v rámci demonstračního programu. Při nedostupnosti některého kontroléru, je příslušný automat vynechán z vykonávaného programu a pokračuje se bez něj. Vizualizace je česky a anglicky.

Vzdálené řízení přes internet je k dispozici u modelu označeného V3. Využívá vlastnosti EWEB modulu, který slouží jako webový server. Na internetových stránkách je k dispozici popis modelu, demonstrační program pro V3 a stránka pro vzdálené ovládání, která dovoluje plně řídit model. Součástí je i rezervační systém zaručující právo ovládání pouze jednomu uživateli. Ostatní uživatelé jsou informováni o obsazenosti modelu a času zbývajícím do konce rezervace pro práci s modelem.

V budoucnu by mohl být celý řídicí systém rozšířen o další laboratorní modely a komunikační linky, jako je např. DeviceNet. Redundantní část sítě by mohla být využita pro ukázkou zálohovaného systému. Vzdálené řízení přes internet by mělo být rozšířeno o práci s daty, vykreslování grafů atd. Společně s tím by bylo vhodné vyřešit problém s obarvením provozní náplně Vodáren, aby byla hladina při vzdáleném řízení lepe viditelná.

# Literatura

- [1] Rockwell Automation. <http://literature.rockwellautomation.com/>, 2008. [online].
- [2] Rockwell Automation. <http://rockwellautomation/knowledgebase>, 2008. [online].
- [3] Atmel Corporation. [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2486.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf), 2008. [online].
- [4] Atmel Corporation. <http://www.atmel.com/avrstudio>, 2008. [online].
- [5] DELCOMp. <http://www.codevision.be/>, 2008. [online].
- [6] M. Janeček. *Model systému s dopravním zpožděním*. Bakalářská práce, ČVUT - FEL, Katedra řídicí techniky, Praha, 2007.
- [7] J. Kos. *Průmyslové modely a měření*. Diplomová práce, ČVUT - FEL, Katedra řídicí techniky, Praha, 2007.
- [8] J. Novák. *Model lineárního servomechanismu a jeho řízení*. Diplomová práce, ČVUT - FEL, Katedra řídicí techniky, Praha, 2004.
- [9] Z. Prokůpek. Web na ewebu. <http://147.32.87.135/user/web/Dokumenty/DCE-EWEB.pdf>, 2005. [online].
- [10] Z. Prokůpek. *EtherNet/IP pro průmyslové řízení*. Diplomová práce, ČVUT - FEL, Katedra řídicí techniky, Praha, 2007.
- [11] Johnson Pump. <http://www.dc-pump.cz/>, 2008. [online].
- [12] M. Roh. *Model průmyslového systému s rychlými servopohony*. Diplomová práce, ČVUT - FEL, Katedra řídicí techniky, Praha, 2007.

- [13] W3 schools. <http://www.w3schools.com/>, 2008. [online].
- [14] ASCO JOUCOMATIC s.r.o. <http://www.ascojoucomatic.cz/>, 2008. [online].
- [15] ASIX s.r.o. <http://www.asix.cz>, 2008. [online].
- [16] Smaris s.r.o. <http://www.smaris.cz/>, 2008. [online].
- [17] W3C. <http://validator.w3.org/>, 2008. [online].



# Příloha A

## Seznam zkratk

PAC	Programmable Automation Controller
PLC	Programmable Logic Controller
USB	Universal Serial Bus
PWM	Pulse-Width Modulation
SPI	Serial Peripheral Interface Bus
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit
TTL	Transistor—Transistor Logic
MOS-FET	Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor
RISC	Reduced Instruction Set Computer
USART	Universal Serial Asynchronous Receiver/Transmitter
ISP	In-System Programming
CNC	Computer Numerical Control
RPI	Request Packet Interval
ASP	Active Server Pages



# Příloha B

## Použitý software

RSNetWorx for ControlNet	5.11.00 (CPR 6)
RSLinux Classic	2.51.00.21 (CPR 7)
RSLinux Enterprise	
RSLogix5000	V15.02.00
	Revision 13, 15, 16
RSView Studio	4.00.00 (CPR 7)
RSView SE Client	4.00.00 (CPR 7)
FactoryTalk Administration Console	2.00.10.122
Integrated Architecture Builder	verze 6
CodeVisionAVR	
AVR Studio	verze 4.13
Matlab R2006a	verze 7.2.0.232
QCad Demo	verze 2.1.3.2
Asix UP	verze 2.29
MiKTeX	verze 2.5
Eagle Layout Editor	4.15
PSPad	verze 4.3.3



# Příloha C

## Obsah přiloženého CD

Výkresová dokumentace    Dokumentace pro výrobu plexisklového modelu  
Elektronika

Podklady pro výrobu	Podklady pro fu PragoBoard vy- generované z Eaglu
Eagle	Zdrojové soubory se schématy a tištěnými spoji pro Eagle
Seznamy součástek	textové soubory se seznamy součástek pro jednotlivé desky
Procesor	Zdrojové soubory pro procesor

Katalogové listy	Katalogové listy použité při návrhu modelu
Text	text této práce včetně všech použitých obrázků
Vizualizace	Zdrojové soubory pro RSview Studio a projekt pro RSViewSE Client
PAC	Zdrojové soubory pro automaty Logix
Web	Zdrojové soubory pro webovou prezentaci



# Příloha D

## Elektronická část

### D.1 Popis konektorů na deskách tištěného spoje

#### D.1.1 Deska ovládání

Pin	Matlab	PAC
1	A	A
2	ON/OFF	ON/OFF
3	B	B
4	výška $H_1$ [m]	výška $H_1$ [m]
5	GND	GND
6	výška $H_2$ [m]	výška $H_2$ [m]
7	Stav: čerpadlo	Stav: čerpadlo
8	řízení čerpadla (0–10 V)	řízení čerpadla (0–10 V)
9	Stav: prop. ventil	Stav: prop. ventil
10	řízení dig. ventilu	řízení dig. ventilu
11	Stav: dig. ventil status	Stav: dig. ventil
12	řízení prop. ventilu (0–10 V)	řízení prop. ventilu (0–10 V)
13	Stav: ON/OFF	Stav: ON/OFF
14	dig. vstup 2 - nepoužitý	dig. vstup 2 - nepoužitý
15	Stav: dig. vstup 2	Stav: dig. vstup 2
16	GND	GND

Tabulka D.1: Zapojení konektoru PAC a MATLAB na desce ovládání

Konektor *SUPP* je zapojen stejně jako konektor *SV1* na desce zdroje (Tab. D.3).

Pin	Manual
1	A
2	ON/OFF
3	B
4	výška $H_1$ [m]
5	GND
6	výška $H_2$ [m]]
7	Stav: prop. ventil
8	řízení čerpadla (0–10 V)
9	Stav: čerpadlo
10	řízení dig. ventilu
11	+5 V
12	řízení prop. ventilu (0–10 V)
13	Stav: ON/OFF
14	GND1 - není spojeno s GND!
15	9 V k GND1
16	+15 V
17	Stav: dig. ventil
18	GND
19	Stav: dig. vstup 2
20	dig. vstup 2

Tabulka D.2: Zapojení konektoru MANUAL na desce ovládání



## D.1.2 Deska zdroje

Pin	
1	výška $H_1$ [m]
2	výška $H_2$ [m]
3	GND
4	Stav: ON/OFF (0 - model vypnut, 1 - model zapnut)
5	řízení prop. ventilu (0–10 V)
6	řízení čerpadla (0–10 V)
7	řízení dig. ventilu (0/5 V)
8	GND
9	2 dig. výst. (nepoužitý)
10	+5 V
11	+15 V
12	+24 V
13	+10 V (pro PWM - nepoužito)
14	-15 V

Tabulka D.3: Zapojení konektoru SV1

Pin	
1	-15 V
2	+15 V
3-6	GND
7-9	+24 V - z modelu pro napájení senzoru a akčních členů
10	+24 V - externí napájení
11	2 digitální výstup (0/24 V)
12	Ovládání dig. v. (0/24 V)
13	Ovládání prop. v. (0–10 V)
14	Ovládání čerpadla (0–10 V)
15	N.C.
16	+5 V
17	$H_1$ (0–10 V)
18	$H_2$ (0–10 V)

Tabulka D.4: Zapojení svorkovnice

### D.1.3 Ovládací panel

Pin	Manual
1	A
2	ON/OFF
3	B
4	výška $H_1$ [m]
5	GND
6	výška $H_2$ [m]
7	Stav: prop. ventil
8	řízení čerpadla (0–10 V)
9	Stav: čerpadlo
10	řízení dig. ventilu
11	+5 V
12	řízení prop. ventilu (0–10 V)
13	Stav: ON
14	GND1 - není spojeno s GND!
15	9 V k GND1
16	+15 V

Tabulka D.5: Zapojení konektoru na desce ovládacího panelu

## D.2 Osazovací postup a oživení

### D.2.1 Deska zdroje

Dle Tab. D.7 se osadí zdrojová deska tištěného spoje. Zpočátku není nutné osazovat desku konektory, pouze se připojí napájení a změří se proudový odběr. Pokud je téměř nulový a na konektoru SV1 je na pinu 10 napětí +5 V, mělo by být vše v pořádku. Poté se na pin 4 konektoru SV1 připojí napětí +5 V (spojí se pin 10 a pin 4 rezistorem 1 k $\Omega$ ). Dojde k manuálnímu zapnutí desky zdroje. Nyní by se na konektoru SV1 měla naměřit všechna potřebná napětí. Trimrem  $R70$  se nastaví hodnota napětí  $V_-$  stejná hodnota napětí  $V_+$ .

Nyní je nutné nastavit rozsah výkonového zesilovače s obvodem  $IC7$ . Při nulovém vstupním napětí, musí být na výstupu 1,23–1,3 V. Toto nastavení se provede trimrem  $R27$

tak, že se nastaví na rozhraní, kdy je výstupní napětí již malé, ale při libovolném zvětšení se začne zvětšovat i výstupní napětí. Posléze se na vstup přivede maximální vstupní napětí a trimrem  $R26$  se nastaví maximální výstupní napětí. Trimr je nutné nastavit do takové polohy, že ihned při zmenšení vstupního napětí začne výstupní napětí klesat. Nyní by měl být nastaven maximální rozsah výstupního napětí. Nastavení výkonového zesilovače a ověření správné činnosti zbývajících prvků doporučuji provést až při finálním testování, tj. dohromady s ovládací deskou. Nastavování je nutné provádět se zátěží, může být tvořena např. rezistorem  $1\text{ k}\Omega/1\text{ W}$ .

### D.2.2 Deska ovládání

Nejdříve je nutné správně nastavit propojky  $SJ1 - SJ16$ , sloužící k volbě požadované funkce. Propojení pro model vodáren je vyznačeno žlutě na Obr. D.9. Dále se osadí deska dle Tab. D.8, ale je nutné vzít v úvahu opravy uvedené v D.2.2.1. Procesor je osazen do patice.

Po osazení této desky se připojí deska zdroje D.2.1 a **bez procesoru** se začne testovat správná funkce. Změří se napětí na všech pinech procesoru, nikde nesmí být více než  $5\text{ V}$ . Pokud je toto v pořádku, rezistorem  $1\text{ k}\Omega$  zapojeným mezi pin 7 a 11 se vyvolá umělé zapnutí celé řídicí jednotky. Nyní je nutné zkontrolovat napájecí napětí na ovládací desce. Přímo na napájecích pinech ostatních integrovaných obvodů bychom měli naměřit hodnotu  $+15\text{ V}$ , u  $IC8$  i  $-15\text{ V}$  a pokud je vše správně, může se zapojit procesor s příslušným programem.

Po zapojení řídicí jednotky do modelu se musí nastavit požadované zesílení operačních zesilovačů v obvodu  $IC8$ . Tento krok je možné vynechat při použití přesných rezistorů ve zpětné vazbě. Potom je nutné nastavit korekci nuly pro hladinová čidla pomocí trimrů  $R96$  resp.  $R109$ . Pro jinou funkci celé desky je nutné vycházet ze schématu.

#### D.2.2.1 Seznam oprav

- přerušit spoj mezi krajním vývodem  $SJ2$  a pinem 25 procesoru  $IC1$
- přerušit spoj mezi pinem 26 procesoru  $IC1$  a rezistorem  $R38$
- mezi  $G$  a  $S$  tranzistorů  $Q1, Q2$  připojit rezistor o hodnotě  $1\text{ M}\Omega$
- mezi pin 7 a pin 8 obvodu  $IC1$  připojit kondenzátor  $100\text{ nF}$

- místo tranzistorů  $T8$  a  $T13$ , připojit optočlen  $PC817$  tak, že pin 4 se zapojí místo na kolektor příslušného tranzistoru, pin 3 na emitor, pin 1 na bázi a pin 2 na zem
- vývod rezistoru  $R49$  nepřipojovat na pin 1  $IC1$ , ale na pin 27 resp. na pin 1  $JP1$
- pin 1 procesoru  $IC1$  připojit přes  $R=100\text{ k}\Omega$  na  $+5\text{ V}$  a přes  $C=100\text{ nF}$  na zem

#### D.2.2.2 Změna konfigurace

Pro nastavení podpory A/D převodu a PWM řízení, je nutné zapojit propojky dle Tab. D.6.

SJ1	horní
SJ2	horní
SJ3	horní
SJ5	levá
SJ6	pravá
SJ10	pravá
SJ11	horní
SJ12	dolní
SJ13	levá
SJ14	horní
SJ15	horní
SJ16	levá
SJ17	levá

Tabulka D.6: Nastavení propojek na desce ovládání pro A/D převod a PWM při pohledu ze strany součástek s konektorem vpravo dole

Dále uvádím pouze změny oproti předchozímu popisu zapojení. Musí se osadit tranzistory  $T1$ – $T4$ , např. BC337. Dále osadit rezistory  $R7$ – $R10$  a  $R11$ – $R14$  a kondenzátory  $C1$ – $C4$ . Hodnoty jsou závislé na frekvenci PWM, která je daná programem procesoru. Proto nelze přesně určit hodnoty. Rezistory  $R7$ – $R10$  musí být výrazně menší než rezistory  $R11$ – $R14$ . Potom lze uvažovat stejnou časovou konstantu pro nabíjení i vybíjení RC článku tvořeného rezistory  $R11$ – $R14$  a kondenzátory  $C1$ – $C4$ . Dále neosazovat rezistory  $R95$ ,  $R96$ ,  $R101$ ,  $R94$ ,  $R93$ ,  $R107$ ,  $R108$ ,  $R109$ ,  $R106$ ,  $R105$ ,  $R97$  a  $R102$ . Naopak osadit

$R_{45}$ ,  $R_{46}$ ,  $R_{43}$ ,  $R_{44}$  hodnotou  $100\text{ k}\Omega$  a  $R_{99}$ ,  $R_{103}$  hodnotou  $0\ \Omega$ . Nezapomenout osadit rezistory  $R_{35}$ ,  $R_{36}$ ,  $R_{37}$ ,  $R_{38}$ ,  $R_{34}$  a  $R_{33}$  hodnotou  $10\text{ k}\Omega$ , a diody  $D3$ ,  $D13$ ,  $D17$  a  $D18$  v Zenerovými diodami. Dále nepřerušovat žádný tištěný spoj. Na desce zdroje navíc osadit  $IC1$  stabilizátorem LM78xx.

Takto zapojená ovládací deska je určená pro PWM generování řídicího signálu. Vstupní signály by měly být A/D převodníkem zpracovány v procesoru.

### D.2.2.3 Spojení více ovládacích desek

Pro spojení několika řídicích jednotek, je nutné získat jednu plně osazenou a funkční řídicí jednotku. Do dalších ovládacích desek se neosadí procesor a s hlavní deskou se propojí pouze signály A, B a MuxControl (piny 9,10 integrovaného obvodu  $IC4$  a pin 9  $IC2$  se stejnými piny na další desce). Na podřízené desce se ještě neosazuje  $T6$ ,  $T7$ ,  $T9$  a  $R17$ – $R21$  a  $R49$ . Každá deska ovládání má svojí vlastní desku zdroje a všechny země jsou spojené.

## D.2.3 Ovládací panel

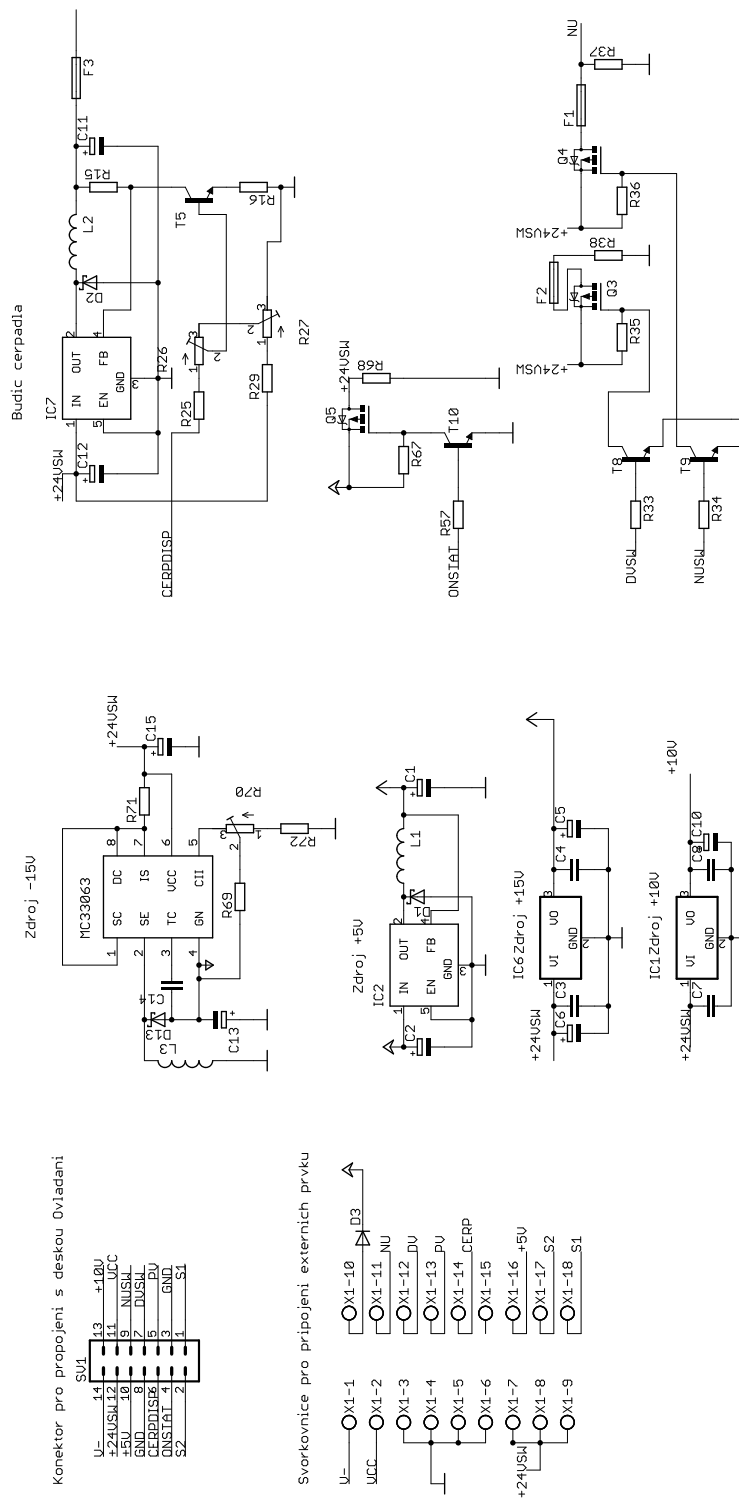
Dle Tab. D.9 se osadí deska ovládacího panelu. Je nutné si uvědomit, že konektor  $SV1$ ,  $SV2$ , potenciometry a integrované obvody  $ICL7107$  umístěné v patici jsou ze spodní strany tištěného spoje. Ostatní součástky jsou na druhé straně tištěného spoje (standardní strana pro součástky). Integrované obvody  $ICL7107$  doporučuji osadit do patic. Dále je nutné vzít v úvahu seznam oprav uvedený v D.2.3.1. Testování panelu se provede zapojením panelu k řídicí jednotce a ověří se funkce tlačítek. Kalibrace měřidel se provede tak, že se místo snímačů hladiny k modelu připojí zdroj známého ss napětí a trimrem  $R23$  resp.  $R36$  se zkalibrují měřidla. Nastavení bargrafů se provede při plném rozsahu trimrem  $R12$  resp.  $R14$ .

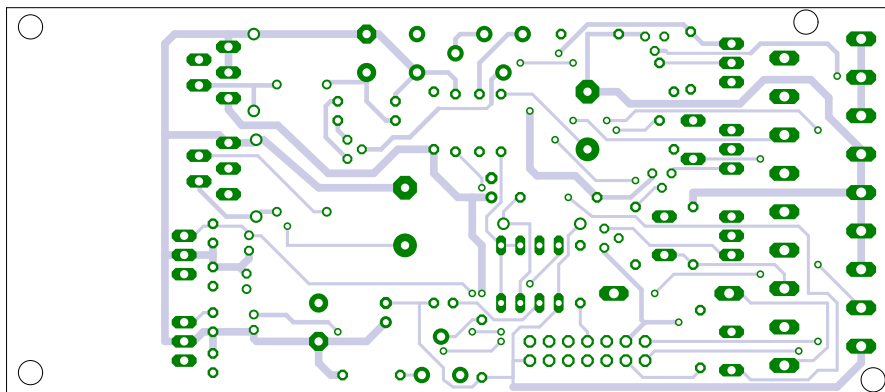
### D.2.3.1 Seznam oprav

- Desetinná tečka se na displejích trvale rozsvítí osazením příslušného rezistoru. Pro levý displej výběr z  $R44$ ,  $R27$ ,  $R28$  nebo  $R29$ , pro pravý  $R45$ ,  $R39$ ,  $R41$  nebo  $R40$  podle toho, na jaké pozici chceme desetinou tečku rozsvítit. V laboratorních modelech je osazen rezistor  $R44$  a  $R45$ . Společný vývod těchto rezistorů je nutné připojit na zem a ne do připraveného místa, pokud to neprovedeme, nebudou desetinné tečky svítit.

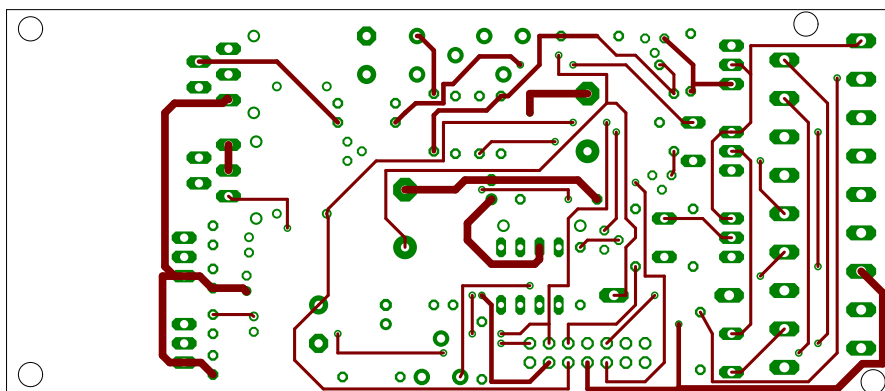


## D.2.4 Schéma zapojení a podklady pro výrobu



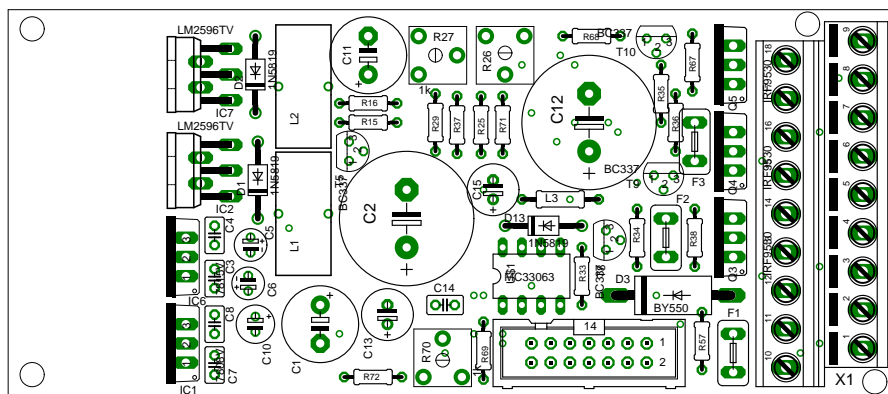


Obrázek D.2: Zdroj - spodní strana spojů

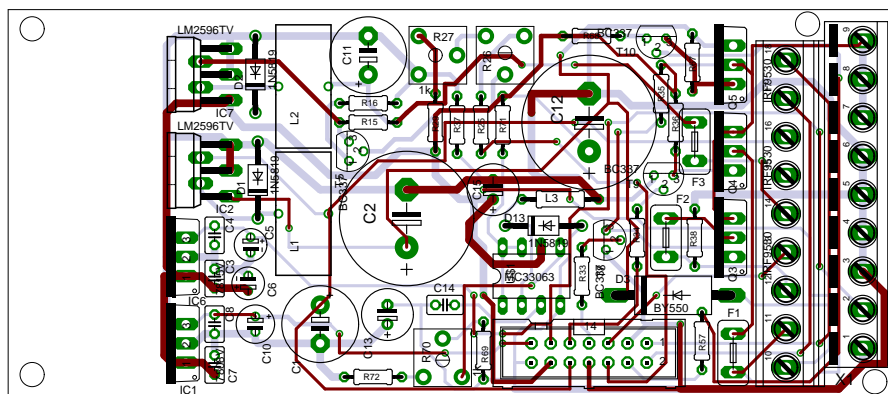


Obrázek D.3: Zdroj - vrchní strana spojů

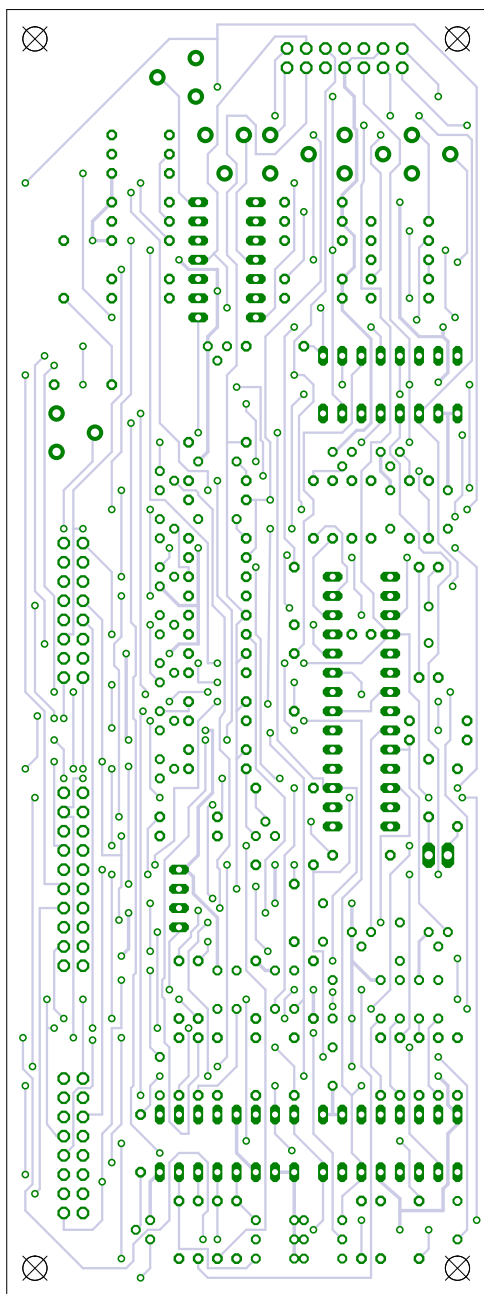




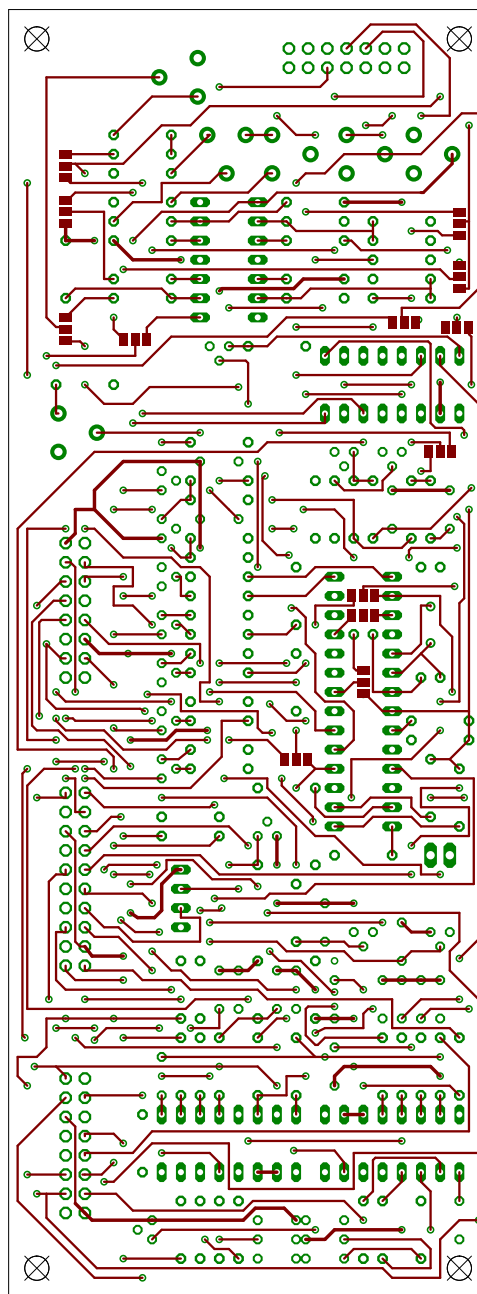
Obrázek D.4: Zdroj - rozmístění součástek



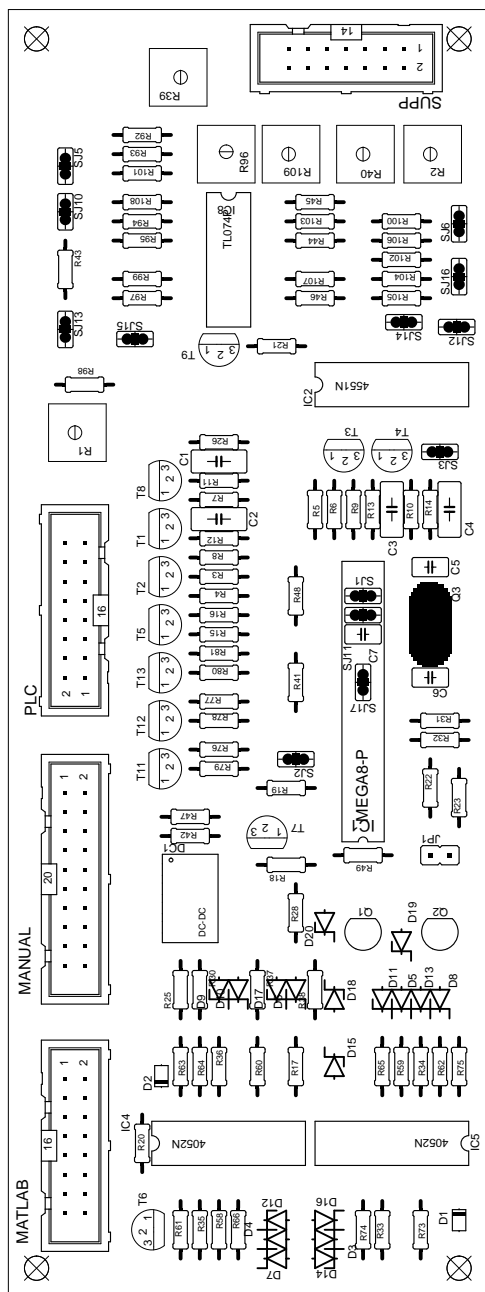
Obrázek D.5: Zdroj - kompletní tištěný spoj



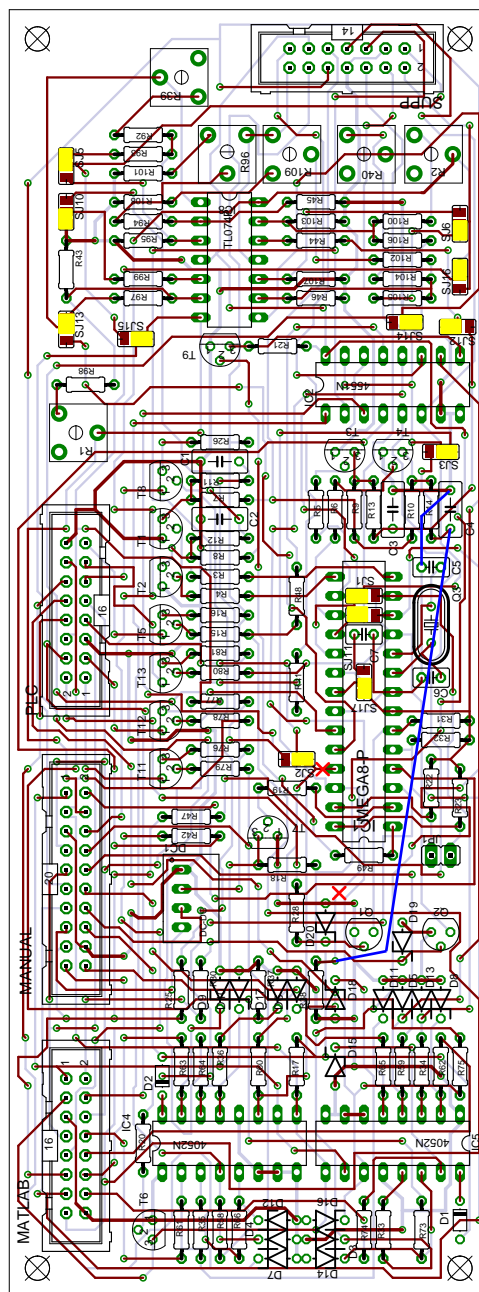
Obrázek D.6: - spodní strana spojů



Obrázek D.7: - vrchní strana spojů

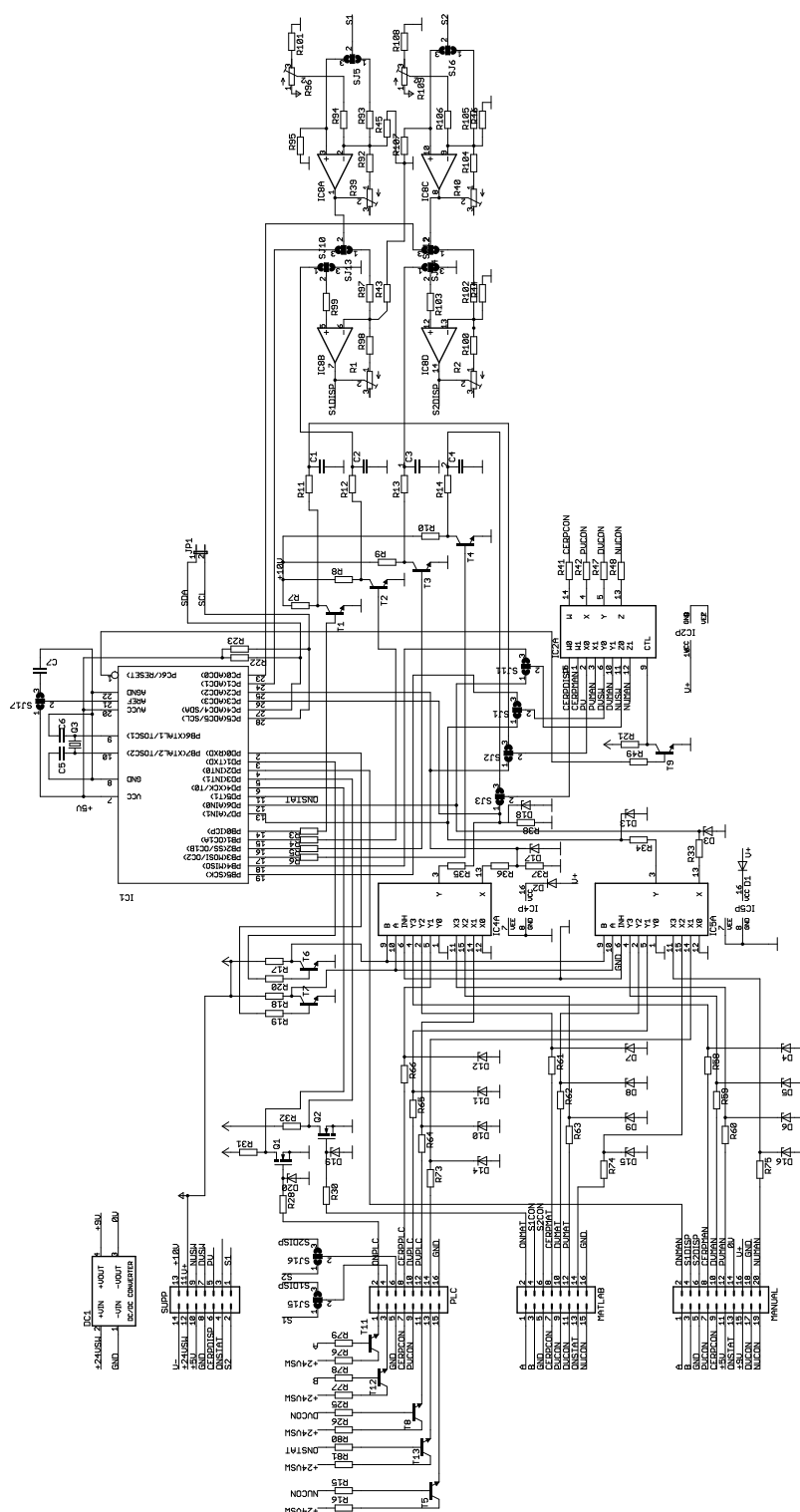


Obrázek D.8: - rozmístění součástek

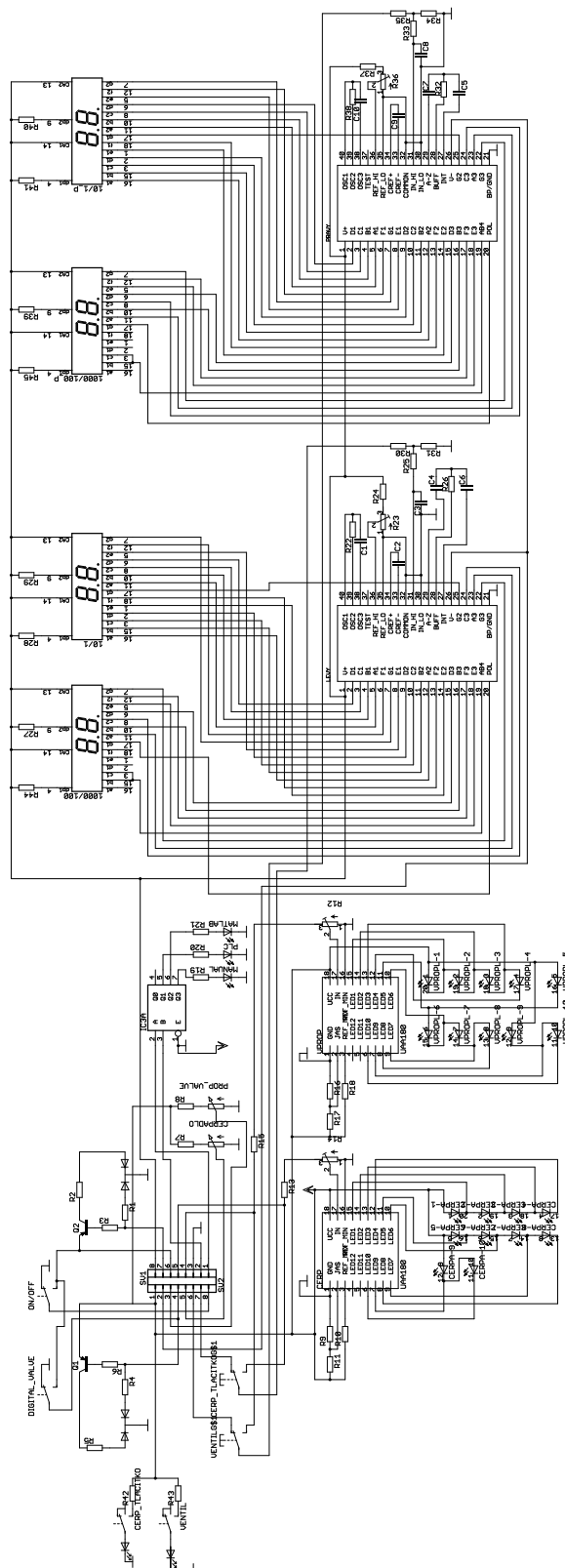


Obrázek D.9: - kompletní tištěný spoj

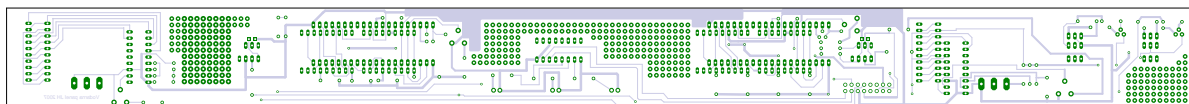




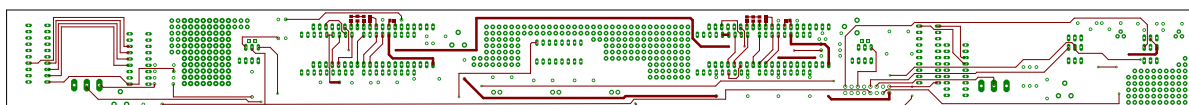
Obrázek D.10: Deska Ovládání - schéma zapojení



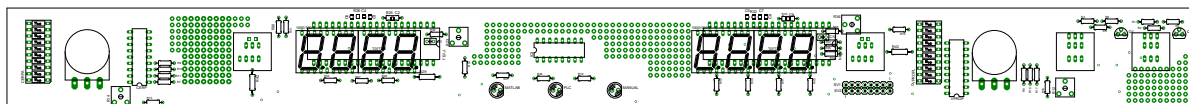
Obrázek D.11: Ovládací panel - schéma zapojení



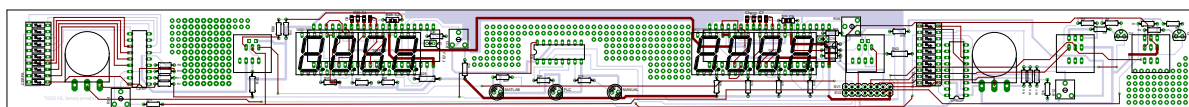
Obrázek D.12: Ovládací panel - spodní strana spojů



Obrázek D.13: Ovládací panel - vrchní strana spojů



Obrázek D.14: Ovládací panel - rozmístění součástek



Obrázek D.15: Ovládací panel - kompletní tištěný spoj



## D.3 Seznam použitých součástek

Qty	Hodnota	Typ	Oznacení ve schématu
1	0,3 $\Omega$	R-EU-0204/7	R71
2	1 k $\Omega$	R-EU-0204/7	R16, R69
1	6,8 k $\Omega$	R-EU-0204/7	R25
6	10 k $\Omega$	R-EU-0204/7	R29, R33, R35, R57, R67, R
1	22 k $\Omega$	R-EU-0204/7	R15
2	1 M $\Omega$	R-EU-0204/7	R38, R68
3	1 k $\Omega$	R-TRIMMPT6VE	R26, R27, R70
1	1,5 nF	C-EU025-025X050	C14
2	100 nF	C-EU025-025X050	C3, C4
2	22 $\mu$ F/25V	CPOL-EUE2-4	C5, C6
2	220 $\mu$ F/25V	CPOL-EUE5-10.5	C11, C1, C13, C15
2	2 mF/25V	CPOL-EUE7.5-18	C2, C12
1	80 $\mu$ H	L-US0207/10	L3
1	100 $\mu$ H/1A	L-USTJ3-U1	L1
1	100 $\mu$ H/2A	L-USTJ3-U1	L2
3	1N5819	1N5819	D1, D2, D13
1	7815V	7815V	IC6
4	BC337	BC337	T5, T8, T9, T10
1	BY550	BY550	D3
1	MC33063	MC33063	U1
3	IRF9530	IRF9530	Q3, Q5
1	LM2596TV-ADJ	LM2596TV	IC7
1	LM2596TV-5	LM2596TV	IC2
1		ML14	SV1
1	900 mA	TE5	F1
1	1.3 A	TE5	F3

Tabulka D.7: Seznam součástek pro zdroj

Qty	Hodnota	Typ	Oznacení ve schématu
8	1 k $\Omega$	R-EU-0204/7	R19, R20, R21, R25, R26, R62, R80, R81
14	10 k $\Omega$	R-EU-0204/7	R17, R18, R28, R30, R33, R34, R44, R65, R76, R77, R78, R79, R99, R1
4	100 k $\Omega$	R-EU-0204/7	R31, R32, R95, R107
10	1 M $\Omega$	R-EU-0204/7	R92, R93, R94, R97, R98, R100, R102, R104, R105, R106
15	0 $\Omega$	R-EU-0204/7	R35, R36, R41, R42, R47, R48, R58, R59, R60, R61, R63, R64, R66, R1
4	0 $\Omega$	R-TRIMMPT6VE	R1, R2, R39, R40
2	1 k $\Omega$	R-TRIMMPT6VE	R96, R109
2	1N4148D5	1N4148D5	D1, D2
2	5V	ZENER-DIODEZD-5	D3, D13
4	12V	ZENER-DIODEZD-5	D8, D11, D19, D20
2	4052N	4052N	IC4, IC5
1	4551N	4551N	IC2
12	BC337	BC337	T6, T7, T9, T11, T12
2	BS170	BS170	Q1, Q2
1	MEGA8-P	MEGA8-P	IC1
1	TL074P	TL074P	IC8
1		ML14	SUPP
2		ML16	MATLAB, PLC
1		ML20	MANUAL
1		NME	DC1
1		Patice 20pin	Patice 20pin
3	PC817	PC812	PC817

Tabulka D.8: Seznam součástek pro ovladání

Qty	Hodnota	Typ	Označení ve schématu
2	0,1 $\mu\text{F}$	C-EUC0805	C2, C9
2	0,02 $\mu\text{F}$	C-EUC0805	C3, C8
2	0,22 $\mu\text{F}$	C-EUC0805	C5, C6
2	0,47 $\mu\text{F}$	C-EUC0805	C4, C7
2	100 pF	C-EU025-025X050	C1, C10
2	1 M $\Omega$	R-EU-0204/7	R25, R33
12	1 k $\Omega$	R-EU-0204/7	R10, R18, R27, R28, R31, R34, R39, R40, R41, R44, R45, R29
2	24 k $\Omega$	R-EU-0204/7	R24, R37
4	2,2 k $\Omega$	R-EU-0204/7	R7, R8, R9, R16
2	4,7 k $\Omega$	R-EU-0204/7	R13, R15
5	5,6 k $\Omega$	R-EU-0204/7	R19, R20, R21, R42, R43
2	10 k $\Omega$	R-EU-0204/7	R11, R17
2	390 $\Omega$	R-EU-0204/7	R3, R6
4	470 $\Omega$	R-EU-0204/7	R1, R2, R4, R5
4	100 k $\Omega$	R-EU-0204/7	R22, R30, R35, R38
2	47 k $\Omega$	R-EU-M0805	R26, R32
2	10 k $\Omega$	R-PC1621NK	CERPADLO, PROP-VALVE
2	1 k $\Omega$	R-TRIMM-PT6VE	R23, R36
2	10 k $\Omega$	R-TRIMM-PT6VE	R12, R14
1	4555N	4555N	IC3
2	BC307	BC307	Q1, Q2
2	CS7107	CS7107	LEVY, PRAVY
4	HD-K121	HD-K121	10/1, 10/1-P, 1000/100, 1000/100-P
4	P-0SEBTL	P-0SEBTL	CERP-TLACITKO, VENTIL, DIGITAL-VALVE, ON/OFF
2	UAA180	UAA180	CERP, VPROP
2	LB10	LB10	CERPA, VPROPL
3		LED5MM	MANUAL, MATLAB, PLC
1		ML16	SV3

Tabulka D.9: Seznam součástek pro ovládací panel



# Příloha E

## Zapojení modelů do sítě v K23

Ve všech tabulkách je pro přehlednost uvedeno také číslo pinu na konektorech CANON, které jsou použity pro připojování modelů. Je použito značení Cxx, kde xx vyjadřuje číslo pinu.

### E.1 Připojení modelů k PC

C14	AI0	H <sub>1</sub>	C12	DA0	čerpadlo
C13	AI1	H <sub>2</sub>	C10	DA1	prop. ventil
C5	AI2	Stav: čerpadlo			
C4	AI3	Stav: prop. ventil			
C6	AGND	GND	C6	AGND	GND
C2	DI0	Stav: ON	C15	DO0	ON/OFF
C3	DI1	Stav: dig. ventil	C11	DO1	dig. ventil
C1	DI2	Stav:NU	C9	DO2	NU
C6	DGND	GND	C6	DGND	GND

Tabulka E.1: Zapojení vstupní karty PCI-1711

## E.2 Připojení V1 a V4 k PAC

Modely jsou připojeny k automatu s IP adresou 147.32.87.134 pomocí modulů Flex I/O

1794-IB16			1794-OB16		
C2	I0	Stav: ON V1	C15	O0	ON/OFF V1
C3	I1	Stav: DV V1	C11	O1	DV V1
C8	I2	Stav: A V1	C9	O2	NU V1
C7	I3	Stav: B V1			
C1	I4	Stav: NU V1			
C2	I5	Stav: ON V4	C15	O3	ON/OFF V4
C3	I6	Stav: DV V4	C11	O4	DV V4
C8	I7	Stav: A V4	C9	O5	NU V4
C7	I8	Stav: B V4			
C1	I9	Stav: NU V4			
1794-IE8			1794-OE4		
C14	I0	H <sub>1</sub> V1	C10	O0	PV V1
C13	I1	H <sub>2</sub> V1	C12	O1	čerpadlo V1
C12	I2	Stav: čerpadlo V1			
C4	I3	Stav: PV V1			
C14	I4	H <sub>1</sub> V4	C10	O2	PV V4
C13	I5	H <sub>2</sub> V4	C12	O3	čerpadlo V4
C5	I6	Stav: čerpadlo V4			
C4	I7	Stav: PV V4			

Tabulka E.2: Připojení V1 a V4

## E.3 Připojení V2 k PAC

Modely jsou připojeny k automatu s IP adresou 147.32.87.135 pomocí lokálních I/O karet.

Pozor, změna v zapojení konektoru CANON, na pinu 9 je +5 V, které je kartou OW16I spínáno pro zapínání modelu a ovládání reléového přepínače analogových vstupů. Na pinu 1 je +24 V dostupných pouze při zapnutém modelu.

1756-IN16			1756-OW16I		
C2	I15	Stav: ON	C15	O0	ON/OFF
C3	I14	Stav: DV	C11	O1	DV
C8	I13	Stav: A	C9	O2	Reléový přepínač 1
C7	I12	Stav: B	C9	O3	Reléový přepínač 2
1756-IF8			1756-OF6		
C5	I4	Stav: čerpadlo / RZ příčný	C12	O4	čerpadlo
C4	I5	Stav: PV / RZ otáčky vřetene	C10	O5	PV
C14	I6	H <sub>2</sub> / Matlab			
C13	I7	H <sub>1</sub> / N.C.			

Tabulka E.3: Připojení V2

## E.4 Připojení V3 k PAC

Modely jsou připojeny k automatu s IP adresou 147.32.87.137 pomocí lokálních I/O modulů.

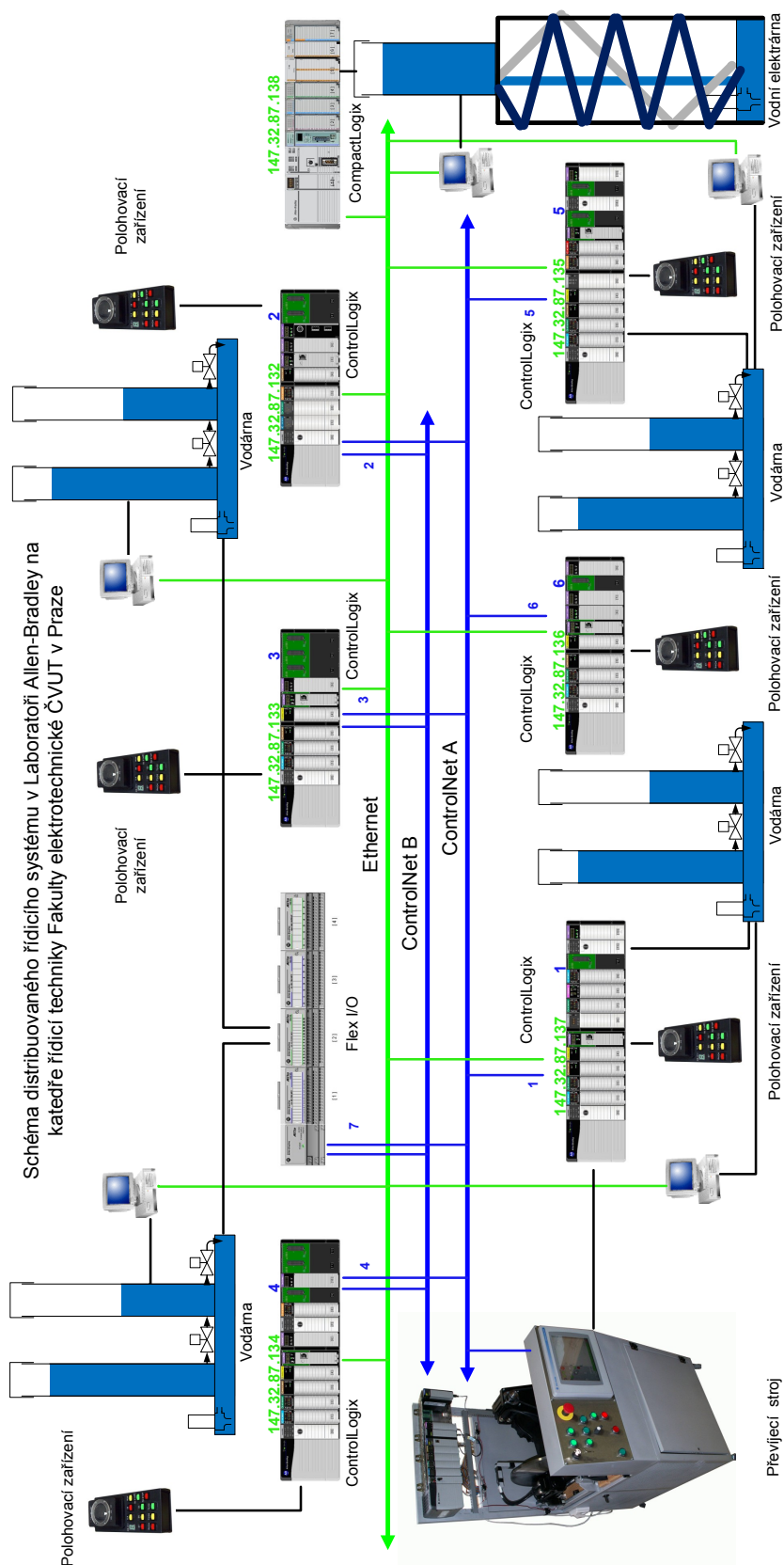
1756-IB32			1756-OB16E		
C2	I2	Stav: ON	C15	O12	ON/OFF
C3	I3	Stav: DV	C11	O10	DV
C8	I0	Stav: A			
C7	I1	Stav: B			
1756-IF8			1756-OF4		
C4	I7	Stav: PV	C10	O3	PV
C14	I5	H <sub>2</sub>	C12	O2	čerpadlo
C13	I4	H <sub>1</sub>			
C5	I6	Stav: čerpadlo			

Tabulka E.4: Připojení V3

## E.5 Rozšířené schéma zapojení sítě v laboratoři K23

Na E.1 je uvedeno širší zapojení sítě v laboratoři Allen–Bradley. V současné době ještě není realizováno připojení modelu vodní elektrárny k automatu CompactLogix, jako je ve schématu uvedeno. Na připojení tohoto modelu se v pracuje.





Obrázek E.1: Rozšířené schéma distribuovaného řídicího systému laboratoři K23