

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

**ŘÍZENÍ HYDRAULICKO-PNEUMATICKÉ SOUSTAVY
POMOCÍ PLC SIEMENS SIMATIC**

Jan Hudský

Bakalářská práce

2019

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan Hudský**
Osobní číslo: **I15262**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Název tématu: **Řízení hydraulicko-pneumatické soustavy pomocí PLC
Siemens Simatic**
Zadávající katedra: **Katedra řízení procesů**

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

Postup: Cílem práce je návrh aspoň dvou typů automatického řízení hydraulicko-pneumatické soustavy pomocí vybraného PLC. Student nejprve popíše hydraulicko-pneumatickou laboratorní soustavu, identifikuje regulované veličiny a akční signály, následně korektně zprovozní komunikaci mezi PLC a laboratorní soustavou a nakonec v PLC naprogramuje vhodné algoritmy řízení.

Teoretická část: Stručná rešerše principů modelování technologických procesů, popis hydraulicko-pneumatické soustavy, popis problematiky PLC, možnosti programování PLC.

Praktická část: Změření charakteristik hydraulicko-pneumatické soustavy, zprovoznění komunikace soustava - PLC, vytvoření programu do PLC realizujícího dvoustavový regulátor, vytvoření programu do PLC realizujícího PID regulátor. Vyhodnocení úlohy.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

BALÁTĚ, J. Automatické řízení. Praha: BEN, 2003. 654 s. ISBN 80-7300-020-2.
KWASNIEWSKI, J. Programmable Logic Controllers. Cracow: ROMA-POL, 2002. ISBN 83-86320-45-1.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Doležel, Ph.D.**
Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **14. prosince 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10. května 2019**



L.S.

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan

Ing. Daniel Honc, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 14. prosince 2018

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 30. 8. 2019

Jan Hudský

Poděkování

Tímto bych rád poděloval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Doleželovi, Ph.D. za vedení práce, ochotu, rady a připomínky ke zpracování. Dále bych rád poděkoval rodině za podporu po celou dobu studia.

V Pardubicích dne 30. 8. 2019

Jan Hudský

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem dvou programů pro automatickou regulaci hydraulicko-pneumatické soustavy. V dané problematice byly objasněny pojmy jako modelování a identifikace, programovací jazyky pro PLC. V práci se nachází podrobný popis navržených programů za pomoci PID a dvoustavového regulátoru a vyhodnocení výsledků.

KLÍČOVÁ SLOVA

PLC, TIA portal, PID

TITLE

Control of hydraulic-pneumatic systém by Siemens SIMATIC PLC

ANNOTATION

The main focus of this bachelor thesis is put on the proposal of two programs for automatic control of hydraulic-pneumatic system. Terms such as modelling and identification, and programming languages for PLC have been explained in the area of focus. In the thesis, there is also a detailed description of proposed program with the help of PID an two-state controller, and evaluated results.

KEYWORDS

PLC, TIA portal, PID

OBSAH

	SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK.....	9
	SEZNAM SYMBOLŮ PROMĚNNÝCH VELIČIN A FUNKCÍ.....	10
	SEZNAM ILUSTRACÍ.....	11
	SEZNAM TABULEK.....	13
	ÚVOD	14
1	TEORETICKÁ ČÁST.....	15
1.1	MODELOVÁNÍ A IDENTIFIKACE TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ.....	15
1.1.1	Základní postupy při modelování a identifikaci.....	16
1.1.2	Třídění systémů	17
1.2	HYDRAULICKO-PNEUMATICKÁ SOUSTAVA	18
1.2.1	Popis soustavy	19
1.2.2	Jedna nádrž soustavy	20
1.3	PROGRAMOVATELNÝ LOGICKÝ AUTOMAT	21
1.3.1	Vykonávání programu u PLC.....	23
1.3.2	Programování PLC	23
1.3.3	Programovací jazyky	24
1.3.4	Problematika PLC	27
1.4	POPIS JEDNOTLIVÝCH KOMPONENT A SOFTWARE	28
1.4.1	SIEMENS SIMATIC S7 – 1200	28
1.4.2	Modul SM 1232.....	30
1.4.3	HMI Panel	30
1.4.4	TIA Portal.....	31
1.5	REGULACE.....	32
1.5.1	Typy regulátorů	33
2	PRAKTICKÁ ČÁST	35
2.1	KOMUNIKACE.....	35
2.2	PŘECHODOVÉ CHARAKTERISTIKY	36
2.3	DVOUSTAVOVÝ REGULÁTOR	38
2.3.1	Ukládání dat	41
2.3.2	Vizualizace a výsledky regulace	46
2.4	PID REGULÁTOR.....	48
2.4.1	Vizualizace a výsledky regulace	52

ZÁVĚR.....	55
POUŽITÁ LITERATURA.....	56
PŘÍLOHY.....	58

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

CPU	Central Processing Unit
HMI	Human Machine Interface
PID	Proporcionální Integrační Derivační
PLC	Programmable Logic Controller
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SMD	Surface Mount Device
TIA Portal	Totally Integrated Automation Portal
USB	Universal Serial Bus
WC	Water Closet

SEZNAM SYMBOLŮ PROMĚNNÝCH VELIČIN A FUNKCÍ

$e(t)$	regulační odchylka
h	výška hladiny, m
p	tlak v nádrži, Pa
p_0	okolní tlak, Pa
Q	výtok z nádrže, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_0	průtok plynu vzdušníkem, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_1	přítok do nádrže, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
R	regulátor
S	regulovaná soustava
t	čas, s
U	elektrické napětí, V
$u(t)$	akční veličina
$w(t)$	žádaná veličina
$y(t)$	regulovaná veličina

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1.1 – Dělení dynamických systémů	17
Obrázek 1.2 – Hydraulicko-pneumatická soustava	19
Obrázek 1.3 – Schéma hydraulicko-pneumatické soustavy	20
Obrázek 1.4 – Jedna nádrž soustavy.....	21
Obrázek 1.5 – Kompaktní PLC (Conrad Electronic 2019a).....	22
Obrázek 1.6 – Modulární PLC (Autocont Control Systém, 2019).....	23
Obrázek 1.7 – Ukázka programu příčkového diagramu.....	26
Obrázek 1.8 – Ukázka programu funkčního blokového schématu.....	27
Obrázek 1.9 – SIMATIC S7 – 1200 (Conrad Electronic, 2019b)	29
Obrázek 1.10 – Úvodní obrazovka TIA portal	31
Obrázek 1.11 – Schéma regulačního obvodu	33
Obrázek 2.1 – Program pro snímání hodnot čidel	36
Obrázek 2.2 – Program pro nastavení napětí na čerpadlech.....	36
Obrázek 2.3 – Přechodová charakteristika levé nádrže.....	37
Obrázek 2.4 – Přechodová charakteristika pravé nádrže.....	37
Obrázek 2.5 – Program dvoustavového regulátoru network 1	38
Obrázek 2.6 – Program dvoustavového regulátoru network 2	39
Obrázek 2.7 – Program dvoustavového regulátoru network 3	40
Obrázek 2.8 – Program dvoustavového regulátoru network 6	40
Obrázek 2.9 – Ukázka programu pro ukládání dat část 1	41
Obrázek 2.10 – Ukázka programu pro ukládání dat část 2.....	41
Obrázek 2.11 – Ukázka programu pro ukládání dat část 3.....	42
Obrázek 2.12 – Ukázka programu pro ukládání dat část 4.....	43
Obrázek 2.13 – Povolení web serveru	44
Obrázek 2.14 – Nastavení práv pro webové rozhraní	44
Obrázek 2.15 – Ukázka webového rozhraní PLC	45
Obrázek 2.16 – HMI panel první obrazovka	46
Obrázek 2.17 – HMI panel druhá obrazovka	47
Obrázek 2.18 – Dvoustavový regulátor pravé nádrže	48
Obrázek 2.19 – Dvoustavový regulátor levé nádrže.....	48
Obrázek 2.20 – PID regulátor v TIA portal.....	49
Obrázek 2.21 – Základní nastavení PID regulátoru	50

Obrázek 2.22 – Omezení výstupu PID regulátoru.....	50
Obrázek 2.23 – Nastavení jednotlivých složek PID regulátoru.....	51
Obrázek 2.24 – Auto tuning v TIA portal	52
Obrázek 2.25 – HMI panel první obrazovka	53
Obrázek 2.26 – PID regulátor levá nádrž	54
Obrázek 2.27 – PID regulátor pravá nádrž.....	54

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1 – Parametry SIMATIC S7 – 1200	29
Tabulka 1.2 – Parametry modulu SM 1232.....	30
Tabulka 1.3 – Parametry HMI panelu	31

ÚVOD

Dnešní doba je velmi uspěchaná a klade se důraz na to, aby se v co nejkratší době vyrobilo co nejvíce zboží a zároveň se snažíme o ušetření lidské práce. Toho se dosahuje pomocí automatizace. Automatizace je proces, při kterém stroje řízené speciálními počítači známými pod zkratkou PLC nahrazují práci lidí, která je fyzicky náročná či monotónní. Dochází tak k zefektivnění a zrychlení výroby a lidé se díky tomu mohou věnovat více sofistikované práci. Zároveň díky automatizaci došlo ke zkrácení pracovní doby. Automatizace se používá hlavně v průmyslu, ale začala se používat i v domácnostech konkrétně se jedná o tzv. chytré domy, u kterých lze ovládat elektrické přístroje v domě pomocí chytrého mobilního telefonu prostřednictvím aplikace.

Nedílnou součástí automatizace je regulace. Regulace umožňuje udržování určitých fyzikálních veličin na stanovených hodnotách, ať už se jedná o teplotu, výšku hladiny v nádrži atd. Pro představu každodenní regulace, i když to na první pohled není patrné, je napouštění vody do nádržky na WC. Tato regulace je jednoduchá a nevyžaduje použití prostředků pro automatické řízení. Pro složitější regulace je potřeba využít prostředků automatického řízení. Mezi tyto prostředky patří senzory, regulátory, mikropočítače atd. Při použití prostředků automatického řízení je důležitým úkolem zprovoznit komunikaci mezi regulovanou soustavou a řídicí jednotkou. Většinou se jedná o PLC, které pracuje v cyklech. PLC nejprve načte vstupní data, vykoná programovou smyčku, předá data na výstup, poté konfiguruje vnitřní stav a následně se celý cyklus znovu opakuje.

Cílem této bakalářské práce je návrh aspoň dvou typů automatického řízení hydraulicko-pneumatické soustavy pomocí vybraného PLC SIMATIC S7-1200. Konkrétně se jedná o udržování žádaných výšek hladin ve spodních nádržích soustavy.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Modelování a identifikace technologických procesů

Řízení technologických procesů není samostatnou vědní disciplínou, ale prolínají se jím prvky dalších vědních oborů, jako např. teorie automatického řízení, teorie systémů, modelování a identifikace procesů a mnoho dalších. Řízení technologických procesů prošlo historickým vývojem. V minulosti byly návrhy chápány a konstruovány jako samostatná jednotka. V současnosti jsou návrhy chápány celkově, včetně celých řídicích systémů a proběhala i jejich automatizace, která zvýšila jejich efektivitu a bezpečnost provozu. Díky automatizaci je také možné uskutečnit procesy, které byly zdoluhavé a některé i neproveditelné manuálním řízením (Zezulka, 2004).

Aby bylo možné dosáhnout úspěšného návrhu řízení objektu, musí být známé jeho statické a dynamické vlastnosti. Tyto vlastnosti jsou důležité i pro následné projektování výroby či inženýrský výzkum. Statické a dynamické vlastnosti, nebo alespoň jejich představu, je možné získat měřením na reálném objektu. Měření statických a dynamických vlastností na reálném objektu se provádí jen zřídka, protože je velmi nepraktické. Hrozí zde riziko havárie, či snížení ba dokonce v některých případech i znehodnocení produkce, nebo není k dispozici vhodná měřicí technika.

Proto je lepším řešením, k získání vlastností daného reálného objektu, mít k dispozici kopii originálu neboli model. Model musí splňovat podobné vlastnosti jako daný reálný objekt. Model je buď fyzikální nebo abstraktní.

Fyzikální model reálného objektu je pouze zmenšenou kopií původního objektu, kde se využívá teorie podobnosti. Tento model nemusí být založený na stejném fyzikálním principu, ale musí se řídit podobnými zákony.

U abstraktních modelů nás nejvíce zajímá matematický model daného reálného objektu. Matematický model je soubor veličin, které odpovídají reálným fyzikálním veličinám reálného objektu. Obvykle je matematický model vyjádřený rovnicemi diferenciálními, diferenčními atd.

Modelování je proces, při kterém vzniká model. Model musí splňovat jak kvantitativní, tak i kvalitativní stránku originálního řízeného systému. Je nutné, aby matematický model vyjadřoval vlastnosti, které jsou důležité z pohledu zkoumání řízeného systému. Aby matematický model nebyl příliš složitý, provádí se zjednodušování modelu

vypuštěním druhořadých nebo nepotřebných vlastností, které jen zesložit'ují model. Proto je modelování vždy kompromisem mezi složitostí a přesností. Identifikace se zabývá ztotožňováním modelu a vyšetřovaného objektu. Modelování a identifikace se vzájemně prolínají. Pokud je sestrojený matematický model daného reálného objektu, je lepší uskutečňovat pokusy na tomto modelu. Pokus na matematickém modelu se nazývá simulace a v dnešní době se provádí výhradně na číslicových počítačích, proto ji nazýváme číslicová simulace (Balátě, 2004; Modelování, 2006).

1.1.1 Základní postupy při modelování a identifikaci

Existují dva hlavní postupy při modelování a identifikaci řídicího systému. Oba postupy mají své uplatnění a své klady i zápory. Mezi těmito dvěma typy je však nezměrné množství identifikací, které využívají jejich kombinaci pro dosažení co nejlepších možných výsledků.

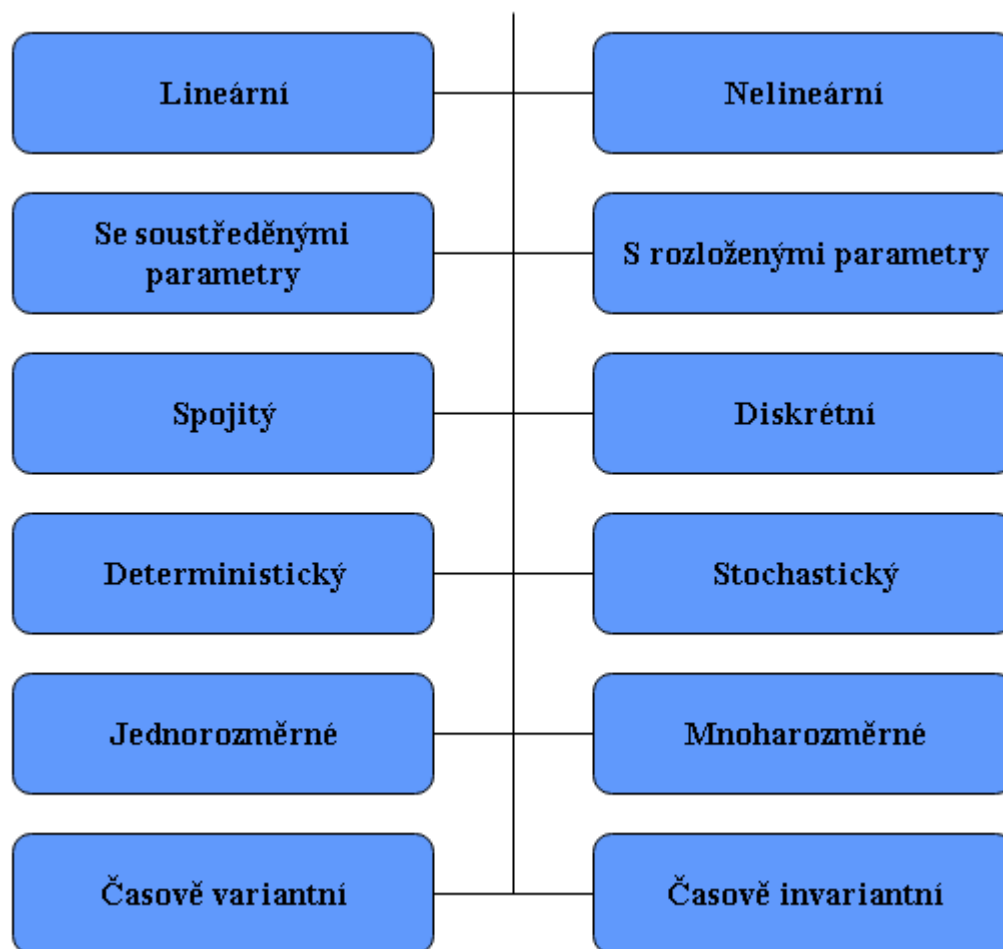
Analytický postup vychází ze znalosti materiálové a energetické bilance systému, znalosti fyzikálních a chemických procesů, které se v něm odehrávají a z jejich matematického popisu. Využívá také informace o konstrukci a vlastnostech materiálu daného objektu. Na základě těchto informací lze sestavit model, který popisuje vnitřní stavové veličiny, vzájemné vazby i jednotlivé parametry. Výsledkem je stavový model daného objektu, který určuje jeho strukturu chování. Model, který by odpovídal úplně do detailu modelovanému objektu, není možné zrealizovat. Je to způsobené tím, že není možné matematicky popsat všechny přírodní zákonitosti. Pouze aproximují k realitě nebo je záměrně vypouštějí. Čím více je model podobnější reálnému objektu, tím je složitější. Proto je důležité vědět, k čemu bude model použit a hledat vhodný kompromis mezi přesností a složitostí. Analytický postup má význam při projektování technologických procesů nebo inženýrské analýze. Pro toto využití je potřeba přesnějších, tedy složitějších modelů. Pokud bude model vytvořen za účelem ověření algoritmů pro řízení, tak nemusí být tak přesný, ale musí odpovídat trendům statických a dynamických charakteristik procesu.

Empirický postup vychází z měření vstupních a výstupních veličin reálného objektu. Z toho plyne, že pro tento postup potřebujeme reálný objekt. Při tomto postupu získáme experimentální model daného reálného objektu. Tento model, na rozdíl od analytického, nepopisuje vnitřní vazby, tedy strukturu, ale popisuje pouze chování. Jelikož se zde data získávají měřením, přináší tento postup přesnější výsledky, protože je zde zahrnuta i stránka reality, která se při analytickém postupu zanedbává, nebo ji nejsme schopni matematicky

popsat. Proto se dělá kompromis mezi přesností a složitostí analytického modelu. Nese to ale i jistou nevýhodu, protože je to založeno na měření vstupních a výstupních veličin konkrétního objektu a při každé změně, je potřeba sestavit jiný model. Experimentální model je oproti analytickému modelu podstatně jednodušší (Balátě, 2004; Základní, 2006).

1.1.2 Třídění systémů

Jak bylo zmíněno již v předchozích kapitolách, při tvorbě modelu reálného objektu se využívá zjednodušení. Tato zjednodušení se berou v potaz a zkoumaný subjekt je pak zařazen do příslušné třídy dynamických systémů (viz obrázek 1.1). Systém je dále tříděn podle přijatých matematických modelů. Dynamické systémy se rozdělují do několika tříd, ale rozdělení, na obrázku 1.1, není úplné. Jsou zde uvedené pouze základní třídy. Každý systém může být zařazen pouze do jedné možnosti z řádku, ale ve sloupci může patřit do více tříd z různých sloupců. To znamená, že systém může být například nelineární, s rozloženými parametry, spojité, deterministický, mnohorozměrný a časově variantní.



Obrázek 1.1 – Dělení dynamických systémů

Lineární systémy mají mezi veličinami lineární vazby. U nelineárních systémů tomu je přesně naopak. Mají všechny nebo část vazeb mezi veličinami nelineární.

Systémy se soustředěnými parametry mají veličiny nezávislé na poloze v prostoru, ale jsou proměnné pouze v čase. U systémů s rozloženými parametry jsou veličiny proměnné nejenom v čase, ale také v prostoru. Z toho plyne, že jsou funkcemi času a minimálně jedné prostorové proměnné.

Spojité systémy mají veličiny definované na určitém časovém úseku a jsou funkcemi spojitými. Diskrétní systémy mají veličiny definované na množině diskrétních hodnot času a jsou tedy funkcemi v čase diskrétními.

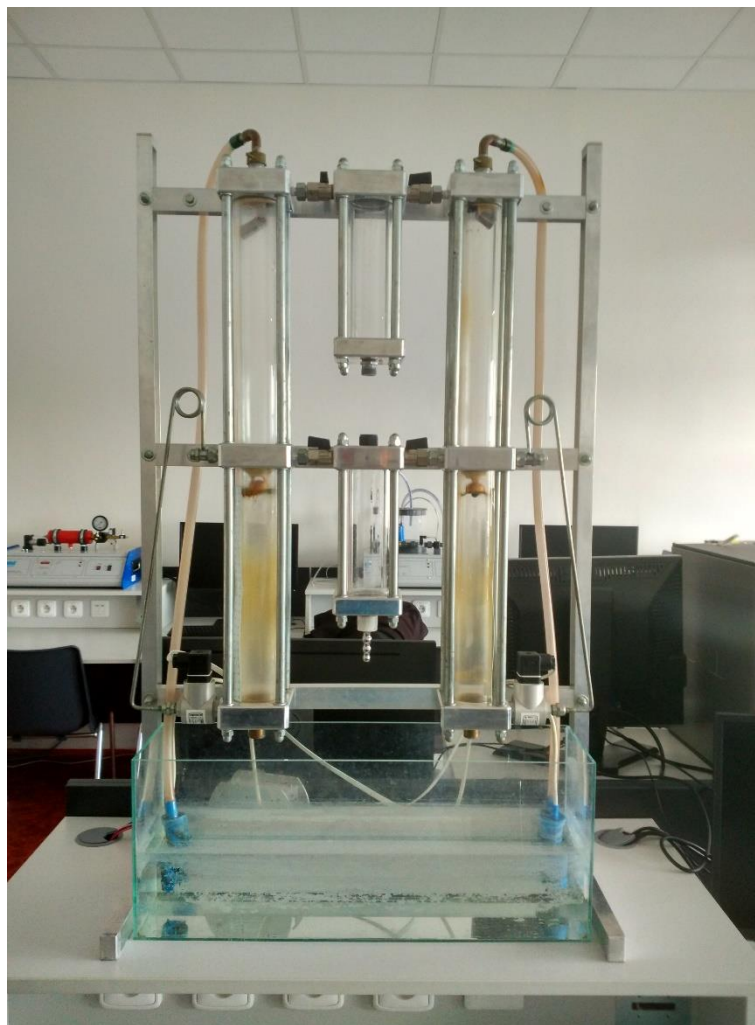
Deterministické systémy mají momentální stav neboli výstup určený momentálním vstupem, ale také předcházejícím stavem. U stochastického systému působí na vstupu náhodná veličina. To má za následek, že lze momentální stav neboli výstup určit s jistou pravděpodobností.

Jednorozměrné systémy mají pouze jeden vstup a jeden výstup. Mnohorozměrné systémy mají minimálně jeden výstup a dva vstupy.

Systémy časově variantní jsou takové systémy, které mají parametry proměnné v čase. V důsledku toho se jejich vlastnosti v čase mění. Systémy časově invariantní jsou opakem systémů časově variantní, takže jejich parametry a ani jejich vlastnosti se v čase nemění (Balátě, 2004; Třídění, 2006).

1.2 Hydraulicko-pneumatická soustava

Hydraulicko-pneumatická soustava (viz obrázek 1.2), která je použita v této bakalářské práci, je výukový model, který není komerčně vyráběný. Komerčně vyráběné modely obvykle bývají velmi nákladné, proto bylo založeno konsorcium z různých vysokých škol, které se zaměřuje na vývoj a realizaci výukových modelů nových typů s příznivějšími pořizovacími náklady. Tato soustava byla vymyšlena a sestrojena pracovníky katedry řízení procesů a výpočetní techniky Fakulty chemicko-technologické Univerzity Pardubice. Při návrhu soustavy byla stanovena kritéria, která měla soustava splňovat. Mezi ně patřila vícerozměrná soustava, dynamika vyššího řádu, ekologický a tichý provoz atd. Po uvážení všech těchto parametrů byla navržena a zkonstruovaná hydraulicko-pneumatická soustava (Macháček, 2005).

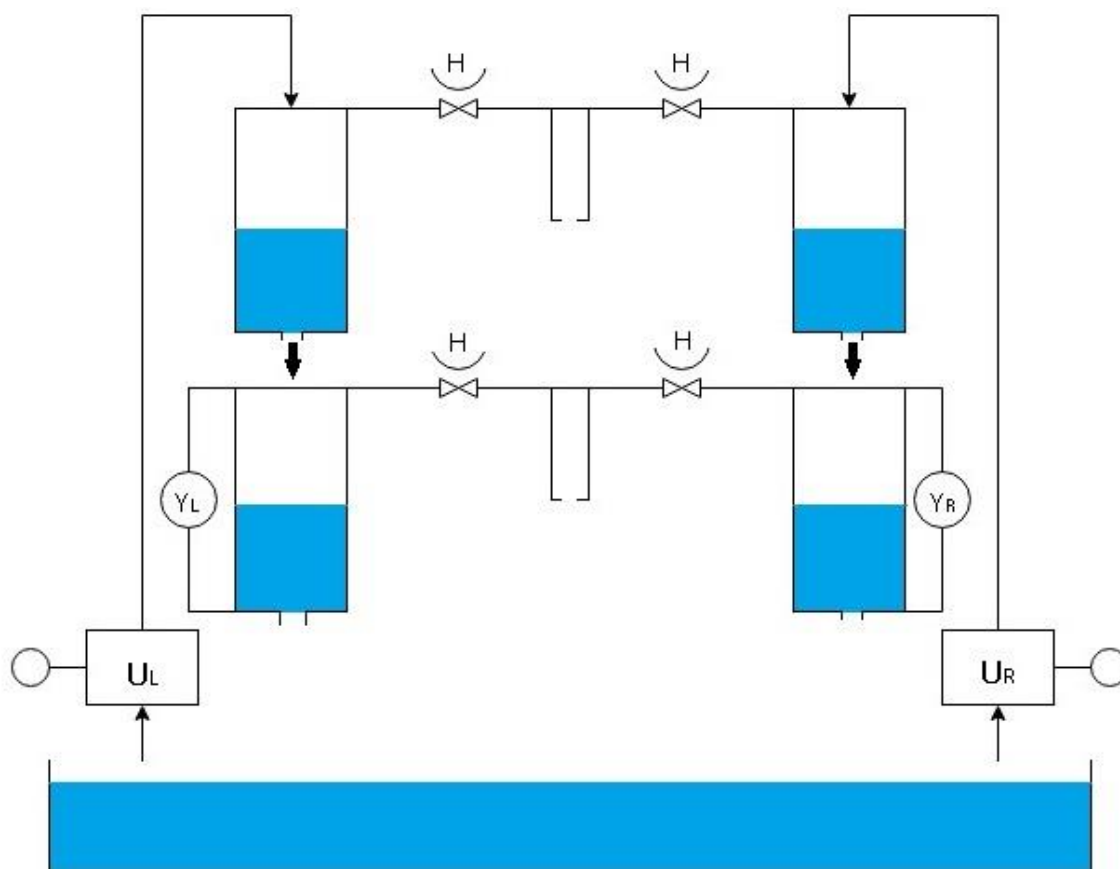


Obrázek 1.2 – Hydraulicko-pneumatická soustava

1.2.1 Popis soustavy

Laboratorní model (viz obrázek 1.3) je tvořen kombinací hydraulických a pneumatických prvků. Z pohledu pneumatických prvků jsou nádrže uzavřené a propojené navzájem vzdušníky a clonami s vnější atmosférou. To má za následek, že se hydraulické soustavy mohou navzájem ovlivňovat a tím vzniká dvourozměrná soustava. Hlavní částí modelu jsou dvě hydraulické soustavy, kde každá tato soustava je tvořena dvěma nádržemi nad sebou. Výšky nádrží jsou shodné, ale v průřezu jsou pravé nádrže menší. Voda je čerpána pomocí dvou čerpadel ze společného zásobníku na vodu do vrchních nádrží. Z nich pak voda protéká přes clonku do spodních nádrží a ze spodních nádrží následně voda přitéká zpátky do společného zásobníku na vodu. Čerpadla jsou ovládána analogovým výstupem (0; 5) V. Hladina vody je měřena ve spodních nádržích za pomoci snímačů rozdílu tlaku, které poskytují analogový výstupní signál v rozsahu (0; 10) V.

Jelikož horní nádrže nemají čidlo na určení hladiny, je potřeba dát pozor, aby hladina nepřekročila výšku nádrže a nádrž nepřetekla. Soustava může dosahovat různých stavů, záleží na tom, jak je nastavená pneumatická část soustavy, respektive jak jsou otevřené nebo uzavřené ventily. Rozdělením nádrží lze docílit vzniku jednorozměrné soustavy. Soustava se do ustáleného stavu dostane přibližně do deseti minut, ale záleží na tom, jak je nastavená pneumatická část soustavy. Pro kompletní ovládání a snímání hladiny soustavy je zapotřebí dvou analogových výstupů a dvou analogových vstupů (Macháček, 2005).



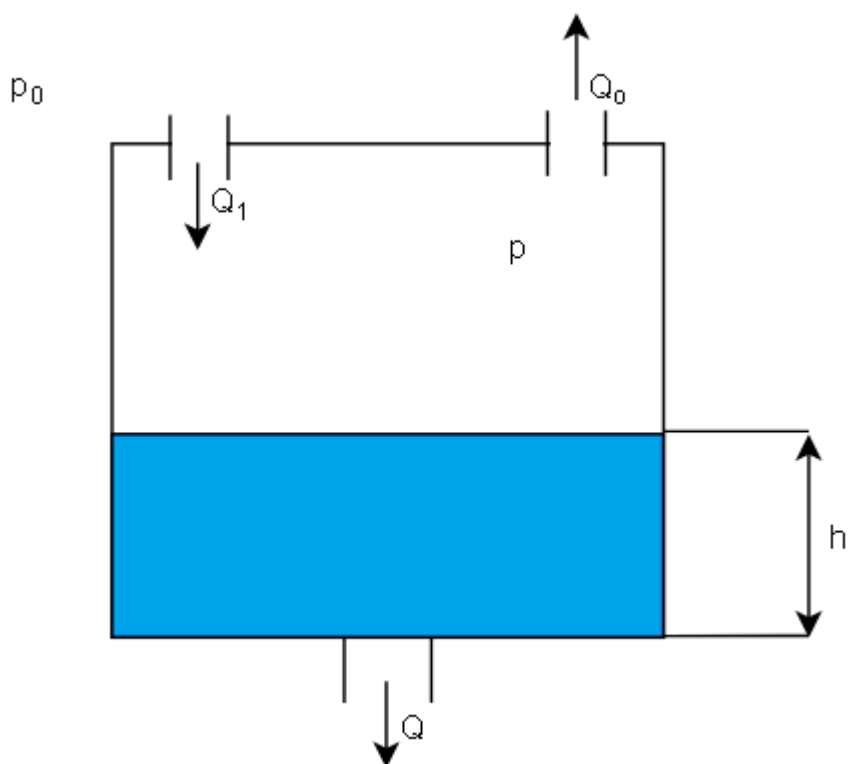
Obrázek 1.3 – Schéma hydraulicko-pneumatické soustavy

U čerpadel je zapotřebí brát v potaz, že pro přečerpání vody do vrchních nádrží je potřebné nějaké minimální napětí, aby čerpadlo vytlačilo vodu až do vrchních nádrží. Z toho plyne, že pracovní oblast čerpadla nebude (0; 5) V, ale spodní hranice bude posunuta.

1.2.2 Jedna nádrž soustavy

Pro lepší představu fungování hydraulicko-pneumatické soustavy bude popsáno fungování na jedné nádrži. Na obrázku 1.4 je znázorněna schematicky jedna nádrž soustavy.

Změnou přítoku kapaliny do soustavy (Q_1) dojde ke změně výšky hladiny (h). Při změně výšky hladiny (h) dochází i ke změně objemu plynu v nádrži. Přes vzdušník dochází k vyrovnávání tlaku v nádrži s okolní atmosférou. Hmotnostní průtok plynu (Q_0) je závislý na rozdílu množství kapaliny do nádrže přitékající a z nádrže vytékající. Výška hladiny také ovlivňuje objem vytékající vody (Q) z nádrže. Hydraulicko-pneumatická soustava je tvořena ze čtyř nádrží. U dolních nádrží je potřeba dbát na to, že přítok je vlastně výtok z vrchních nádrží. Na základě těchto informací se dají sestavit bilanční rovnice soustavy (Škrabánek, 2004).



Obrázek 1.4 – Jedna nádrž soustavy

Legenda

h	výška hladiny	Q	výtok z nádrže
p	tlak v nádrži	Q_1	přítok do nádrže
p_0	okolní tlak	Q_0	průtok plynu vzdušníkem

1.3 Programovatelný logický automat

Programovatelný automat je jeden z nejvýznamnějších řídicích prostředků pro řízení výrobních linek, strojů a technologických prostředků. Je to průmyslový počítač, který je

řízen vlastním operačním systémem. Tento systém je specializovaný konkrétně na zpracování příchozích událostí v reálném čase s nejmenší možnou dobou odezvy. Programovatelné automaty mají velmi dobře propracovanou práci se vstupy a výstupy, což patří mezi jejich velké plusy, protože díky nim mohou komunikovat s okolím. Mezi další výhody patří vysoká spolehlivost, odolnost vůči extrémním podmínkám a nižší náklady na kabeláž. Z toho vyplývá jednodušší údržba, jednodušší ladění programu a celkově rychlejší uvedení do provozu. Kvůli všem těmto výhodám si programovatelné automaty získaly důležité umístění v automatizaci (Šmejkal, 1999).

Z pohledu konstrukce se programovatelné automaty rozdělují do dvou základních skupin, a to kompaktní a modulární.

Kompaktní programovatelné automaty (viz obrázek 1.5) jsou prodávány jako hotový celek. To přináší jisté výhody, ale i nevýhody s tím spjaté. Mezi výhody patří v první řadě cena. Další výhodou je rychlost přístupu k perifériím, jelikož jsou přímo zabudované v PLC, nemusí signály procházet přes řadič sběrnice. To má za následek, že doba cyklu je rychlejší. Mezi ty hlavní nevýhody patří menší paměť pro program i data, dále je limitován počet vstupů a výstupů (Šmejkal, 1999; Sestava PLC).



Obrázek 1.5 – Kompaktní PLC (Conrad Electronic 2019a)

Modulární programovatelné automaty (viz obrázek 1.6) jsou tvořené z několika jednotlivých modulů, které jsou následně poskládané do jednoho velkého celku. Jeden tento modul musí být CPU (central processing unit), zbylé moduly lze navolit podle toho, co se bude od daného zařízení požadovat. Je možnost velkého množství vstupů a výstupů, tím se

zvětšuje paměť pro program i data, ale s tím stoupá i pořizovací cena (Šmejkal, 1999; Sestava PLC).



Obrázek 1.6 – Modulární PLC (Autocont Control System, 2019)

1.3.1 Vykonávání programu u PLC

Program PLC je vykonáván cyklicky v programové smyčce, nemusí se proto řešit situace, kdy by se po vykonání programu musel program vracet zpátky na začátek. To je zajištěno systémovým programem. Pokud by došlo k zacyklení, tak na základě dlouhého setrvání programu v programové smyčce by systém zahlásil překročení doby cyklu a vyhodnotil chybu. Po vykonání uživatelského programu se předá řízení systémovému programu a ten provede opakování cyklu. V něm se aktualizují hodnoty vstupů a výstupů, časové údaje pro časovače a systémové registry atd. Po zahájení nového cyklu se řízení předá opět uživatelskému programu (Šmejkal, 1999).

1.3.2 Programování PLC

Programování PLC je v dnešní době možné hned několika způsoby. Pro programování PLC je potřeba znát nějaký programovací jazyk, nejlépe takový, který je uvedený v podkapitole 1.3.3 této práce.

Programovací jazyky pro programovatelné automaty se snaží být co nejjednodušší. Dřívější myšlenka pro programovací jazyky byla umožnit řešení booleovských rovnic, které bylo možné řešit hardwarovou metodou a převést je na řešení pomocí programu pro

automaty. Níže jsou uvedeny a stručně popsány jednotlivé programovací jazyky, které se používají v dnešní době (Šmejkal, 1999).

1.3.3 Programovací jazyky

Programovacích jazyků je pro programovatelné automaty více druhů. Původně byly navrženy pro snadnou a názornou realizaci. Jelikož každý výrobce má odlišně modifikovaný programovací jazyk, není možné přenesení programu do PLC jiného výrobce tak, aby fungoval stoprocentně správně. Takové kompletní přenesení programu je možné jen mezi systémy téhož výrobce. Dle normy IEC 61 131-3 je definováno pět programovacích jazyků. Jejich význam a syntaxe je definována. Tím se zamezuje možnostem špatného či nepřesného vyjadřování. Osvojení těchto programovacích jazyků umožňuje používat velkou škálu řídicích systémů, které jsou na této normě založené. Níže jsou uvedeny a stručně popsány jednotlivé programovací jazyky, které spadají pod tuto normu:

- jazyk seznamu instrukcí,
- jazyk strukturovaného textu,
- jazyk příčkového diagramu,
- jazyk funkčního blokového schématu,
- jazyk sekvenčních diagramů.

Jazyk seznamu instrukcí

Tento jazyk patří do skupiny textových programovacích jazyků. Je podobný programovacímu jazyku Assembler. Stejně jako Assembler je tvořen posloupností jednoduchých operací, které jsou tvořeny operandy a základními operacemi. Každá instrukce je psána na jednotlivé řádky, což nám přináší přehlednost v programu a také to pomáhá optimalizovat jednoduché programy pro jejich maximální efektivitu hlavně z hlediska rychlosti provádění. Tento programovací jazyk nese ale u složitějších programů nevýhodu. Program se totiž stává méně přehledný a je nutné znát velké množství příkazů. Proto se tento jazyk doporučuje jen pro kratší programy nebo pro programy, kde je potřeba přesné provádění nějaké operace (Vojáček, 2011; Šmejkal, 1999).

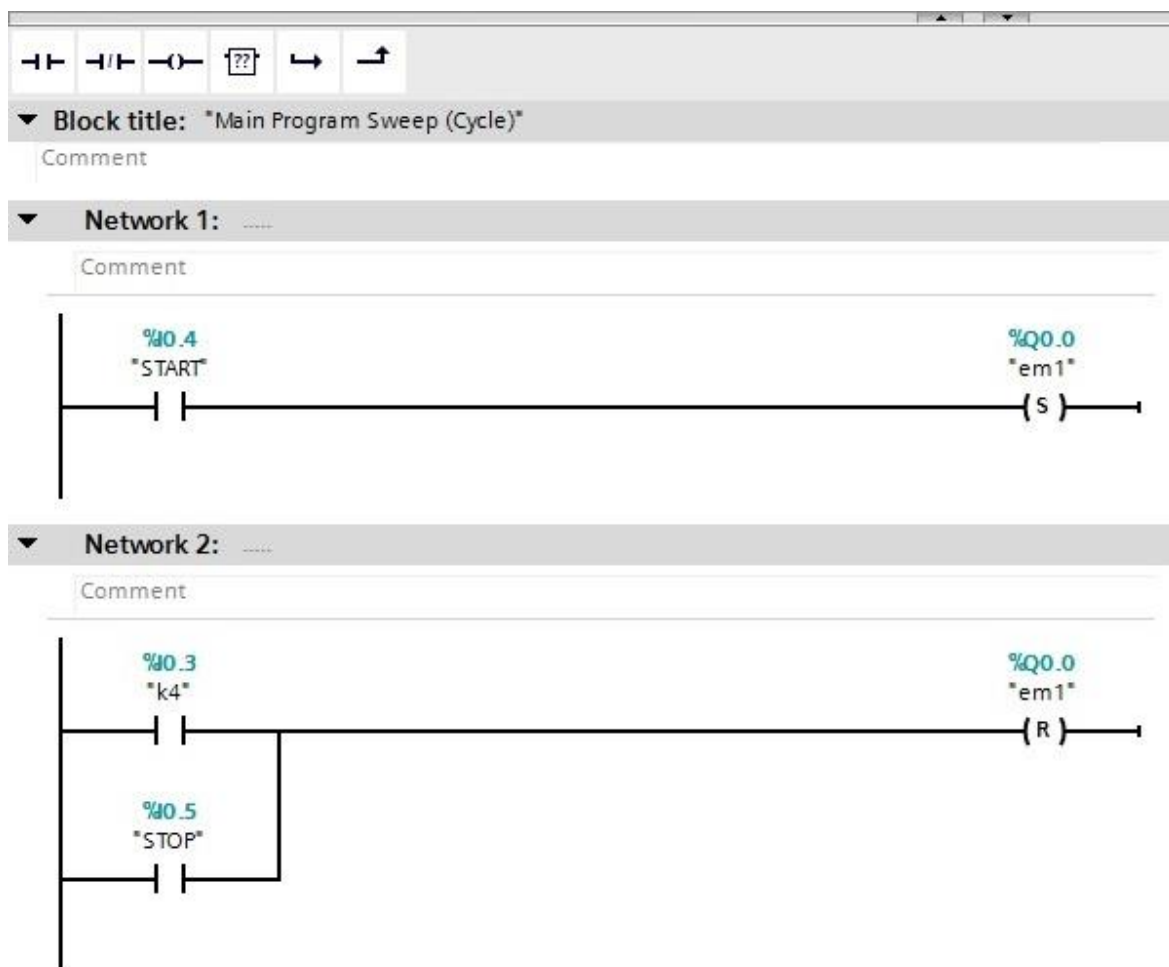
Jazyk strukturovaného textu

Tento jazyk patří také do skupiny textových programovacích jazyků. Je dost podobný vyšším programovacím jazykům, ať už se jedná o programovací jazyk C nebo Pascal. To

přináší výhodu při tvorbě programů, protože vyšší programovací jazyky mají příkazy, které provedou více základních instrukcí najednou a není nutné je psát jednotlivě, jak tomu bylo u předchozího jazyka. Z toho vyplývá, že celkový vývoj a zhotovení programu by mělo být snazší, než tomu bylo u jazyku seznamu instrukcí. Jazyk strukturovaného textu je vhodný pro práci s daty nebo k provádění aritmetických operací. Používá se větvení programu pomocí podmínek využívajících smyček, stejně jako u vyšších programovacích jazyků. Nevýhodou opět je znalost syntaxe a větší množství příkazů (Vojáček, 2011; Šmejkal, 1999).

Jazyk příčkového diagramu

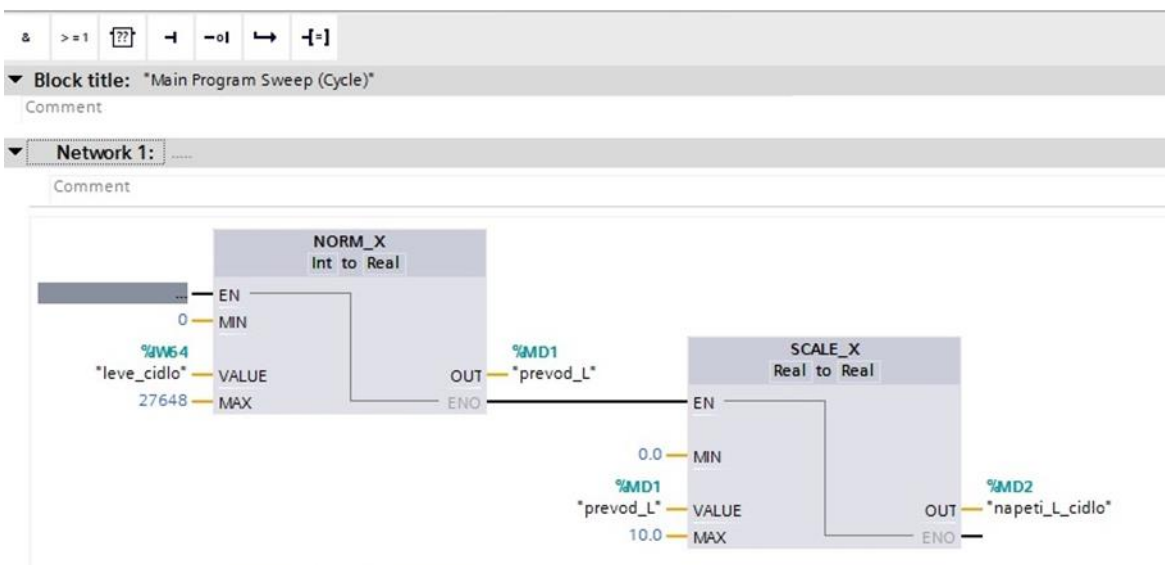
Na obrázku 1.7 je zobrazena ukázka programu příčkového diagramu. Jedná se o jeden z grafických programovacích jazyků, který převážně slouží k vytváření logického programu. V tomto programu se využívá sériově-paralelního zapojování symbolů kontaktů relé. Je to jeden z nejstarších programovacích jazyků pro programovatelné logické automaty a stále má své uplatnění. Jeho největší výhodou je jasně definovaná posloupnost, tím i přehlednost programu. Ale při rozsáhlejších programech tato výhoda způsobuje to, že velikost programu rapidně narůstá. Proto je dobré program dělit do podprogramů (Vojáček, 2011; Šmejkal, 1999).



Obrázek 1.7 – Ukázka programu příčkového diagramu

Jazyk funkčního blokového schématu

Na obrázku 1.8 je znázorněna ukázka programu za pomoci funkčních bloků. Jedná se o programovací jazyk, patřící do skupiny grafických programovacích jazyků. Tento jazyk je podobný jazyku příčkového diagramu, s tím rozdílem, že se místo sériově-paralelního zapojování symbolů kontaktů relé používají funkční bloky. Mohou to být klasická hradla, ale i další speciální bloky. Záleží na tom, jaký program je použit. Mohou to být čítače, časovače, regulátory a mnoho dalších. Tento programovací jazyk umožňuje skládat program jako skládačku a není tedy nutné psát několik řádků textu (Vojáček, 2011; Šmejkal, 1999).



Obrázek 1.8 – Ukázka programu funkčního blokového schématu

Jazyk sekvenčních diagramů

Tento jazyk patří do grafických programovacích jazyků, které spadají pod normu IEC 61 131-3. Je to algoritmus, který je tvořen kroky, podmínkami a akcemi. Akce jsou jednotlivé podprogramy, napsané v jednom z předešlých jazyků, které jsou pak zasazeny na určité místo pomocí diagramu. To přináší jasný přehled nad posloupností programu (Vojáček, 2011).

1.3.4 Problematika PLC

Celková problematika automatizace je v tom, že se firmy snaží nakoupené stroje co nejvíce zužitkovat, a to tím způsobem, že dokud fungují, tak se na nich vyrábí. Není na tom nic špatného, ale je nutné si uvědomit, že dnešní doba vývoje inovací je velmi rychlá a nefunguje tak, jak tomu bylo v minulosti. Díky tomu, že se firmy snaží držet stroje co nejdéle v provozu, vzniká problém v podobě zastaralé technologie. Díky tomu se mohou dostat do bodu, kdy se stroj porouchá a nebude možné ho opravit, protože náhradní díly se již několik let nevyrábí.

U programovatelných automatů tomu je podobně. V dnešní době se vše zefektivňuje a provádí se úspora prostoru, proto není možné součástky jednoduše vyměnit. Nyní je podstatě vše řešeno pomocí SMD (Surface Mount Device) a to nedovoluje lehce součástku vyměnit. Řešením je výměna celých bloků. Problém však opět nastává v dostupnosti náhradních dílů vzhledem k inovacím.

Další problém u programovatelných automatů je znalost hardwaru a softwaru. Hardware zná v podstatě pouze výrobce a fakt, že operační systém je vyráběn odlišnou firmou, než měla na starost výrobu hardwaru.

Mezi další nevýhodu se řadí doba vykonání programu, protože u PLC je doba vykonání programu delší než u pevné logiky. U programovatelných logických automatů to závisí na tom, jak je rychlý procesor a za jak dlouho se projde celý program.

Nespojitost v čase znamená, že program je vykonáván cyklicky. Uvnitř intervalu aktivace systému nereaguje na změny vstupních hodnot. Na to se klade důraz při tvorbě programu, aby nedošlo k problémům (Šmejkal, 1999; Vojáček, 2017).

1.4 Popis jednotlivých komponent a softwaru

Všechny jednotlivé komponenty a software jsou od německé firmy Siemens. Tato firma patří mezi jedničku na trhu, která vyrábí velké množství řídicích jednotek, jenž mají označení SIMATIC. Jsou různé řady. Některé jsou určené pro malé, velké a komplexní aplikace. Velká rozšířenost a oblíbenost SIMATIC je taky způsobená TIA portálem, který umožňuje rychlejší odladění programu.

1.4.1 SIEMENS SIMATIC S7 – 1200

Je to programovatelný logický automat vyrobený německou firmou Siemens. Jedná se o modulární programovatelný automat, série S7 – 1200. Tento programovatelný automat je menší, ale výkonný a dost odolný. Je možné ho montovat jak horizontálně, tak i vertikálně. PLC má vestavěné klipy pro rychlou a snadnou montáž na lištu. Klipy lze vysunout a vzniknou otvory, které slouží jako montážní otvory. Série S7 – 1200 se vyrábí ve více variantách, které se liší velikostí, počtem vstupů a výstupů a procesorem. V této bakalářské práci je použita varianta s CPU 1212 C AC/DC/RLY. Komunikace s počítačem a HMI panelem je zajištěna pomocí rozhraní RJ 45. Podrobnější informace o velikosti vstupech a výstupech jsou uvedené v tab. 1.1 (Conrad Electronic, 2019b).

Tabulka 1.1 – Parametry SIMATIC S7 – 1200

Rozměry	
Šířka	90 mm
Výška	100 mm
Hloubka	75 mm
Paměť	
Pracovní	50Kb
Stálá	1Mb
Remanentní	10Kb
Vstupy	
Analogové	2
Digitální	8
Výstupy	
Analogové	0
Digitální	6
Rozšíření	
Signálové moduly	2 moduly
Signálové desky	1 deska na CPU
Komunikační moduly	3 moduly
Konektory	
RJ45	1



Obrázek 1.9 – SIMATIC S7 – 1200 (Conrad Electronic, 2019b)

Jak je vidět v tabulce 1.1, tak SIMATIC S7 – 1200 varianta s CPU 1212 C AC/DC/RLY nemá analogové výstupy, proto byl připojen modul SM1232AQ, aby bylo

možné kompletně soustavu ovládat. Jak bylo popsáno v kapitole 1.2.1, je zapotřebí mít dva analogové vstupy i výstupy.

1.4.2 Modul SM 1232

Tento modul patří k doplňkovým modulům k SIMATIC S7 – 1200. Je vyráběný ve dvou variantách, které se liší počtem výstupů. Jedná se o modulární PLC, a proto není problém s připojením k hlavní části PLC. Jakmile se zavakne a přivede se napětí, modul je aktivní. Pak už je jen otázkou softwaru, jak je naprogramován. Tento modul potřebuje k provozu 24 V, takže stačí přivést napětí z PLC. Informace o velikostech a množství výstupů jsou uvedeny v tabulce 1.2 (6ES7232-4HB32-0XB0, 2019).

Tabulka 1.2 – Parametry modulu SM 1232

Rozměry	
Šířka	45 mm
Výška	100 mm
Hloubka	75 mm
Výstupy	
Analogové	2
Konektory	
RJ45	0

1.4.3 HMI Panel

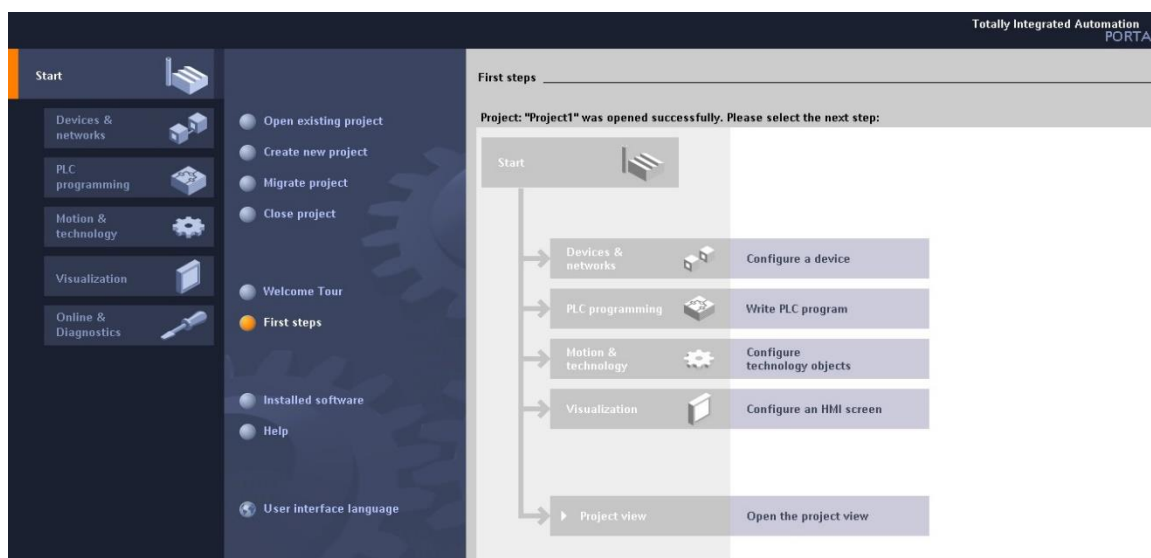
HMI (Human Machine Interface) je rozhraní, které slouží ke komunikaci mezi člověkem a strojem. Tento panel slouží jako doplněk k programovatelným logickým automatům. Především slouží k vizualizaci nebo k zadávání hodnot. Panel je dost odolný, má odolnost proti vniknutí prachu a tryskající vodě ze přední strany, proto se většinou zasazuje do desky nebo tak, aby zadní strana byla krytá, protože ze zadní strany panelu jsou konektory a napájení, a to snižuje odolnost proti vniknutí nečistot. Panel se napájí 24 V, takže stačí přivést napětí z PLC. Dále HMI panel má USB (Universal Serial Bus) port, proto k němu lze připojit periférie, ať už se jedná o čtečku čárkových kódů nebo myš. Informace o panelu jsou uvedeny v tabulce 1.3 (6AV2123-2GB03-0AX0, 2015).

Tabulka 1.3 – Parametry HMI panelu

Rozměry	
Délka	214 mm
Šířka	158 mm
Hloubka	39 mm
Display	
Velikost	7 palců
Rozlišení	800x400 pixelů
Paměť	
Vnitřní	10 Mb
Konektory	
RJ45	1

1.4.4 TIA Portal

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) je software vyrobený firmou Siemens. TIA Portal (viz obrázek 1.10) slouží k programování, konfiguraci a diagnostice řídicích systémů. TIA Portal se stal velmi oblíbeným, a to hlavně díky tomu, že jako jeden z mála programů podporuje vývoj řídicích aplikací a vytváření vizualizací. To znamená, že v jednom programu lze vytvořit jak program pro programovatelný logický automat, tak i vizualizaci na panelu HMI (Human Machine Interface) či pro dispečerské systémy kategorie SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Vše je v jednom programu a přehledně uspořádané. Na základní obrazovce jsou uspořádané jednotlivé části projektu, díky tomu lze jednoduše a rychle přistupovat ke všem částem projektu, na kterých chce uživatel pokračovat (Automa, 2011).



Obrázek 1.10 – Úvodní obrazovka TIA portal

1.5 Regulace

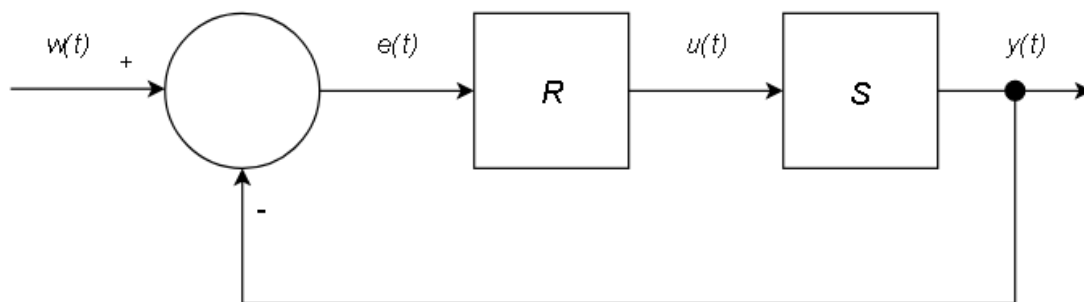
Regulace systému je činnost, která má za cíl udržet žádané hodnoty v systému. K regulaci je potřeba regulátor, který za pomoci své akční veličiny reguluje systém. Působením regulátoru se dosahuje požadovaných výsledku na regulačním pochodu. Je rozeznávána dopředná regulace a zpětnovazební regulace.

Dopředná regulace

Dopředná regulace je využívána tehdy, kdy jsou známy vnější vlivy nebo se chovají dle známého průběhu, nebo jsou konstantní. V praxi tento případ většinou nenastává, a proto se dopředná regulace moc často nepoužívá.

Zpětnovazební regulace

Zpětnovazební regulace využívá toho, že výstupní veličina je přivedena jako další vstup do regulátoru. Regulátor tím získá informaci o aktuálním průběhu procesu v soustavě. Díky tomu lze dosáhnout požadované hodnoty i bez potřebné znalosti poruch a parametrů systémů.



Obrázek 1.11 – Schéma regulačního obvodu

Legenda

$w(t)$	žádaná veličina	$e(t)$	regulační odchylka
R	regulátor	$u(t)$	akční veličina
S	regulovaná soustava	$y(t)$	regulovaná veličina

1.5.1 Typy regulátorů

Elektronické regulátory se dělí na nespojitě a spojitě. Nespojitě regulátory jsou dvoustavové nebo třístavové. Mezi spojitě regulátory patří PID (proporcionální integrační derivační) regulátor případně jeho varianty.

Dvoustavový

Dvoustavový regulátor patří mezi nejjednodušší regulátory. Má jen dva stavy, zapnutý nebo vypnutý. Je to spínač, který sepne nebo rozepne, když je dosaženo určité hodnoty. Je používán s hysterezí, aby nedocházelo k tak častému spínání. U dvoustavového regulátoru není možné dosáhnout nulové regulační odchylky. Měřená hodnota osciluje kolem žádané hodnoty. Regulační odchylku je možné zmenšit tím, že se zmenší hystereze, ale to má za následek častější spínání aktivního členu a tím pádem dochází k rychlejšímu opotřebením součástek.

PID regulátor

Patří mezi spojitě regulátory, které vyhodnocují akční zásah na základě regulační odchylky. Skládá se z proporcionální, integrační a derivační složky. PID regulátor patří mezi nejrozšířenější regulátory.

Proporcionální složka

Zesiluje zápornou zpětnou vazbu a tím se zrychluje regulační děj. Zesílení nesmí být příliš velké, jinak by mohlo dojít k nestabilitě a rozkmitání soustavy. Použití P složky nezaručuje nulovou regulační odchylku, proto je zapotřebí přidání další složky.

Integrační složka

Integrační složka umožňuje získat nulovou regulační odchylku. To má ale za následek prodloužení doby ustálení a zvýšení řádu soustavy.

Derivační složka

Urychluje regulační pochod, zvláště u soustav vyšších řádů, popř. soustav s dopravním zpožděním. Umožňuje zpětné vazbě reagovat s určitým předstihem. V ustáleném stavu její vliv vymizí. Derivační člen není možné v praxi zrealizovat, protože je za potřebí nekonečná amplituda.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

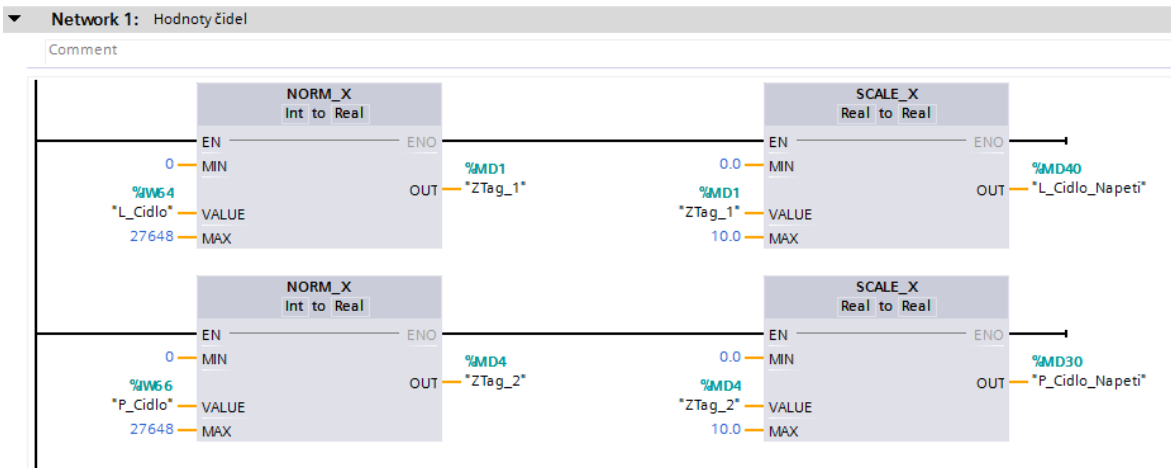
Praktická část se zaměřuje na popsání zprovoznění komunikace mezi soustavou a PLC. Dále je popsáno měření přechodových charakteristik a vyřešení praktických příkladů na soustavě zaměřené na dvoustavový a PID regulátor s podrobným popisem programu.

2.1 Komunikace

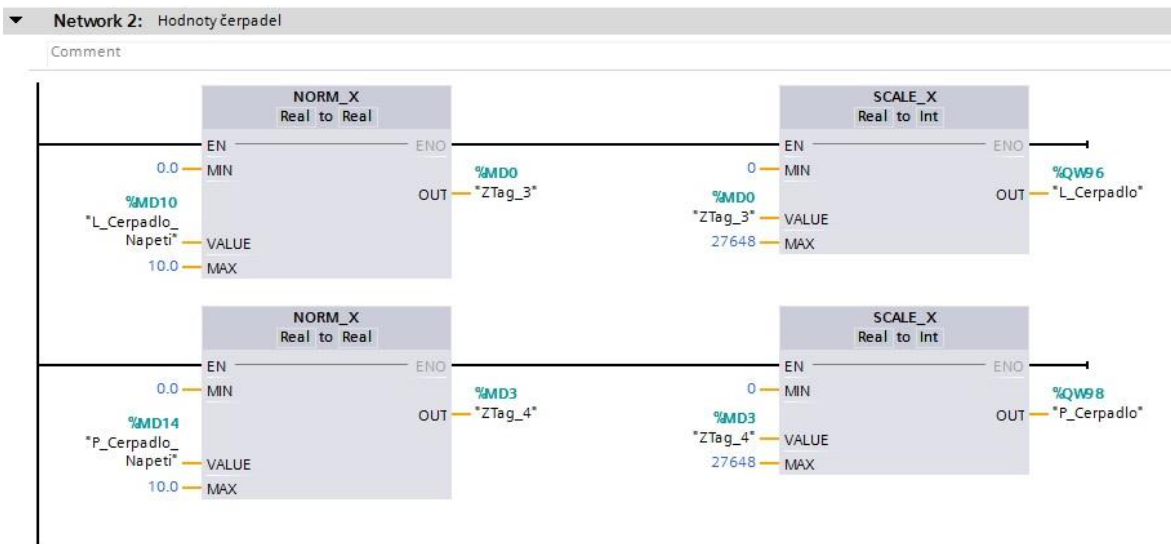
Zprovoznění komunikace mezi PLC a hydraulicko-pneumatickou soustavou bylo uskutečněno za pomoci svorkovnice a pásu vodičů. Vodiče byly připojeny do příslušných vstupů a výstupů na PLC a druhá strana vodičů byla připojena do svorkovnice taktéž do příslušných otvorů. Svorkovnice následně byla připojena do řídicí karty, tím byla propojena soustava s PLC.

Aby bylo možné soustavu ovládat, je zapotřebí komunikace mezi všemi komponenty. Komunikace je zajištěna za pomoci kabelů RJ45, které jsou spojeny s routerem a jsou spolu v jedné síti, aby byla možná vzájemná komunikace mezi jednotlivými komponenty a počítačem. Modul SM 1232 není připojený kabelem RJ45, protože je modulární a informace mu posílá modul s CPU, který je s ním přímo propojený.

Po splnění těchto kroků je soustava připravena na test komunikace. V TIA portal byl vytvořen jednoduchý program (viz obrázek 2.1 a 2.2), ve kterém bylo možné zadávat hodnotu na obou čerpadlech a snímat hodnoty z čidel tlaku. V programu byl naprogramován i převod, aby nebylo zapotřebí zadávat hodnotu v analogové podobě, tedy v rozsahu 0 až 27648, ale v rozsahu (0; 10) V, respektive v rozsahu (0; 5) V, protože čerpadla jsou ovládána rozsahem (0; 5) V, jak bylo zmíněno v teoretické části. Pro senzory byl udělán také převod, aby bylo jednodušší určit hodnotu z čidla. Program byl následně zkompilován a nahrán do PLC. V online režimu v TIA portal byla vyzkoušena změna hodnot na čerpadlech. Tím došlo ke spuštění čerpadel a voda se začala čerpat do vrchních nádrží. Chvilí poté senzory tlaku začaly poskytovat hodnoty naměřené ve spodních nádržích. Po úspěšném otestování se přešlo na další úkol z praktické části.



Obrázek 2.1 – Program pro snímání hodnot čidel

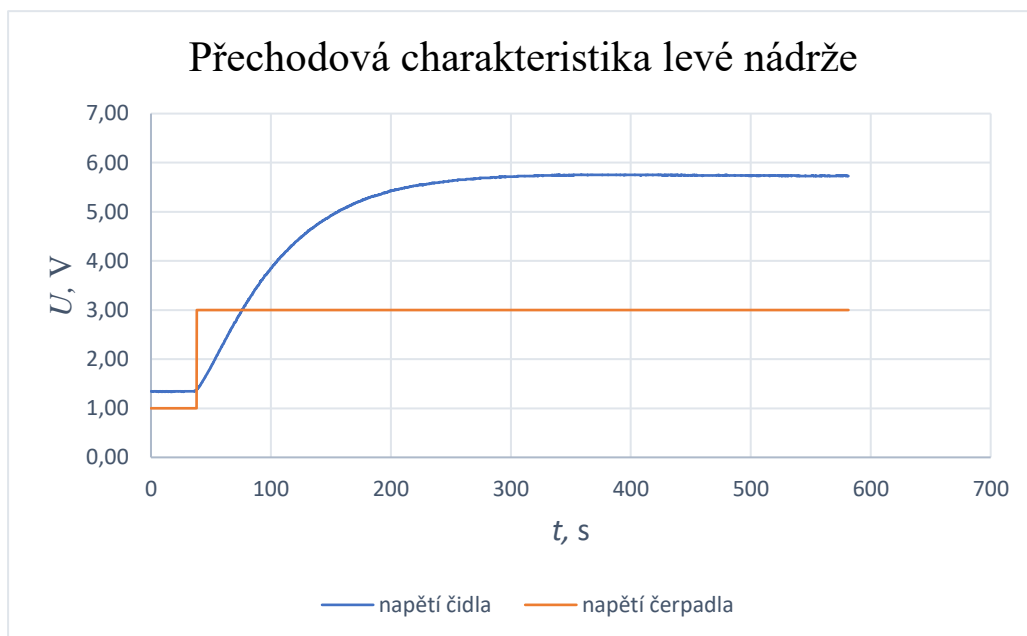


Obrázek 2.2 – Program pro nastavení napětí na čerpadlech

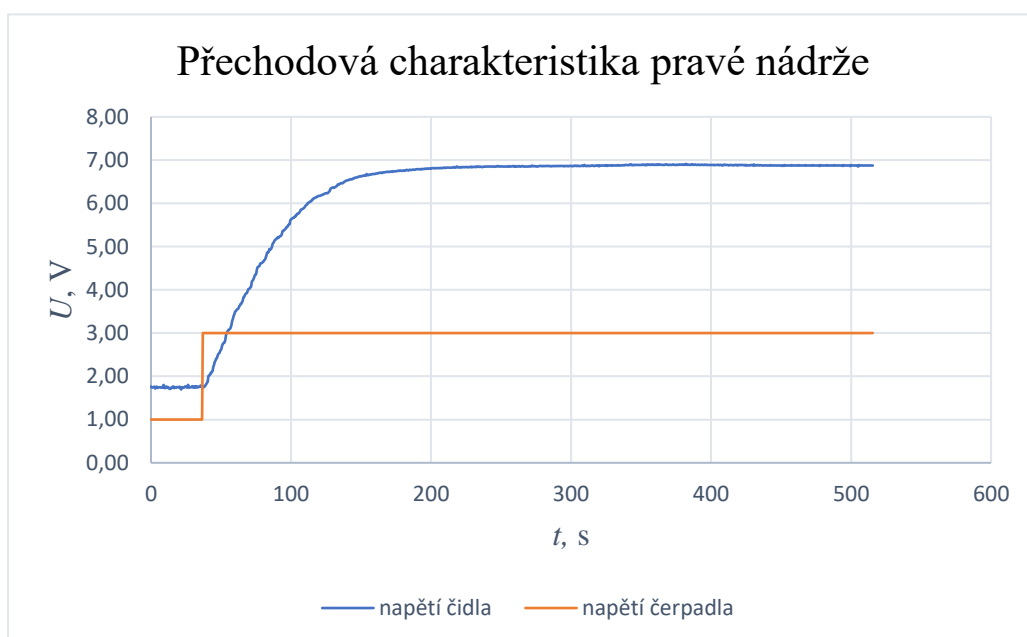
2.2 Přechodové charakteristiky

Dalším úkolem bylo změření přechodových charakteristik levé a pravé nádrže (viz obrázek 2.3 a 2.4). K měření byl využit testovací program pro komunikaci se soustavou, ale byl rozšířen o další části, aby bylo možné uložit naměřené hodnoty. Přechodová charakteristika je odezva na jednotkový skok, ale v praxi nejde tak jednoduše provést. V praxi to je uskutečněno tak, že se provede odezva na skokovou změnu. Proto bylo nejprve na čerpadlo nastaveno napětí 1 V a soustava se nechala ustálit. Po ustálení se hodnota napětí na čerpadle zvýšila na 3 V a opět se nechala ustálit, jen s tím rozdílem, že se ukládaly hodnoty. Aby nedocházelo k ovlivňování jednotlivých nádrží pneumatickou částí soustavy,

byla tato operace provedena na každé nádrži zvlášť. Způsob ukládání a získání dat z PLC je popsán podrobněji u dvoustavového regulátoru, protože princip je totožný.



Obrázek 2.3 – Přechodová charakteristika levé nádrže



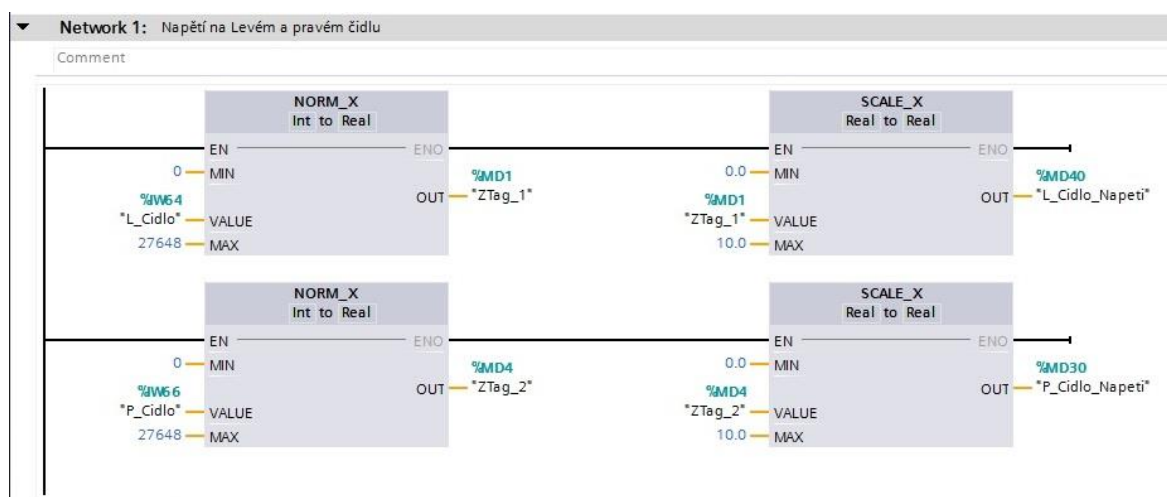
Obrázek 2.4 – Přechodová charakteristika pravé nádrže

Na první pohled je patrné, že přechodové charakteristiky nejsou totožné. Je to způsobeno tím, že každá dvojice nádrží nad sebou má jiný průměr, jak to již bylo zmíněno

v teoretické části této práce. To má za následek, že nádrže s menším průměrem nádrží mají strmější charakteristiku a tím pádem i rychleji reagují na skokovou změnu.

2.3 Dvoustavový regulátor

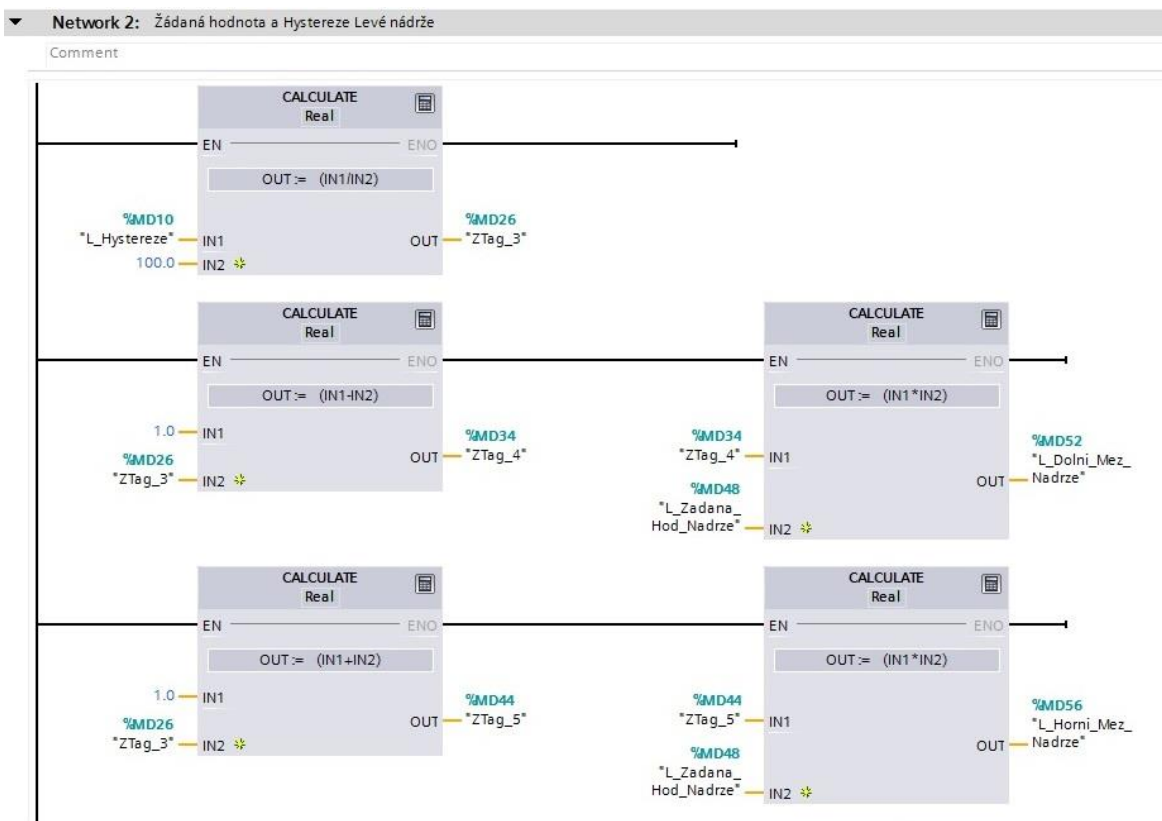
První část programu network 1 (viz obrázek 2.5) se skládá z bloků NORM_X a SCALE_X. Za pomoci těchto bloků je hodnota analogových vstupů %IW64 a %IW66 převedena na hodnotu v rozsahu (0; 10), což odpovídá rozsahu čidla, které generuje napětí (0; 10) V. Tato část programu slouží pouze jako převod z analogové hodnoty, aby další práce s těmito hodnotami byla jednodušší a přehlednější. Na základě hodnot je vyhodnocena podmínka.



Obrázek 2.5 – Program dvoustavového regulátoru network 1

V network 2 (viz obrázek 2.6) za pomoci bloků CALCULATE dochází k výpočtu horní a dolní meze pro levou nádrž. Tyto meze jsou automaticky vypočtené po zadání žádané hodnoty a hystereze na HMI panelu. Princip je založený na jednoduché matematice. Po zadání požadované hodnoty hystereze se vydělí číslem 100 a tím získá hodnotu ZTag_3. Pro získání horní meze je přičteno ZTag_3 k číslu jedna. Tím se získá hodnota ZTag_4, která je vynásobená žádanou hodnotou hladiny levé nádrže. Tato hodnota určuje horní mez hladiny pro dvoustavový regulátor s hysterezí levé nádrže.

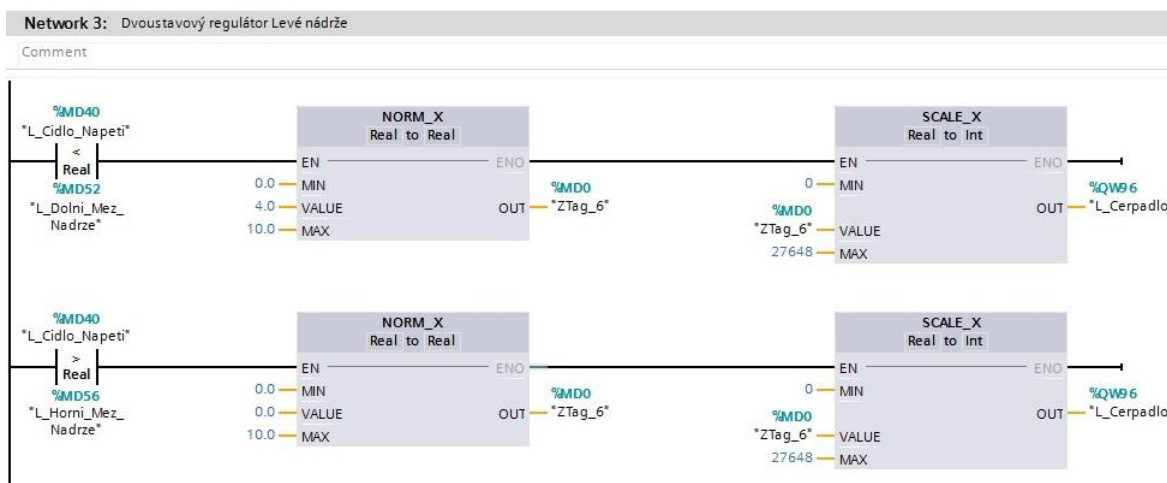
Pro dolní mez hladiny je postup stejný, jen s tím rozdílem, že hodnota ZTag_3 není přičtena, ale odečtena od jedničky. Získána hodnota ZTag_5 je poté vynásobena žádanou hodnotou levé nádrže výsledkem je dolní mez pro dvoustavový regulátor s hysterezí pro levou nádrž.



Obrázek 2.6 – Program dvoustavového regulátoru network 2

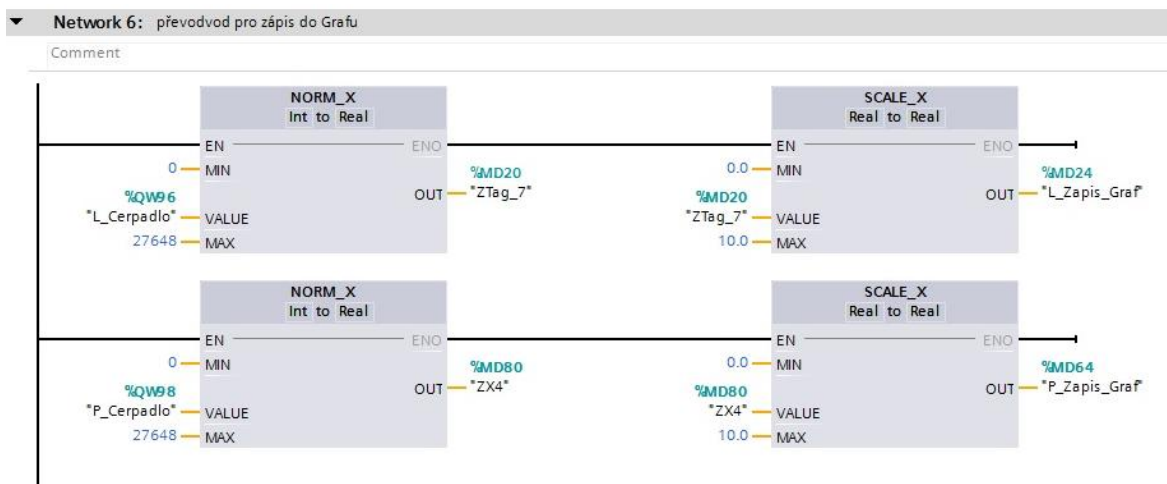
V network 3 (viz obrázek 2.7) se nachází samostatný dvoustavový regulátor pro levou nádrž. Zde je využito hodnot horní a dolní meze pro levou nádrž, které byly vypočteny v network 2. Nejhlavnější částí v network 3 jsou podmínky větší než a menší než. Zde je porovnávána aktuální hodnota levého čidla s vypočtenou horní a dolní mezí. Pokud je čidlem zaznamenaná hodnota menší, než je dolní mez, tak pomocí bloků NORM_X a SCALE_X je na levé čerpadlo přivedeno napětí 4 V. Maximální napětí na čerpadle je 5 V, ale při testu programu bylo zjištěno, že při 5 V na čerpadle a současně při větší žádané hodnotě na dolní nádrži by došlo k přetečení horní nádrže. Proto napětí bylo sníženo na 4 V. Pokud dojde ke splnění podmínky, kdy je hladina vody vyšší než horní mez levé nádrže, je napětí na čerpadle nastaveno na 0 V. Do doby, než je opět splněna podmínka, kdy je hladina vody nižší než dolní mez. Poté je opět nastaveno napětí na čerpadle 4 V.

Network 2 a 3 jsou vytvořeny pouze pro levé nádrže, proto musí být vytvořeno to samé i pro pravé nádrže. Tyto části programu jsou network 4 a 5, ale zobrazeny zde nebudou. Jedná se totiž o stejné části programu jak v network 2 a 3 jen s rozdílnými proměnnými.



Obrázek 2.7 – Program dvoustavového regulátoru network 3

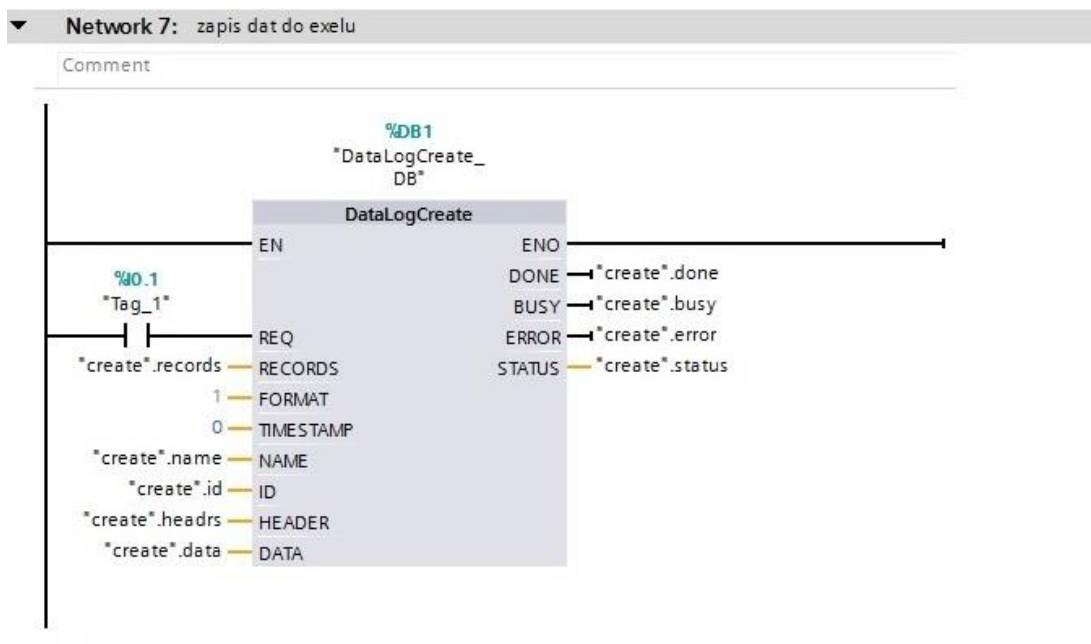
V network 6 (viz obrázek 2.8) je zobrazen jednoduchý převod analogových hodnot na rozsah (0; 10) opět za pomoci bloků NORM_X a SCALE_X, z důvodů zobrazení akčního zásahu na panelu HMI.



Obrázek 2.8 – Program dvoustavového regulátoru network 6

2.3.1 Ukládání dat

Program je tvořen z více částí. V první řadě je zapotřebí vytvořit soubor, ve kterém se budou zapisovat data. Vytvoření souboru je znázorněno na obrázku 2.9 za pomoci bloku DataLogCreate. Vytvoření souboru do interní paměti PLC proběhne, pokud přijde impuls z adresy %I0.1, což je digitální vstup. Impuls je vyslán za pomoci spínače.



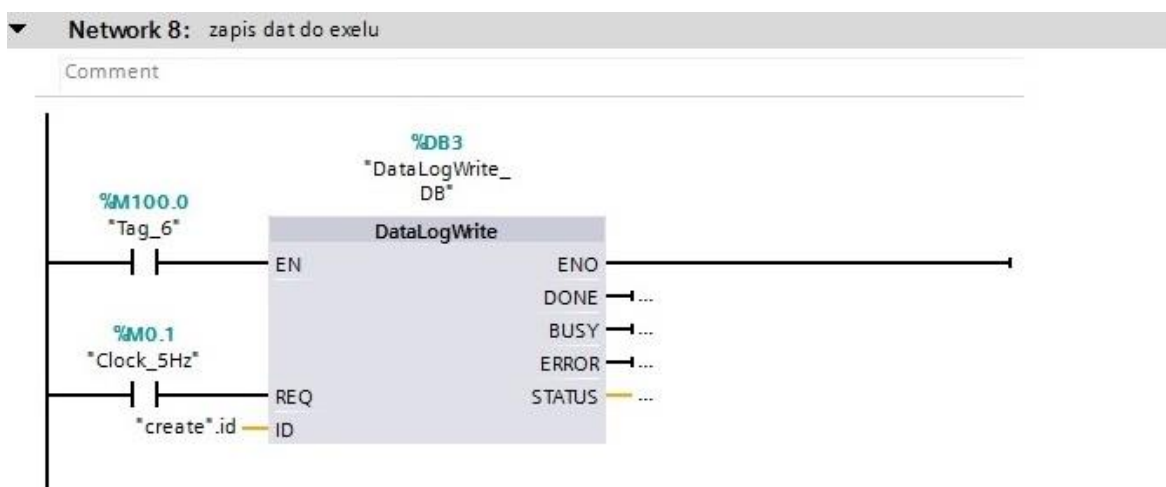
Obrázek 2.9 – Ukázka programu pro ukládání dat část 1

Když dojde k vytvoření souboru, tak výstup "create".done vygeneruje impuls. Je zapotřebí udržet informaci o tom, že je soubor vytvořený. K tomu je stvořena část programu, která se nachází v network 9 (viz obrázek 2.10). Jediný úkol této části je udržet informaci o přichozím impulsu z "create".done. Tedy že je soubor vytvořen. Když zaznamená impuls, tak je nastaven Tag_6 aktivní.



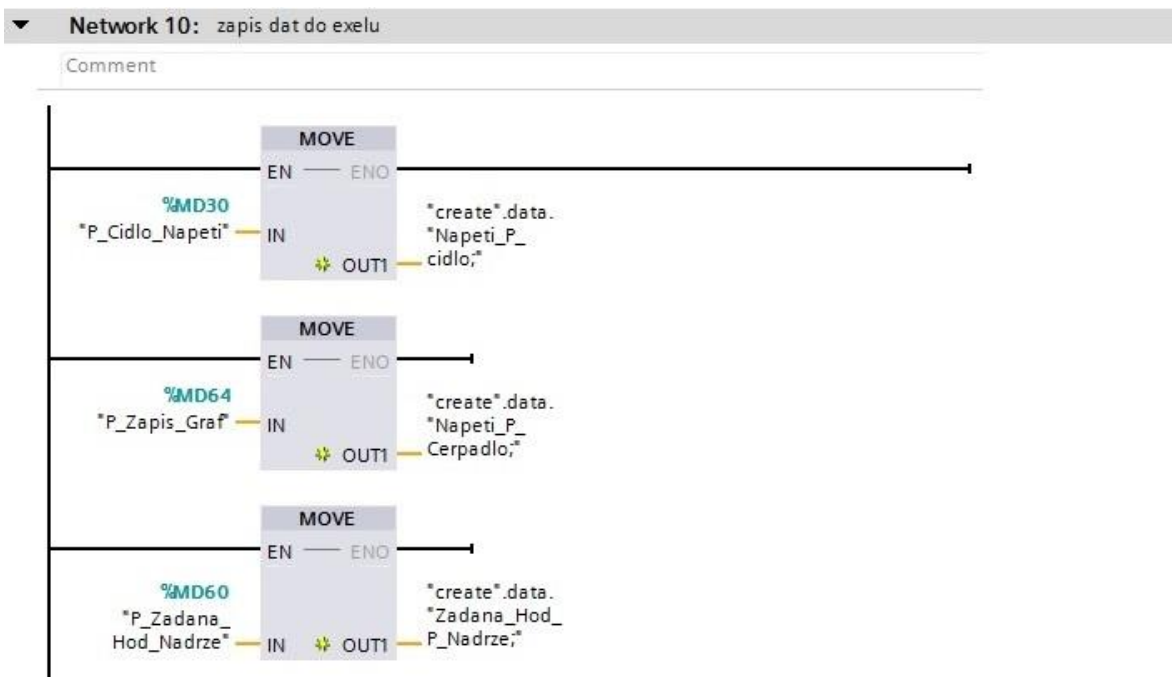
Obrázek 2.10 – Ukázka programu pro ukládání dat část 2

Informace o vytvoření souboru je důležitá pro network 8 (viz obrázek 2.11). Když je aktivní Tag_6, aktivuje se blok DataLogWrite. Za pomoci tohoto bloku jsou zapisována data. Na vstup REQ, neboli požadavek, je dán generátor impulzů o frekvenci 5 Hz, který udává, jak často mají být data zapsaná. Z toho plyne, že každou vteřinu je zapsáno 5 hodnot, změnou frekvence dojde k zmenšení nebo zvýšení počtu zapisovaných dat, ale zvyšovat frekvenci nemůžeme do nekonečna. PLC při vysoké frekvenci pak nezapisuje všechny hodnoty co by měly být zapsané, proto musíme volit rozumnou frekvenci.



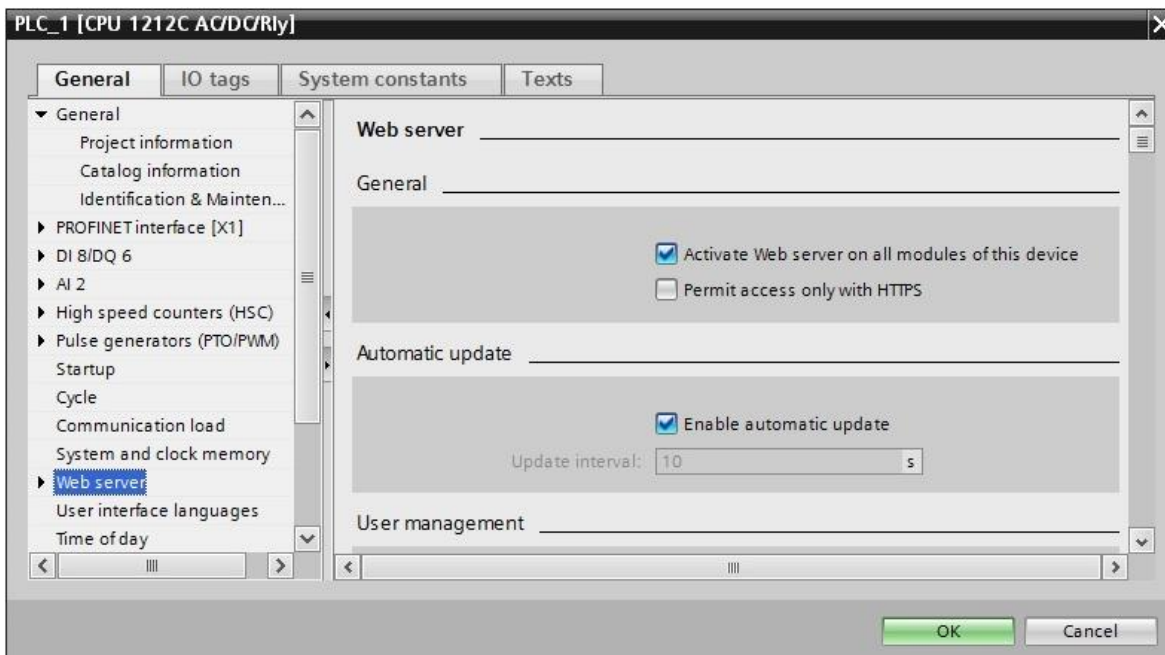
Obrázek 2.11 – Ukázka programu pro ukládání dat část 3

Poslední částí je network 10 (viz obrázek 2.12). Zde se udává, která data budou zapisována. Pomocí bloků MOVE jsou příslušné hodnoty přemístěny do určitých datových bloků. Tato data jsou zapsána do souboru v okamžiku, kdy přijde impulz na vstup REQ bloku DataLogWrite.

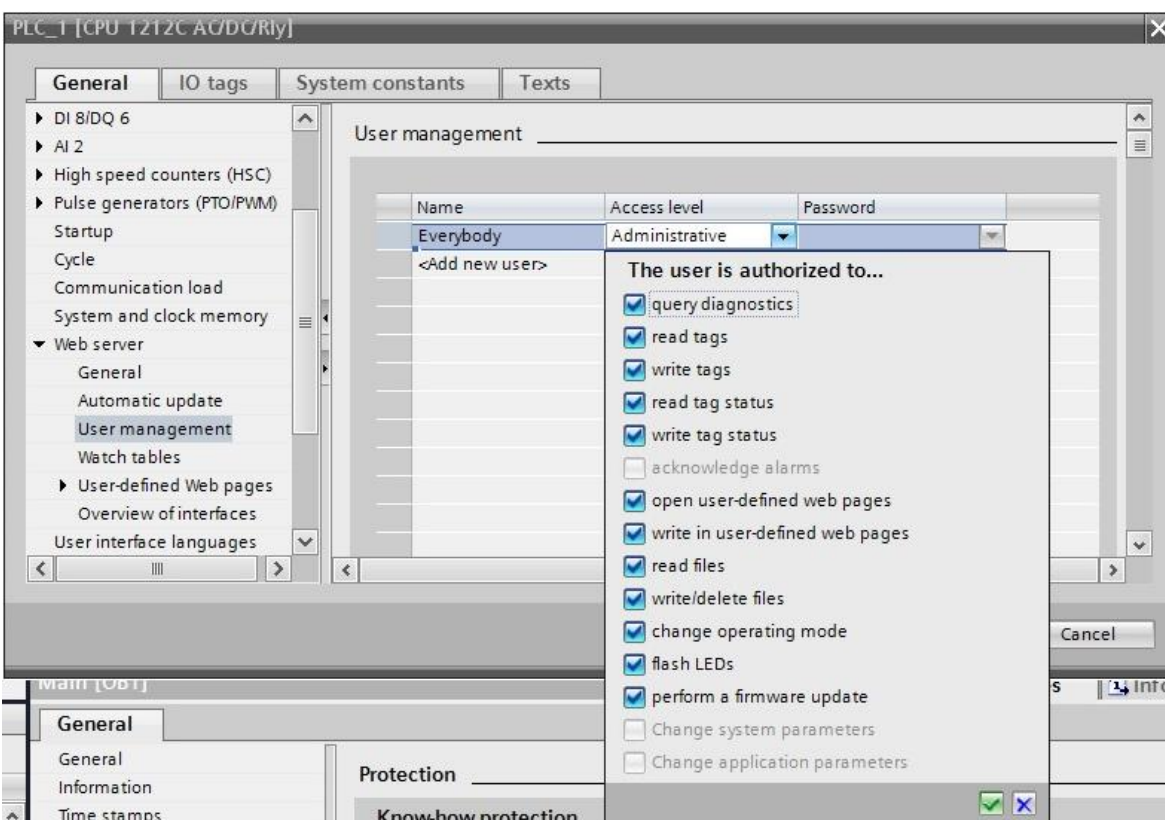


Obrázek 2.12 – Ukázka programu pro ukládání dat část 4

Po zapsání dat do souboru je zapotřebí dostat data z PLC. K tomu bylo využito webové rozhraní PLC. Než je však možné použít webové rozhraní, je zapotřebí v TIA portálu properties PLC, v záložce web server (viz obrázek 2.13), povolit používání webového rozhraní. Dále je zapotřebí v kolonce user management nastavit oprávnění (viz obrázek 2.14) kdo může mít přístup k webovému rozhraní, případně vytvořit nového uživatele s právy a heslem. V tomto konkrétním případě byla nastavena všechna oprávnění pro všechny, bez přístupového hesla, jelikož přístup k PLC je omezený.



Obrázek 2.13 – Povolení web serveru



Obrázek 2.14 – Nastavení práv pro webové rozhraní

Poté stačí do webového prohlížeče zadat IP adresu, kterou používá PLC. V tomto případě se jedná o IP adresu 192.168.0.5. Po přesměrování se zobrazí webové rozhraní (viz

obrázek 2.15), vytvořený soubor je v podsložce File Browser, odkud je možné stáhnout soubor s daty a dále s nimi pracovat. Vytvořený soubor je ve formátu csv, který lze otevřít v Excelu, ale PLC zapisuje hodnoty s desetinou tečkou, proto je potřeba zaměnit desetinou tečku za desetinou čárku, aby bylo možné další zpracování dat v Excelu.



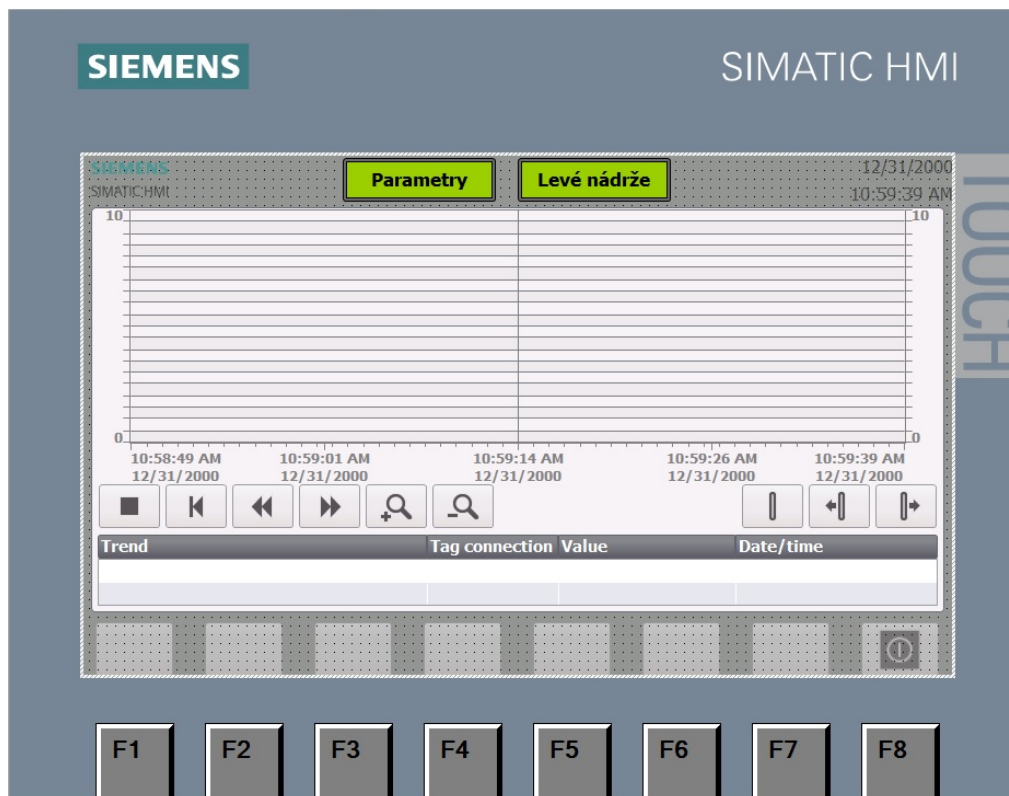
Obrázek 2.15 – Ukázka webového rozhraní PLC

2.3.2 Vizualizace a výsledky regulace

Pro lepší ovládání programu dvoustavového regulátoru byla vytvořena vizualizace na HMI panelu. Na první obrazovce (viz obrázek 2.16) jsou zobrazené jednotlivé parametry, které prostřednictvím panelu lze libovolně změnit. Vizualizace je rozdělena pro levou a pravou nádrž. Žádaná hodnota je hodnota, kterou je žádoucí mít na tlakovém senzoru, tedy v rozmezí (0; 10). Hystereze se zadává v procentech a poslední parametr je napětí čidla. Tento parametr ukazuje aktuální hodnotu na čidlu, proto nejde manuálně měnit. Pro rychlou kontrolu výsledku slouží tlačítko zelené barvy s názvem pravé nádrže, které se nachází úplně nahoře u obrazovky HMI panelu. Po stisknutí tohoto tlačítka je zobrazena druhá obrazovka (viz obrázek 2.17). HMI panelu, kde se nachází graf pro pravé nádrže. Zde je zobrazena aktuální hodnota čidla, žádaná hodnota a napětí na čerpadle. Dále se na druhé obrazovce nachází dvě zelená tlačítka. Jedno s názvem parametry a druhé levé nádrže. Za pomoci tlačítka parametry je zobrazená opět první obrazovka HMI panelu a za pomoci tlačítka levé nádrže je zobrazený graf pro levé nádrže.

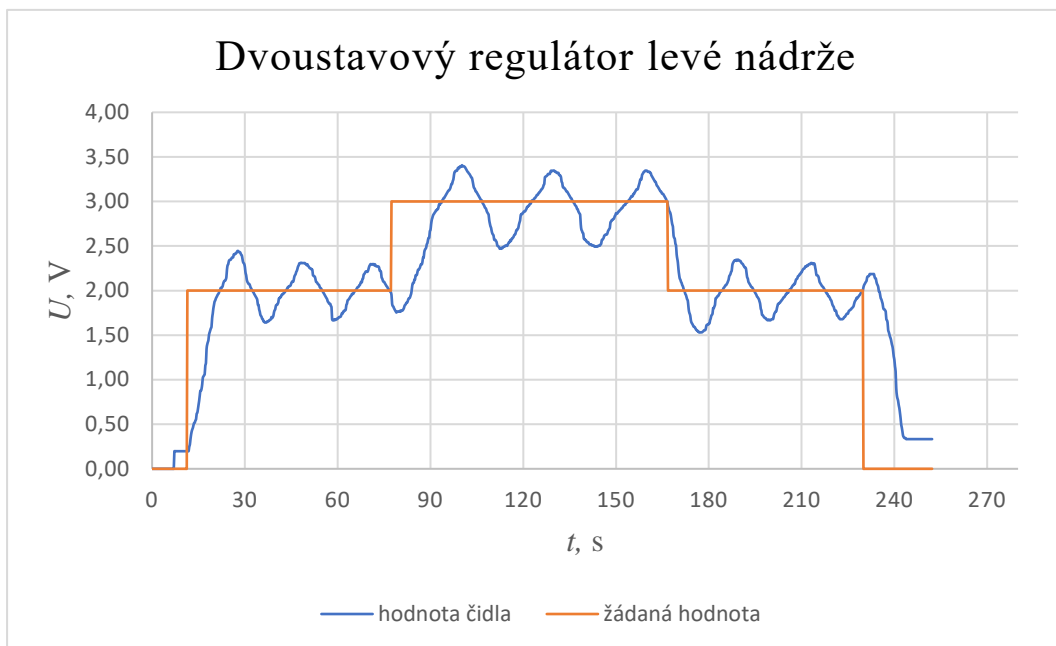


Obrázek 2.16 – HMI panel první obrazovka

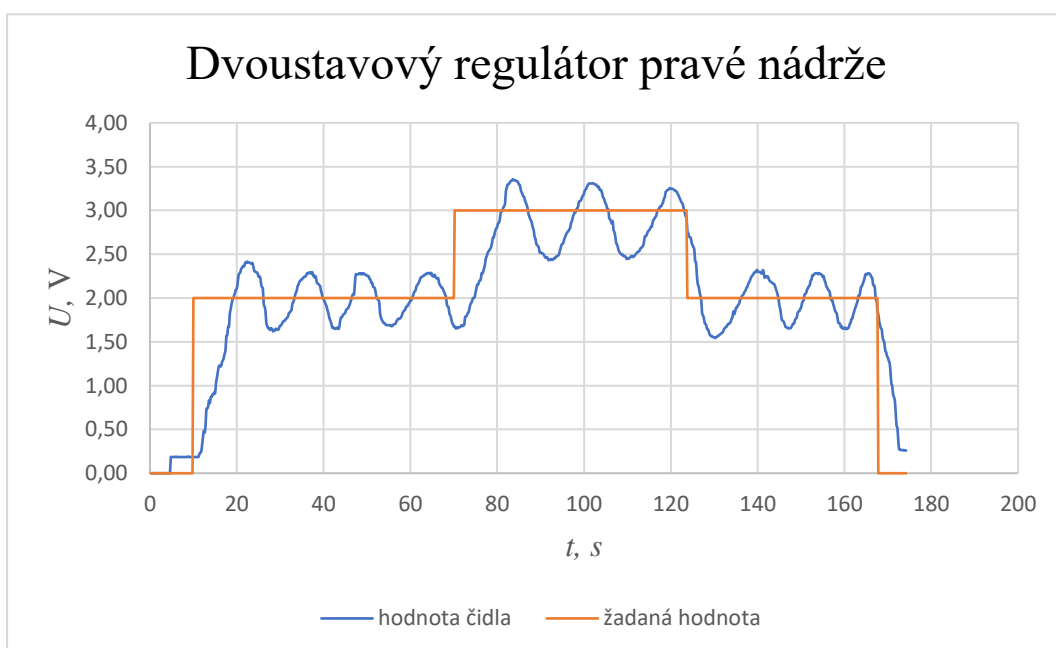


Obrázek 2.17 – HMI panel druhá obrazovka

Na charakteristikách dvoustavového regulátoru (viz obrázek 2.18 a 2.19) je patrné, že aktuální hodnoty oscilují kolem žádané hodnoty. Dále je zřejmé, že regulační odchylka pod žádanou hodnotou je větší než odchylka nad žádanou hodnotou, což způsobí zapnutí čerpadla. Voda přitéká do vrchní nádrže, ale nějakou dobu trvá, než voda proteče z první nádrže do druhé a zvýší se tak hladina ve spodní nádrži. Jak je vidět, při nulové žádané hodnotě čidlo vykazuje malé napětí. To je způsobeno kapkami vody, které zůstaly po vypuštění nádrže. Zobrazené charakteristiky jsou při hysterezi pět procent.



Obrázek 2.19 – Dvoustavový regulátor levé nádrže

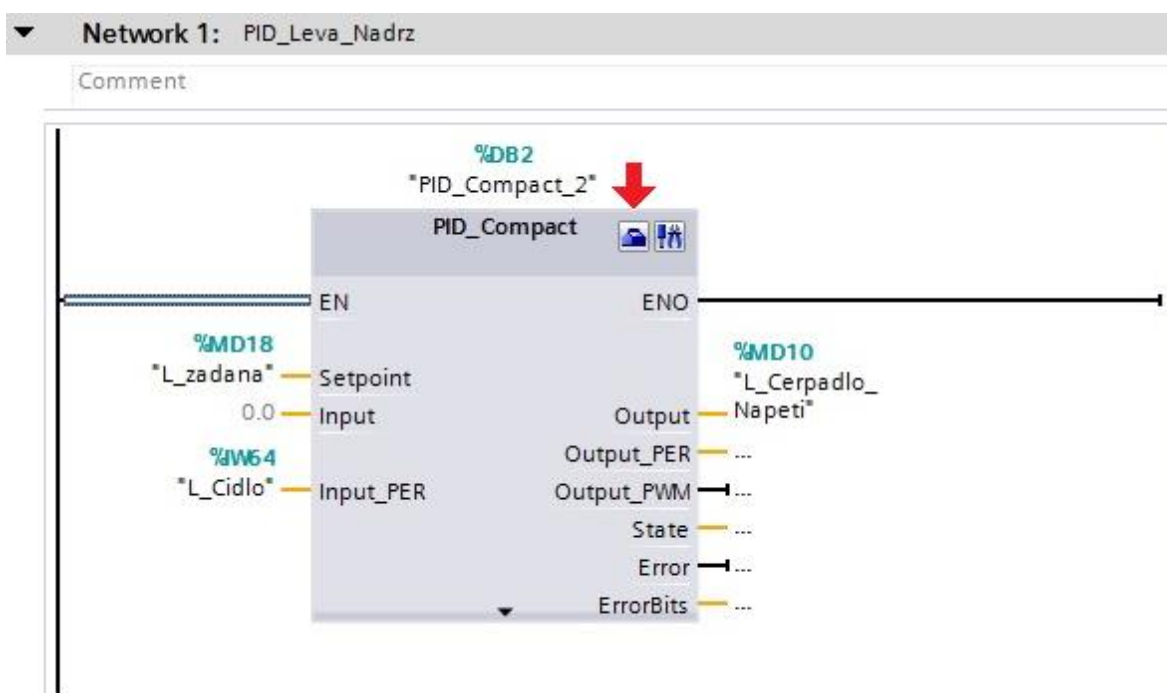


Obrázek 2.18 – Dvoustavový regulátor pravé nádrže

2.4 PID regulátor

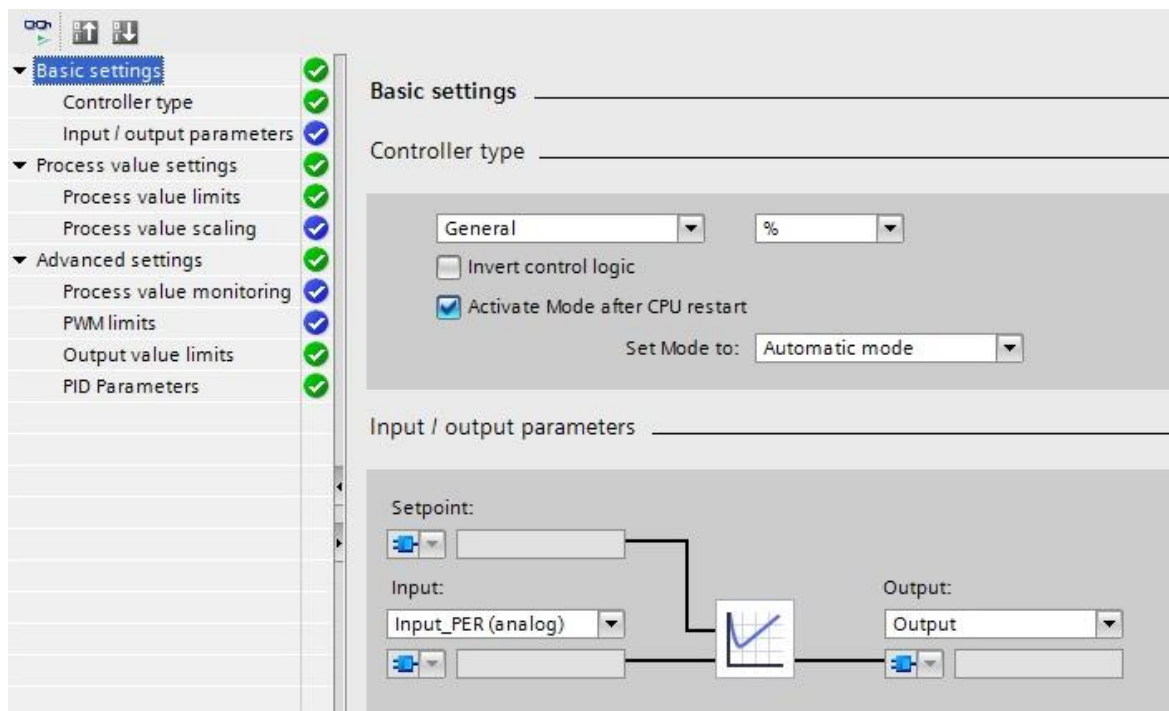
Program pro PID regulátor se skládá ze dvou hlavních částí. První částí je program main, neboli hlavní program. Zde se nachází základní program, který byl použit při měření přechodových charakteristik (viz obrázek 2.1 a 2.2). Tento program slouží k ovládání čerpadel a získání hodnot tlakových. Program se skládá z bloku NORM_X a SCALE_X.

Dále se zde nachází program pro vytvoření souboru a uložení dat, který je podrobněji popsán u dvoustavového regulátoru. Druhou částí programu je Cyclic interrupt. V této části se nachází samostatný PID regulátor (viz obrázek 2.20). Blok se jmenuje PID compact. PID compact má více vstupů a výstupu, ale pro účely této bakalářské práce postačí dva vstupy a jeden výstup. První vstup je setpoint, což je žádaná hodnota. Dalším vstupem je analogová hodnota čidla a výstupem je hodnota na čerpadle. Když jsou přiřazené tagy, tak je zapotřebí nastavit parametry a omezení PID regulátoru. Do nastavení parametrů a omezení se lze dostat za pomoci tlačítka na PID compact. Jedná se o tlačítko, které se nachází více vlevo.



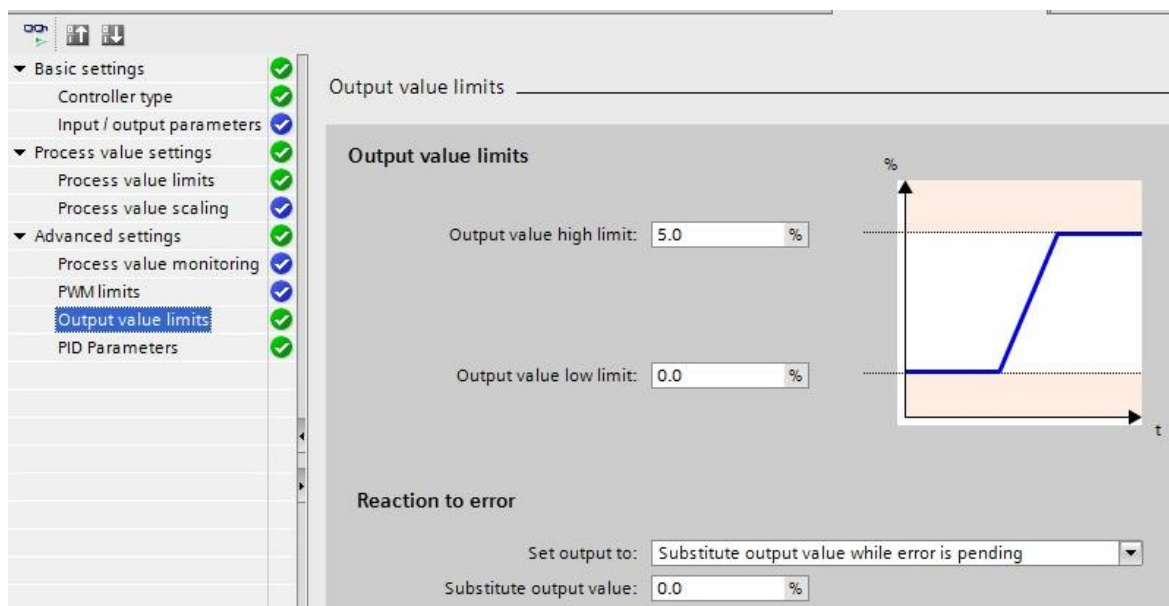
Obrázek 2.20 – PID regulátor v TIA portal

Po stisknutí tlačítka je otevřeno okno, kde se nastavují všechny možné parametry a limity pro PID regulátor. V první řadě je potřeba nastavit v záložce basic settings (viz obrázek 2.21) v jakém typu dat lze zadávat hodnoty. V tomto konkrétním případě jsou nastavená procenta. Je důležité si na to dávat pozor později při další práci. Další v pořadí se nastavují vstupy a výstupy, konkrétně jaký vstup a výstup je použit. Jestli analogový, pulzní anebo digitální.



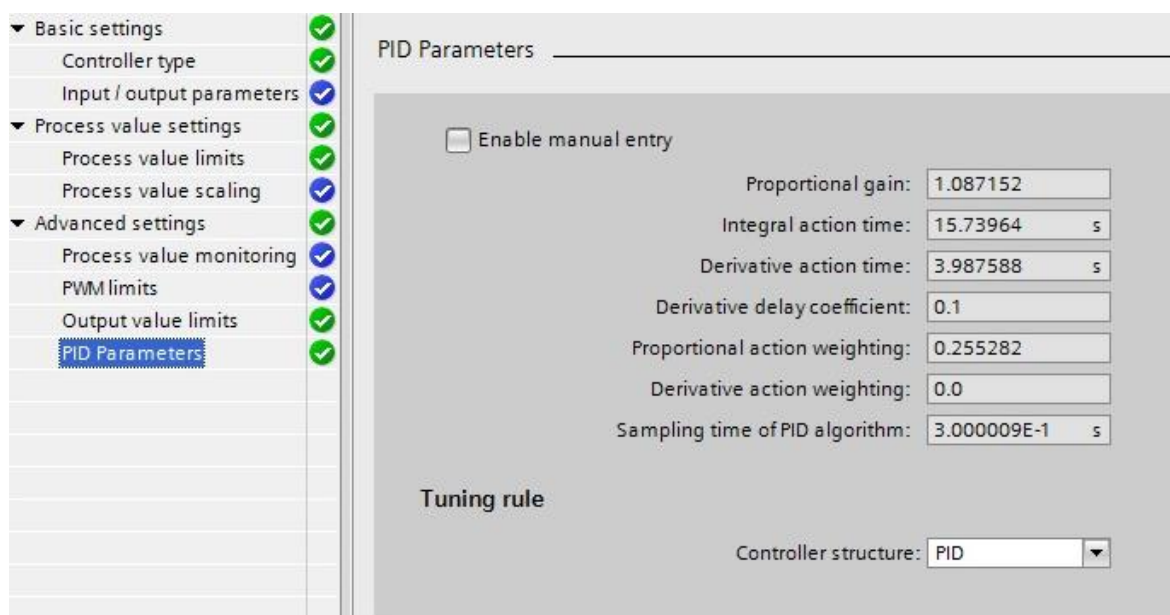
Obrázek 2.21 – Základní nastavení PID regulátoru

Velmi důležitou záložkou je output value limits (viz obrázek 2.22). Zde se nastavuje hodnota maximálního napětí, kterou lze použít na výstupu. Jak bylo zmíněno výše, je potřeba dávat pozor na to, že na začátku byla zvolena procenta. Proto se musí zvolit maximum u výstupu 5 procent, což odpovídá pěti voltům na čerpadle. To odpovídá maximálnímu napětí, které lze do čerpadla přivést. Při větším napětí by mohlo dojít ke zničení čerpadla.



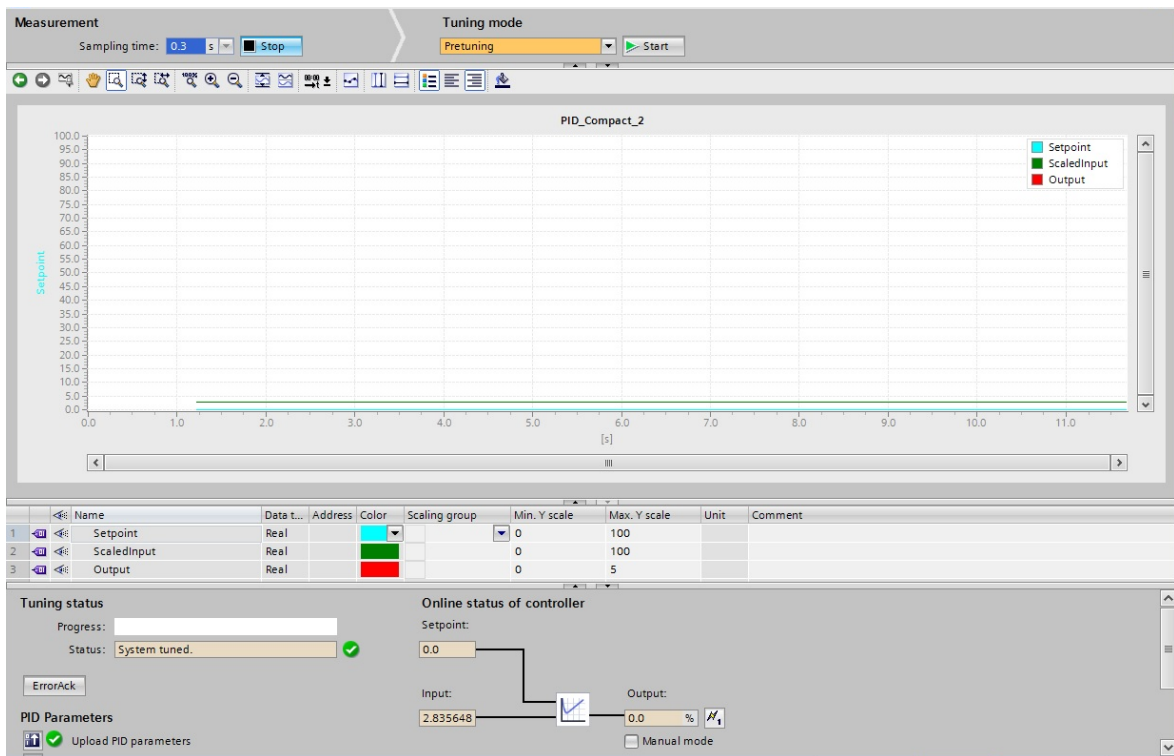
Obrázek 2.22 – Omezení výstupu PID regulátoru

Poslední záložkou je PID parameters (viz obrázek 2.23). Pokud je zde zaškrtnuto enable manual entry, tak lze parametry PID regulátoru nastavit ručně. V tomto případě byl ale použit auto tuning, který nastaví parametry automaticky. V dalších záložkách, které zde nebyly představeny, se nastavují jiné parametry. Ať už se jedná o omezení rozsahu, v jakých hodnotách se může pohybovat žádaná hodnota nebo parametry pulzních výstupů atd.



Obrázek 2.23 – Nastavení jednotlivých složek PID regulátoru

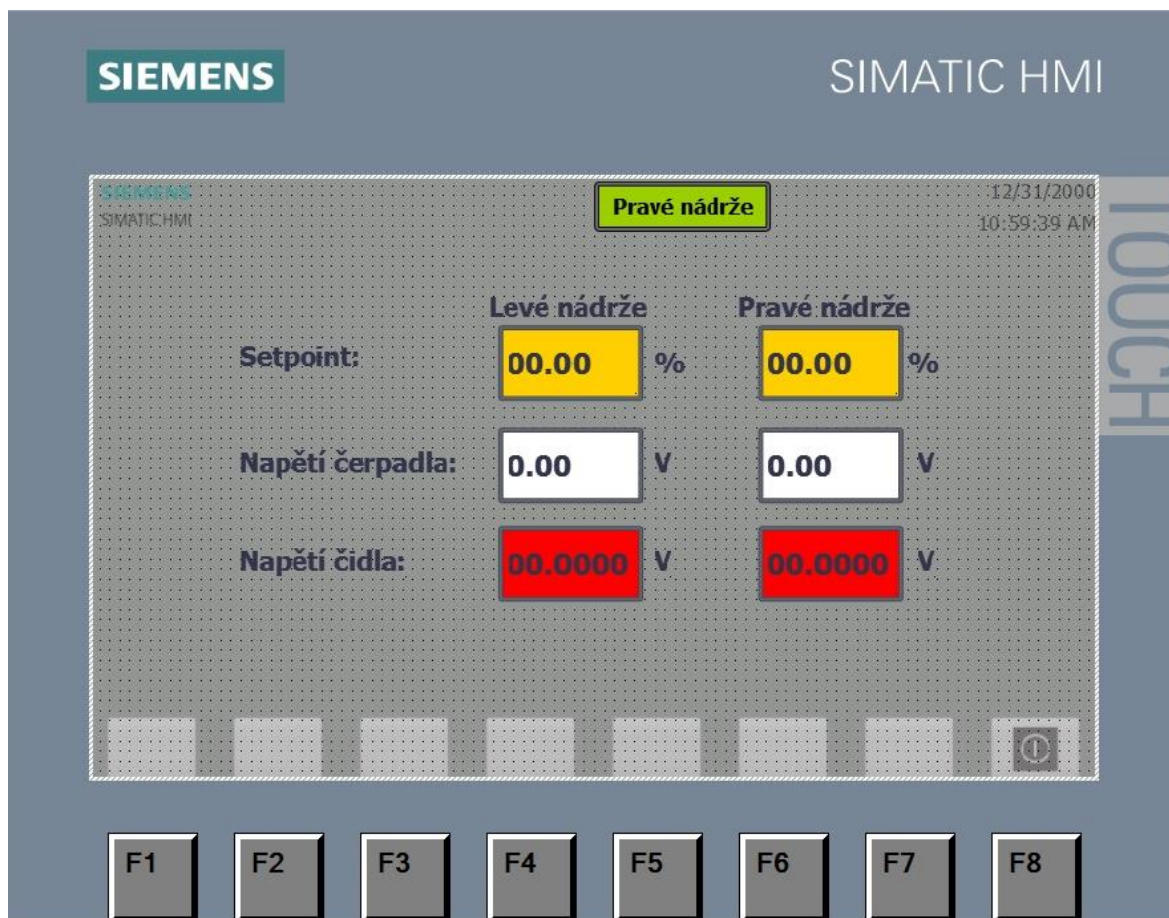
Auto tuning (viz obrázek 2.24) je proces, při kterém program TIA portal vypočítá automaticky hodnoty pro PID regulátor. Když se tento proces pustí, tak program analyzuje, jak daná soustava funguje. Testuje různá napětí na výstupu a podle těchto hodnot jsou pak vypočteny jednotlivé složky PID regulátoru. Spuštění tohoto programu lze uskutečnit kliknutím na tlačítko PID compact, které je v pravém horním rohu. Poté je otevřeno nové okno, které pracuje v online režimu. Většinu okna zabírá graf, který zobrazuje aktuální hodnoty napětí čerpadla, napětí senzoru a žádanou hodnotu. Pod grafem jsou zobrazeny hodnoty v číselné podobě. Jak bylo určeno na začátku, hodnoty jsou v procentech, proto se setpoint pohybuje v rozmezí (0; 100) %. Když je nastavený setpoint, lze přejít k auto tuningu. V horní části se nachází tuning mode. Zde necháme pretuning a klikem na tlačítko start je spuštěna předběžná analýza. Po skončení je nastaven fine tuning a opět spuštěn tlačítkem start. Po dokončení procesu je PID regulátor nastaven.



Obrázek 2.24 – Auto tuning v TIA portal

2.4.1 Vizualizace a výsledky regulace

Pro lepší ovládání programu PID regulátoru byla opět vytvořena vizualizace na HMI panelu. Na první obrazovce jsou zobrazeny jednotlivé parametry, ale prostřednictvím panelu lze změnit jen položku setpoint, který určuje, kolik procent vody bude ve spodní nádrži z celkové kapacity nádrže. Zbylé parametry ukazují aktuální hodnotu napětí na čerpadle a na tlakovém senzoru. Pro kontrolu jsou opět vytvořeny grafy pro pravou a levou nádrž stejně jak tomu bylo u dvoustavového regulátoru.

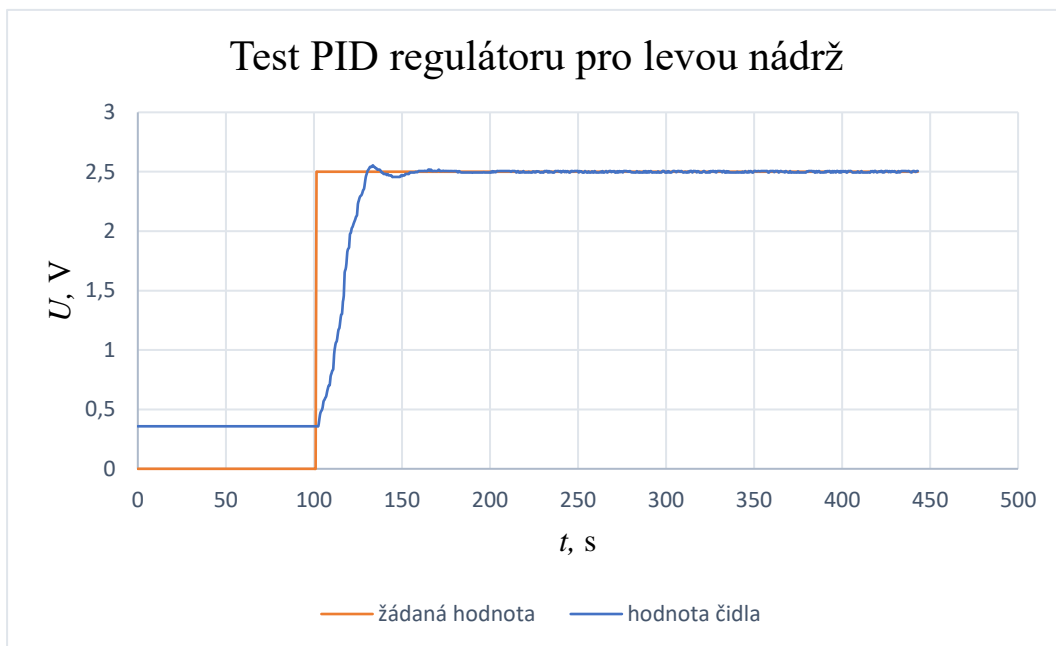


Obrázek 2.25 – HMI panel první obrazovka

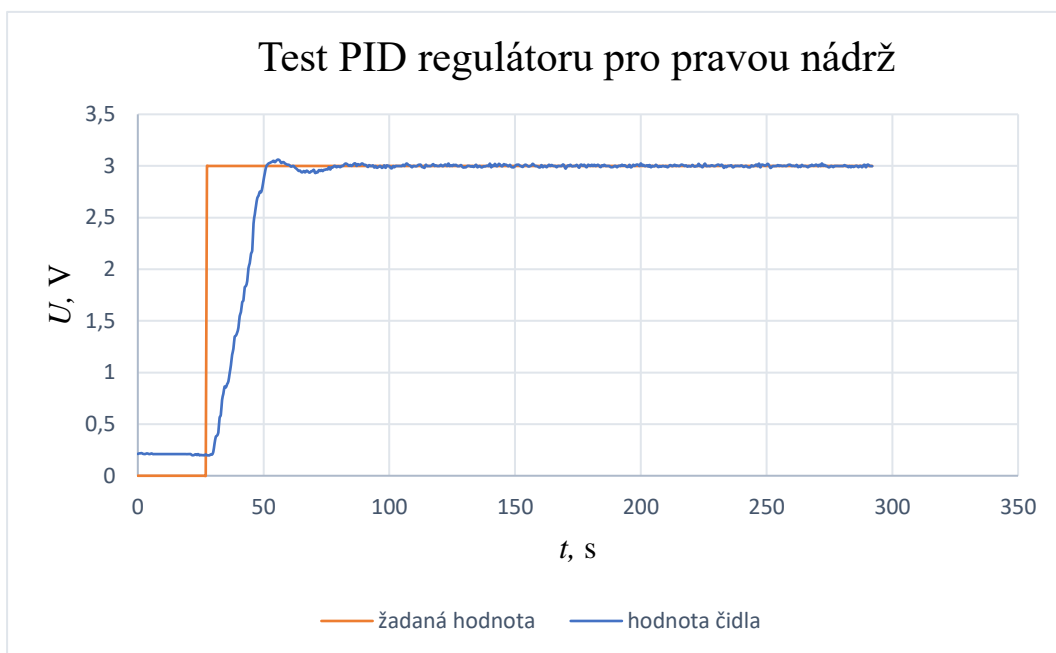
Hnedka na první pohled na grafy je patné, že setpoint neboli žádaná hodnota byla převedena z procent na volty. Převod byl proveden pro lepší chápání grafu a taky z důvodů zobrazování na HMI panelu.

Nastavení PID regulátoru za pomoci auto tuningu je snadná a poměrně rychlá záležitost s příznivými výsledky. Na grafech (viz obrázek 2.26 a 2.27) je patné, že při nulové žádané hodnotě čidlo vykazuje malé napětí. To je způsobeno kapkami vody, které zůstaly po naplnění nádrže v předešlých pokusech a chybou čidla. Z grafu je patné, že k ustálení dojde zhruba za 70 s.

Za pomoci manuálního nastavení PID regulátoru by možná bylo dosaženo lepších výsledků než pomoci auto tuningu, ale auto tuning i tak poskytl příznivé výsledky, a proto to nebylo za potřebí nastavovat PID regulátor manuálně.



Obrázek 2.26 – PID regulátor levá nádrž



Obrázek 2.27 – PID regulátor pravá nádrž

ZÁVĚR

Cílem práce bylo vytvořit dva způsoby automatické regulace pro hydraulicko-pneumatickou soustavu.

Teoretická část práce byla zaměřena převážně na objasnění pojmu modelování a identifikace, popis hydraulicko-pneumatické soustavy, způsoby programování PLC a jejich stručný popis.

Praktická část práce byla věnována zprovoznění komunikace mezi soustavou, PLC a počítačem, změření přechodových charakteristik soustavy. Dále se zde nachází detailní popis programu dvoustavového regulátoru a PID regulátoru. Při programování nedošlo k většímu problému, jen bylo zapotřebí si pořádně nastudovat, jak nastavit omezující prvky PID regulátoru, aby nedošlo k nežádoucím stavům. Větší problém nastal u programu pro zápis naměřených dat. Původně bylo v plánu naměřená data nahrát na paměťovou kartu, ale bohužel k dispozici jsem měl kartu, která měla příliš velkou kapacitu, se kterou PLC nedokázalo komunikovat. Proto bylo využito vnitřní paměti PLC, do které byla data zapsána. Muselo být využito webové rozhraní, aby data byla stažena z PLC. Další větší problém nastal při vizualizaci na HMI panelu při zobrazování aktuálních hodnot na senzorech snímání tlaku. Aktuální hodnota čidla se nezobrazovala správně i přesto, že formát zobrazujícího se čísla i program byly v pořádku. Nakonec byl tento problém odstraněn předadresováním všech tagů.

Pro zkontrolování výsledků práce jsem vyhotovil grafy dvoustavového a PID regulátoru. Vyhodnotil jsem oba grafy a zjistil jsem, že regulující prvky byly správně nastaveny, tudíž jsem splnil cíle své práce.

Dalším postupem této práce by mohlo být popsání a ošetření konstrukčních nedostatků. V první řadě by se jednalo o vrchní nádrže soustavy, které nejsou nijak chráněny proti přetečení. Tento problém by mohl být vyřešen softwarem nebo vylepšením konstrukce. Dalším rozšířením by mohlo být zadávání jednotlivých složek PID regulátoru pomocí HMI panelu v manuálním režimu. Program by potom mohl být využit při výuce jako názorná ukázka.

POUŽITÁ LITERATURA

6AV2123-2GB03-0AX0. Siemens. [online]. ©2015 [cit. 2019-08-08]. Dostupné z:

<http://www.jork.shop/priloha.php?ak=54010>

6ES7212-1BE40-0XB0. Siemens. [online]. ©2017 [cit. 2019-08-08]. Dostupné z:

https://media.automation24.com/datasheet/nl/6ES72121BE400XB0_en.pdf

6ES7232-4HB32-0XB0. Siemens. [online]. ©2019 [cit. 2019-08-08]. Dostupné z:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7232-4HB32-0XB0>

Autocont Control System: Průmyslová automatizace, In: Autocont Control

system [online]. © 2019 [cit. 2019-08-08]. Dostupné z: <http://www.accs.cz/produkty-mitsubishi-electric/ridici-systemy/modulami>

Automa: Siemens TIA Portal – jednotné vývojové prostředí pro automatizaci v průmyslu

[online], 2011. 2011(03) [cit. 2019-08-08]. ISSN 1210-9592. Dostupné z:

http://automa.cz/cz/casopis-clanky/siemens-tia-portal-jednotne-vyvojove-prostredi-pro-automatizaci-v-prumyslu-2011_03_43212_6058/

BALÁTĚ, J. 2004. Automatické řízení. 2., přeprac. vyd. Praha: BEN – technická literatura. ISBN 80-7300-148-9.

Conrad Electronic: PLC řídicí modul Idec SmartAXIS Pro FT1A-H40RSA, 24

V/DC [online], In: © 2019a [cit. 2019-08-08]. Dostupné z:

https://velkoobchod.conrad.cz/plc-ridici-modul-idec-smartaxis-pro-ft1a-h40rsa-24-v-dc.k1082946?gclid=EAiaIQobChMI1tP3mI-D5AIVBt-yCh2w6QUdEAQYBCABEGkK1PD_BwE

Conrad Electronic: Řídicí reléový PLC modul Siemens CPU 1212C AC/DC/RELAIS

(6ES7212-1BE31-0XB0), IP20 [online], In: © 2019b [cit. 2019-08-08]. Dostupné z:

<https://velkoobchod.conrad.cz/ridici-releovy-plc-modul-siemens-cpu-1212c-ac-dc-relais-6es7212-1be31-0xb0-ip20.k197381?icc=Search&icn=197381>

CVEJN, J. 2016. Automatizace 1. Pardubice: Přednášky předmětu

MACHÁČEK, J; HONC, D; a DUŠEK, F. 2005. Výukový laboratorní model hydraulicko-

pneumatické soustavy. Automa časopis pro automatizační techniku [online]. 2005(08)

[cit. 2019-08-08]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: [http://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/vyukovy-laboratorni-model-hydraulicko-pneumaticke-soustavy-](http://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/vyukovy-laboratorni-model-hydraulicko-pneumaticke-soustavy-2005_08_30630_775/)

[2005_08_30630_775/](http://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/vyukovy-laboratorni-model-hydraulicko-pneumaticke-soustavy-2005_08_30630_775/)

- Modelování a identifikace řízeného systému, 2006. Řízení technologických procesů [online]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky [cit. 2019-08-08]. Dostupné z: <http://rtp.webzdarma.cz/model1.php>
- SESTAVA PLC: Typy PLC, PLC-AUTOMATIZACE [online]. [cit. 2019-08-08]. Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/knihovna/plc/plc-hw-sestava.htm>
- SIMATIC S7 S7-1200 Programmable controller: General specifications and features. Siemens [online]. ©2012 [cit. 2019-08-08]. Dostupné z: <https://www.sahkonumerot.fi/2702072/doc/technicalinfodoc/>
- ŠKRABÁNEK, P. 2004. Matematický model hydraulicko-pneumatické soustavy [online]. Pardubice [cit. 2019-08-08]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/44969552_Matematicky_model_hydraulicko-pneumaticke_soustavy. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta CHEMICKO – TECHNOLOGICKÁ. Vedoucí práce doc. Ing. František Dušek, CSc.
- ŠMEJKAL, L.; MARTINÁSKOVÁ, M. 1999. PLC a automatizace. Praha: BEN – technická literatura. ISBN 80-860-5658-9.
- Třídění systémů, 2006. Řízení technologických procesů [online]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky [cit. 2019-08-08]. Dostupné z: <http://rtp.webzdarma.cz/model3.php>
- VOJÁČEK, A. Problematika inovací v průmyslu v praxi: Automatizace [online]. 11. 9. 2017 [cit. 2019-08-08]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/problematika-inovaci-v-prumyslu-v-praxi.html>
- VOJÁČEK, A. Programovací režimy pro PLC dle IEC 61131-3 (CoDeSys): Automatizace [online]. 3. 3. 2011 [cit. 2019-08-08]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/programovaci-rezimy-pro-plc-dle-iec-611313-codesys>
- Základní postupy při modelování a identifikaci, 2006. Řízení technologických procesů [online]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky [cit. 2019-08-08]. Dostupné z: <http://rtp.webzdarma.cz/model2.php>
- ZEZULKA, F. 2004. Prostředky průmyslové automatizace. Brno: VUTIUM. ISBN 80-214-2610-1.

PŘÍLOHY

A – CD

Příloha k bakalářské práci
ŘÍZENÍ HYDRAULICKO-PNEUMATICKÉ SOUSTAVY POMOCÍ
PLC SIEMENS SIMATIC

Jan Hudský

CD

Obsah

- 1 Text bakalářské práce ve formátu PDF