



Bakalářská práce

Řízení laboratorní úlohy odstředivého čerpadla

Studijní program:

B0714A270001 Mechatronika

Autor práce:

Daniel Černý

Vedoucí práce:

Ing. Petr Školník, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Liberec 2024



Zadání bakalářské práce

Řízení laboratorní úlohy odstředivého čerpadla

<i>Jméno a příjmení:</i>	Daniel Černý
<i>Osobní číslo:</i>	M20000100
<i>Studijní program:</i>	B0714A270001 Mechatronika
<i>Zadávací katedra:</i>	Ústav mechatroniky a technické informatiky
<i>Akademický rok:</i>	2022/2023

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s laboratorní úlohou odstředivého čerpadla včetně vestavěného systému řízení a jeho možném ovládní.
2. Ověřte funkčnost jednotlivých částí a možnost jejich ovládní.
3. Realizujte v prostředí Matlab + Simulink simulační model úlohy a na základě dostupné technické dokumentace a vhodných experimentů model parametrizujte a následně verifikujte. Model vytvořte pro všechny konfigurace oběžného kola čerpadla.
4. Na vytvořeném modelu navrhnete a otestujte vhodný algoritmus řízení průtoku, který následně přeneste na hardware laboratorní úlohy. Řízení realizujte na systému Simatic S7-1500.
5. Na HMI panelu realizujte rozhraní pro nastavení parametrů řízení, ovládní regulované úlohy a vizualizaci aktuálního stavu úlohy.

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 30-40 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: čeština

Seznam odborné literatury:

- [1] MathWorks [online]. [cit. 2022-10-10]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/>
- [2] KARNOPP, Dean, Donald L. MARGOLIS a Ronald C. ROSENBERG. *System dynamics: modeling and simulation of mechatronic systems*. 5th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2012. ISBN 978-0-470-88908-4. *Siemens Step 7 (TIA PORTAL) Programming, a Practical Approach*, 2nd Edition. Independently published, 2019. ISBN 978-1091474109.
- [3] KLÁN, Petr a Raymond GOREZ. *Process control*. Prague: FCC Public, 2011. ISBN 978-80-86534-176.

Vedoucí práce: Ing. Petr Školník, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání práce: 12. října 2022
Předpokládaný termín odevzdání: 14. května 2024

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Josef Černoorský, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 12. října 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci 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.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Řízení laboratorní úlohy odstředivého čerpadla

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá laboratorní úlohou odstředivého čerpadla a jeho řídicím systémem. Cílem práce je pochopit funkčnost úlohy, včetně jejího řízení, testování, programování, simulace a vizualizace. Práce představuje problematiku, testování řízení a návrhu programu. Součástí je i vytvoření simulačního modelu v prostředí Matlab + Simulink. Dále se práce zabývá návrhem a implementací řídicího programu pomocí aplikace TIA Portal, který byl přenesen na PLC. Závěr je zaměřena na práci s dotykovým HMI panelem, včetně jeho návrhu uživatelského rozhraní a vizualizace.

Klíčová slova

PLC, HMI, Simatic, TIA Portal, Simulink, Trace, Matlab, Simscape, PID, Tuning,

Control of centrifugal pump laboratory task

Abstract

The bachelor thesis deals with the laboratory task of a centrifugal pump and its control system. The aim of the thesis is to understand the functionality of the task, including its control, testing, programming, simulation and visualization. The thesis presents the problematic of control testing and program design. It includes the creation of a simulation model in Matlab + Simulink environment. Furthermore, the thesis deals with the design and implementation of the control program using TIA Portal application, which was ported to a PLC system. Finally, it focuses on the work with the HMI touch panel, including its user interface design and visualization.

Keywords

PLC, HMI, Simatic, TIA Portal, Simulink, Trace, Matlab, Simscape, PID, Tuning,

Poděkování

Rád bych vyjádřil poděkování mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Školníkovi, Ph.D. za veškeré poskytnuté rady a trpělivost. Dále bych chtěl poděkovat Ondřejovi Wienerovi za poskytnutou šablonu pro psaní práce a následnou pomoc s používáním. Nakonec bych chtěl poděkovat Marii Nechybové za pečlivou asistenci při korektuře textu.

Obsah

Úvod.....	11
1 Seznámení a testování funkčnosti laboratorní úlohy.....	12
1.1 Základní informace.....	12
1.2 Seznam komponent a schéma.....	13
1.3 Manuální ovládání.....	14
1.4 Testování.....	15
1.4.1 Ventily.....	15
1.4.2 Čerpadla.....	15
1.5 Možnosti laboratorní úlohy.....	16
2 Simulační model úlohy a jeho parametrizace.....	17
2.1 Data Trace.....	17
2.2 Identifikace.....	18
2.3 Simulink model.....	19
2.3.1 Část Simscape.....	20
2.3.2 Část řízení průtoku.....	21
2.3.3 Část řízení hladiny akvária.....	22
2.4 Porovnání průběhů.....	23
2.4.1 Hladina akvária.....	23
2.4.2 Průtok.....	24
3 Řízení na systému Simatic S7-1500.....	25
3.1 TIA Portal.....	25
3.2 Komunikace s PLC.....	26
3.3 Návrh struktury regulace průtoku a hladiny vody v akváriu.....	26
3.4 Program.....	27
3.4.1 _aquarium_fill.....	28
3.4.2 _Pipes_fill.....	28
3.4.3 _Water_level_regulation.....	29
3.4.4 _Water_flow_regulation.....	29
3.5 PID Tuning.....	30
3.6 Naměřený průběh programu v provozu.....	31
4 Realizace vizuálního rozhraní na HMI panelu.....	32
4.1 Návrh rozhraní.....	32
4.2 Komunikace.....	33
4.3 Prvky rozhraní.....	33

4.3.1	Switch	33
4.3.2	IO field	34
4.3.3	Button.....	34
4.3.4	Trend control.....	35
Závěr.....		36
Použitá literatura.....		37
Přílohy		38
A.1	Simulink_Projekt_BP.....	38
A.2	Tia_Projekt_BP	38

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Fyzická podoba úlohy	12
Obrázek 1.2: Schéma úlohy	13
Obrázek 1.3: Úvodní obrazovka.....	14
Obrázek 1.4: Akvárium	15
Obrázek 1.5: Blokové schéma úlohy.....	16
Obrázek 2.1: Simulink model.....	19
Obrázek 2.2: Model řízení průtoku	21
Obrázek 2.3: Model pro řízení hladiny	22
Obrázek 3.1: Proměnné pro ovládání celé úlohy	25
Obrázek 3.2: Zjednodušený model struktury programu.....	26
Obrázek 4.1: Pracovní obrazovka	32
Obrázek 4.2: Switch	33
Obrázek 4.3: IO field.....	34
Obrázek 4.4: Button	34
Obrázek 4.5: Trend control	35

Seznam grafů

Graf 2.1: Data trace v TIA Portalu	17
Graf 2.2: Naměřené průběhy čerpadel	18
Graf 2.3: Naměřené změny výkonu čerpadla Pump 2	22
Graf 2.4: Simulace/měření hladiny	23
Graf 2.5: Simulace/měření průtoku	24
Graf 3.1: Průběh úlohy v provozu	31

Seznam tabulek

Tabulka 1.1: Komponenty laboratorní úlohy	13
Tabulka 3.1: Parametry rovnice	30
Tabulka 4.1: Profinet/Profibus rozdíly	33

Seznam zdrojových kódů

Zdrojový kód 3.1: Struktura programu v main funkci	27
Zdrojový kód 3.2: Část bloku _aquarium_fill funkce	28
Zdrojový kód 3.3: Část bloku _Pipes_fill	28
Zdrojový kód 3.4: Část bloku _Water_level_regulation	29
Zdrojový kód 3.5: Část bloku _Water_flow_regulation	29

Seznam zkratk

HMI	Human-Machine Interface
PLC	Programmable Logic Controller
LAD	Ladder diagram
FBD	Function Block Diagram
STL	Structured Text
SCL	Structured Control Language
SFC	Sequential Function Chart

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá laboratorní úlohou odstředivého čerpadla a jeho vestavěným řídicím systémem. Cílem práce je pochopení funkčnosti laboratorní úlohy, včetně řízení, testování různých funkcí, programování, simulování a tvorba vizualizace.

První část bakalářské práce je zaměřena na seznámení s laboratorní úlohou. Pozoruje získávání informací o hardwarovém i softwarovém obsahu laboratorní úlohy. Po seznámení s informacemi laboratorní úlohy navazuje testování manuálního ovládání jednotlivých komponentů společně s jejich limity. Dále následuje návrh vytvoření vlastního programu ovládání laboratorní úlohy.

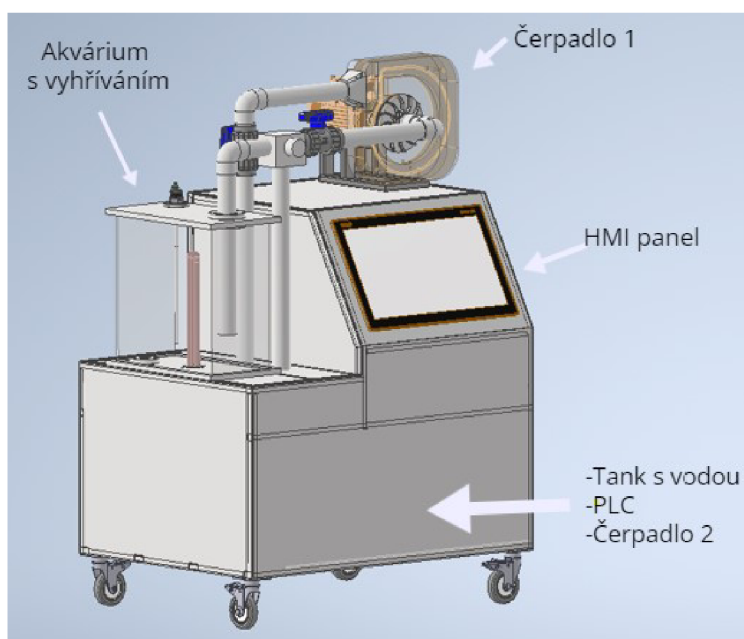
Druhá část bakalářské práce se zabývá tvorbou simulačního modelu laboratorní úlohy. Jako první se představí měření konkrétních průběhů potřebných pro parametrizaci simulačního modelu v prostředí TIA Portal. Následně se data převedou do prostředí Matlab, kde se naměřená data zpracují a provede se identifikace v toolboxu System Identification. V prostředí Simulink se zpracovaná data využijí k tvorbě navrženého finálního modelu simulace.

Třetí část bakalářské práce obsahuje návrh a realizaci programu pro řízení průtoku a hladiny v akváriu. Tvorba programu pro algoritmus řízení probíhá v prostředí TIA Portal. Vytvořený program pro řízení se následně přenese k testování na PLC systém Simatic-1500 od společnosti Siemens.

Závěrečná část bakalářské práce se věnuje práci se systémem Simatic HMI MTP2200 Unified Comfort. Práce rovněž představuje návrh uživatelského prostředí pro dotykový panel. Tvorba a testování rozhraní probíhá opět v prostředí TIA Portal. Vytvořená vizualizace obsahuje zobrazení aktuálního stavu, možnost ovládat chod ale i nastavovat parametry řízení úlohy.

1 Seznámení a testování funkčnosti laboratorní úlohy

1.1 Základní informace



Obrázek 1.1: Fyzická podoba úlohy

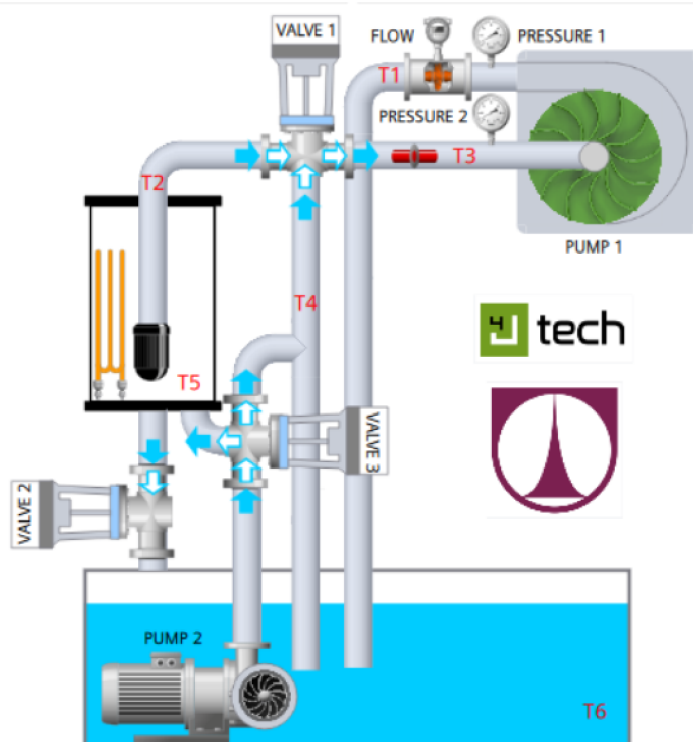
Laboratorní úloha se nachází na budově mechatroniky, konkrétně v učebně A-A103. Celé zařízení je poměrně rozměrné a těžké (1 m x 2 m x 2,5 m). Spodní část je na kolečkách, přesto je manipulace obtížná, obzvláště když se v zařízení nachází voda. Hlavním obsahem úlohy jsou dvě nádrže s vodou a dvě čerpadla, která jsou propojená potrubím a ventily. V provozu je vše řízeno a kontrolováno přes PLC systém a širokouhlý dotykový panel.

Hlavní úlohou laboratorního zařízení je seznámení se základním ovládaním všech jeho komponentů. Konkrétně se jedná o práci s čerpadly, odezvou jednotlivých typů senzorů, mechanikou tekutin a také regulací vodní hladiny a průtoku. Dále je možné se ponořit do celkové tvorby vizualizace a programování v systému PLC od firmy Siemens umožňující řízení různých komponentů.

1.2 Seznam komponent a schéma

Tabulka 1.1: Komponenty laboratorní úlohy

Název	Počet	Označení	Parametry
Motor pro pohon oběžného kola	1x	Pump 1	Výkon: 0,37 kW Otáčky: 1656 ot/min Točivý Moment: 2,54 Nm Průtok: 1 l/s Tlak: 100kPa
Čerpadlo Pedrollo UP 2/4	1x	Pump 2	Max průtok: 80 l/min Výkon: 0,75 kW
Směšovací ventil LDM s pohonem Siemens SAX	3x	Valve 1-3	Napájení: 24 V Výstup: 4-20 mA
Topné těleso	1x		Výkon: 4500 W
Kapacitní snímač hladiny akvária Dinel DLS-35	1x		Výstup: 4-20 mA
Snímače tlaku BHW 331	2x	Pressure 1-2	Rozsah: 1x 100-0 kPa, 1x 0-160 kPa Přesnost: 0,2% Výstup: 4-20 mA
Snímač průtoku Kobold DF-H	1x	Flow	Rozsah: 5-120 l/min Přesnost: $\pm 2,5\%$ Výstup: 4-20 mA
Snímače teploty pt100	6x	T1-T6	Rozsah: $-40 +150\text{ }^{\circ}\text{C}$ Přesnost: $\pm 0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$
PLC SIMATIC S7-1500	1x		CPU 1510SP-1 PN
SIMATIC HMI MTP2200 Unified Comfort	1x		21.5" widescreen TFT display Rozlišení: 1920x1080 pixelů

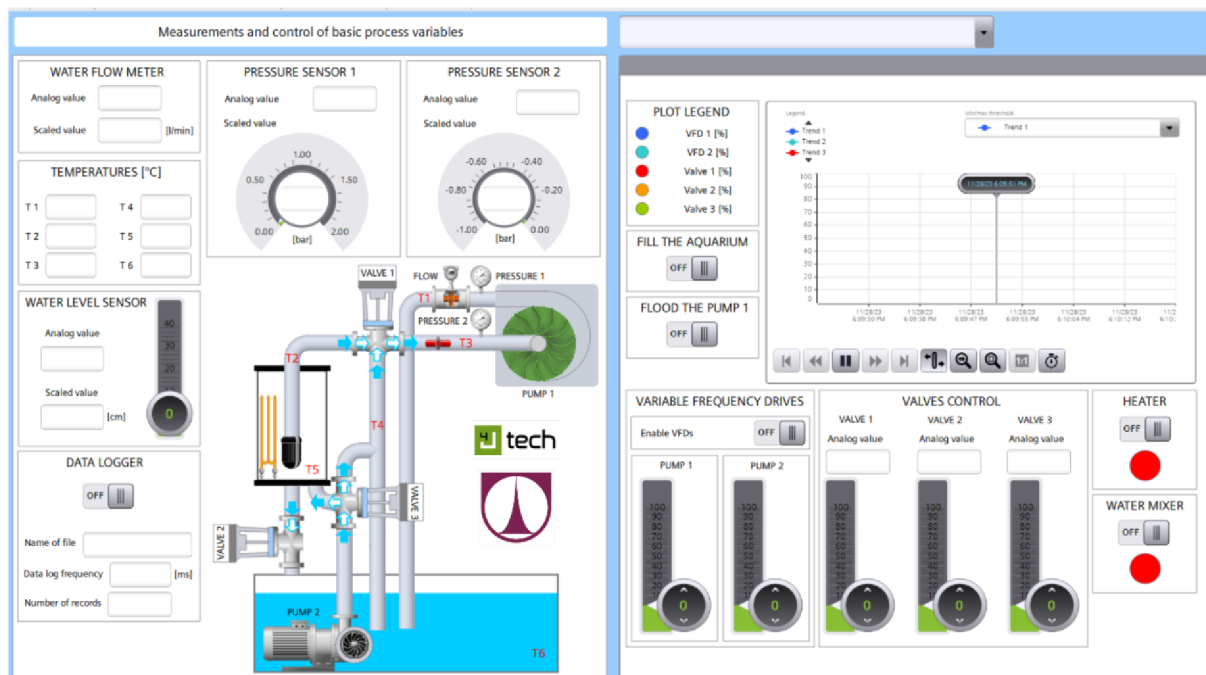


Obrázek 1.2: Schéma úlohy

1.3 Manuální ovládání

Pro manuální ovládání laboratorní úlohy je předinstalován základní program a vizualizace umožňující ovládání.

Při zapojení zařízení do napájení se na úvodní stránce panelu Human-Machine Interface (HMI) zobrazí hlavní stránka, která je rozdělena na dvě části. V levé části jsou aktuální informace poskytnuté ze senzorů s celkovou vizualizací zařízení. V pravé je ovládání jednotlivých komponentů.



Obrázek 1.3: Úvodní obrazovka

V levé části panelu manuálního ovládání se v reálném čase zobrazují data, která se generují přímo ze snímačů teploty, tlaku, průtoku a hladiny. Data se zobrazují v definovaných jednotkách nebo v analogové hodnotě jednotlivých výstupů senzorů. Na rozhraní je k dispozici nabídka funkce Data logger, která umožňuje uživateli si data ze senzorů zapsat a následně importovat na externí zařízení. Posledním objektem levé části je jednoduché vizuální zobrazení úlohy, na kterém je vidět rozmístění jednotlivých komponentů.

V pravé části obrazovky pro manuální ovládání se nachází tři posuvníky pro změnu polohy ventilů, v rozmezí 0-100 %. Dále se zobrazuje ovládání obou čerpadel, též ve formě posuvníků. V rozhraní se vyskytuje též pět přepínačů. Dva přepínače jsou využity k zapnutí ohřevu a směšovací vrtule v akváriu, dva na zatopení potrubí nebo akvária a zbývající slouží k aktivaci napájení čerpadel. Poslední objekt na pravé části hlavní stránky je graf, který vykresluje aktuální změny na čerpadlech a ventilech.

1.4 Testování

Po seznámení s funkčností laboratorní úlohy bylo postoupeno k testování jednotlivých komponentů. Testovali se zejména limity směšovacích ventilů a dvou čerpadel, které jsou nezbytně nutné k funkčnosti celé úlohy. Po získání informací během testování je možné následně přistoupit k návrhu vlastního modelu programu.

1.4.1 Ventily

Na laboratorní úloze se nachází několik ventilů. Blíže, jedná se o jeden dvoucestný a dva třícestné směšovací ventily poháněné servomotorem Siemens SAX. Ventil se může pohybovat ve třech polohách: otevřeno (100 %), zavřeno (0 %), směšování (0-100 %).

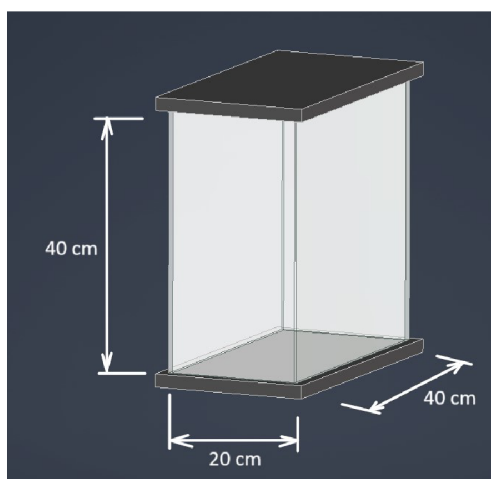
Dvoucestný ventil Valve 2 je připojen z nádrže k akváriu a slouží pouze k vypouštění akvária. Třícestný ventil Valve 3 má dvě úlohy: napustit akvárium a vypustit vodu k čerpadlu Pump 1. Ventil Valve 1 má za úkol směšovat vodu z akvária a z nádrže viz Obrázek 1.2.

Během testování bylo prokázáno, že při posunutí posuvníku na panelu je odezva na změnu polohy ventilu téměř okamžitá, zásluhou rychlosti servomotoru. Celková změna polohy ventilu tzn. z 0 % na 100 % trvá přibližně 30 sekund.

1.4.2 Čerpadla

Na laboratorní úloze se nachází dvě čerpadla. První je ponorné (Pump 2) a nachází se ve velké nádrži s vodou. Druhé je oběžné kolo poháněné elektromotorem (Pump 1) a vyskytuje se nad HMI panelem viz Obrázek 1.2.

Pomocí čerpadla Pump 2 se dá z nádrže s vodou naplnit na plný výkon akvárium během 10 s. Během testování bylo zjištěno, že čerpadlo má programové omezení, které jej okamžitě vypne, jakmile výška akvária stoupne nad 40 cm. Důvodem je, že by voda neměla prostor k odtékání a začala by se vylévat mimo akvárium.



Obrázek 1.4: Akvárium

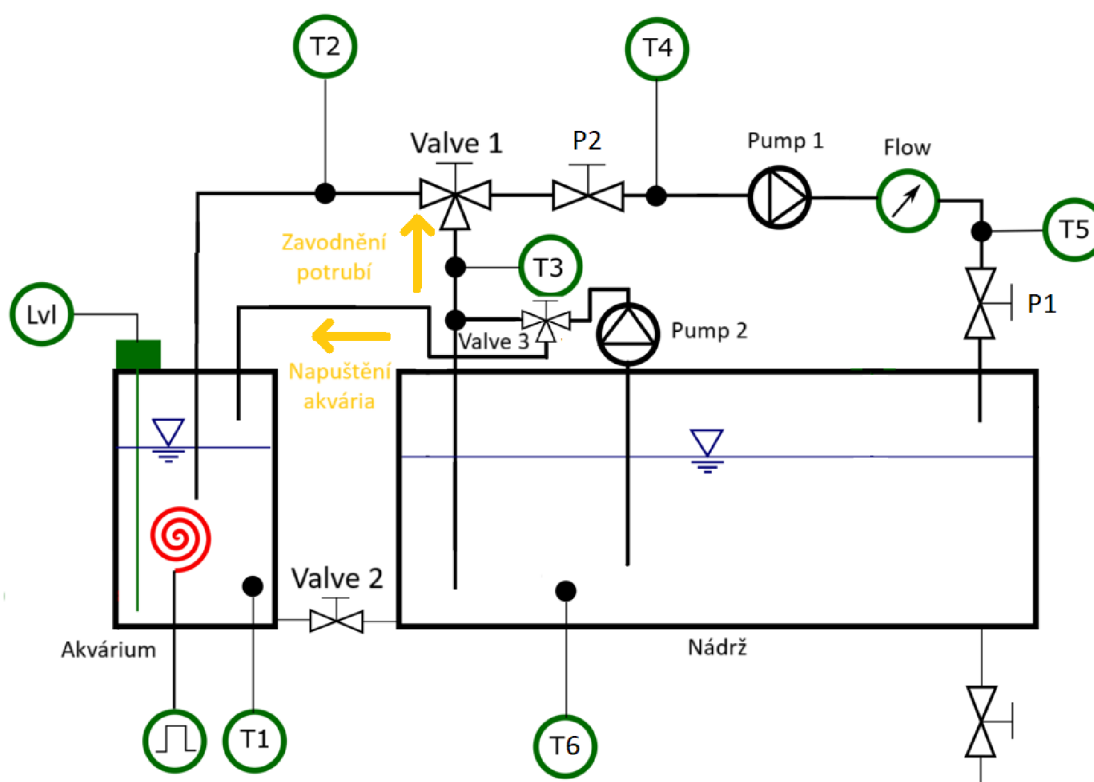
Čerpadlo Pump 1 dokáže udržet průtok v celém systému, ale jen když je zavodněné. Za oběžným kolem se nachází průtokoměr, u kterého bylo naměřeno, že na plný výkon čerpadla je možné dosáhnout průtoku až 100 l/min.

1.5 Možnosti laboratorní úlohy

Po procesu testování a získání vyhodnocených dat bylo možné zahájit a formovat finální podobu vlastního návrhu modelu programu. Během práce na finální podobě se objevilo několik možností k vytvoření vlastní úlohy.

První možnost je vytvoření regulace průtoku a hladiny vody v akváriu. K funkčnosti jakékoliv regulace na úloze je nutné napustit akvárium a zavodnit potrubí. K napuštění akvária stačí spustit čerpadlo Pump 2 a nastavit ventil Valve 3 do výchozí polohy. Pokud se přepne ventil Valve 3 do druhé polohy, začne se zavodňovat potrubí, které vede k oběžnému kolu čerpadla Pump 1. Jakmile se zapne čerpadlo Pump 1 nad 50 % je možné následně vypnout čerpadlo Pump 2. V této fázi je zavodněné i potrubí a zároveň je možné spustit regulaci průtoku nebo hladiny. Poté se nabízí možnost si vybrat pomocí ventilu Valve 1, zda chce uživatel čerpat vodu pomocí čerpadla Pump 1 z akvária nebo z nádrže.

Druhá možnost se týká regulace teploty vody. Tepelná spirála a šest snímačů teploty v akváriu vybízí vytvořit úlohu pro regulaci teploty v potrubí, kde by se čerpala teplá voda z akvária a pomocí čerpadla Pump 2 ochlazovala. Ohřev vody v akváriu však trvá až 30 minut, přičemž jeho objem není dostatečně velký pro vyhovující dobu regulace. Kvůli těmto komplikacím je možnost regulace teploty značně nedostačující a nepraktická pro laboratorní úlohu. K zhotovení úlohy byla proto zvolena regulace průtoku v potrubí a hladiny vody v akváriu.



Obrázek 1.5: Blokové schéma úlohy

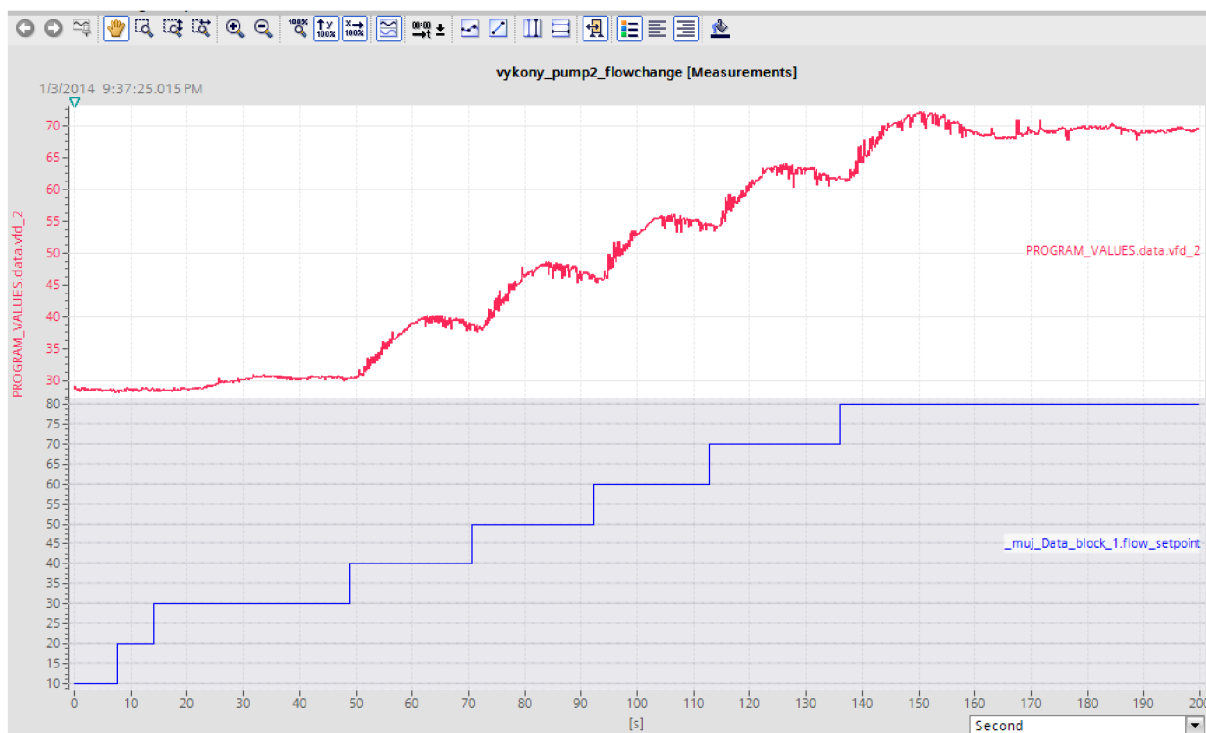
2 Simulační model úlohy a jeho parametrizace

Pro tvorbu simulačního modelu úlohy byl použit program Simulink. Bylo využito knihovny Simscape, jejíž hlavní předností je modelování fyzikálních systémů typu mechanických, hydraulických, pneumatických a elektrotechnických. K vytvoření simulace bylo potřeba nejdříve naměřit parametry jednotlivých průběhů a následně je identifikovat.

2.1 Data Trace

Data Trace je funkce TIA Portalu, která slouží jako nástroj pro sledování a záznam vybraných dat v reálném čase. Umožňuje uživateli spouštět záznam, v případě že CPU splní definovanou spouštěcí podmínku (trigger). Funkce je vhodná také pro diagnostiku a ladění programů během provozu [1].

K simulaci dynamiky obou čerpadel v programu Simulink bylo nejdříve zapotřebí změřit průběhy průtoků a výkonů čerpadel při různých stavech. Po získání dat je možné vytvořit model snadněji, než simulovat elektrickou část čerpadel.



Graf 2.1: Data trace v TIA Portalu

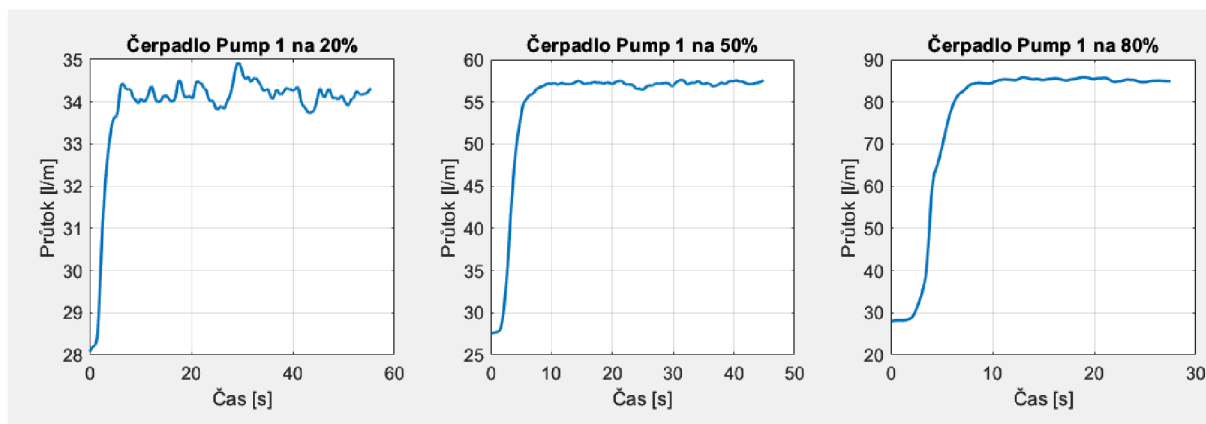
K vytvoření simulace a porovnání průběhů bylo potřeba provést celkem několik měření.

- Průtok při výkonu čerpadla Pump 1 na: 20, 50 a 80 % viz Graf 2.2
- Průběhy hladiny při změně průtoků (0 na 50 l/min, 0 na 80 l/min)
- Průběhy výkonů Pump 2 při změně průtoků (10 až 80 l/min) viz Graf 2.1

TIA Portal každé dokončené měření uloží a nabízí úpravu či také export dat v několika formátech. V tomto případě se využilo exportu dat do formátu „csv“, jelikož ho lze jednoduše zpracovat v programu Matlab.

2.2 Identifikace

Trace data z „csv“ souborů byla načtena do programu Matlab, kde následovalo pouze jednoduché zpracování dat, které se dalo použít k identifikaci a následné simulaci.



Graf 2.2: Naměřené průběhy čerpadel

System Identification Toolbox je nástroj programu Matlab sloužící k modelování dynamických systémů, analýze časových řad a předpovědi. Nástroj umožňuje na základě vstupních a výstupních dat vytvářet jak lineární, tak nelineární modely dynamických systémů [2]. Za těchto možností bylo možné využít funkce pro vytvoření přenosové funkce všech tří naměřených průběhů průtoku. K identifikaci byly zvoleny pouze data průtoku.

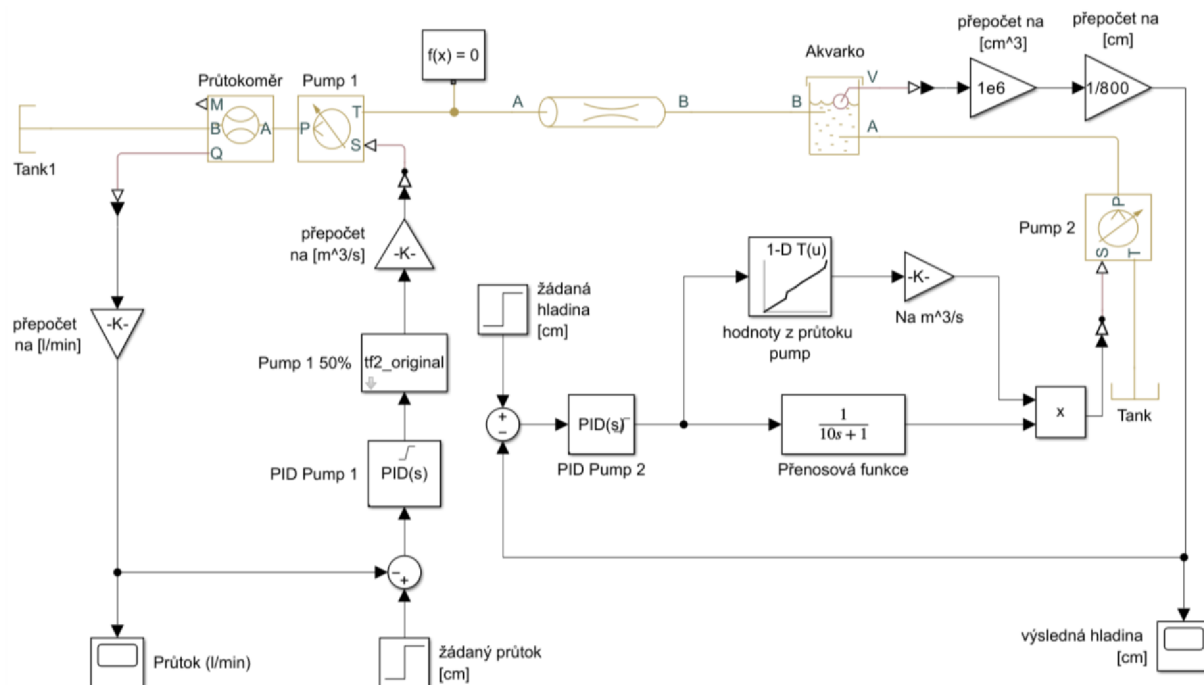
K odhadu přenosové funkce dochází pomocí nastavování počtu pólů a nul. Uživatel si může zobrazit graf, na kterém je vidět původní průběh spolu s odhadovanými přenosy. Odhadování probíhá zadáním co nejmenšího počtu pólů i nul a postupně se zvyšuje, dokud přenos nedosáhne uspokojivé shody. Je potřeba si dávat pozor, zda je počet pólů vyšší než počet nul a aby jejich celkový počet nebyl moc vysoký.

2.3 Simulink model

Pro simulovaný model byla vybrána část úlohy, ve které dojde ke spuštění regulace hladiny akvária i průtoku. Jedná se výhradně o situaci, kdy je akvárium zcela naplněné a potrubí je zavodněné. Konkrétní část úlohy byla zvolena z důvodu, že je možné vidět PID regulaci obou čerpadel najednou.

Simscape a základní knihovna programu Simulink jsou pro zhotovení modelu ideální. Bloky z programu Simscape byly využity k zhotovení reálných komponentů, zatímco bloky z programu Simulink pro řízení.

Vytvořený model kopíruje strukturu z programové části vytvořenou v TIA Portalu. Výstupem jsou dva průběhy: hladina akvária a rychlost průtoku vypouštění. Čerpadla jsou řízena dvěma navzájem nezávislými regulačními obvody. Vstupními signály jsou žádané hodnoty neboli výška hladiny [cm] a průtok [l/m].



Obrázek 2.1: Simulink model

2.3.1 Část Simscape

K nasimulování reálných komponentů se využily z knihovny Simscape následující bloky:

Pro účely **potrubí** a **akvária** se použily bloky Pipe a Tank. V blocích se nastavily rozměry, aby co nejvíce odpovídaly skutečnosti. Zatímco pro potrubí bylo potřeba nastavit pouze délku a plochu průřezu, u akvária je parametrů mnohem více. Pro vstupy je potřeba nastavit jejich počet i rozměr. Také se musí uvést, jak jsou od sebe jednotlivé vstupy vzdálené. Výstupem je objem v akváriu.

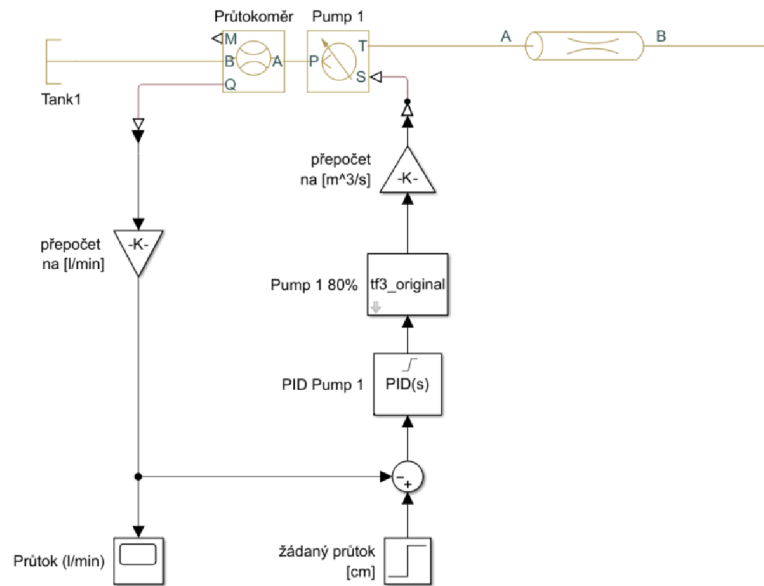
K simulaci **nádrže s vodou** se využil blok Hydraulic reference. Nádrž vody je natolik objemná, že se během provozu nikdy nestane, že voda dojde. Tudíž lze považovat nádrž s vodou za nekonečný zdroj, což Hydraulic reference blok přesně splňuje.

Ponorné čerpadlo a motor pro pohon oběžného kola jsou sice rozdílné komponenty, ale pro potřeby simulace se dají obě nahradit blokem Hydraulic Flow Rate Source. Blok akčního členu představuje ideální zdroj průtoku na svém výstupu bez ohledu na tlakový rozdíl. Průtok zdrojem je přímo úměrný řídicímu signálu [3].

Hydraulic Flow Rate Sensor je blok reprezentující **průtokoměr**. Blok představuje ideální průtokoměr, který převádí objemový průtok potrubím na přímo úměrný řídicí signál [4]. Je možné si zvolit, zda výstupní signál bude typu objemového nebo hmotnostního průtoku.

2.3.2 Část řízení průtoku

Řízení regulace průtoku v modelu je řešené pomocí regulačního obvodu.



Obrázek 2.2: Model řízení průtoku

Za regulátor byl vybrán blok **PID Controller**. Hlavní úlohou je do modelu přenést parametry z PID v TIA Portalu vytvořené pomocí funkce PID Tuning viz 3.5. Rovnice pro funkci regulátoru je v programu Simulink viz (2.1) odlišná oproti rovnici v TIA Portalu viz (3.1). Ke správné implementaci parametrů je zapotřebí integrační složku zapsat pouze jako opačnou hodnotu, aby rovnice odpovídaly.

$$y = P \left(1 + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}} \right) \quad (2.1)$$

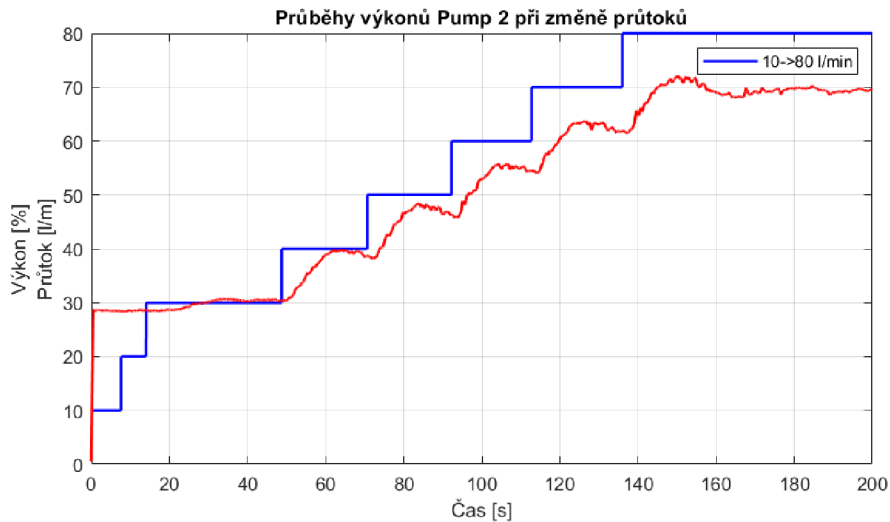
Další parametr, který musel být nastavený, je saturace. Saturace je v rozmezí 0 až 80 % a představuje omezení výstupu výkonu regulátoru nastaveného i v TIA Portalu. Při zapnutí funkce saturace je nutné vzít v potaz wind up efekt. V Simulinku jsou dvě možnosti jeho potlačení: metoda clamping a back-calculation. Dostupná dokumentace k TIA Portalu částečně uvádí funkčnost anti-windup metody, bohužel však neuvádí přesnou metodu. Z toho důvodu byla v Simulinku zvolena metoda clamping [5].

LTI System je blok, jenž reprezentuje přenosovou funkci v obvodu. Hlavním důvodem pro výběr LTI System bloku je skutečnost, že jeho parametrem mohou být data typu „idtf“, což jsou výstupní data System Identification Toolbox. Funkcí bloku v obvodu je dát pracovní dynamiku čerpadla z naměřených průběhů průtoků při různých výkonech viz Graf 2.2. Tím, že jsou průběhy tři, je potřeba při jiné žádané hodnotě průtoku změnit blok na odpovídající. Vstupem je výkon čerpadla a výstupem je průtok.

Důležitou částí obvodu jsou převody jednotek. Ty jsou řešeny jednoduchým přenásobením. Během funkce auto tuning v TIA Portalu byla vstupní a žádaná hodnota PID nastavena na l/min. Čerpadlo a průtokoměr z knihovny Simscape mají pracovní hodnotu v m³/s, proto je potřeba jednotky převádět pro správnou funkčnost.

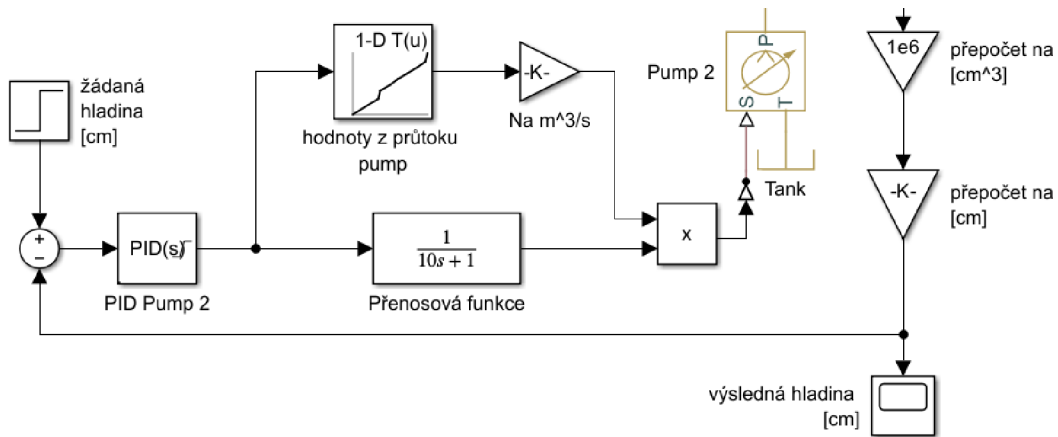
2.3.3 Část řízení hladiny akvária

Řízení regulace hladiny je řešeno taktěž pomocí regulačního obvodu s rozdílem, že je využito proměnného zesílení. PID regulátor je řešen stejně jako v předchozí kapitole. Jediný funkční rozdíl je, že regulátor je laděn na změnu výšky hladiny akvária. Nastává tedy problém s řízením bloku čerpadla, které lze ovládat pouze průtokem. Z tohoto důvodu byly naměřeny průběhy výkonu čerpadla Pump 2 při změnách žádaného průtoku.



Graf 2.3: Naměřené změny výkonu čerpadla Pump 2

Měření probíhalo spuštěním obou čerpadel v režimu regulace a sledoval se stav výkonu čerpadla Pump 2. V grafu je znázorněno, jaký je přibližně potřeba výkon k dorovnání výšky hladiny akvária při změně žádaného průtoku. Poté bylo možné výkony zanést v Simulinku do bloku Lookup Table.



Obrázek 2.3: Model pro řízení hladiny

Lookup Table blok umožňuje generovat výstup způsobem, že vyhledává či odhaduje hodnoty tabulky na základě vstupních hodnot. Jeho vstupem je výkon z PID regulátoru a výstupem je přidělený průtok. Průtok je násoben s přenosovou funkcí a reprezentuje proměnné zesílení.

Přenosová funkce je řešena pomocí Transfer Fcn bloku. Časová konstanta byla přibližně odhadnuta z průběhů v Graf 2.3. Předpokládá se, že průběh náběhů výkonu při změnách průtoku je pokaždý přibližně stejný.

2.4 Porovnání průběhů

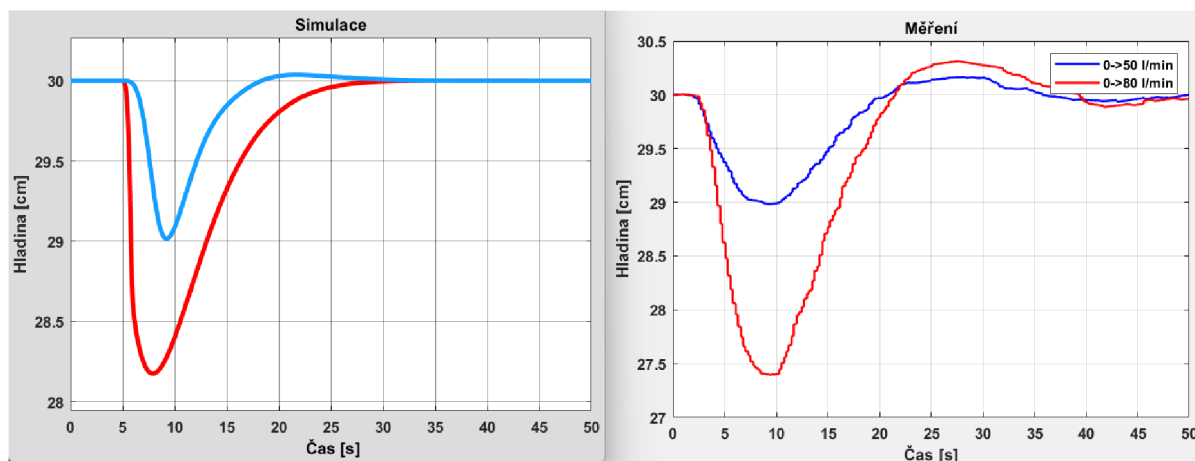
Výsledné průběhy simulace navrženého modelu v Simulinku je potřeba porovnat s reálnými průběhy úlohy. Jelikož se jedná o zjednodušený simulovaný model, musí se počítat s faktem, že výsledné průběhy nebudou stoprocentně přesné. Změřena a simulována byla situace, kdy v akváriu je výška 30 cm a voda se začne odčerpávat.

2.4.1 Hladina akvária

V první části porovnání průběhů je možné pozorovat, jak se promítlo odčerpávání vody na hladinu v akváriu s průtokem 50 nebo 80 l/min.

Měření ukazuje, že čím větší je průtok, tím je vyšší úbytek hladiny. U simulace je vidět částečné dosažení podobného průběhu jako u měření. Souhlasí i přibližná doba ustálení hladiny (přibližně 35 s). Největší rozdíl tvoří úbytek hladiny a následný překmit. V simulaci u průtoku 80 l/min je pokles o cca 0,8 cm menší než ve skutečnosti a nedochází k překmitu. U průtoku 50 l/min výška hladiny měření naopak odpovídá a následný překmit je lehce zřetelný.

Nedokonalost průběhu simulace hladiny je dána zejména nepřesností obvodu proměnného zesílení a nezohlednění pasivního průtoku, který se v úloze nachází (cca 28 l/min).

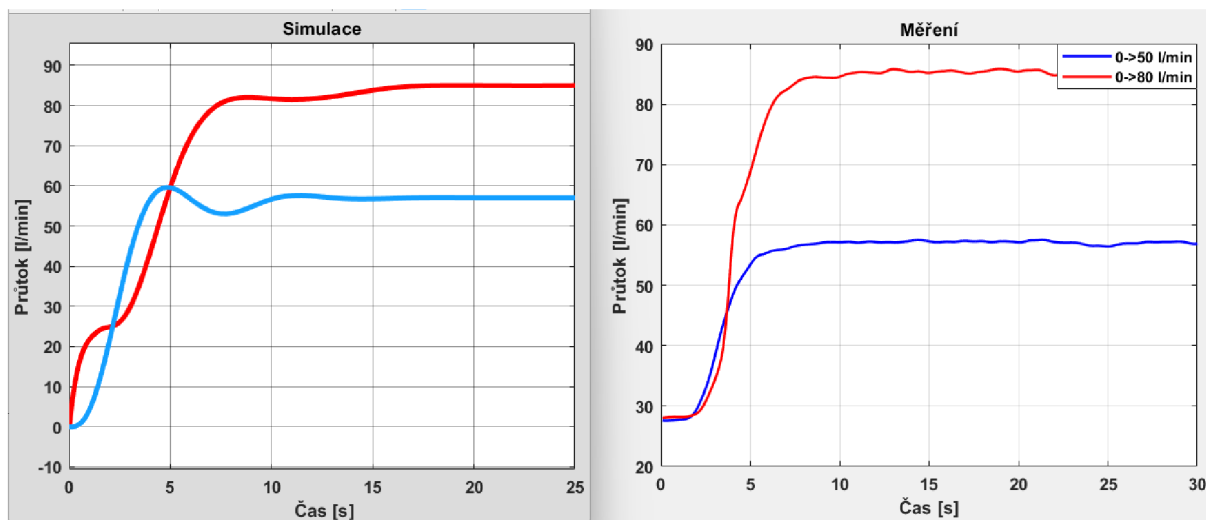


Graf 2.4: Simulace/měření hladiny

2.4.2 Průtok

V druhé části porovnání je značné, jaký je průběh při odčerpávání vody z akvária průtokem 57 nebo 85 l/min.

Naměřená data ukazují, že žádané hodnoty u obou průtoků se dosáhne v celku rychle a v téměř stejný čas. V simulaci se povedlo dosáhnout žádaného průtoku a času kdy se ustálí (cca 8 sekund). Tvary průběhů v simulaci jsou dány daty z identifikace, proto má průtok 57 l/min překmit. Rozdílem v modelu je, že není zohledněn pasivní průtok v systému, tudíž simulace má začátek průběhu od nuly.



Graf 2.5: Simulace/měření průtoku

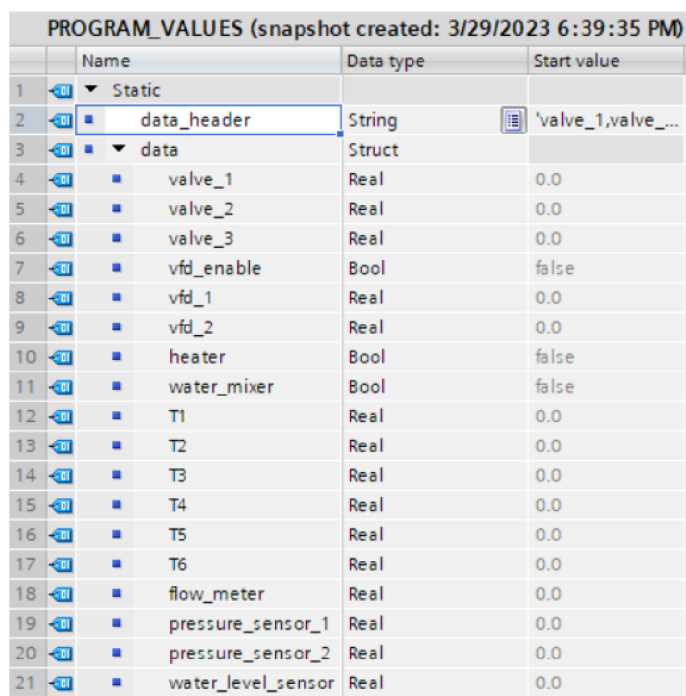
3 Řízení na systému Simatic S7-1500

3.1 TIA Portal

Pro řízení PLC systému Simatic S7-1500 byl použit program TIA Portal V17. Software je základním pilířem celé nabídky PLC od firmy Siemens a umožňuje programování, diagnostiku a konfiguraci automatizačních zařízení.

Vytváření programu probíhalo ve formě LAD (Ladder diagram). Jedná se o grafický jazyk, jenž napodobuje schéma reléových obvodů. TIA Portal ovšem nabízí další jazyky na vytváření programů jako např. FBD, STL, SCL a SFC. Forma LAD byla zvolena z důvodu jednoduchosti a široké podpory [6].

Proměnné využité pro zhotovení laboratorní úlohy jsou ovládání čerpadel a ventilů, škálováno v rozmezí 0-100 %. Dále průtokoměr udávající hodnotu v l/min a senzor výšky hladiny v cm.



	Name	Data type	Start value
1	Static		
2	data_header	String	'valve_1,valve_...
3	data	Struct	
4	valve_1	Real	0.0
5	valve_2	Real	0.0
6	valve_3	Real	0.0
7	vfd_enable	Bool	false
8	vfd_1	Real	0.0
9	vfd_2	Real	0.0
10	heater	Bool	false
11	water_mixer	Bool	false
12	T1	Real	0.0
13	T2	Real	0.0
14	T3	Real	0.0
15	T4	Real	0.0
16	T5	Real	0.0
17	T6	Real	0.0
18	flow_meter	Real	0.0
19	pressure_sensor_1	Real	0.0
20	pressure_sensor_2	Real	0.0
21	water_level_sensor	Real	0.0

Obrázek 3.1: Proměnné pro ovládání celé úlohy

Testování funkčnosti programu probíhalo rovnou na zařízení v učebně, tudíž nebylo zapotřebí využití virtuálního simulátoru.

3.2 Komunikace s PLC

Komunikace mezi PLC S7-1500 a počítačem s nainstalovaným softwarem TIA Portal je založena na protokolu Profinet či Profibus. Oba protokoly umožňují výměnu dat mezi PLC procesorem a PC viz 4.2.

K funkčnosti komunikace je potřeba v TIA Portalu vytvořit hardwarovou konfiguraci. Ta obnáší zvolení správného a podporovaného modelu PLC. Je nutné mít správně nastavený typ a adresy spojení. Následným krokem je provedení týkající se nakonfigurování tzv. tagů.

Tagy jsou identifikátory dat fungující jako most pro přenos informací mezi PLC a PC. V TIA Portalu se vytvoří jako nová proměnná libovolného typu a přiřadí se k ní fyzická adresa z PLC. Proto je poté možné jednoduše číst a zapisovat data jednotlivých vstupů a výstupů PLC.

Jelikož v tomto PLC byl nahrán základní program pro manuální obsluhu celého zařízení, nebyly potřeba konfigurovat adresy vstupů a výstupů PLC.

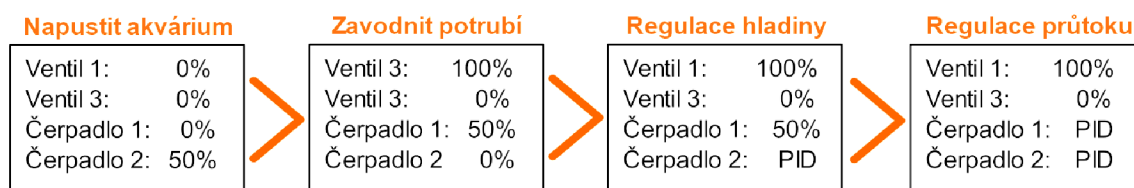
TIA Portal nabízí možnost se přepnout z offline do online režimu. Online režim slouží uživateli ke sledování a manipulaci se vstupy a výstupy v reálném čase. Využívá se obzvláště k jednoduššímu testování a odladování programu.

3.3 Návrh struktury regulace průtoku a hladiny vody v akváriu

Pro vytvoření finální podoby programu regulace průtoku a hladiny vody v akváriu je potřeba nejprve navrhnout strukturu programu. Program by měl řídit čerpadlo Pump 1, které bude čerpat vodu z akvária a tím si určovat rychlost průtoku, přičemž čerpadlo Pump 2 bude doplňovat žádanou hladinu v akváriu.

K funkčnosti regulace je nutné nejdříve napustit akvárium a mít zavodněné potrubí. Tyto dva kroky jsou nezbytně důležité a musí se provést před každým startem regulace, jinak hrozí zavzdušnění potrubí čili nefunkčnost celé úlohy.

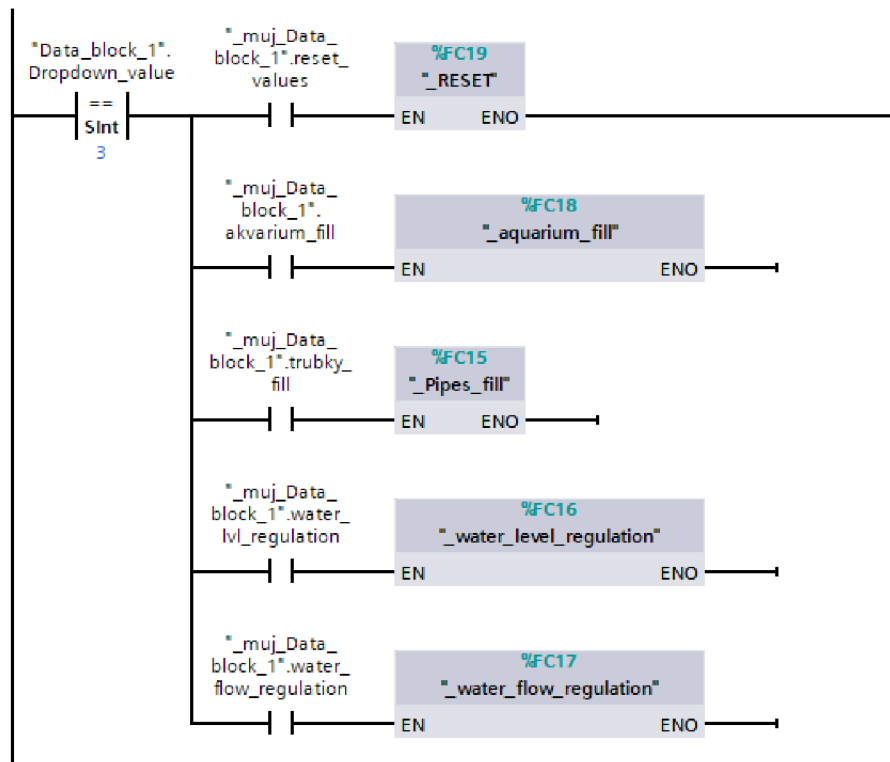
Jelikož se jedná o dvě samostatné regulace, musí program obsahovat 2 PID regulátory. Po zavodnění systému stačí spustit PID regulaci postupně v akváriu a v průtoku. Během těchto kroků se musí využít časových prodlev k přehazování ventilů a ustálení průtoků.



Obrázek 3.2: Zjednodušený model struktury programu

3.4 Program

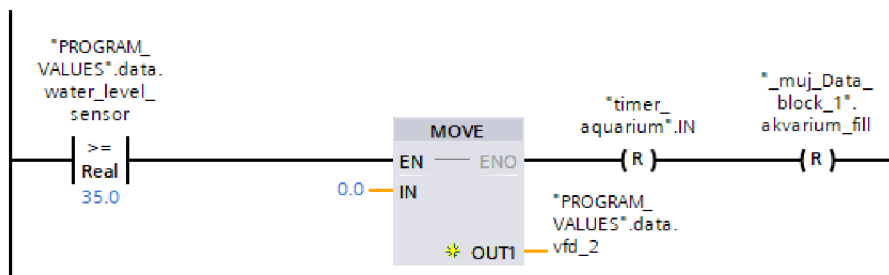
Celý program byl vytvořen v main bloku programu TIA Portal. Spouští se automaticky po startu PLC. Zde se nachází funkční bloky, které se spustí pouze v případě, že uživatel tuto možnost zvolí. Každý blok reprezentuje jednu z částí navrženého modelu viz. obrázek 4, kromě bloku `_RESET`. `_RESET` slouží k ručnímu resetování veškerých použitých proměnných a časovačů. Tzn. že program se vrátí do výchozí stavu a uživatel může začít od začátku.



Zdrojový kód 3.1: Struktura programu v main funkci

3.4.1 _aquarium_fill

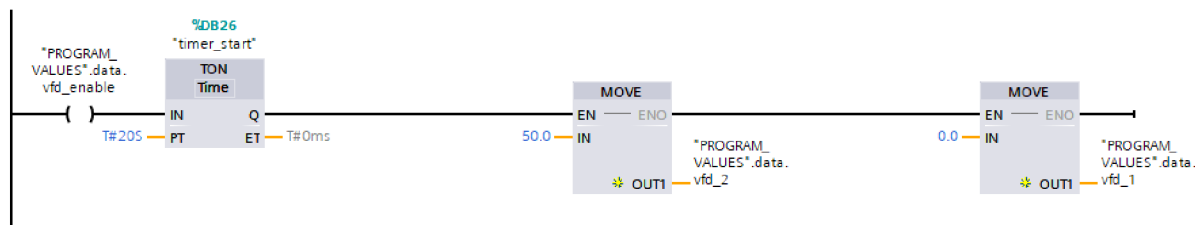
Funkční blok je navrhnut tak, aby se napustilo akvárium téměř do plna. První, co blok provede je, že přehodí ventily do odpovídající polohy a zapne časovač. Časovači trvá 20 sekund, než se ventil plně otevře nebo zavře. Poté se spustí čerpadlo Pump 2. Poslední část bloku hlídá výšku hladiny, jakmile je hladina vyšší nebo rovna 35 cm, vypne se čerpadlo a celý funkční blok. Funkční blok je nutné spustit pokaždé, když je v akváriu hladina vody nižší než polovina. Jinak hrozí, že při spuštění ostatních bloků dojde k zavzdušnění a tím pádem i nefunkčnosti celé úlohy.



Zdrojový kód 3.2: Část bloku _aquarium_fill funkce

3.4.2 _Pipes_fill

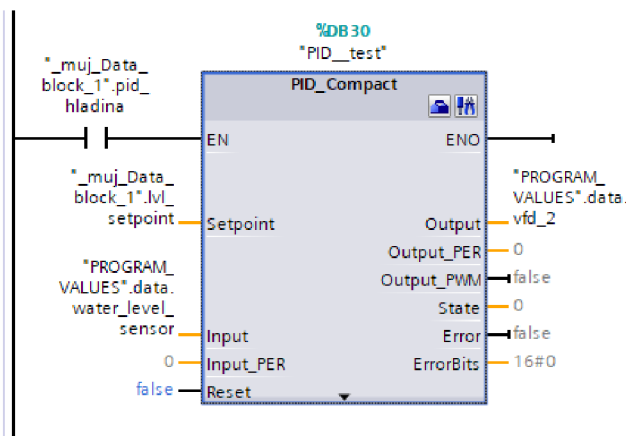
_Pipes_fill funkční blok má za úkol zavodnění potrubí. Po 20 sekundách se přehodí ventily a čerpadlo Pump 2 se spustí přibližně na poloviční výkon a zavodní potrubí. Po vypnutí bloku je uživateli zpřístupněna možnost použití regulace. Funkční blok regulace musí být spuštěn pokaždé, jeli potrubí z malé části zavzdušněno. Hrozí opět nefunkčnost celé úlohy.



Zdrojový kód 3.3: Část bloku _Pipes_fill

3.4.3 Water_level_regulation

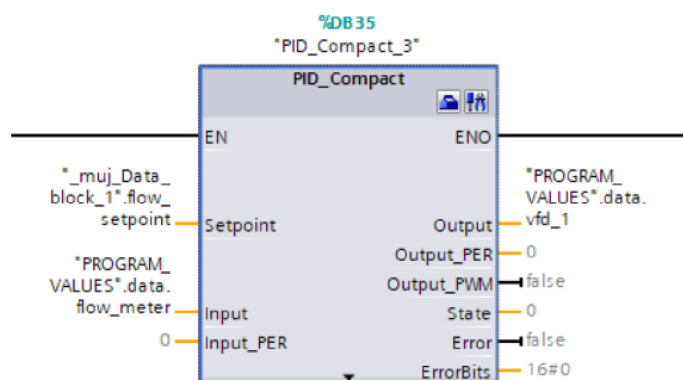
Water_level_regulation blok slouží k regulaci vodní hladiny pomocí PID regulátoru. Zprvu blok vyčká na přehození ventilů a začne spouštět funkční blok PID_Compact. Výška hladiny (lvl_setpoint) je žádaná hodnota uživatele a měla by být v rozmezí 20-35 cm. Jeli hodnota nižšího rozsahu, nasává čerpadlo vzduch. Jeli hodnota vyššího rozsahu čerpadlo se vypne z důvodu dosažení maximální kapacity akvária. Daný funkční blok regulace se spouští s předpokladem, že je zavodněné akvárium a potrubí.



Zdrojový kód 3.4: Část bloku Water_level_regulation

3.4.4 Water_flow_regulation

Water_flow_regulation tvoří poslední část main programu. Za úkol má spustit druhý PID regulátor řídicí průtok pomocí čerpadla Pump 1. Regulátor se spustí téměř okamžitě a uživatel si může zvolit rychlost průtoku (flow setpoint) v rozmezí cca 30-80 l/min. Minimální průtok je pasivní průtok celého systému, jenž se vytvoří při vyrovnávání hladiny akvária čerpadlem Pump 2. Maximální průtok udává výkon čerpadla. Funkční blok se též spouští s předpokladem, že je zavodněné akvárium s potrubím.



Zdrojový kód 3.5: Část bloku Water_flow_regulation

3.5 PID Tuning

Funkční blok PID_Compact je důležitou součástí knihovny TIA Portalu a za jeho pomoci je možné docílit regulace v automatizačních procesech. Je navržen, aby v počáteční fázi ladění automaticky určoval proporcionální (P), integrální (I) a derivační (D) parametry řízeného regulovaného systému. Oproti běžným metodám ladění jako je např. zkouška omyl, metoda Ziegler–Nichols atd. se tato funkce bloku stává pohodlným a efektivním nástrojem pro PID regulaci.

Proces automatického ladění se skládá ze dvou fází: Pretuning a Finetuning. V Pretuning fázi PID_Compact automaticky vypočítává parametry P, I a D na základě charakteristik daného řízeného systému. Výpočet parametrů je klíčovým krokem, protože stanovuje počáteční parametry regulace. Po dokončení Pretuning fáze následuje Finetuning, který parametry regulace blíže upřesňuje. Dvukrokový ladící proces zajišťuje přizpůsobivost systému různým provozním podmínkám a dosažení optimálního výkonu.

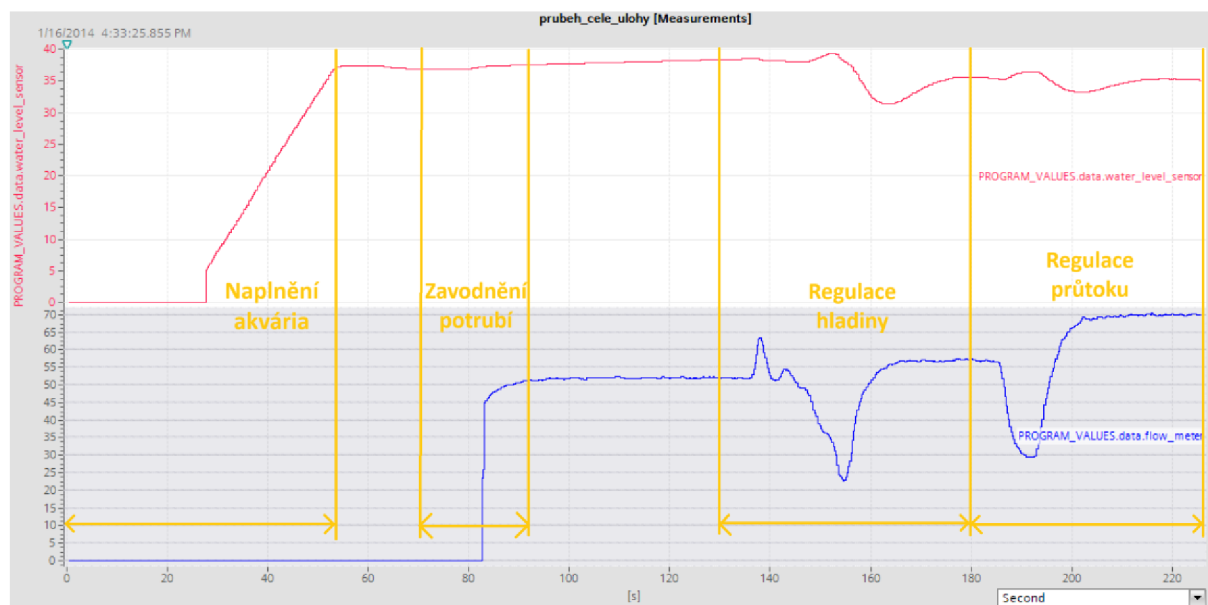
Celý algoritmus funkčního bloku PID_Compact je založen na následující rovnici [7]:

$$y = K_p [(b \cdot w - x) + \frac{1}{T_I \cdot s} (w - x) + \frac{T_D \cdot s}{a \cdot T_D \cdot s + 1} (c \cdot w - x)] \quad (3.1)$$

Tabulka 3.1: Parametry rovnice

Symbol	Popis
K_p	Proporcionální skok
T_I	Integrační akční čas
T_D	Derivační akční čas
a	Derivační koeficient zpoždění
b	Proporcionální akční veličina
c	Derivační akční veličina
y	Výstup PID
s	Laplaceův operátor
w	Žádaná veličina
x	Hodnota procesu

3.6 Naměřený průběh programu v provozu



Graf 3.1: Průběh úlohy v provozu

Z grafu je patrné měření celého průběhu laboratorní úlohy v provozu. V grafu jsou vyznačeny všechny 4 sekvence odpovídající struktuře programu. V horní červené části grafu je průběh hladiny v akváriu. Spodní modrá část je průběh průtoku.

V první části je rovněž vidět, že se naplní akvárium nad výšku 35 cm. Následně se spustí zavodnění potrubí, což dokazuje změna průběhu průtoku.

Při spuštění regulace hladiny je u naměřeného průběhu vidět, že se výška dostala na zadanou hodnotu 35 cm. U průběhu průtoku došlo k výkyvům z důvodu přehazování ventilů. Následně se průtok ustálil na hodnotě 55 l/min, což je dáno nastavením čerpadla Pump 1 čerpající vodu z akvária při 50% výkonu.

U regulace průtoku je zřetelné, že u hladiny došlo k lehkému výkyvu z důvodu průtoku nastaveného na 70 l/min. Průběh průtoku má takový podkmit, protože byla žádaná hodnota nastavena nejdříve na 0 a následně na 70 l/min.

4 Realizace vizuálního rozhraní na HMI panelu

HMI vizualizace je proces umožňující uživatelům interagovat a řídit stroje či systémy pomocí grafických rozhraní. TIA Portal poskytuje řadu funkcí a nástrojů k tvorbě efektivních a intuitivních vizualizací. Funkcemi a nástroji jsou např.:

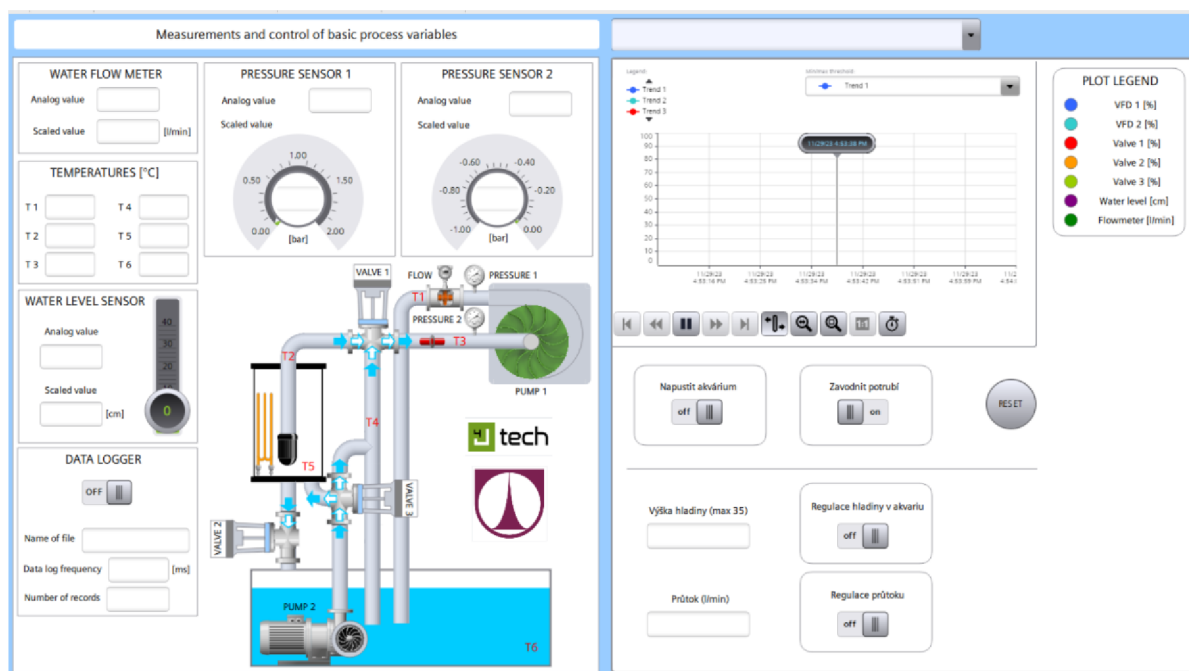
- Funkce drag-and-drop využitelná pro grafické prvky s rozsáhlou knihovnou předem nakonfigurovaných objektů
- Vizualizace dat v reálném čase a diagnostické nástroje umožňující uživatelům získávat potřebné informace

4.1 Návrh rozhraní

Podoba finální vizualizace vychází z původního návrhu struktury programu viz Obrázek 3.2. Důležité pro tvorbu vizualizace je možnost spouštění jednotlivých částí programu a následná přehlednost o aktuálním dění úlohy.

Pomocí rozbalovacího menu může uživatel přepnout z původní úvodní obrazovky viz Obrázek 1.3 na pracovní plochu, kde byla vytvářena vlastní vizualizace. Zobrazovací displej má 21,5" a Full HD rozlišení. Není tedy problém s viditelností a místem pro velké množství ovládacích prvků či diagnostických objektů.

Pro vizualizace byly zvoleny čtyři spouštěče pro každou část programu, aby odpovídala struktuře programu viz Obrázek 3.2. Byla přidána dvě pole pro zadání výšky hladiny a rychlosti průtoku k viditelnosti reakce PID regulátoru na změnu žádané hodnoty. K zobrazení změn je nutný graf zobrazující hodnoty v reálném čase. V neposlední řadě bylo přidáno tlačítko resetu sloužící k vynulování veškerých proměnných a vrácení úlohy do výchozího stavu.



Obrázek 4.1: Pracovní obrazovka

4.2 Komunikace

Komunikace mezi HMI panelem, PLC S7-1500 a PC s TIA Portalem probíhá fyzicky připojením ethernetového nebo RS-485 kabelu. Ke komunikaci je třeba mít společný protokol pro funkčnost na vybraném fyzickém připojení. Siemens využívá dvou průmyslových protokolů: Profinet a Profibus [8].

Tabulka 4.1: Profinet/Profibus rozdíly

	Profinet	Profibus
Typ konektoru	Ethernet	RS-485
Přenosová rychlost	100 Mbit/s	12 Mbit/s
Délka kabelu	100 m	1 km
Podpora více zařízení	127 zařízení v síti	Omezeno počtem IP adres

Profibus je jednodušším a finančně dostupnějším řešením, než je Profinet. Na druhou stranu má nižší rychlosti a flexibilitu. Pro potřebu úlohy bylo zvoleno připojení prostřednictvím Profibus z důvodu jednoduchosti propojení s jakýmkoliv PC.

Počítač s TIA Portalem byl již propojen s PLC. Zbývalo už jen nastavit v TIA Portalu správné IP adresy, porty, protokoly atd. Výměna dat mezi HMI a PLC probíhá tak, že každý vytvořený objekt vizualizace je propojen tagem s přiřazenou adresou v registru PLC.

4.3 Prvky rozhraní

Knihovna TIA Portalu obsahuje velkou škálu objektů možných využít pro vytvoření vlastní vizualizace. Objekty mohou být programovatelné ve smyslu, že se jejich vlastnosti mění v závislosti na dané vytvořené proměnné. Každému prvku se dají upravovat jeho vlastnosti (barva, velikost, poloha...), případně i animace. Níže jsou obsaženy nejdůležitější objekty, které byly pro potřebu úlohy využity.

4.3.1 Switch

Přepínače switch jsou vázány na proměnné sloužící uživateli ke spuštění jednotlivých částí funkčních programů viz Obrázek 3.2.

U všech přepínačů je nastavené podsvícení na červené a zelené. Jasně indikuje uživateli, zda je switch ve vypnutém či zapnutém stavu. Poslední dva switche jsou nastaveny tak, že s nimi uživatel nemůže manipulovat, dokud nejsou aktivovány první dva (akvárium napuštěno, potrubí zavodněno).



Obrázek 4.2: Switch

4.3.2 IO field

Textové pole IO field má funkci pro zápis žádané výšky hladiny a průtoku. Výstupní hodnota pole je datového typu real, je proto pro uživatele možné zadat i desetinné číslo.

Do těchto polí se nedá zapisovat, stejně jako se nedá manipulovat s přepínači, dokud nejsou spuštěné první dvě části programu. Uváděné je zde i rozmezí, jenž informuje uživatele, v jakých mezích se pohybovat při zadávání výšky hladiny a průtoku, aby byla zaručena funkčnost úlohy.

Výška hladiny	Průtok
<input type="text"/>	<input type="text"/>
(20-35 cm)	(30-90 l/m)

Obrázek 4.3: IO field

4.3.3 Button

Tlačítko RESET má za úkol spustit funkční blok `_RESET` viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Po jeho aktivaci vrátí do výchozího stavu veškeré proměnné (včetně přepínačů) a uživatel může začít s prací od výchozího stavu.

Nastavení tlačítka probíhá přes funkci Events. Zde si může uživatel přesně nastavit v jaký moment dojde ke změně proměnné. Nabízí také možnosti aktivace jako např. při okamžitém zmáčknutí, při puštění tlačítka, při rychlém zmáčknutí a puštění atd. V tomto případě bylo zvoleno, že k aktivaci dojde hned při prvním doteku, pro co nejrychlejší reakci a odpověď.



Obrázek 4.4: Button

4.3.4 Trend control

Trend control je objekt, jehož funkcí je vykreslit v aktuálním čase graf jednotlivých proměnných (trendů). Uživatelé se zpřístupní možnost analyzovat vývoj libovolného počtu trendů spolu s možností využití různých gest pro manipulaci, například přiblížení a posun.

Pro vizualizaci aktuálního stavu úlohy bylo nastaveno zobrazení sedmi trendů:

- Výkon dvou čerpadel: Pump 1 a Pump 2
- Stav tří ventilů: Valve 1, Valve 2, Valve 3
- Výška hladiny v akváriu: Water Level
- Průtok: Flowmetr



Obrázek 4.5: Trend control

Závěr

V první fázi práce na laboratorní úloze odstředivého čerpadla proběhlo seznámení s fyzickou podobou a funkcí zařízení. Provedlo se testování jednotlivých komponentů a zjistily se jejich limity a možnosti. Bylo zjištěno, že na laboratorní úloze se dá vytvořit program pro regulaci teploty, průtoku a hladiny vody v akváriu. Při testování ohřevu vody a následného čerpaní se došlo k závěru, že práce s ohřevem je značně nevyhovující pro laboratorní úlohu. Objem akvária je nedostačující a ohřev vody v akváriu trvá dlouhou dobu. Bylo proto přistoupeno k vytvoření programu pro řízení průtoku a hladiny vody v akváriu.

V druhé fázi práce na laboratorní úloze proběhl návrh a implementace programu pro řízení průtoku a hladiny vody v akváriu. Nejdříve bylo potřeba naučit se používat aplikaci TIA Portal. Vytvořený program byl přenesen na PLC systém Simatic S7-1500 a provedlo se testování s laděním. Použila se funkce PID Tuning pro naladění parametrů regulátorů. V poslední řadě se naměřily průběhy programu v provozu a zhodnotily se výsledky. Z výsledků měření je vidět, že se úspěšně povedla vytvořit regulace průtoku i hladiny v akváriu. PID Tuning se ukázal jako efektivní nástroj pro získání parametrů regulátoru.

Třetí fáze práce se týkala realizace vizuálního rozhraní na HMI panelu. Vytvořeno bylo uživatelské rozhraní pro dotykový panel Simatic HMI MTP2200 Unified Comfort. Ve vizualizaci se povedlo vytvořit rozhraní pro nastavování parametrů řízení, ovládání jednotlivých kroků regulace a zobrazení aktuálního stavu úlohy. Rozhraní bylo tvořeno v prostředí TIA Portal a testováno přímo na panelu.

Ve čtvrté fázi práce proběhla tvorba simulačního modelu úlohy. Tvorba simulačního modelu proběhla v prostředí Simulink. Pomocí funkce Data Trace v TIA Portalu se naměřily potřebné průběhy pro parametrizaci modelu. Naměřené parametry pomohly nasimulovat potřebnou dynamiku obou čerpadel. Vytvořený model se porovnal s reálnými daty a ověřila se jeho shoda. Bylo zjištěno, že simulace odpovídá naměřeným hodnotám pouze s malými rozdíly. Rozdíly jsou způsobeny nepřesnostmi parametrů v simulaci nebo variacemi v experimentálních podmínkách. Přesto však výsledky ukazují, že navržený simulační model je robustní a předpovídá chování systému.

Cílem bakalářské práce bylo pochopit funkčnost laboratorní úlohy odstředivého čerpadla, včetně jejího řízení, testování, programování, simulace a vizualizace. Tento cíl byl úspěšně splněn a výsledky práce mohou být využity pro další rozvoj a vylepšení úlohy. Práce tak přispívá k rozšíření znalostí a dovedností v oblasti mechatroniky a technické informatiky.

Použitá literatura

- [1] Online. In: Inst Tools. 2024. Dostupné z: <https://instrumentationtools.com/trace-function/>. [cit. 2024-01-04].
- [2] THE MATHWORKS, INC. online. c1996–2023. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/products/sysid.html>. [cit. 2023-12-11].
- [3] Online. In: MATLAB. c1994-2024. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/releases/R2022b/simscape/ref/hydraulicflowratesource.html>. [cit. 2024-01-04].
- [4] Online. In: MATLAB. c1994-2023. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/releases/R2022b/simscape/ref/hydraulicflowratesensor.html>. [cit. 2024-01-04].
- [5] SIEMENS. online. In: SiePortal. 2023. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/036/108210036/att_916450/v2/s71500_pid_control_function_manual_en-US_en-US.pdf. [cit. 2023-12-25].
- [6] SIEMENS. Online. In: Siemens.com Global Website. c1996–2023. Dostupné z: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html>. [cit. 2023-11-11].
- [7] SIEMENS. PDF. In: SIEMENS. SiePortal. 2017. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/707/79047707/att_915339/v2/79047707_PidCompactV2_2_DOC_V2_0_1_en.pdf. [cit. 2023-11-27].
- [8] Online. In: The Automization. 2023. Dostupné z: <https://theautomization.com/profibus-vs-profinet-difference-between-profibus-and-profinet/>. [cit. 2024-01-05].

Přílohy

A.1 Simulink_Projekt_BP

Elektronická příloha, co obsahuje projekt simulačního modelu laboratorní úlohy v prostředí Simulink. Dalším obsahem je Matlab script pro zpracování dat z měření. Součástí je i složka „data“ obsahující data z měření exportovaná z TIA Portalu.

A.2 Tia_Projekt_BP

Elektronická příloha, co obsahuje vytvořený projekt a všechny jeho potřebné soubory pro program TIA Portal V17.