

Laboratorní výukový model PCT40

Laboratory education model PCT40

Bc. Radek Pochylý

Diplomová práce
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav řízení procesů
akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radek POCHYLÝ**
Studijní program: **N 2807 Chemické a procesní inženýrství**
Studijní obor: **Automatizace a řídicí technika**

Téma práce: **Laboratorní výukový model PCT40**

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení s laboratorním modelem multifunkčního výukového modelu PCT40 od firmy Armfield -- způsoby zapojení, obsluha atd.
2. Vytvoření vzorového příkladu pro modul výměníku tepla včetně návodu a vzorového protokolu.
3. Vytvoření vzorového příkladu pro modul zásobníku na kapalinu včetně návodu a vzorového protokolu.
4. Vytvoření programové podpory v Matlabu popř. Simulinku k ovládání a řízení modulů pomocí technologických karet MF624 od firmy Humusoft.
5. Návrh metody řízení některého z modulů.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

- [1] Mikeš, J. a M. Fikar: Modelovanie, identifikácia a riadenie procesov I. Vydavateľstvo STU, Bratislava, 1999.
- [2] Ingham, J., Dunn, I. J., Heinzle, E., Přenosil, J. E.: Chemical Engineering Dynamics. An Introduction to Modeling and Computer Simulation. Second, Completely Revised Edition, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 2000.
- [3] Luyben, W.L.: Process modelling, simulation and control for chemical engineers. McGraw-Hill, New York, 1989.
- [4] Balátě, J. Automatické řízení. BEN – technická literatura, Praha. 2003.
- [5] Manuály k modelu PCT40 firmy Armfield

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Vojtěšek**
Ústav řízení procesů

Datum zadání diplomové práce: **13. února 2007**

Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2007**

Ve Zlíně dne 13. února 2007


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan


LS.
ředitel ústavu


prof. Ing. Petr Dostál, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá laboratorním výukovým modelem PCT40. Obsahuje popis a možnosti využití tohoto přístroje při výuce předmětu „Řízení reálných procesů“. Práce obsahuje vytvoření vzorových úloh pro regulaci výšky hladiny a regulaci teploty ve výměníku tepla. Pro tyto úkoly byly vytvořeny postupy a návody pro práci s přístrojem, které jsou součástí vzorových protokolů k jednotlivým úlohám. Tyto práce obsahují popis přístroje, návody pro práci a naměřené výsledky. Součástí práce je i návrh metody řízení jednoho z modulů přístroje PCT40. Všechny programy byly vytvořeny v prostředí Simulink programu Matlab 6.5.

Klíčová slova: PCT40, výukový model, Simulink, reálné procesy

ABSTRACT

This thesis undertakes the laboratory educational model PCT40. It contains the description and options for using of this device for classwork in “Control of real processes”. Thesis contains creation exemplary protocols for height level control and heat exchanger temperature control. For these exercises were made technique and guides for working with this device, witch are included in exemplary protocols of each one exercises. These protocols contain description of device, instruction for working and measuring data. A part of this thesis is a proposal for control of one module PCT40’s device. All programs were created in Simulink, a part of program Matlab 6.5.

Keywords: PCT40, education simulator, Simulink, real processes

„Yo quisiera agradecer a mi novia por todo el apoyo que me da“. A děkuji také vedoucímu závěrečné práce panu Ing. Jiřímu Vojtěškovi za odborné vedení, rady a připomínky, které mi při řešení mé práce poskytoval.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé závěrečné práce může být naloženo podle uvážení vedoucího závěrečné práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že na celé závěrečné práci jsem pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně 22. května 2007

.....

Bc. Radek Pochylý

OBSAH

ÚVOD.....	7
I TEORETICKÁ ČÁST	8
1 ZAŘÍZENÍ PCT40	9
1.1.1 Seznámení s přístrojem	9
1.1.2 Software pro PCT40	10
2 TECHNICKÁ DOKUMENTACE	12
2.1 VÝMĚNÍK TEPLA	12
2.2 ZÁSOBNÍK NA KAPALINU	13
2.3 CHEMICKÝ REAKTOR	15
2.4 OSTATNÍ SOUČÁSTI	15
2.5 KALIBRACE SNÍMAČŮ	17
3 SOFTWARE PRO PCT40	18
4 POUŽITÉ SNÍMAČE	22
4.1.1 Snímače tlaku	22
4.1.2 Snímače teploty	22
4.1.3 Snímače průtoku	23
4.1.4 Diferenciální snímač výšky hladiny	24
4.1.5 Snímače pH a vodivosti	25
5 NÁVRH METODY ŘÍZENÍ	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	30
6 NÁVRH REGULÁTORU	31
7 VYTVOŘENÉ PRAKTICKÉ ÚKOLY	33
7.1 KALIBRACE	33
7.2 SPOJITÁ REGULACE VÝŠKY HLADINY	36
7.3 DVOUPOLOHOVÁ REGULACE VÝŠKY HLADINY	39
7.4 REGULACE TEPLOTY VE VÝMĚNÍKU, VODNÍ LÁZNĚ A CHLADICÍ VODY	42
ZÁVĚR	46
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	47
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	48
SEZNAM OBRÁZKŮ	49
SEZNAM TABULEK	50
SEZNAM PŘÍLOH	51

ÚVOD

V současné době se při řízení technologických procesů kladou značné požadavky na spolehlivost a přesnost řízení. Používají se různě složitá zařízení, jejichž řízení je značně náročné. K řízení technologických procesů potřebujeme znát vlastnosti těchto probíhajících procesů. Znat chování a pochopit činnost těchto zařízení je velmi důležité pro následnou práci při řízení těchto zařízení. Osvětlit a i pochopit procesy probíhající v praxi nám umožňují laboratorní modely skutečných zařízení. Tato zařízení nám umožňují rychle a bez zdlouhavých experimentů pochopit funkce a závislosti reálných zařízení.

Tato práce se zabývá přístrojem PCT40 od firmy Armfield. Tento přístroj obsahuje několik modulů pro simulaci reálných procesů. Jedná se zejména o výměník tepla a o regulaci výšky hladiny v nádobě. Pro tyto úlohy byly vytvořeny návody a vytvořeny vzorová měření, která budou sloužit při výuce v předmětu „Řízení reálných procesů“.

Závěrem práce bude vytvoření aplikací v prostředí Simulink programu Matlab 6.5, a vytvoření návodů a protokolů pro vzorové úlohy na přístroji PCT40. Úlohy jsou určeny pro pochopení a reálnou představu o procesech, probíhajících v praxi. Ať už se jedná o zobrazení dynamických pochodů probíhajících ve výměníku, anebo pochodech při regulaci výšky hladiny.

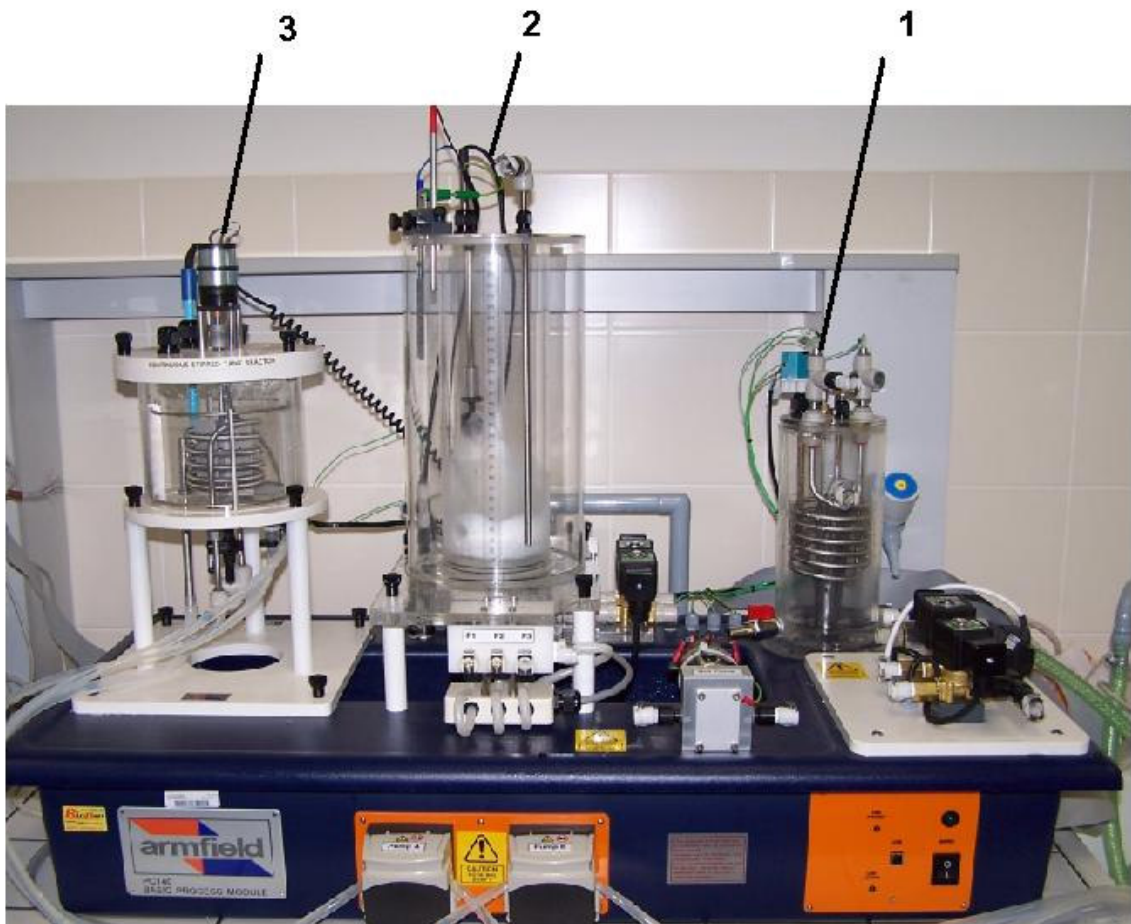
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZAŘÍZENÍ PCT40

1.1.1 Seznámení s přístrojem

Laboratorní výukový model PTC40 byl vyvinut k výuce řízení širokého spektra procesů. Obsahuje výukový model řízení výšky hladiny, teploty, průtoku. Procesy mohou být řízeny manuálně, PID regulátorem nebo automaticky stylem on/off. Model je rozšiřitelný (modulem PCT41) o chemický reaktor s měřením pH a vodivosti roztoku.

Model PCT40 obsahuje dva zásobníky na kapalinu, čerpadla, a senzory fyzikálních veličin. Model je opatřen výstupem pro komunikaci s počítačem, a to buď pomocí 60-pin nebo 50-pin konektoru, na pravé straně přístroje. Je zde i USB výstup na přední straně přístroje.

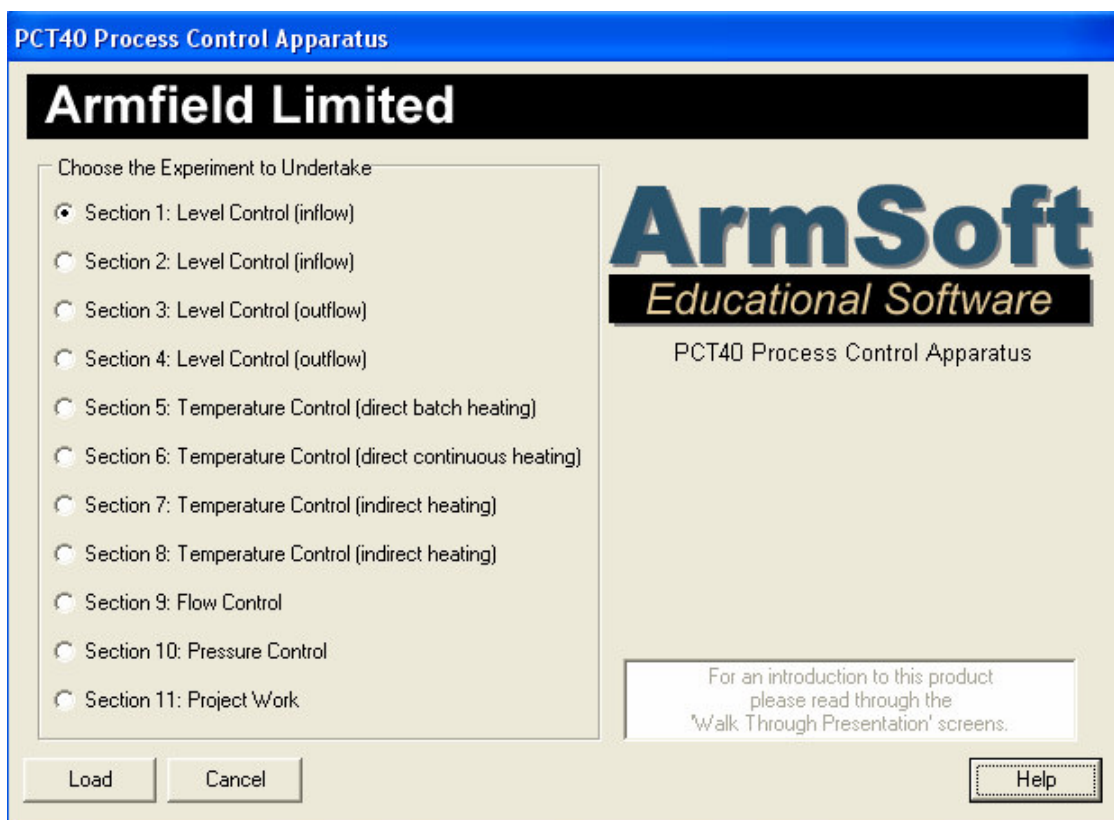


Obr. 1. Celkový pohled na zařízení

(1) - tepelný výměník; (2) - nádoba na kapalinu; (3) - chemický reaktor

1.1.2 Software pro PCT40

Firma (Armfield) dodává svůj vlastní software pro komunikaci modelu s počítačem, resp. obsluhou. Jedná se o program od firmy Armfield Limited. S jeho pomocí můžeme pracovat buďto s celým přístrojem současně, nebo si vybereme pouze konkrétní část pro konkrétní úlohu, např. regulaci výšky hladiny. Pokud si vybereme konkrétní úlohu, zobrazí se nám pouze ta část přístroje, která souvisí s danou úlohou. Do jiných částí nemáme přístup. Program komunikuje s přístrojem pomocí USB kabelu. V programu je v nabídce několik již vytvořených projektů, z nichž si můžeme vybírat. Program tak neumožňuje práci na novém, neodzkoušeném projektu.



Obr. 2. Program PCT40 od firmy Armfield

Program umožňuje archivaci dat ve formátu XLS, dále kalibraci tlakových senzorů, možnost výběru mezi manuálním a automatickým řízením. Dále umožňuje výběr mezi automatickým řízením pomocí PID nebo proporcionálního regulátoru.

Program je optimalizován pro uživatelské použití, neumožňuje však detailnější nastavení regulátorů, anebo sledování dílčích technologických parametrů.

2 TECHNICKÁ DOKUMENTACE

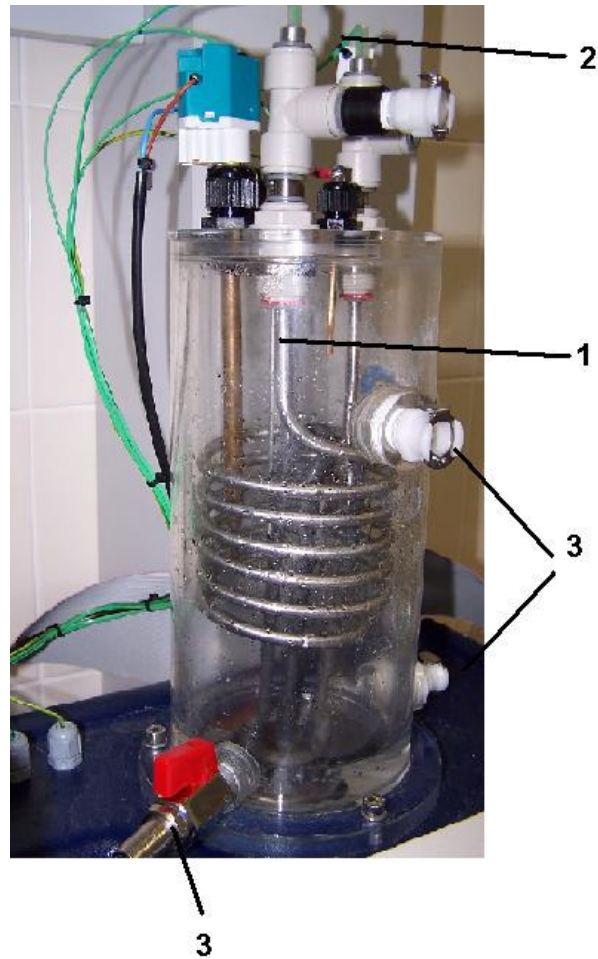
2.1 Výměník tepla

Výměník tepla je tvořen nádobou, uvnitř které jsou umístěny chladicí spirála (1) a topná spirála. Topná elektrická spirála je vybavena dvěma formami ochrany proti nechtěnému přehřátí systému. Je to snímač výšky hladiny, kdy spirála může topit pouze při dostatečném zaplnění zásobníku kapalinou. A dále je to ochrana tepelná (termostat), kdy spirála netopí, pokud teplota uvnitř nádoby přesáhne určitou hodnotu.

Chladicí spirála je tvořena tenkou dutou trubičkou, na jejímž vstupu i výstupu jsou teploměry (2). Další teploměr je uvnitř nádoby. Získáváme tak informace a teplotě chlazené kapaliny (uvnitř nádoby) a také o vstupní a výstupní teplotě chladiva. Zásobník má tři vstupně výstupní ventily (3), z toho jeden manuální.

Technická data:

- teplotní senzory: termočlánek 0-200⁰C
- příkon topné spirály: 2kW
- maximální teplota: 90⁰C



Obr. 3 Tepelný výměník

. Průtoky těchto kapalin a tím i jejich objemy považujeme za konstantní. Tepelnou kapacitu stěny oddělující obě kapaliny zanedbáváme. Ostatní technologické parametry (koeficient prostupu tepla, hustoty a měrná tepla kapalin) považujeme za konstantní.

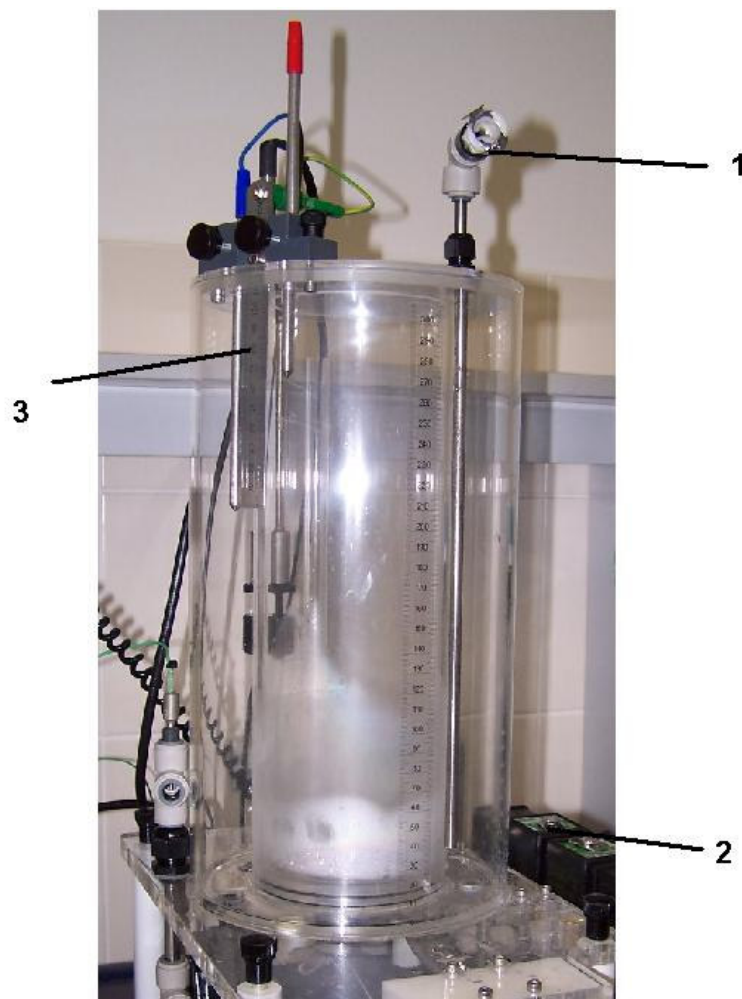
2.2 Zásobník na kapalinu

Zásobník na kapalinu je tvořen dvěma soustředně uloženými válcovými nádobami, kdy prostor vzniklý v mezikruží tvoří náš zásobník. Do tohoto zásobníku vedou dvě přívodní místa pro kapalinu (1) a tři místa odtoková (2), jedná se o dva solenoidy a jednu manuální výpusť. V prostoru jsou umístěny sondy pro diferenciální měření výšky hladiny (3), plovák

jakožto limitní spínač, dále je zde vývod k tlakovému senzoru, který měří výšku hladiny v nádobě. Zásobník je opatřen přepadem.

Technická data:

- maximální výška hladiny: 300mm
- maximální objem kapaliny: 4l
- počet vstupně-výstupních míst pro kapalinu: 2ks
- počet výstupních míst pro kapalinu: 2ks solenoidů (2,4 a 3,2mm)
- snímač výšky hladiny: tlakový elektronický princip
- diferenciální snímač výšky hladiny: elektrodový princip
- limitní spínač výšky hladiny: plovákový princip



Obr. 4. Zásobník na kapalinu

2.3 Chemický reaktor

Chemický reaktor je přídatný modul (PCT41) k modelu PCT40, umožňující simulaci chemického reaktoru s promícháváním. Je osazen sondami na měření pH a vodivosti. Modul je umístěn v levé části přístroje, a obsahuje jeden vstupní otvor a také dva výstupní otvory, včetně manuálního. Jelikož je chemický reaktor součástí jiného modelu (PCT41), nebude se jím v této práci zabývat.

2.4 Ostatní součásti

Tepelný výměník, přívodní PSV pumpa, solenoidy a ostatní součásti jsou propojeny pomocí propojovacích hadic. Tyto hadice mají dva typy ukončení, vzájemně nezaměnitelné. Jedná se o koncovku se zpětným ventilem, koncovku bez zpětného ventilu a zástrčkovou koncovku. Je třeba hlídat, aby se zapojovaly vhodné koncovky do jednotlivých vpustí, jinak by mohlo dojít k jejich poškození, nebo poškození modelu.

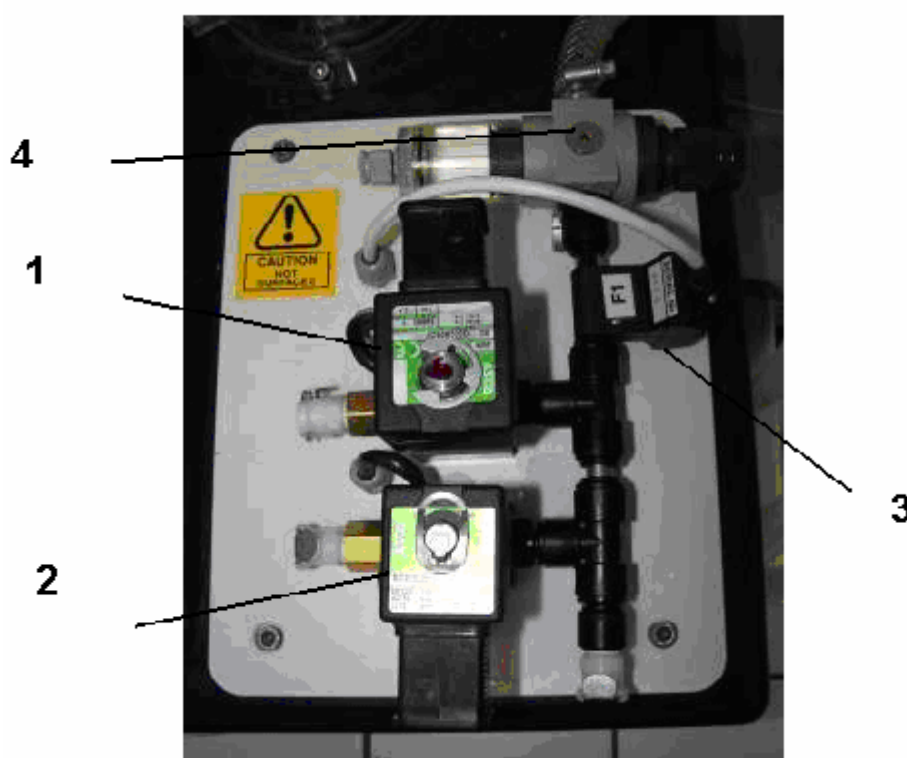


Obr. 5 Tři typy hadicových koncovek

Přívod kapaliny je zajišťován pomocí vodovodního řadu. Do jednotlivých částí modelu je rozváděn v podstatě dvěma různými způsoby. Buďto pomocí PSV pumpy (1) nebo pomocí solenoidu SOL1 (2). PSV pumpa má nastavitelný rozsah výkonu od 0 do 100%. Je vhodná

tedy pro spojitou regulaci přívodu tekutiny. Solenoid má dvě nastavitelné polohy (on/off), je tedy určen pro dvoupolohovou regulaci přívodu tekutiny.

Průtok vody do modelu je měřen turbínovým průtokoměrem (3) umístěným před PSV pumpou. Tlak vody přicházející do modelu je možno i ročně nastavovat pomocí ručního ventilu (4). Toho se také mnohdy využívá, protože pro správnou funkci modulu je potřeba zajistit určitý maximální průtok tekutiny, čehož se dosahuje právě manuálním přiškrcením nebo povolením ventilu.



Obr. 6. PSV čerpadlo, SOL1, manuální ventil a průtokoměr

Pro rozvod kapalin mezi jednotlivými součástmi modelu jsou zde k dispozici dvě peristaltická čerpadla (PUMP A,B) umožňující regulaci 0-100% svého výkonu. pro tato čerpadla je určen zvláštní typ hadic, z měkkého pružného materiálu. Ty jsou opatřeny standardními koncovkami. Dále je zde k dispozici čerpadlo na horkou vodu (HOT GEAR). Toto čerpadlo použijeme při transportu horké vody, protože jinak by mohlo dojít k poškození ostatních součástí přístroje.

2.5 Kalibrace snímačů

Při práci s přístrojem PCT40 bude někdy zapotřebí kalibrovat integrované snímače. Jedná se zejména o kalibraci snímače výšky hladiny. Tento snímač pracuje na principu snímače tlaku, kdy naměřený tlak je přepočítávám na výšku hladiny v nádobě. Kalibrace je soubor úkonů, kterými se stanovuje vztah mezi hodnotami veličin, které jsou indikovány měřicím přístrojem a hodnotami, které jsou realizovány etalony (standards). Budeme tedy kalibrovat naměřenou hodnotu tlaku na skutečnou výšku hladiny měřenou manuálně délkovými měřidly.

V principu jde o nalezení matematického vztahu určujícího přepočet mezi hodnotou tlaku a skutečnou výškou hladiny v nádobě. K tomuto účelu si sestavíme kalibrační tabulku, z níž získáme grafickou závislost a také matematickou závislost. Návrh této tabulky je uveden zde:

Tabulka 1: Kalibrační tabulka

Měření č.	Naměřený tlak [V]	Skutečná výška [mm]
1		
2		
...		

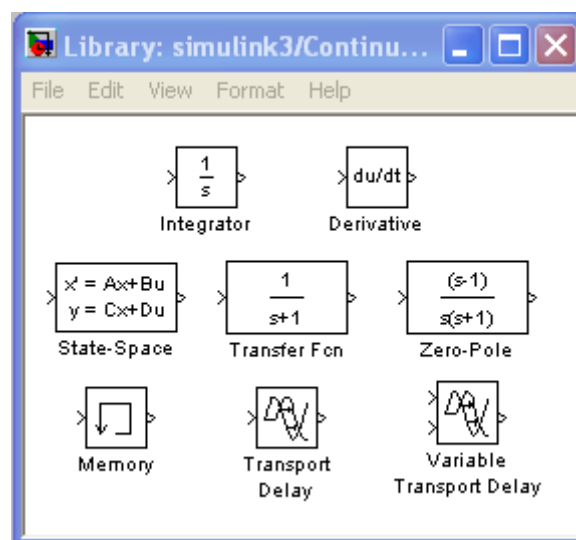
Pozn.: Naměřený tlak zde má jednotky volt. Je to proto, že snímač tlaku podává přes technologickou kartu data odpovídající určité hodnotě napětí.

Z této tabulky můžeme jednoduše získat matematickou závislost tlaku na výšce hladiny a tím i určit přepočtovou rovnici. Ta se poté použije v programech pro zpřesnění měřených dat. Vlastní kalibraci se provádí tak, že se postupně napouští velká nádoba. Pro zvolenou hodnotu necháme systém ustálit a poté se odečte snímaná hodnota tlaku a zaznamená skutečná výška hladiny. Takto dostaneme několik hodnot v celém rozsahu nádoby. Po vyhodnocení získáme matematickou závislost snímaného tlaku na výšce hladiny. Tato rovnice se poté použije v jednotlivých programech pro zpřesnění měřených hodnot.

3 SOFTWARE PRO PCT40

Pro regulaci výšky hladiny a teplot ve výměníku tepla bylo potřeba sestavit program, který by dokázal regulovat požadované veličiny a byl schopen komunikace a přístrojem přes počítač technologickou kartu v něm v reálném čase. Pro vytváření programů jsem využil Matlabu a jeho nástavby – Simulinku. Simulink je rozšíření MATLABu, které je k dispozici už od verze 4. Využívá grafických možností hostitelské platformy. Základní podmínkou pro spuštění SIMULINKu je spuštěný MATLAB. Simulink je určen na časové řešení (simulaci) chování dynamického systému. Umožňuje určit časové průběhy výstupních veličin v závislosti na časovém průběhu veličin vstupních a počátečním stavu. Ve spolupráci s Real Time Toolboxem lze jako vstupní data použít i přímo měřené hodnoty v reálném čase. Výsledek simulace se zobrazuje nejčastěji graficky pomocí bloku typu osciloskop, popř. XY graf nebo Display. Další možností je výstup proměnných do pracovního prostoru nebo přímo ukládat na disk.

SIMULINK využívá grafický (blokový) způsob zápisu. Z nabídky příslušné knihovny se myší přetahují výkonné bloky a pak se také myší pospojují odpovídající vstupy a výstupy.



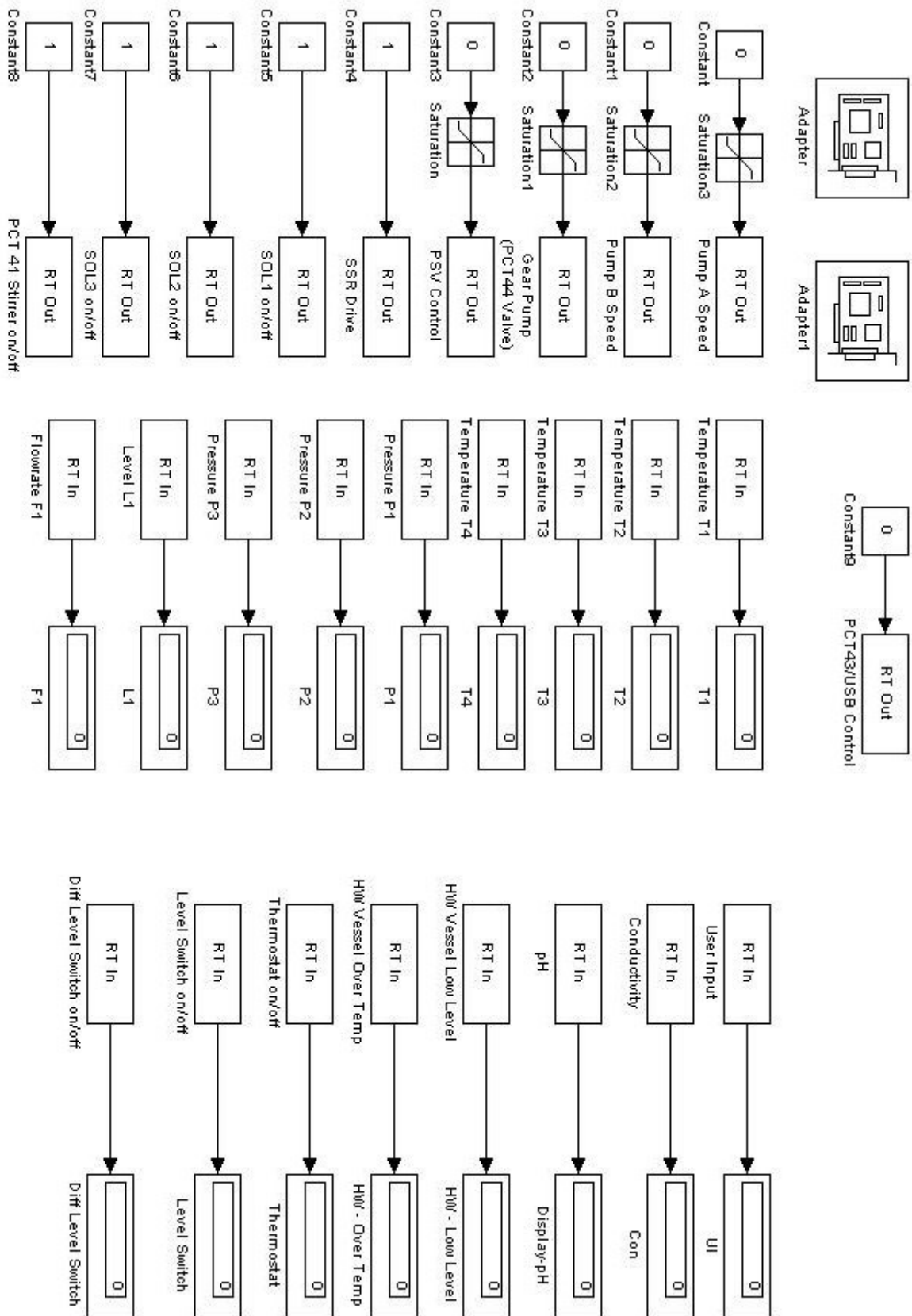
Obr. 7. Blokova knihovna Simulinku

Jak již bylo řečeno, výsledky se mohou ukládat např. do pracovního prostoru, tzv. Workspace. Je možné nastavit, jakým způsobem a kdy se budou požadovaná data do pra-

covního prostoru ukládat a pod jakou proměnou budou nadále k dispozici. Z pracovního prostoru Workspace můžeme data a proměnné exportovat do jiných zobrazitelných formátů, anebo ukládat jako soubory Matlabu.

Matlab Real-time toolbox je určen pro synchronizaci s reálným časem a komunikaci se zařízeními z prostředí Simulink. Nabízí množství vstupně-výstupních bloků s možností přístupu k měřicím technologickým kartám. Modul Real Time Toolbox je určen pro verze produktů Matlab a Simulink v prostředí Microsoft Windows 2000 nebo XP.

Real-time toolbox umožňuje komunikaci s přístrojem v reálném čase z prostředí Simulinku. K propojení slouží bloky *RT In* a *RT Out*. V dané aplikaci Simulinku musí být také umístěn blok *Adapter*, který definuje ovladač technologické karty. Každá technologická karta musí mít svůj vlastní blok v Simulinkovém schématu. V našem případě, kdy jsou použity dvě karty, tedy dva bloky *Adapter*. Každá měřená veličina se do programu přenáší pomocí standardního vstupního bloku *RT In*, dojde ke zpracování veličiny podle blokového schématu a výsledky jsou přenášeny na akční členy na přístroji PCT40 pomocí výstupních bloků *RT Out*. Celkové schéma se všemi snímanými veličinami je zobrazeno na *Obr. 8*.

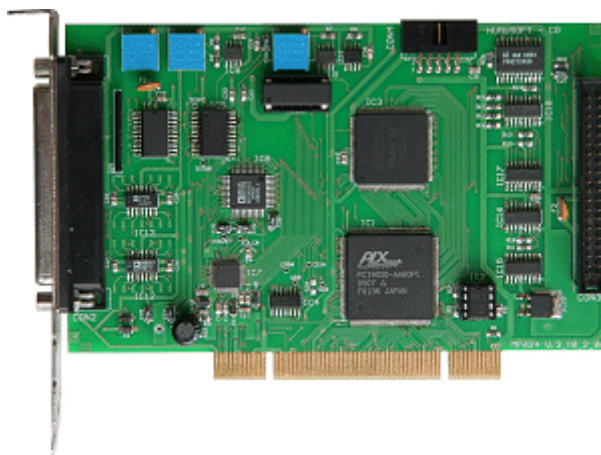


Obr. 8. Základní Simulinkové schéma ovládání přístroje PCT40

Jak již bylo řečeno, Simulinkový program komunikuje se zařízením přes technologickou kartu. V tomto případě se jedná o technologickou kartu MF624 od firmy Humusoft. Je to 14-bit analogová karta s osmi vstupy a osmi výstupy, vhodná pro zapojení do real-time aplikací (např. Real-time toolbox Matlabu) ve spolupráci se systémy Windows. Mezi aplikace, které může obsluhovat patří:

- monitorování a řízení procesů
- real-time aplikace
- řízení servo mechanismů
- měření polohy
- pulsní a frekvenční generátory

Tato karta má osm vstupů v rozsahu $\pm 10V$ a také osm výstupů o stejném rozsahu a maximálním proudu 10mA. Přístroj PCT40 rozšířený o modul PCT41 (chemický reaktor) má však více než jen osm vstupně-výstupních veličin. Proto byly použity dvě karty MF624, aby zajistili plnou obsluhovatelnost modelu, a při řízení jednotlivých modulů se nemuselo přepínat mezi jednotlivými kanály. Současný stav je tedy takový, že v modelu PCT40 jsou dosažitelné všechny vstupy i výstupy současně. Propojení karet s přístrojem PCT40 je pomocí 60-pin směrnice.



Obr. 9. Technologická karta MF624 od firmy Humusoft

4 POUŽITÉ SNÍMAČE

Jsou zde použity různé snímače fyzikálních veličin. Snímače tlaku, teploty, průtoku, snímače pH. Tyto jsou napojeny na A/D převodníky a výstupní signál má hodnotu -5V až +5V. Signály jsou převáděny přes technologickou kartu (typ MF624 do firmy Humusoft) do počítače, a zpracovány v prostředí Simulink programu Matlab.

4.1.1 Snímače tlaku

Měření tlaku patří mezi nejdůležitější technologické parametry, které měříme. Měřením tlaku získáváme informace o výšce hladiny tekutiny v nádobě. Měření výšky hladiny pomocí hydrostatického tlaku je nepřímé měření. Výška hladina je dána tlakem sloupce kapaliny. Měření tlaku vztahujeme k absolutnímu nulovému tlaku nebo k atmosférickému tlaku. Absolutní nulový tlak je teoretický nulový tlak v uzavřeném prostoru dokonale zbaveného všech hmotných částic. Barometrický tlak je tlak vzduchu v daném místě za skutečných podmínek. Normální barometrický tlak se udává na nadmořskou výšku 0m.n.m. (tj. na hladinu moře) a pro teplotu 0 °C a má hodnotu 101 325 Pa. Obecně může působit tlak staticky a dynamicky. Tlak statický působí v tekutině, která je klidu, působí stejně ve všech směrech a je úměrný výšce tlakového sloupce tekutiny. [Hruška]

Pro měření tlakových veličin se používají měřicí senzory převádějící působení tlaku na posuv, na sílu nebo na úhel natočení. Pro elektronické snímání působení tlaku se používají nejčastěji senzory elektrického odporu, indukčnostní senzory, tenzometrické senzory, kapacitní senzory. Moderní snímače mají senzor a převodník konstrukčně uspořádaný do jednoho přístroje – elektronického tlakoměru. Výstupní signál je unifikovaný analogový signál.

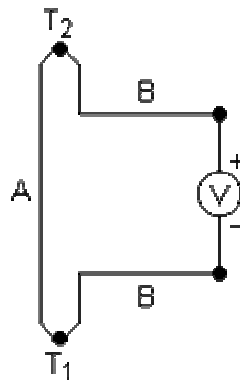
4.1.2 Snímače teploty

Měření teploty patří mezi nejdůležitější měřené veličiny. Teplota se měří na základě různých principů. Mezi nejpoužívanější patří odporové snímače teploty. Tato patří k velké skupině snímačů využívající změny závislosti elektrického odporu na teplotě. Materiál u použitých senzorů těchto snímačů určuje rozsah měření, přesnost a konstrukci. Ve snímačích se používají odporové senzory s kovového materiálu nebo z polovodičů. Konstrukce odporového snímače teploty odpovídá technické praxi.

Termoelektrické snímače teploty jsou typem snímačů pro dotykové měření teploty. Jde v podstatě o senzor vytvořený spojením vybraných dvou kovů.

Konstrukce termoelektrického snímače teploty je shodná s provedením pro odporové snímače teploty, tedy nejčastěji snímače s ochrannou trubkou. Termočlánekový senzor je uložen v ochranné trubce a je napojen na svorkovnici umístěnou v hlavici.

Při měření teploty termočláanky se musí řešit problém kompenzace teploty srovnávacího konce. Problém je zřejmý z *Obr. 10*.



Obr. 10. Schematické znázornění termočláanky

Termočlánek je napojen ze svorkovnice měděnými vodiči na měřicí přístroj. Mezi materiálem svorky, vodičem termočláanky a mědí vznikají termoelektrická napětí úměrná okolní teplotě. Tato napětí se přičítají k napětí měřicího konce termočláanky a vytváří nejistotu měření. V praxi jsou nejmodernější převodníky vybaveny automatickou kompenzací srovnávací teploty, která se snímá separátním teploměrem. Konstrukce termočláneků je nejčastěji řešena zapojením s operačními zesilovači [Hruška].

4.1.3 Snímače průtoku

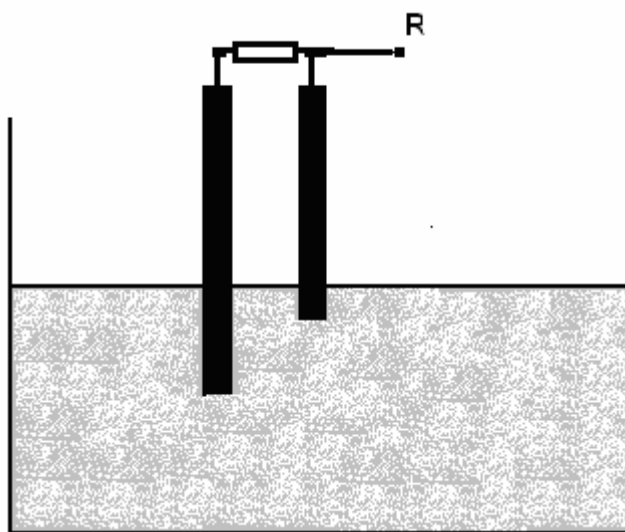
Měření průtoku a průtočného množství tekutin patří mezi nejdůležitější snímané veličiny. Tyto informace jsou využívány v regulačních okruzích při dávkování komponent, v informačních systémech při sledování toku tekutin a energií, atd. Nejčastěji se měří průtok tekutiny v uzavřeném potrubí. Pro správnou funkci průtokoměrů je důležitý druh proudění. Při

laminárním proudění se pohybují částice po proudnicích, ty jsou rovnoběžné a nekříží se. Při turbulentním proudění dochází k vírovému pohybu proudnic, a ty se vzájemně kříží. V modelu PCT40 je použitý průtokoměr turbínkový. Turbínové průtokoměry se používají pro měření čistých kapalin nebo plynů. Konstrukčně je průtokoměr řešen tak, že se na ložiskách otáčí oběžné kolo ve tvaru šroubovice a pod vlivem proudění tekutiny rotuje. Turbínka je mechanicky nebo magneticky spojena s mechanismem počítadla. Vyhodnocení průtoku se provádí pomocí čítače otáček.

4.1.4 Diferenciální snímač výšky hladiny

V našem případě zde máme použit i diferenciální snímač výšky hladiny a limitní snímač výšky hladiny. Tyto snímače však již nepracují na principu snímání tlaku a umožňují pouze nespojitě měření výšky hladiny. Limitní snímač výšky hladiny pracuje na principu plováku, což je v podstatě vlastní snímací člen tohoto snímače. Plovák je těleso s velmi malou hustotou vznášející se částečně ponořené na hladině. Na konci pohybové dráhy plováku je umístěn mikrospínač. Tento snímač poskytuje na výstupu binární signál a lze jej tedy použít k dvoupolohové regulaci.

Diferenciální snímač výšky hladiny pracuje na principu změn vodivosti prostředí v zásobníku, kdy vodivost je snímána elektrodami. V našem případě se jedná o dvě elektrody, které v závislosti na ponoření do kapaliny mění svou vodivost. Změny vodivosti elektrod vyhodnocujeme jako změnu výšky hladiny kapaliny v nádobě. V našem případě se jedná o tzv. bodové měření výšky hladiny [Hruška], kdy výstupní signál je nespojitý a podává informaci pouze o úrovni hladiny, nikoliv její přesnou hodnotu.



Obr. 11. Diferenciální měření výšky hladiny, princip

4.1.5 Snímače pH a vodivosti

Hodnota pH je dána koncentrací hydroxoniových (vodíkových) iontů. Čistá voda je disociovaná na hydroxoniové (H_3O^+) a na hydroxylové (OH^-) ionty. V neutrálním prostředí je stejný počet iontů hydroxoniových a hydroxylových, přičemž platí, že součin koncentrací obou iontů se rovná konstantní hodnotě (iontový součin vody). Pro lepší představu hodnoty pH se zavedlo vyjádření podle vztahu: $\text{pH} = -\log C_{\text{H}^+}$. Na základě dohody se rozděluje prostředí na neutrální ($\text{pH}=7$), na kyselé ($\text{pH} < 7$) a na zásadité ($\text{pH} > 7$).

Pro měření hodnoty pH se používá potenciometrického principu. Používá se elektrod, které obsahují měrnou a referenční část. Měrná elektroda dává elektrický potenciál závislý na koncentraci vodíkových iontů. Referenční elektroda má potenciál nezávislý na hodnotě pH roztoku a obsahuje roztok (buffer) o určité hodnotě pH.

Měřicími elektrodami bývají skleněné s ústojným roztokem nebo kovové antimonové nebo vizmutové. Elektrody referenční bývají kalomelová s KCl nebo chlorido-stříbrné s roztokem KCl.

Měření hodnoty pH je doplněno měřením teploty sledovaného roztoku, neboť zde existuje vysoká závislost hodnoty potenciálu elektrod na teplotě roztoku.

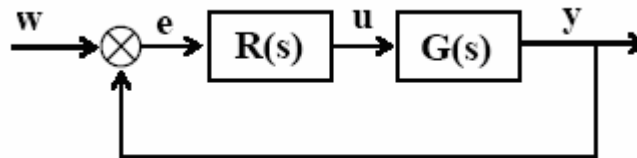
Elektrická vodivost je definována jako převrácená hodnota elektrického odporu. pro elektrickou vodivost H platí tedy obecně vztah: $H = 1 / R$.

Elektrická vodivost je vyjadřuje koncentraci iontů disociovaných ve vhodném roztoku. Disociované ionty a silné polární vazby mezi nimi vyvolávají vodivost elektrického proudu. Měření se provádí pomocí dvou elektrod o známé ploše a vzdálenosti. Pro měření se v praxi používá parametru měrné elektrické vodivosti, která je definovaná jako vodivost roztoku mezi elektrodami o ploše 1 cm^2 a vzdálenosti 1 cm . Nepříjemným parazitním vlivem při měření je velká závislost vodivosti na teplotě. Proto se musí výsledky měření korigovat na referenční teplotu. Elektrody mají plošný nebo válcový tvar a jsou vyrobeny např. z Pt s vrstvou platinové černi.

5 NÁVRH METODY ŘÍZENÍ

Cílem regulace je vygenerovat akční veličinu $u(t)$ tak, aby se regulovaná veličina $y(t)$ chovála podle předem zadaného cíle. tímto cílem je žádaná veličina $w(t)$. Nejúčinnějším způsobem, jak

tohoto cíle dosáhnout, je použití záporné zpětné vazby podle Obr. K přenosu regulovaného systému $G(s)$ je nutné nalézt přenos regulátoru $R(s)$ tak, aby regulační odchylka $e(t)$ byla co nejmenší.



Obr. 12. Schéma regulace

Existuje celá řada různých regulačních principů a regulátorů. Např regulátory spojitě x nespojitě; přímé x nepřímé; elektrické x pneumatické. Při řízení technologických procesů se velmi osvědčily lineární spojitě regulátory typu PID. Tento regulátor se skládá ze tří členů (v paralelním řazení):

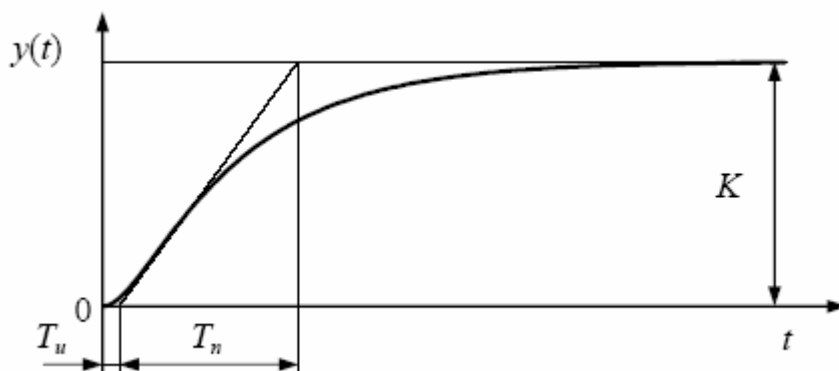
- P – proporcionální
- I – integrační
- D – derivační

Uvádí se, že až u 95% současných průmyslových aplikací řízení je používáno regulátorů typu PID. Velmi důležitým úkolem je nastavení parametrů PID regulátorů tak, aby regulační obvod fungoval správně, tedy zejména, aby celý obvod byl stabilní a aby regulační odchylka konvergovala k nule.

Syntéza regulátoru dominuje teorii řízení již dlouho a existuje řada metod jak nastavit parametry regulátoru. Zde je několik klasických metod seřízení regulátoru, které stále pro řadu řízených objektů velmi dobře vyhovují.

- 1) metoda nastavení z kritického zesílení (Ziegler – Nichols)
- 2) využití relé ve zpětné vazbě
- 3) nastavení z přechodové charakteristiky
- 4) Naslinova metoda

V našem případě se bude jednat o návrh regulátoru z přechodové charakteristiky. Přechodová charakteristika napouštění zásobníku na vodu se změří tak, že bude otevřen manuální ventil odtoku z nádrže a současně připojíme přívod vody z PSV čerpadla do nádrže. Přechodovou charakteristiku získáme napouštěním nádrže až do určité hodnoty. Čím více vody bude v nádobě, tím vyšší tlak bude působit na odtokový ventil a bude odtékat více vody, po určité době dojde k vyrovnání přítoku a odtoku z nádrže. Takto získanou přechodovou charakteristiku identifikujeme a podle Tabulka 2 určíme parametry PID regulátoru, který použijeme pro regulaci.



Obr. 13. Princip určení parametrů přechodové charakteristiky

Tabulka 2: Parametry PID regulátoru

	k_r	T_I	T_D
P	$\gamma \frac{1}{K}$	-	-
PI	$0,9\gamma \frac{1}{K}$	$3,5 T_u$	-
PD	$1,2\gamma \frac{1}{K}$	-	$0,25T_u$
PID	$1,25\gamma \frac{1}{K}$	$2 T_u$	$0,5 T_u$

Pozn. $\gamma = T_n / T_u$, T_u se nazývá doba (čas) průtahu a T_n je doba (čas) náběhu. Tečna se konstruuje v inflexním bodě přechodové charakteristiky. Parametry P, I, D dopočítáme podle tabulky.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 NÁVRH REGULÁTORU

Cílem regulace je vygenerovat akční veličinu $u(t)$ tak, aby se regulovaná veličina $y(t)$ chovala podle předem zadaného cíle. tímto cílem je žádaná veličina $w(t)$.

V našem případě se bude jednat o návrh regulátoru z přechodové charakteristiky. Přechodová charakteristika napouštění zásobníku na vodu se změní tak, že bude otevřen manuální ventil odtoku z nádrže a současně připojíme přívod vody z PSV čerpadla do nádrže. Přechodovou charakteristiku získáme napouštěním nádrže až do určité hodnoty. Čím více vody bude v nádobě, tím vyšší tlak bude působit na odtokový ventil a bude odtékat více vody, po určité době dojde k vyrovnání přítoku a odtoku z nádrže. Takto získanou přechodovou charakteristiku identifikujeme a podle Tabulka 2 určíme parametry PID regulátoru, který použijeme pro regulaci.

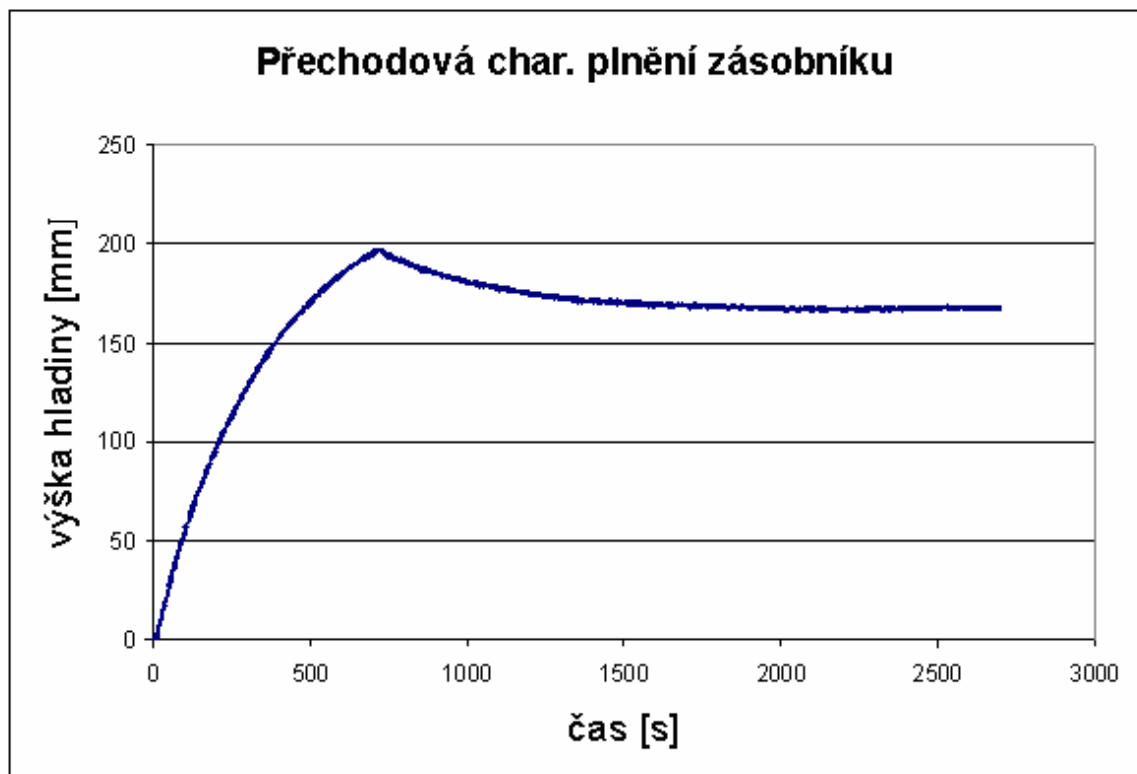
Tabulka 3: Parametry PID regulátoru

	k_r	T_I	T_D
P	$\gamma \frac{1}{K}$	-	-
PI	$0,9\gamma \frac{1}{K}$	$3,5 T_u$	-
PD	$1,2\gamma \frac{1}{K}$	-	$0,25T_u$
PID	$1,25\gamma \frac{1}{K}$	$2 T_u$	$0,5 T_u$

Pozn. $\gamma = T_u / T_n$, T_u se nazývá doba (čas) průtahu a T_n je doba (čas) náběhu. Tečna se konstruuje v inflexním bodě přechodové charakteristiky.

Při určování parametrů regulátoru jsem vycházel z naměřené přechodové charakteristiky. Tu můžeme vidět zde:

Graf 1: Přechodová charakteristika plnění zásobníku



Tuto přechodovou charakteristiku jsem identifikoval z změřených dat a určil parametry regulátoru pro regulaci. Doba průtahu činila: 2s ; doba náběhu činila: 480s. Zesílení bylo 165.

Podle Tabulky 2 pro nastavení parametrů regulátoru jsem určil jednotlivé parametry PID regulátoru podle následujících výpočtů.

$$\text{Parametr P: } 1,25 \cdot \gamma \cdot \frac{1}{K} = 1,25 \cdot \frac{480}{2} \cdot \frac{1}{165} = 2$$

$$\text{Parametr I: } 2 \cdot T_u = 2 \cdot 2 = 4$$

$$\text{Parametr D: } 0,5 \cdot T_u = 0,5 \cdot 2 = 1$$

Při identifikaci vyšly tyto parametry regulátoru: P=2; I=4; D=1. Tento regulátor se bude používat jako základní regulátor při regulaci výšky hladiny v nádobě. Výsledky regulace s tímto regulátorem můžeme vidět v kapitole 7.2.

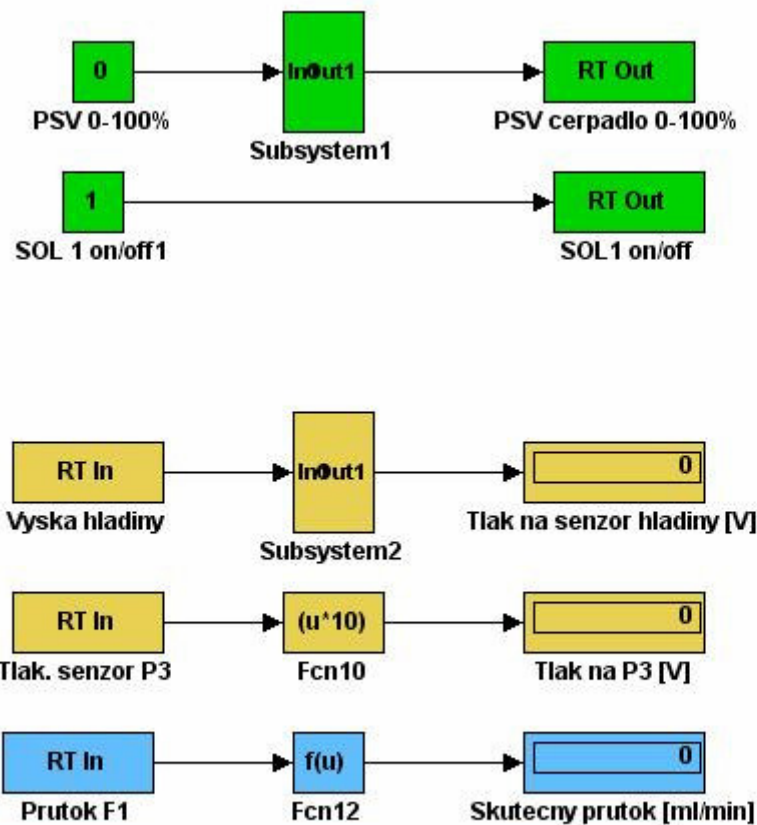
7 VYTVOŘENÉ PRAKTICKÉ ÚKOLY

V praktické části diplomové práce se budu zabývat vytvořením vzorových úloh na přístroji PCT40. Jedná se úlohy na regulaci výšky hladiny v zásobníku na kapalinu a regulaci teplot ve výměníku tepla. Pro regulaci výšky hladiny vytvořím dvě varianty této úlohy. Pro úlohy vytvořím návody pro práci a také dané úlohy odměřím a zpracuji o nich protokol.

Pro tyto úlohy vytvořím programy v Simulinku programu Matlab 6.5, které jsou schopny komunikovat přes technologickou kartu s přístrojem PCT40. Pomocí těchto programů bude možno regulovat pochody ve výměníku tepla a regulovat výšku hladiny v zásobníku na kapalinu. Při regulaci výšky hladiny bude obsahem práce i návrh vhodného regulátoru pro regulaci.

7.1 Kalibrace

Jak je uvedeno v návodech pro měření, musíme před zahájením měření provést kontrolu nastavení a kalibrace přístroje. Pokud je nutná kalibrace, můžeme přístrojové senzory naka-librovat podle následujícího Simulinkového programu „*PCT40_kalibrace.mdl*“. Ručně ovlá-dáme bloky PSV 0-100% a SOL 1 on/off. Zde zadáváme výkon PSV čerpadla anebo určujeme otevření solenoidu. Ostatní bloky nám umožňují odečet naměřených hodnot na senzorech. Z těchto hodnot se podle návodu sestrojí kalibrační křivky.



Obr. 14. Simulinkové schéma kalibrace senzorů

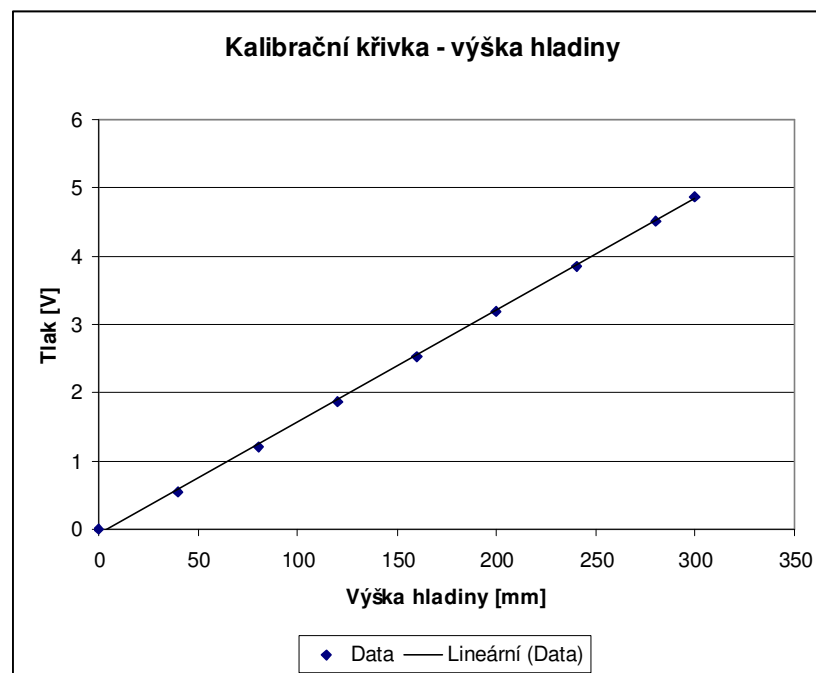
Získaná data graficky vyhodnotíme a získáme z nich lineární regresní závislost. Tuto pak využijeme pro zpřesnění senzorů. Tuto závislost budeme zadávat do zvláštních bloků Simulinkového schématu, s názvem *Kalib.prepocet*.

Podle návodu v teoretické části jsem provedl kalibraci senzorů. Jednalo se o kalibraci senzoru výšky hladiny a kalibraci senzoru průtoku. Získaná data jsem uvedl do tabulek a pomocí funkce Linregrese v Excelu získal závislost mezi měřenými veličinami.

Tabulka 4: Kalibrační tabulka pro výšku hladiny

Měření č.	Naměřený tlak [V]	Skutečná výška [mm]
1	0	0
2	0,54	40
3	1,20	80
4	1,86	120
5	2,53	160
6	3,19	200
7	3,85	240
8	4,51	280
9	4,86	300

Graf 2: Kalibrační křivka



Získaná závislost pomocí lineární regrese v Excelu: $hladina = tlak / 0,01637$. Tuto závislost použijeme pro kalibraci senzoru v programech pro regulaci výšky hladiny, kdy pomocí této přepočtové rovnice vypočítáme výšku hladiny z napětí na senzoru.

7.2 Spojitá regulace výšky hladiny

Pro spojitou regulaci výšky hladiny v nádobě se využije PID regulátoru. Pomocí vhodně navrženého regulátoru se reguluje výška hladiny ve velké nádobě na konkrétní hodnotě. Pro regulaci je vytvořen Simulinkový program „*PCT40_spoj_reg.mdl*“, se kterým budeme při experimentu pracovat.

Model musí být zapojen podle manuálu, musí být použity správné konektory a zdroje vody. Hlavní nádoba musí být ve správné pozici, použita odpovídající délka propojovacích hadic, a zkontrolováno jejich bezpečné připojení. Otok vody by měl být správně připojen a otevřen. Odtoky z SOL2 a SOL3 mají být zavedeny do hlavního odtoku.

Nyní se nastaví přítok vody do PSV pumpy. Tato hodnota je důležitá pro řízení přítoku a odtoku z nádoby. Pokud průtok není mezi hodnotami 800ml/min až 900ml.min⁻¹, potom jej lze nastavit podle následujícího návodu.

Propojí se PSV čerpadlo přímo s odtokem. Povytáhne aretace na přítoku vody do přístroje. Otáčením ventilu se nastaví přítok vody na hodnotu přibližně 850ml/min. Ventil se zatlačí zpět do původní polohy. Aktuální hodnotu průtoku zjišťujeme z údajů v programu „*PCT40_kalibrace.mdl*“ Matlab.

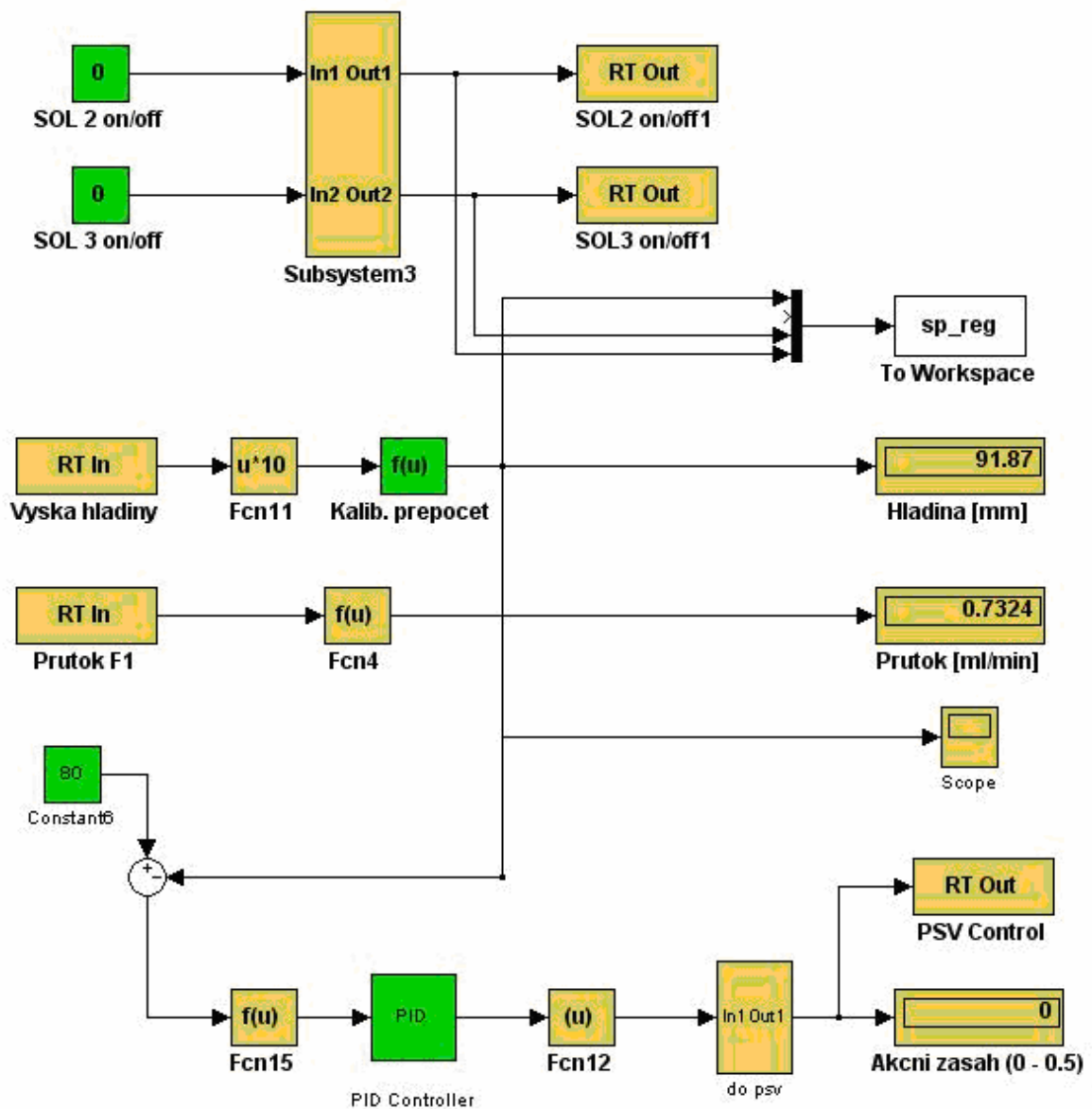
Dále je třeba zkontrolovat kalibraci výšky hladiny, zda zobrazované hodnoty odpovídají skutečným hodnotám výšky hladiny. Případnou kalibraci snímače výšky hladiny lze provést podle kapitoly 2.5.

Před vlastním měřením se přístroj uvede do klidu a uzavřou se přívody vody. Pro vlastní regulaci se využije PSV čerpadlo, SOL2, SOL3, velkou nádobu a propojovací hadice. Propojí se PSV čerpadlo se vstupem do velké nádoby, uzavře manuální odtok z nádoby. Přístroj je teď připraven k experimentu.

Otevře se program pro spojitou regulaci výšky hladiny „*PCT40_spoj_reg.mdl*“ a nastaví se požadovaná výška hladiny, na kterou se bude regulovat. Zadají se také parametry PID regulátoru, popř. použijí přednastavené hodnoty. Spustí se program pro spojitou regulaci výšky hladiny, a tím se začne nádoba plnit vodou. Současně pootevřeme kohout na dnu nádoby, čímž simulujeme poruchu v systému anebo odběr vody z nádoby. Míra otevření kohoutu nesmí být však moc veliká, tzn. že přítok do nádoby musí být větší než jaký je odtok. Bude probíhat regulace PID regulátorem na požadované hodnotě. Časový průběh výšky hladiny

zaznamenáváme. Zda dojde k ustálení, nebo ne a po jaké době. Experiment se ukončí zastavením simulace.

Během simulace se ukládají data z experimentu. Uložená data se využijí při vyhodnocení experimentu. Úloha na spojitou regulaci výšky hladiny, která je vytvořena v Simulinku se nazývá „PCT40_spoj_reg.mdl“. Náhled simulinkového schématu je zde:

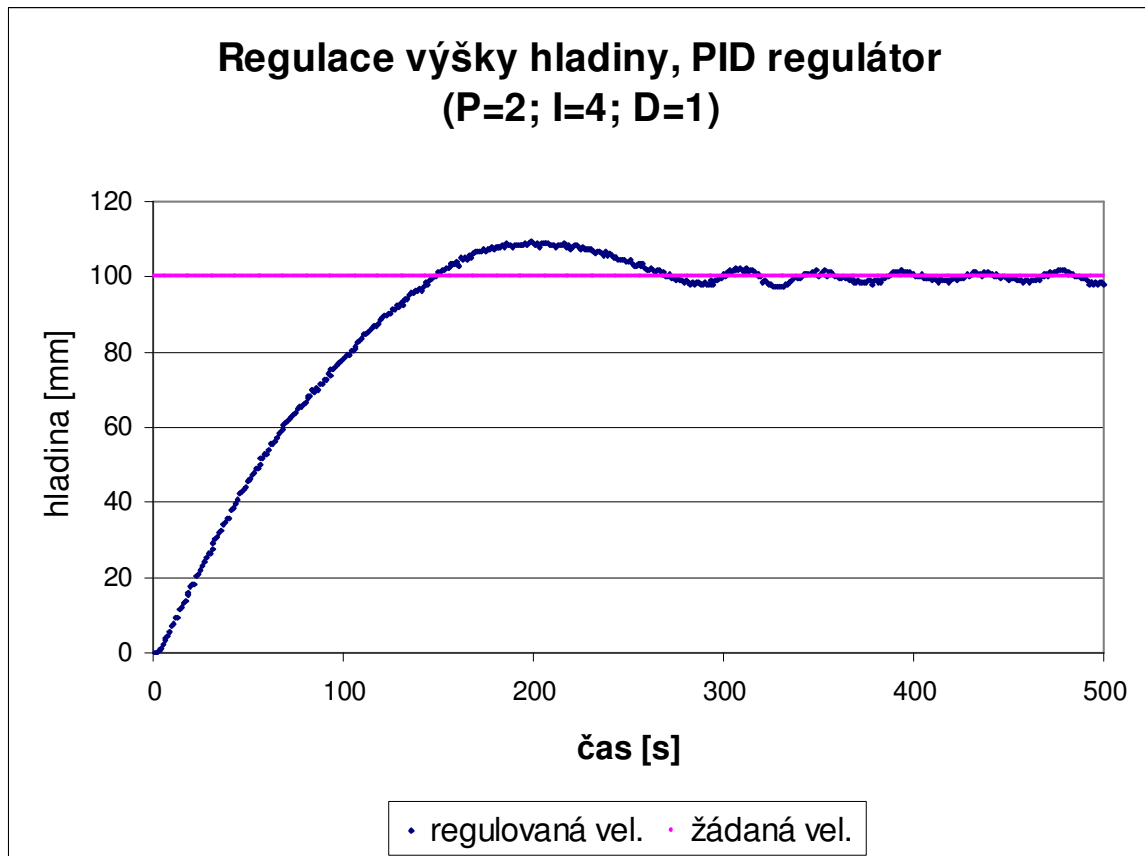


Obr. 15. Simulinkové schéma pro spojitou regulaci

Program je pro lepší orientaci barevně rozlišen. Hodnoty, které se nastavují ručně, jsou v barevně odlišných blocích (zelených). Nastavuje se tedy požadovaná hodnota, parametry regulátoru a také ovládání solenoidů SOL2 a SOL3.

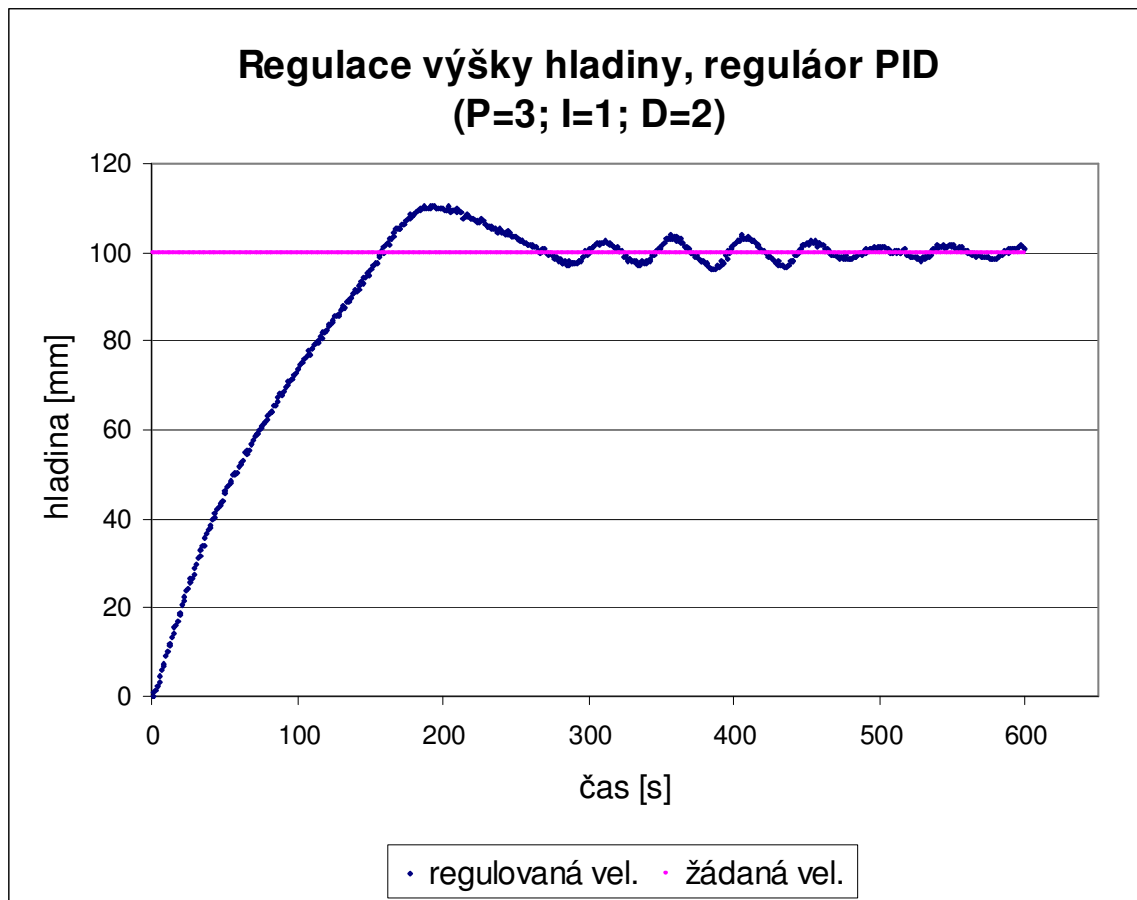
Měřená data se ukládala do proměnné *spoj_reg*, ze které je můžeme zobrazit v programu Matlab, nebo převést do jiného formátu dat, např. XLS. Časový průběh proběhlé regulace vidíme v Graf 3.

Graf 3: Grafický průběh spojitě regulace



Z grafu vidíme, že při této regulaci má systém velké časové konstanty, což je u reálných systémů běžné. Pro srovnání jsem provedl i další regulaci s jiným nastavením regulátoru.

Graf 4: Grafický průběh spojité regulace



Tato regulace se od první liší v době, kdy dosáhne regulovaná veličina požadované veličiny. Můžeme tedy říci, že při simulacích záleží na použitém regulátoru. Jeho nastavení se projevuje především dobou, za kterou dosáhneme požadované hodnoty.

7.3 Dvoupolohová regulace výšky hladiny

Pro nespojitou regulaci výšky hladiny v nádobě se použije diferenciálního měření výšky hladiny, kdy pomocí dvou elektrod určujeme, zda je hladina mezi dvěma nastavenými hodnotami. Blíže je princip určování výšky hladiny popsán v kapitole 4.1.4. Využije se tedy principu uzavřeného elektrického obvodu, kdy ponořené elektrody tvoří jeden pól obvodu a při ponoření elektrody dojde k jeho uzavření. Máme zde dvě elektrody, tím i dva elektrické obvody. Tím se může určovat výšku hladiny, zda je pod, mezi nebo nad elektrodami.

Model musí být zapojen podle manuálu, musí být použity správné konektory a zdroje vody. Hlavní nádoba musí být ve správné pozici, použita odpovídající délka propojovacích hadic, a zkontrolováno jejich bezpečné připojení. Otok vody by měl být správně připojen a otevřen. Odtoky z SOL2 a SOL3 mají být zavedeny do hlavního odtoku.

Nyní se nastaví přítok vody do PSV pumpy. Tato hodnota je důležitá pro řízení přítoku a odtoku z nádoby. Pokud průtok není mezi hodnotami 800ml/min až 900ml.min⁻¹, potom jej lze nastavit podle následujícího návodu.

Propojí se PSV čerpadlo přímo s odtokem. Povytáhne aretace na přítoku vody do přístroje. Otáčením ventilu se nastaví přítok vody na hodnotu přibližně 850ml/min. Ventil se zatlačí zpět do původní polohy. Aktuální hodnotu průtoku zjišťujeme z údajů v programu „*PCT40_kalibrace.mdl*“ Matlab.

Dále je třeba zkontrolovat kalibraci výšky hladiny, zda zobrazované hodnoty odpovídají skutečným hodnotám výšky hladiny. Případnou kalibraci snímače výšky hladiny lze provést podle kapitoly 2.5.

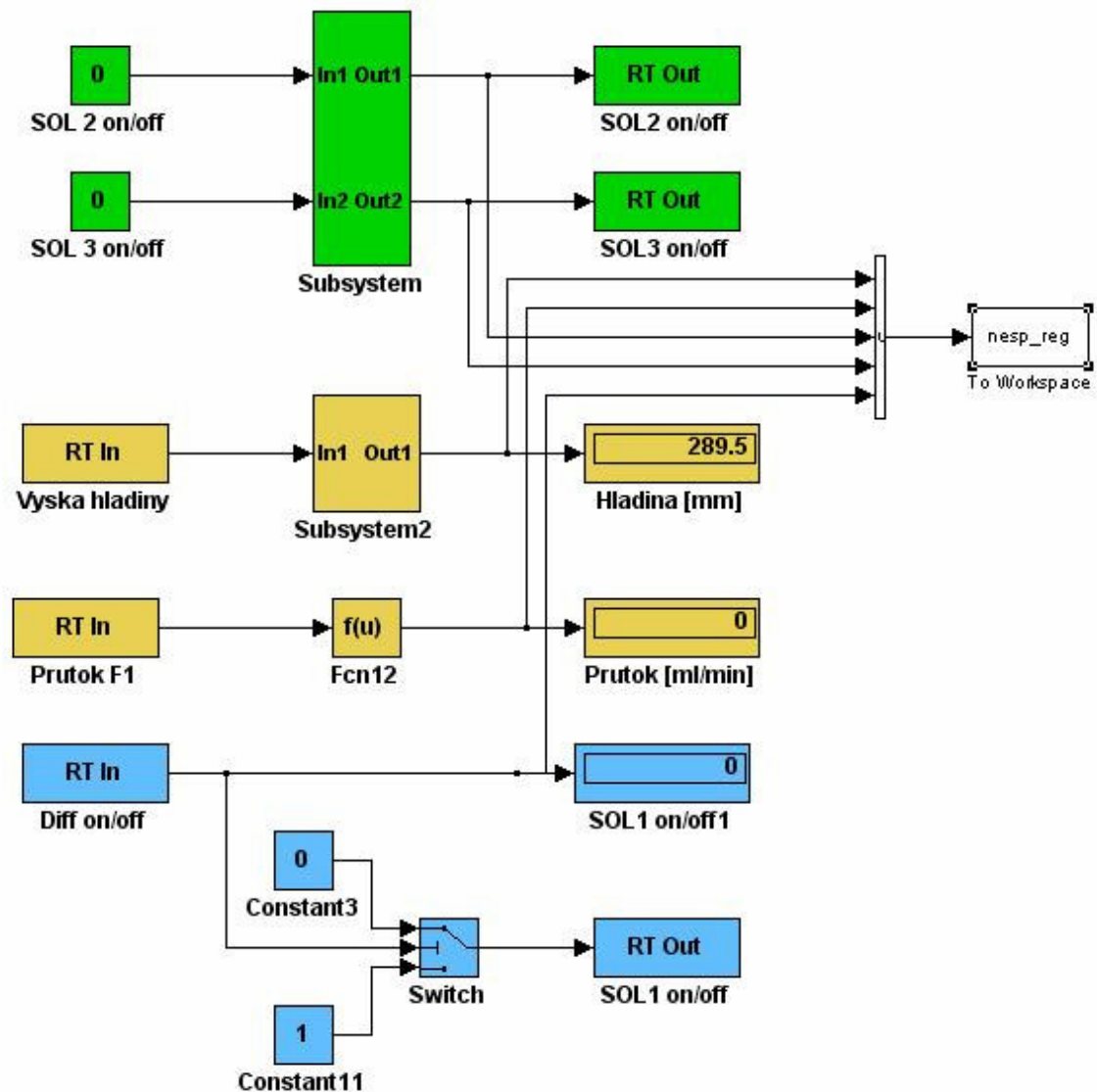
Před vlastním měřením se přístroj uvede do klidu a uzavřou se přívody vody. Pro vlastní regulaci se využije SOL1, SOL2, SOL3, velkou nádobu a propojovací hadice. Propojí se solenoid SOL1 se vstupem do velké nádoby, uzavře manuální odtok z nádoby. Přístroj je teď připraven k experimentu.

Spustíme program pro nespojitou regulaci „*PCT40_nespoj_reg.mdl*“, tím dojde k otevření SOL1 a nádoba se začne plnit vodou. Jakmile hladina dosáhne výšky první elektrody, dojde k uzavření prvního elektrického obvodu. Hladina je nyní mezi oběma elektrodami a tedy na požadované úrovni. Dochází však stále k napouštění a hladina stoupne až ke druhé elektrodě. Dojde k uzavření druhého elektrického obvodu. To signalizuje, že hladina překročila povolenou mez, je tedy nad požadovanou úroveň. V tomto okamžiku dojde k zastavení napouštění vody, SOL1 se uzavře.

Nyní se budou simulovat odběr vody tím, že se otevřou solenoidy SOL2 nebo SOL3, popř. manuální odtokový ventil. Pokud budeme používat odtokový ventil, tak míra otevření kohoutu nesmí být veliká, tzn. že přítok do nádoby musí být větší než jaký nastavíme odtok. Dojde ke snižování výšky hladiny v nádobě. Jakmile klesne hladina pod úroveň vyšší elektrody, rozpojí se elektrický obvod a hladina je na požadované úrovni.

Hladina však stále klesá, až pod úroveň první (níže položené) elektrody. V tomto okamžiku se rozpojí elektrický obvod a to nám signalizuje, že hladina je pod požadovanou úrovní. Solenoid SOL1 se otevře a dojde k dopouštění vody v nádobě. Celý cyklus se bude opakovat. Tímto způsobem se tedy může regulovat výšku hladiny v nádobě mezi dvěma hodnotami. Během simulace se ukládají data z experimentu a také vidíme grafický průběh časové změny výšky hladiny. Uložená data se použijí při vyhodnocení experimentu.

Úloha na nespojitou regulaci výšky hladiny jsem taktéž vytvořil v Simulinku, program se nazývá „PCT40_nesp_reg.mdl“. Náhled simulinkového schématu vidíme zde:

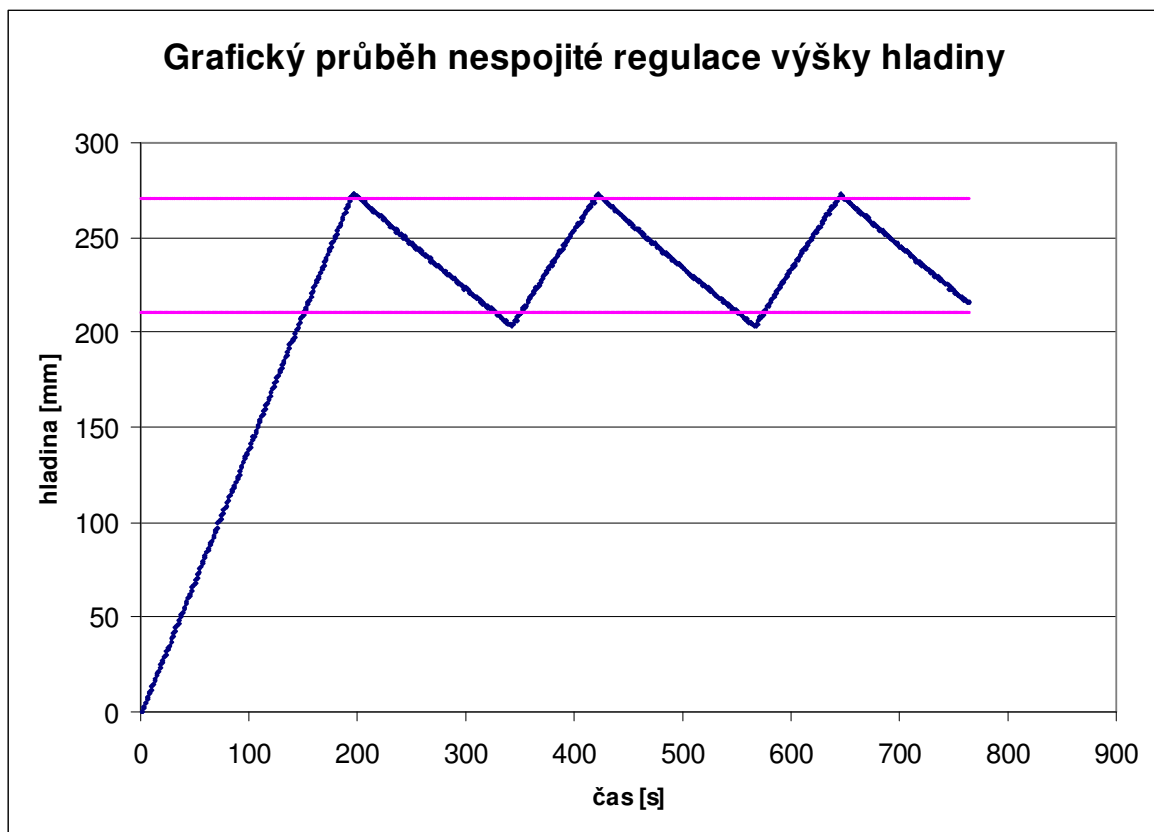


Obr. 16. Simulinkové schéma pro nespojitou regulaci

Program je pro lepší orientaci barevně rozlišen. Hodnoty, které se nastavují ručně, jsou v barevně odlišných blocích (zelených). V tomto případě můžeme pouze ovládat solenoidy SOL2 a SOL3.

Měřená data se ukládala do proměnné „*nesp_reg*“, ze kterého je můžeme zobrazit v programu Matlab, nebo převést do jiného formátu dat, např. XLS. Časový průběh proběhlé regulace vidíme v Graf

Graf 5: Grafický průběh dvupolohové regulace

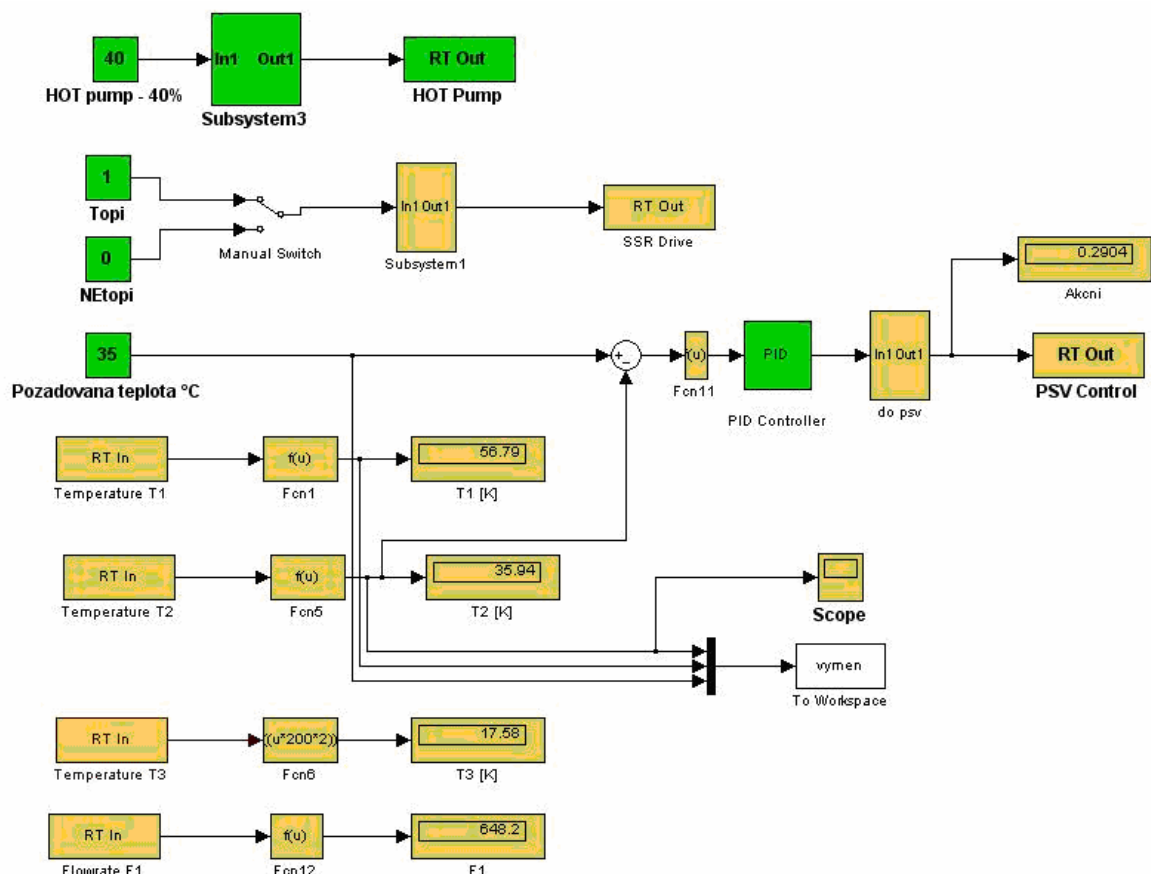


7.4 Regulace teploty ve výměníku, vodní lázně a chladicí vody

Pro regulaci teploty na výstupní straně chladiwa se použije modul teplotního výměníku, PSV čerpadlo, HOT pump a propojovací hadice. Schéma zapojení je následující. Výstup u PSV čerpadla se napojí na vstup do chladicí spirály (T3), a výstup ze spirály (T2) napojíme na odtok. Poté využijeme horkou pumpu (HOT pump), pomocí které budeme promíchávat obsah zásobníku. Na stranách zásobníku jsou dvě vstupně-výstupní místa pro vodu. vytvoříme obvod, kdy jeden výstup zapojíme na HOT pump a výstup z HOT pump zavedeme

opět zpátky do zásobníku. Vznikne tak čerpadlový obvod, pomocí kterého se bude promíchávat voda v zásobníku. Výkon HOT pump během experimentů nastavíme na hodnotu asi 40%, což je dostačující pro míchání kapaliny uvnitř zásobníku. Před zahájením experimentu zaplníme zásobník vodou v dostatečném množství, aby se vyřadila pojistka proti nechtěnému zapnutí topné spirály při nezaplněném zásobníku. Jakmile je zásobník zaplněn a přístroj zapojen podle návodu, lze zahájit měření.

Bude se tedy regulovat teplota na výstupu chladiva. Pro tento typ regulace je nutno zajistit, aby teplota lázně uvnitř zásobníku byla asi o 20K vyšší než na jakou teplotu budeme řídit. Toto je zajištěno ručním ovládáním topné spirály. Vlastní regulace teploty je zajištěna PID regulátorem. Simulinkové schéma regulace teploty ve výměníku je uvedeno zde:



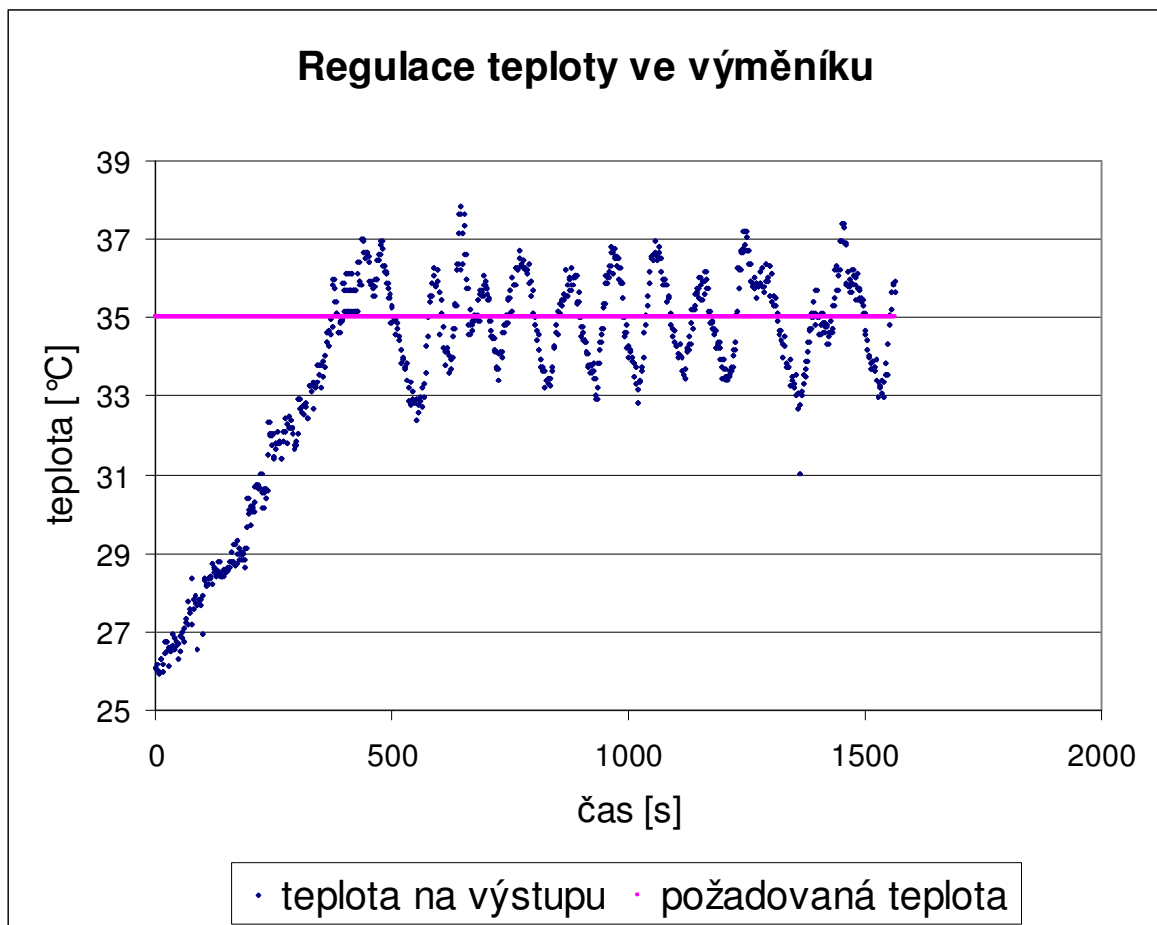
Obr. 17. Simulinkové schéma regulace teploty ve výměníku

Program je pro lepší orientaci barevně rozlišen. Hodnoty, které se nastavují ručně, jsou v barevně odlišných blocích (zelených). V tomto případě můžeme ovládat topnou spirálu,

ovládat výkon HOT pump, nastavovat požadovanou teplotu a nastavovat parametry PID regulátoru.

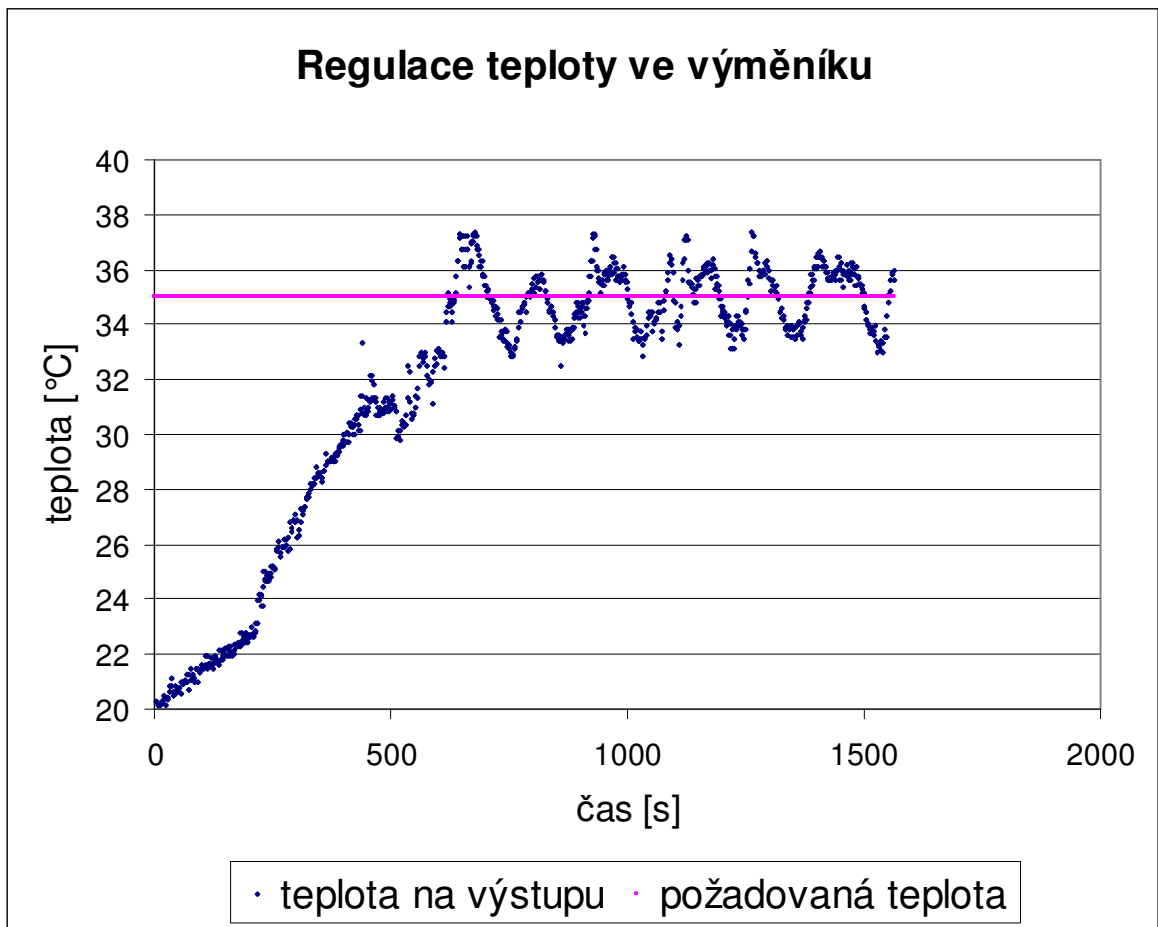
Provedl jsem regulaci teploty na výstupní straně chladiva. Žádanou veličinu jsem nastavil na 35°C, sestavil přístroj podle návodu a provedl experiment. Grafický průběh regulace můžeme vidět zde:

Graf 6: Regulace teploty ve výměníku, regulátor PID (P=5; I=2; D=2)



Z grafu vidíme, že při této regulaci má systém velké časové konstanty, což je u reálných systémů běžné. Pro srovnání jsem provedl i další regulaci s jiným nastavením regulátoru.

Graf 7: Regulace teploty ve výměníku, regulátor PID (P=4; I=2; D=3)



Tato regulace se od první liší v době, kdy dosáhne regulovaná veličina požadované veličiny. Můžeme tedy říci, že při simulacích záleží na použitém regulátoru. Jeho nastavení se projevuje především dobou, za kterou dosáhneme požadované hodnoty.

ZÁVĚR

Tato práce se zabývala přístrojem PCT40 od firmy Armfield. Tento přístroj obsahuje několik modulů pro simulaci reálných procesů. Pro tyto moduly byly vytvořeny návody a vytvořeny vzorová měření, která budou sloužit při výuce v předmětu „Řízení reálných procesů“. Práce s reálnými modely je důležitá a hraje nezastupitelnou roli při výuce automatizace. Neboť skutečná zařízení se chovají mnohdy jinak, než ideálně.

Vytvořil jsem návody na provádění několika úloh na přístroji PCT40, které demonstrují jeho základní použití, a umožňují pochopit základní regulační pochody na reálných zařízeních. Prováděl jsem experimenty podle vytvořených návodů a zpracoval z vzorové protokoly. regulace jsem prováděl pro různé nastavení PID regulátoru a sledoval, jak toto nastavení ovlivňuje průběh regulace. Obecně lze říci, že nastavení regulátoru ovlivňovalo pouze začátek regulačního pochodu, tedy dobu, za jakou se dosáhlo požadované veličiny.

Závěrem práce bylo vytvoření aplikací v prostředí Simulink programu Matlab 6.5, a vytvoření návodů a protokolů pro vzorové úlohy na přístroji PCT40. Úlohy jsou určeny pro pochopení a reálnou představu o procesech, probíhajících v praxi. Ať už se jedná o zobrazení dynamických pochodů probíhajících ve výměníku, anebo pochodech při regulaci výšky hladiny.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

This thesis was about the device PCT40 by Armfield Company. This device includes several modules for real process simulation. For these modules were made technique and guides for working with this device, which are included in exemplary protocols of each one exercises. These guides will be usable for classwork in “Control of real processes”. The work with real models is important and is a unique part of education. Because real devices work many times a little bit else than ideal.

I made the guides for several tasks with the device PCT40, which can demonstrate its basic using. And can enable us to understand the basic regulation processes with the real devices. I made experiments based on guides and I made exemplary protocols. I made the regulations for several settings of PID controller, and I watched the results of simulations. We can say, that the settings of PID controller affected only the start of regulation behavior.

The last part of thesis was created Simulink applications, and creation guides and protocols for exemplary tasks on device PCT40. These tasks are destined for understanding and real imagination about real processes from experience. Whether it is going about the dynamic process in exchanger image, or about the understanding the height level regulation.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Mikeš, J. a M. Fikar: Modelovanie, identifikácia a riadenie procesov I. Vydavateľstvo STU, Bratislava, 1999
- [2] Ingham, J., Dunn, I. J., Heinyale, E., Pšenosi, J.E. > Chemical Engineering Dynamics. An Introduction to Modeling and Computer Simulation. Second, Completely Revised Edition, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 2000.
- [3] Luyben, W. L: Process modelling, simulation and control for chemical engineers. McGraw-Hill, new York, 1989.
- [4] Balátě, J.: Automatické řízení. BEN – technická literature, Praha, 2003.
- [5] Manuály k modelu PCT40 od firmy Armfield
- [6] Prokop R., Prokopová Z., Matúšů R.: Teorie automatického řízení: lineární spojité dynamické systémy, UTB Zlín 2006
- [7] Hruška F.: Technické prostředky automatizace IV; UTB Zlín 2005, ISBN 8073182742
- [8] Hruška F.: Technické prostředky automatizace III; UTB Zlín 2005, ISBN 8073180537

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Celkový pohled na zařízení</i>	9
<i>Obr. 2. Program PCT40 od firmy Armfield.....</i>	10
<i>Obr. 3 Tepelný výměník</i>	13
<i>Obr. 4. Zásobník na kapalinu.....</i>	14
<i>Obr. 5 Tři typy hadicových koncovek</i>	15
<i>Obr. 6. PSV čerpadlo, SOL1 , manuální ventil a průtokoměr</i>	16
<i>Obr. 7. Bloková knihovna Simulinku</i>	18
<i>Obr. 8. Základní Simulinkové schéma ovládání přístroje PCT40.....</i>	20
<i>Obr. 9. Technologická karta MF624 od firmy Humusoft</i>	21
<i>Obr. 10. Schematické znázornění termočlánku</i>	23
<i>Obr. 11. Diferenciální měření výšky hladiny, princip</i>	25
<i>Obr. 12. Schéma regulace</i>	27
<i>Obr. 13. Princip určení parametrů přechodové charakteristiky</i>	28
<i>Obr. 14. Simulinkové schéma kalibrace senzorů.....</i>	34
<i>Obr. 15. Simulinkové schéma pro spojitou regulaci</i>	37
<i>Obr. 16. Simulinkové schéma pro nespojitou regulaci</i>	41
<i>Obr. 17. Simulinkové schéma regulace teploty ve výměníku</i>	43

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Kalibrační tabulka	17
Tabulka 2: Parametry PID regulátoru	29
Tabulka 3: Parametry PID regulátoru	31
Tabulka 4: Kalibrační tabulka pro výšku hladiny	35

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Vzorový protokol, regulace výšky hladiny

Příloha P 2: Vzorový protokol, tepelný výměník

PŘÍLOHA P I: VZOROVÝ PROTOKOL, REGULACE VÝŠKY HLADINY

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky			
Institut řízení procesů			
Předmět: Řízení reálných modelů			
Název úlohy: Laboratorní model PCT40, regulace výšky hladiny			
Jméno		Datum	
Skupina		Hodnocení	

Zadání protokolu:

Seznamte se přístrojem PCT40 od firmy Armfield. Prostudujte potřebnou dokumentaci a poté na přístroji proveďte experiment regulace výšky hladiny. Jedná se jak o nespojitou, tak i spojitou regulaci výšky hladiny. Při práci využijte již vytvořených Simulinkových schémat. Získané data a grafické průběhy regulací uveďte do protokolu a vyhodnoťte.

Teorie a postup:

Laboratorní výukový model PTC40 byl vyvinut k výuce řízení širokého spektra procesů. Obsahuje výukový model řízení výšky hladiny, teploty, průtoku. Procesy mohou být řízeny manuálně, PID regulátorem nebo automaticky stylem on/off. Model je rozšiřitelný (modulem PCT41) o chemický reaktor s měřením pH a vodivosti roztoku.

Model PCT40 obsahuje dva zásobníky na kapalinu, čerpadla, a senzory fyzikálních veličin. Ze sensorů se jedná zejména o senzory tlaku, teploty, průtoku. Tyto senzory jsou propojeny s počítačem přes technologickou kartu (od firmy Humusoft) umožňující komunikaci obsluhy s přístrojem.

Popis přístroje. Zásobník na kapalinu je tvořen dvěma soustředně uloženými válcovými nádobami, kdy prostor vzniklý v mezikruží tvoří náš zásobník. Do tohoto zásobníku vedou dvě přívodní místa pro kapalinu a tři místa odtoková (dva solenoidy a jedna manuální vý-

pusť). V prostoru jsou umístěny sondy pro diferenciální měření výšky hladiny, plovák jakožto limitní spínač, dále je zde vývod k tlakovému senzoru, který měří výšku hladiny v nádobě. Zásobník je opatřen přepadem. Přívod vody do rozvodů přístroje je umístěn na pravé straně přístroje, kde je také snímač průtoku F1. Rozvod vody do přístroje se provádí pomocí hadic s koncovkami. Je zde několik druhů koncovek, které nesmíme zaměnit.

Spojité regulace výšky hladiny:

Pro spojitou regulaci výšky hladiny v nádobě použijeme PID regulátoru. Pomocí vhodně navrženého regulátoru budeme regulovat výšku hladiny ve velké nádobě na konkrétní hodnotě.

Model musí být zapojen podle manuálu, musí být použity správné konektory a zdroje vody. Zkontrolujte, zda je hlavní nádoba ve správné pozici. Použijte odpovídající délku propojovacích hadic, a zkontrolujte jejich bezpečné připojení. Otok vody by měl být správně připojen a otevřen. Odtoky z SOL2 a SOL3 mají být zavedeny do hlavního odtoku.

Nastavte přítok vody do PSV pumpy. Tato hodnota je důležitá pro řízení přítoku a odtoku z nádoby. Pokud průtok není mezi hodnotami 800ml/min až 900ml/min, potom jej nastavte podle odstavce – nastavení přívodu vody.

Dále je třeba zkontrolovat kalibraci výšky hladiny, zda zobrazované hodnoty odpovídají skutečným hodnotám výšky hladiny. Případnou kalibraci snímače výšky hladiny můžeme provést podle odstavce - kalibrace.

Před vlastním měřením přístroj uveďte do klidu a uzavřete přívody vody. Pro vlastní regulaci využijeme PSV čerpadlo, SOL2, SOL3, velkou nádobu a propojovací hadice. Propojte PSV čerpadlo se vstupem do velké nádoby, uzavřete manuální odtok z nádoby. Přístroj je teď připraven k experimentu.

Otevřeme program pro spojitou regulaci výšky hladiny a nastavíme požadovanou výšku hladiny, na kterou budeme regulovat. Zadáme také parametry PID regulátoru, popř. použijeme přednastavené hodnoty. Spustíme program pro spojitou regulaci výšky hladiny, a tím se začne nádoba plnit vodou. Současně pootevřeme kohout na dnu nádoby, čímž simuluje-

me poruchu v systému anebo odběr vody z nádoby. Míra otevření kohoutu nesmí být však moc veliká, tzn. že přítok do nádoby musí být větší než jaký nastavíme odtok. Bude probíhat regulace PID regulátorem na požadované hodnotě. Sledujeme časový průběh výšky hladiny. Zda dojde k ustálení, nebo ne a po jaké době. Experiment ukončíme zastavením simulace.

Během simulace se nám ukládají data z experimentu a také vidíme grafický průběh časové změny výšky hladiny. Uložená data použijeme při vyhodnocení experimentu.

Dvoupolohová regulace výšky hladiny:

Pro dvoupolohovou regulaci výšky hladiny v nádobě použijeme diferenciálního měření výšky hladiny, kdy pomocí dvou elektrod určujeme, zda je hladina mezi dvěma nastavenými hodnotami.

Model musí být zapojen podle manuálu, musí být použity správné konektory a zdroje vody. Zkontrolujte, zda je hlavní nádoba ve správné pozici. Použijte odpovídající délku propojovacích hadic, a zkontrolujte jejich bezpečné připojení. Otok vody by měl být správně připojen a otevřen. Odtoky z SOL2 a SOL3 mají být zavedeny do hlavního odtoku.

Před zahájením experimentu je potřeba udělat několik nastavení a kontrol. Nastavte přítok vody do SOL1. Tato hodnota je důležitá pro řízení přítoku a odtoku z nádoby. Pokud průtok není mezi hodnotami 800ml/min až 900ml(pozor *aby to stačilo odtéct!!*)/min, potom jej nastavte podle odstavce - nastavení přítoku vody.

Dále je třeba zkontrolovat kalibraci výšky hladiny, zda zobrazované hodnoty odpovídají skutečným hodnotám výšky hladiny. Případnou kalibraci snímače výšky hladiny můžeme provést podle odstavce – kalibrace.

Před vlastním měřením přístroj uveďte do klidu a uzavřete přívody vody. Pro vlastní regulaci využijeme SOL1, SOL2, SOL3, velkou nádobu a propojovací hadice. Propojte SOL1 se vstupem do velké nádoby, uzavřete manuální odtok z nádoby a zkontrolujte, popř. nastavte výšku elektrod u vrcholu nádoby. Zkontrolujte také jejich zapojení. Přístroj je teď připraven k experimentu.

Spustíme program pro nespojitou regulaci „*PCT_spoj_reg.mdl*“, tím dojde k otevření SOL1 a nádoba se začne plnit vodou. Jakmile hladina dosáhne výšky první elektrody, dojde

k uzavření prvního elektrického obvodu. Víme, že hladina je mezi oběma elektrodami a tedy na požadované úrovni. Dochází však stále k napouštění a hladina stoupne až ke druhé elektrodě. Dojde k uzavření druhého elektrického obvodu. To nám signalizuje, že hladina překročila povolenou mez, je tedy nad požadovanou úroveň. V tomto okamžiku dojde k zastavení napouštění vody, SOL1 se uzavře.

Nyní budeme simulovat odběr vody tím, že otevřeme SOL2 nebo SOL3, popř. pootevřeme manuální odtokový ventil. Pokud budeme používat odtokový ventil, tak míra otevření kohoutu nesmí být velká, tzn. že přítok do nádoby musí být větší než jaký nastavíme odtok. Dojde ke snižování výšky hladiny v nádobě až pod úroveň první (níže položené) elektrody. V tomto okamžiku se rozpojí elektrický obvod a to nám signalizuje, že hladina je pod požadovanou úroveň. Solenoid SOL1 se otevře a dojde k dopouštění vody v nádobě. Celý cyklus se bude opakovat. Tímto způsobem tedy můžeme regulovat výšku hladiny v nádobě mezi dvěma hodnotami. Během simulace se nám ukládají data z experimentu do proměnné *nesp_reg*. Uložená data použijeme při vyhodnocení experimentu.

Nastavení přítoku vody:

Propojte SOL1 a PSV čerpadlo přímo s odtokem. Povytáhněte aretaci na přítoku vody do přístroje. Otáčením ventilu nastavte přítok vody na hodnotu přibližně 1400ml/min. Zatlačte ventil zpět do původní polohy. Aktuální hodnotu průtoku zjišťujeme z údajů v programu Matlab.

Kalibrace:

Při práci s přístrojem PCT40 bude někdy zapotřebí kalibrovat integrované snímače. Jedná se zejména o kalibraci snímače výšky hladiny. Tento snímač pracuje na principu snímače tlaku, kdy naměřený tlak je přepočítávám na výšku hladiny v nádobě. Kalibrace je soubor úkonů, kterými se stanovuje vztah mezi hodnotami veličin, které jsou indikovány měřicím přístrojem a hodnotami, které jsou realizovány etalony (standards). Budeme tedy kalibrovat naměřenou hodnotu tlaku na skutečnou výšku hladiny měřenou manuálně délkovými měřidly.

V principu jde o nalezení matematického vztahu určujícího přepočet mezi hodnotou tlaku a skutečnou výškou hladiny v nádobě. K tomuto účelu si sestavíme kalibrační tabulku, z níž

získáme grafickou závislost a také matematickou závislost. Návrh této tabulky je uveden zde:

Tabulka 1: Kalibrační tabulka

Měření č.	Naměřený tlak [V]	Skutečná výška [mm]
1		
2		
...		

Pozn.: Naměřený tlak zde má jednotky volt. Je to proto, že snímač tlaku podává přes technologickou kartu data odpovídající určité hodnotě napětí.

Z této tabulky můžeme jednoduše získat matematickou závislost tlaku na výšce hladiny a tím i určit přepočtovou rovnici. Tu poté můžeme použít v programech pro zpřesnění měřených dat. Vlastní kalibraci provádíme tak, že postupně napouštíme velkou nádobu. Pro zvolenou hodnotu necháme systém ustálit a poté odečteme snímanou hodnotu tlaku a zaznamenáme skutečnou výšku hladiny. Takto získáme několik hodnot v celém rozsahu nádoby a data vyhodnotíme. Získáme matematickou závislost snímaného tlaku na výšce hladiny. Tuto rovnici poté můžeme použít v jednotlivých programech pro zpřesnění měřených hodnot, rovnici zadáváme do jednoho z bloků v simulinkovém schématu.

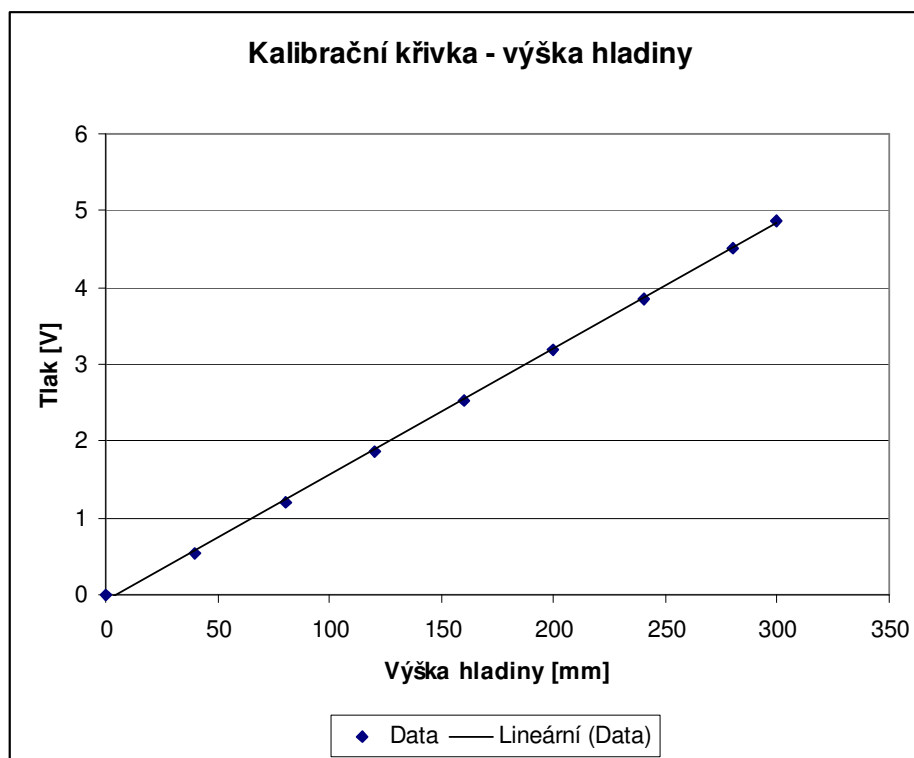
Vypracování :

Při kontrole přístroje před zahájením vlastního měření jsme zjistili, že je potřeba nakalibrovat senzor výšky hladiny. Postupovali jsme podle návodu pro kalibraci. Zjištěná data uvádíme dále.

Tabulka 2: Kalibrační tabulka pro výšku hladiny

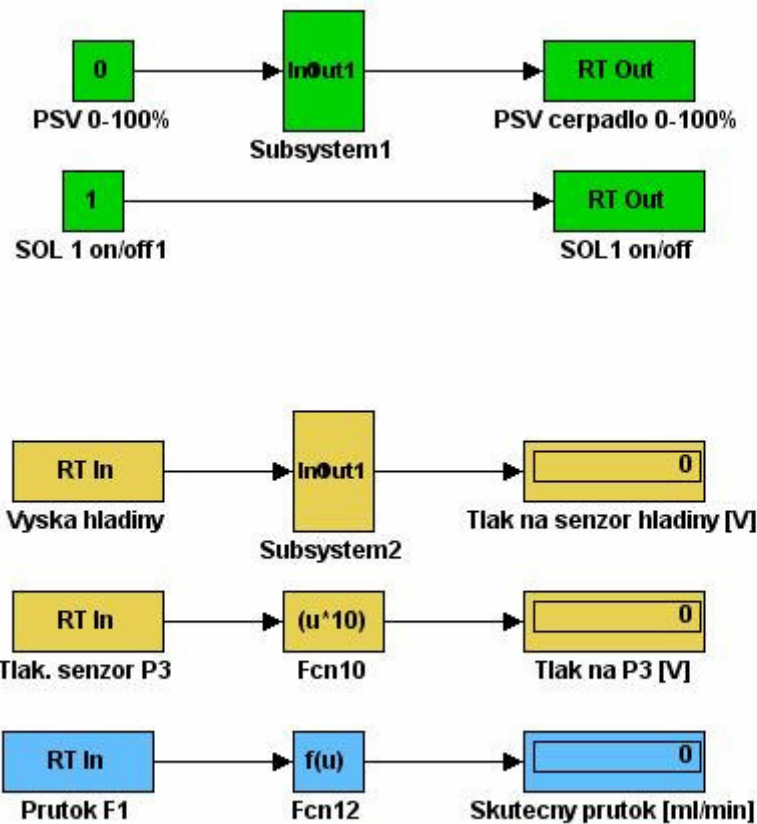
Měření č.	Naměřený tlak [V]	Skutečná výška [mm]
1	0	0
2	0,54	40
3	1,20	80
4	1,86	120
5	2,53	160
6	3,19	200
7	3,85	240
8	4,51	280
9	4,86	300

Graf 1: Kalibrační křivka



Získaná závislost pomocí lineární regrese v Excelu: $hladina = tlak / 0,01637$. Tuto závislost použijeme pro kalibraci senzoru v programech pro regulaci výšky hladiny, kdy pomocí této přepočtové rovnice vypočítáme výšku hladiny z napětí na senzoru.

Simulinkové schéma pro kalibraci senzorů uvádím zde:



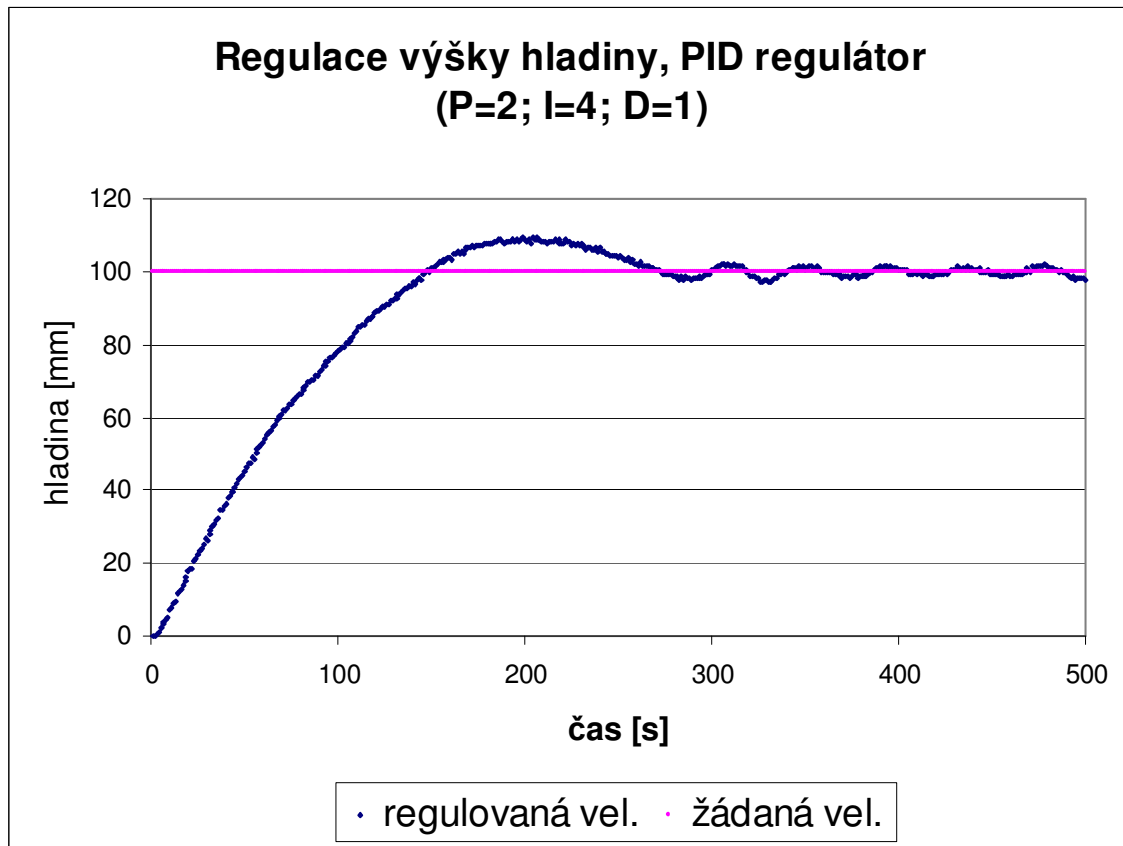
Obr. 1. Simulinkové schéma kalibrace

1) Spojitá regulace výšky hladiny:

Podle zadání jsme měli provést experiment na spojitou regulaci výšky hladiny. K tomu jsme použili již vytvořeného Simulinkového programu *reg_spoj.mdl*. Postupovali jsme podle návodu, využili jsme vytvořeného PID regulátoru, jehož jednotlivé složky jsme nastavili na $P = 5$; $I = 2$; $D = 2$ a žádanou veličinu na 180m. Provedli jsme regulaci a sledovali časový průběh veličin.

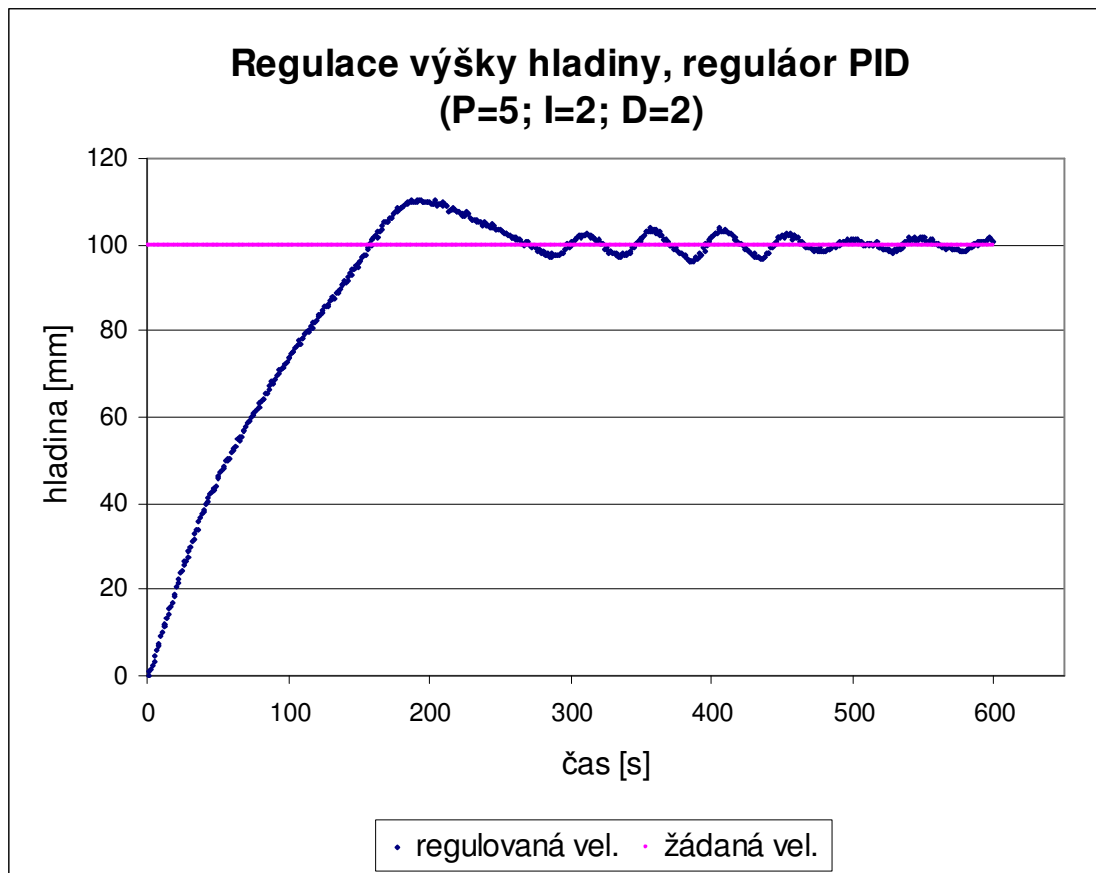
Měřená data se ukládala do proměnné *spoj_reg*, ze které je můžeme zobrazit v programu Matlab, nebo převést do jiného formátu dat, např. XLS. Časový průběh proběhlé regulace vidíme v Graf 2.

Graf 2: Spojitá regulace výšky hladiny, PID (P=2; I=4; D=1)

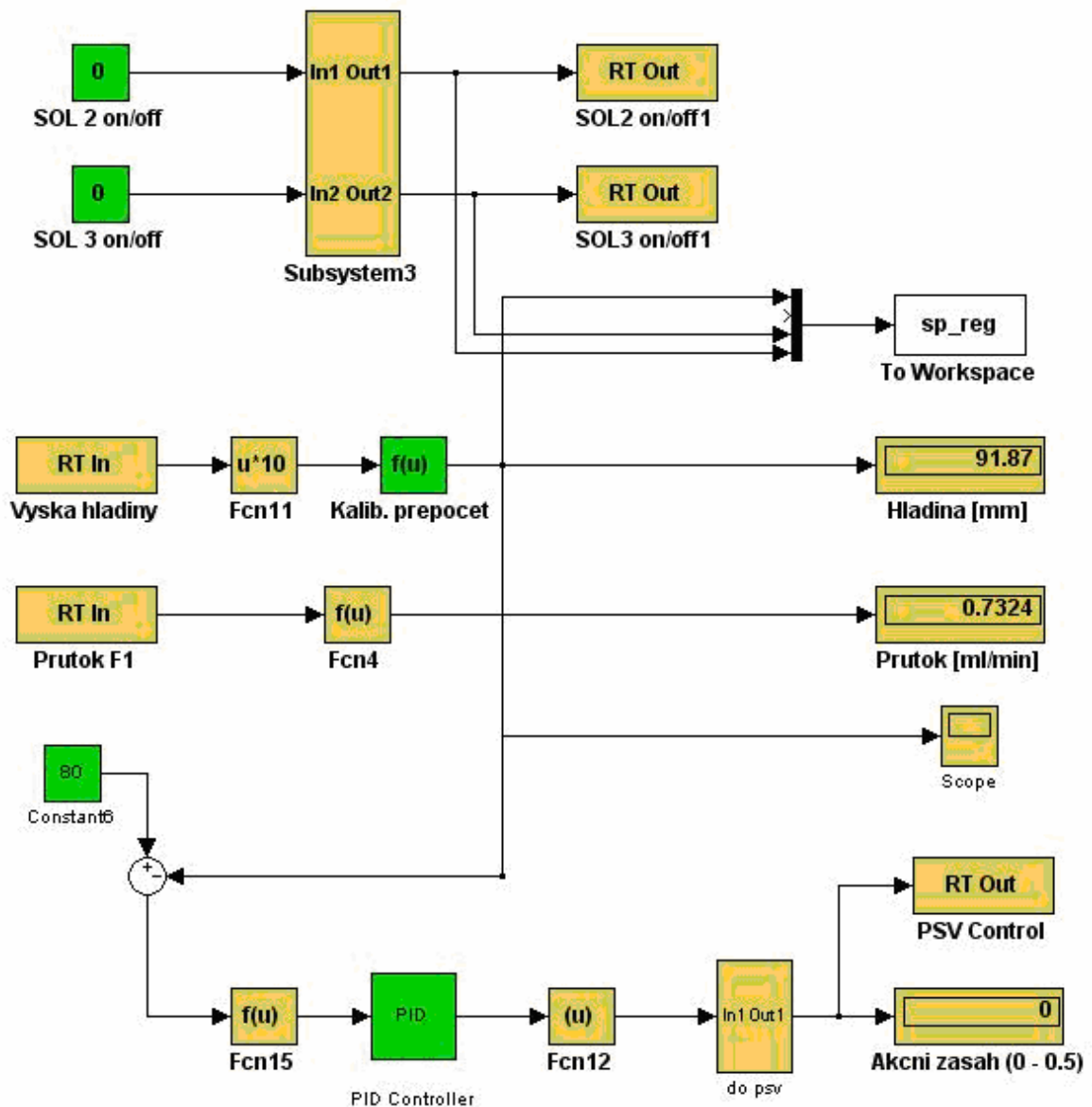


Z grafu vidíme, že při této regulaci má systém velké časové konstanty, což je u reálných systémů běžné. Pro srovnání jsem provedl i další regulaci s jiným nastavením regulátoru.

Graf 3: Regulace teploty ve výměníku, regulátor PID (P=5; I=2; D=2)



Simulinkové schéma pro spojitou regulaci uvádíme zde:



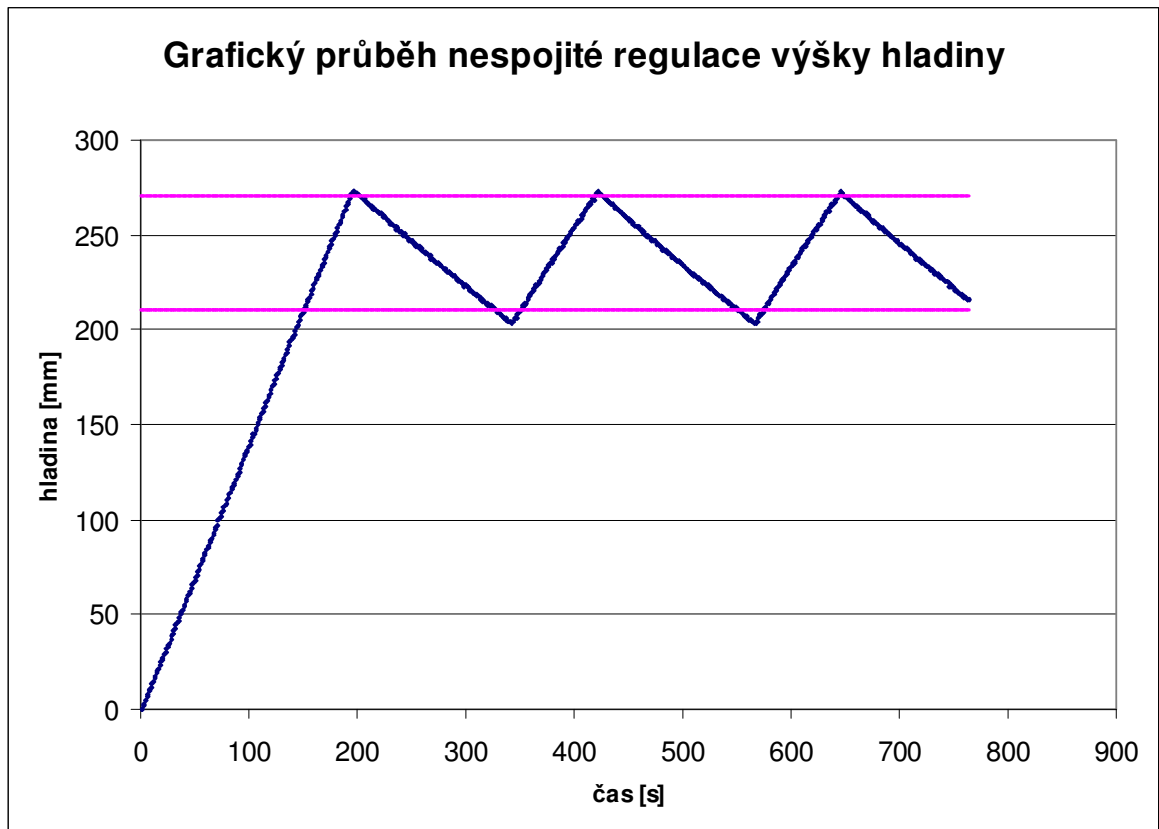
Obr. 2. Simulinkové schéma pro spojitou regulaci výšky hladiny

2) Dvoupolohová regulace výšky hladiny:

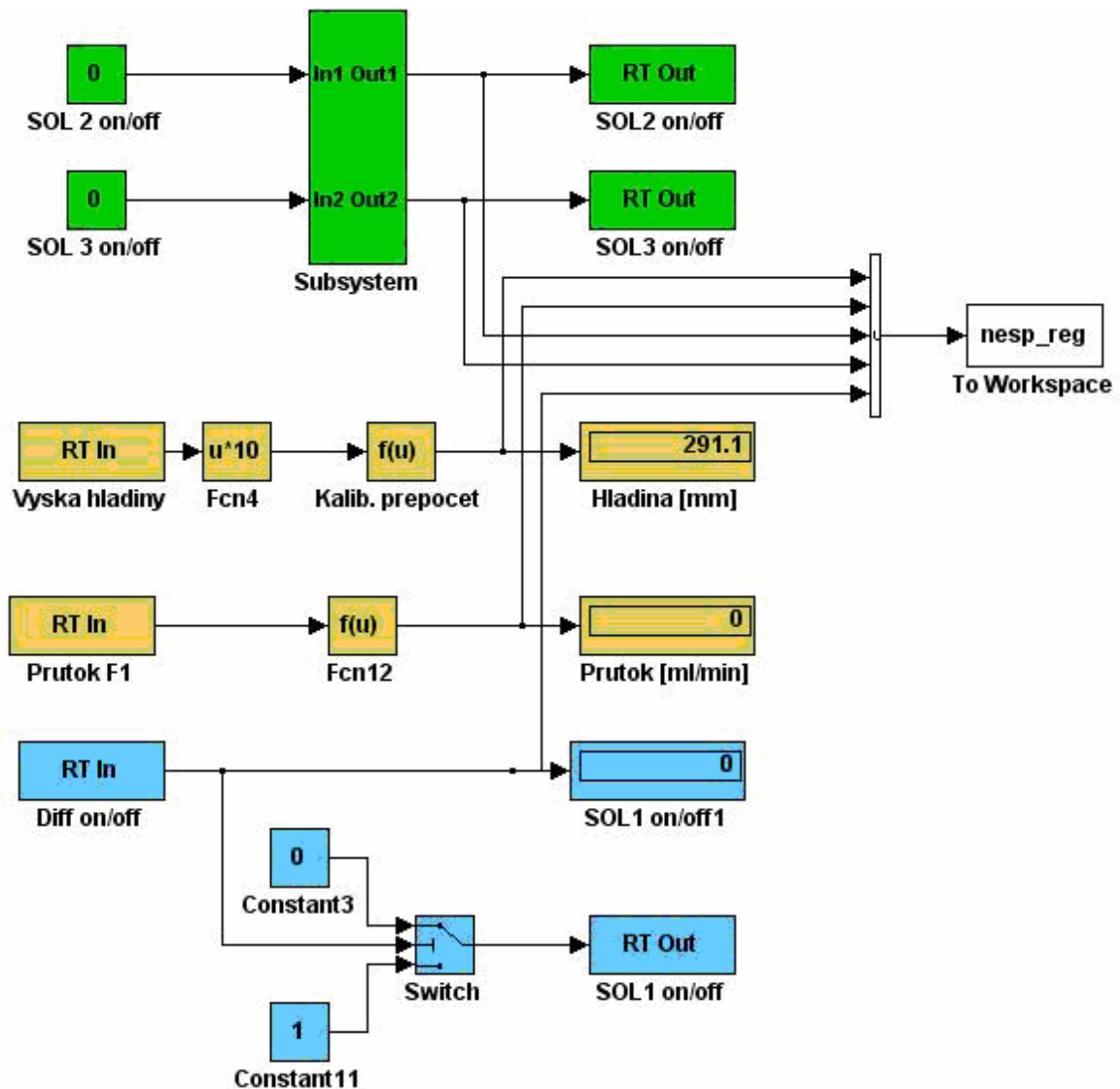
Podle zadání jsme měli provést experiment na nespojitou regulaci výšky hladiny. K tomu jsme použili již vytvořeného Simulinkového programu *PCT40_nesp_reg.mdl*. Postupovali jsme podle návodu. Provedli jsme regulaci a sledovali časový průběh veličin.

Měřená data se ukládala do proměnné *nesp_reg* ze které je můžeme zobrazit v programu Matlab, nebo převést do jiného formátu dat, např. XLS. Časový průběh proběhlé regulace vidíme v Graf 4.

Graf 4: Nespojitá regulace výšky hladiny



Simulinkové schéma pro dvoupohovou regulaci uvádíme zde:



Obr. 3. Simulinkové schéma dvoupohové regulace

Závěr: Při vypracování této úlohy jsme postupovali podle zadání. Seznámili jsme se s přístrojem PCT40 a jeho jednotlivými částmi. Při kontrole přístroje před experimentem jsme zjistili, že je nutné nakalibrovat senzor výšky hladiny. To jsme provedli a podle návodu sestrojili kalibrační křivku a vypočítali regresní koeficient, který jsme použili při vlastních experimentech pro přepočítání výšky hladiny. Poté jsme podle návodu sestavili úlohu na spojitou regulaci výšky hladiny v zásobníku na vodu. Požadovanou hodnotu výšky hladiny nastavili na 180 mm a zadali parametry regulátoru. Spustili regulaci a pozorovali časový průběh regulace. Z toho je vidět, že systém má velké časové konstanty, a jeho chování je odlišné od

ideálních průběhů regulace. Dále jsme sestavili úlohu na dvoupolohovou regulaci výšky hladiny, opět podle návodu. Výsledek tohoto experimentu odpovídal očekávání, kdy průběh regulace odpovídá dvoupolohovému spínání.

PŘÍLOHA P 2: VZOROVÝ PROTOKOL, TEPELNÝ VÝMĚNÍK

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky			
Institut řízení procesů			
Předmět: Řízení reálných modelů			
Název úlohy: Laboratorní model PCT40, výměník tepla			
Jméno		Datum	
Skupina		Hodnocení	

Zadání protokolu:

Seznamte se přístrojem PCT40 od firmy Armfield. Prostudujte potřebnou dokumentaci a poté na přístroji proveďte experiment. Při práci využijte již vytvořených Simulinkových schémat. Získané data a grafické průběhy regulací uveďte do protokolu a vyhodnoťte.

Teorie a postup:

Laboratorní výukový model PTC40 byl vyvinut k výuce řízení širokého spektra procesů. Obsahuje výukový model řízení výšky hladiny, teploty, průtoku. Procesy mohou být řízeny manuálně, PID regulátorem nebo automaticky stylem on/off. Model je rozšiřitelný (modulem PCT41) o chemický reaktor s měřením pH a vodivosti roztoku.

Model PCT40 obsahuje dva zásobníky na kapalinu, tepelný výměník, čerpadla, a senzory fyzikálních veličin. Ze senzorů se jedná zejména o senzory tlaku, teploty, průtoku. Tyto senzory jsou propojeny s počítačem přes technologickou kartu (od firmy Humusoft) umožňující komunikaci obsluhy s přístrojem.

Postup a příprava experimentu.

Pro regulaci teploty na výstupní straně chladiva se použije modul teplotního výměníku, PSV čerpadlo, HOT pump a propojovací hadice. Schéma zapojení je následující. Výstup u PSV čerpadla se napojí na vstup do chladicí spirály (T3), a výstup ze spirály (T2) napojíme na odtok. Poté využijeme horkou pumpu (HOT pump), pomocí které budeme promíchávat

obsah zásobníku. Na stranách zásobníku jsou dvě vstupně-výstupní místa pro vodu. vytvoříme obvod, kdy jeden výstup zapojíme na HOT pump a výstup z HOT pump zavedeme opět zpátky do zásobníku. Vznikne tak čerpadlový obvod, pomocí kterého se bude promíchat voda v zásobníku. Výkon HOT pump během experimentů nastavíme na hodnotu asi 40%, což je dostačující pro míchání kapaliny uvnitř zásobníku. Před zahájením experimentu zaplníme zásobník vodou v dostatečném množství, aby se vyřadila pojistka proti nechtěnému zapnutí topné spirály při nezaplňeném zásobníku. Jakmile je zásobník zaplněn a přístroj zapojen podle návodu, lze zahájit měření.

Bude se tedy regulovat teplota na výstupu chladiva. Pro tento typ regulace je nutno zajistit, aby teplota lázně uvnitř zásobníku byla asi o 20K vyšší než na jakou teplotu budeme řídit. Toto je zajištěno ručním ovládním topné spirály. Vlastní regulace teploty je zajištěna PID regulátorem.

Program je pro lepší orientaci barevně rozlišen. Hodnoty, které se nastavují ručně, jsou v barevně odlišných blocích (zelených). V tomto případě můžeme ovládat topnou spirálu, ovládat výkon HOT pump, nastavovat požadovanou teplotu a nastavovat parametry PID regulátoru.

Nastavení přítoku vody:

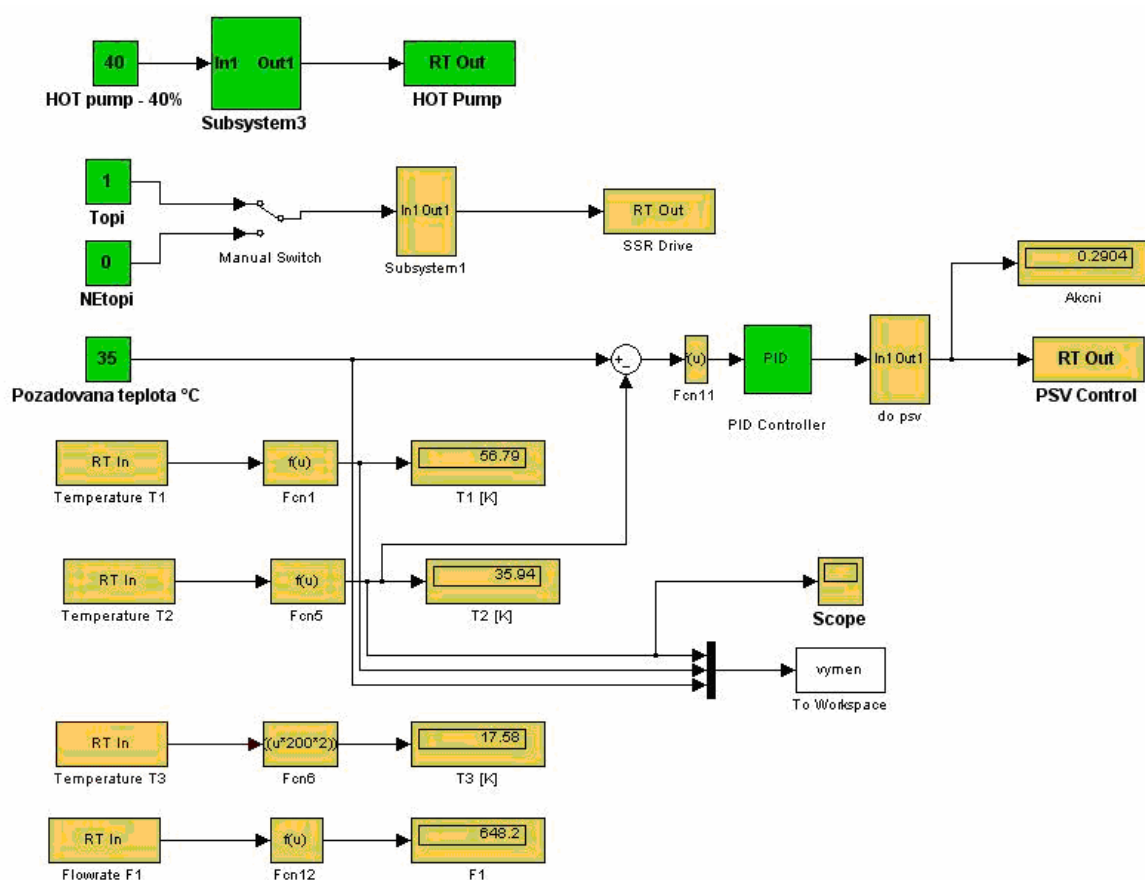
Propojte SOL1 a PSV čerpadlo přímo s odtokem. Povyťáhněte aretaci na přítoku vody do přístroje. Otáčením ventilu nastavte přítok vody na hodnotu přibližně 1200ml/min. Zatlačte ventil zpět do původní polohy. Aktuální hodnotu průtoku zjišťujeme z údajů v programu Matlab.

Vypracování :

Pro regulaci teploty na výstupní straně chladiva použijeme modul teplotního výměníku, PSV čerpadlo, HOT pump a propojovací hadice. Schéma zapojení je následující. Výstup u PSV čerpadla napojíme na vstup do chladicí spirály (T3), a výstup ze spirály (T2) napojíme na odtok. Poté využijeme horkou pumpu (HOT pump), pomocí které budeme promíchat obsah zásobníku. Na stranách zásobníku jsou dvě vstupně-výstupní místa pro vodu. vytvo-

říme obvod, kdy jeden výstup zapojíme na HOT pump a výstup z HOT pump zavedeme opět zpátky do zásobníku. Vznikne tak čerpadlový obvod, pomocí kterého budeme promíchávat vodu v zásobníku. Výkon HOT pump během experimentů budeme nastavovat na hodnotu asi 40%, což je dostačující pro míchání kapaliny uvnitř zásobníku. Před zahájením experimentu musíme naplnit zásobník vodou v dostatečném množství, abychom vyřadily pojistku proti nechtěnému zapnutí topné spirály při nezaplňeném zásobníku. Jakmile je zásobník zaplněn a přístroj zapojen podle návodu, můžeme zahájit měření.

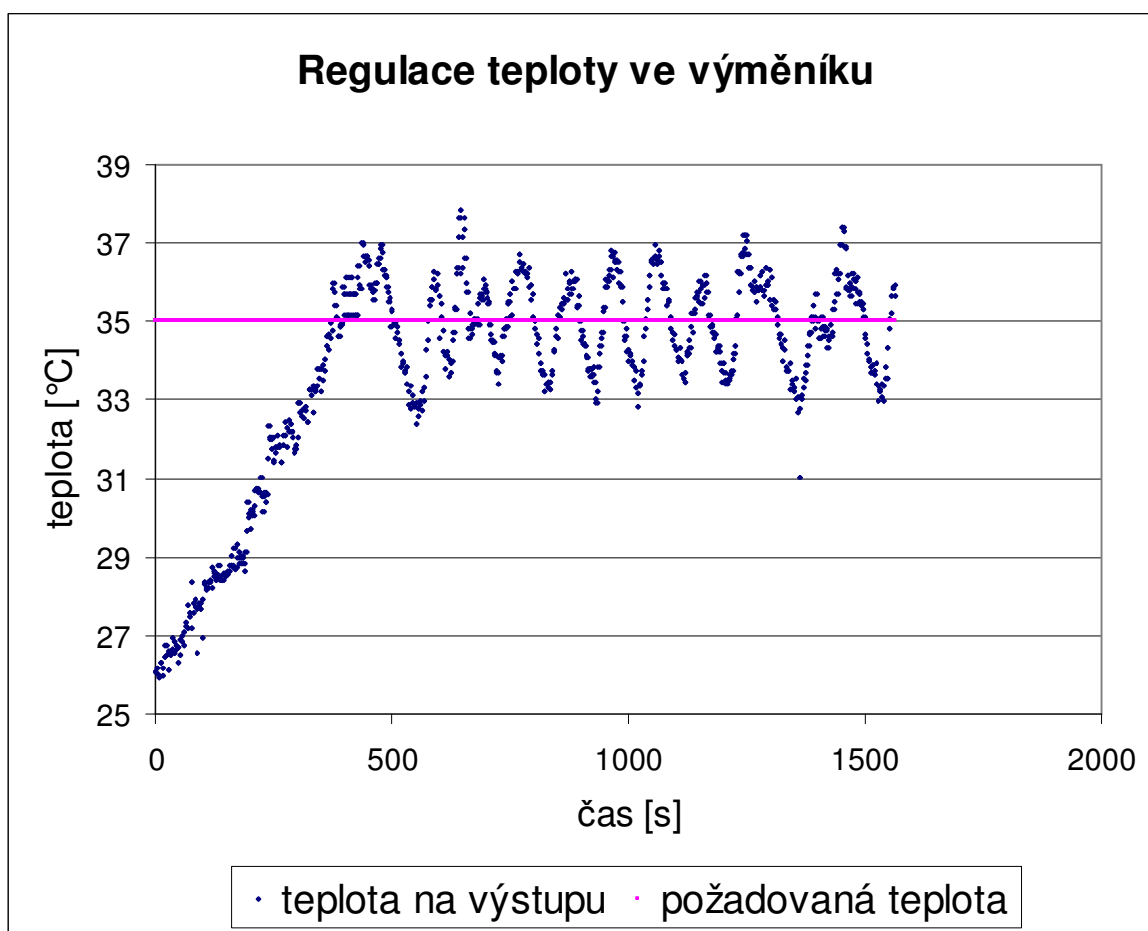
Budeme tedy regulovat teplotu na výstupu chladiva. Pro tento typ regulace je nutno zajistit, aby teplota lázně uvnitř zásobníku byla asi o 10K vyšší než na jakou teplotu budeme řídit. To je zajištěno jednoduchými logickými podmínkami v programu pro regulaci teplot ve výměníku. Vlastní regulace teploty je zajištěna PID regulátorem. Simulinkové schéma regulace teploty ve výměníku vidíme zde:



Obr. 1. Simulinkové schéma regulace teploty ve výměníku

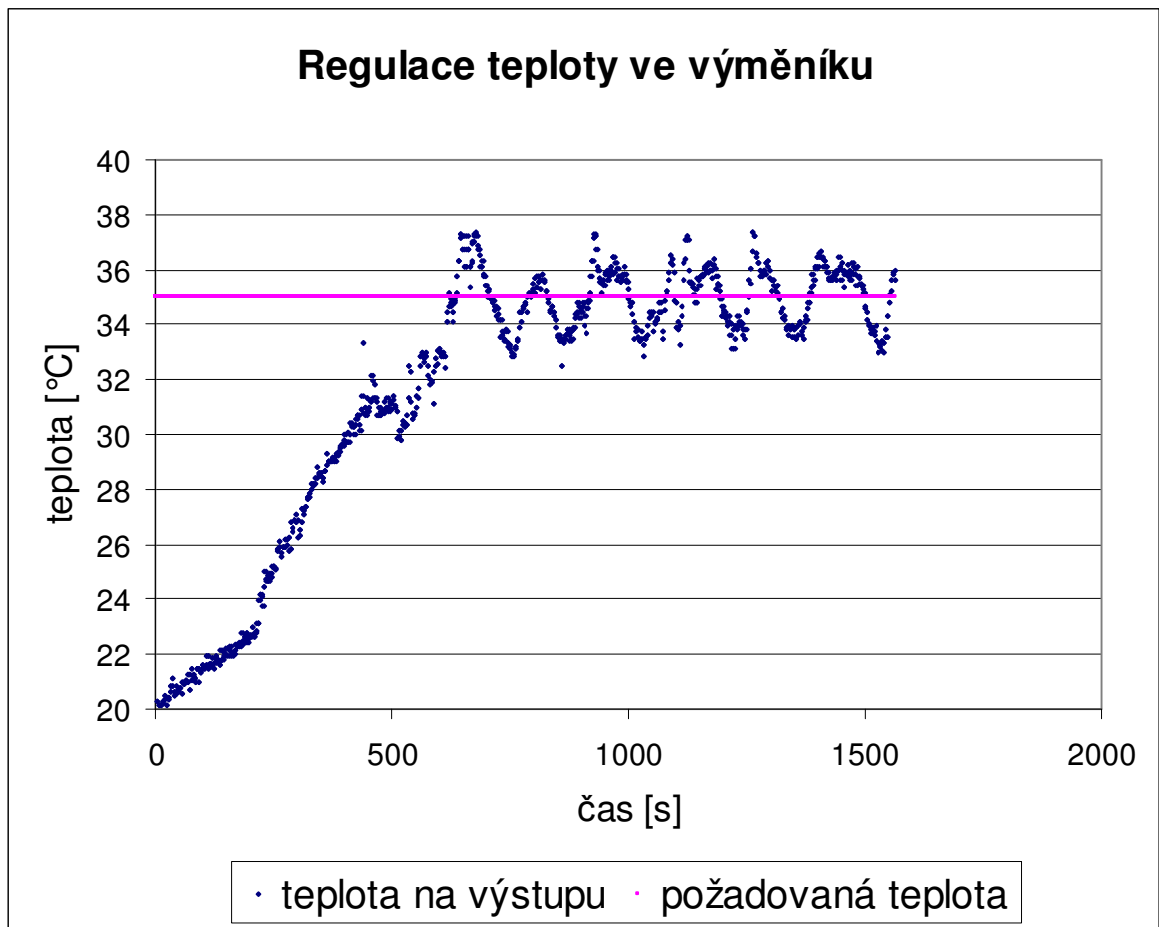
Provedl jsem regulaci teploty na výstupní straně chladiva. Žádanou veličinu jsem nastavil na 30°C, sestavil přístroj podle návodu a provedl experiment. Měřená data se ukládala do proměnné *tep_vym*, ze které je můžeme zobrazit v programu Matlab, nebo převést do jiného formátu dat, např. XLS. Časový průběh proběhlé regulace vidíme v Graf 2.

Graf 1: Regulace teploty ve výměníku, regulátor PID (P=5; I=2; D=2)



Z grafu vidíme, že při této regulaci má systém velké časové konstanty, což je u reálných systémů běžné. Pro srovnání jsem provedl i další regulaci s jiným nastavením regulátoru.

Graf 2: Regulace teploty ve výměníku, regulátor PID (P=4; I=2; D=3)



Závěr: Při vypracování této úlohy jsme postupovali podle zadání. Seznámili jsme se s přístrojem PCT40 a jeho jednotlivými částmi. Poté jsme podle návodu sestavili úlohu na regulaci teploty na výstupu chladiva v tepelném výměníku. Požadovanou hodnotu teploty jsme nastavili na 35°C a zadali parametry regulátoru. Spustili regulaci a pozorovali časový průběh regulace. Je vidět, že systém má velké časové konstanty, a jeho chování je odlišné od ideálních průběhů regulace. Provedli jsme i další regulaci pro jiné nastavení regulátoru, a lze říci, že nastavení regulátoru ovlivňuje pouze dobu, za jakou dosáhneme žádané hodnoty teploty.