

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA CHEMICKEJ A POTRAVINÁRSKEJ TECHNOLOGIE**

**DISKRÉTNE RIADENIE LABORATÓRNEHO ZARIADENIA
PCT40**

DIPLOMOVÁ PRÁCA

FCHPT-5414-26485

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA CHEMICKÉJ A POTRAVINÁRSKEJ
TECHNOLÓGIE

DISKRÉTNE RIADENIE LABORATÓRNEHO
ZARIADENIA PCT40

DIPLOMOVÁ PRÁCA

FCHPT-5414-26485

Študijný program: automatizácia a informatizácia v chémii a potravinárstve

Číslo a názov študijného odboru: 5.2.14 automatizácia

Vedúci záverečnej práce/školiťel': Ing. Ľuboš Čirka, PhD.

Bratislava 2010

Bc. Andrea Szabová



ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študentka: **Bc. Andrea Szabová**
ID študenta: 26485
Študijný program: automatizácia a informatizácia v chémii a potravinárstve
Študijný odbor: 5.2.14 automatizácia
Vedúci práce: Ing. Ľuboš Čírka, PhD.

Názov práce: **Diskrétné riadenie laboratórneho zariadenia PCT40**

Špecifikácia zadania:

Úlohou diplomovej práce je:

1. pripojenie laboratórneho zariadenia (PCT40) k riadiacemu počítaču (PC);
2. oboznámenie sa s riadiacim systémom, ktorý je k dispozícii (MATLAB);
3. analyzovanie jeho statických a dynamických vlastností na základe meraní;
4. riadenie PCT40 rôznymi typmi diskretných regulátorov;
5. vypracovanie dokumentácie.

Rozsah práce: 50

Riešenie zadania práce od: 15. 02. 2010

Dátum odovzdania práce: 22. 05. 2010



Bc. Andrea Szabová
študentka


prof. Ing. Miroslav Fikar, DrSc.
vedúci pracoviska


prof. Ing. Miroslav Fikar, DrSc.
garant študijného programu

Pod'akovanie

Touto cestou by som chcela pod'akovať vedúcemu diplomovej práce Ing. Ľubošovi Čirkovi, PhD. za odborné konzultácie, cenné rady a usmerňovanie pri vypracovaní diplomovej práce.

Abstrakt

Cieľom diplomovej práce je modelovanie a návrh diskrétného riadenia modelu PCT40. Laboratórne zariadenie PCT40 poskytuje možnosť riadenia rôznych procesov, z ktorých predmetom tejto práce je riadenie výšky hladiny v zásobníku kvapaliny. Prvou úlohou práce je vykonať kalibráciu snímačov a akčných členov zariadenia a identifikovať model zásobníka v tvare prenosovej funkcie. Ďalšou úlohou je návrh diskrétného riadenia systému na základe identifikovaných modelov. Na riadenie výšky hladiny kvapaliny sú navrhnuté diskrétny regulátory s integračnou činnosťou metódou predpisania pólov a optimálny regulátor. Riadenie zariadenia sa realizuje v Simulinku programu Matlab.

Kľúčové slová: PCT40, Matlab, zásobník kvapaliny, diskrétny riadenie, optimálne riadenie

Abstract

The aim of the diploma thesis is the modeling and design of discrete control of the PCT40 equipment. Laboratory equipment PCT40 provides the possibility to control different processes, of which the subject of this work is level control in the liquid tank. The first task of the work is to calibrate the sensors and actuators of the equipment and to identify the model of the tank as a transfer function. The next task is to design discrete control of the system based upon the identified models. For the level control, discrete controllers with integral element are designed by pole placement and optimal controllers are also designed. The equipment control is made in the Simulink environment of the program Matlab.

Keywords: PCT40, Matlab, liquid tank, discrete control, optimal control

Obsah

Zoznam obrázkov.....	7
Zoznam tabuliek.....	9
Úvod.....	10
1 Zariadenie PCT40	11
1.1 Výmenník tepla	13
1.2 Chemický reaktor.....	13
1.3 Zásobník kvapaliny.....	14
1.4 Snímače.....	15
1.4.1 Snímače výšky hladiny	16
1.5 Pripojenie zariadenia k riadiacemu počítaču.....	18
2 Kalibrácia zariadenia.....	20
2.1 Kalibrácia snímača výšky hladiny.....	20
2.2 Kalibrácia snímača prietoku.....	21
2.3 Kalibrácia akčných členov	22
2.3.1 PSV	22
2.3.2 Čerpadlo A	24
2.3.3 Čerpadlo B.....	25
3 Modelovanie zásobníka kvapaliny.....	27
3.1 Identifikácia systému	29
3.1.1 Model pre PSV	30
3.1.2 Model pre čerpadlo A	31
3.1.3 Model pre čerpadlo B.....	32
4 Návrh riadenia	34
4.1 Diskrétné modely	34
4.2 Návrh regulátora.....	35
4.2.1 Riadenia s čerpadlom A	36
4.2.2 Riadenia s PSV	41
4.3 Optimálne riadenie	44
4.3.1 Optimálne riadenie s čerpadlom A	45
4.3.2 Optimálne riadenia s PSV	48
5 Záver.....	50
Zoznam použitej literatúry	51

Zoznam obrázkov

Obr. 1 Laboratórne zariadenie PCT40	11
Obr. 2 Ventily zariadenia a snímač prietoku	12
Obr. 3 Čerpadlá zariadenia	12
Obr. 4 Výmenník tepla	13
Obr. 5 Chemický reaktor	14
Obr. 6 Zásobník kvapaliny	15
Obr. 7 Diferenciálny snímač výšky hladiny	17
Obr. 8 Plavákový snímač výšky hladiny	17
Obr. 9 Schéma v Simulinku – výstupné signály do akčných členov	18
Obr. 10 Schéma v Simulinku – vstupné signály zo snímačov.....	19
Obr. 11 Statická charakteristika snímača výšky hladiny.....	21
Obr. 12 Statická charakteristika snímača prietoku	22
Obr. 13 Graf závislosti signálu zo snímača prietoku od signálu do ventilu	23
Obr. 14 Prevodová charakteristika PSV.....	23
Obr. 15 Graf závislosti signálu zo snímača prietoku od signálu do čerpadla A.....	24
Obr. 16 Prevodová charakteristika čerpadla A	25
Obr. 17 Graf závislosti signálu zo snímača prietoku od signálu do čerpadla B	26
Obr. 18 Prevodová charakteristika čerpadla B	26
Obr. 19 Zásobník kvapaliny	27
Obr. 20 Normovaná a identifikovaná PCH - PSV	31
Obr. 21 Normovaná a identifikovaná PCH - čerpadlo A	32
Obr. 22 Normovaná a identifikovaná PCH - čerpadlo B	33
Obr. 23 Riadenie pri perióde vzorkovania 10s - výška hladiny - čerpadlo A	37
Obr. 24 Riadenie pri perióde vzorkovania 10s - akčný zásah - čerpadlo A	38
Obr. 25 Riadenie pri perióde vzorkovania 15s - výška hladiny - čerpadlo A	39
Obr. 26 Riadenie pri perióde vzorkovania 15s - akčný zásah - čerpadlo A	40
Obr. 27 Riadenie pri perióde vzorkovania 40s - výška hladiny - čerpadlo A	40
Obr. 28 Riadenie pri perióde vzorkovania 40s - akčný zásah - čerpadlo A	41
Obr. 29 Riadenie pri perióde vzorkovania 10s - výška hladiny - PSV	42
Obr. 30 Riadenie pri perióde vzorkovania 10s - akčný zásah - PSV	42
Obr. 31 Riadenie pri perióde vzorkovania 40s - výška hladiny - PSV	43

Obr. 32 Riadenie pri perióde vzorkovania 40s - akčný zásah - PSV	44
Obr. 33 Riadenie modelu pre rôzne φ a ψ - čerpadlo A	46
Obr. 34 Optimálne riadenie - čerpadlo A - výška hladiny	47
Obr. 35 Optimálne riadenie - čerpadlo A - akčný zásah	47
Obr. 36 Riadenie modelu pre rôzne φ a ψ - PSV	48
Obr. 37 Optimálne riadenie - PSV - výška hladiny	49
Obr. 38 Optimálne riadenie - PSV - akčný zásah	49

Zoznam tabuliek

Tab. 1	Výšky hladiny v zásobníku a signály zo snímača.....	20
Tab. 2	Prietok a signály zo snímača.....	21
Tab. 3	Signály do ventilu a zo snímača prietoku.....	22
Tab. 4	Signály do čerpadla A a zo snímača prietoku.....	24
Tab. 5	Signály do čerpadla B a zo snímača prietoku	25

Úvod

Chemický priemysel v dnešnej dobe využíva modernú výpočtovú a riadiacu techniku, ktorá umožňuje riadenie zložitých procesov, zabezpečuje bezpečnosť prevádzky, pričom zvyšuje produktivitu, znižuje náklady a zlepšuje kvalitu výrobkov. Aby sa dosiahlo požadované správanie sa procesu, je potrebné poznať vlastnosti daného riadeného systému. Laboratórne zariadenie PCT40 poskytuje možnosť oboznámiť sa s vlastnosťami rôznych priemyselných zariadení. Model bol vytvorený na výučbu riadenia rôznych procesov, umožňuje vykonať jednoduché experimenty s jednoduchými spätnoväzbovými regulačnými obvodmi.

Hlavným cieľom práce je návrh diskrétneho riadenia výšky hladiny v zásobníku na zariadení PCT40. Prvá kapitola sa zaoberá opisom jednotlivých procesných nádob, čerpadiel, ventilov a snímačov potrebných na riadenie zariadenia. Druhá kapitola sa zaoberá kalibráciou všetkých snímačov a akčných členov, ktoré sú nevyhnutné na realizáciu riadenia výšky hladiny. Snímače potrebné na riadenie sú snímač výšky hladiny a snímač prietoku. Na riadenie prietoku slúžia tri akčné členy: proporcionálny solenoidový ventil, čerpadlo A a čerpadlo B.

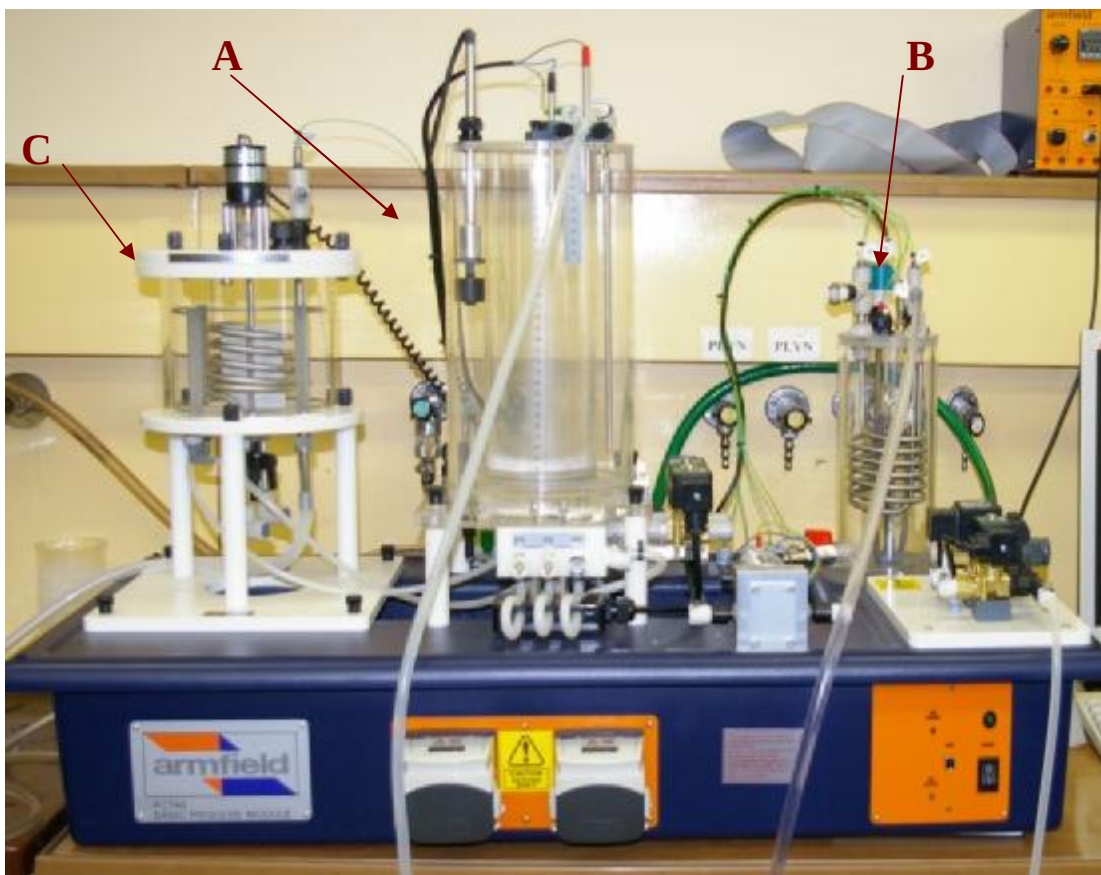
Tretia kapitola sa zaoberá hľadaním parametrov modelu systému. Parametre modelu sa určia pomocou experimentálnej identifikácie. Najprv sa namerajú odozvy systému na rôzne skokové zmeny objemového prietoku, a zo získaných prechodových charakteristík sa určia parametre modelu.

Návrh riadenia výšky hladiny na základe identifikovaných modelov je uvedený v poslednej kapitole. Pred návrhom diskrétneho riadenia je potrebné odvodiť diskrétny model systému. Regulátory s integračnou činnosťou sú navrhnuté metódou predpísania pólov. Posledná časť práce sa zaoberá návrhom optimálneho riadenia výšky hladiny.

1 Zariadenie PCT40

[4,5,6]

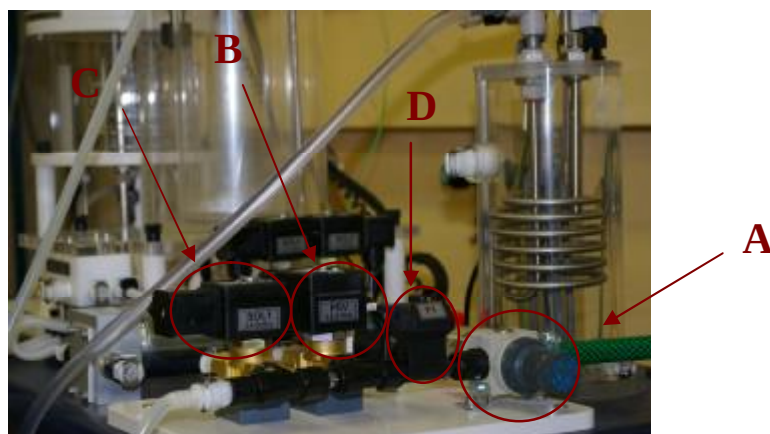
Laboratórne zariadenie PCT40 je navrhnuté na riadenie rôznych typov procesov. Základný model umožňuje riadenie výšky hladiny a teploty kvapaliny, prídavne modely PCT41 a PCT42 umožňujú meranie vodivosti, meranie a reguláciu pH.



Obr. 1 Laboratórne zariadenie PCT40

Základom zariadenia je lisovaný podstavec, na ktorom sú umiestnené nádoby pre rôzne procesy, čerpadlá, ventily, senzory a ďalšie prvky elektrického pripojenia. Uprostred podstavca je pripevnený zásobník kvapaliny (obr. 1A), na pravej strane podstavca sa nachádza výmenník tepla (obr. 1B) a na ľavej strane chemický reaktor (obr. 1C). Zariadenie je pripojené na vodovodnú sieť prostredníctvom tlakového regulačného ventilu (obr. 2A), z ktorého voda môže byť privedená do jednotlivých nádob pomocou proporcionálneho solenoidového ventilu (PSV) (obr. 2B) alebo pomocou dvojpohového solenoidového ventilu (SOL 1) (obr. 2C). PSV môže byť

použitý na riadenie prietoku kvapaliny, jeho nastaviteľný rozsah je 0 – 100 % svojho objemového prietoku. Dvojpohový solenoidový ventil je možné použiť na dvojpohové riadenie prietoku kvapaliny, ventil môže byť naplno otvorený alebo úplne uzavretý.



Obr. 2 Ventily zariadenia a snímač prietoku

Na čerpanie vody sú k dispozícii aj peristaltické čerpadlá A a B (obr. 3A) a zubové čerpadlo pre horúcu vodu (obr. 3B). Prietok môže byť riadený aj čerpadlami A a B, ktoré majú nastaviteľný rozsah 0 – 100 % svojho výkonu.



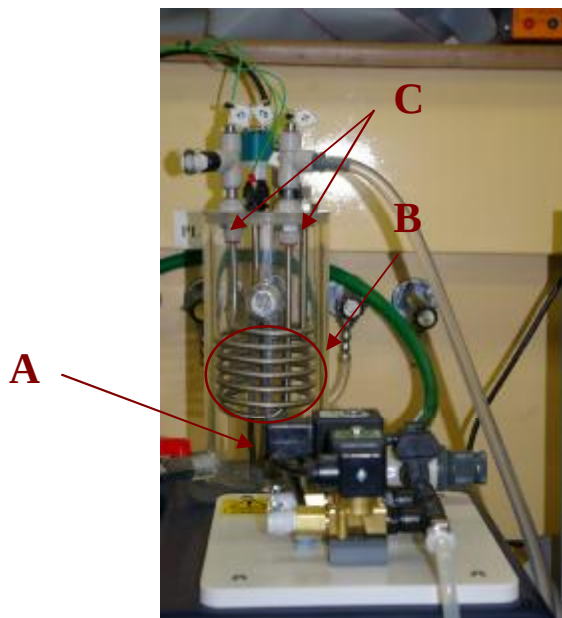
Obr. 3 Čerpadlá zariadenia

Jednotlivé nádoby, čerpadlá a ventily možno navzájom prepojiť pomocou rôznych typov hadičiek. Pri riadení peristaltickými čerpadlami je potrebné použiť hadice z mäkkého pružného materiálu, pretože čerpadlá pracujú na princípe škrtení hadíc.

1.1 Výmenník tepla

[4,6]

Malá nádoba umiestnená na pravej strane podstavca slúži ako výmenník tepla. Na ohrev kvapaliny je k dispozícii elektrický prvok (obr. 4A) a oceľová dutá špirála (obr. 4B), ktorá okrem ohrevu umožňuje aj chladenie kvapaliny.



Obr. 4 Výmenník tepla

Z bezpečnostných dôvodov je nádoba vybavená snímačom výšky hladiny kvapaliny, aby nedošlo k nechcenému ohrevu v prípade nízkej výšky hladiny. Ďalej výmenník obsahuje termostat, ktorý zabezpečí, aby ohrev bol vypnutý v prípade prekročenia dovolenej maximálnej teploty vo výmenníku. Nádoba je vybavená teplomerami na vstupe a na výstupe chladiacej špirály a vo vnútri nádoby (obr. 4C).

1.2 Chemický reaktor

[4,6]

Prídavný model PCT41 predstavuje model chemického reaktora, ktorý tvorí nádoba s ohrevnou alebo chladiacou špirálou (obr. 5A), miešadlom (obr. 5B) s elektromotorom

a snímačom koncentrácie. Snímač koncentrácie funguje na základe merania elektrickej vodivosti média.



Obr. 5 Chemický reaktor

Chemický reaktor možno rozšíriť ďalším prídavným modelom PCT42, ktorý predstavuje snímač pH a umožňuje meranie a reguláciu pH kvapaliny. Riadením výmenníka tepla a reaktora sa v tejto práci nebudeme zaoberať.

1.3 Zásobník kvapaliny

[4,5,6]

Zásobník kvapaliny, ktorý slúži na meranie a reguláciu výšky hladiny, pozostáva z dvoch valcových nádob so sústredeným uložením, pričom kvapalina je privádzaná do priestoru tvoreného medzikružím dvoch nádob. Na zásobníku sa nachádzajú dva vstupy (obr. 6A) pre kvapalinu, z ktorých jeden je umiestnený na vrchu, druhý na spodku nádoby. Na odvedenie kvapaliny slúžia tri výstupy, z ktorých jeden je manuálne nastaviteľný ventil (obr. 6B), zvyšné dva výstupy sú dvojpolohové solenoidové ventily (obr. 6C). V zásobníku sa nachádza prepádová rúrka, aby nedošlo k pretečeniu. Na meranie výšky hladiny máme k dispozícii diferenciálny, tlakový snímač a plavák pre meranie limitnej výšky hladiny. Na riadenie prietoku kvapaliny do zásobníka môžu byť použité ventily a čerpadlá uvedené v kapitole 1 (PSV, SOL 1, čerpadlo A, čerpadlo B).



Obr. 6 Zásobník kvapaliny

Technické dáta:

- maximálny objem zásobníka: 4 l
- maximálna výška hladiny: 30 cm
- plocha medzikružia dvoch nádob: 133 cm^2
- vstupy: 2
- výstupy: 3 - manuálne nastaviteľný ventil, dva solenoidové ventily (SOL 2, 2.4 mm, SOL 3, 3.2 mm)

1.4 Snímače

[5,6]

Na meranie fyzikálnych veličín boli použité rôzne snímače, ako snímač prietoku, tlaku, výšky hladiny a teploty.

Teplota sa meria na základe rôznych princípov. Najpoužívannejšími teplomermi sú odporové kovové snímače teploty. Princíp týchto snímačov spočíva vo využití závislosti

odporu kovu na teplote. Ďalším typom snímačov teploty sú termoelektrické snímače. Termoelektrické snímače teploty patria medzi bezkontaktné snímače používané k diaľkovému meraniu teploty a ich čidlo (termoelektrický článok) prevádza teplotnú zmenu prostredia na zmenu elektrického napätia.

Na meranie prietoku je použitý turbínový prietokomer (obr. 2D), ktorý je umiestnený za tlakovým regulačným ventilom. Turbínka je mechanicky alebo magneticky spojená s počítadlom otáčok.

1.4.1 Snímače výšky hladiny

[5,6]

Meranie výšky hladiny môže byť realizované rôznymi spôsobmi. Jedným spôsobom je priame meranie výšky hladiny, najčastejšie meranie pomocou stupnice, na ktorej je možné zistiť okamžitú výšku hladiny. Priame meranie výšky hladiny je v praxi najmenej používané z dôvodu veľkej nepresnosti.

K nepriamym spôsobom merania výšky hladiny patrí meranie na základe hydrostatického tlaku. Výška hladiny je daná tlakom stĺpca kvapaliny. Na zariadení PCT40 je tlakový snímač výšky hladiny umiestnený na spodku zásobníka kvapaliny.

Ďalším typom snímača výšky hladiny je diferenciálny snímač. Meranie spočíva vo zmene elektrickej vodivosti prostredia v zásobníku, kde vodivosť je snímaná elektródami (obr. 7). Elektródy sú pripevnené na vrch zásobníka, medzi nimi sa mení celkový odpor v závislosti od vodivosti.



Obr. 7 Diferenciálny snímač výšky hladiny

Ďalším typom snímača výšky hladiny je plavákový snímač (obr. 8). Pri tomto typu merania sa najčastejšie používajú plaváky s veľmi malou hustotou, ktoré sa vznášajú na hladine, alebo sú čiastočne ponorené.



Obr. 8 Plavákový snímač výšky hladiny

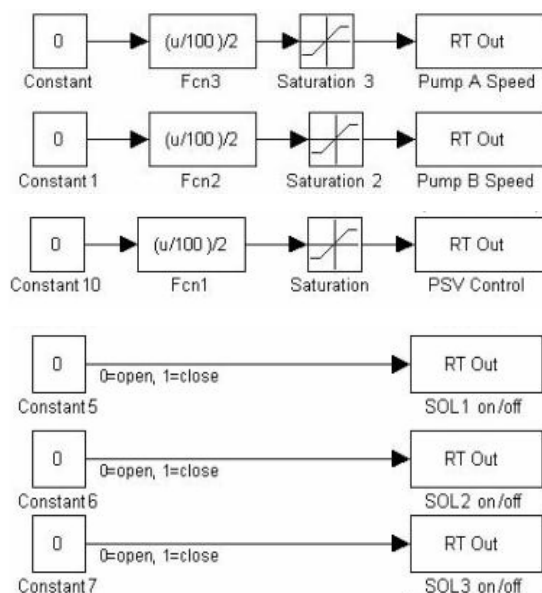
Pri meraní na plavák pôsobí vztlaková sila daná Archimedovým zákonom, kde sa uplatňuje hustota materiálu plaváku, hustota meranej kvapaliny, plošný obsah, dĺžka vztlakového telesa, hĺbka ponorenia a gravitačné zrýchlenie.

1.5 Pripojenie zariadenia k riadiacemu počítaču

[6]

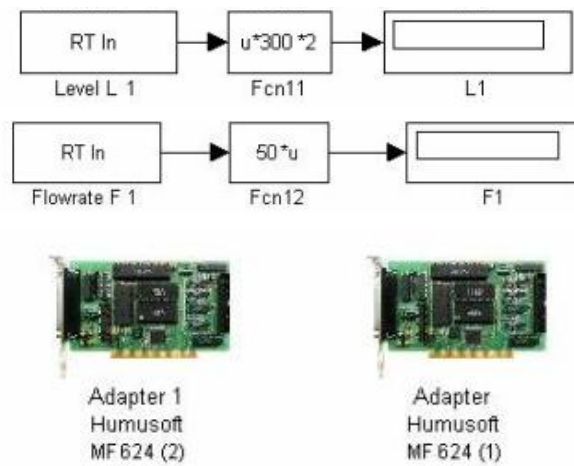
Jedným možným spôsobom pripojenia zariadenia k počítaču je pripojenie prostredníctvom vstupu USB, ktorý sa nachádza na prednej strane podstavca. Ďalším spôsobom, pri ktorom je potrebné vybaviť počítač technologickou kartou, je pripojenie pomocou 60 - pin alebo 50 - pin konektorov. V našom prípade bolo použité pripojenie pomocou 60 - pinového konektoru s technologickou kartou MF624 od firmy Humusoft.

Na riadenie zariadenia PCT40 bola vytvorená schéma v Simulinku. Pri vytvorení schémy bol použitý Real-time toolbox, ktorý umožňuje komunikáciu s prístrojom v reálnom čase. K pripojení slúžia bloky RT In a RT Out. Signály zo snímačov sú privedené prostredníctvom technologickkej karty do počítača a pomocou bloku RT In vstupujú do Simulinku na ďalšie spracovanie. Signály do akčných členov sa prenášajú pomocou bloku RT Out. V danej schéme Simulinku musí byť umiestnený blok Adapter, ktorý definuje ovládač technologickkej karty. Schéma použitá na riadenie zariadenia je zobrazená na obr. 9 a 10.



Obr. 9 Schéma v Simulinku – výstupné signály do akčných členov

Funkcie potrebné na prepočet jednotlivých signálov v prostredí Simulinku sa zisťovali počas kalibrácie, ktorá je opísaná v nasledujúcej kapitole.



Obr. 10 Schéma v Simulinku – vstupné signály zo snímačov

2 Kalibrácia zariadenia

Pred modelovaním a riadením zásobníka kvapaliny je najprv potrebné skalibrovať snímače a akčné členy zariadenia.

2.1 Kalibrácia snímača výšky hladiny

Cieľom kalibrácie bolo nájsť vzťah medzi výstupným signálom zo snímača výšky hladiny a skutočnou výškou hladiny v zásobníku v *mm*. Pod signálom zo snímača v našom prípade rozumieme vstupný signál v Matlabe, ktorý je privedený pomocou technologickej karty zo snímača.

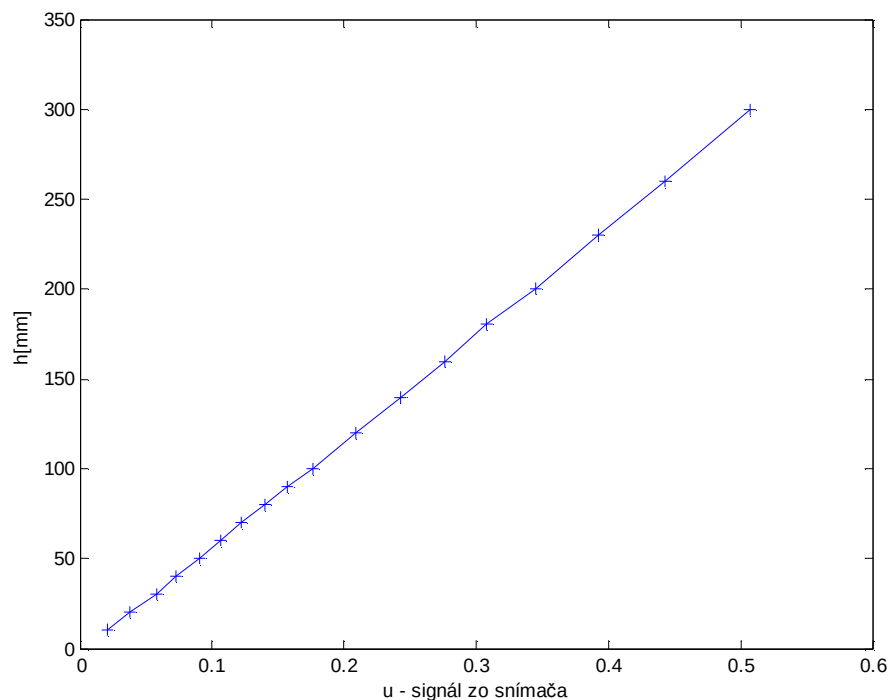
Tab. 1 Výška hladiny v zásobníku a signály zo snímača

Meranie	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
<i>u</i>	0.0214	0.0380	0.0582	0.0732	0.0910	0.1067	0.1227	0.1407	0.1567
<i>h</i> [mm]	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Meranie	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
<i>u</i>	0.1766	0.2093	0.2427	0.2760	0.3080	0.3448	0.3926	0.4431	0.5066
<i>h</i> [mm]	100	120	140	160	180	200	230	260	300

Pri kalibrácii prvým krokom bolo odmerať signály zo snímača pre rôzne výšky hladiny, ďalej vyjadriť závislosť medzi dvomi veličinami vo forme polynomickej rovnice. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 1, v ktorej *u* predstavuje signál zo snímača, *h* výšku hladiny v zásobníku. Rovnica regresnej priamky má tvar:

$$h = 595,6417u - 3,8222 \quad (1)$$

Grafické znázornenie statickej charakteristiky snímača výšky hladiny zobrazuje obr. 11.



Obr. 11 Statická charakteristika snímača výšky hladiny

2.2 Kalibrácia snímača prietoku

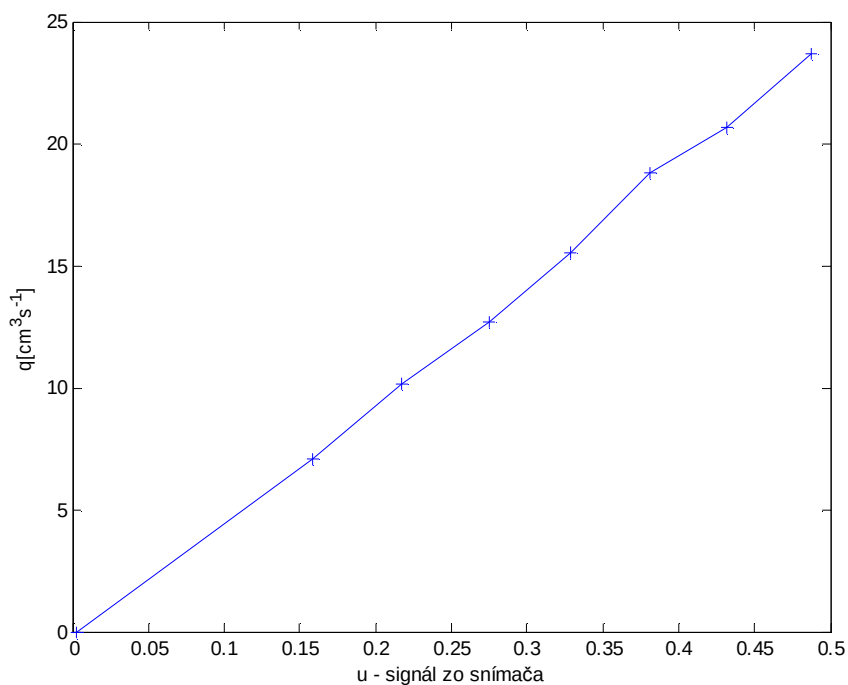
Pri kalibrácii snímača prietoku našou úlohou bolo určiť vzťah medzi skutočným objemovým prietokom v cm^3s^{-1} a signálom zo snímača prietoku. Objemový prietok kvapaliny sme určili odmeraním času, za ktorý sa naplnil určitý objem zásobníka. Tabuľka 2 obsahuje vypočítané prietoky na základe meraní a prislúchajúce signály zo snímača prietoku.

Tab. 2 Prietok a signály zo snímača

u	0.0022	0.1583	0.2174	0.2744	0.3285	0.3808	0.4317	0.4876
$q[\text{cm}^3\text{s}^{-1}]$	0	7.07	10.16	12.66	15.55	18.79	20.65	23.69

Graf prevodovej charakteristiky snímača prietoku zobrazuje obr. 12. Rovnica regresnej priamky má nasledovný tvar:

$$q = 49,1821u - 0,4509 \quad (2)$$



Obr. 12 Statická charakteristika snímača prietoku

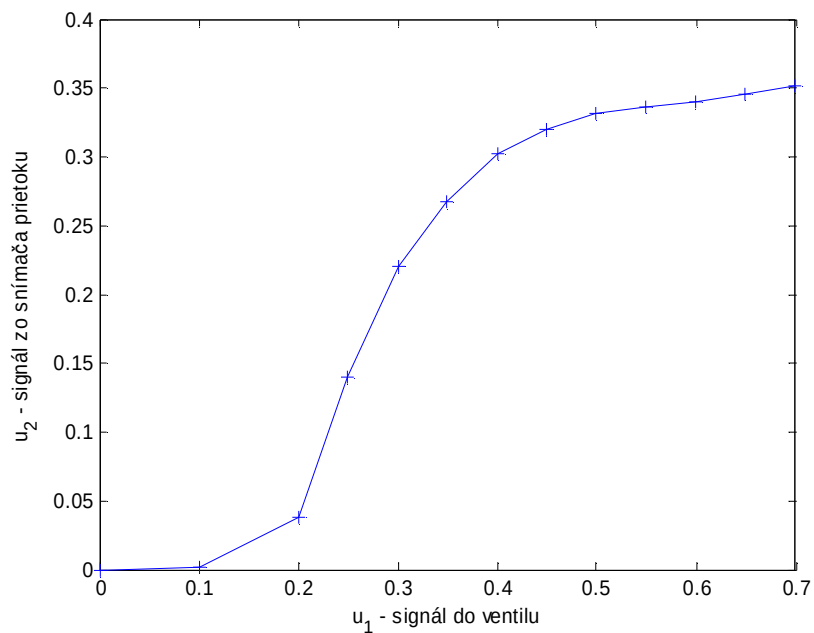
2.3 Kalibrácia akčných členov

2.3.1 PSV

V tomto prípade našim cieľom bolo získať prevod medzi veľkosťou otvorenia ventilu v percentách a vstupným signálom do ventilu. Prvým krokom bolo zistiť, v akom rozsahu vstupného signálu do ventilu sa mení objemový prietok. Preto sme namerali výstupné signály zo snímača prietoku pre rôzne vstupné signály do ventilu, a pomocou statickej charakteristiky snímača prietoku sme zistili, že signál vstupujúci do ventilu je v rozsahu 0,1 – 0,7. Namerané údaje sú uvedené v tabuľke 3, kde u_1 predstavuje signál do ventilu, u_2 signál zo snímača prietoku. Grafické znázornenie je na obr. 13 a 14.

Tab. 3 Signály do ventilu a zo snímača prietoku

u_1	0	0.10	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70
u_2	0	0.002	0.038	0.140	0.220	0.270	0.302	0.320	0.331	0.336	0.340	0.346	0.351

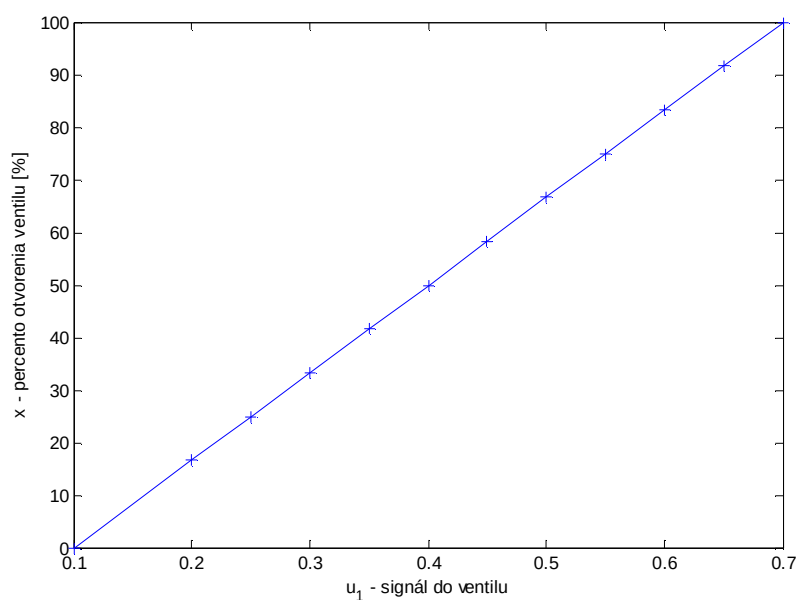


Obr. 13 Graf závislosti signálu zo snímača prietoku od signálu do ventilu

Na základe hore uvedených výsledkov sme určili prevod medzi percentom otvorenia ventilu a signálom vstupujúcim do ventilu v tvare

$$u_1 = 0,006x + 0,1 \quad (3)$$

kde u_1 je signál poslaný do ventilu a x vyjadruje percento otvorenia ventilu.



Obr. 14 Prevodová charakteristika PSV

2.3.2 Čerpadlo A

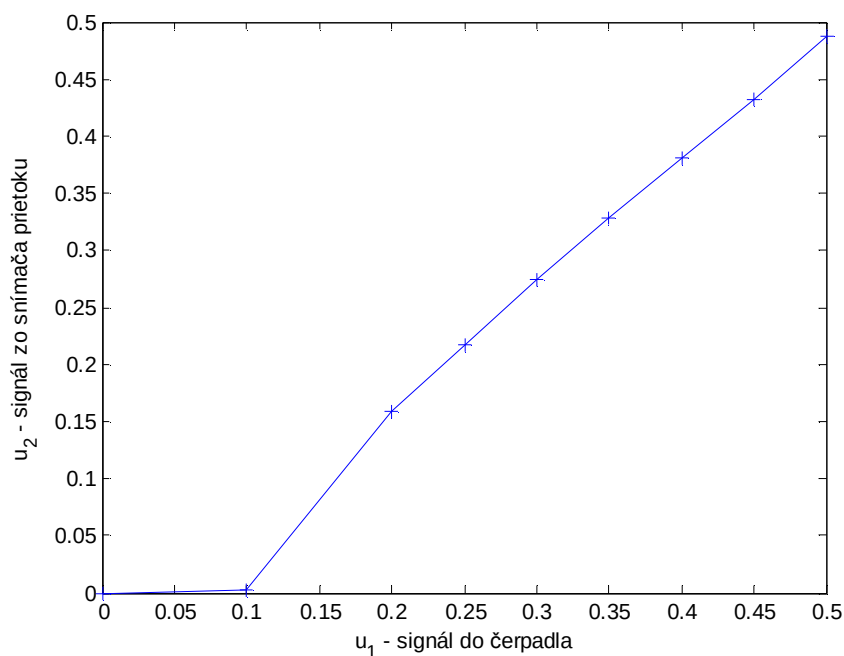
Statická charakteristika čerpadla A je prevod medzi vstupným signálom do čerpadla a výkonom čerpadla v percentách. Rozsah signálu do čerpadla sme zistili rovnakým spôsobom, ako je uvedené v predchádzajúcej kapitole. Namerané údaje sú uvedené v tabuľke 4, kde u_1 predstavuje signál do čerpadla a u_2 signál zo snímača prietoku. Prietok sa mení v rozsahu 0,1 – 0,5 vstupného signálu do čerpadla. Grafické znázornenie je na obr. 15 a 16. Rovnica statickej charakteristiky čerpadla A má tvar:

$$u_1 = 0,004x + 0,1 \quad (4)$$

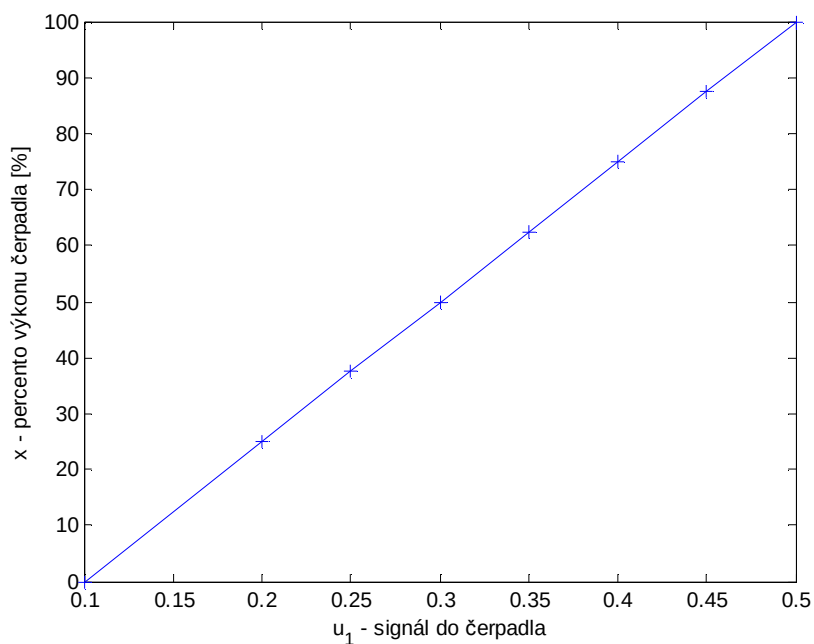
kde u_1 je signál poslaný do čerpadla a x je percento výkonu čerpadla.

Tab. 4 Signály do čerpadla a zo snímača prietoku

u_1	0	0.10	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
u_2	0	0.002	0.158	0.217	0.274	0.329	0.381	0.432	0.488



Obr. 15 Graf závislosti signálu zo snímača prietoku od signálu do čerpadla A



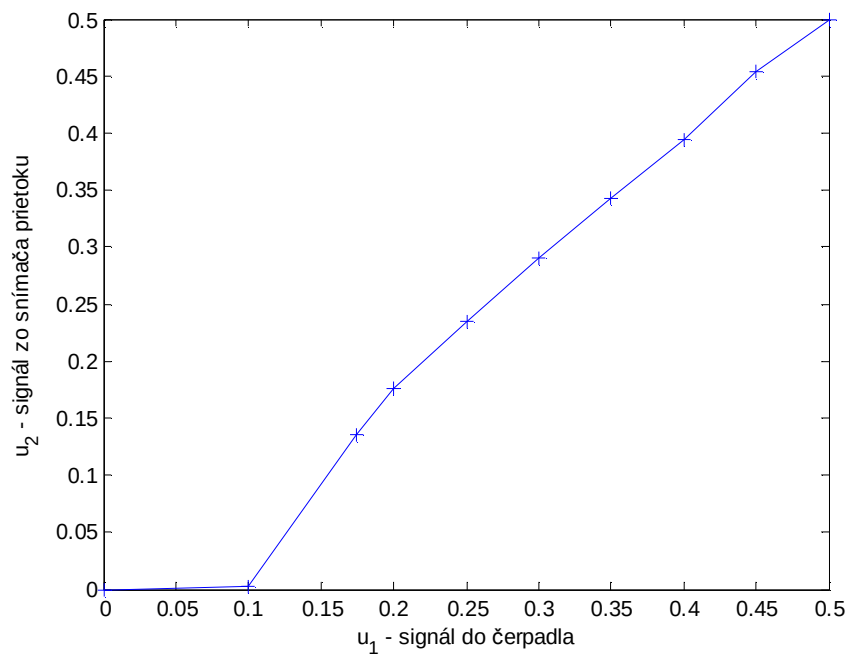
Obr. 16 Prevodová charakteristika čerpadla A

2.3.3 Čerpadlo B

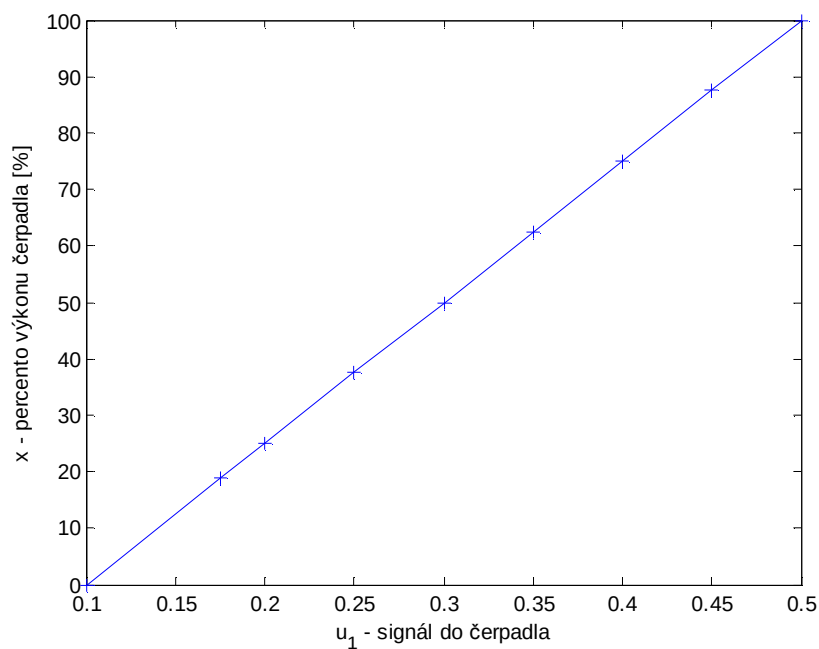
Statickú charakteristiku čerpadla B sme vyjadrili rovnakým spôsobom, ako v predchádzajúcich kapitolách. Namerané údaje sú uvedené v tabuľke 5, kde u_1 predstavuje signál do čerpadla, u_2 signál zo snímača prietoku. Grafické znázornenie je na obr. 17 a 18. Rovnica regresnej priamky je totožná s rovnicou pre čerpadlo A.

Tab. 5 Signály do čerpadla a zo snímača prietoku

u_1	0	0.10	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
u_2	0	0.002	0.177	0.235	0.290	0.344	0.394	0.454	0.509



Obr. 17 Graf závislosti signálu zo snímača prietoku od signálu do čerpadla B



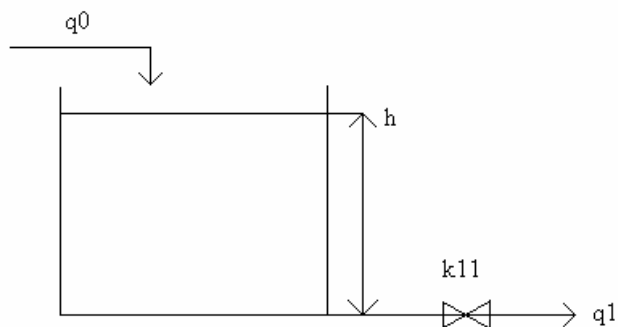
Obr. 18 Prevodová charakteristika čerpadla B

Pri kalibrácii akčných členov slúžiacich na riadenie prietoku sme zistili, že pomocou čerpadiel je možné dosiahnuť väčšiu hodnotu maximálneho objemového prietoku kvapaliny ako pomocou PSV.

3 Modelovanie zásobníka kvapaliny

[2,8]

Matematické modely, ktoré slúžia na opis správania sa reálnych procesov, sú nevyhnutné pri návrhu riadenia daných procesov. V nasledujúcej časti uvediem modelovanie zásobníka kvapaliny, ktorého schéma je zobrazená na obr.19.



Obr. 19 Zásobník kvapaliny

Model zásobníkov predpokladá iba materiálový tok, dá sa opísať materiálovou bilanciou:

(súčet vstupujúcich tokov hmotnosti) = (súčet vystupujúcich tokov hmotnosti) + (rýchlosť akumulácie hmotnosti v systéme)

Pri predpokladoch, že hustota kvapaliny je konštantná, vstupný objemový prietok q_0 je nezávislý od toho, čo sa deje v zásobníku a výstupný objemový prietok q_1 závisí od výšky hladiny h kvapaliny, nelineárny dynamický matematický model zásobníka je možné napísať v tvare:

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{F} q_0(t) - \frac{k_{11}}{F} \sqrt{h(t)} \quad (5)$$

kde k_{11} je konštanta ventilu a F je obsah prierezu zásobníka, pričom začiatočná podmienka je:

$$h(0) = h_0 = h^s \quad (6)$$

Výstupom systému je výška hladiny v zásobníku, potom rovnica výstupu má tvar:

$$y(t) = h(t) \quad (7)$$

Keď zásobníky sú v rovnovážnom stave, nedochádza k akumulácii, matematický model rovnovážneho stavu sa rovná nule, z ktorého môžeme vyjadriť vzťah pre výpočet výšky hladiny v zásobníku v ustálenom stave

$$h^s = \left(\frac{q_0^s}{k_{11}} \right)^2 \quad (8)$$

Pre praktické účely návrhu riadenia nelineárnych spojitých technologických procesov je dôležitá metóda linearizácie. Pri linearizácii je najprv potrebné vypočítať odchýlkový matematický model, ktorý dostaneme odčítaním dynamického matematického modelu a matematického modelu rovnovážneho stavu. Po zavedení odchýlkových veličín a po linearizácii nelinearit pomocou rozvoja do Taylorovho radu dostaneme lineárny stavový model:

$$F \frac{dx(t)}{dt} = u(t) - k_1 x(t) \quad (9)$$

Odchýlkové veličiny:

Vstupná veličina: $u(t) = q_0(t) - q_0^s$

Stavové veličiny: $x(t) = h(t) - h^s$

Výstupná veličina: $y(t) = x(t)$ (10)

Začiatočná podmienka je nulová:

$$x(0) = h(0) - h^s = 0 \quad (11)$$

Rovnica výstupu:

$$y(t) = x(t) \quad (12)$$

k_1 je definované nasledovne:

$$k_1 = k_{11} \frac{1}{2\sqrt{h^s}} \quad (13)$$

Rovnicu (9) môžeme upraviť do nasledovného tvaru:

$$\begin{aligned} \frac{F}{k_1} \frac{dx(t)}{dt} + x(t) &= \frac{1}{k_1} u(t) \\ T \frac{dx(t)}{dt} + x(t) &= Zu(t) \end{aligned} \quad (14)$$

Konštanta F/k_1 má rozmer času, a nazýva sa časová konštanta T , konštanta $1/k_1$ sa nazýva zosilnenie Z . Prenosová funkcia medzi výstupom procesu – odchýlkou výšky hladiny od rovnovážneho stavu x a vstupom do procesu – odchýlkou vstupného prietoku od rovnovážneho stavu u je daná ako

$$G(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{Z}{Ts + 1} \quad (15)$$

3.1 Identifikácia systému

[1]

Matematický model systému v tvare prenosovej funkcie som dostala pomocou experimentálnej identifikácie. Keďže sa jedná o jeden zásobník kvapaliny, systém bol identifikovaný prenosom prvého rádu. Pri meraní prechodových charakteristík na odvedenie vody bol otvorený jeden solenoidový ventil (SOL 2) a manuálne nastaviteľný ventil, ktorý bol otvorený do rovnakej polohy aj pri ďalších meraniach.

Najprv sa namerali odozvy systému na rôzne skokové zmeny vstupného prietoku pomocou každého akčného člena. Po umiestnení jednotlivých odoziev do jedného začiatku a vydelení s veľkosťou skokov vstupnej veličiny sa vypočítala priemerná prechodová charakteristika. Ďalej sa odčítali dvojice bodov $[t_1, h_1]$ a $[t_2, h_2]$ z normovanej prechodovej charakteristiky a podľa vzťahov

$$K = h(\infty) \quad (16)$$

$$T = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{K - h_1}{K - h_2}} \quad (17)$$

$$x = \frac{\ln \frac{K - h_1}{K}}{\ln \frac{K - h_2}{K}} \quad (18)$$

$$D = \frac{t_2 x - t_1}{x - 1} \quad (19)$$

sa vypočítali: K (hodnota, na ktorej sa ustáli výstup), časová konštanta T a dopravné oneskorenie D systému.

Všeobecný tvar identifikovanej prenosovej funkcie je nasledovný:

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-Ds} \quad (20)$$

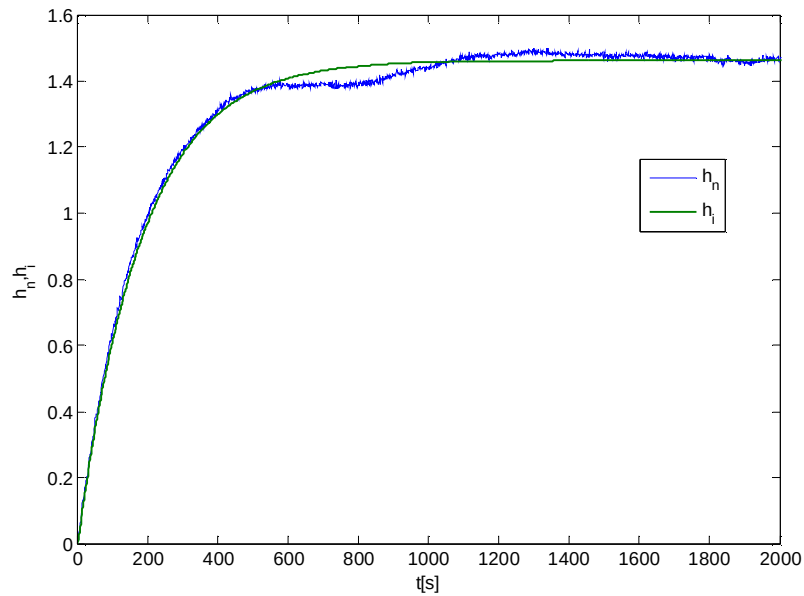
3.1.1 Model pre PSV

Pri identifikácii systému s PSV ako riadiaca veličina bola považovaná veľkosť otvorenia ventilu v percentách, čiže pri normovaní prechodovej charakteristiky jednotlivé odozvy boli vydelené prislúchajúcimi skokovými zmenami otvorenia ventilu.

Po dosadení vypočítaných hodnôt do všeobecného tvaru prenosu (20) identifikovaný prenos pre systém s PSV má tvar

$$G(s) = \frac{1,5}{182,2s + 1} e^{-2,6s} \quad (21)$$

Porovnanie normovanej a identifikovanej prechodovej charakteristiky (PCH) zobrazuje obr. 20, kde h_n je normovaná PCH a h_i je identifikovaná PCH.



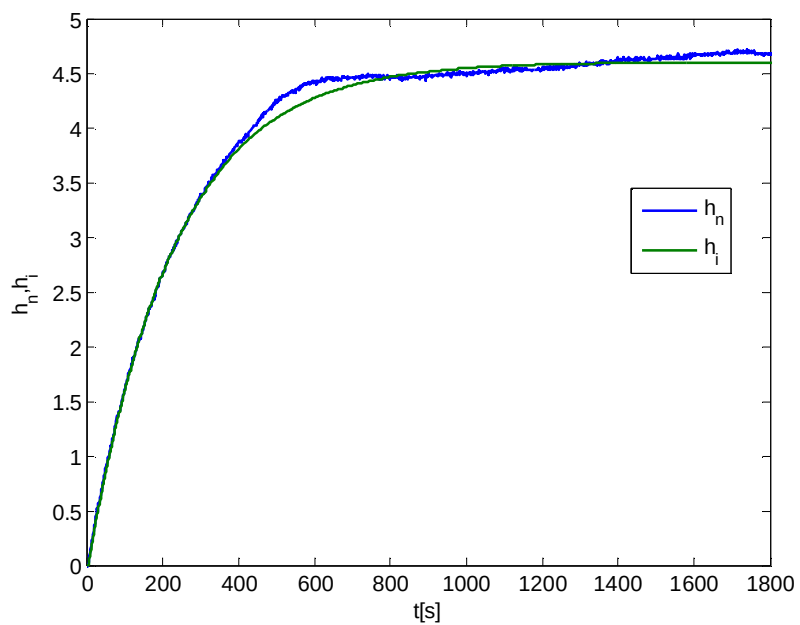
Obr. 20 Normovaná a identifikovaná PCH - PSV

3.1.2 Model pre čerpadlo A

V tomto prípade riadiacou veličinou bol výkon čerpadla v percentách. Prenos s identifikovanými parametrami pre systém s čerpadlom A má tvar

$$G(s) = \frac{4,6}{226,4s + 1} e^{-3,9s} \quad (22)$$

Porovnanie normovanej a identifikovanej prechodovej charakteristiky zobrazuje obr. 21, kde h_n je normovaná PCH a h_i je identifikovaná PCH.



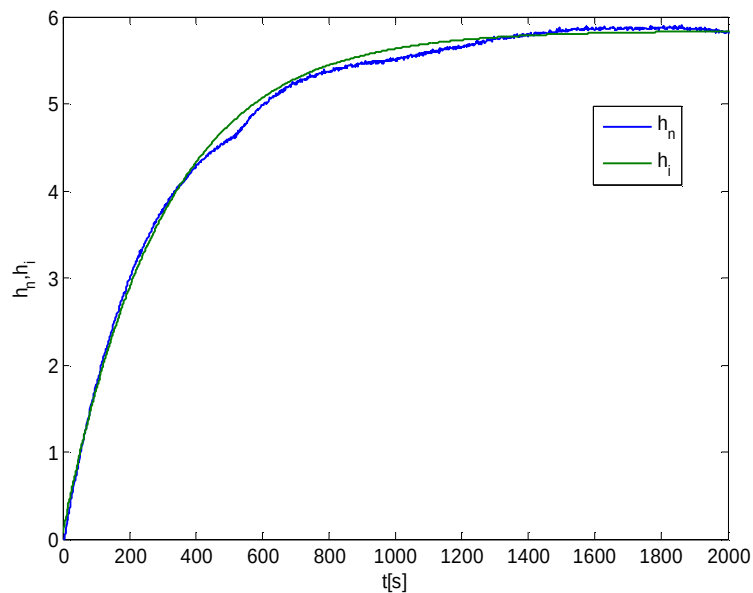
Obr. 21 Normovaná a identifikovaná PCH –čerpadlo A

3.1.3 Model pre čerpadlo B

Prenos s identifikovanými parametrami pre systém s čerpadlom B má tvar

$$G(s) = \frac{5,84}{299,3 \cdot s + 1} \cdot e^{-0,5s} \quad (23)$$

Porovnanie normovanej a identifikovanej PCH zobrazuje obr. 22.



Obr. 22 Normovaná a identifikovaná PCH – čerpadlo B

Modely v tvare prenosovej funkcie predstavujú lineárny model systému. Napriek tomu, že presnejší opis správania sa systému poskytuje nelineárny model, v tejto práci sa opisom nelineárneho modelu nezaobrám, pretože pri hľadaní parametrov nelineárneho modelu som zistila, že konštanta ventilu, a preto aj časová konštanta a zosilnenie systému, sa výrazne menia pre rôzne ustálené stavy.

4 Návrh riadenia

Cieľom mojej práce je navrhnúť diskkrétne riadenie výšky hladiny kvapaliny v zásobníku na zariadení PCT40. Pri návrhu diskrétného riadenia prvým krokom je diskretizácia spojitých modelov systému. V nasledujúcej kapitole uvediem postup Z-transformácie spojitých modelov.

4.1 Diskrétné modely

[1,7]

Odvodenie diskrétnych prenosov zo spojitých modelov sa realizovalo na základe vzťahu

$$G(z) = (1 - z^{-1})Z \left\{ L^{-1} \left\{ \frac{G(s)}{s} \right\} \right\} \quad (24)$$

kde Z označuje Z-transformáciu, L^{-1} spätnú Laplaceovu transformáciu a $G(s)$ prenos spojitého systému v tvare

$$G(s) = \frac{Z_1}{T_1 s + 1} \quad (25)$$

Pri odvodení diskrétnych prenosov boli zanedbané dopravné oneskorenia spojitých modelov, pretože zvolené periódy vzorkovania boli niekoľkonásobne väčšie, ako dopravné oneskorenia.

Výsledkom spätnej Laplaceovej transformácie je vzťah

$$L^{-1} \left\{ \frac{Z_1}{s(T_1 s + 1)} \right\} = Z_1 (1 - e^{-(t/T_1)}) \quad (26)$$

Ďalej výsledkom Z-transformácie vzťahu (26) je

$$Z \left\{ L^{-1} \left\{ \frac{Z_1}{s(T_1 s + 1)} \right\} \right\} = Z_1 \left(\frac{z}{z-1} - \frac{z}{z - e^{-(T_s/T_1)}} \right) \quad (27)$$

Po dosadení vzťahu (27) do (24) dostaneme

$$G(z) = \frac{b_1 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1}} \quad (28)$$

kde $b_1 = Z_1(1 - e^{-(T_s/T_1)})$ a $a_1 = -e^{-(T_s/T_1)}$, pričom T_s je perióda vzorkovania, Z_1 je zosilnenie a T_1 je časová konštanta systému prvého rádu.

Dôležitým parametrom, ktorý ovplyvňuje vlastnosti diskrétného riadenia je perióda vzorkovania. Na voľbu periódy vzorkovania existuje viac spôsobov. Z hľadiska množstva výpočtov, ktoré je potrebné vykonať na riadiacom počítači sa vyžaduje, aby perióda vzorkovania bola čo najväčšia, ale z hľadiska straty informácií o spojitom signáli pri vzorkovaní sa vyžaduje, aby perióda vzorkovania bola čo najmenšia. Preto je potrebné zvoliť kompromis.

4.2 Návrh regulátora

[7]

Na riadenie výšky hladiny v zásobníku som navrhla diskrétny regulátor s integračnou činnosťou metódou predpisania pólov. Regulátor sa skladá z dvoch častí. Prvá časť je výsledkom syntézy riadenia, druhá časť je pevná a zabezpečuje integračné vlastnosti regulátora. Pri návrhu bol použitý diskrétny prenos riadeného procesu

$$G(z) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} = \frac{b_1 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1}} \quad (29)$$

a prenos proporcionálno-sumačného (PS) regulátora

$$R(z) = \frac{Q(z^{-1})}{P(z^{-1})} = \frac{q_0 + q_1 z^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad (30)$$

ktorý sa nazýva aj ako regulátor prvého rádu.

Po dosadení $R(z)$ a $G(z)$ do charakteristickej rovnice uzavretého regulačného obvodu (URO)

$$1 + R(z)G(z) = 0 \quad (31)$$

a ďalšou úpravou dostaneme rovnicu

$$(1 - z^{-1})(1 + a_1 z^{-1}) + b_1 z^{-1}(q_0 + q_1 z^{-1}) = 0 \quad (32)$$

ktorú môžeme prepísať na tvar

$$1 + \tilde{a}_1 z^{-1} + \tilde{a}_2 z^{-2} = 0 \quad (33)$$

kde $\tilde{a}_1 = a_1 + b_1 q_0 - 1$ a $\tilde{a}_2 = b_1 q_1 - a_1$. Parametre regulátora q_0 a q_1 boli vypočítané z koeficientov $\tilde{a}_1$ a $\tilde{a}_2$. Voľbou pólov charakteristickej rovnice URO je možné určiť vlastnosti uzavretého regulačného obvodu. Póly charakteristickej rovnice URO boli zvolené tak, aby ležali vo vnútri jednotkovej kružnice v rovine komplexných čísel. V nasledujúcej časti práce uvediem riadenia pre rôzne periódy vzorkovania pomocou regulátorov s integračnou činnosťou.

4.2.1 Riadenie s čerpadlom A

PS regulátor na riadenie pri perióde vzorkovania 10s bol navrhnutý na základe nasledovného diskrétného prenosu

$$G(z) = \frac{0.1988z^{-1}}{1 - 0.9568z^{-1}} \quad (34)$$

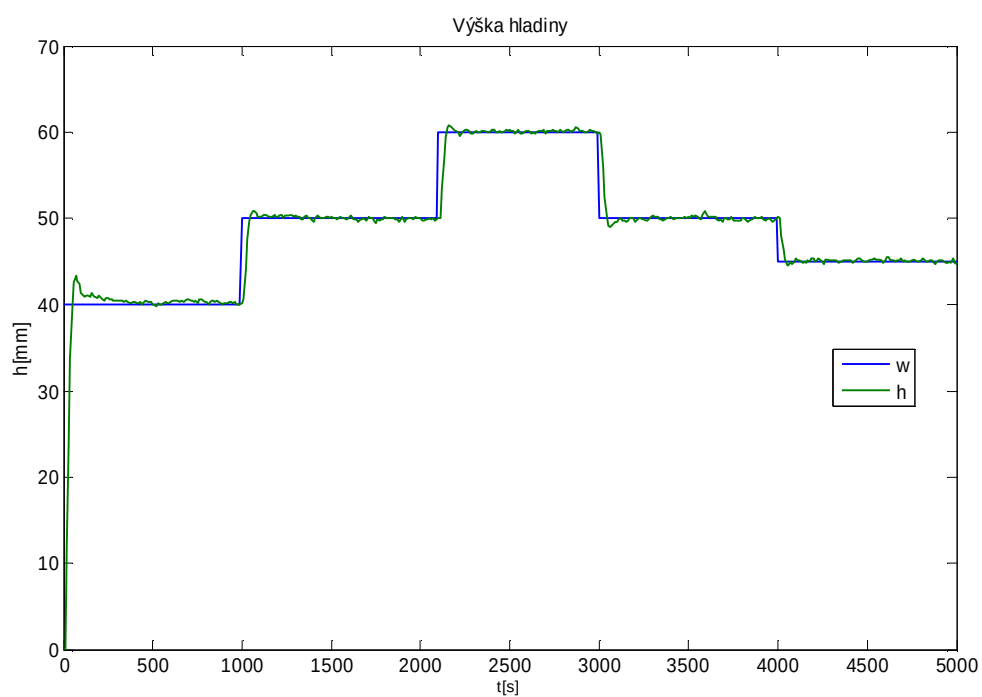
Póly URO boli zvolené tak, aby jeden z nich bol rovnaký s pólom systému, druhý pól bol umiestnený bližšie k imaginárnej osi v rovine komplexných čísel, aby URO bol rýchlejší ako samotný proces.

Vypočítaný regulátor má tvar

$$R(z) = \frac{1,64 - 1,56z^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad (35)$$

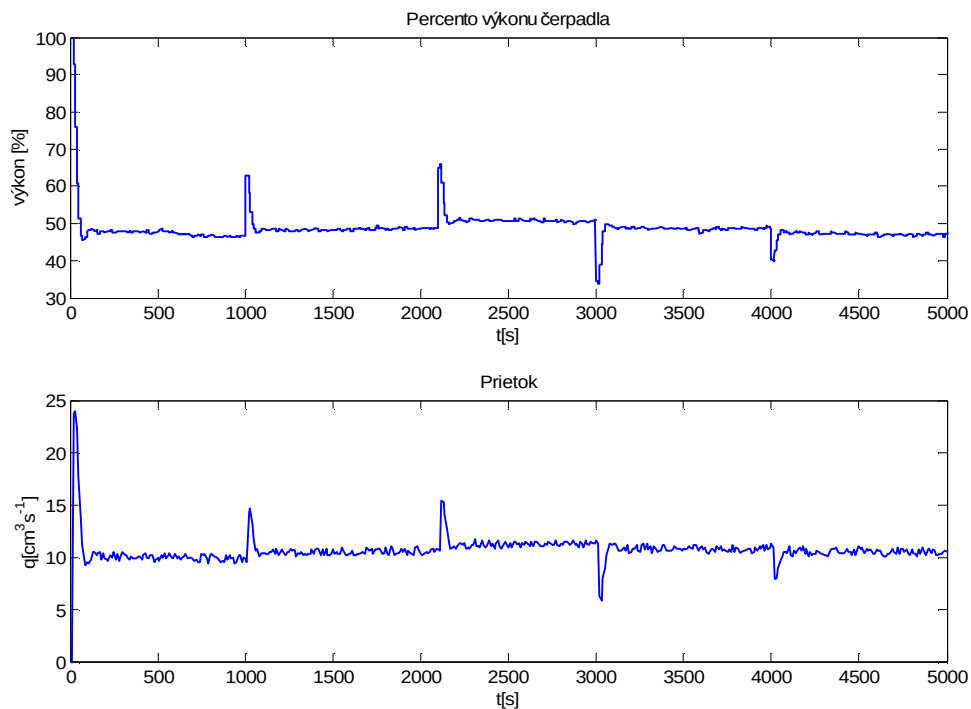
pričom zvolené póly charakteristickej rovnice URO sú $z_1 = 0,95$, $z_2 = 0,68$.

Priebeh riadenia výšky hladiny v zásobníku pomocou regulátora (35) je zobrazený na obr. 23, kde w je priebeh žiadanej veličiny, h je výška hladiny v zásobníku.



Obr. 23 Riadenie pri perióde vzorkovania 10s – výška hladiny – čerpadlo A

Na obr. 24 je zobrazený akčný zásah, čiže výkon čerpadla v percentách a prietok v $cm^3 s^{-1}$.



Obr. 24 Riadenie pri perióde vzorkovania 10s – akčný zásah – čerpadlo A

Riadenie som skúsila aj pri väčších periódách vzorkovania, pre ktoré bolo potrebné navrhnuť iné regulátory.

Diskrétny model pri perióde vzorkovania 15s má tvar

$$G(z) = \frac{0.295z^{-1}}{1 - 0.936z^{-1}} \quad (36)$$

pomocou ktorého bol navrhnutý nasledovný PS regulátor

$$R(z) = \frac{1.68 - 1.58z^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad (37)$$

pričom zvolené póly URO sú $z_1 = 0.94$, $z_2 = 0.5$.

Diskrétny model pri perióde vzorkovania 40s má tvar

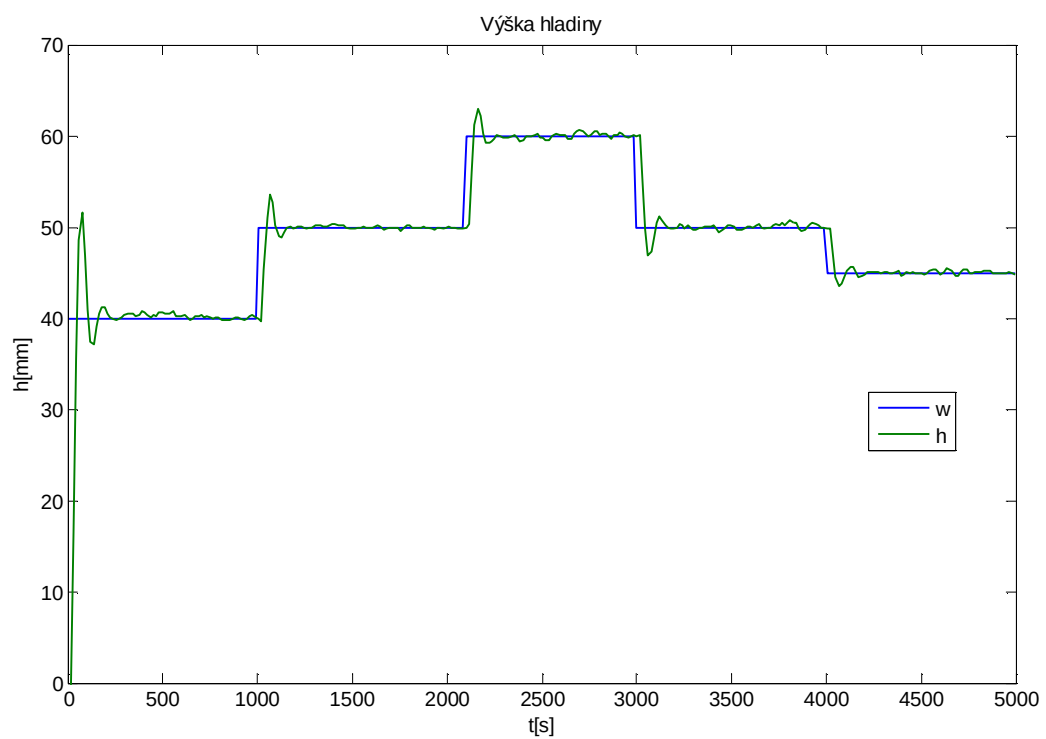
$$G(z) = \frac{0.745z^{-1}}{1 - 0.838z^{-1}} \quad (38)$$

na základe ktorého bol navrhnutý nasledovný PS regulátor

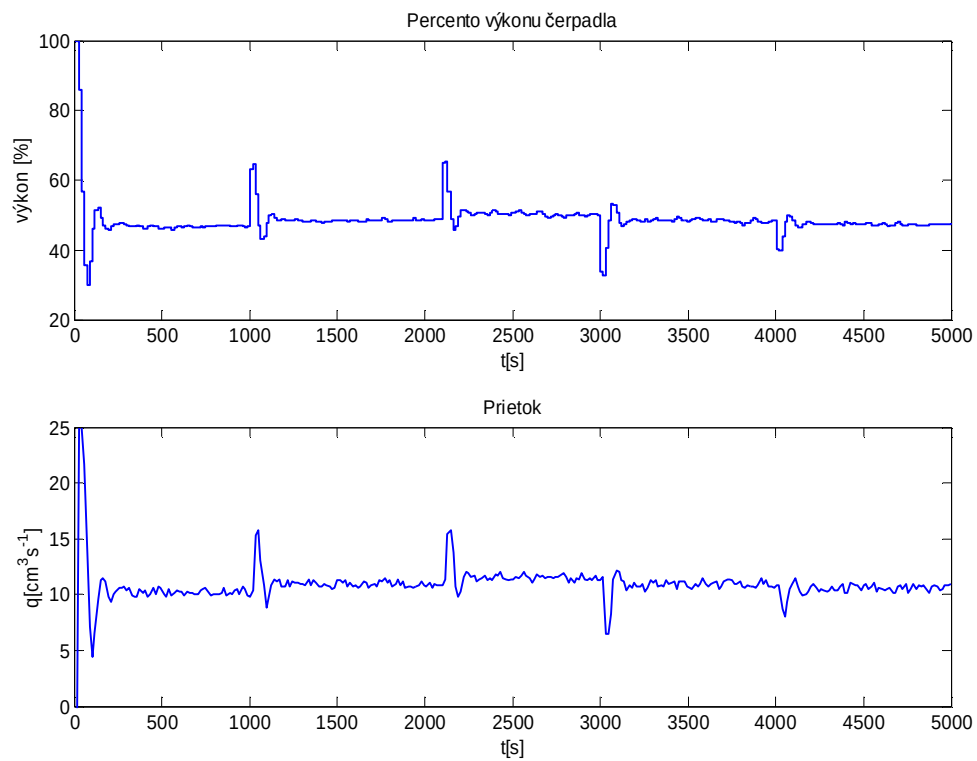
$$R(z) = \frac{0,47 - 0,39z^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad (39)$$

pričom zvolené póly URO sú $z_1 = 0,84$, $z_2 = 0,65$.

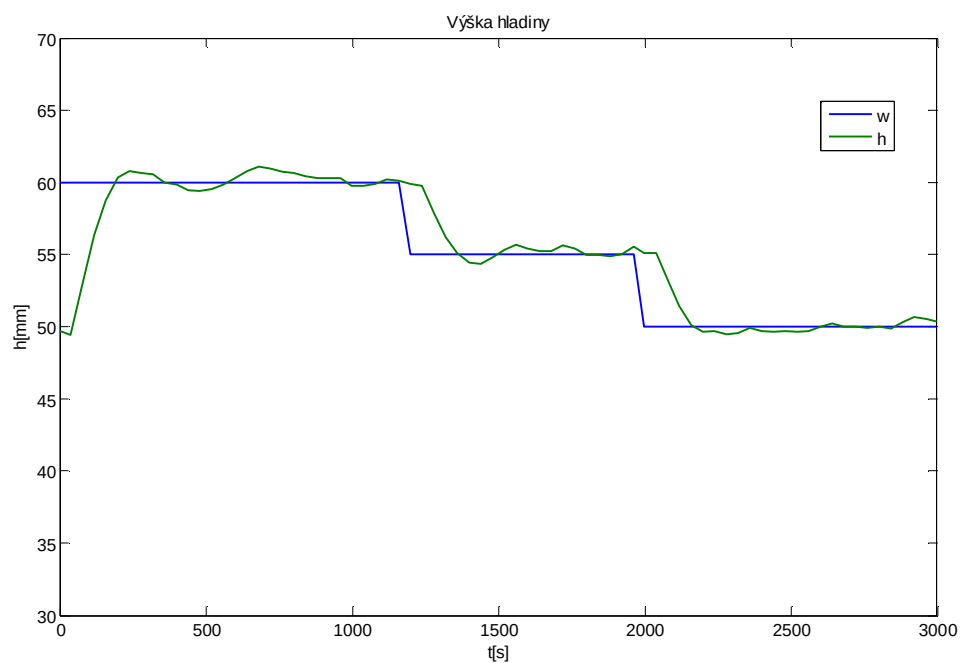
Priebeh riadenia pri perióde vzorkovania 15s je zobrazený na obr. 25 a 26, pri perióde vzorkovania 40s na obr. 27 a 28.



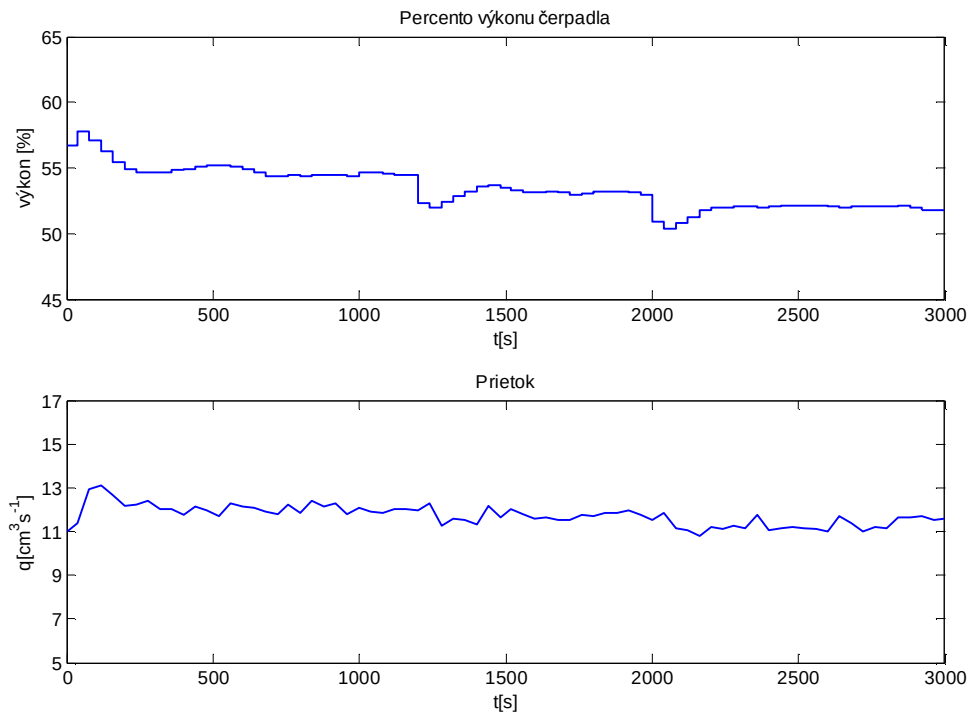
Obr. 25 Riadenie pri perióde vzorkovania 15s – výška hladiny – čerpadlo A



Obr. 26 Riadenie pri perióde vzorkovania 15s – akčný zásah – čerpadlo A



Obr. 27 Riadenie pri perióde vzorkovania 40s – výška hladiny – čerpadlo A



Obr. 28 Riadenie pri perióde vzorkovania 40s – akčný zásah – čerpadlo A

4.2.2 Riadenie s PSV

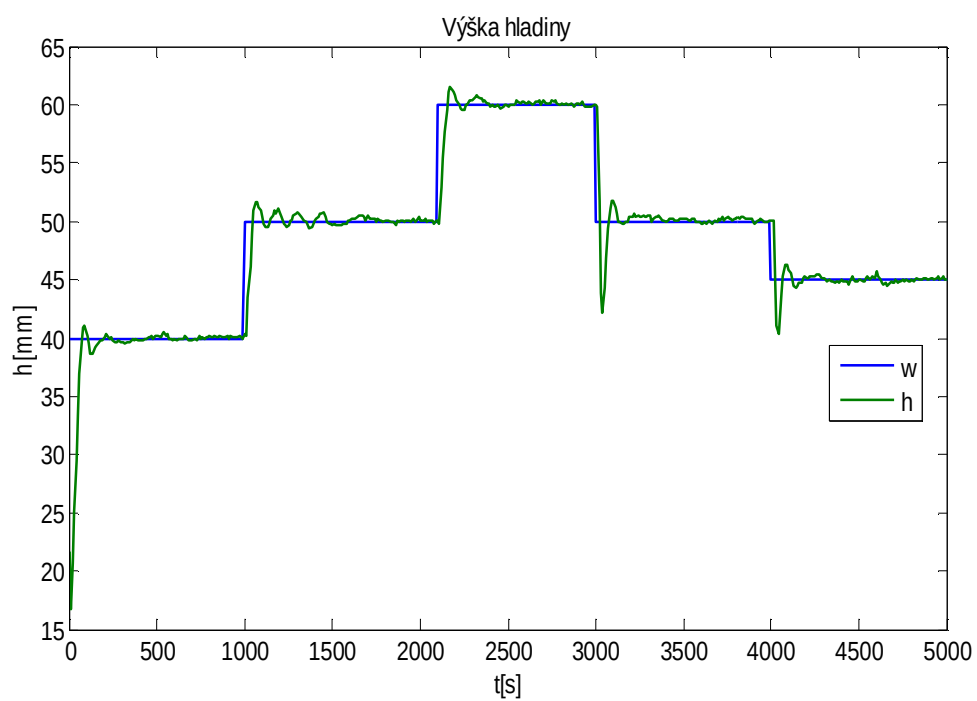
Riadenie výšky hladiny s PSV som navrhla rovnakým spôsobom, ako bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole. Pri návrhu riadenia pri perióde vzorkovania 10s bola použitá diskretná prenosová funkcia v tvare

$$G(z) = \frac{0.0801z^{-1}}{1 - 0.9466z^{-1}} \quad (40)$$

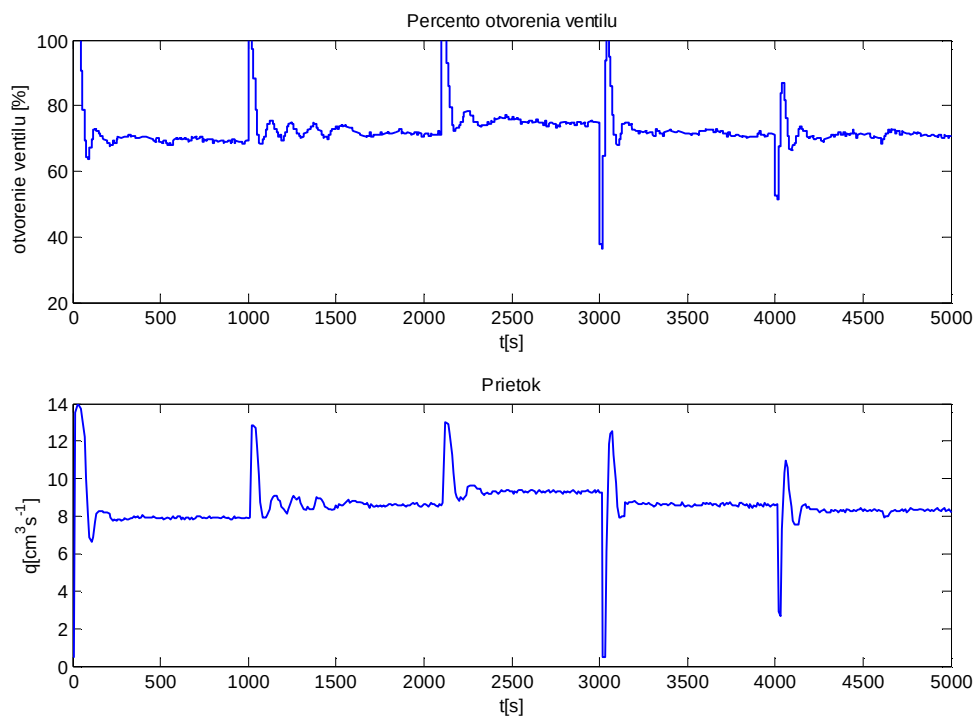
na základe ktorej bol vypočítaný nasledovný regulátor

$$R(z) = \frac{3.7 - 3.5z^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad (41)$$

pre zvolené póly URO $z_1 = 0.95$, $z_2 = 0.7$.



Obr. 29 Riadenie pri perióde vzorkovania 10s – výška hladiny - PSV



Obr. 30 Riadenie pri perióde vzorkovania 10s – akčný zásah - PSV

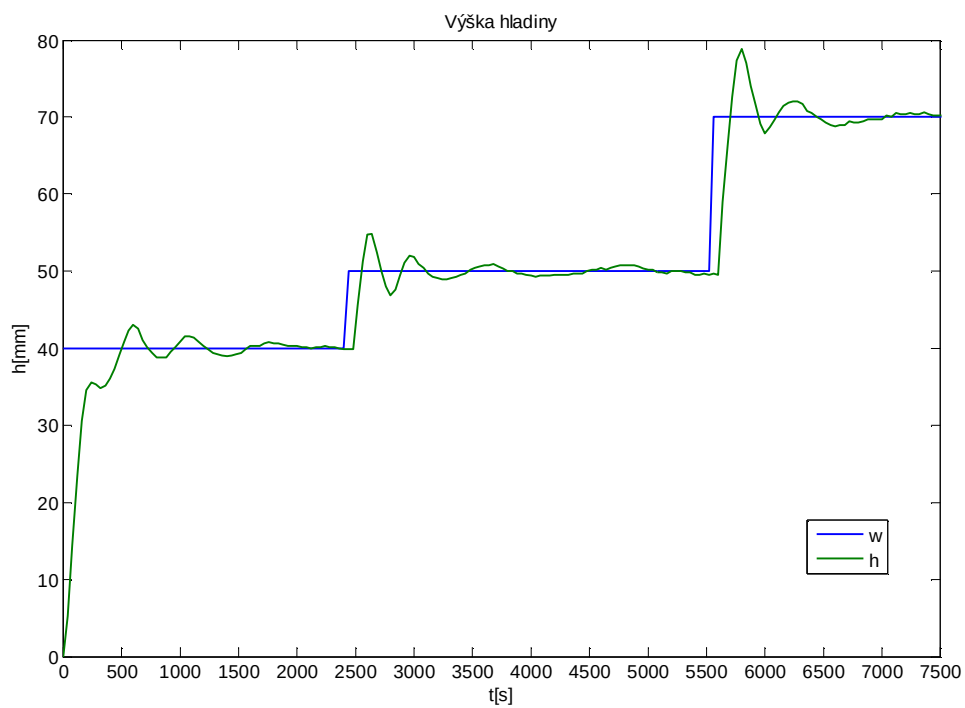
Pri návrhu riadenia pri perióde vzorkovania 40s bola použitá diskrétna prenosová funkcia v tvare

$$G(z) = \frac{0.296z^{-1}}{1 - 0.803z^{-1}} \quad (42)$$

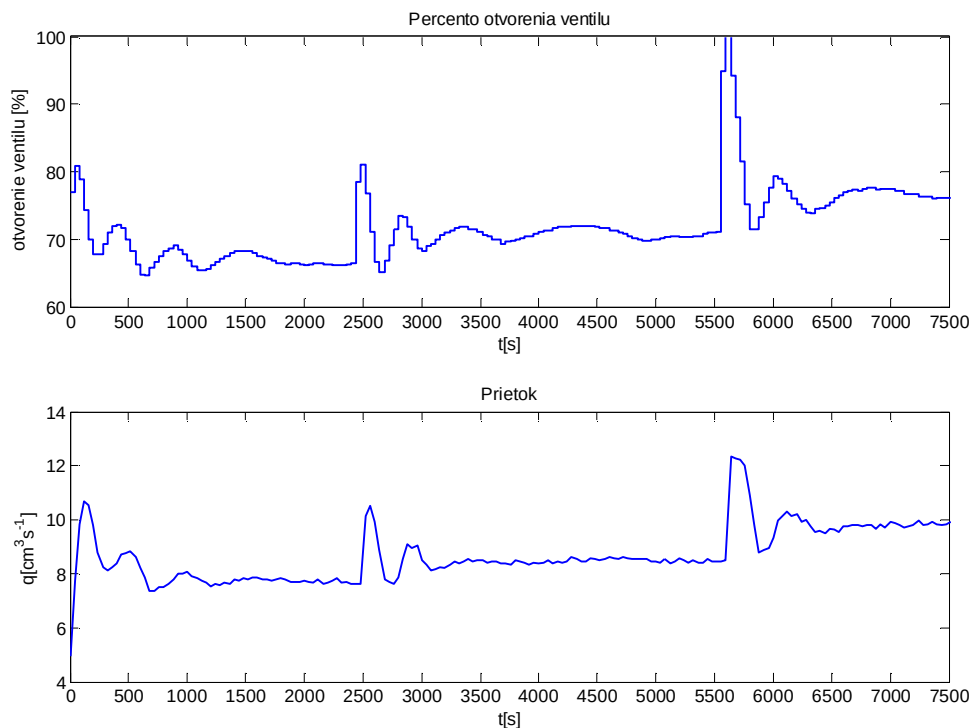
na základe ktorej bol vypočítaný nasledovný regulátor

$$R(z) = \frac{1.02 - 0.82z^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad (43)$$

pre zvolené póly URO $z_1 = 0,8$, $z_2 = 0,7$.



Obr. 31 Riadenie pri perióde vzorkovania 40s – výška hladiny - PSV



Obr. 32 Riadenie pri perióde vzorkovania 40s – akčný zásah - PSV

Riadenie výšky hladiny pomocou čerpadla B sa z technických dôvodov nedalo vykonať.

4.3 Optimálne riadenie

[3]

Úlohou optimálneho riadenia je zabezpečiť asymptotickú stabilitu spätnoväzbového systému a zároveň minimalizovať kvadratický funkcionál.

V praxi bolo ukázané, že je často potrebné obmedzovať zmeny akčných veličín pri riadení, a to najmä v chemickom priemysle, totiž rýchle zmeny akčných veličín môžu spôsobiť poškodenie procesov. Tento problém sa rieši minimalizáciou kvadratického funkcionálu

$$J = \int_0^{\infty} (j \cdot \tilde{u}^2(t) + y \cdot e^2(t)) dt \quad (44)$$

kde $e = w - y$ je regulačná odchýlka, $\tilde{u}$ je zmena akčného zásahu procesu, j a y sú

váhové koeficienty.

Prenosová funkcia riadeného systému vyjadrená v spojitelnej oblasti je nasledovná

$$G(s) = \frac{B(s)}{A(s)} \quad (45)$$

a kompenzátor, ktorý zavedie integračnú činnosť do URO, má tvar

$$G_k(s) = \frac{H(s)}{F(s)} = \frac{1}{s} \quad (46)$$

potom pri návrhu optimálneho regulátora riešime diofantickú rovnicu

$$A(s)F(s)P(s) + B(s)H(s)Q(s) = D(s)C(s) \quad (47)$$

kde $Q(s)$ predstavuje čitateľ a $P(s)$ menovateľ optimálneho polynomickeho regulátora. Polynómy $D(s)$ a $C(s)$ získame spektrálnou faktorizáciou na základe nasledovných rovníc

$$D^*(s).D(s) = j .A^*(s).F^*(s).A(s).F(s) + y .B^*(s).B(s) \quad (48)$$

$$C^*(s)C(s) = A^*(s)A(s)H(s)H^*(s) \quad (49)$$

kde $()^*$ označuje nestabilný tvar príslušného polynómu. Po výpočte stabilných polynómov $D(s)$ a $C(s)$ je možné vyjadriť $Q(s)$ a $P(s)$ z rovnice (47). Diskrétne optimálny regulátor sa vypočítal diskretizáciou spojitelneho optimálneho regulátora.

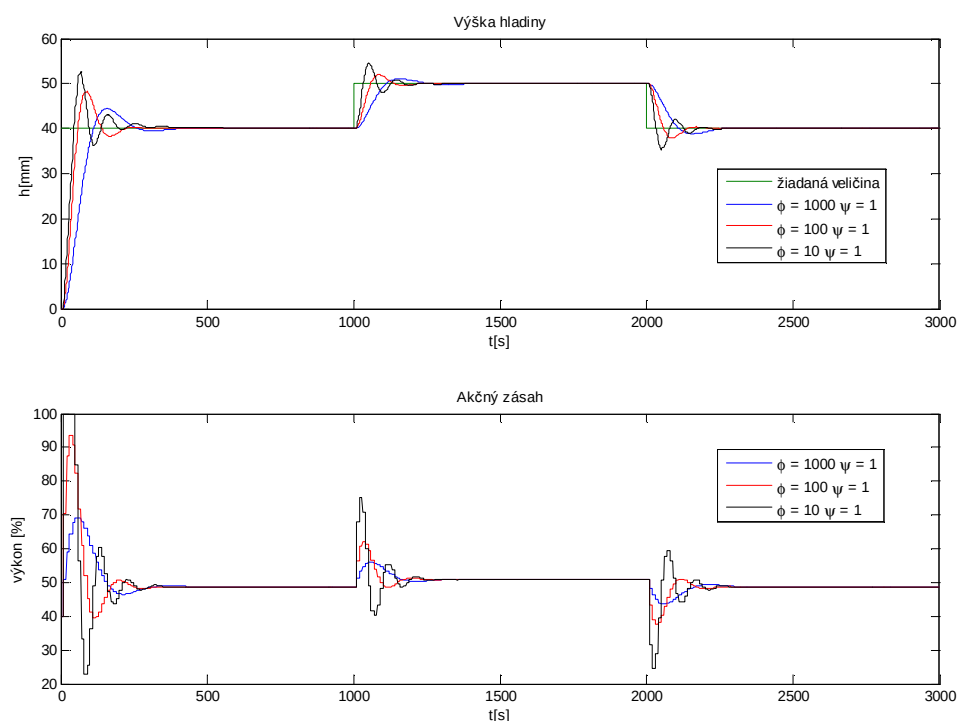
4.3.1 Optimálne riadenie s čerpadlom A

Riadenie pre rôzne hodnoty váhových koeficientov som najprv skúsila na modeli zariadenia, a až potom na reálnom zariadení. Na výpočet optimálneho spojitelneho regulátora som si zvolila váhové koeficienty $j = 1000$ a $y = 1$. Optimálny diskrétne

regulátor, ktorý bol odvodený zo spojitého regulátora pri perióde vzorkovania 10s, má tvar:

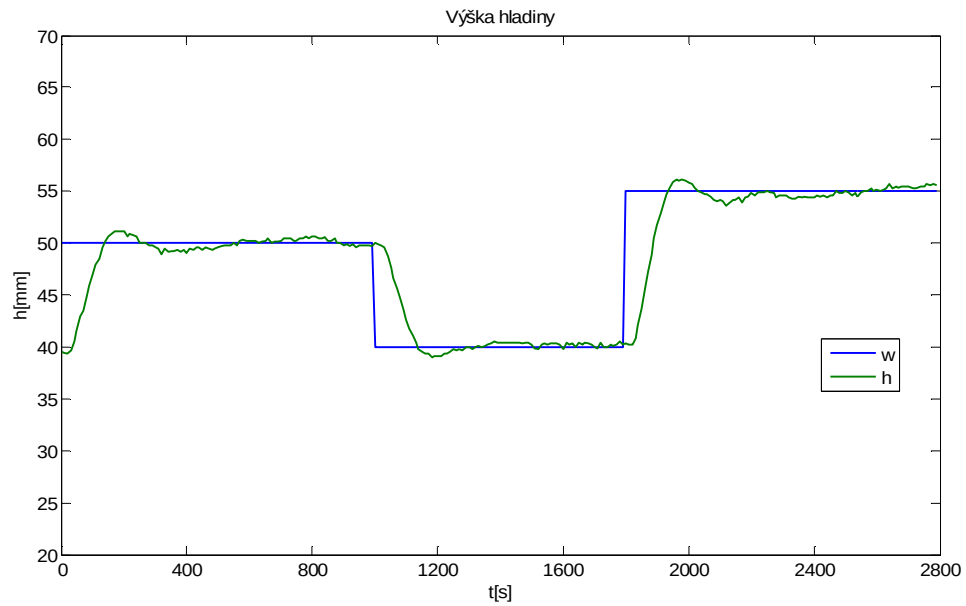
$$R(z) = \frac{0,27 - 0,26z^{-1}}{1 - 1,697z^{-1} + 0,697z^{-2}} \quad (50)$$

Riadenie modelu zariadenia pre rôzne voľby váhových koeficientov je zobrazené na obr. 33.

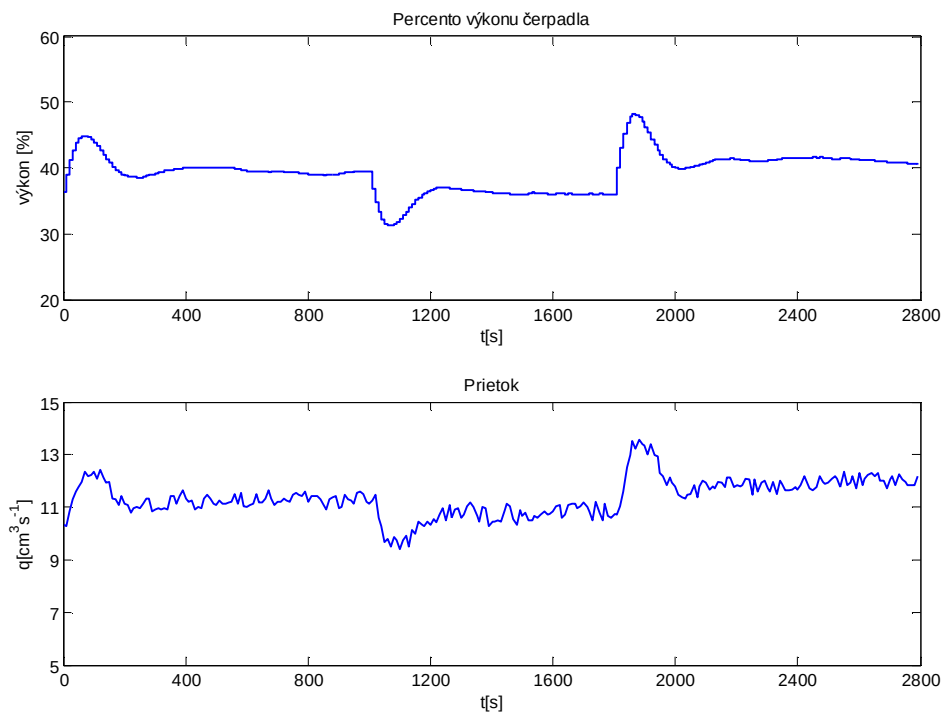


Obr. 33 Riadenie modelu pre rôzne ϕ a ψ – čerpadlo A

Pri návrhu optimálneho regulátora som si zvolila váhové koeficienty v takom pomere, aby sa vypočítaný akčný zásah nedostal na hodnotu obmedzenia. Optimálne riadenie reálneho zariadenia je zobrazené na obr. 34 a 35.



Obr. 34 Optimálne riadenie – čerpadlo A – výška hladiny



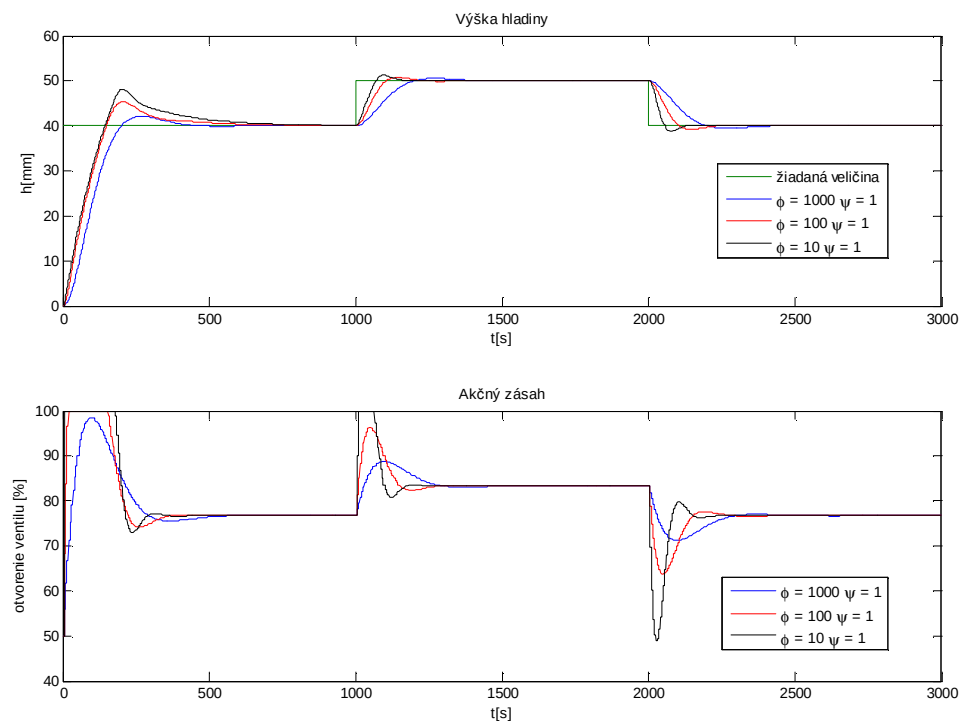
Obr. 35 Optimálne riadenie – čerpadlo A – akčný zásah

4.3.2 Optimálne riadenia s PSV

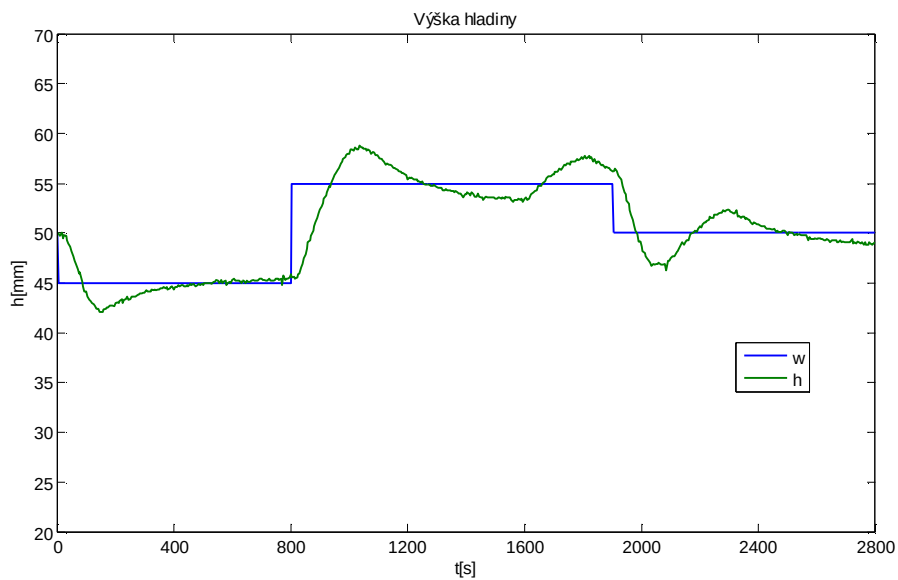
V tomto prípade na optimálne riadenie zariadenia som si zvolila váhové koeficienty $j = 100$ a $\gamma = 1$. Optimálny diskretný regulátor, ktorý bol odvodený zo spojitého regulátora pri perióde vzorkovania 5s, má tvar:

$$R(z) = \frac{0,46 - 0,45z^{-1}}{1 - 1,82z^{-1} + 0,82z^{-2}} \quad (51)$$

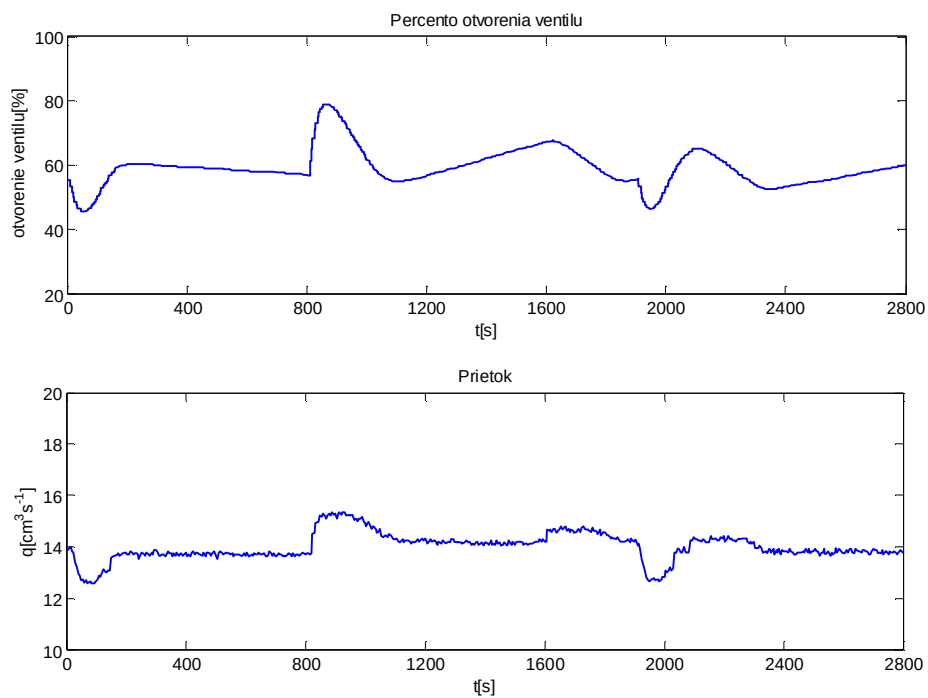
Riadenie modelu zariadenia pre rôzne voľby váhových koeficientov je zobrazené na obr. 36. Optimálne riadenie reálneho zariadenia je na obr. 37 a 38.



Obr. 36 Riadenie modelu pre rôzne ϕ a ψ – PSV



Obr. 37 Optimálne riadenie – PSV – výška hladiny



Obr. 38 Optimálne riadenie – PSV – akčný zásah

5 Záver

Cieľom diplomovej práce bolo navrhnúť diskkrétne riadenie výšky hladiny kvapaliny v zásobníku na laboratórnom zariadení PCT40.

Pred modelovaním reálneho systému bolo potrebné vykonať kalibráciu zariadenia. Skalibrovať bolo potrebné tie snímače a akčné členy zariadenia, ktoré boli nevyhnutné na realizáciu riadenia výšky hladiny. Snímače potrebné na riadenie boli snímač výšky hladiny, a keďže výška hladiny sa riadi objemovým prietokom, preto aj snímač prietoku. Z akčných členov, pomocou ktorých sa uskutočnilo riadenie, boli k dispozícii tri akčné členy: proporcionálny solenoidový ventil, čerpadlo A a čerpadlo B.

Parametre modelu sa určili pomocou experimentálnej identifikácie. Systém bol identifikovaný prenosom prvého rádu, ktorý predstavuje lineárny model systému. Pri identifikácii prvým krokom bolo namerať odozvy systému na rôzne skokové zmeny objemového prietoku, a zo získaných prechodových charakteristík sa určili parametre prenosovej funkcie. Pri nameraní prechodových charakteristík z výstupov zásobníka bol otvorený jeden solenoidový ventil a manuálne nastaviteľný ventil, ktoré boli otvorené do rovnakej polohy aj pri riadení.

Na základe identifikovaných modelov som navrhla riadenie výšky hladiny. Pred návrhom diskkrétneho riadenia bolo potrebné odvodiť diskkrétne modely procesov. Na odvodenie diskkrétnych modelov bola použitá Z-transformácia. Ďalej na základe diskkrétnych prenosov sa vypočítali parametre regulátorov metódou predpísania pólov. Regulátory s integračnou činnosťou boli navrhnuté pri rôznych periódach vzorkovania.

V poslednej časti práce bolo navrhnuté optimálne riadenie výšky hladiny. Diskrétny optimálny regulátor bol odvodený zo spojitého optimálneho regulátora diskretizáciou. Na základe výsledkov simulácie na modeli bola vybraná vhodná dvojica váhových koeficientov na optimálne riadenie reálneho zariadenia. Z výsledkov je vidieť, že pri optimálnom riadení zmeny akčného zásahu sú menšie ako pri riadení pomocou PS regulátorov.

Zoznam použitej literatúry

- [1] J.Mikleš, M.Fikar: *Modelovanie, identifikácia a riadenie procesov II. Identifikácia a optimálne riadenie*. STU, Bratislava 2006.
- [2] M.Bakošová, M.Fikar: *Riadenie procesov*. STU, Bratislava 2008.
- [3] Ľ.Čirka: *Adaptívne LQ riadení. Youlova - Kučerova parametrizácia regulátorov a modelov procesov*. Dizertačná práca, STU, Bratislava 2003.
- [4] Manuály k modelu PCT40 od firmy Armfield
- [5] L.Skovajsa: *Návrh metody řízení výšky hladiny v zásobníku na laboratorním modelu PCT40*. Diplomová práca, UTB v Zlíne 2008.
- [6] R.Pochylý: *Laboratorní výukový model PCT40*. Diplomová práca, UTB v Zlíne 2007.
- [7] Š.Kozák: *Lineárne číslicové systémy I*. STU, Bratislava 1993.
- [8] J.Mikleš, P.Dostál, A.Mészáros: *Riadenie technologických procesov. Modelovanie procesov a základy riadenia*. STU, Bratislava 1994.