

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA CHEMICKEJ A POTRAVNINÁRSKEJ
TECHNOLÓGIE**

**RIADENIE TECHNOLOGICKÝCH PROCESOV
S PORUCHAMI**

DIPLOMOVÁ PRÁCA

FCHPT-5414-25133

Bratislava 2010

Bc., Peter Danko

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA CHEMICKÉJ A POTRAVNINÁRSKEJ
TECHNOLÓGIE**

**RIADENIE TECHNOLOGICKÝCH PROCESOV
S PORUCHAMI**

DIPLOMOVÁ PRÁCA

FCHPT-5414-25133

Študijný program: Automatizácia a informatizácia v chémii a potravinárstve

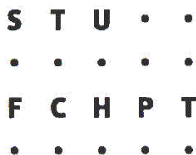
Číslo a názov študijného odboru: 5.2.14 automatizácia

Školiace pracovisko: Ústav informatizácie, automatizácie a matematiky

Vedúci záverečnej práce/školiteľ: Ing., Mária Karšaiová, CSc.

Bratislava 2010

Bc., Peter Danko



ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študent: **Bc. Peter Danko**
ID študenta: **25133**
Študijný program: **automatizácia a informatizácia v chémii a potravinárstve**
Študijný odbor: **5.2.14 automatizácia**
Vedúca práce: **Ing. Mária Karšaiová, CSc.**
Miesto vypracovania: **Bratislava**

Názov práce: **Riadenie technologických procesov s poruchami**

Špecifikácia zadania:

- rozvetvené regulačné obvody
- porovnanie typov rozvetvených regulačných obvodov
- popis riadených technologických procesov
- aplikácia rozvetvených regulačných obvodov


Rozsah práce: **cca 60**

Riešenie zadania práce od: **15. 02. 2010**

Dátum odovzdania práce: **22. 05. 2010**


Bc. Peter Danko
študent




prof. Ing. Miroslav Fikar, DrSc.
vedúci pracoviska


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

Pod'akovanie

*Týmto by som rád pod'akoval vedúcej mojej diplomovej práce
Ing., Márii Karšaiovej, CSc. za podnetné rady, odborné vedenie a pomoc pri spracovaní
uvedenej témy.*

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som diplomovú prácu vypracoval samostatne s využitím získaných teoretických poznatkov a s použitím uvedenej literatúry.

Bratislava, Máj 2010

.....

Podpis

Súhrn

Cieľom diplomovej práce bolo riadiť technologické procesy, na ktoré pôsobili poruchy. Ako technologický proces bol vybraný zásobník kvapaliny. Práca bola zameraná na riadenie zásobníka kvapaliny ako reálne zariadenia PCT 40 a na simuláciu riadenia zásobníkov kvapaliny v prostredí Matlab. Pri oboch riadeniach pôsobili na zásobník poruchy, v podobe zmeny tlaku v potrubí. Diplomová práca porovnáva jednoduché spätnoväzbové riadenie s riadením v rozvetvených regulačných obvodoch. Na riadenie zásobníkov kvapaliny, či už v reálnom zariadení PCT 40 alebo v simulácii riadenia bol použitý rozvetvený regulačný obvod, a to kaskádová regulácia. Súčasťou diplomovej práce bola aj kalibrácia zariadenie PCT 40.

Kľúčové slová: Zásobník kvapaliny, Jednoduché spätnoväzbové riadenie, Kaskádová regulácia.

Abstract

The aim of this thesis was to manage technological processes affected by disturbances. As process of technology has been selected liquid tank. The thesis was focused on the control of liquid tank facilities in the form of real system PCT 40 and to simulate the liquid tank control in program Matlab. For both controls the disturbances were applied to tanks as changes pressure in the pipeline. The thesis compares the simple feedback control with control of branched regulatory circuit. To control of fluid tanks as real system 40 PCT or in simulation was used branched regulatory circuit specifically cascading control. The calibration system was also one part of the diploma thesis.

Keywords: Fluid tank, simple feedback control, cascading control

Obsah

Zoznam ilustrácií	9
Zoznam tabuliek	11
Zoznam skratiek	12
Zoznam príloh	14
Úvod	15
1 Reálne zariadenie PCT 40	17
1.1 Bloková schéma zásobníka v Matlabe	19
1.1.1 Kalibrácia čerpadla	20
1.1.2 Kalibrácia snímača prietoku	21
1.1.3 Kalibrácia snímača výšky hladiny	22
1.2 Jednoduché spätnoväzbové riadenie zásobníka kvapaliny	24
1.2.1 Identifikácia systému	24
1.2.2 Návrh regulátora	26
1.2.3 Riadenie zásobníka kvapaliny	27
1.3 Rozvetvené regulačné obvody	31
1.3.1 Identifikácia a návrh P regulátora pre pomocný systém	33
1.3.2 Identifikácia a návrh PI regulátora pre hlavný regulačný obvod	36
1.3.3 Kaskádové riadenie zásobníka kvapaliny	38
1.3.4 Porovnanie výsledkov z riadení	42
2 Simulácia riadenia zásobníkov kvapaliny	44
2.1 Jednoduché spätnoväzbové riadenie zásobníkov kvapaliny	44
2.1.1 Identifikácia systému	44
2.1.2 Návrh PI regulátora	47
2.1.3 Simulácia riadenia zásobníkov kvapaliny	47
2.2 Kaskádové riadenie zásobníkov kvapaliny	49
2.2.1 Identifikácia a návrh P regulátora pre pomocný systém	49
2.2.2 Identifikácia a návrh PI regulátora pre hlavný obvod	51
2.2.3 Simulácia kaskádového riadenia zásobníkov kvapaliny	53
2.2.4 Porovnanie výsledkov z riadení	55
Záver	57
Zoznam použitej literatúry	59

Zoznam ilustrácií

Obr. 1	Zariadenie PCT 40	17
Obr. 2	Zásobník kvapaliny	18
Obr. 3	Bloková schéma zariadenia PCT 40 v Matlabe	19
Obr. 4	Zjednodušená bloková schéma pre zásobník kvapaliny	20
Obr. 5	Prevodová charakteristika pre čerpadlo kvapaliny	21
Obr. 6	Prevodová charakteristika pre snímač prietoku	22
Obr. 7	Prevodová charakteristika pre snímač výšky hladiny	23
Obr. 8	Schéma jednoduchého spätnoväzbového obvodu.....	24
Obr. 9	Skoková zmena výkonu čerpadla z hodnoty 50 na 55 [%].....	25
Obr. 10	Porovnanie nelineárneho modelu a identifikovaného prenosu	25
Obr. 11	Schéma riadenia zásobníka kvapaliny	27
Obr. 12	Riadenie zásobníka PI regulátorom navrhnutého MPS URO.....	28
Obr. 13	Akčný zásah PI regulátora navrhnutého metódou MPS URO.....	28
Obr. 14	Prietok kvapaliny po akčných zásahoch PI regulátora	29
Obr. 15	Riadenie zásobníka PI regulátorom navrhnutého ZNM	30
Obr. 16	Akčný zásah regulátora navrhnutého ZNM.....	30
Obr. 17	Prietok kvapaliny po akčných zásahoch PI regulátora	31
Obr. 18	Skoková zmena výkonu čerpadla z hodnoty 50 na 55 [%].....	34
Obr. 19	Porovnanie nelineárneho modelu a identifikovaného prenosu	35
Obr. 20	Schéma pre identifikáciu hlavného regulačného obvodu	36
Obr. 21	PCH po skokovej zmene prietoku	36
Obr. 22	Porovnanie nelineárneho modelu a identifikovaného prenosu	37
Obr. 23	Schéma kaskádového riadenia zásobníka kvapaliny	38
Obr. 24	Kaskádové riadenie zásobníka PI regulátorom navrhnutého MPS URO	39
Obr. 25	Akčný zásah PI regulátora navrhnutého MPS URO.....	39
Obr. 26	Akčný zásah P regulátora navrhnutého ZNM.....	40
Obr. 27	Kaskádové riadenie zásobníka PI regulátorom navrhnutého ZNM.....	41
Obr. 28	Akčný zásah PI regulátora navrhnutého ZNM	41
Obr. 29	Akčný zásah P regulátora navrhnutého ZNM.....	42
Obr. 30	Schéma pre identifikáciu zásobníka kvapaliny.....	45
Obr. 31	Skoková zmena otvorenia ventilu z hodnoty 40 na 60 [%]	45
Obr. 32	Porovnanie nelineárneho modelu a identifikovaného prenosu	46

Obr. 33	Schéma pre simuláciu riadenia zásobníkov kvapaliny	47
Obr. 34	Simulácia riadenia PI regulátorom	48
Obr. 35	Akčný zásah PI regulátora navrhnutého ZNM	48
Obr. 36	Schéma pre identifikáciu pomocného systému.....	49
Obr. 37	Skoková zmena otvorenia ventilu z hodnoty 40 na 60 [%]	50
Obr. 38	Porovnanie nelineárneho modelu a identifikovaného prenosu	50
Obr. 39	Schéma pre identifikáciu hlavného regulačného obvodu	51
Obr. 40	Výška hladiny po skokovej zmene prietoku z hodnoty 1 na 1.25 [m ³ /min]	52
Obr. 41	Porovnanie nelineárneho modelu a identifikovaného prenosu	52
Obr. 42	Schéma pre simuláciu kaskádového riadenia zásobníkov kvapaliny	54
Obr. 43	Simulácia kaskádového riadenia zásobníkov kvapaliny.....	54
Obr. 44	Akčný zásah PI regulátora	55

Zoznam tabuliek

Tab. 1	Kalibrácia čerpadla kvapaliny.....	20
Tab. 2	Kalibrácia snímača prietoku	21
Tab. 3	Kalibrácia snímača výšky hladiny	23
Tab. 4	Tabuľka vypočítaných hodnôt PI regulátorov	27
Tab. 5	Tabuľka vypočítaných hodnôt PI regulátorov pre kaskádové riadenie	38
Tab. 6	Tabuľka s výslednými hodnotami z riadení.....	43

Zoznam skratiek

q - prietok kvapaliny [cm^3/s]

t - čas pri reálnom zariadení PCT 40 [s]

t - čas pri simulácii riadenia zásobníka kvapaliny [min]

w - žiadaná veličina

P - proporcionálny regulátor

D - dopravné oneskorenie

R - regulátor

F - regulovaná sústava

E - odchýlka

T - časová konštanta

Z - zosilnenie regulovaného systému

$G_{(s)}$ - výsledný prenos z identifikácie

Y - výstup regulovanej veličiny

Q - výkon čerpadla [V]

H - výška hladiny [mm]

$G_R(s)$ - prenos regulátora

$G_H(s)$ - prenos hlavného regulačného obvodu

$G_P(s)$ - prenos pomocného regulačného obvodu

$Ov(s)$ - otvorenie ventilu

Tu - čas priet'ahu

Tn - čas nábehu

Zr - proporcionálna konštanta regulátora

Ti - integračná časová konštanta regulátora

Td - derivačná časová konštanta regulátora

PI - proporcionálno-integračný regulátor

PID - proporcionálno-integračno-derivačný regulátor

URO- uzavretý regulačný obvod

TRO- trvalá regulačná odchýlka

PCH- prechodová charakteristika

ZNM- návrh regulátora Ziegler-Nichols metódou

JSOR- jednoduchý spätnoväzbový obvod riadenia

MPS URO- návrh regulátora metóda priamej syntézy s použitím aproximovaného URO

Zoznam príloh

Príloha A: CD médium – práca v elektronickej podobe

Úvod

V prípade výskytu porúch alebo pri riadení zložitých systémov je ťažké dosiahnuť požadovaný výsledok použitím len jednoduchých spätnoväzbových regulačných obvodov. Lepším riešením je použitie rozvetvených regulačných obvodov napr. použitie kaskádovej regulácie. Použitím rozvetveného regulačného obvodu sa zvyšuje stabilita systému. Poruchové veličiny, ktoré pôsobia na systém môžeme, potom lepšie kompenzovať a dosiahnuté výsledky z riadenia oveľa viac zodpovedajú požiadavkám kladeným na systém. Diplomová práca je rozdelená na dve hlavné kapitoly, v ktorých prvá sa venuje riadeniu reálneho zásobníka kvapaliny a druhá simulácii riadenia zásobníkov kvapaliny.

Prvá časť sa zaoberá riadením zásobníka kvapaliny v podobe reálneho zariadenia PCT 40. V priebehu riadenia pôsobili na zariadenie poruchy v podobe zmeny tlaku v prívodnom potrubí. V úvode práce je opísané zariadenie PCT 40, jeho hlavné časti a súčasti, podkapitoly bližšie opisujú postup pri kalibrácii zariadenia PCT 40. Prvá kapitola pokračuje riadením zásobníka kvapaliny jednoduchým spätnoväzbovým obvodom. Samotné riadenie predchádzala identifikácia systému a návrh PI regulátora. V druhej časti prvej kapitoly sú bližšie charakterizované rozvetvené regulačné obvody, najviac kaskádová regulácia, ktorá bola hlavnou témou diplomovej práce. Pri kaskádovom riadení sú podkapitoly venované aj identifikácii a návrhu P regulátora pre pomocný systém a identifikácii a návrhu PI regulátora pre hlavný obvod. Implementácia kaskádového riadenia na reálne zariadenie PCT 40, konkrétne na zásobník kvapaliny tvorí záver prvej kapitoly. Posledná podkapitola prvej kapitoly je venovaná porovnaniu výsledkov z riadení, teda z riadenia v jednoduchom spätnoväzbovom obvode a riadenia v kaskádovom zapojení.

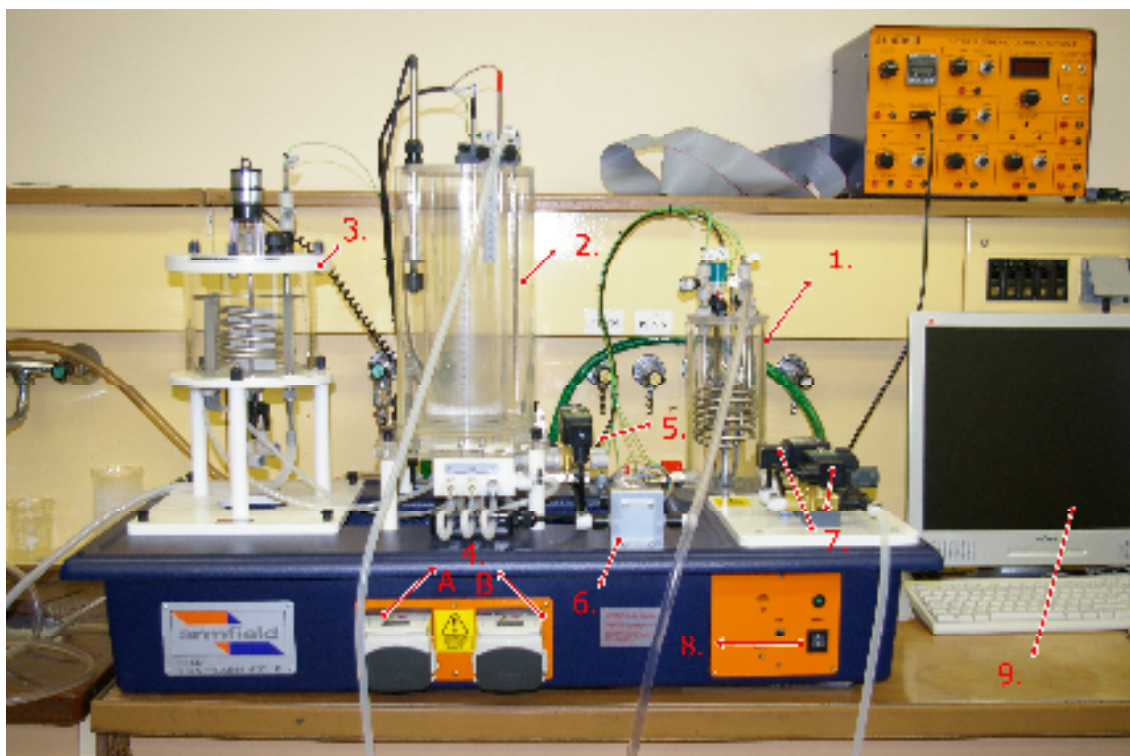
V druhej kapitole bola simulované riadenie zásobníkov kvapaliny, na ktoré počas riadenia vplývali poruchy. V podkapitolách je rozpísaná identifikácia, návrh regulátora a podmienky a kroky, ktoré predchádzali samotnej simulácii riadenia. Riadenie bolo simulované najprv v jednoduchom spätnoväzbovom obvode, potom v kaskádovom zapojení. Pričom pri kaskádovom riadení je opísaný v práci aj postup pre identifikáciu

a návrh P regulátor pre pomocný obvod, či PI regulátor pre hlavný regulačný obvod. Výsledky z riadení v jednoduchom a kaskádového riadenia sú zhrnuté v poslednej podkapitole tejto druhej časti diplomovej práce.

Cieľom diplomovej práce bolo riadiť technologické procesy, na ktoré pôsobili poruchy. Z množstva technologických procesov, ktoré boli k dispozícii, bol vybraní zásobník kvapaliny. Zásobník kvapaliny bol pre porovnanie riadený najprv ako reálny proces v podobe zariadenia PCT 40 a neskôr v podobe simulácii riadenia sústavy troch zásobníkov. V priebehu riadení pôsobili na zariadenia poruchy, ktoré bolo potrebné kompenzovať. Pre reálne zariadenie ako aj simuláciu riadenia boli použité najprv jednoduché spätnoväzbové obvody, a potom pre porovnanie kaskádové regulácie. Výsledky a závery z riadení tvoria koniec diplomovej práce.

1 Reálne zariadenie PCT 40

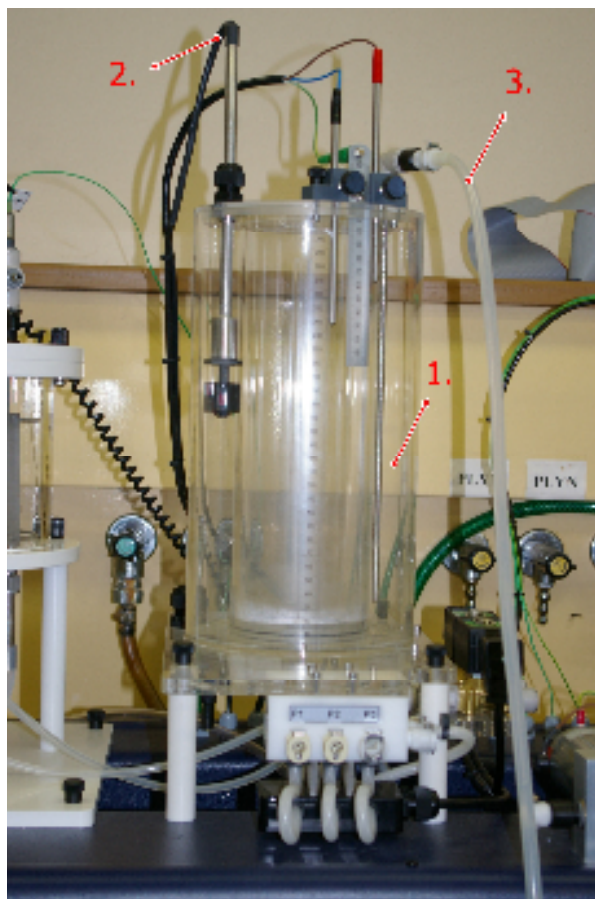
Riadený bol zásobník kvapaliny, ktorý bol súčasťou zariadenia s názvom PCT 40. Zariadenie PCT 40 obsahovalo okrem zásobníka kvapaliny aj chemický reaktor a výmenník tepla. Úlohou bolo zoznámiť sa so zariadením, urobiť kalibráciu zariadenia v správnych jednotkách a neskôr navrhnúť a porovnať dva typy riadenia. Konkrétne bolo porovnané jednoduché spätnoväzbové riadenie s kaskádovým riadením. Zariadenie PCT 40 pracovalo v prepojení s programom Matlab.



Obr. 1 Zariadenie PCT 40

Zariadenia PCT 40 obsahovalo tri hlavné časti výmenník tepla (1.), zásobníka kvapaliny (2.) a chemický reaktor (3.). Ďalšie časti zariadenia boli dve čerpadlá A a B (4.), dva výpustné ventily (5.), čerpadlo z ohrevom kvapaliny (6.) a dva solenoidové ventily (7.). Vypínač na zapínanie a vypínanie zariadenia (8.) sa nachádzal v pravom dolnom rohu, komunikáciu zo zariadením zabezpečoval počítač (9.).

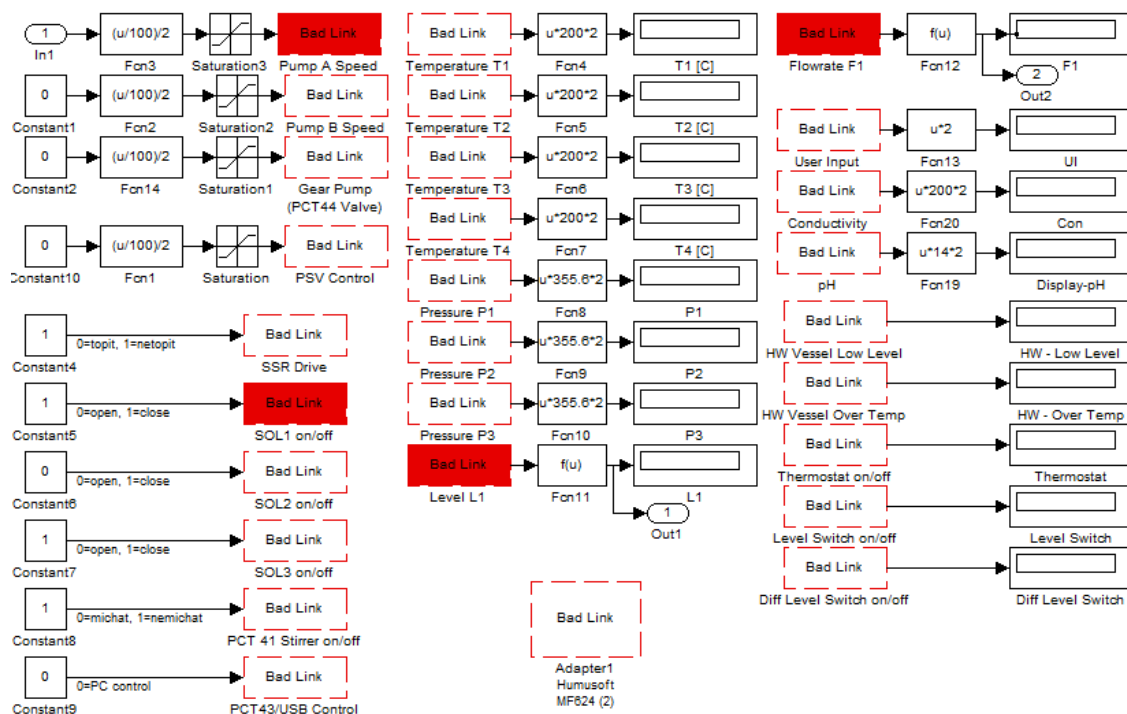
Zásobník kvapaliny a jeho časti je zobrazený na Obr.2. Prívod kvapaliny sa nachádzal za zásobníkom. Kvapalinu do zásobníka (1.) prečerpávalo čerpadlo A. Prítok kvapaliny (3) sa nachádzal v hornej časti zásobníka, na snímanie hladiny bol použitý hydraulický snímač výšky hladiny (2.).



Obr. 2 Zásobník kvapaliny

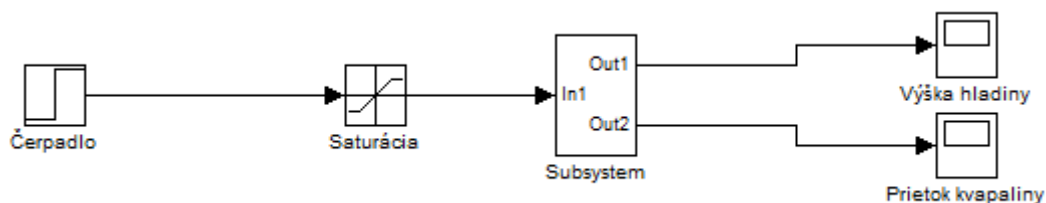
1.1 Bloková schéma zásobníka v Matlabe

Na komunikáciu medzi zásobníkom a počítačom bol použitý program Matlab. Bloková schéma bola zhotovená pre celé zariadenie PCT 40. Pre riadenie zásobníka kvapaliny boli použité iba vybrané časti, ktoré sú na Obr.3 zvýraznené farebne.



Obr. 3 Bloková schéma zariadenia PCT 40 v Matlabe

Išlo o ovládanie čerpadla v schéme „Pump A speed“, sledovanie výšky hladiny v schéme „Level L1“, sledovanie prietoku v schéme „Flowrate F1“ a riadenie výpustu kvapaliny v schéme „SOL1 on/off“. V blokovej schéme sme pre naše riadenie museli upraviť prepočtové vzorce a zariadenie nakalibrovať. Kalibrácia bola robená experimentálne za použitia regresných metód pre všetky používané zariadenie zo schémy, reálneho zásobníka. Na odvod kvapaliny zo zásobníka bol použitý jeden solenoidový ventil a jeden ručný ventil, ktorý bol v priebehu celého merania konštantne otvorený. Pre zjednodušenie blokovej schémy pre celé zariadenie PCT 40 bol vytvorený jeden subsystém, ktorý bol ďalej používaný na návrh regulátorov a samotné riadenie.



Obr. 4 Zjednodušená bloková schéma pre zásobník kvapaliny

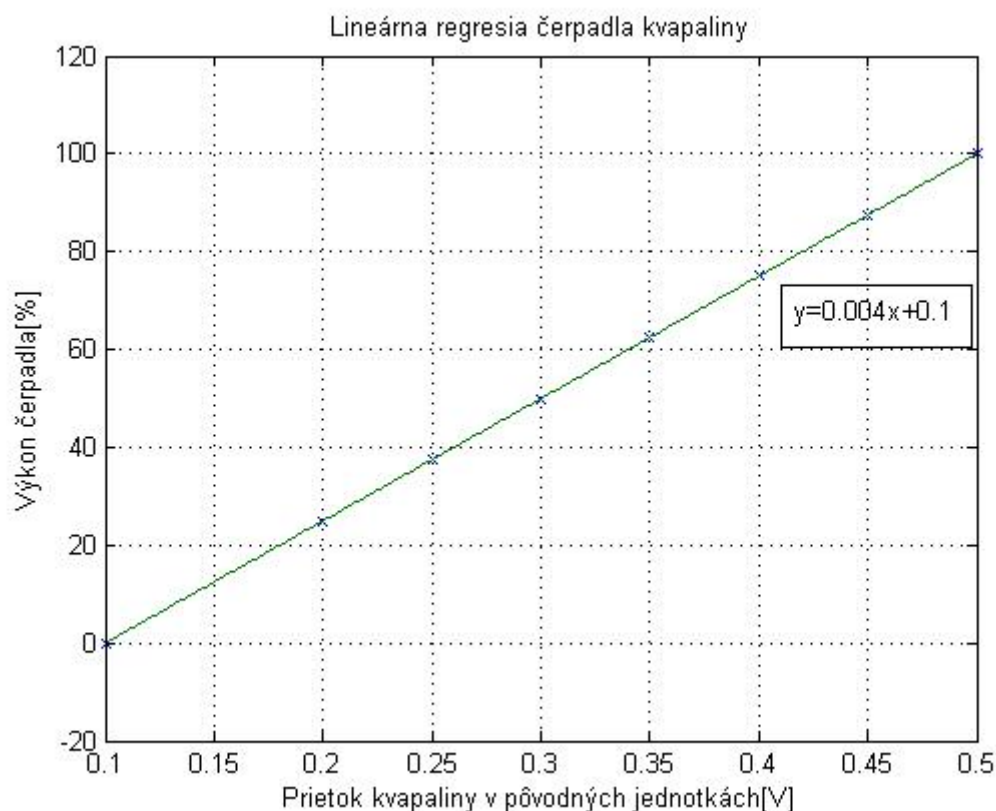
1.1.1 Kalibrácia čerpadla

Čerpadlo v našom prípade ako akčnú veličinu sme nakalibrovali ako prvú. Pôvodne čerpadlo pracovalo v rozmedzí vstupných hodnôt od 0 po 0.5, čerpadlo sme chceli nakalibrovať, aby pracovalo v rozmedzí 0-100% svojho výkonu.

Tab. 1 Kalibrácia čerpadla kvapaliny

Prietok [V]	0	0,10	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
Čerpadlo [%]	0	0,0	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0

Pri experimentálnych meraniach sme pri zmenách výkonu čerpadla [%] sledovali na výstupe hodnoty zo snímača prietoku, ktoré boli v pôvodných jednotkách [V]. Lineárnou regresiou týchto veličín sme vypočítali výslednú rovnicu priamky, ktorá bola v tvare $y = 0,004x + 0,1$. Pričom y predstavovalo výkon čerpadla [%] a x prietok kvapaliny v pôvodných jednotkách [V].



Obr. 5 Prevodová charakteristika pre čerpadlo kvapaliny

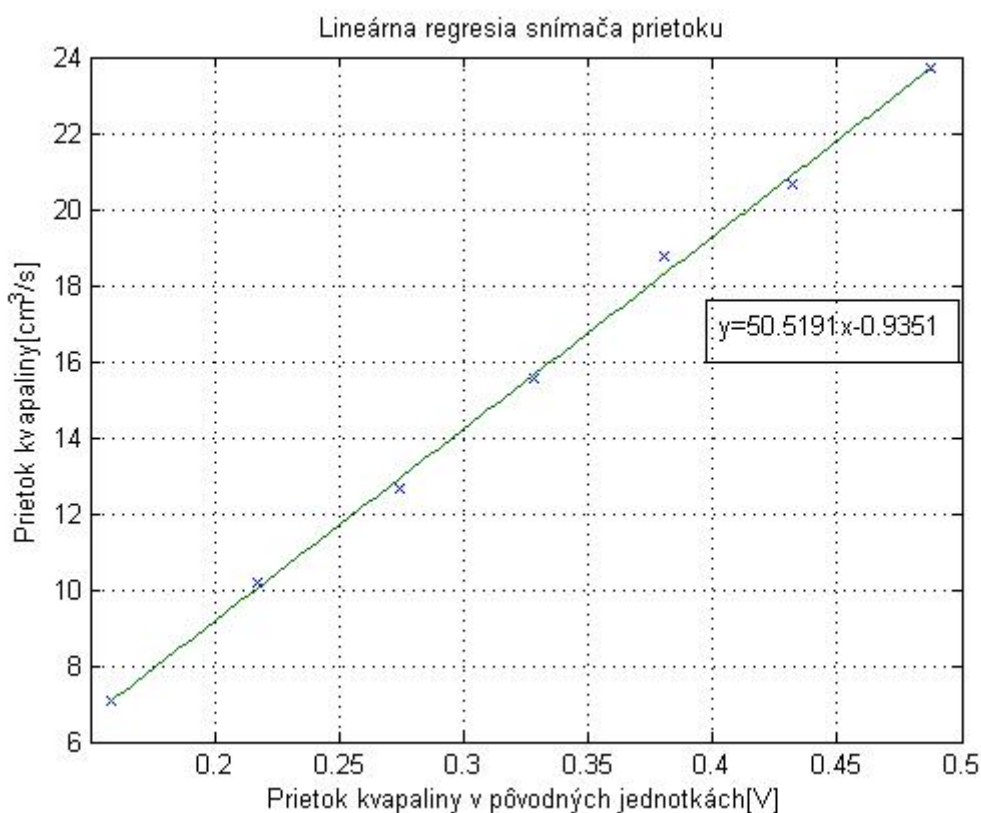
1.1.2 Kalibrácia snímača prietoku

Výstupné hodnoty zo snímača prietoku boli vo voltoch, preto sme snímač prietoku museli nakalibrovať, tak aby výstupné hodnoty boli v [cm³/s]. Na spracovanie experimentálne nameraných dát sme použili regresné metódy, v Matlabe príkaz polyfit.

Tab. 2 Kalibrácia snímača prietoku

Prietok [V]	0,1583	0,2174	0,2744	0,3285	0,3808	0,4317	0,4876
Čerpadlo [%]	40	50	60	70	80	90	100
Čas [s]	18,32	12,69	10,50	8,55	6,80	6,50	5,49
	19,17	13,41	10,48	8,60	7,10	6,46	5,52
	18,75	13,11	10,53	8,47	7,18	6,49	5,55
	18,49	12,79	10,58	8,90	7,02	6,35	5,75
	19,28	13,46	10,55	8,42	7,09	6,50	5,60
	19,09	13,26	10,53	8,51	7,39	6,45	5,86
Priemer časov [s]	18,85	13,12	10,53	8,58	7,10	6,46	5,63
Prietok[cm ³ /s]	7,0734	10,1626	12,6642	15,5491	18,7882	20,6452	23,6897

Pri zmene výkonu čerpadla sme porovnávali skutočný objemový prietok, teda objem, ktorý natiekol do zásobníka za určitý čas a údaje o prietoku, ktoré nám poskytoval snímač v pôvodných jednotkách [V]. Rovnica priamky pre prepočet na cm^3/s bola v tvare $y = 50.5191x - 0.9351$. Pričom y predstavovalo prietok kvapaliny cm^3/s , x prietok kvapaliny v pôvodných jednotkách [V]. Rovnicu priamky sme použili v bloku „FCN 12“ v schéme pre celé zariadenie PCT 40, konkrétne pre snímač prietoku „Flowrate F1“.



Obr. 6 Prevodová charakteristika pre snímač prietoku

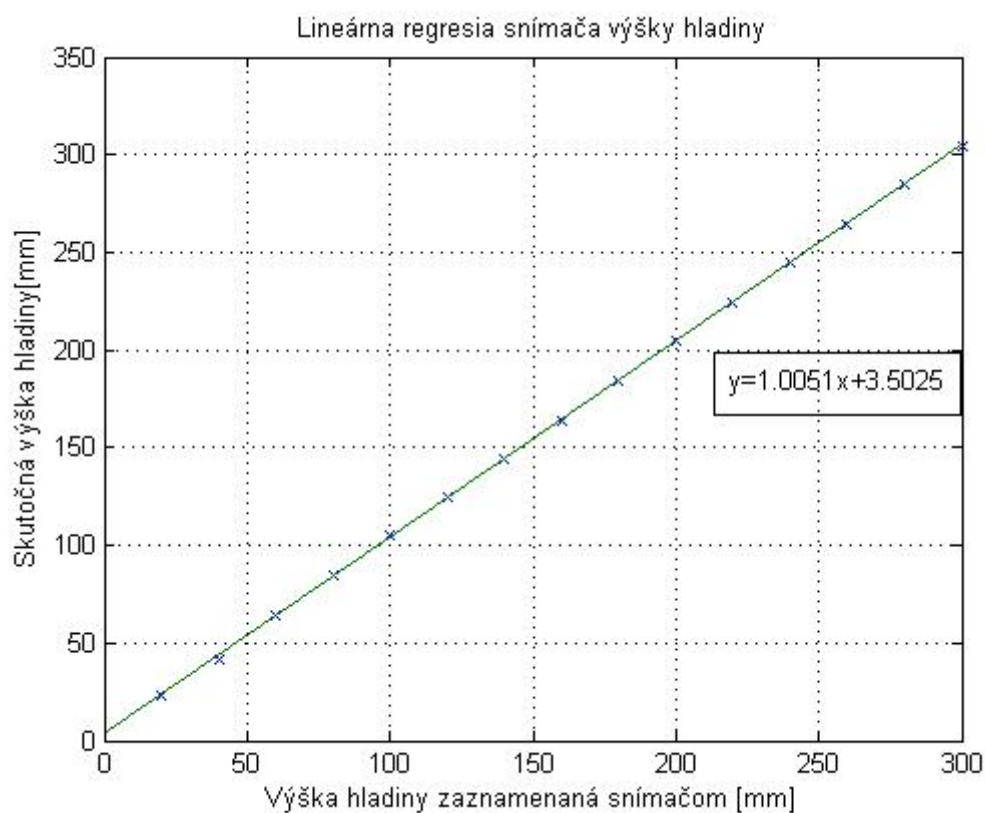
1.1.3 Kalibrácia snímača výšky hladiny

Hodnoty zobrazované snímačom hladiny sa odlišovali od skutočných, preto bolo potrebné snímač hladiny správne nakalibrovať. Na spracovanie nameraných údajov sme použili lineárnu regresiu v Matlabe príkazom `polyfit`.

Tab. 3 Kalibrácia snímača výšky hladiny

Skutočná výška hladiny[mm]	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
	23,95	41,75	64,16	84,78	104,60	124,40	144,40	163,70	184,10	204,50
	22,27	41,67	64,01	84,59	106,90	124,60	144,40	164,00	184,10	204,90
	23,29	42,19	63,90	84,16	104,90	124,80	144,70	164,10	184,10	204,90
	23,95	42,48	63,57	84,30	104,50	124,30	144,70	164,60	184,10	204,60
	23,07	42,19	64,38	84,52	105,00	124,40	144,40	164,50	184,50	204,90
Nameraná výška Hladina [mm]	23,31	42,06	64,01	84,47	105,18	124,50	144,52	164,18	184,18	204,76

Medzi nameranou výškou hladiny a skutočnou výškou hladiny sme urobili lineárnu regresiu. Výsledná rovnica priamky pre kalibráciu výšky hladiny bola v tvare $y=1.0051x+3.5025$. Pričom y bola skutočná výška hladiny [mm], x pôvodná nameraná výška hladiny [mm]. Rovnicu priamky sme použili v bloku „FCN 11“ v schéme pre celé zariadenie PCT 40, pre snímač výšky hladiny „Level L1“.

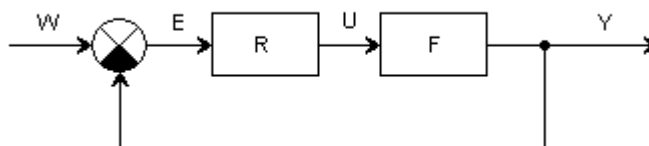


Obr. 7 Prevodová charakteristika pre snímač výšky hladiny

1.2 Jednoduché spätnoväzbové riadenie zásobníka kvapaliny

Úlohou regulačných obvodov v automatických systémoch je udržiavanie dôležitých technologických premenných pri pôsobení rôznych porúch na požadovaných hodnotách. Regulácia znižuje vplyv týchto porúch tak, že odchýlka regulovanej technologickej premennej od jej žiadanej hodnoty pôsobí spätne na akčnú technologickú premennú, čoho následkom je zmenšenie odchýlky. [1]

Schéma jednoduchého spätnoväzbového obvodu má tvar Obr.8.



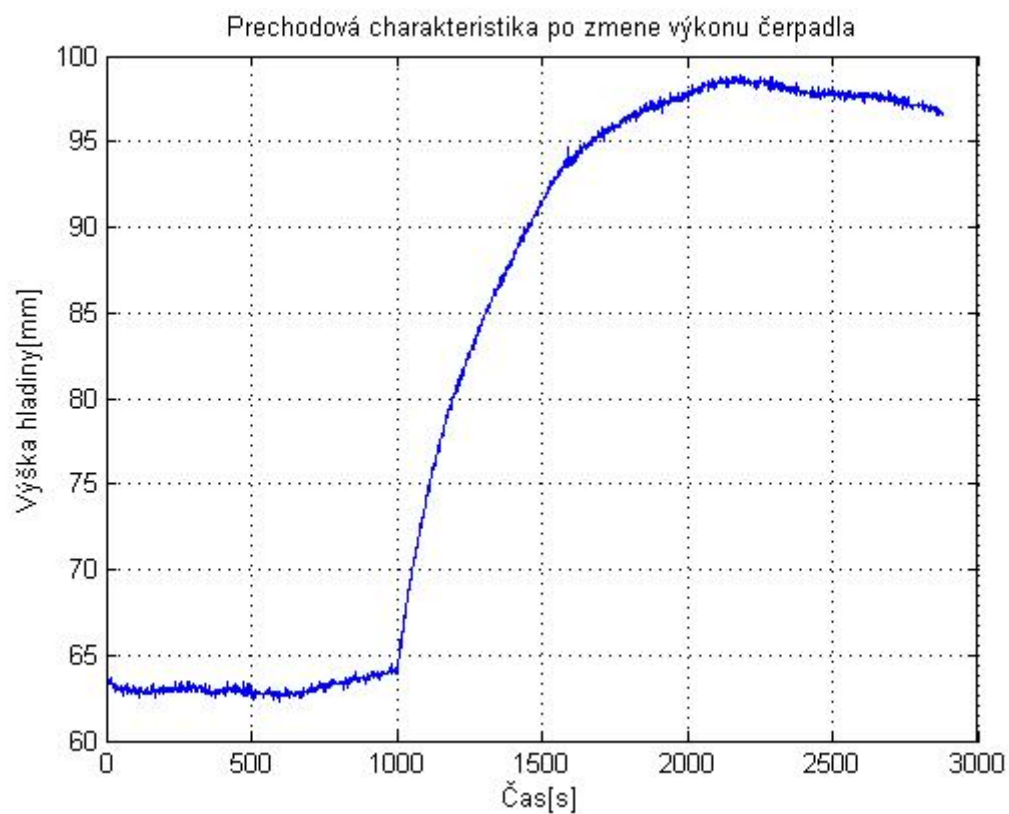
Obr. 8 Schéma jednoduchého spätnoväzbového obvodu

Pričom R bol regulátor, F regulovanú sústavu. Regulačná odchýlka bola E, žiadaná veličina w , výstup v podobe regulovanej veličiny mal označenie Y.

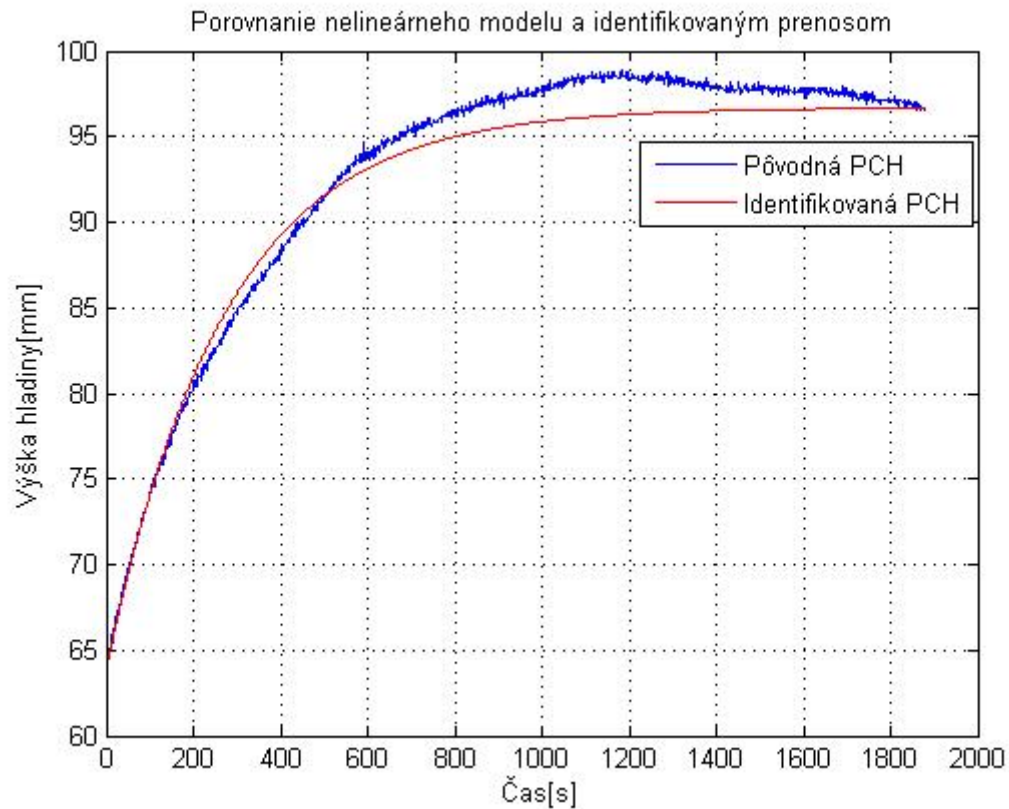
Úlohou bolo riadiť zásobník kvapaliny v jednoduchom spätnoväzbovom zapojení. Riadenou veličinou bola výška hladiny v zásobníku, riadiacou veličinou bol výkon čerpadla. Zásobník kvapaliny bolo potrebné riadiť s presnosťou $\pm 5\text{mm}$, čo bolo zvolené delta okolie. Pri riadení pôsobili na zásobník poruchy v podobe zmeny tlaku kvapaliny v prívodnom potrubí.

1.2.1 Identifikácia systému

Výstupnou veličinou pri identifikácii bola výška hladiny. Skoková zmena výkonu čerpadla [%] bola v čase $t_0=1000$ z hodnoty 50 na hodnotu 55. Ustálená výška hladiny pri výkone čerpadla na 50 % mala hodnotu 63.8 [mm]. Zásobník kvapaliny ako reálne zariadenie PCT 40, bol identifikovaný ako systém prvého rádu bez dopravného oneskorenia.



Obr. 9 Skoková zmena výkonu čerpadla z hodnoty 50 na 55 [%]



Obr. 10 Porovnanie nelineárneho modelu a identifikovaného prenosu

Na výstupe bola sledovaná výšky hladiny v zásobníku. Na identifikáciu bolo použité programové vybavenie START. Program START pracoval na princípe spracovanie dát v rôznych formátoch. Použitá bola možnosť, pri ktorej program spracoval dáta vo formáte textového súboru. Pri identifikácii bolo potrebné len načítať daný dátový súbor v programe a zadať čas skokovej zmeny a veľkosť skokovej zmeny (Δu). Po zadaní týchto dvoch údajov program vykreslil prechodovú charakteristiku, s ktorou programom START ďalej pracoval. Po vykreslení prechodovej charakteristiky boli dáta vyfiltrované a zásobník identifikovaný. Program automaticky vykreslil prechodovú charakteristiku a porovnal pôvodný nelineárny model zásobníka kvapaliny a identifikovaný prenos. Po identifikovaní program zobrazil model systému a navrhol možnosť syntézy regulátora. Program ponúkol možnosť si vybrať, či bude pre návrh regulátora použitá experimentálna alebo analytická metóda.

Zásobník bol identifikovaný ako systém prvého rádu, bez dopravného oneskorenia s hodnotou zosilnenia $Z=6.535$ a časovou konštantou $T=270.8364$.

Výsledný identifikovaný prenos bol v tvare:

$$G(s) = \frac{H(s)}{Q(s)} \quad (1)$$

$$G(s) = \frac{6.535}{270.8364s + 1} \quad (2)$$

1.2.2 Návrh regulátora

Na návrh regulátorov bolo použité taktiež programové vybavenie START. Boli navrhnuté dva PI regulátory dvoma rozdielnymi metódami. Prvou použitou metódou bola metóda priamej syntézy s použitím aproximovaného modelu URO, druhou Ziegler-Nichols metóda. Vypočítané hodnoty ZR a TI:

Tab. 4 Tabuľka vypočítaných hodnôt PI regulátorov

Použitá metóda	Zr	Ti
Met. priamej syntézy s použitím aproximovaného URO (skratka MPS URO)	3.30	270.84
Ziegler-Nichols metóda (skratka ZNM)	4.94	5.03

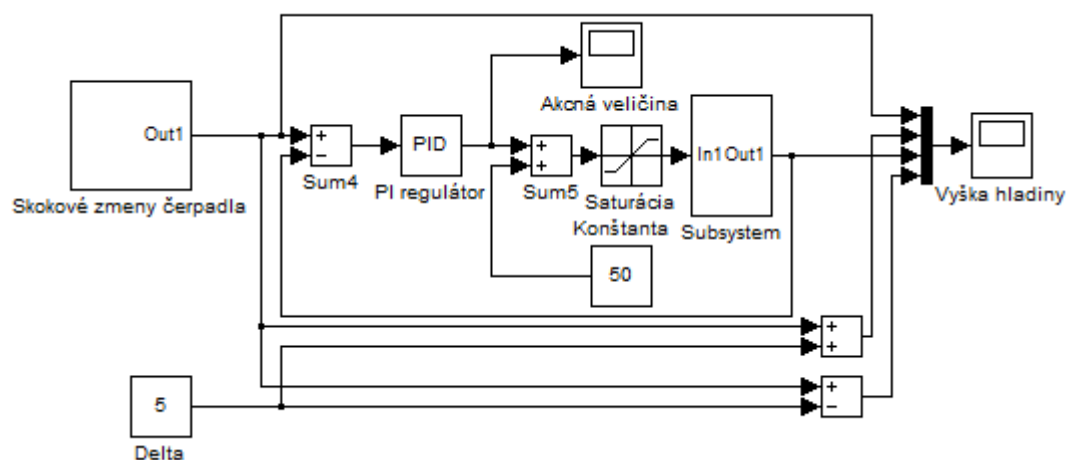
Výsledné prenosy regulátorov:

- Prenos regulátora navrhnutého MPS URO: $G_R(s) = 3.30 \left(1 + \frac{1}{270.84s} \right)$ (3)

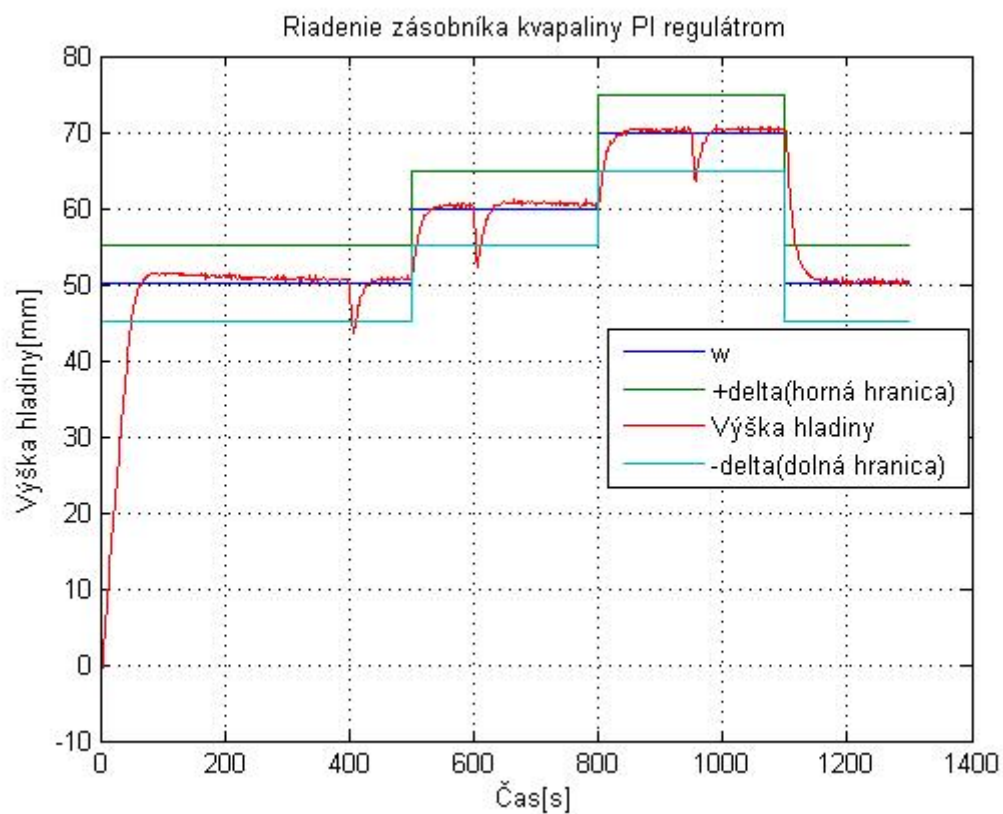
- Prenos regulátora navrhnutého ZNM: $G_R(s) = 4.94 \left(1 + \frac{1}{5.03s} \right)$ (4)

1.2.3 Riadenie zásobníka kvapaliny

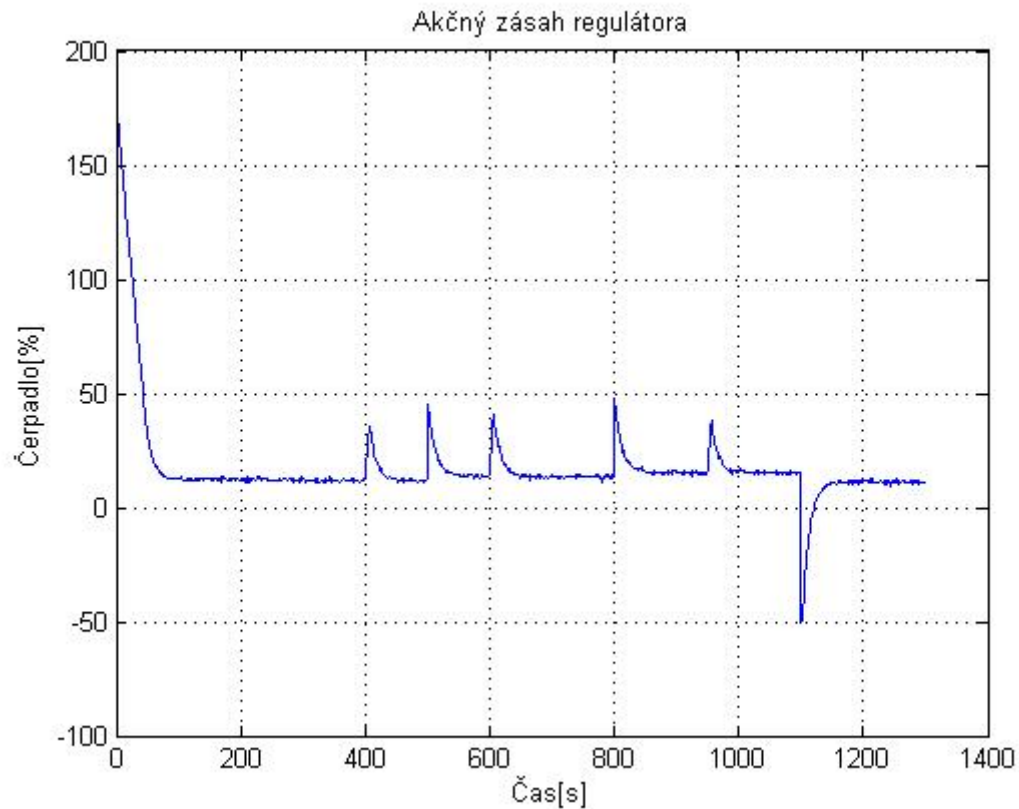
Na riadenie v JSOR boli použité navrhnuté PI regulátory. Žiadaná výška hladiny sa menila v časoch $t_1=500$ [s] z hodnoty 50 na 60 [mm], $t_2=800$ [s] z hodnoty 60 na 70 [mm] a v čase $t_3=1100$ [s] z hodnoty 70 na 50 [mm]. Zvolené delta okolie bolo 5 mm. Porucha v podobe zmeny tlaku kvapaliny v prívodnom potrubí do zásobníka bola v časoch $t=400, 600, 950$ [s].



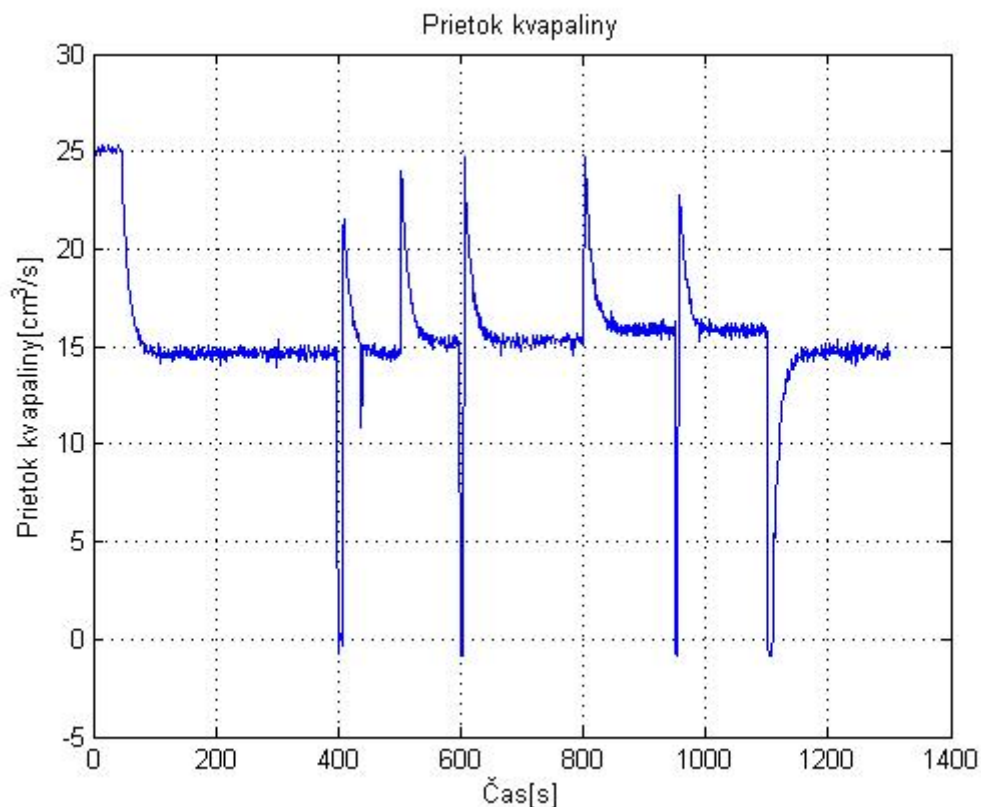
Obr. 11 Schéma riadenia zásobníka kvapaliny



Obr. 12 Riadenie zásobníka PI regulátorom navrhnutého MPS URO

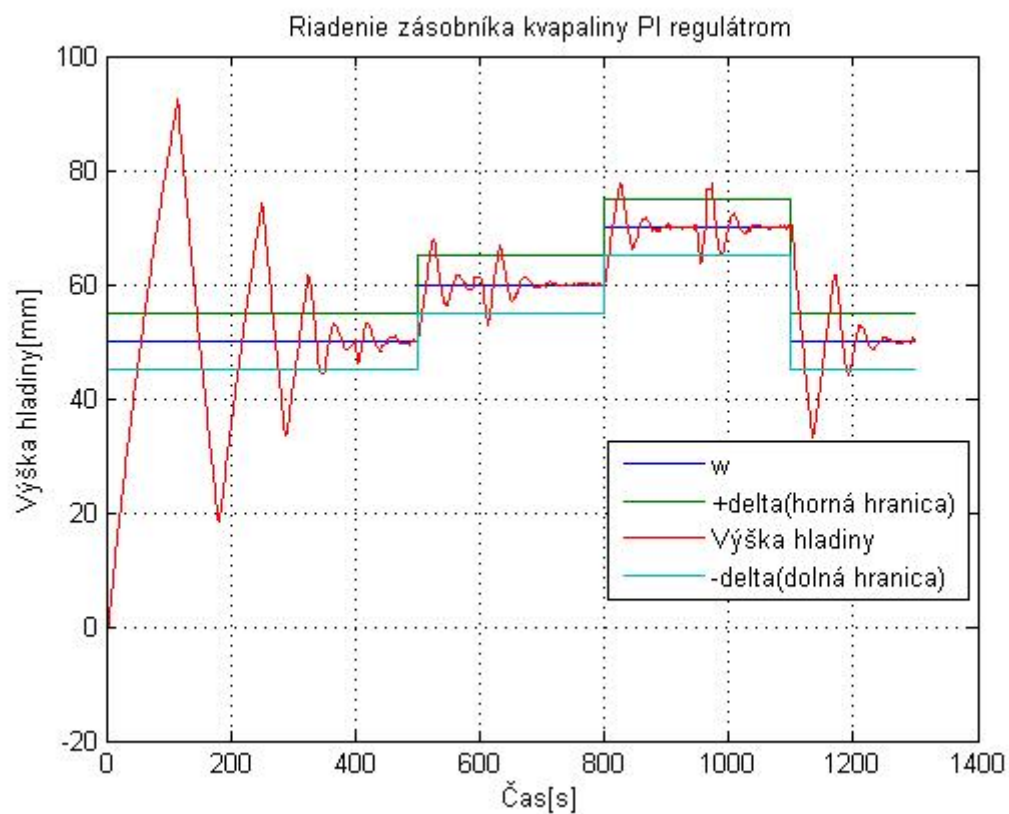


Obr. 13 Akčný zásah PI regulátora navrhnutého metódou MPS URO

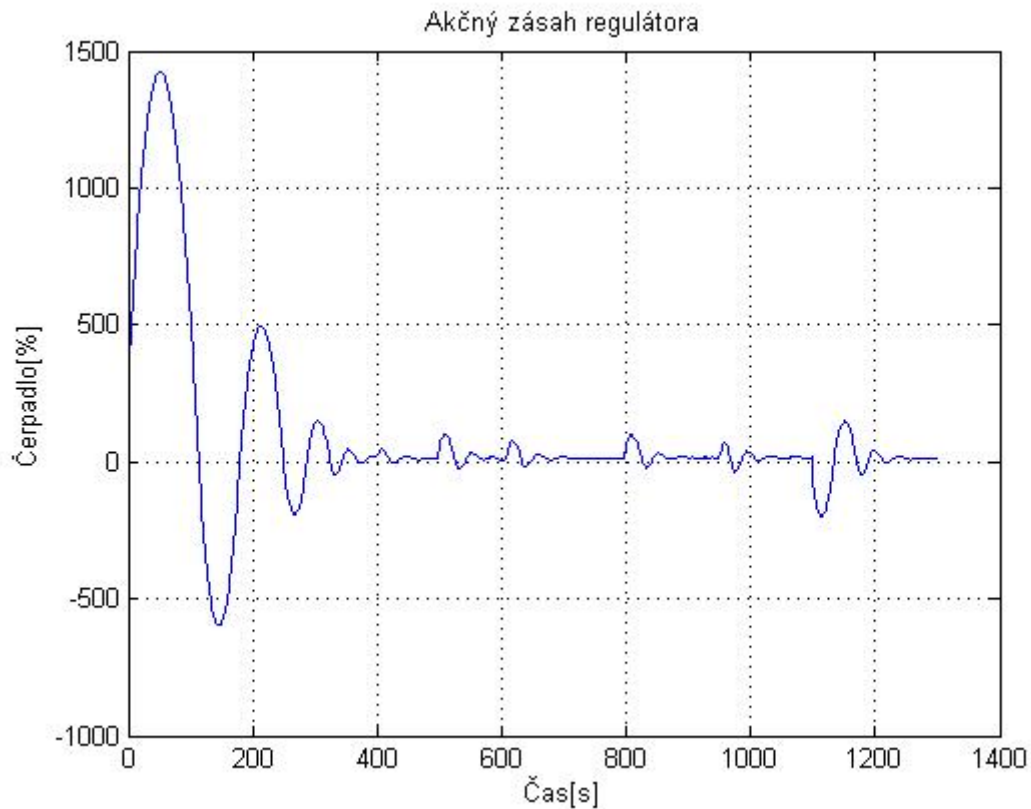


Obr. 14 Prietok kvapaliny po akčných zásahoch PI regulátora

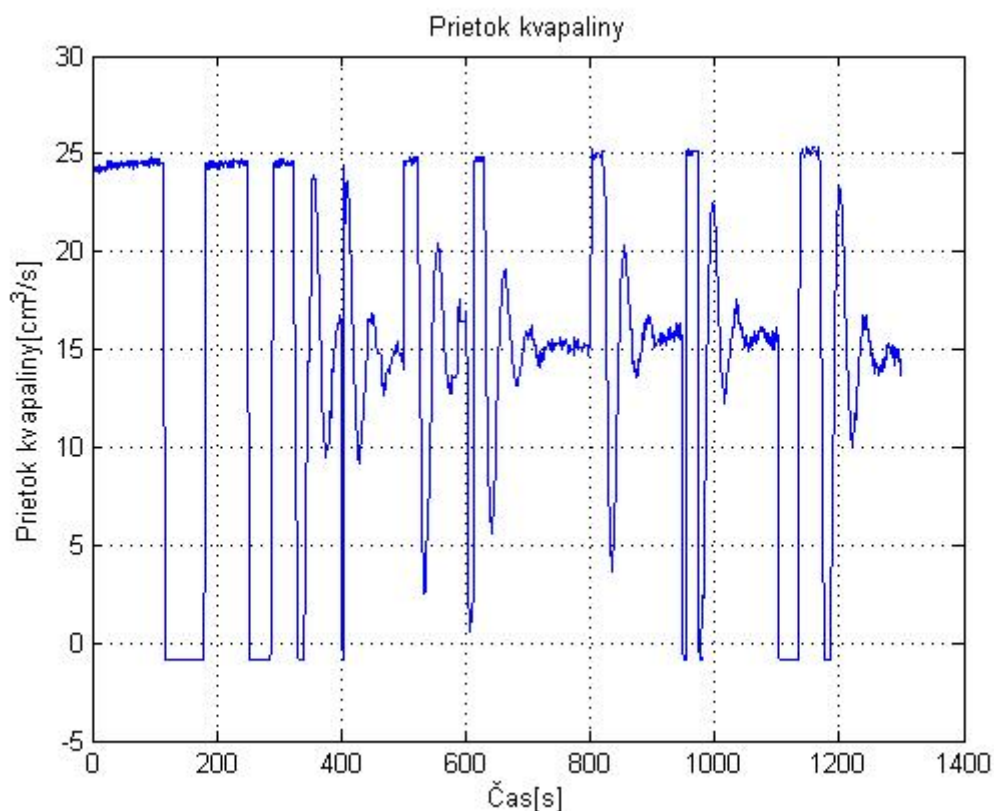
Pri riadení regulátorom, ktorý bol navrhnutý metódou priamej syntézy s použitím aproximovaného URO (MPS URO), sa pri každej skokovej zmene výšky hladina kvapalina ustálila na žiadanej hodnote. Pri pôsobení porúch v jednotlivých časoch sa riadená výška hladiny dostala zakaždým mimo zvoleného delta okolia, ktoré bolo v rozmedzí ± 5 mm. Čas regulácie bol pri jednotlivých skokoch žiadanej veličiny rôzny. Riadenie na hodnotu výšky hladiny 50 [mm] trvalo 50 [s], pri prvej skokovej zmene bol čas regulácie 10 [s], pri druhej bol čas regulácie 10 [s], pri poslednej skokovej zmene bol čas regulácie 22 [s].



Obr. 15 Riadenie zásobníka PI regulátorom navrhnutého ZNM



Obr. 16 Akčný zásah regulátora navrhnutého ZNM



Obr. 17 Prietok kvapaliny po akčných zásahoch PI regulátora

Riadenie regulátorom, ktorý bol navrhnutý Ziegler-Nichols metódou (ZNM) nezodpovedalo našim požiadavkám. Pri pôsobení porúch sa riadená veličina dostala stále mimo nášho zvoleného delta okolia, ktoré bolo v rozmedzí ± 5 mm. Pri skokových zmenách žiadanej veličiny, sa riadená výška hladiny stále dostala mimo nášho zvoleného okolia, časy regulácie boli pri jednotlivých skokoch rôzne. Čas regulácie na hodnotu 50 [mm] predstavoval 352 [s], čas regulácie pri prvej skokovej zmene bol 31[s], pri druhej skokovej zmene bol čas riadenia 31 [s], pri poslednej bol čas riadenia 95[s].

1.3 Rozvetvené regulačné obvody

Nie všetky problémy riadenia v praxi sa dajú vyriešiť jednoduchými regulačnými obvodmi. Ide o problémy spôsobené výskytom porúch a problémy spôsobené veľkými dopravným oneskorením. Tieto problémy možno riešiť pomocou rozvetvených

(viacsľučkových) regulačných obvodov. Takéto obvody okrem základného späťoväzbového obvodu riadenia obsahujú ešte:

- Obvod s pomocnou riadenou veličinou
- Obvod s doprednou kompenzáciou poruchy
- Priamu väzbu
- Obvod s kompenzáciou dopravného oneskorenia [2]

Rozvetvený regulačný obvod je definovaný ako také spojenie regulovanej sústavy a regulátora, kde sa na vstup regulátora privádza okrem regulovanej a riadiacej veličiny ešte jedna alebo viac pomocných veličín získaných meraním, alebo kde z regulátora vystupuje niekoľko akčných veličín. Rozdiel medzi jednoduchým a rozvetveným regulačným obvodom je teda v tom, že rozvetvený regulačný obvod obsahuje viac ako jednu uzavretú cestu šírenia signálu. [3]

Riadenie s pomocnou riadenou veličinou, inak povedané kaskádová regulácia. Spôsob riadenia spočíva v rozdelení regulačného obvodu na dve časti tým, že sa okrem hlavnej riadenej veličiny určí aj pomocná riadená veličina. Regulačný obvod bude mať dva regulátory, pomocný P regulátor a hlavný PI regulátor.

Výhody kaskádovej regulácie:

- Rozdelením riadenej sústavy na dve jednoduchšie sa zjednodušuje problém navrhovania regulátorov (jednoduchšia štruktúra, jednoduchšie nastavenie)
- V prípade použitia len P regulátorov sa dosiahne menšia trvalá regulačná
- Odchýlka odozva regulačného procesu sa urýchli
- Zvýši sa stabilita regulačného procesu
- Poruchové veličiny, ktoré pôsobia na vstupe do prvej časti riadeného systému, sa vyregulujú už pomocným regulátorom a ich vplyv na hlavnú riadenú veličinu sa redukuje
- Poruchové veličiny môžu byť namerateľné
- Obmedzuje sa pôsobenie nelinearit v sekundárnom obvode

-
- Regulácia sa môže uvádzať do prevádzky smerom zvnútra von, redukujú sa tým riziká vyvolané chybným zapojením [4]

Riadený systém bol rozdelený na dva obvody, hlavný a pomocný obvod. Hlavný regulačný obvod predstavoval prenos medzi prietokom a výškou hladiny v zásobníku:

$$G_H(s) = \frac{H(s)}{q(s)} \quad (5)$$

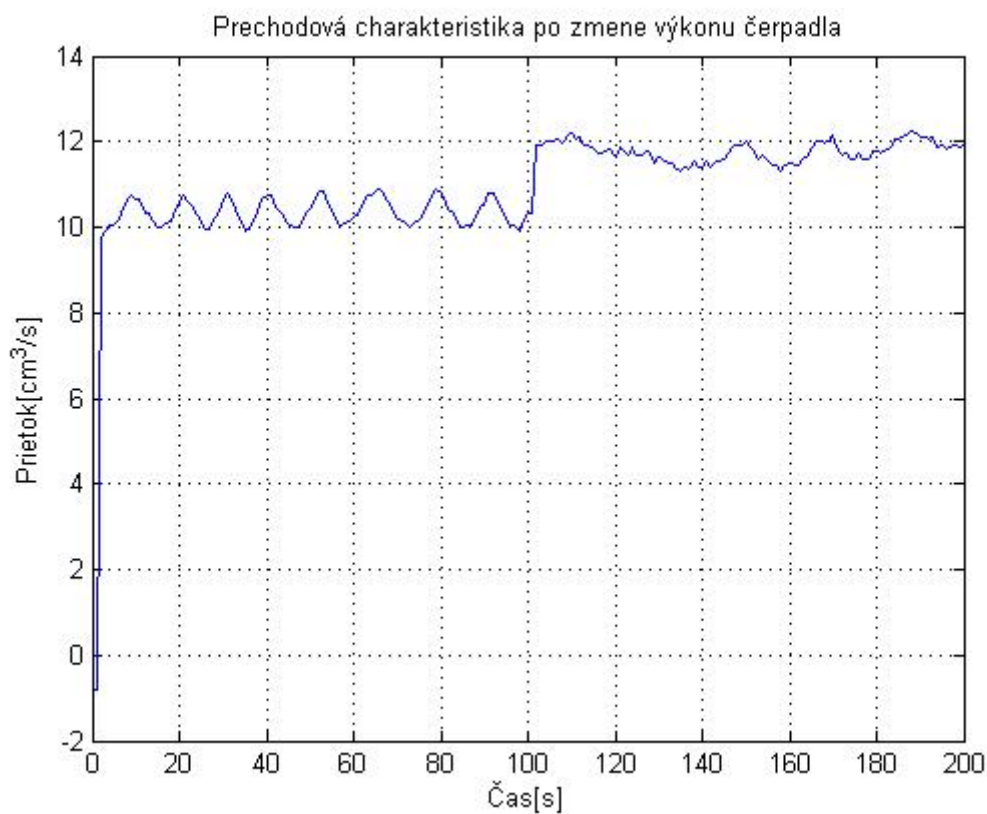
Pomocný riadený systém predstavoval prenos medzi prietokom kvapaliny a výkonom čerpadla:

$$G_P(s) = \frac{q(s)}{Q(s)} \quad (6)$$

Počas identifikácie pôsobili na zásobník poruchy. Identifikácia bola spravená najprv pre pomocný systém. Po identifikácii pomocného systému bol pre identifikovaný prenos navrhnutý pomocný P regulátor. Navrhnutý P regulátor bol zaradený do obvodu a spolu s P regulátorom bola spravená identifikácia hlavného regulačného obvodu. Pre identifikovaný prenos hlavného obvodu boli navrhnuté PI regulátory, ktoré boli ďalej používané pri riadení.

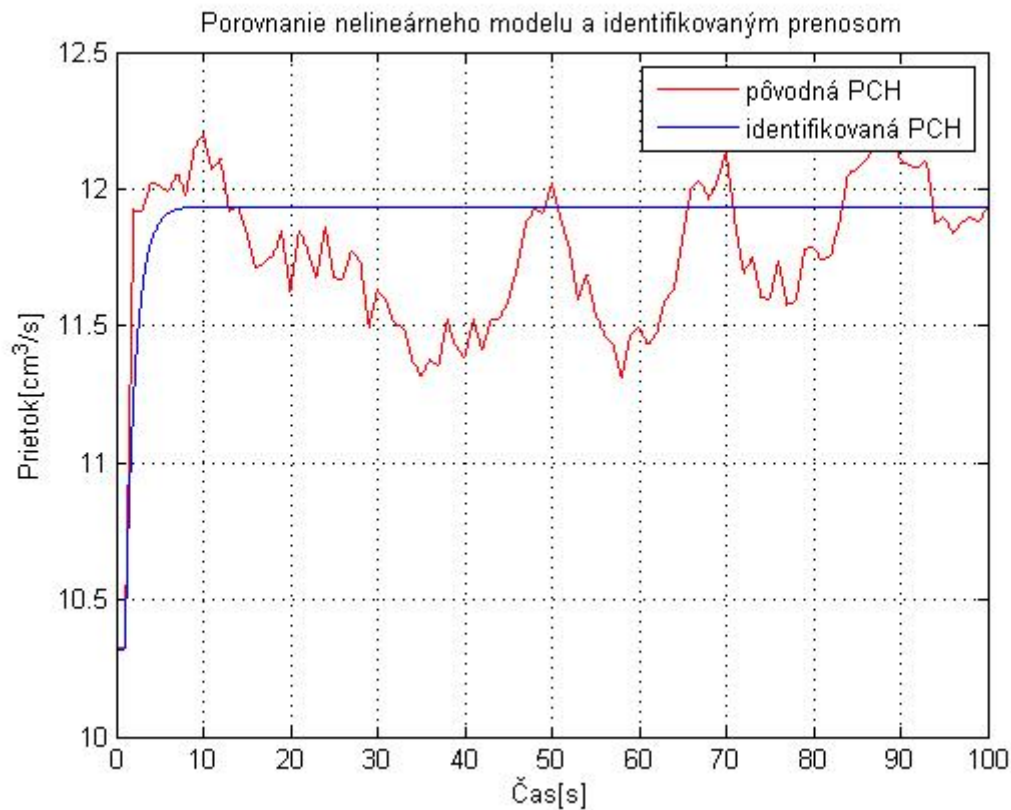
1.3.1 Identifikácia a návrh P regulátora pre pomocný systém

Pri skokovej zmene výkonu čerpadla [%] z hodnoty 50 na 55 sme na výstupe sledovali meniaci sa prietok kvapaliny. Pomocný obvod bol identifikovaný ako systém prvého rádu bez dopravného oneskorenia.



Obr. 18 Skoková zmena výkonu čerpadla z hodnoty 50 na 55 [%]

Na identifikáciu systému bolo použité programové vybavenie START. Postup pri identifikácii a následného návrhu regulátora bol rovnaký ako v predchádzajúcich identifikáciách a syntézach regulátorov. V programe bol načítaný dátový súbor s nameranými dátami, zadaná bola veľkosť a čas skokovej zmeny, dáta boli následne vyfiltrované a systém identifikovaný. Po identifikácii bola možnosť navrhnúť P regulátor či už analytickými alebo experimentálnymi metódami.



Obr. 19 Porovnanie nelineárneho modelu a identifikovaného prenosu

Na Obr.18 je zobrazený prietoku kvapaliny do zásobníka pri skokovej zmene výkonu čerpadla. Na identifikáciu bolo použité programové vybavenie s názvom START, kde boli použité hodnoty z grafu pre prechodovú charakteristiku zmeny výkonu čerpadla. Pomocný systém bol identifikovaný ako systém prvého rádu, bez dopravného oneskorenia, hodnotou zosilnenia $Z = 0.323$ a časovou konštantou $T = 1.1931$.

Výsledný identifikovaný prenos bol v tvare:

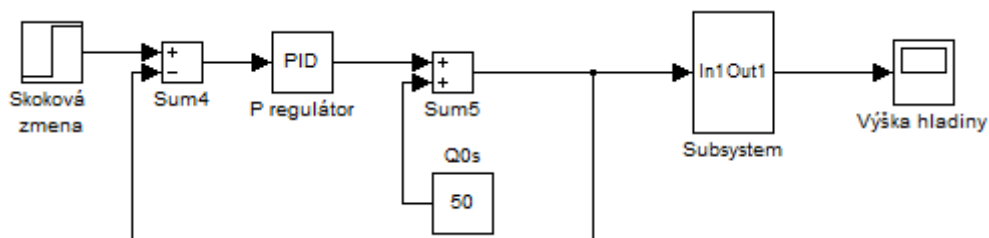
$$G_p(s) = \frac{q(s)}{Q(s)} \quad (7)$$

$$G_p(s) = \frac{0.323}{1.1931s + 1} \quad (8)$$

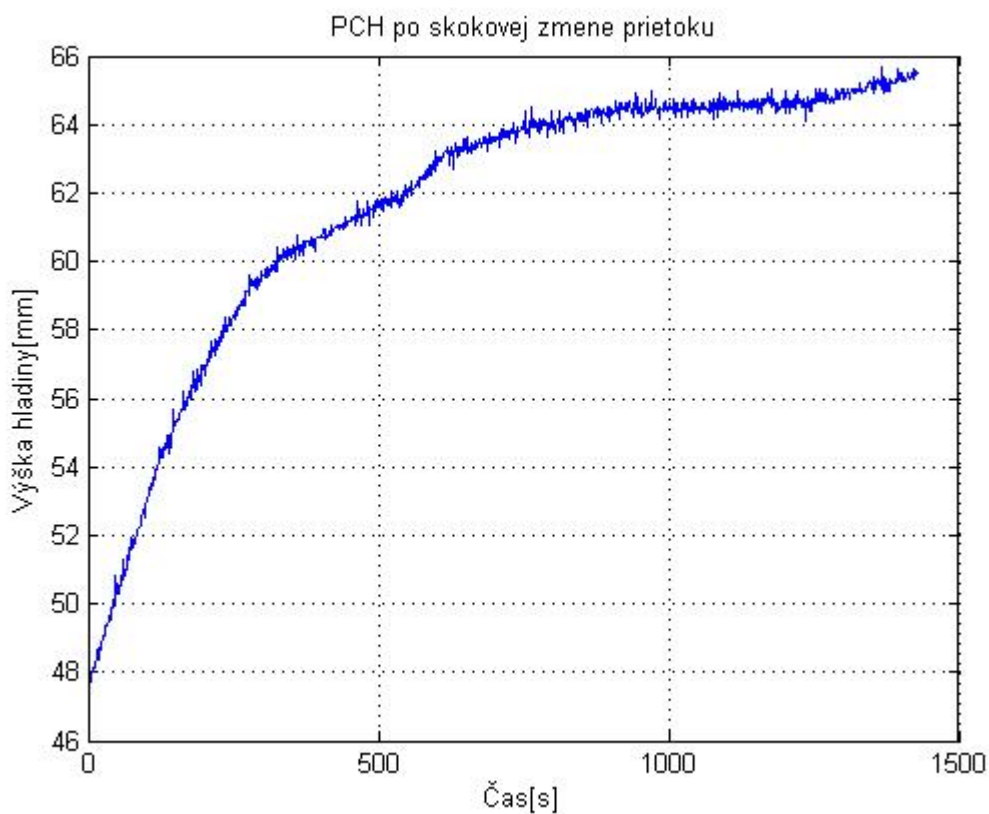
Pre identifikovaný prenos bol navrhnutý pomocný P regulátor Ziegler-Nichols metódou. Hodnota zosilnenie P regulátora $Z_r = 0.74126$.

1.3.2 Identifikácia a návrh PI regulátora pre hlavný regulačný obvod

Pre identifikáciu hlavného regulačného obvodu bola na výstupe sledovaná výška hladiny v zásobníku pri skokovej zmene prietoku kvapaliny. V obvode bol zapojený už aj P regulátor, ktorý bol navrhnutý pre pomocný systém.

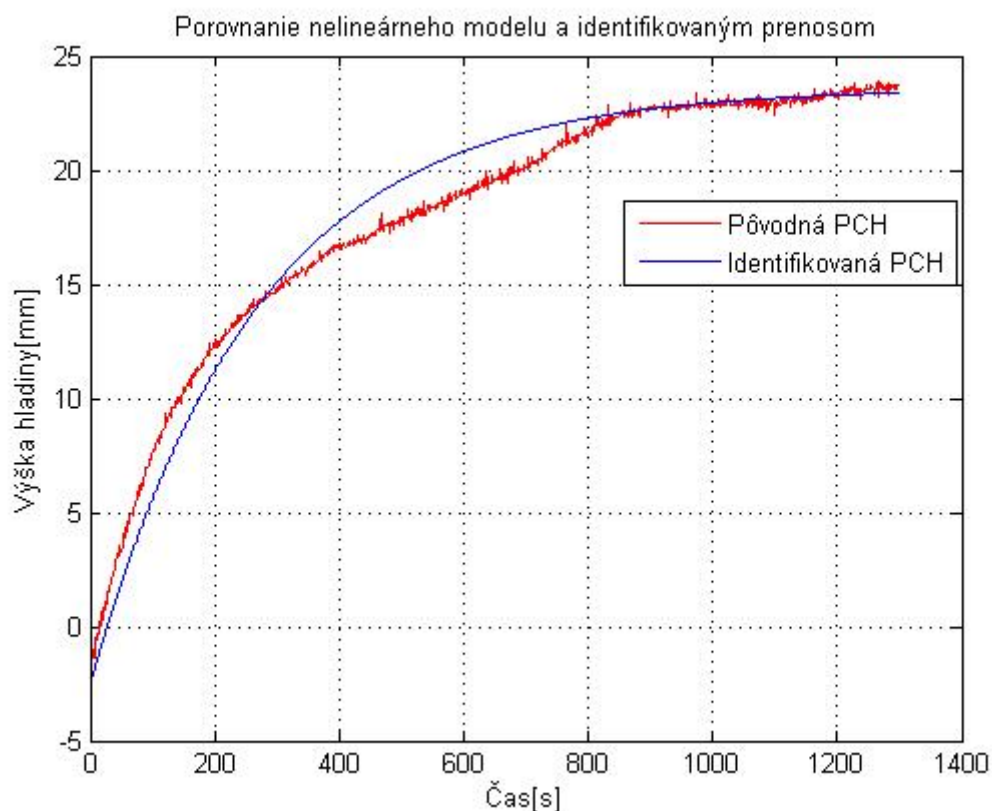


Obr. 20 Schéma pre identifikáciu hlavného regulačného obvodu



Obr. 21 PCH po skokovej zmene prietoku z 10.5 na 11.9 [cm³/s]

Na identifikáciu hlavného regulačného obvodu bolo opäť použité programové vybavenie START.



Obr. 22 Porovnanie nelineárneho modelu a identifikovaného prenosu

Na identifikáciu systému bolo použité programové vybavenie s názvom START, kde boli použité hodnoty z Obr.21. Hlavný regulačný obvod bol identifikovaný ako systém prvého rádu, bez dopravného oneskorenia, hodnotou zosilnenia $Z=18.402$ a časovou konštantou $T=267.4928$.

Výsledný identifikovaný prenos bol v tvare:

$$G_H(s) = \frac{H(s)}{q(s)} \quad (9)$$

$$G_H(s) = \frac{18.402}{267.4928s + 1} \quad (10)$$

Na návrh regulátorov bol použitý program START. Boli navrhnuté dva PI regulátory pre identifikovaný prenos. Boli použité dve metódy a vypočítané parametre pre vybrané metódy sú zobrazené v Tab.5.

Tab. 5 Tabuľka vypočítaných hodnôt PI regulátorov pre kaskádové riadenie

Použitá metóda	Zr	Tl
Met. priamej syntézy s použitím aproximovaného URO (skratka MPS URO)	2.49	267.45
Ziegler-Nichols metóda (skratka ZNM)	2.95	10.53

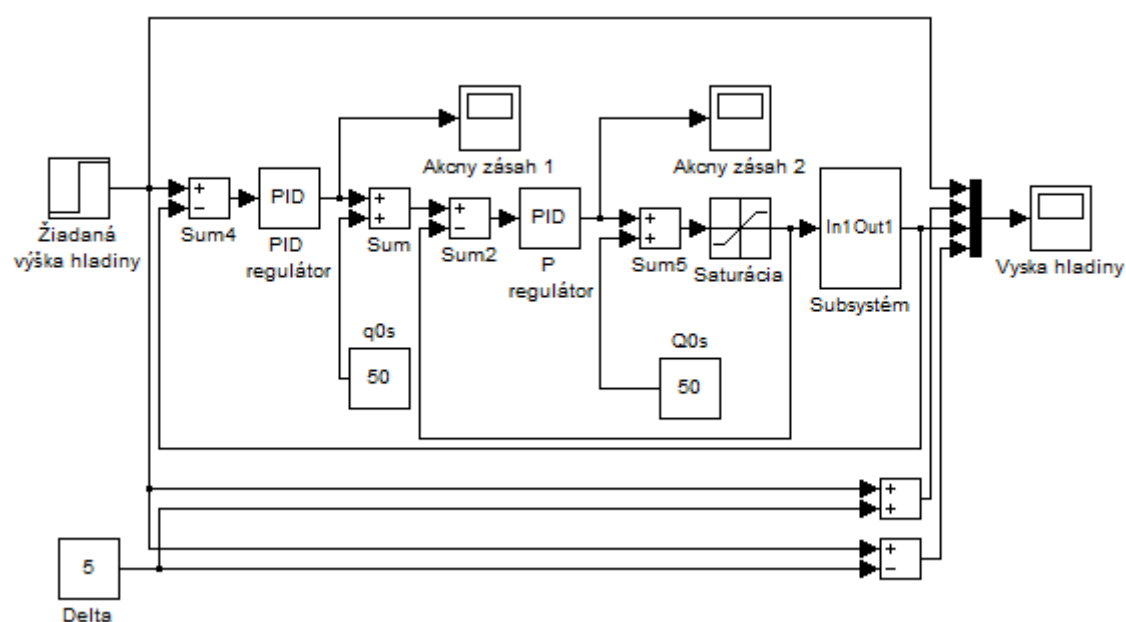
Výsledné prenosy regulátorov:

- Prenos regulátora navrhnutého MPS URO: $G_R(s) = 2.49 \left(1 + \frac{1}{267.45s} \right)$ (11)

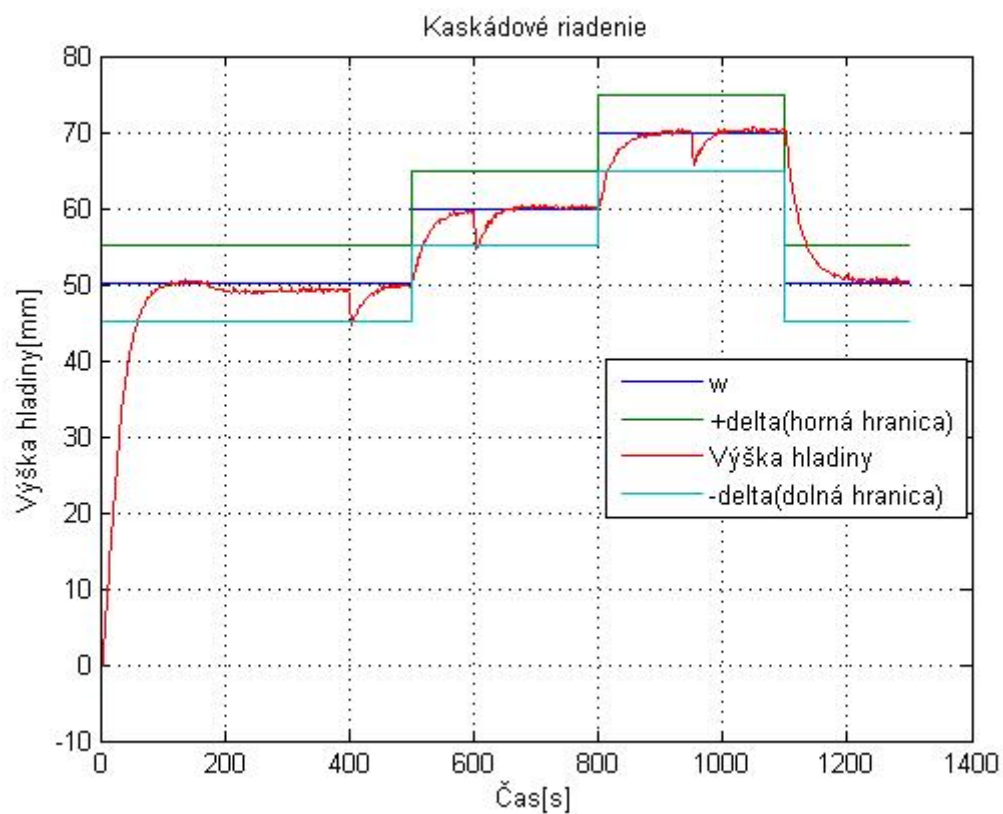
- Prenos regulátora navrhnutého ZNM: $G_R(s) = 2.95 \left(1 + \frac{1}{10.53s} \right)$ (12)

1.3.3 Kaskádové riadenie zásobníka kvapaliny

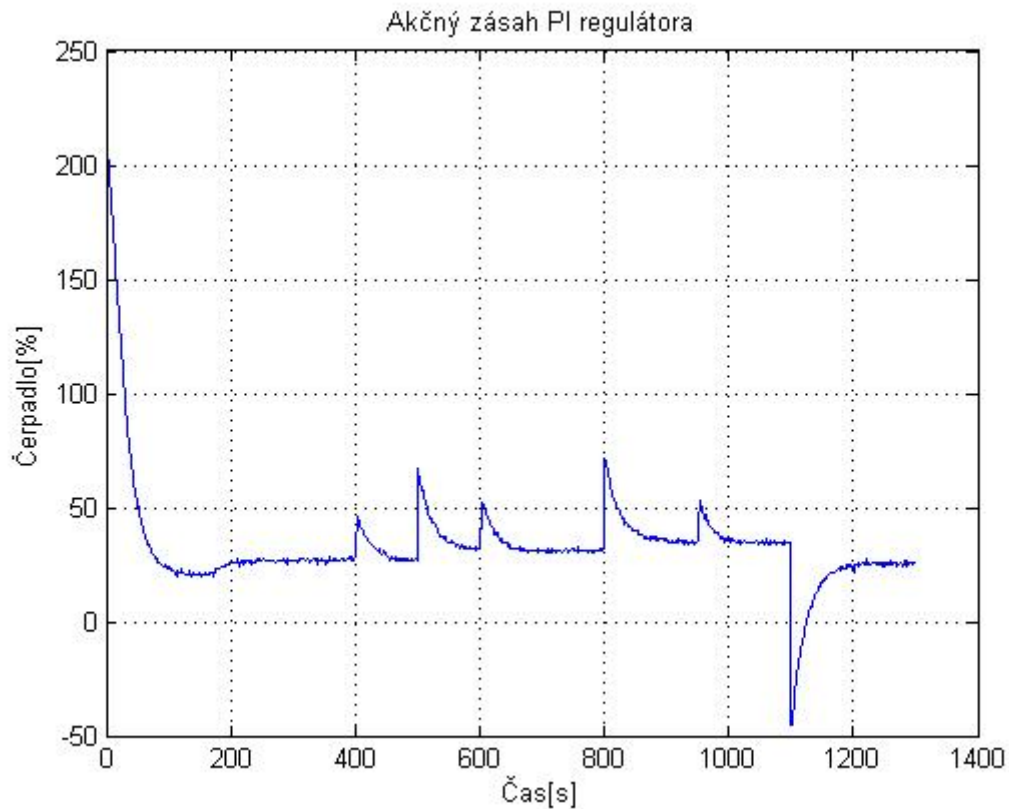
Kaskádovou reguláciou bolo riadené reálne zariadenie, zásobník kvapaliny PCT 40. Žiadaná výška hladiny sa menila v časoch $t_1=500$ [s] z hodnoty 50 na 60 [mm], $t_2=800$ [s] z hodnoty 60 na 70 [mm] a v čase $t_3=1100$ [s] z hodnoty 70 na 50 [mm]. Zvolené delta okolie bolo 5 mm. Porucha v podobe zmeny tlaku kvapaliny v prívodnom potrubí do zásobníka bola v časoch $t = 400, 600, 950$ [s]. Pri kaskádovom riadení boli sledované okrem výšky hladiny aj akčné zásahy regulátorov.



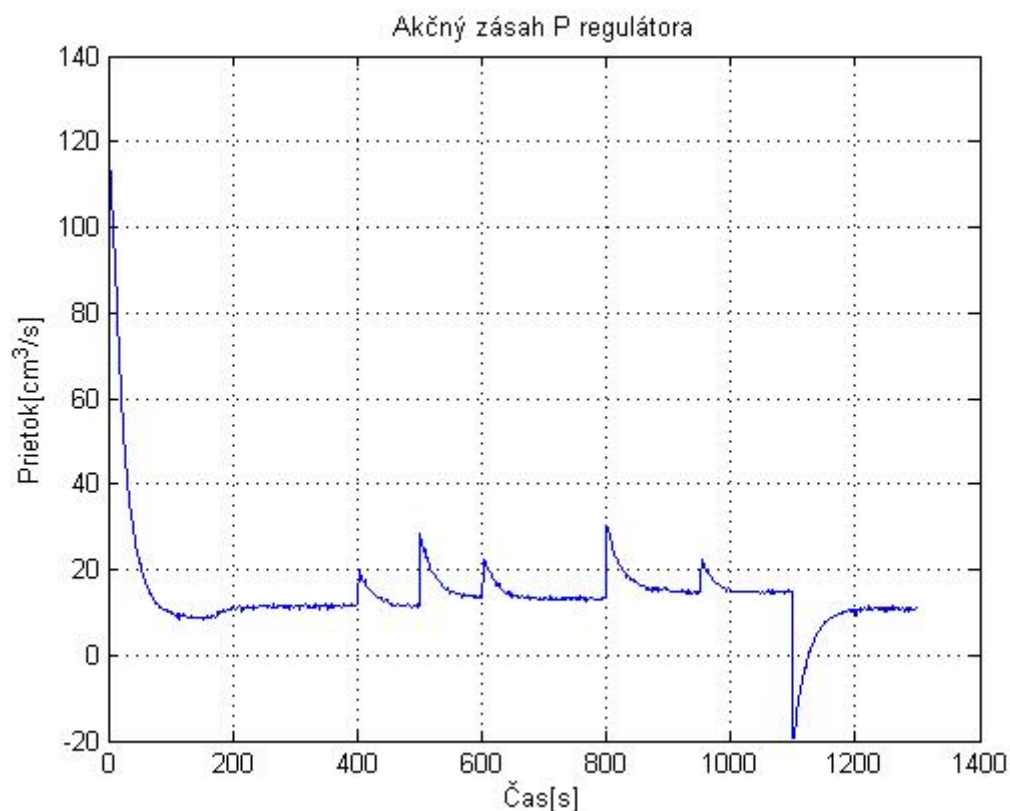
Obr. 23 Schéma kaskádového riadenia zásobníka kvapaliny



Obr. 24 Kaskádové riadenie zásobníka PI regulátorom navrhnutého MPS URO

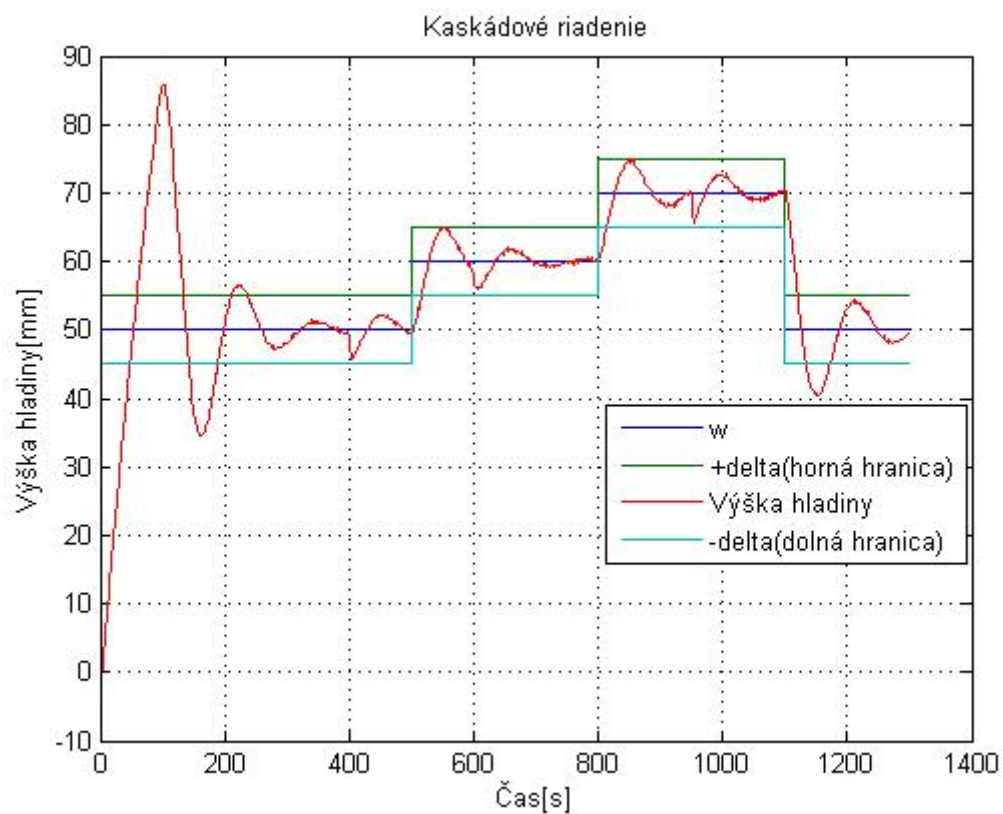


Obr. 25 Akčný zásah PI regulátora navrhnutého MPS URO

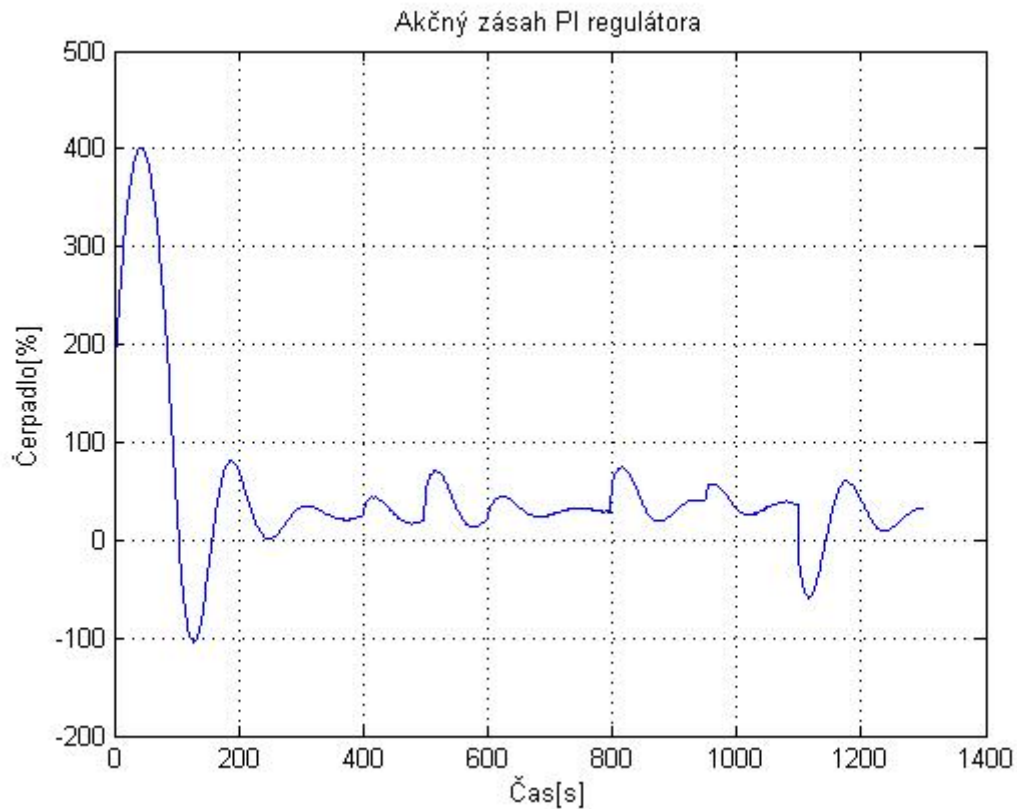


Obr. 26 Akčný zásah P regulátora navrhnutého ZNM

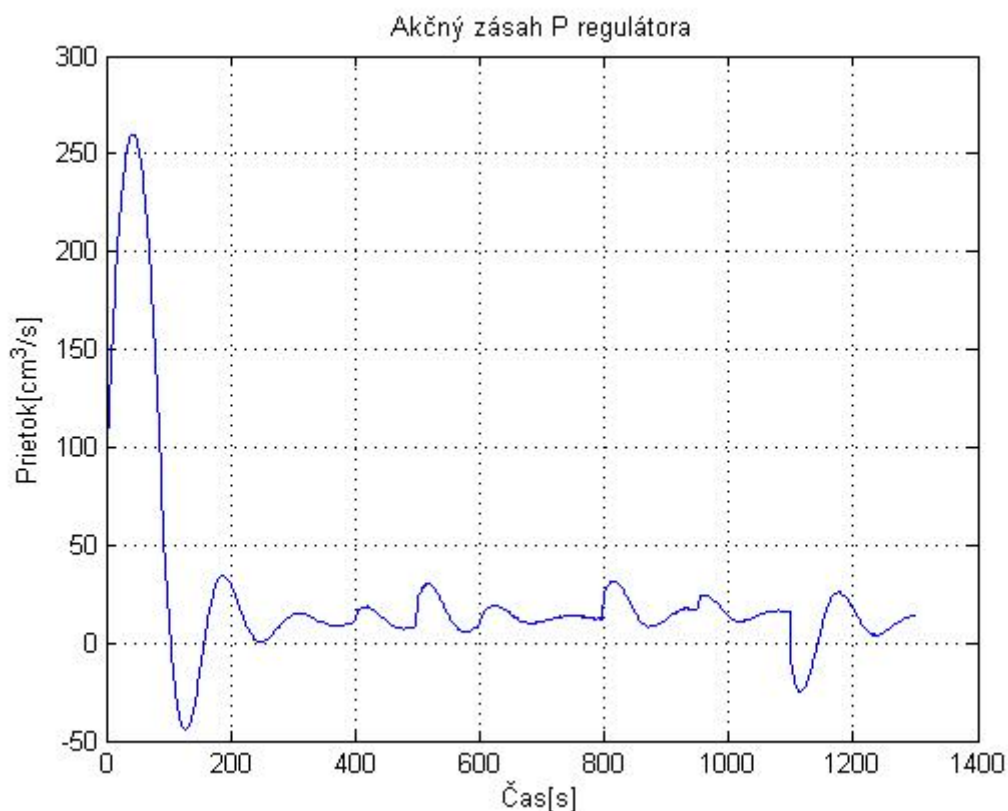
Kaskádové riadenie s navrhnutým PI regulátorom zodpovedalo požiadavkám kladením na systém. Pri riadení nevznikli žiadne preregulovania, čas regulácie bol pri riadení a jednotlivých skokoch rôzny. Čas regulácie na výšku hladiny 50 [mm] bol 59 [s], pri prvej skokovej zmene bol čas regulácie 18 [s], pri druhej skokovej zmene 18 [s], pri poslednej skokovej zmene bol čas regulácie 30 [s]. Na riadenie pôsobili poruchy, ktorých vplyv bol kaskádovým riadením minimalizovaný. Zvolené delta okolie bolo v rozmedzí ± 5 mm. Výška hladiny sa pri pôsobení porúch v jednom prípade nedostala mimo zvoleného delta okolia a v dvoch prípadoch sa riadená veličina dostala mimo delta okolia len o hodnotu menšiu ako 0.5 [mm].



Obr. 27 Kaskádové riadenie zásobníka PI regulátorom navrhnutého ZNM



Obr. 28 Akčný zásah PI regulátora navrhnutého ZNM



Obr. 29 Akčný zásah P regulátora navrhnutého ZNM

Pri druhom kaskádovom riadení bol použitý iný PI regulátor. Pri riadení bol použitý P regulátor v pomocnom obvode, ktorý bol navrhnutý Ziegler-Nichols metódou a PI regulátor v hlavnom regulačnom obvode, ktorý bol navrhnutý taktiež Ziegler-Nichols metódou. Pri riadení pôsobili na obvod poruchy, ktoré bolo potrebné kompenzovať. Riadenie zodpovedalo požiadavkám, pri kaskádovom riadení s poruchami sa riadená výška hladina nedostalo ani raz mimo zvoleného okolia. Časy regulácie boli pri jednotlivých skokových zmenách riadenej veličiny rôzne. Čas regulácie na výšku hladiny 50 [mm] bol 238 [s], pri prvej skokovej zmene bol čas regulácie 16 [s], pri druhej skokovej bol čas regulácie 15 [s], pri poslednej skokovej zmene bol čas regulácie 26 [s]. Zvolené delta okolie bolo v rozmedzí \pm [5mm].

1.3.4 Porovnanie výsledkov z riadení

Riadený bol zásobník kvapaliny, ktorý bol súčasťou zariadenia PCT 40. Zásobník bol riadený dvoma spôsobmi riadenia. Konkrétne to boli riadenia jednoduché

spätnoväzbové a kaskádové riadenie. Pri oboch riadeniach sa riadená výška hladiny ustálila na žiadanej hodnote. Rozdiel v riadeniach bol viditeľný, ak na obvod pôsobili poruchy. Jednoduché spätnoväzbové riadenie nezodpovedalo požiadavkám, pretože riadená výška hladiny sa pri pôsobení porúch dostala mimo zvoleného delta okolia, ktoré bolo v rozmedzí ± 5 [mm]. Porovnanie výsledkov z riadení sa nachádza v tabuľke. Časy regulácie z jednotlivých riadeniach sú v tabuľke.

Tab. 6 Tabuľka s výslednými hodnotami z riadení

Typ riadenia	Použitá metóda	Zr	Tl	Čas regulácie [s]
Jednoduché spätnoväzbové riadenia	Met. priamej syntézy s použitím aprox. URO	3.30	270.84	23
	Ziegler-Nichols metóda	4.94	5.03	127
Kaskádové riadenie	Met. priamej syntézy s použitím aprox. URO	2.49	267.45	31
	Ziegler-Nichols metóda	2.95	10.53	73

2 Simulácia riadenia zásobníkov kvapaliny

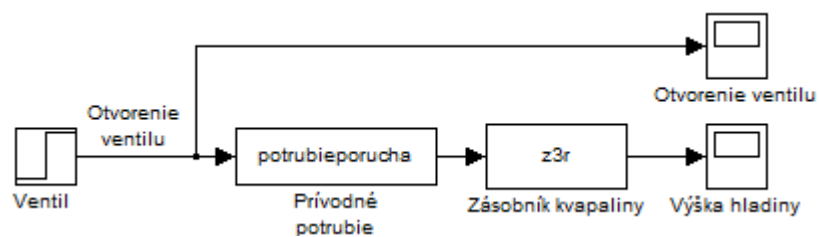
Simulované bolo riadenie troch zásobníkov kvapaliny bez interakcie. Na riadenie pôsobili poruchy ako zmeny tlakov v potrubí. Simuláciou riadenie bolo potrebné odstrániť vplyv porúch. Zásobníky boli riadené najprv v zapojení v jednoduchom spätnoväzbovom obvode, potom v rozvetvenom regulačnom obvode, kde bola použitá kaskádová regulácia.

2.1 Jednoduché spätnoväzbové riadenie zásobníkov kvapaliny

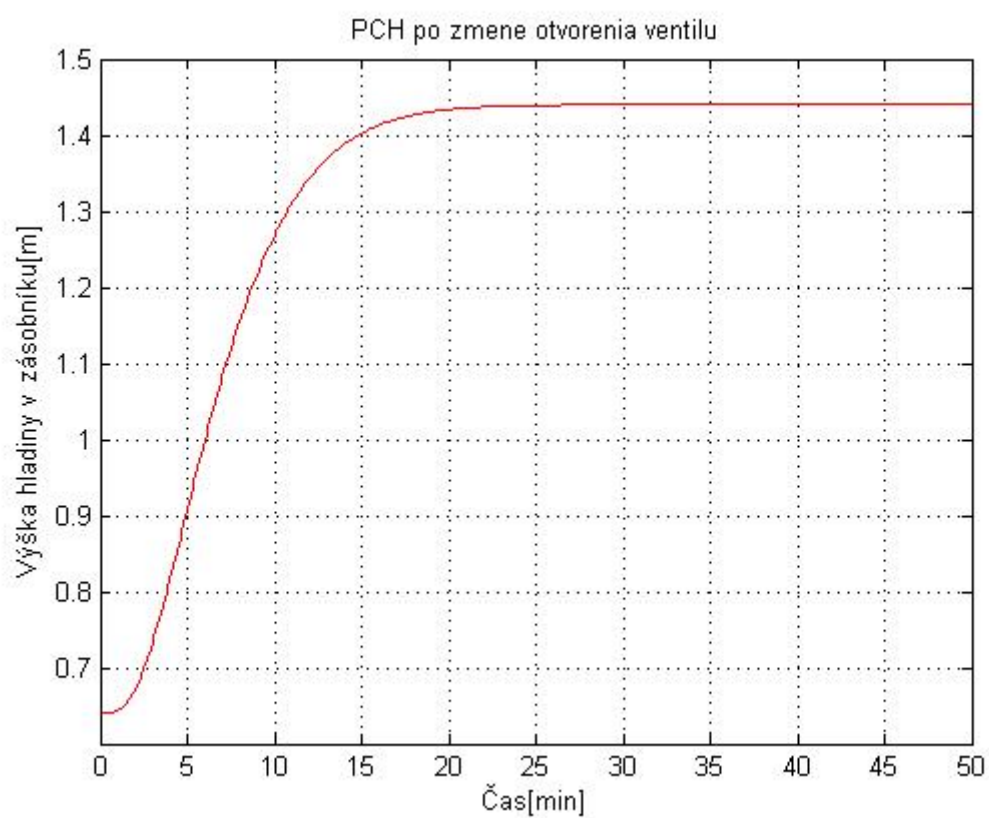
Hodnoty prierezov v zásobníku mali hodnoty: $F1=1$ [m], $F2=1$ [m] a pre $F3=1$ [m]. Konštanty ventilov $K11$, $K22$ a $K33$ boli pre všetky zásobníky rovnaké a mali hodnotu 1.25. Pôvodné ustálené vstupné prietoky boli pre $q01s= 1$ [m³s⁻¹], $q02s= 0$ [m³s⁻¹] a pre $q03s= 0$ [m³s⁻¹]. Tlak v potrubí mal hodnotu 5 atm, pri poruche sa tento tlak zmenil v čase $t=50$ [min] na 5.5 atm a v čase $t=100$ [min] na 4.5 atm. Riadenou veličinou bola výška hladiny v treťom zásobníku, riadiacou veličinou bol ventil a jeho percento otvorenia. Ustálená výška hladiny pri otvorení ventilu na 40 [%] bola 0.64[m].

2.1.1 Identifikácia systému

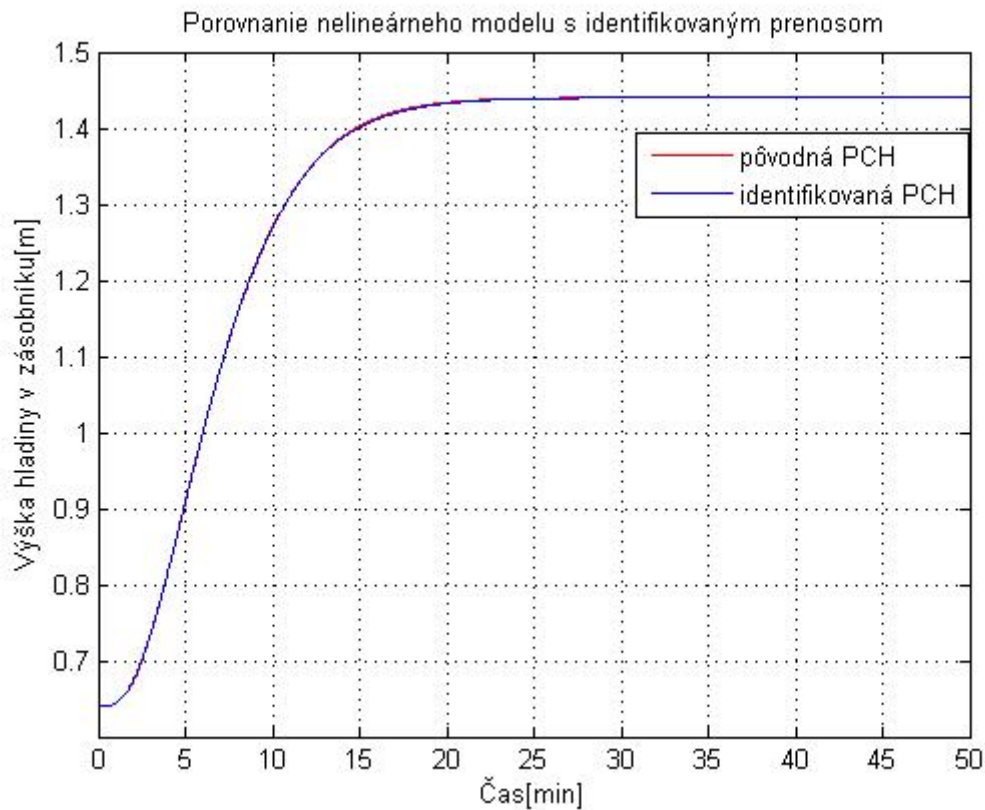
Pre identifikáciu zásobníkov kvapaliny sa menilo skokovo otvorenie ventilu z hodnoty 40 na 60 [%], pričom na výstupe bola sledovaná výška hladiny [m]. Na identifikáciu bolo použité programové vybavenie START. Zásobníky kvapaliny boli identifikované ako systém vyššieho rádu s dopravným oneskorením.



Obr. 30 Schéma pre identifikáciu zásobníka kvapaliny



Obr. 31 Skoková zmena otvorenia ventilu z hodnoty 40 na 60 [%]



Obr. 32 Porovnanie nelineárneho modelu a identifikovaného prenosu

Na výstupe bolo sledovaná výška hladiny v treťom zásobníku . Na identifikáciu bolo použité programové vybavenie START, kde program spracovával hodnoty z Obr.31. Systém troch zásobníkov bol identifikovaná programom START ako systém 3 rádu, s dopravným oneskorením $D= 0.21415$, hodnotou zosilnenia $Z= 0.04$ a časovou konštantou $T= 2.3424$.

Výsledný identifikovaný prenos bol v tvare:

$$G(s)= \frac{H(s)}{Ov(s)} \quad (13)$$

$$G(s)= \frac{0.04}{(2.3424s + 1)^3} e^{-0.21415s} \quad (14)$$

2.1.2 Návrh PI regulátora

Na návrh PI regulátora bolo použité programové vybavenie START. Použitou metódou na návrh regulátora bola Ziegler-Nichols metóda. Hodnoty PI regulátora boli:

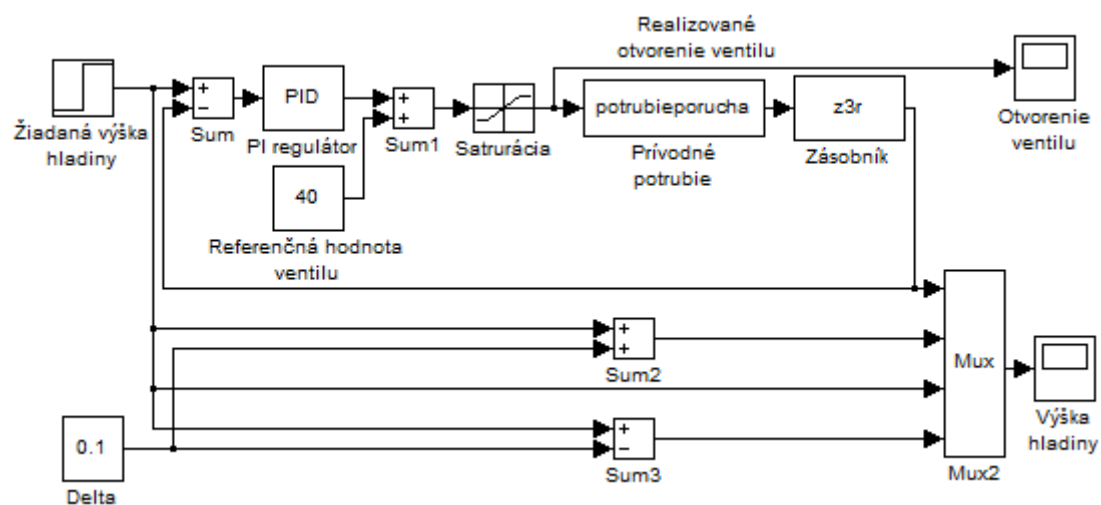
- $Z_r = 4.63$
- $T_I = 6.99$

Výsledný prenos regulátora:

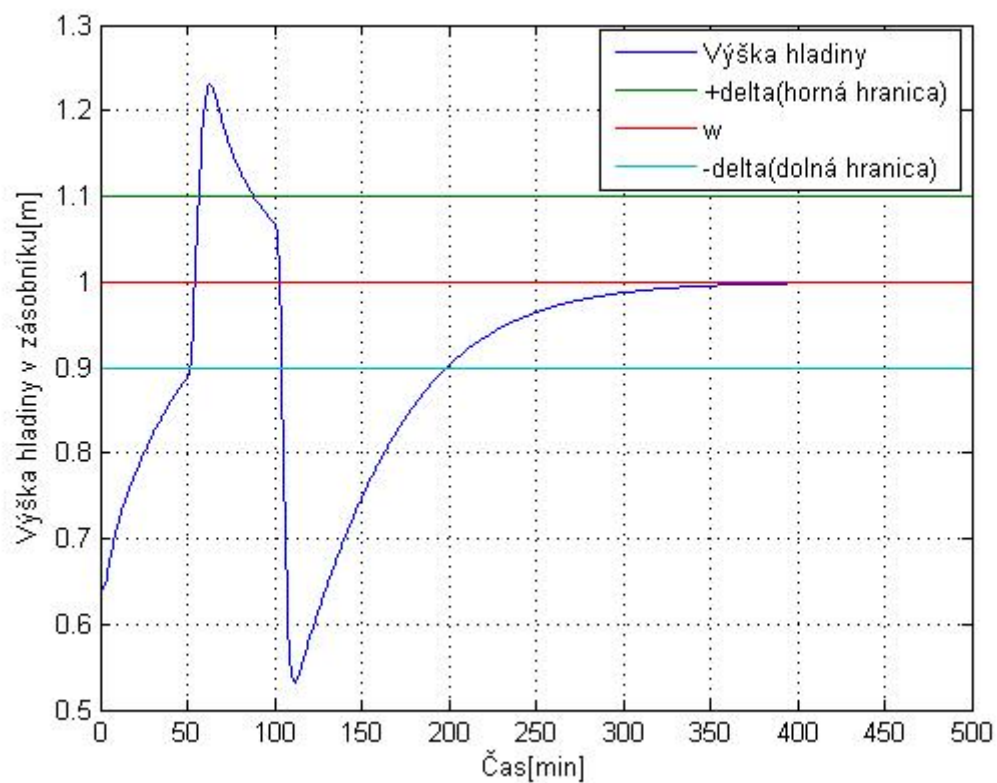
- Prenos regulátora navrhnutého ZNM: $G_R(s) = 4.63 \left(1 + \frac{1}{6.99s} \right)$ (15)

2.1.3 Simulácia riadenia zásobníkov kvapaliny

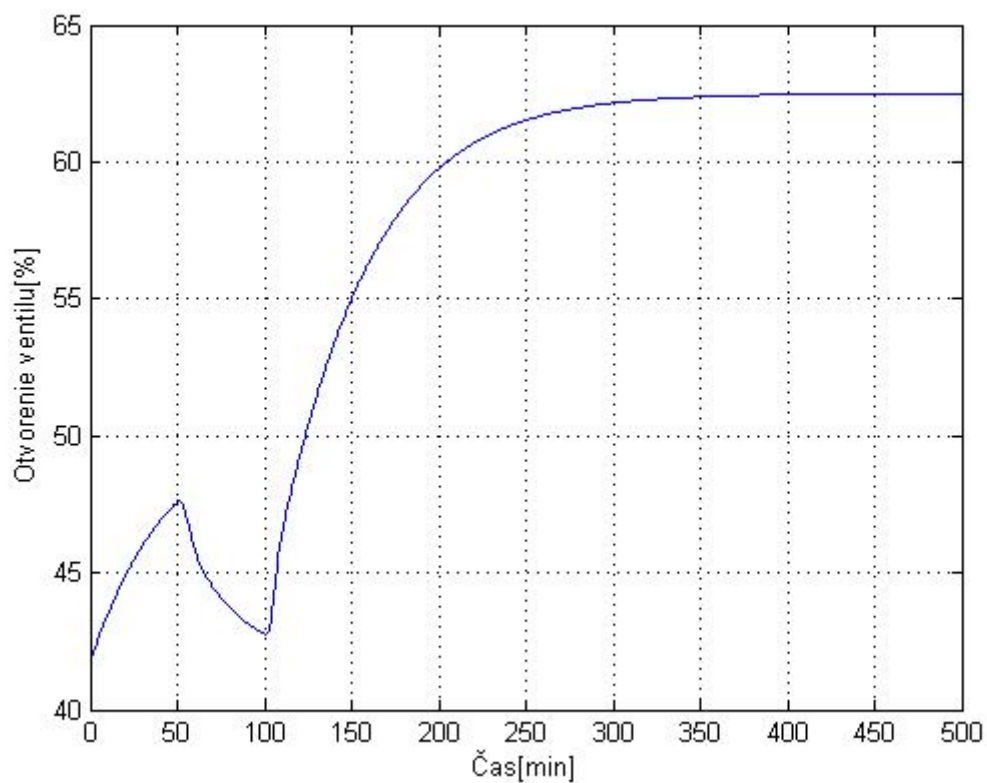
Pri simulácii riadenia bol použitý navrhnutý PI regulátor. Žiadaná výška hladiny bola 1 m. Zvolené delta okolie bolo 0.1 m. Simulovaná porucha v podobe zmeny tlaku v potrubí bola v časoch $t = 50$ [min] a $t = 100$ [min]. Pri jednoduchom spätnoväzbovom riadení bol sledovaný okrem výšky hladiny aj akčný zásah PI regulátora.



Obr. 33 Schéma pre simuláciu riadenia zásobníkov kvapaliny



Obr. 34 Simulácia riadenia PI regulátorom



Obr. 35 Akčný zásah PI regulátora navrhnutého ZNM

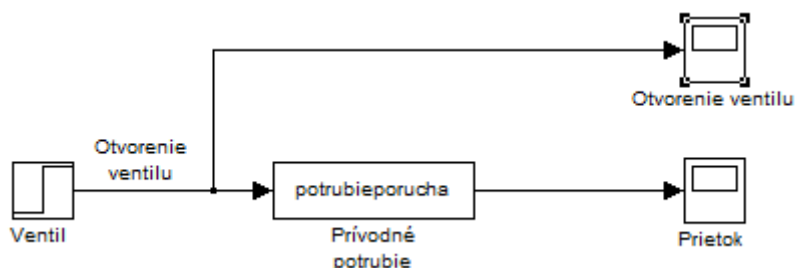
Simulované bolo riadenie zásobníkov kvapaliny v jednoduchom spätnoväzbovom obvode. V priebehu riadenia pôsobili na systém poruchy v podobe zmeny tlaku v prívodnom potrubí. Pri riadení zásobníkov vzniklo veľké preregulovanie. Pri pôsobení porúch na zásobníky sa riadená výška hladina dostalo mimo zvoleného okolia pri oboch poruchách. Zvolené delta okolie riadenia bolo v rozmedzí ± 0.1 [m].

2.2 Kaskádové riadenie zásobníkov kvapaliny

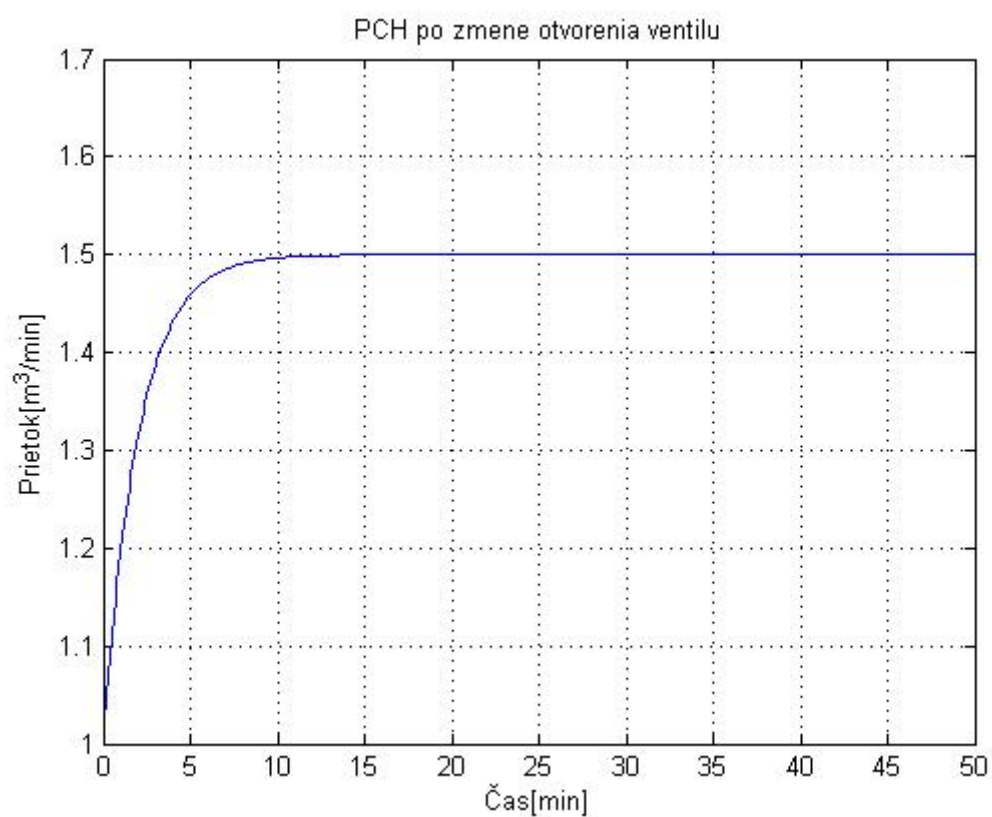
Pri simulácii riadenia v zapojení v jednoduchom spätnoväzbovom obvode sa nepodarilo kompenzovať vplyv porúch, preto bol pre riadenie zásobníkov kvapaliny použitý rozvetvený regulačný obvod, a to kaskádová regulácia. Poruchy pôsobili na systém rovnako ako v jednoduchom spätnoväzbovom obvode v časoch $t=50$ [min] a $t=100$ [min].

2.2.1 Identifikácia a návrh P regulátora pre pomocný systém

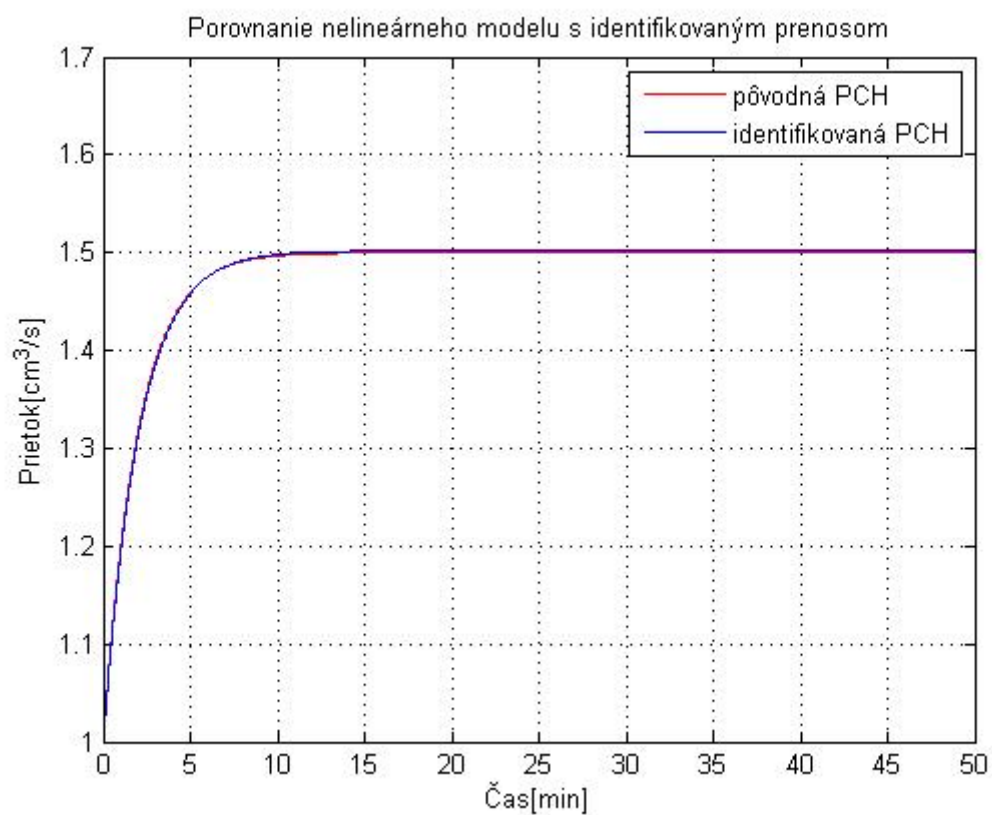
Pri identifikácii pomocného systému bolo menené skokovo otvorenie ventilu z hodnoty 40 na 60 [%], pričom na výstupe bol sledovaný prietok kvapaliny. Na identifikáciu bol použitý program START. Pomocný systém bol identifikovaný ako systém prvého rádu s dopravným oneskorením.



Obr. 36 Schéma pre identifikáciu pomocného systému



Obr. 37 Skoková zmena otvorenia ventilu z hodnoty 40 na 60 [%]



Obr. 38 Porovnanie nelineárneho modelu a identifikovaného prenosu

Na výstupe bol zaznamenávaný prietok kvapaliny v treťom zásobníku. Na identifikáciu bolo použité programové vybavenie START, konkrétne hodnoty z Obr.37. Systém zásobníkov bol identifikovaný ako systém prvého rádu, s dopravným oneskorením $D=0.015$, hodnotou zosilnenia $Z=0.025$ a časovou konštantou $T=0.05$.

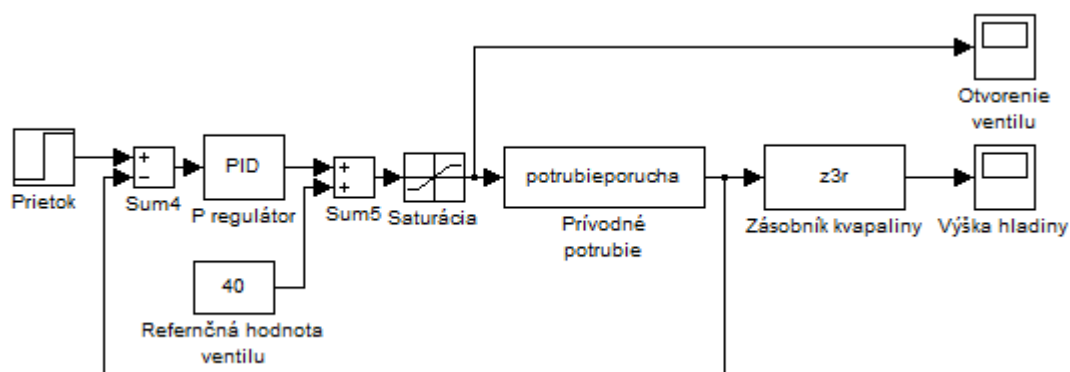
$$G_p(s) = \frac{q(s)}{Ov(s)} \quad (16)$$

$$G_p(s) = \frac{0.025}{(2.05s + 1)^3} e^{-0.015s} \quad (17)$$

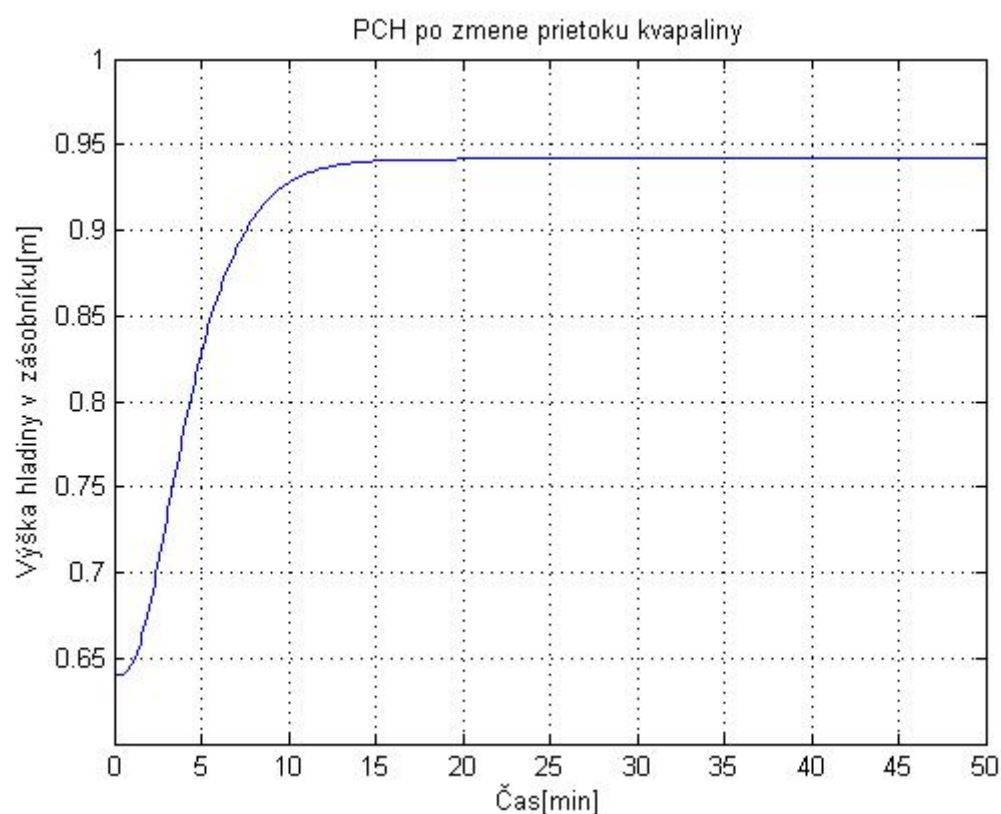
Pre identifikovaný prenos bol navrhnutý pomocný P regulátor Ziegler-Nichols metódou. Hodnota zosilnenie P regulátora $Z_r=230$.

2.2.2 Identifikácia a návrh PI regulátora pre hlavný obvod

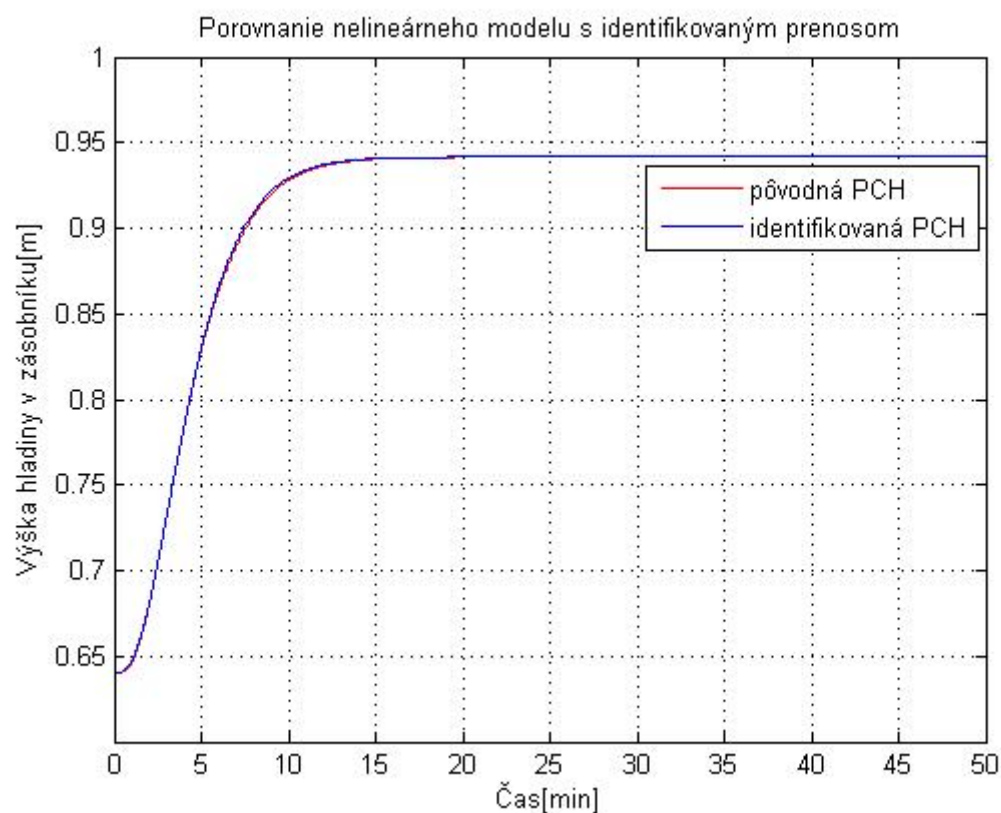
Pre identifikáciu hlavného regulačného obvodu bola sledovaná na výstupe výška hladiny z tretieho zásobníka, pri skokovej zmene prietoku kvapaliny. V obvode bol zapojený už aj P regulátor, ktorý bol navrhnutý pre pomocný systém. Systém zásobníkov kvapaliny bola identifikovaná ako systém vyššieho rádu s dopravným oneskorením.



Obr. 39 Schéma pre identifikáciu hlavného regulačného obvodu



Obr. 40 Výška hladiny po skokovej zmene prietoku z hodnoty 1 na 1.25 [m³/min]



Obr. 41 Porovnanie nelineárneho modelu a identifikovaného prenosu

Na výstupe z tretieho zásobníka bola sledovaná výšku hladiny po skokovej zmene prietoku kvapaliny z hodnoty 1 na 1.25. Na identifikáciu hlavného regulačného obvodu bolo použité programové vybavenie START. Program pracoval s hodnoty z Obr.40. Zásobníky boli identifikované ako systém tretieho rádu, s dopravným oneskorením $D=0.256$, hodnotou zosilnenia $Z=1.184$ a časovou konštantou $T=2.169$.

Výsledný identifikovaný prenos bol v tvare:

$$G_H(s) = \frac{H(s)}{q(s)} \quad (18)$$

$$G_H(s) = \frac{1.184}{(2.169s + 1)^3} e^{-0.256s} \quad (19)$$

Návrh regulátora bol robený pre identifikovaný prenos. Pre návrh regulátora bolo použité programové vybavenie START. Na návrh PI regulátora bola použitá Halmanova metóda. Hodnoty regulátora boli :

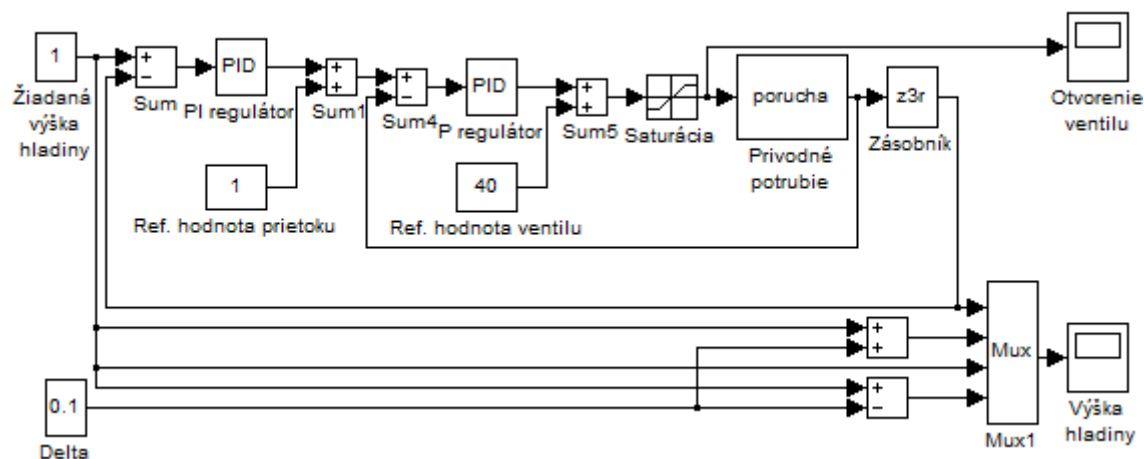
- $Z_r = 1.61$
- $T_i = 8.1$

Výsledný prenos regulátora:

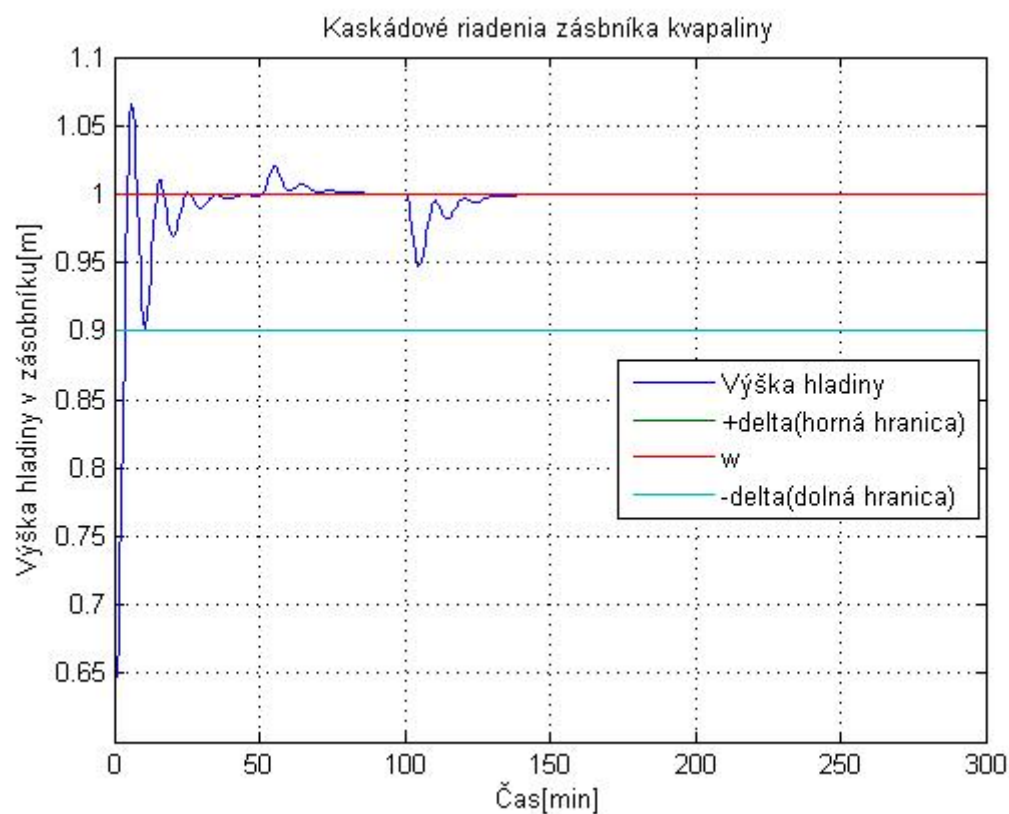
- Prenos regulátora: $G_R(s) = 1.61 \left(1 + \frac{1}{8.1s} \right)$ (20)

2.2.3 Simulácia kaskádového riadenia zásobníkov kvapaliny

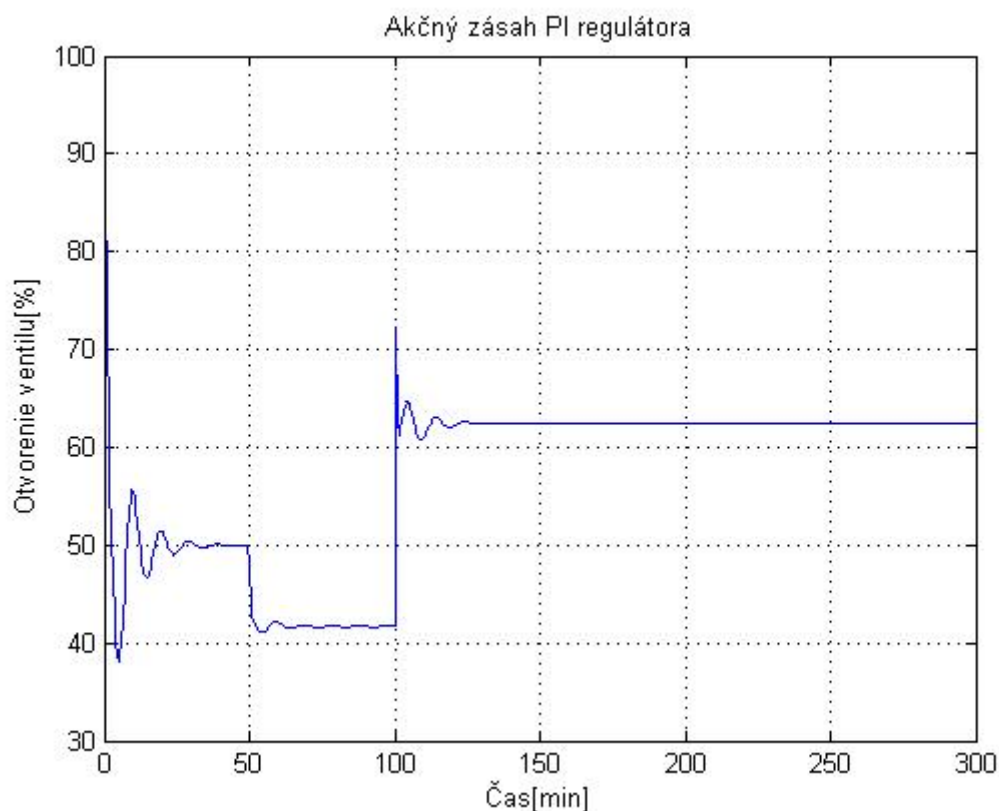
Na riadenie zásobníkov kvapaliny bol použitý navrhnutý PI regulátor. Žiadaná výška hladiny bola 1[m]. Zvolené delta okolie bolo 0.1[m]. Simulovaná porucha v potrubí nastala v časoch $t=50$, $t=100$ [min]. Pri kaskádovom riadení bol na výstupe sledovaný okrem výšky hladiny aj akčný zásah regulátora.



Obr. 42 Schéma pre simuláciu kaskádového riadenia zásobníkov kvapaliny



Obr. 43 Simulácia kaskádového riadenia zásobníkov kvapaliny



Obr. 44 Akčný zásah PI regulátora

Kaskádové riadenie navrhnutým PI regulátorom zodpovedalo požiadavkám, ktoré boli kladené na sústavu zásobníkov. Na riadenie pôsobili poruchy, kaskádovým riadením boli poruchy kompenzované. Žiadaná výška hladiny bola 1 meter. Zvolené delta okolie bolo v rozmedzí ± 0.1 [m]. Výška hladiny sa pri pôsobení porúch nedostala mimo zvoleného delta okolia a preregulovanie pri riadení nebolo taktiež mimo nášho delta okolia.

2.2.4 Porovnanie výsledkov z riadení

Simulované bolo riadenie zásobníkov kvapaliny. Sústava troch zásobníkov bola riadená v zapojení v jednoduchom spätnoväzbovom obvode, a potom v rozvetvenom regulačnom obvode. Pri jednoduchom obvode sa riadená výška hladiny dostala mimo zvoleného delta okolia. Navrhnutý PI regulátor nedokázal vplyv porúch kompenzovať natoľko, aby sa riadená výška hladiny pri pôsobení porúch, v podobe zmeny tlaku v

potrubí, nedostala mimo zvoleného delta okolia. Pri riadení vzniklo aj veľké preregulovanie.

Pri riadení v rozvetvenom regulačnom obvode sa riadená výška hladiny nedostala mimo zvoleného okolia. Rozvetvený regulačný obvod bol v podobe kaskádovej regulácie. Zvolené delta bolo rovnaké ako v jednoduchom obvode. Žiadaná výška hladiny bola jeden meter. Vplyv porúch v podobe zmeny tlaku v potrubí bol kompenzovaný kaskádovým riadením, vhodným návrhom P regulátora v pomocnom obvode a PI regulátorom v hlavnom regulačnom obvode.

Záver

Diplomová práca bola venovaná riadeniu technologických procesov, na ktoré pôsobili poruchy. V mojom prípade boli takýmito technologickými procesmi systém troch zásobníkov kvapaliny ako simulácia a zásobník kvapaliny ako reálne zariadenia PCT 40. Pri simulácii riadenia troch zásobníkov, ako aj pri riadení reálneho zariadenia PCT 40, som sa snažil kompenzovať vplyv porúch na riadenie. Zásobníky boli riadené najprv v jednoduchých spätnoväzbových obvodoch, potom v rozvetvených regulačných obvodoch. Ako rozvetvený regulačný obvod bola použitá kaskádová regulácia. Práca bola rozdelená na dve hlavné kapitoly.

Prvá kapitola ako celok pojednávala o reálnom zariadení PCT 40. V kapitole bolo popísané zariadenie PCT 40 ako aj jeho jednotlivé časti. Okrem popisu hlavných častí sa nachádzal v kapitole aj postup ako bolo zariadenie kalibrované a ako zariadenie komunikovalo spolu s počítačom resp. programovým vybavením Matlab. Po kalibrácii sa v prvej kapitole nachádzali riadenia. Konkrétne bol zásobník kvapaliny riadený v jednoduchom spätnoväzbovom obvode, a potom v rozvetvenom regulačnom obvode. V riadeniach bola snaha kompenzovať vplyv porúch. V jednoduchom spätnoväzbovom obvode nebol vplyv porúch kompenzovaný, teda výsledok z riadenia nezodpovedal požiadavkám kladením na systém. Čas regulácie bol pri prvom regulátory 23 sekúnd (regulátor navrhnutý metódou priamej syntézy s použitím aproximovaného URO) a pri druhom regulátory 127 sekúnd (regulátor navrhnutý Ziegler-Nichols metódou). Pri použití kaskádovej regulácie bol vplyv porúch kompenzovaný a výsledok z riadenia zodpovedal požiadavkám. Časy riadenia boli 31 sekúnd (regulátor navrhnutý metódou priamej syntézy s použitím aproximovaného URO) a pri druhom regulátory 73 sekúnd (regulátor navrhnutý Ziegler-Nichols metódou). Pri kaskádovom riadení bol čas regulácie v jednom prípade oveľa kratší, v druhom prípade rovnaký ako pri jednoduchom spätnoväzbovom riadení. Podstatné bolo kompenzovať poruchu v podobe zmeny tlaku kvapaliny v prívodnom potrubí do zásobníka, jednoduchým obvodom sa tento vplyv nepodarilo kompenzovať.

V druhej kapitole bolo simulované riadenie troch zásobníkov kvapaliny v prostredí Matlab. Na riadenie taktiež pôsobili poruchy ako zmeny prietokov v potrubí. Na riadenie bol použitý jednoduchý spätnoväzbový obvod a kaskádová regulácia. Pri jednoduchom obvode nebol vplyv porúch kompenzovaný natoľko, aby sa riadená veličina nedostala mimo zvoleného delta okolia. Pri riadení systému troch zásobníkov v jednoduchom spätnoväzbovom obvode vznikli veľké preregulovania, ktoré boli spôsobené práve poruchou. Kaskádová regulácia tvorila druhú polovicu práce. Simulované bolo riadenie v kaskádovom zapojení. Výsledkom z riadenia bola kompenzácia poruchy, ktorá pôsobila na obvod ako zmena tlaku v potrubí. Pri riadení sa riadená veličina výška hladiny ani raz nedostala mimo zvoleného delta okolia.

Diplomová práca bola venovaná téme, ktorá poskytla autorovi veľa cenných skúseností. Pri jednotlivých riadeniach, či už len simuláciách, ale hlavne reálnych zariadeniach je veľmi dôležitý výber metódy, ktorou bude dané zariadenie riadené. Pričom na tento výber má vplyv veľa faktorov, medzi ktorý patrí napr. aj výskyt poruchy.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Identifikácia systému, Dostupné na internete
<http://www.kirp.chtf.stuba.sk/moodle/mod/data/view.php?id=13578>,
Online 20.4.2010
- [2] Rozvetvené regulačné obvody, Dostupné na internete
http://www.kirp.chtf.stuba.sk/~bakosova/wwwRTP/rro_prednaska.pdf,
Online 20.4.2010
- [3] Harsányi, L. – Mudrončík, D. – Huba, M. – Dúbravská, M.: *Teória riadenia – Príklady a cvičenia*, SVŠT Bratislava, str. 275, 1984
- [4] Mikleš, J. – Hutla, V.: *Teória automatického riadenia*, Vydala Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, n.p., Bratislava, str. 146, 1986
- [5] Kaskádové riadenie, Dostupné na internete
http://www.kirp.chtf.stuba.sk/~bakosova/wwwRTP/rro_prednaska.pdf,
Online 20.04.2010