

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA CHEMICKEJ A POTRAVINÁRSKEJ TECHNOLOGIE

Implementácia riadenia na priemyselnom riadiacom systéme B&R X20

DIPLOMOVÁ PRÁCA

FCHPT-5414-40483

2011

Bc. Jana Smižiková

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA CHEMICKEJ A POTRAVINÁRSKEJ TECHNOLOGIE

Implementácia riadenia na priemyselnom riadiacom systéme B&R X20

DIPLOMOVÁ PRÁCA

FCHPT–5414–40483

Študijný program: I-AICHP Automatizácia a informatizácia v chémii a potravinárstve

Číslo a názov študijného odboru: 5.2.14 Automatizácia

Školiace pracovisko: OIRP ÚIAM FCHPT

Vedúci záverečnej práce/školiť: Ing. Michal Kvasnica, PhD.

Konzultant: Ing. Richard Valo

Bratislava 2011

Bc. Jana Smižíková



ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študentka: **Bc. Jana Smižiková**
ID študenta: 40483
Študijný program: automatizácia a informatizácia v chémii a potravinárstve
Študijný odbor: 5.2.14 automatizácia
Vedúci práce: Ing. Michal Kvasnica, PhD.
Konzultant: Ing. Richard Valo

Názov práce: **Riadenie tepelno-materiálovej sústavy pomocou B&R X20**

Špecifikácia zadania:

Práca je venovaná návrhu, overeniu a implementácii riadenia tepelno-materiálovej sústavy na priemyselnom riadiacom systéme B&R X20. Ciele práce sú formulované nasledovne:

- * identifikácia procesu z prechodovej charakteristiky pri meniacej sa teplote ohrevného média
- * vytvorenie a implementácia logického regulátora na riadenie teploty ohrevného média
- * polynomičná syntéza na riadenie teploty vo výmenníku
- * prepočet fyzikálnych jednotiek pomocou rebríkovej logiky
- * vytvorenie vizualizačného prostredia

Rozsah práce: 50

Riešenie zadania práce od: 14. 02. 2011

Dátum odovzdania práce: 21. 05. 2011



Bc. Jana Smižiková
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. Michalovi Kvasnicovi, PhD. a konzultantovi Ing. Richardovi Valovi za cenné rady, pripomienky a odborné vedenie pri písaní diplomovej práce.

Prehlásenie

Čestne prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému: „Implementácia riadenia na priemyselnom riadiacom systéme B&R X20“ vypracovala samostatne podľa pokynov vedúceho diplomovej práce a s použitím literatúry, ktorú uvádzam v osobitnom zozname.

V Bratislave, 20. mája 2011

.....

podpis

Abstrakt

Cieľom tejto práce je zoznámiť sa a naučiť sa pracovať v programe B&R Automation Studio a získané znalosti následne aplikovať na reálny systém. Výsledkom je návrh riadenia platňového výmenníka tepla pomocou polynomickeho návrhu PA regulátora a vytvorenie vizualizácie. Samotnému návrhu riadenia predchádzalo navrhnutie dvojpolohového regulátora pre výmenník tepla so špirálou, aby sa v ňom udržiavala približne konštantná teplota. Kvapalina z tohto výmenníka ohrieva kvapalinu v platňovom výmenníku na žiadanú hodnotu. Ďalej bolo potrebné identifikovať systém vykonaním viacerých skokových zmien, pričom sa menil prietok horúcej kvapaliny a zo získaného prenosu modelu sa navrhol regulátor. Regulátor bol najskôr testovaný na modeli a až následne aplikovaný na reálny proces. Na záver bola vytvorená vizualizácia, ktorá umožňuje zadať žiadané hodnoty a zobrazit' aktuálne výsledky riadenia číselne aj graficky.

Kľúčové slová: PLC, B&R Automation Studio, riadenie výmenníka tepla

Abstract

The aim of this work is to study and learn to work with the B&R Automation Studio and then apply the acquired knowledge to design of a control system for a real system. The result is a control system which controls a plate heat exchanger using a polynomial controller. For controlling temperature in a heat exchanger equipped with a heating spiral, a two-position controller is designed. It controls this component in a such a way that the temperature remains within of given bounds. Liquid from this heat exchanger then heats an another liquid in the plate heat exchanger to the desired value. Model of this component was obtained by identifying the system response on various changes of the flow of hot liquid. Subsequently, a polynomial controller was synthesized. The controller was first tested on simulations and then applied to the real process. Finally, a visualization component was created. The visualization allows to set desired values of the controlled signals, display actual results and monitor the plant.

Klíčové slová: PLC, B&R Automation Studio, control of exchanger heat

Obsah

Zoznam obrázkov	9
Zoznam tabuliek	11
Úvod	12
1 Formulácia úlohy	13
2 Teoretická časť	14
2.1 Priemyselné počítače	14
2.1.1 Štruktúra PLC	14
2.1.2 Rozdelenie PLC	15
2.1.3 Programovanie PLC	15
2.2 B&R X20	16
2.3 B&R Automation Studio	17
2.3.1 Programovacie jazyky	17
2.3.2 Vizualizácia	19
2.3.3 Matlab a Simulink	20
2.4 Laboratórne zariadenie Armfield PCT 23	22
2.4.1 Časti zariadenia	22
2.5 Regulátory	26
2.5.1 Dvojpohový regulátor	26
2.5.2 Polynomický návrh PA regulátora bez integračnej činnosti	26
2.5.3 Polynomický návrh PA regulátora s integračnou činnosťou	27
3 Praktická časť - riadenie laboratórneho zariadenia Armfield PCT 23	29
3.1 Analýza	29
3.2 Podmienky	30
3.3 Prepočty	30
3.4 Riadenie výmenníka so špirálou	33
3.5 Identifikácia	34
3.6 Návrh regulátora	38
3.7 Aplikácia na reálny systém	41
3.8 Spracovanie dát	41
3.9 Vytvorenie vizualizácie	45
3.9.1 Stránka Úvod	45

3.9.2	Stránka <i>Parametre</i>	46
3.9.3	Stránka <i>Graf teploty T1</i>	47
3.9.4	Stránka <i>Graf teploty T2</i>	48
3.9.5	Stránka <i>Graf ot. čerp. WP</i>	48
4	Záver	50
	Zoznam použitej literatúry	51
	Prílohy	52

Zoznam obrázkov

Obr. 1	PLC B&R X20 [7]	17
Obr. 2	Knižnica v Simulinku B&R AS	21
Obr. 3	Armfield PCT 23 – schéma riadiaceho zariadenia [11].....	23
Obr. 4	Armfield PCT 23 – riadiace zariadenie	23
Obr. 5	Platňový výmenník tepla [11].....	24
Obr. 6	Armfield PCT 23 – schéma ovládacieho panelu [11].....	25
Obr. 7	Armfield PCT 23 – ovládací panel	25
Obr. 8	Zapojenie PA regulátora	26
Obr. 9	Zapojenie PA regulátora s integračnou činnosťou.....	27
Obr. 10	Prestup tepla v platňovom výmenníku tepla	29
Obr. 11	Prepočet teploty v celých číslach na teplotu [°C]	31
Obr. 12	Prepočet teploty [°C] na teplotu v celých číslach	31
Obr. 13	Prepočet príkonu v celých číslach na príkon [kW]	31
Obr. 14	Prepočet príkonu [kW] na príkon v celých číslach	32
Obr. 15	Prepočet otáčok čerpadla v celých číslach na otáčky čerpadla [%].....	32
Obr. 16	Prepočet otáčok čerpadla [%] na otáčky čerpadla v celých číslach.....	32
Obr. 17	Riadenie výmenníka tepla so špirálou	34
Obr. 18	Vykonané skokové zmeny	35
Obr. 19	Odozva systému na vykonané skokové zmeny.....	35
Obr. 20	Odozva systému na vykonané skokové zmeny – filtrované dáta	36
Obr. 21	Odozvy systému na skokové zmeny	37
Obr. 22	Normované prechodové charakteristiky	37
Obr. 23	Výsledná prechodová charakteristika	38
Obr. 24	Porovnanie pôvodnej a identifikovanej prechodovej charakteristiky.....	38
Obr. 25	Schéma overenia PA regulátora na modely (spojitý prenos).....	39
Obr. 26	Priebeh riadenia modelu pomocou navrhnutého PA regulátora	40
Obr. 27	Schéma porovnania riadenia spojitého a diskrétného PA regulátora.....	40
Obr. 28	Schéma PA regulátora	41
Obr. 29	Priebeh riadenej teploty T1 – riadenie pomocou PA regulátora.....	42
Obr. 30	Regulačná odchýlka	43
Obr. 31	Priebeh akčného zásahu čerpadla	43
Obr. 32	Priebeh riadenej teploty T2 - riadenie pomocou dvojpohového regulátora	44

Obr. 33	Priebeh riadenej teploty T1 a strednej hodnoty kmitov	45
Obr. 34	Vizualizácia – úvodná strana	46
Obr. 35	Vizualizácia – nastavenie parametrov	47
Obr. 36	Vizualizácia – graf riadenej teploty T1	47
Obr. 37	Vizualizácia – graf riadenia teploty T2	48
Obr. 38	Vizualizácia – graf akčného zásahu WP	49

Zoznam tabuliek

Tab. 1	Vyhodnotenie riadenia	45
--------	-----------------------------	----

Úvod

V posledných desaťročiach automatizácia výroby spojená s riadiacou technikou zažíva obrovský rozmach. Aj napriek vysokým prvotným nákladom sa investícia vráti po krátkom čase v ušetrených nákladoch na ľudské zdroje. Nezanedbateľným benefitom je zároveň zvýšená bezpečnosť a spoľahlivosť celej prevádzky.

História priemyselných riadiacich automatov (PLC, z angl. Programmable Logic Controller) siaha do konca 70-tych rokov minulého storočia [1]. Mali nahradiť dovtedy používané riadiace systémy, ktoré sa vyznačovali viacerými nevýhodami – finančnou náročnosťou, vysokým množstvom kabeľáže a náročnou údržbou. Až neskôr aj iné priemyselné odvetia objavili potenciál PLC. Dnešné PLC sa od tých prvých líšia najmä novými funkciami, programovacími jazykmi a menšou veľkosťou.

Softvéry používané na programovanie PLC od rôznych výrobcov sa líšia v mnohých smeroch a nie sú medzi sebou kompatibilné, napriek tomu hlavná myšlienka zostáva rovnaká. V tejto diplomovej práci som využila produkty od firmy B&R – program B&R Automation Studio a PLC X20, pomocou ktorých som riadila laboratórne zariadenia Armfield PCT 23.

Práca pozostáva z dvoch častí – teoretickej a praktickej. V teoretickej časti sa venujem všeobecne PLC, programu B&R Automation Studio, laboratórnemu zariadeniu Armfield PCT 23 a návrhu regulátorov použitých v tejto práci. V praktickej časti je opísaný postup práce rozdelený na jednotlivé kapitoly – analýza zadania, základné obmedzenia programu, prepočty premenných z celých čísel na reálne a naopak, návrh dvojpolohového regulátora pre výmenník tepla so špirálou, identifikácia systému, polynomický návrh regulátora pre platňový výmenník tepla a simulácia na modely, aplikácia na reálny systém, spracovanie dát a vytvorenie vizualizácie.

1 Formulácia úlohy

Cieľom práce je zoznámiť sa s prostredím programu B&R Automation Studio a aplikovať ho na reálny systém - laboratórneho zariadenia Armfield PCT 23 pomocou priemyselného riadiaceho systému B&R X20.

Ciele úlohy sú formulované nasledovne:

- identifikácia procesu z prechodovej charakteristiky pri meniacich sa otáčkach čerpadla čerpajúceho ohrevné médium
- vytvorenie a implementácia logického regulátora na riadenie teploty ohrevného média
- polynomická syntéza na riadenie teploty vo výmenníku
- prepočet fyzikálnych jednotiek pomocou rebríkovej logiky
- vytvorenie vizualizačného prostredia

2 Teoretická časť

Teoretická časť obsahuje štyri podkapitoly, v ktorých sa nachádzajú informácie o priemyselných počítačoch (PLC), o programe B&R Automation Studio, údaje o laboratórnom zariadení Armfield PCT 23 a informácie o regulátoroch, ktoré som aplikovala na systém výmenníka tepla.

2.1 Priemyselné počítače

Priemyselné počítače sa používajú na automatizáciu elektromechanických procesov v reálnom čase [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Na rozdiel od bežných počítačov sa program spracováva vo fixných časových intervaloch a obvody PLC sa priamo dajú napojiť na technologické procesy. Hlavnú časť týchto obvodov tvoria digitálne a analógové vstupy a výstupy. Digitálne signály zachytávajú binárne informácie. Analógové signály zachytávajú spojité informácie, ktoré sú vysielané v celých číslach (integer). V prípade, že posielame údaje pomocou prúdu v rozpätí 4 – 20 mA alebo napätia v rozpätí 0 – 10 V je táto stupnica v intervale od 0 do 32767.

PLC patria k najpoužívanejším riadiacim systémom a sú predurčené na prácu v priemyselnom prostredí najmä vďaka nasledujúcim vlastnostiam:

- práca v náročných priemyselných podmienkach - odolnosť voči teplotným výkyvom, nárazom, vibráciám a elektrickému šumu
- jednoduchá údržba
- hardvérová a softvérová flexibilita – jednoduchosť a efektivita zmien programu
- flexibilita a „recyklovateľnosť“ – dajú sa jednoducho rozšíriť a znova použiť v inej aplikácii

Využívajú sa pri riadení strojov, technologických procesov, v energetike, pri diaľkovom meraní a ovládaní a v mnohých ďalších oblastiach a odvetviach.

2.1.1 Štruktúra PLC

Jadro riadiaceho systému tvorí centrálna procesorová jednotka – CPU, v ktorej beží firmvér PLC a užívateľský program.

CPU obsahuje niekoľko procesorov, pričom každý má svoju funkciu. Hlavný procesor spracováva programový algoritmus riadenia, ostatné procesory sú mu podriadené. K jednotke CPU sa pripájajú vstupno-výstupné moduly, ktoré umožnia zber informácie z riadeného systému a realizáciu akčného zásahu. Firmvér je operačný systém PLC, ktorý zabezpečuje jeho fungovanie, vykonávanie programu a komunikáciu s modulmi.

Súčasťou PLC môžu byť aj rôzne komunikačné moduly, ktoré zabezpečia komunikáciu s inými systémami. Jedná sa najmä o systémy pre vizualizáciu a ovládanie technologických procesov.

2.1.2 Rozdelenie PLC

Z hľadiska konštrukcie môžeme PLC rozdeliť na dva druhy systémov:

- kompaktné – v jednom module obsahuje CPU, digitálne aj analógové vstupy a výstupy a základnú podporu komunikácie a niekedy aj zdroj
- modulárne – jednotlivé komponenty celku sú rozdelené do modulov: CPU, zdroj, vstupy a výstupy, funkčné bloky

Modulárne systémy sa dajú rozširovať v ďaleko väčšom rozsahu ako kompaktné systémy.

Z hľadiska veľkosti a náročnosti môžeme PLC rozdeliť na:

- malé – najmä kompaktné, majú málo vstupov a výstupov, využívajú sa pri riadení samostatných strojov
- stredné – najčastejšie používané, vhodné pri riadení výrobných liniek
- veľké – vhodné pri riadení výrobných liniek, kde sa očakáva rýchla odozva systému

2.1.3 Programovanie PLC

Základnou požiadavkou na PLC od ich vzniku bolo, aby sa dali jednoducho preprogramovať a aby to zvládli skúsení elektrotechnici. Z tohto dôvodu prvé programovacie jazyky vychádzajú z reléových schém, ktoré sa v tej dobe používali. Najstaršie PLC mohli vykonávať základné logické funkcie ako zisťovanie stavu vstupu, sériové a paralelné zapojenie kontaktov (AND/OR), rozpínací kontakt (NOT), zápis

výsledku, R-S bloky, časovače a niektoré pomocné funkcie. Prvý grafický programovací jazyk používaný aj v súčasnosti sa volá rebríkový diagram. Neskôr začali pribúdať ďalšie funkcie (spracovanie číselných hodnôt, matematické operácie) a postupne sa vyvíjali nové jazyky. Tieto jazyky však nemali pevnú štruktúru a menili sa v závislosti od výrobcu PLC. Až v roku 1993 medzinárodná normalizačná organizácia pre elektroniku IEC (International Electrotechnical Commission) vydala normu, ktorá sa venuje výlučne PLC. Medzinárodná harmonizácia a štandardizácia bola zavŕšená až v roku 2003, kedy bola vydaná norma IEC 61131. Táto norma je rozdelená na 7 častí:

1. Všeobecné informácie
2. Požiadavky na zariadenia a skúšky
3. Programovacie jazyky
4. Pokyny pre užívateľov
5. Komunikácia
6. Programovanie fuzzy-control
7. Pokyny na používanie a implementáciu programovacích jazykov

V ďalšej kapitole je bližšie spomínaná tretia časť – programovacie jazyky.

2.2 B&R X20

V rámci svojej práce som pracovala s PLC X20 (obr. 1) od firmy B&R [7]. Toto PLC môže byť použité na riešenie širokého spektra úloh a problémov s aplikovaním digitálnych aj analógových vstupov/výstupov. Keďže som pracovala len s analógovými vstupmi/výstupmi, použila som tieto moduly: X20-AI4622 a X20-AO2622.

Modul AI4622 je navrhnutý pre štyri analógové vstupy. Signály môžu byť prúdové aj napäťové. Na tento modul som pripojila teploty T1 a T2.

Modul AO2622 je navrhnutý iba pre dva analógové vstupy. Signály opäť môžu byť aj prúdové aj napäťové. Pri svojej práci som používala dva takéto moduly, keďže som potrebovala pripojiť tri výstupy – dve čerpadlá a príkon na ohrev výmenníka so špirálou.



Obr. 1 PLC B&R X20 [7]

2.3 B&R Automation Studio

B&R Automation Studio (B&R AS) je softvérové vývojové prostredie, ktoré obsahuje nástroje pre všetky časti projektu [8]. V rámci jedného prostredia môžu byť nakonfigurované regulátor, komunikácia aj vizualizácia.

Možnosti programu:

- rozdelenie projektu do zložiek
- dátové typy a premenné uložené v priečinkoch
- vkladanie knižníc
- viacnásobné použitie zdrojového kódu – pomocou odkazov
- zdrojový kód uložený vo formáte XML (s výnimkou ANSI C)
- import / export funkcií
- režim AR000 – možnosť pracovať bez zapojenia reálneho zariadenia

2.3.1 Programovacie jazyky

B&R AS podporuje viacero programovacích jazykov: štandardizované jazyky IEC 61131-3, ANSI-C, Automation Basic, CFC (continuous function chart, kontinuálne funkčné diagramy).

2.3.1.1 IEC 61131-3

Ako bolo už vyššie spomínané, tretia časť noriem IEC 61131-3 sa zaoberá programovacími jazykmi pre PLC a to:

-
- LD (ladder diagram, rebríkový diagram)
 - FBD (function block diagram, diagram funkčných blokov)
 - IL (instruction list, zoznam inštrukcií)
 - SFC (sequential function chart, sekvenčné funkčné diagramy)
 - ST (structured text, štruktúrovaný text)

➤ LD – rebríkový diagram

LD je grafický programovací jazyk, ktorý sa primárne využíva na vyvíjanie softvéru pre PLC [9]. Výhodou tohto jazyka je, že inžinieri a technici sú schopní používať tento jazyk bez zdĺhavých školení a zaúčania.

Štandardy IEC 61131 pomohli znížiť rozdiely v jazyku medzi jednotlivými výrobcami, avšak aj napriek tomu rebríkové diagramy od dvoch výrobcov nie sú kompatibilné.

➤ FBD – diagram funkčných blokov

FBD je súbor diagramov, ktoré opisujú funkcie medzi vstupnými a výstupnými premennými. Umožňuje efektívne využitie pamäte PLC. Základné bloky môžu byť jednoducho použité na vytvorenie zložitých blokov. Funkcie sú opísané ako súbor základných blokov.

➤ IL – zoznam inštrukcií

IL je programovací jazyk, ktorý sa používa najmä na písanie krátkych kódov s malým vetvením. Je možné ho implementovať do PLC aj bez kompilácie.

➤ SFC – sekvenčné funkčné diagramy

SFC je grafický programovací jazyk používaný v PLC s dobre prepracovaným vetvením. Momentálne sa vyvíja textová forma tohto jazyka, ktorá v budúcnosti umožní prenos aplikácie medzi systémami rôznych výrobcov.

➤ ST – štruktúrovaný text

ST je jazyk na vysokej úrovni podobný Pascalu. Je to najpoužívanejší jazyk zo skupiny IEC 61131-3. Dobre spolupracuje s FBD – umožňuje volať funkcie a výstupy FBD. Využíva rôzne dátové typy.

2.3.1.2 ANSI – C

Programovací jazyk C je jedným z najbežnejších programovacích jazykov. Pôvodne bol určený pre operačný systém UNIX, časom sa rozšíril na rôzne počítače. Programujú sa v ňom aplikácie, ale aj knižnice. Vzhľadom na rozšírenosť jazyka je k dispozícií neobmedzené množstvo algoritmov a programov.

2.3.1.3 Automation Basic

Automation Basic je jazyk podobný ST. Tento jazyk je vhodný pre užívateľov, ktorí chcú pracovať s jednoduchým jazykom a zároveň nechcú prísť o možnosti, ktoré ponúkajú zložitejšie programy ako adresy, pointre, štruktúry.

2.3.1.4 CFC – continuous function chart

CFC je jazyk podobný FBD. Kým FBD editory sú sieťovo-orientované a bloky sa usporiadajú automaticky, CFC bloky môžu byť voľne umiestnené na obrazovke. V tomto jazyku môže byť spätnoväzbová slučka vytvorená bez dočasnej premennej.

2.3.2 Vizualizácia

Pomocou vizualizačného systému Automation Studio môžeme vytvoriť integrované ovládanie XGA displeja s tlačidlami a/alebo dotykovým displejom, poprípade možno použiť vizualizačný systém VNC [8].

Výhody a možnosti vizualizácie v Automation Studio:

- vytváranie diagramov pomocou WYSIWYG
- interakcia pomocou tlačidiel a dotykového displeja
- štruktúrované usporiadanie vizualizácie

-
- prepínanie jazykov s podporou Unicode
 - správa a zobrazenie aktuálnych a minulých alarmov
 - zobrazenie výsledkov pomocou grafov

2.3.3 Matlab a Simulink

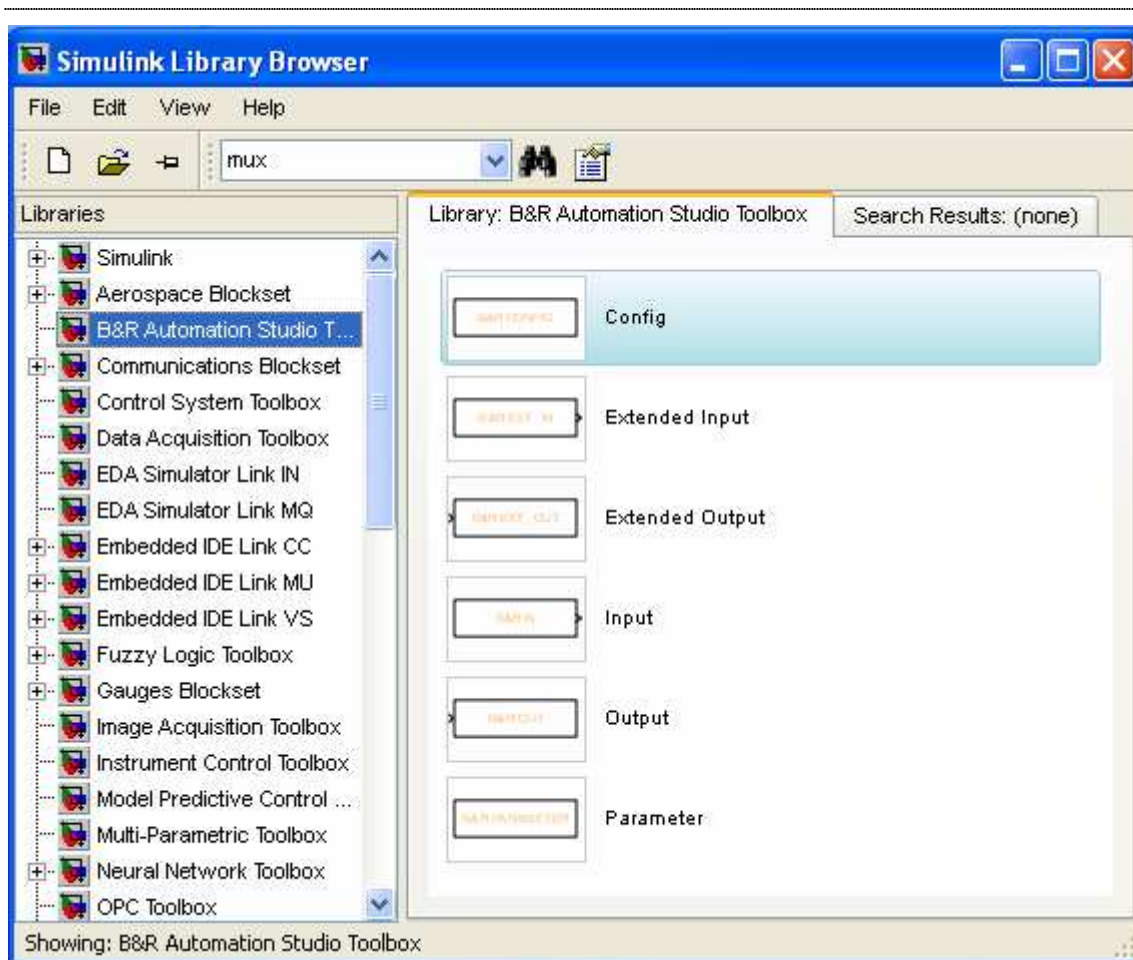
Program B&R AS umožňuje prepojenie projektu s Matlabom, ale až po inštalácii balíčka Simulink Target Setup, ktorý je súčasťou tohto programu [10]. Pre Simulink je vytvorená špeciálna knižnica, ktorá obsahuje bloky potrebné pre spojenie medzi týmito dvoma programami. Okrem týchto blokov je samozrejme možné používať všetky ostatné bloky simulinkovej knižnice.

V praxi je výhodné toto prepojenie z viacerých dôvodov:

1. netreba programovať zložité veci, ktoré už sú naprogramované
2. poskytuje možnosť otestovať veci najskôr na modely a až po otestovaní ich napojiť na reálne zariadenie
3. simulácia pomocou nástrojov Matlabu môže byť cenná pri školení a vzdelávaní zamestnancov
4. všetky tri predchádzajúce body vedú k zníženiu nákladov

2.3.3.1 Bloky v Simulinku

V knižnici Simulinku sa po nainštalovaní B&R balíčka vytvorí priečinok, v ktorom je viacero blokov (obr. 2). Základný blok *Config* musí byť použitý v každej schéme, ktorá má spolupracovať s B&R AS. V ostatných blokoch sa pracuje s premennými, ktoré sú zadané v B&R AS. Do bloku *Input* sa posiela premenná z programu B&R AS, s ktorou chceme ďalej pracovať v Simulinku. Opakom tohto bloku je blok *Output*, ktorý do určenej premennej v B&R AS posiela výsledky zo simulácie. Podobne fungujú aj bloky *Extended Input* a *Extended Output*. Výhodou týchto blokov je, že automaticky prepočítavajú reálne hodnoty na celé čísla a naopak. Blok *Parameter* dovoľuje meniť hodnotu nejakej premennej použitej v schéme (napr. parametre PID regulátora).




Obr. 2 Knižnica v Simulinku B&R AS

2.3.3.2 Konfigurácia a kompilácia

Po vytvorení simulačnej schémy je potrebné nastaviť konfiguráciu, aby bola schéma funkčná.

Konfigurácia v dvoch bodoch:

1. v Simulinku nastaviť rovnakú periódu vzorkovania ako v B&R AS (Simulation -> Configuration Parameters -> Solver)
2. nastaviť cestu v Simulinku do projektu v B&R AS, napísať názov pod akým sa vytvorí program v B&R AS, nastaviť názov konfigurácie a PLC podľa B&R AS (Simulation -> Configuration Parameters -> Real-Time Workshop -> B&R Basic Settings)

Keď je všetko nastavené, schéma sa môže stiahnuť do B&R AS pomocou tlačidla . Po kompilácii sa vytvorí v B&R AS program v jazyku ANSI C, ktorý sa dá ďalej upravovať.

2.4 Laboratórne zariadenie Armfield PCT 23

Armfield PCT 23 je v podstate zmenšená verzia reálneho priemyselného zariadenia – má rovnaké problémy so stabilitou a dynamikou [11]. Tento proces zahŕňa niekoľko charakteristík, ktoré sú typické pre reálne systémy:

- viacero vstupov a výstupov
- prítomnosť mŕtveho času
- alarmy s možnosťou opravy
- postupnosť operácií

Užívateľ si môže vyskúšať rôzne možnosti riadenia – manuálne na elektrickom ovládacom paneli a pomocou počítača alebo navrhnúť si akýkoľvek v priemysle používaný typ riadenia (PID regulátor, PA regulátor, kaskádové riadenie, ...).

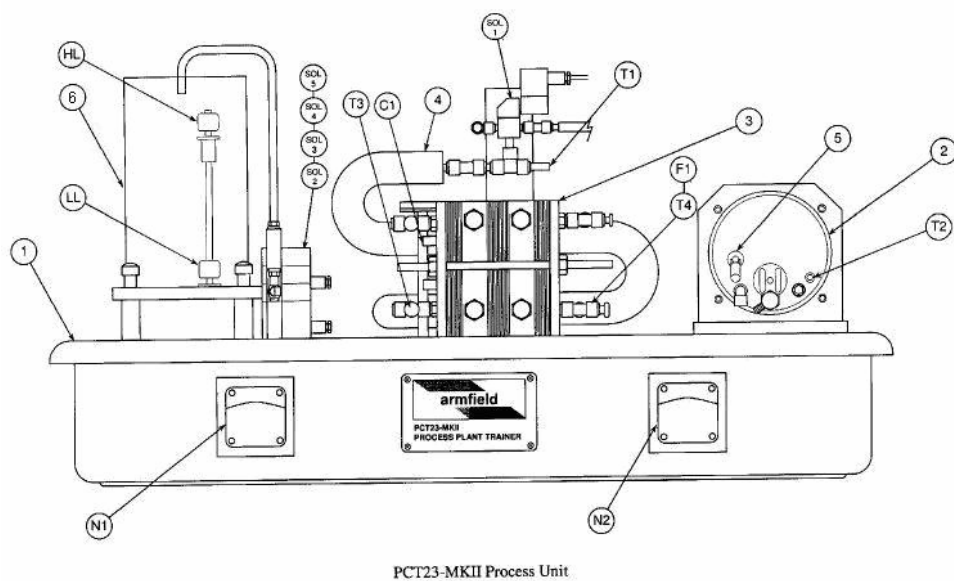
Procesy, ktoré sa dajú v tomto laboratórnom zariadení nasimulovať, sú podobné napríklad pasterizácií mlieka alebo džúsov. Vo všeobecnosti v praxi výmenníky tepla patria k najčastejšie riadeným priemyselným procesom, pričom treba dbať na úsporu energie a bezpečnosť prevádzky.

2.4.1 Časti zariadenia

Zariadenie pozostáva z dvoch základných častí a to: zo samotného zariadenia a ovládacieho panela.

2.4.1.1 Riadené zariadenie

Riadené zariadenie (obr. 3, 4) tvoria dve nádoby (6), výmenník tepla so špirálou (2), platňový výmenník tepla (3), izolovaná trubica (4) a dve čerpadlá (N1, N2). Do oboch zásobníkov priteká voda, ktorá môže byť ovládaná pomocou solenoidov. Naopak zo zásobníkov sa voda vypúšťa manuálnym otvorením ventilov alebo použitím čerpadla N1 (FeedPump) sa dostáva do platňového výmenníka tepla. Výmenník tepla so špirálou obsahuje teplotný senzor T2 a plavák, ktorý určuje minimálnu výšku hladiny vo výmenníku. Pomocou čerpadla N2 (WaterPump) horúca voda cirkuluje medzi výmenníkom so špirálou a platňovým výmenníkom.

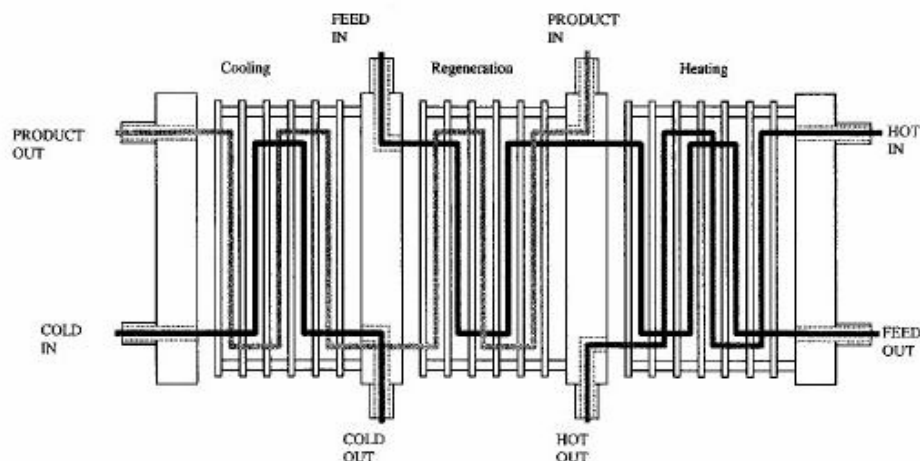


Obr. 3 Armfield PCT 23 – schéma riadiaceho zariadenia [11]



Obr. 4 Armfield PCT 23 – riadiace zariadenie

Platňový výmenník tepla (obr. 5) sa skladá z troch nezávislých častí – ohrievanie, chladenie a predhrievanie prítoku.



Obr. 5 Platňový výmenník tepla [11]

Celkovo toto zariadenie používa päť solenoidov, dve čerpadlá, štyri teplotné senzory, senzor zaznamenávajúci vodivosť, prietokový senzor, senzor zaznamenávajúci výšku hladiny v jednom zásobníku a dvojpolohový regulátor, ktorý využíva plaváky na detekovanie nízkej, resp. vysokej výšky hladiny v druhom zásobníku.

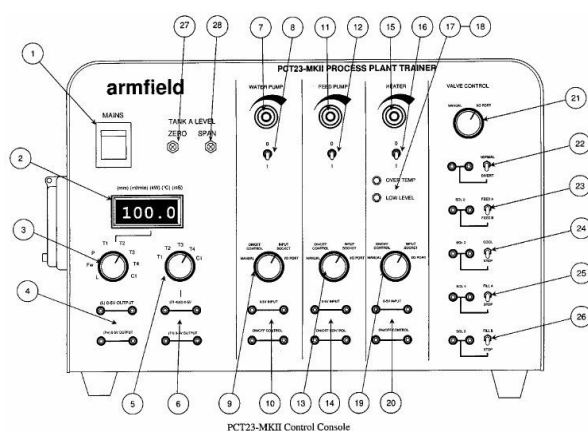
Teplotné senzory zaznamenávajú teplotu v rozmedzí 0 – 150°C v jednotlivých častiach zariadenia:

- T1 – teplota zohrievanej kvapaliny na výstupe z platňového výmenníka tepla (obr. 5, feed out)
- T2 – teplota vo výmenníku tepla so špirálou
- T3 – teplota chladenej kvapaliny na výstupe z platňového výmenníka tepla (obr. 5, product out)
- T4 – teplota zohrievanej kvapaliny na konci izolovanej trubice

Senzor zaznamenávajúci vodivosť meria vodivosť chladenej kvapaliny na výstupe z platňového výmenníka tepla (obr. 5, product out) od 0 do 200 mS/cm. Prietokový senzor meria prietok zohrievanej kvapaliny na výstupe z platňového výmenníka tepla v rozsahu 0 – 500 ml/min. Senzor výšky hladiny použitý v jednom zo zásobníkov meria v rozmedzí 0 – 250 mm.

2.4.1.2 Ovládací panel

Ovládací panel (obr. 6, 7) je „hlavou“ celého laboratórneho zariadenia. Pomocou tohto panelu sa zariadenie zapína a manuálne riadi. Tiež sa pomocou tohto panelu posielajú informácie, ktoré sa majú vykonať, medzi zariadením a počítačom. Zároveň zobrazuje aktuálne hodnoty, ktoré vysielajú jednotlivé senzory. V prípade riadenia pomocou PLC, panel poskytuje možnosť pripojiť analógové a digitálne vstupy a výstupy, ktoré musia byť v rozsahu od 0 do 5 V, v celých číslach to predstavuje hodnoty od 0 do 16384.



Obr. 6 Armfield PCT 23 – schéma ovládacieho panelu [11]



Obr. 7 Armfield PCT 23 – ovládací panel

2.5 Regulátory

2.5.1 Dvojpolohový regulátor

Dvojpolohový regulátor patrí medzi najjednoduchšie regulátory [12, 13]. Závislosť výstupného signálu na vstupnom pri tomto type regulátora nie je spojitá - akčná veličina nadobúda len dve hodnoty. To znamená že, ak žiadaná hodnota je menšia ako meraná, narastie prísun energie, v opačnom prípade klesne, resp. vypne sa prísun energie. Výstup z regulátora nadobúda dve hodnoty – minimálnu a maximálnu. Minimálna hodnota sa zväčša rovná nule, maximálna hodnota je nenulová. Nie je vhodné využívať tento typ regulátora, ak hrozí neustále prepínanie okolo žiadanej hodnoty. V praxi sa využíva sa v termostatoch, ohrievačoch so špirálou alebo ako regulátor napätia v spínacom zdroji.

2.5.2 Polynomický návrh PA regulátora bez integračnej činnosti

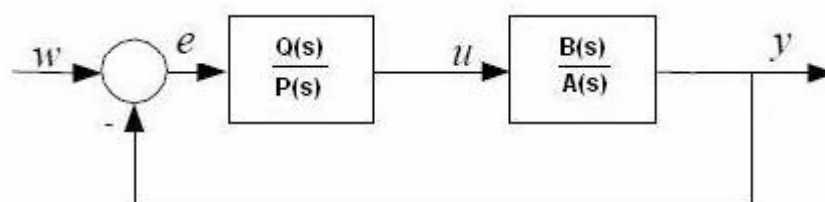
Pri návrhu PA regulátorov sa vychádza zo spätnoväzbového systému s jedným stupňom voľnosti (obr. 8), kde

$$G(s) = \frac{B(s)}{A(s)} \quad (2.1)$$

je prenos systému a

$$G_R(s) = \frac{Q(s)}{P(s)} \quad (2.2)$$

je prenos regulátora [14, 15].



Obr. 8 Zapojenie PA regulátora

Polynómy $Q(s)$ a $P(s)$ musia spĺňať rovnicu

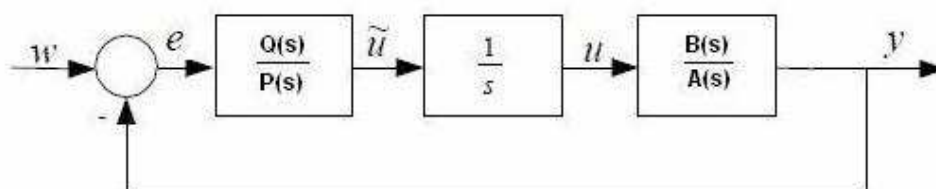
$$A(s)P(s) + B(s)Q(s) = M(s) \quad (2.3)$$

kde polynóm $M(s)$ má stabilné póly, ktoré sa majú vhodne umiestniť.

Návrh takéhoto regulátora nezabezpečí odstránenie trvalej regulačnej odchýlky.

2.5.3 Polynomický návrh PA regulátora s integračnou činnosťou

Polynomický regulátor s integračnou činnosťou na rozdiel od predchádzajúceho prípadu zabezpečí odstránenie trvalej regulačnej odchýlky. Takýto regulátor je tvorený prenosom regulátora $G_R(s) = \frac{Q(s)}{P(s)}$ a integrátorom $F(s) = \frac{1}{s}$ (obr. 9).



Obr. 9 Zapojenie PA regulátora s integračnou činnosťou

Polynómy $Q(s)$ a $P(s)$ musia spĺňať rovnicu:

$$A(s)sP(s) + B(s)Q(s) = M(s) \quad (2.4)$$

kde polynóm $M(s)$ má stabilné póly, ktoré sa majú vhodne umiestniť.

Stupne polynómov sa určujú nasledovne, pričom sa snažíme, aby regulátor bol čo najjednoduchší:

- ak $A(s)$ je n -tého stupňa, nech $n_M = 2n + 1$, potom polynómy $P(s)$ a $Q(s)$ sú n -

tého stupňa ($n_P = n$ a $n_Q = n$). Prenos $G_R(s) = \frac{Q(s)}{P(s)}$ je rýdзи, ale skutočný

prenos regulátora s integrátorom $G_R(s) = \frac{Q(s)F(s)}{P(s)}$ je striktne rýdзи.

- ak $A(s)$ je n -tého stupňa, nech $n_M = 2n$, potom stupeň polynómu $P(s)$ je $n_P = n - 1$ a stupeň polynómu $Q(s)$ je $n_Q = n$. V tomto prípade nie je prenos

$G_R(s) = \frac{Q(s)}{P(s)}$ rýdзи, ale skutočný prenos regulátora s integrátorom

$G_R(s) = \frac{Q(s)F(s)}{P(s)}$ je rýdзи.

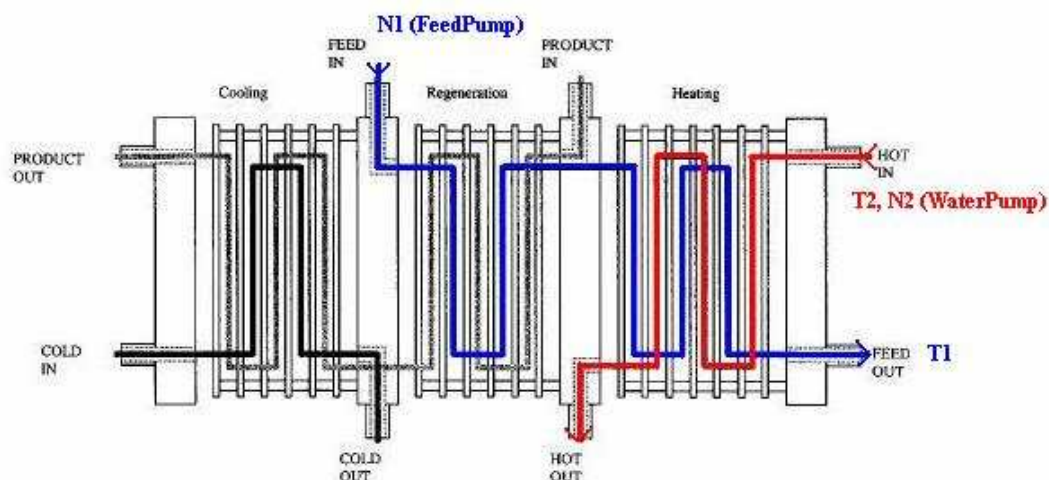
-
- ak $A(s)$ je n -tého stupňa, nech $n_M = 2(n+1)$, potom stupeň polynómu $P(s)$ je $n_P = n+1$ a stupeň polynómu $Q(s)$ je $n_Q = n$. V tomto prípade je prenos $G_R(s) = \frac{Q(s)}{P(s)}$ striktne rýdzi.

3 Praktická časť - riadenie laboratórneho zariadenia

Armfield PCT 23

3.1 Analýza

Mojou úlohou bolo riadiť teplotu T_1 na výstupe z platňového výmenníka tepla pomocou prietoku horúcej kvapaliny (obr. 10). Teplota tohto prúdu je konštantná (T_2). Studená kvapalina prichádza do výmenníka o konštantnom prietoku a teplote. V skutočnosti priamo prietoky týchto prúdov sa nedajú merať ani riadiť. Riadila som otáčky čerpadiel, ktoré privádzajú kvapalinu do výmenníka.



Obr. 10 Prestup tepla v platňovom výmenníku tepla

Teplotu vo výmenníku so špirálou som udržiavala v žiadanom rozmedzí pomocou dvojpolohového regulátora.

Na to, aby som mohla navrhnúť regulátor, ktorý riadi teplotu T_1 na žiadanú veličinu, potrebovala som poznať prenos procesu. Najskôr som si určila konštantné hodnoty teploty T_2 a otáčky čerpadla N1 (FeedPump, FP) a následne vykonala niekoľko skokových zmien, kde som menila otáčky čerpadla N2 (WaterPump, WP). Získané údaje som zidentifikovala a získala prenos. Na základe prenosu som si polynomicke

syntézou navrhla PA regulátor. Až na záver som regulátor aplikovala na reálny proces a vytvorila vizualizáciu.

3.2 Podmienky

Pred spustením samotného procesu som musela nastaviť minimálne a maximálne hodnoty, ktoré môžu odísť do zariadenia. Údaje sa posielajú pomocou napätia, ktoré je len v rozsahu 0-5 V, pričom program dovoľuje poslať prúd v rozsahu 0-20 mA, 4-20 mA alebo napätie v rozsahu 0-10 V. Keď to prepočítame na celé čísla namiesto intervalu 0-32767, môžeme posielat' len 0-16384. Obmedzenia som naprogramovala v programe Automation Basic pomocou podmienok if – then.

3.3 Prepočty

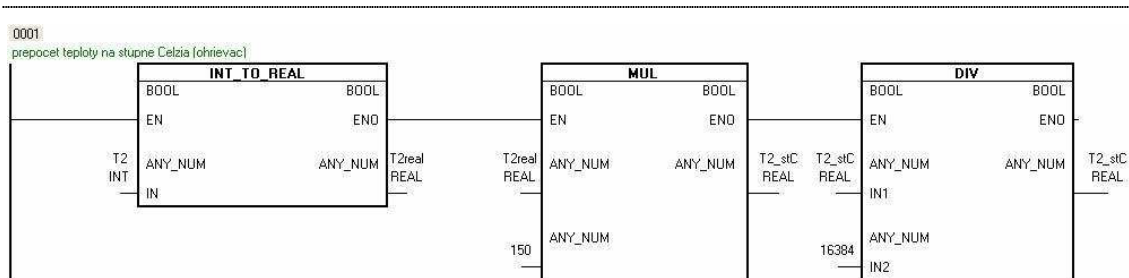
Z praktického hľadiska je veľmi nevýhodné pracovať napr. s teplotou udanou v celých číslach. Preto som používané veličiny (teplota [°C], príkon [kW], otáčky čerpadla [%]) prepočítala na ich reálnu hodnotu. K zariadeniu sú zadané rozsahy, v ktorých senzory pracujú. Prepočítavala som hodnoty z celých čísel na reálne, ale aj z reálnych na celé, aby sa hodnoty zobrazovali vo vypovedateľnej forme a zároveň, aby bolo možné zadávať žiadané hodnoty v reálnych číslach. Prepočty som robila pomocou rebríkového diagramu, čo je do istej miery nepraktické vzhľadom na potrebu viacerých pomocných premenných. Používala som štyri typy blokov – násobenie, delenie a dva na prevedenie typu premennej z INT na REAL a z REAL na INT.

Ďalej v práci používam názvy napr. T1 a *TI_stC*. T1 predstavuje danú veličinu, *TI_stC* názov premennej v programe B&R AS v reálnych číslach.

➤ Prepočet teploty

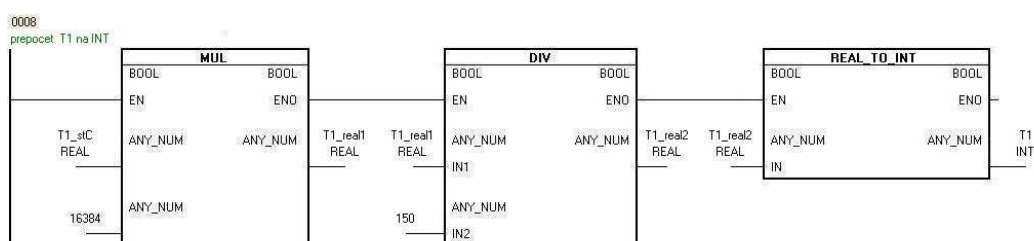
Teplota je snímaná od 0-150 °C, v celých číslach to zodpovedá rozsahu 0-16384.

$$T(^{\circ}C) = \frac{150}{16384} T(INT) \quad (\text{obr. 11}) \quad (3.1)$$



Obr. 11 Prepočet teploty v celých číslach na teplotu [°C]

$$T(INT) = \frac{16384}{150} T(^{\circ}C) \quad (\text{obr. 12}) \quad (3.2)$$

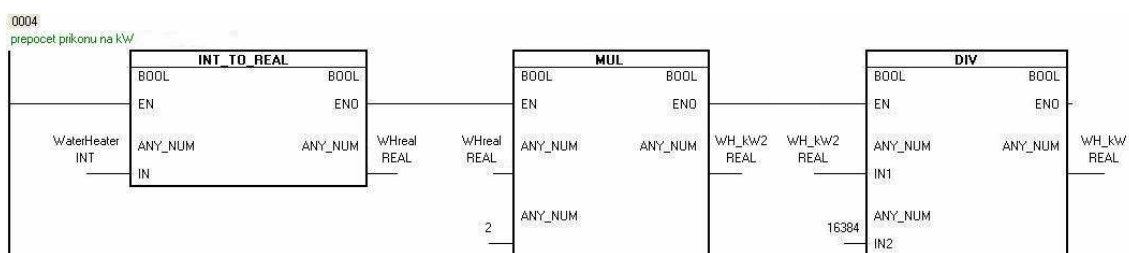


Obr. 12 Prepočet teploty [°C] na teplotu v celých číslach

➤ Prepočet príkonu

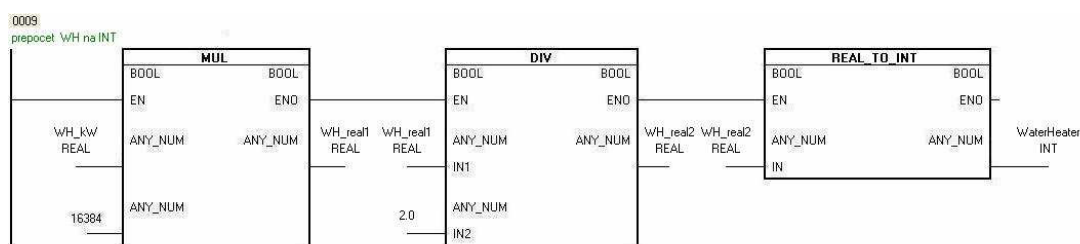
Príkon je snímaný od 0-2 kW, v celých číslach to zodpovedá rozsahu 0-16384.

$$P(kW) = \frac{2}{16384} P(INT) \quad (\text{obr. 13}) \quad (3.3)$$



Obr. 13 Prepočet príkonu v celých číslach na príkon [kW]

$$P(INT) = \frac{16384}{2} P(kW) \quad (\text{obr. 14}) \quad (3.4)$$

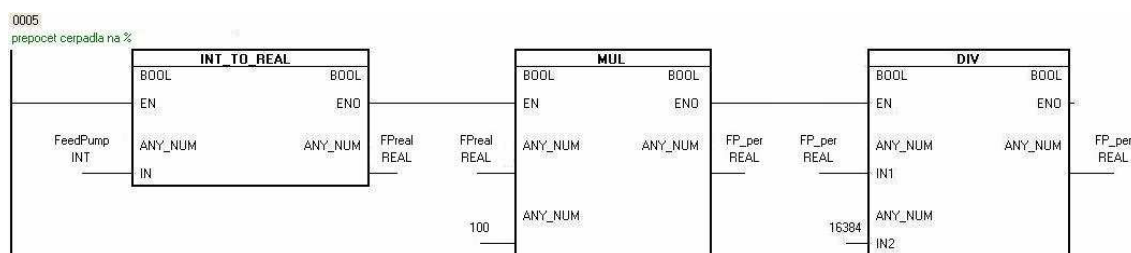


Obr. 14 Prepočet príkonu [kW] na príkon v celých číslach

➤ Prepočet otáčok čerpadla

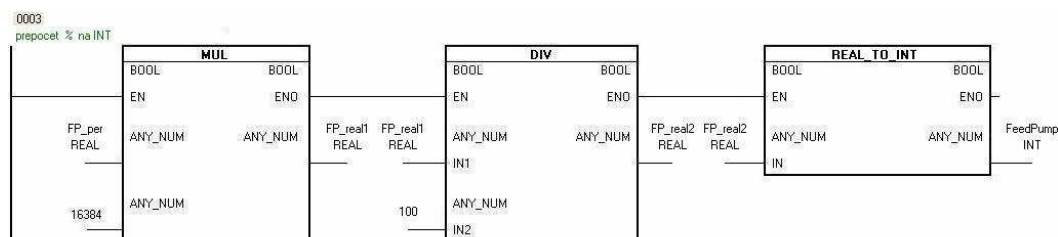
Otáčky čerpadla sú snímané od 0-100 %, v celých číslach to zodpovedá rozsahu 0-16384.

$$N(\%) = \frac{100}{16384} N(INT) \quad (\text{obr. 15}) \quad (3.5)$$



Obr. 15 Prepočet otáčok čerpadla v celých číslach na otáčky čerpadla [%]

$$N(INT) = \frac{16384}{100} N(\%) \quad (\text{obr. 16}) \quad (3.6)$$

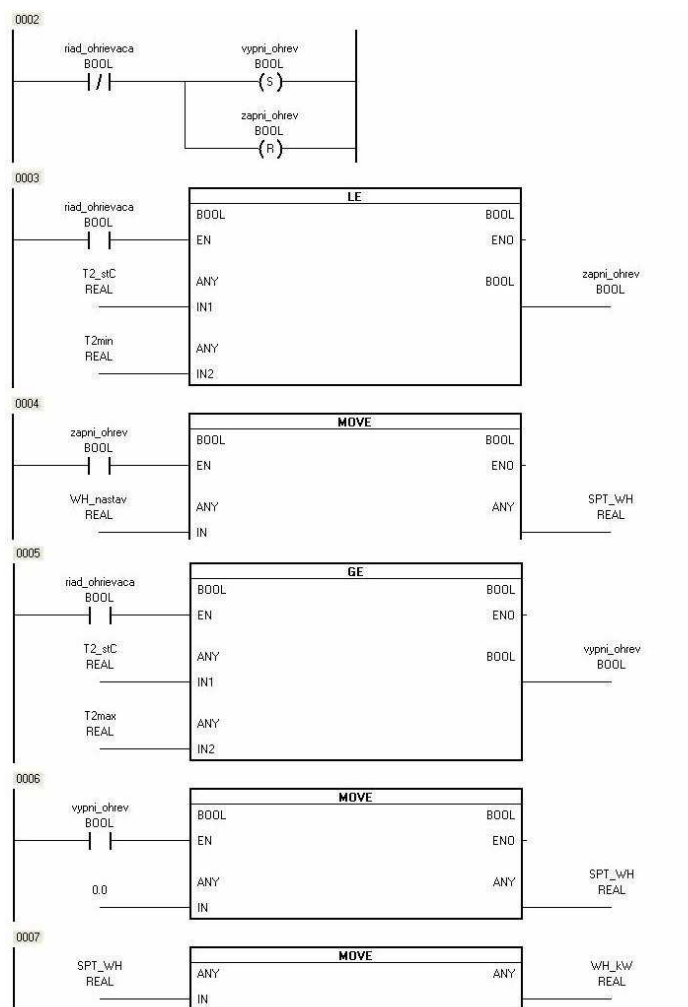


Obr. 16 Prepočet otáčok čerpadla [%] na otáčky čerpadla v celých číslach

3.4 Riadenie výmenníka so špirálou

Výmenník so špirálou sa vyhrieva pomocou vyhrievacej špirály na základe posiadaného príkonu. Výmenník nie je možné chladit', resp. chladí sa samovoľne výmenou tepla s okolím. Aby som mohla posilať do platňového výmenníka kvapalinu s konštantnou teplotou, vytvorila som dvojpolohový regulátor v rebríkovom diagrame (obr. 17). Úlohou tohto regulátora je udržať teplotu v žiadaných hraniciach zapínaním a vypínaním ohrevu. Pred spustením riadenia je potrebné zadať minimálnu a maximálnu teplotu – $T2_{min}$ a $T2_{max}$ a príkon WH_{nastav} , ktorým sa bude ohrievať kvapalina vo výmenníku. Výrobca odporúča pracovať maximálne s príkonom 1 kW. Riadenie sa spúšťa pomocou premennej *riad_ohrievaca*. Ak je spustené riadenie a teplota vo výmenníku $T2_{stC}$ je menšia ako $T2_{min}$, zapne sa ohrev (aktivuje sa stav *zapni_ohrev*). Keď je aktívny tento stav, nastaví sa žiadaná hodnota pre príkon SPT_{WH} na hodnotu WH_{nastav} , ktorú sme si v úvode zadali. Ak je teplota $T2_{stC}$ väčšia ako $T2_{max}$, ohrev sa vypne (aktivuje sa stav *vypni_ohrev*) a SPT_{WH} sa nastaví na 0 kW. Na záver žiadaná hodnota pre príkon SPT_{WH} sa posila do premennej WH_{kW} . Ak sa vypne riadenie (*riad_ohrievaca* = 0), aktivuje sa stav *vypni_ohrev*.

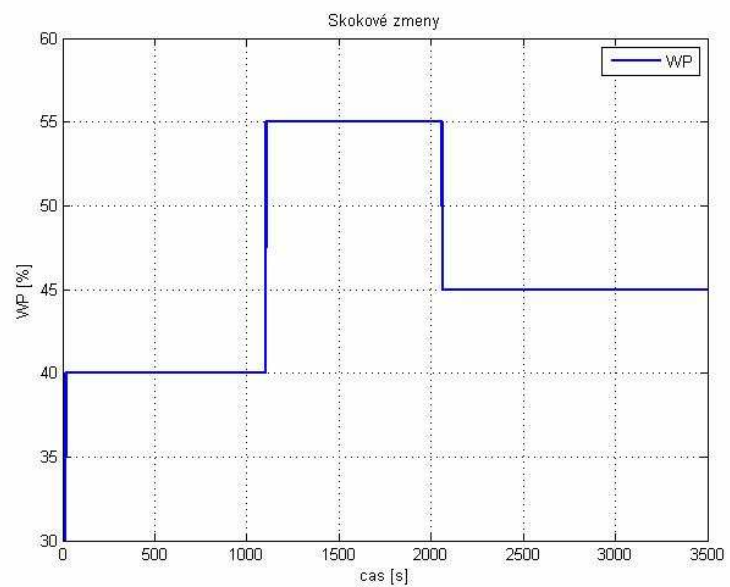
Pri identifikácii a teda aj pri riadení som si hranice nastavila od 59 °C do 61 °C a príkon na 0,5 kW.



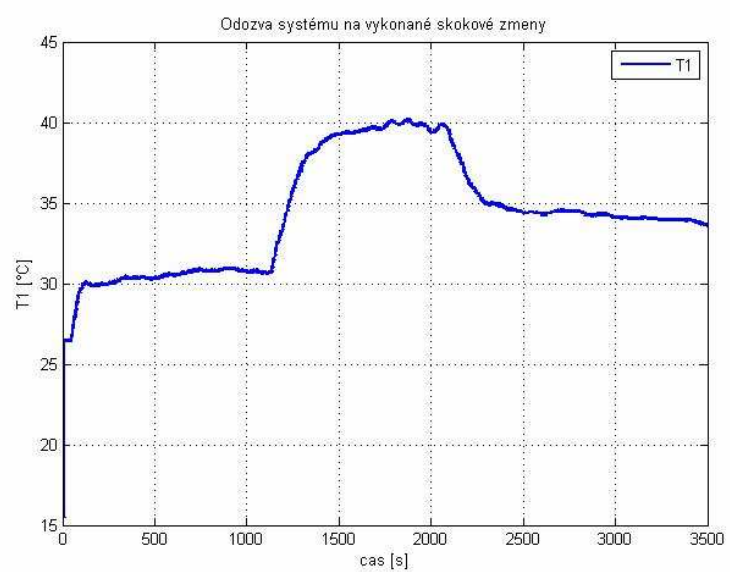
Obr. 17 Riadenie výmenníka tepla so špirálou

3.5 Identifikácia

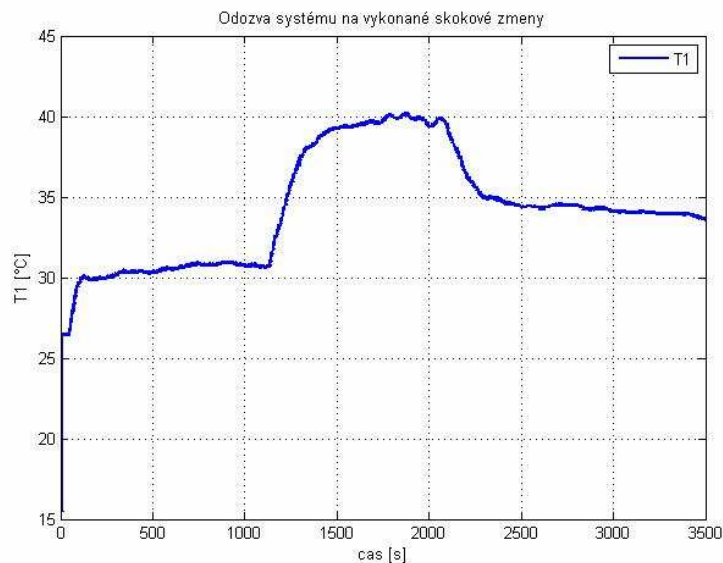
Pred identifikáciou som si určila konštantné otáčky čerpadla N1 – FeedPump na 50 % (príloha A). Vykonala som tri rôzne skokové zmeny (obr. 18), kde som menila otáčky čerpadla N2 – WaterPump. Odozvu systému vidieť na obr. 19. Vzhľadom na to, že získané dáta sú rozkmitané, pred spracovaním som ich najskôr odfiltrovala (obr. 20).



Obr. 18 Vykonané skokové zmeny



Obr. 19 Odozva systému na vykonané skokové zmeny



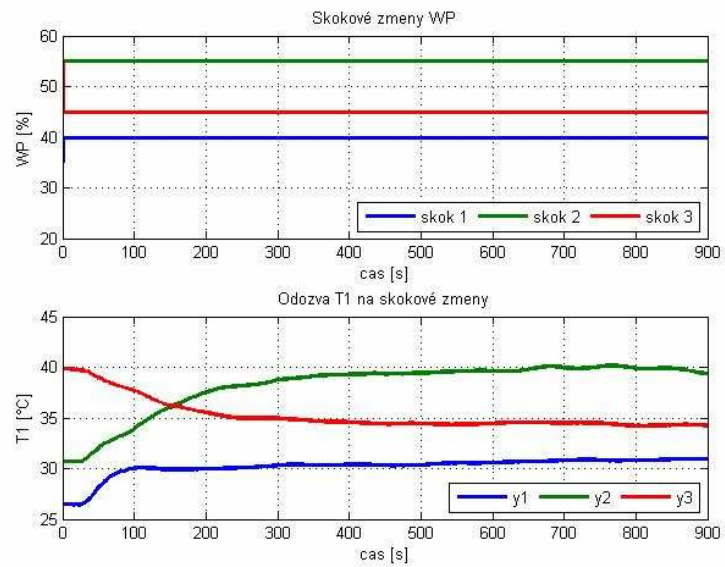
Obr. 20 Odozva systému na vykonané skokové zmeny – filtrované dáta

Získala som tri prechodové charakteristiky (obr. 21), ktoré som normovala a zakreslila do jedného grafu (obr. 22). Na obr. 22 je vidieť, že systém je nelineárny, keďže sa prechodové charakteristiky neprekrývajú. Spriemerovaním týchto charakteristík som získala výslednú prechodovú charakteristiku (obr. 23), ktorú som identifikovala ako systém prvého rádu s dopravným oneskorením:

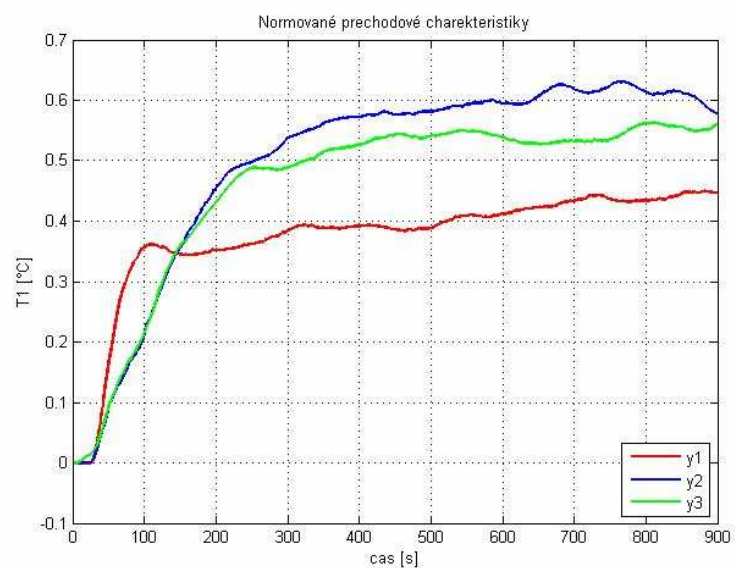
$$G(s) = \frac{0,54}{139,4s + 1} e^{-25s}. \quad (3.7)$$

Porovnaním normovanej výslednej prechodovej charakteristiky a prechodovej charakteristiky získaného prenosu (obr. 24) som ďalej pracovala s prenosom:

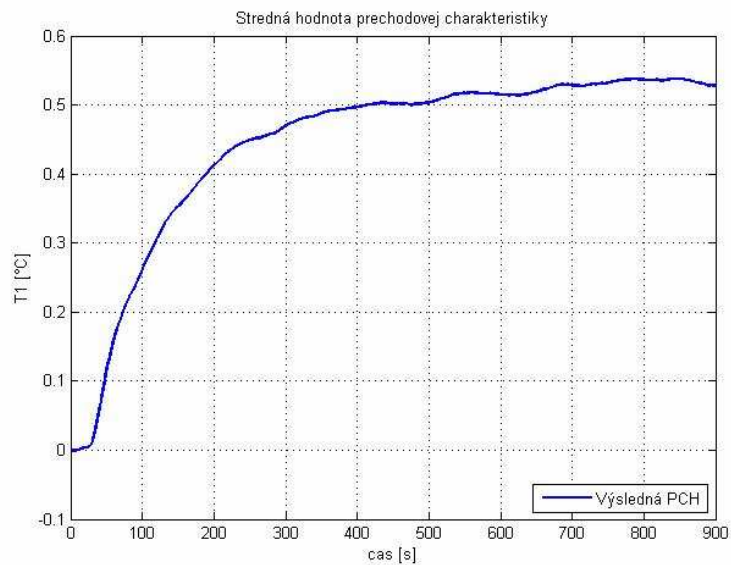
$$G(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{0,54}{113s + 1} e^{-25s} \quad (3.8)$$



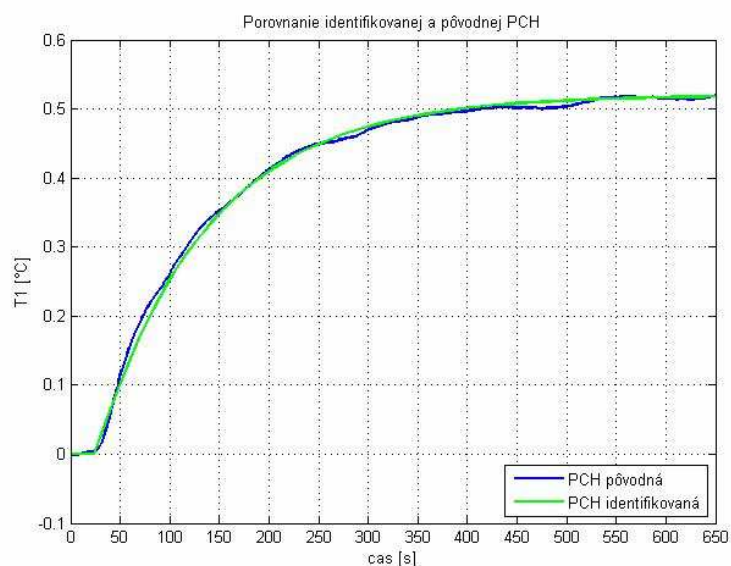
Obr. 21 Odozvy systému na skokové zmeny



Obr. 22 Normované prechodové charakteristiky



Obr. 23 Výsledná prechodová charakteristika



Obr. 24 Porovnanie pôvodnej a identifikovanej prechodovej charakteristiky

3.6 Návrh regulátora

Na základe získaného prenosu som si navrhla PA regulátor s integračnou činnosťou v tvare $G_R(s) = \frac{Q(s)}{P(s)}$ pomocou metódy umiestnenia pólov (príloha B).

Správnosť regulátora som najskôr overila na modely v Simulinku a až následne som ho aplikovala na reálny systém.

Pól prenosu z rovnice (3.8) je -0,0088. Pri návrhu regulátora som vychádzala z rovnice (2.4), kde M som si zvolila ako polynóm tretieho rádu s koreňmi: -1, -1/2, -1/3. Jednotlivé polynómy rovnice (2.4) majú nasledovné tvary:

$$M = (s+1)\left(s+\frac{1}{2}\right)\left(s+\frac{1}{3}\right) = 0,1667s^3 + s^2 + 1,8333s + 1 \quad (3.9)$$

$$A = 113s + 1 \quad (3.10)$$

$$B = 0,54 \quad (3.11)$$

$$F = s \quad (3.12)$$

$$P = p_1s + p_0 \quad (3.13)$$

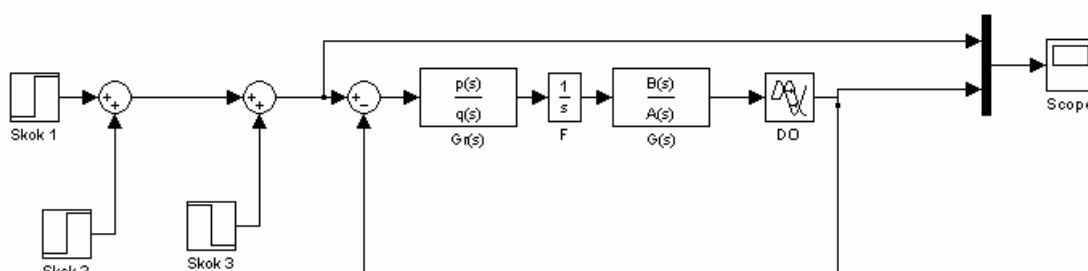
$$Q = q_1s + q_0 \quad (3.14)$$

Prenos regulátora som vypočítala pomocou polynomickeho toolboxu [16] v Matlabe najskôr pre spojité systém a až po overení na modely som prenos zdiskretizovala.

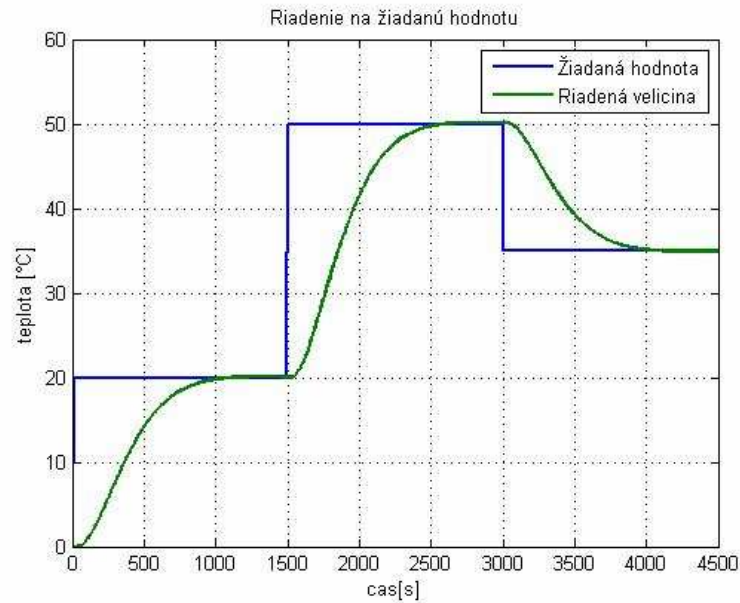
Výsledný prenos regulátora je:

$$G_R(s) = \frac{0,0015s + 0,0088}{3,3787s + 1,8519} \quad (3.15)$$

Schéma, podľa ktorej som overovala správnosť navrhnutého spojitého regulátora je na obr. 25. Výsledok spojitého riadenia modelu vidieť na obr. 26. Navrhnutý regulátor uradi systém na žiadanú hodnotu.



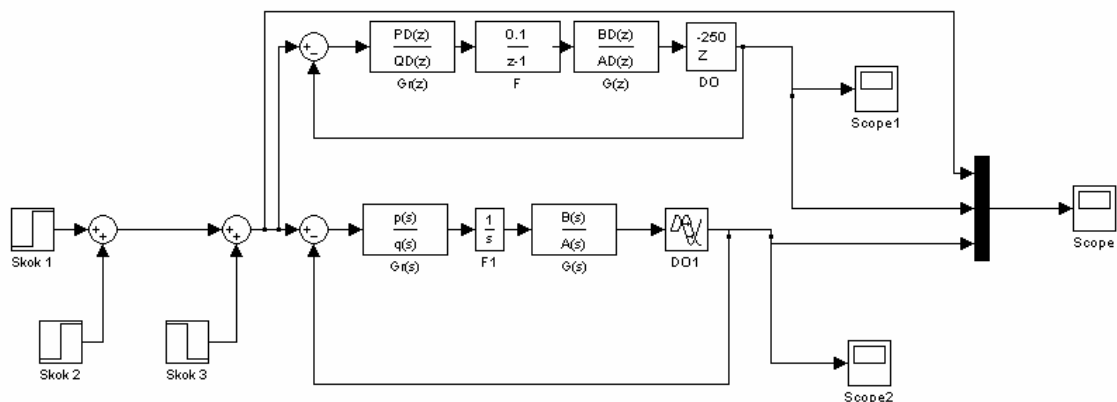
Obr. 25 Schéma overenia PA regulátora na modely (spojitý prenos)



Obr. 26 Pribeh riadenia modelu pomocou navrhnutého PA regulátora

Keďže riadim reálny systém, potrebujem spojitý prenos regulátora previesť na diskretný. Períodu vzorkovania som si určila 0,1 s. S touto periódou som pracovala aj v programe B&R AS. Po zdiskretizovaní prenosu som porovnala riadenie spojitého a diskretného systému (obr. 27), pričom vzhľadom na malú periódu vzorkovania a správnosť výpočtov, riadenie sa zhodovalo. Výsledný prenos polynomickeho regulátora, ktorý som použila pre reálny systém je:

$$G(z) = \frac{0,0004365z - 0,000182}{z - 0,9467} \quad (3.16)$$

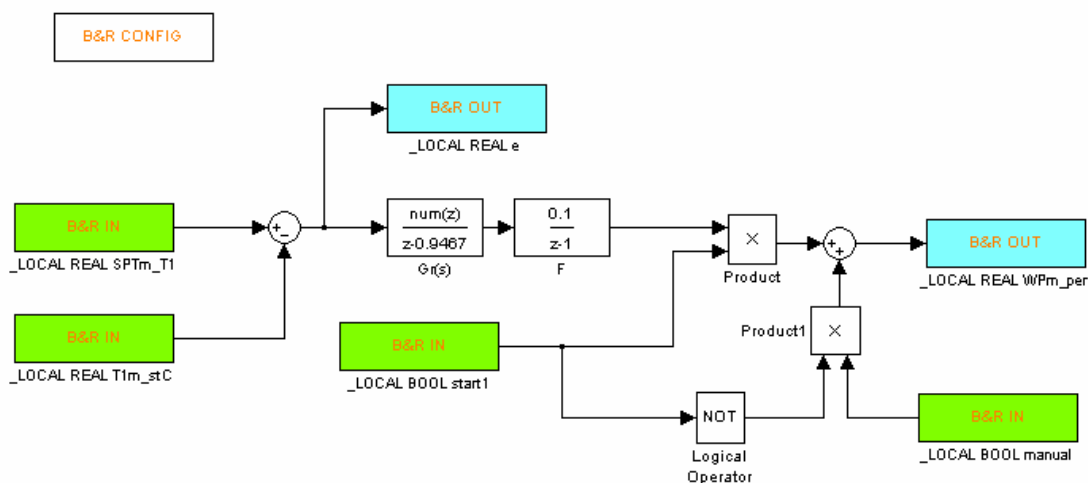


Obr. 27 Schéma porovnania riadenia spojitého a diskretného PA regulátora

3.7 Aplikácia na reálny systém

Pri aplikácii na reálny systém som využila možnosť prepojenia programu B&R AS a Simulinku. V Simulinku som vytvorila schému (obr. 28), v ktorej je zadán prenos regulátora. Do prenosu vstupuje regulačná odchýlka, teda rozdiel medzi žiadanou teplotou T1 a aktuálnou teplotou T1 a vystupuje akčný zásah – otáčky čeradla, ktoré posiela horúcu kvapalinu do platňového výmenníka. Otáčky sú nenulové v prípade, že je spustené riadenie pomocou premennej *start1*.

Na obr. 29 vidieť, že premenné sú lokálne a v názve majú pridané „m“ (SPTm_T1, T1m_stC a WPm_per). Dôvodom je, že pri prepojení týchto programov v prípade práce s globálnymi premennými treba pracovať s typom LREAL namiesto REAL. Keďže v tomto štádiu už bola väčšina veličín nastavených ako REAL, tak aj tu som ich zadala ako reálne čísla. Po kompilácii a vytvorení programu v B&R AS v jazyku ANSI C, som do tohto programu pridala priradenie hodnôt lokálnych premenných globálnym. Ďalej som do programu pridala obmedzenia pomocou podmienky if – then na minimálny a maximálny akčný zásah (0 – 70 %). Maximálny akčný zásah som nastavila z dôvodu, aby čerpadlo dlhodobo nepracovalo s vysokými otáčkami.



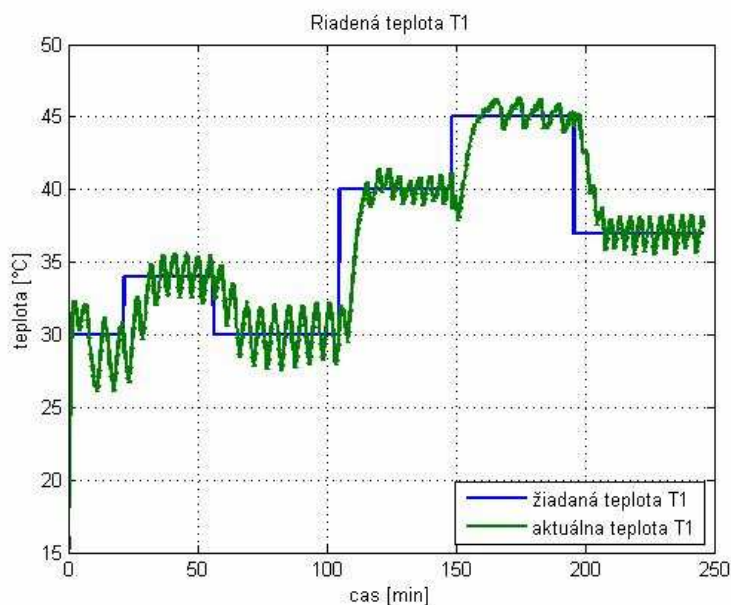
Obr. 28 Schéma PA regulátora

3.8 Spracovanie dát

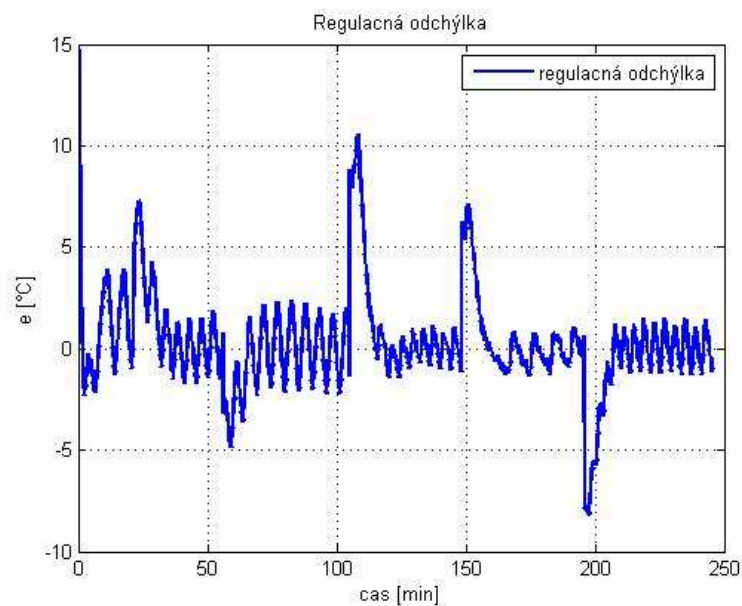
Po úspešnom spustení programu som si najskôr nastavila parametre pre výmenník so špirálou a počkala, kým sa ustáli teplota horúcej kvapaliny, resp. dostane

sa medzi žiadané hranice. Následne som si nastavila žiadanú teplotu SPT_T1 a sledovala priebeh riadenia. Ako vidieť na obr. 29, nastavila som si niekoľko rôznych žiadaných hodnôt (príloha C). Výsledkom riadenia sú vynútené kmity, ktoré kmitajú okolo žiadanej hodnoty. Dôvody kmitania sú nasledovné:

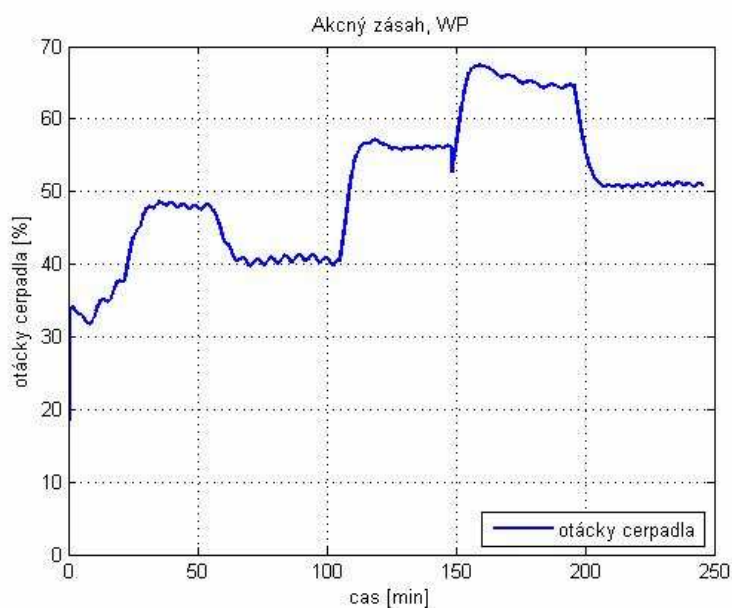
1. pri porovnaní riadenej teploty alebo regulačnej odchýlky (obr. 30) a akčného zásahu (obr. 31) sa dá zistiť, že hneď ako teplota prekročí žiadanú hodnotu, otáčky čerpadla začnú klesať. Platňový výmenník je však zohriaty a prichádzajúca kvapalina sa ešte chvíľu zohrieva. Keď sa kvapalina začne ochladzovať a teplota T1 klesne pod žiadanú hodnotu, otáčky čerpadla začnú stúpať, teplota T1 však ešte klesá.
2. nestála prichádzajúca teplota horúcej kvapaliny (obr. 32)



Obr. 29 Priebeh riadenej teploty T1 – riadenie pomocou PA regulátora

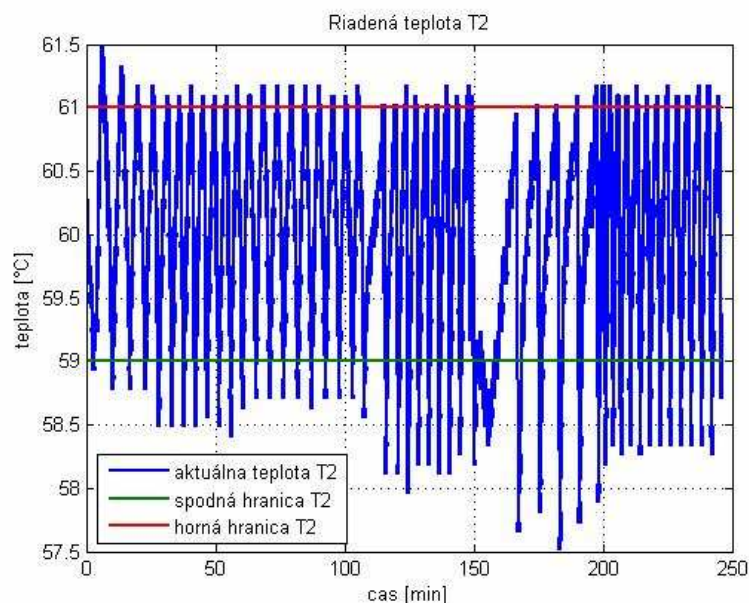


Obr. 30 Regulačná odchýlka



Obr. 31 Priebeh akčného zásahu čerpadla

Kmity riadenej teploty T2 (obr. 32) sú ovplyvnené žiadanou teplotou T1 a teda otáčkami čerpadla WP. Pri nižšej žiadanej teplote sú aj nižšie otáčky čerpadla a kvapalina sa pomalšie ohrieva, resp. chladí. Ako vidieť na obr. 32 pri nastavení žiadanej hodnoty zo 40°C na 45°C dvojpolohový regulátor už nie je veľmi kvalitný. Teplota T2 ledva prekročí hornú hranicu 61°C a klesá hlboko pod spodnú hranicu 59°C.



Obr. 32 Pribeh riadenej teploty T2 - riadenie pomocou dvojpolohového regulátora

Vzhľadom na to, že teplota T1 kmitá okolo žiadanej hodnoty, kvalitu riadenia som vyhodnotila vzhľadom na veľkosť amplitúdy a strednej hodnoty kmitov od času, kedy sa kmity stávajú pravidelnými. Strednú hodnotu kmitov som vypočítala ako priemernú hodnotu kmitov teploty T1 od času, keď začali oscilovať okolo žiadanej hodnoty

$$str_hod = \frac{\sum_{i=1}^n T1_i}{n} \quad i = 1, \dots, n \quad (3.17)$$

kde n je počet nameraných údajov.

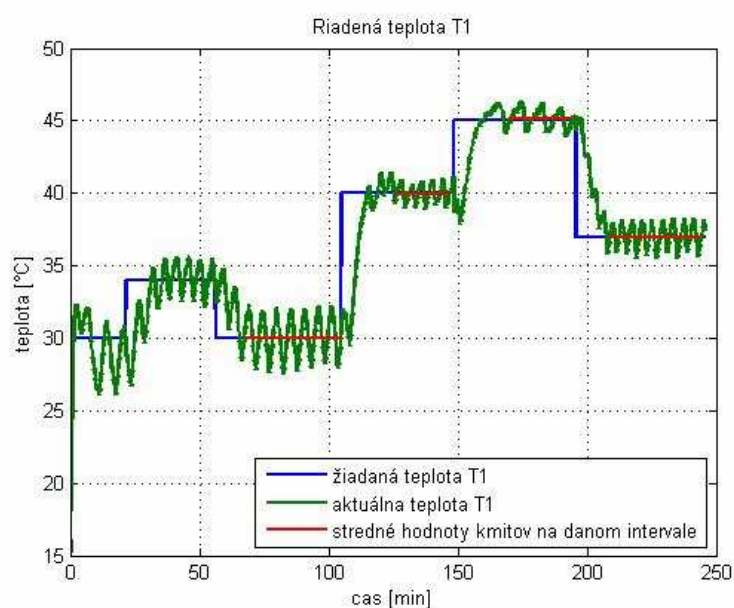
Maximálnu amplitúdu som vypočítala ako maximálny rozdiel aktuálnej teploty T1 a žiadanej hodnoty SPT_T1 od času, keď začali oscilovať okolo žiadanej hodnoty

$$ampl = \max(|T1 - SPT_T1|) \quad (3.18)$$

Výpočty som robila pre jednotlivé žiadané hodnoty, pričom prvú žiadanú hodnotu z 30°C na 34°C som nebrala do úvahy. Výsledky sú zobrazené v tabuľke tab. 1, na obr. 33 sú graficky zobrazené stredné hodnoty kmitov. Ako vidieť stredná hodnota kmitov sa blíži k žiadanej hodnote a odchýlka je od 0,02°C do 0,19°C. Z tabuľky môžeme vydedukovať, že pri nižšej žiadanej teplote je menšia odchýlka od žiadanej hodnoty, ale vyššia amplitúda, naopak pri vyššej žiadanej teplote, je väčšia odchýlka, ale menšia amplitúda.

Tab. 1 Vyhodnotenie riadenia

	Žiadaná hodnota [°C]	Stredná hodnota kmitov [°C]	Odchýlka od žad. hod. [°C]	Maximálna amplitúda [°C]
Skok 1: 34°C -> 30°C	30	30,02	0,02	2,41
Skok 2: 30°C -> 40°C	40	39,96	0,04	1,12
Skok 3: 40°C -> 45°C	45	45,19	0,19	1,36
Skok 4: 45°C -> 37°C	37	36,98	0,02	1,49



Obr. 33 Pribeh riadenej teploty T1 a strednej hodnoty kmitov

3.9 Vytvorenie vizualizácie

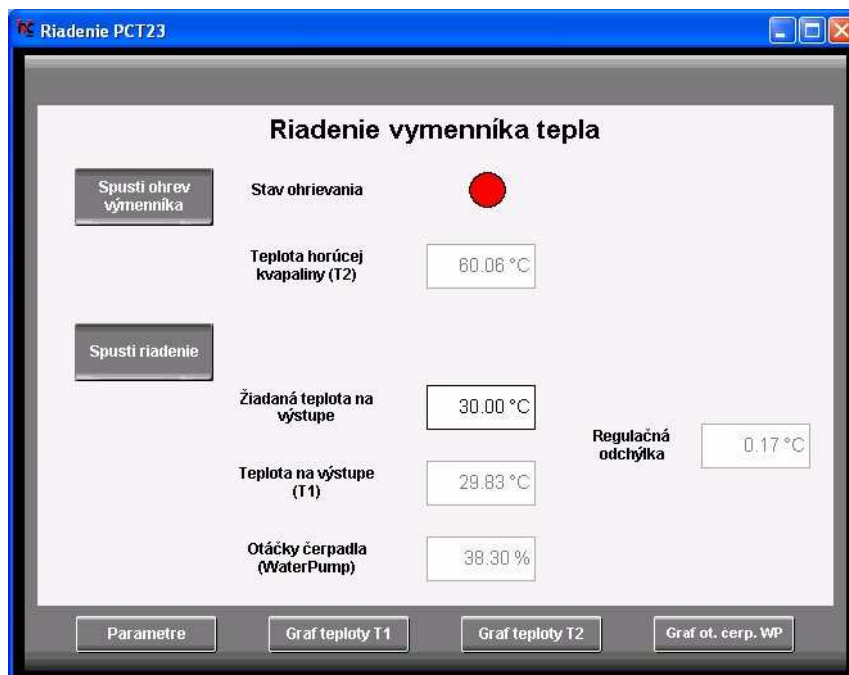
Ako je už vyššie spomenuté, úlohou vizualizácie je možnosť sledovať a riadiť celý proces. Vytvorila som päť stránok – Úvod, Parametre, Graf teploty T1, Graf teploty T2, Graf ot. čerp. WP. Každá z týchto stránok obsahuje lištu, kde sú tlačidlá na prepínanie medzi týmito stránkami.

3.9.1 Stránka Úvod

Stránku *Úvod* (obr. 34) môžeme rozdeliť na dve časti a to - riadenie výmenníka tepla so špirálou a riadenie platňového výmenníka tepla. Pre obidve riadenia sa tu

nachádza tlačidlo, ktoré spúšťa dané riadenie. Zároveň je tu zobrazený aktuálny stav ohrievania výmenníka tepla so špirálou, aktuálne teploty $T1_stC$, $T2_stC$, regulačná odchýlka teploty T1 ($SPT_T1 - T1_stC$) a akčný zásah čerpadla WP_per . Na tejto stránke sa zadáva žiadaná hodnota teploty T1 SPT_T1 .

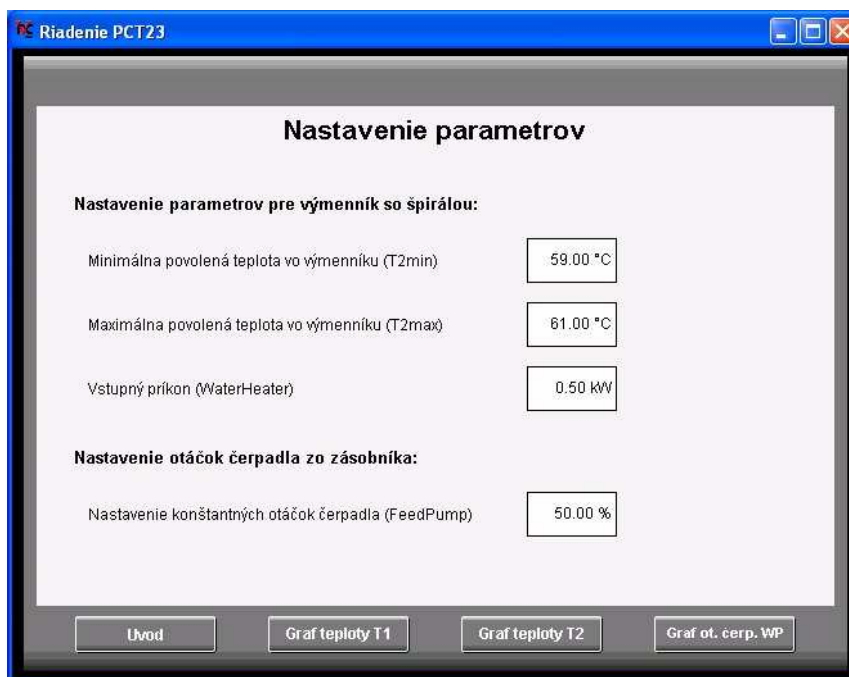
Pred spustením riadenia výmenníka tepla so špirálou je potrebné zadať najskôr parametre na stránke *Parametre*.



Obr. 34 Vizualizácia – úvodná strana

3.9.2 Stránka *Parametre*

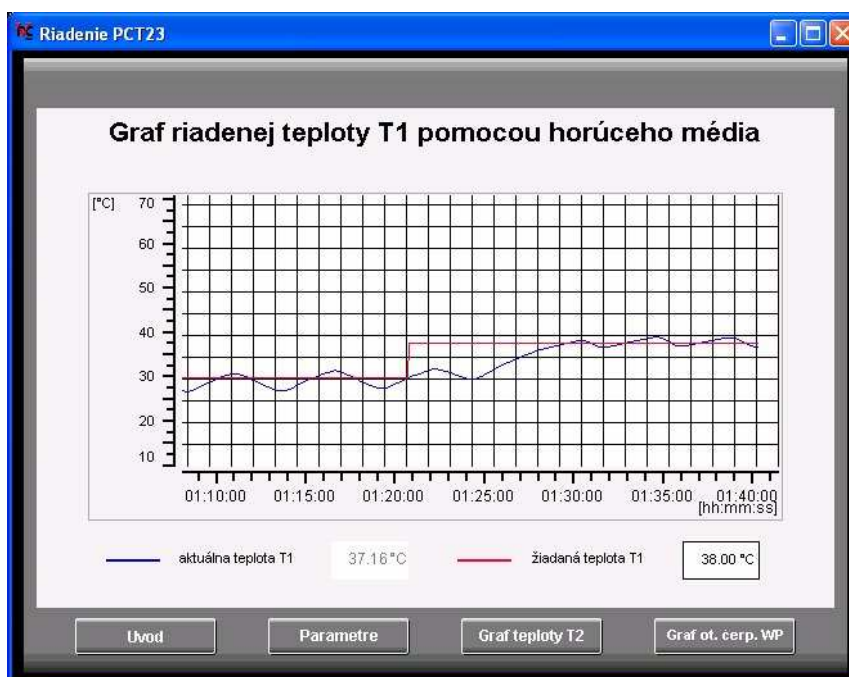
Na stránke *Parametre* (obr. 35) ako vyplýva z jej názvu sa nastavujú parametre pre výmenník so špirálou a otáčky čerpadla FP_per (privádza studenú kvapalinu do platňového výmenníka tepla). Pre výmenník sa nastavuje minimálna teplota $T2min$, maximálna teplota $T2max$ a akčný zásah pre dvojpolohový regulátor – príkon WH_nastav . Otáčky čerpadla FP_per sa nastavujú na konštantnú hodnotu, v mojom prípade na 50%, keďže to bola hodnota, pri ktorej som robila identifikáciu.



Obr. 35 Vizualizácia – nastavenie parametrov

3.9.3 Stránka *Graf teploty T1*

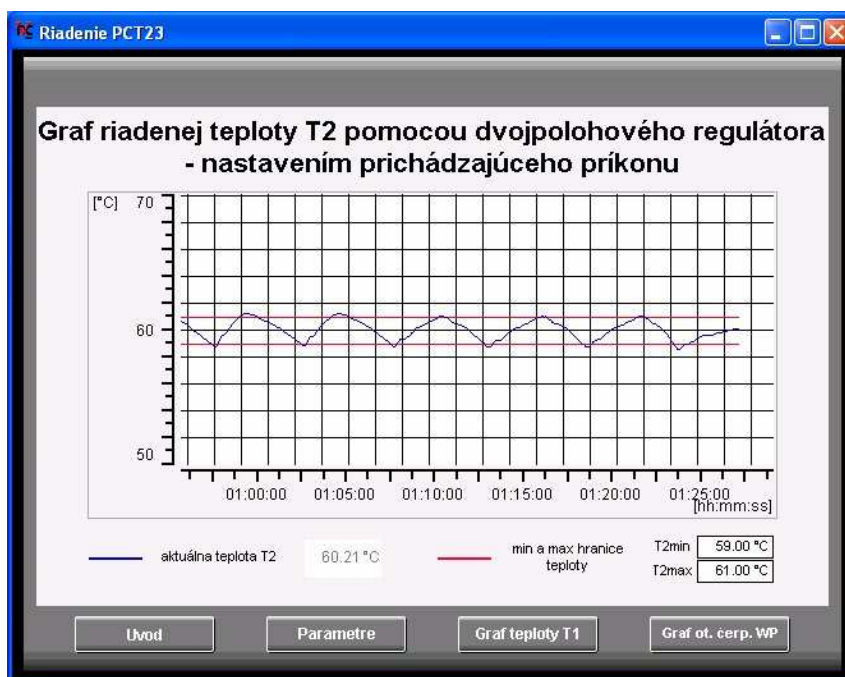
Na obr. 36 je zobrazený graf teploty T1 pomocou vizualizácie. Pod grafom je legenda, zobrazená aktuálna teplota $T1_stC$ a tiež je tu možnosť zadať novú žiadanú teplotu.



Obr. 36 Vizualizácia – graf riadenej teploty T1

3.9.4 Stránka *Graf teploty T2*

Graf teploty T2 pomocou vizualizácie je zobrazený na obr. 37. V rámci tejto stránky je zobrazená aktuálna teplota $T2_stC$ a ponúka sa možnosť nastaviť hranice teploty pre dvojpolohový regulátor.



Obr. 37 Vizualizácia – graf riadenia teploty T2

3.9.5 Stránka *Graf ot. čerp. WP*

Stránka *Graf ot. čerp. WP* (obr. 38) ponúka možnosť priamo sledovať akčný zásah čerpadla, pričom je možné tu priamo nastaviť žiadanú teplotu SPT_T1 a sledovať aktuálnu teplotu $T1_stC$ a otáčky čerpadla WP_per .



Obr. 38 Vizualizácia – graf akčného zásahu WP

4 Záver

Úlohou tejto diplomovej práce bolo navrhnuť a aplikovať PA regulátor na reálny systém výmenníka tepla. Návrhu regulátora predchádzalo viacero krokov vzhľadom na to, že som nepoznala správanie a prenos procesu. V práci som sa zároveň snažila využiť, čo najviac možností, ktoré ponúka program B&R Automation Studio – programovanie pomocou rebríkovej logiky a jazyku Automation Basic, prepojenie programu so Simulinkom a vytvorenie vizualizácie.

Výsledkom je riadenie teploty na výstupe z platňového výmenníka tepla pomocou horúcej kvapaliny, ktorá je privádzaná do výmenníka zo zásobníka čerpadlom. Otáčky tohto čerpadla sú riadiacou veličinou. Teplota v zásobníku so špirálou je udržiavaná pomocou dvojpolohového regulátora v rozmedzí 59 – 61°C. Studená kvapalina je privádzaná do platňového výmenníka o konštantnej teplote a prietoku – otáčky tohto čerpadla sú nastavené na 50%. Napriek tomu, že navrhnutý regulátor riadil model na žiadanú hodnotu, teplota reálneho systému kmitá okolo žiadanej hodnoty. Po vyhodnotení riadenia pomocou strednej hodnoty kmitov a maximálnej amplitúdy môžem skonštatovať, že stredná hodnota kmitov sa blíži k žiadanej hodnote – odchýlka je 0,02°C a to najmä pre nižšie žiadané hodnoty, pričom maximálna amplitúda je okolo 2,5°C. Menšia amplitúda je pre vyššie žiadané teploty a to 1,1°C, pričom stredná hodnota kmitov sa líši od žiadanej teploty o 0,2°C.

Toto riadenie je vhodné pre prevádzky, kde nie je potrebné riadiť presne na žiadanú teplotu, pričom výhoda tohto riadenia je, že akčný zásah sa mení pomaly a plynulo, čím sa šetrí zariadenie.

Zoznam použitej literatúry

- [1] PLC, [on-line]; Dostupné 2.5.2011 z:
<http://www.posterus.sk/?p=6903>
- [2] PLC, [on-line]; Dostupné 2.5.2011 z:
<http://www.slovenske-normy.sk/trida-18>
- [3] PLC, [on-line]; Dostupné 2.5.2011 z:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Programovateln%C3%BD_logick%C3%BD_automat
- [4] PLC, [on-line]; Dostupné 2.5.2011 z:
http://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller
- [5] PLC, [on-line]; Dostupné 2.5.2011 z:
<http://s-a.sk/toshiba/toshiba-plc.html>
- [6] IEC 61131 – 3, [on-line]; Dostupné 2.5.2011 z:
http://en.wikipedia.org/wiki/IEC_61131-3
- [7] X20 System User's manual - manuál
- [8] B&R Automation Studio, [on-line]; Dostupné 2.5.2011 z:
<http://www.br-automation>
- [9] LAD, FBD, IL, SFC, ST , [on-line]; Dostupné 2.5.2011 z:
http://www.urpi.fei.stuba.sk/files/folders/docs/602_PR01.pdf
- [10] B&R Automation Studio - manual: *B&R Automation Studio Target for Simulink*.
- [11] Armfield PCT23 MKII Process Plant Trainer – manual
- [12] Dvojpolohový regulátor, [on-line]; Dostupné 2.5.2011 z:
http://www.spslevice.sk/SOC/SOC%20-%20PRI/42-Dvojpolohovy_regulator_so_SS1R.htm
- [13] Dvojpolohový regulátor, [on-line]; Dostupné 2.5.2011 z:
http://media.erikgyepes.com/Documents/PRI%20-%20teoria/6.struktura_uzavreteho_regulcneho_obvodu_uprava_joger.doc
- [14] PA regulátor, [on-line]; Dostupné 2.5.2011 z:
http://www.fs.vsb.cz/akce/2000/asr2000/Sbornik/papers/kubalcik_malik.pdf
- [15] Mikleš, J.: Teória automatického riadenia II – prednášky z predmetu
- [16] Polynomický toolbox, [on-line]; Dostupné 2.5.2011 z:
<http://www.polyx.com/>

Prílohy

Príloha A

M-file: Identifikácia

```
load identifikacia3.txt
t=identifikacia3(:,1);
FP=identifikacia3(:,2);
T1=identifikacia3(:,4);
T2=identifikacia3(:,6);
WP=identifikacia3(:,8);

% figure
% plot(t,FP,'LineWidth',2)
% title('Konštantné otáčky čerpadla FeedPump'),
% xlabel('cas [s]'),ylabel('FP [%]'),grid on,legend('FP')

figure
plot(t,T1,'LineWidth',2)
title('Odozva systému na vykonané skokové zmeny'),
xlabel('cas [s]'),ylabel('T1 [°C]'),grid on,legend('T1')

% figure
% plot(t,T2,'LineWidth',2)
% title('Teplota T2'),
% xlabel('cas [s]'),ylabel('T2 [°C]'),grid on,legend('T2')

figure
plot(t,WP,'LineWidth',2)
title('Skokové zmeny'),
xlabel('cas [s]'),ylabel('WP [%]'),grid on,legend('WP')

%filtrovanie udajov
b=fir1(30,0.005);

T1_f=filtfilt(b,1,T1);
T2_f=filtfilt(b,1,T2);

figure
plot(t,T1_f,'LineWidth',2)
title('Odozva systému na vykonané skokové zmeny - filtrované dáta'),
xlabel('cas [s]'),ylabel('T1 [°C]'),grid on,legend('T1')

t=identifikacia3(:,1);

%rozdelenie FP na jednotlivé skoky
poz1=find(WP>=40);
poz2=find(WP>=55);
poz3=find(t>=3.5143e+03);
```

```

WP_step1=WP(poz1(1)-1:poz2(1)-1);
t_step1=t(poz1(1)-1:poz2(1)-1);
t_step1=t_step1-t_step1(1);

% figure
% plot(t_step1,WP_step1)

WP_step2=WP(poz2(1)-1:poz3(1));
t_step2=t(poz2(1)-1:poz3(1));
t_step2=t_step2-t_step2(1);

% figure
% plot(t_step2,WP_step2)

WP_step3=WP(poz3(1):end);
t_step3=t(poz3(1):end);
t_step3=t_step3-t_step3(1);

% figure
% plot(t_step3,WP_step3)

%upravim vektory na rovnaku dlzku
WP_step1=WP_step1(1:length(WP_step2));
WP_step3=WP_step3(1:length(WP_step2));

%rozdelenie T1
T1_step1=T1_f(poz1(1)-1:poz2(1)-1);
T1_step2=T1_f(poz2(1)-1:poz3(1));
T1_step3=T1_f(poz3(1):end);

T1_step1=T1_step1(1:length(WP_step2));
T1_step3=T1_step3(1:length(WP_step2));

%vykreslenie skokovych zmien a odoziev
figure
subplot(2,1,1),plot(t_step2,WP_step1,'r','LineWidth',2.5),
title('1. skoková zmena WP'),
xlabel('cas [s]'),ylabel('WP [%]'),grid on,legend('u1')
subplot(2,1,2),plot(t_step2,T1_step1,'r','LineWidth',2.5),
title('Odozva T1 na 1. skokovú zmenu'),
xlabel('cas [s]'),ylabel('T1 [°C]'),grid on,legend('y1')

figure
subplot(2,1,1),plot(t_step2,WP_step2,'b','LineWidth',2.5),
title('2. skoková zmena WP'),
xlabel('cas [s]'),ylabel('WP [%]'),grid on,legend('u2')
subplot(2,1,2),plot(t_step2,T1_step2,'b','LineWidth',2.5),
title('Odozva T1 na 2. skokovú zmenu'),
xlabel('cas [s]'),ylabel('T1 [°C]'),grid on,legend('y2')

```

```

figure
subplot(2,1,1),plot(t_step2,WP_step3,'g','LineWidth',2.5),
title('3. skoková zmena WP'),
xlabel('cas [s]'),ylabel('WP [%]'),grid on,legend('u3')
subplot(2,1,2),plot(t_step2,T1_step3,'g','LineWidth',2.5),
title('Odozva T1 na 3. skokovú zmenu'),
xlabel('cas [s]'),ylabel('T1 [°C]'),grid on,legend('y3')

%normovanie vystupov na jednotkový skok
T1_n1=(T1_step1-T1_step1(1))/10;
T1_n2=(T1_step2-T1_step2(1))/15;
T1_n3=(T1_step3-T1_step3(1))/(-10);

figure
plot(t_step2,T1_n1,'r',t_step2,T1_n2,'b',t_step2,T1_n3,'g','LineWidth',2),
title('Normované prechodové charakteristiky'),
xlabel('cas [s]'),ylabel('T1 [°C]'),legend('y1','y2','y3'), grid on

figure
T1_n=(T1_n1+T1_n2+T1_n3)/3;
plot(t_step2,T1_n,'LineWidth',2),title('Stredná hodnota prechodovej charakteristiky'),
xlabel('cas [s]'),ylabel('T1 [°C]'),legend('Výsledná PCH'), grid on

D=25;
K=T1_n(end)-0.02;

% K = 0.5400

x=0.63*K;
i=find(T1_n>=x);

T=t_step2(i(1)); % T = 139.4000

T=113;

figure
t_step2=t_step2(1:3296);
T1_n=T1_n(1:3296);
plot(t_step2,T1_n,'g','LineWidth',2)
s=tf('s');
PCH_identifikovana=(K*exp(-D*s))/(T*s+1)
hold on
[yy,tt]=step(PCH_identifikovana);
%figure
plot(tt,yy,'LineWidth',2),legend('PCH pôvodná','PCH identifikovaná'),
title('Porovnanie identifikovanej a pôvodnej PCH'),
xlabel('cas [s]'),ylabel('T1 [°C]'), grid on

```

Príloha B

M-file: Návrh PA regulátora

```
% prenos
b = 0.54;
a = 113*s+1;

% navrh polov
M1 = [1/2 1];
M2 = [1/3 1];
M3 = [1/1 1];
M = conv(M1,conv(M2,M3));
c = mat2pol(M);

% navrh spojiteho polynomickeho reg.
a = a*s;
[p,q] = AXBYC(a,b,c);
p = pol2mat(p);
q = pol2mat(q);

% diskretny polynomickeho reg.
[nd1, dd1] = c2d(tf(p,q),0.1);
[PD,QD] = tfdata(nd1,'v');

% diskretizacia spojiteho prenosu
clear 's'
B = 0.54
A = [113 1]
[nd, dd] = c2d(tf(B,A),0.1);

[BD,AD] = tfdata(nd,'v')
```

Príloha C

M-file: Spracovanie údajov a výsledkov riadenia

```
clear
%skok 1 z 30 na 34
load data2.txt;
ta=data2(:,1);

WPa=data2(:,8);
SPT_T1a=data2(:,2);
T1a=data2(:,4);
T2a=data2(:,6);
T2mina=data2(:,14);
T2maxa=data2(:,12);
ea=data2(:,10);

% plot(ta,WPa), figure, plot(ta,SPT_T1a,ta,T1a), figure,
% plot(ta,T2a,ta,T2mina,ta,T2maxa), figure, plot(ta,ea)
```



```

% -----
% skok 2 z 34 na 30
% -----
load data3.txt;
tb=data3(:,1);
WPb=data3(:,8);
SPT_T1b=data3(:,2);
T1b=data3(:,4);
T2b=data3(:,6);
T2minb=data3(:,14);
T2maxb=data3(:,12);
eb=data3(:,10);

% plot(tb,WPb), figure, plot(tb,SPT_T1b,tb,T1b), figure,
% plot(tb,T2b,tb,T2minb,tb,T2maxb), figure, plot(tb,eb)

% -----amplituda a stredna hodnota 1-----
%[i,j]=find(tb==680);
ib=11.6*60*5;
jb=49.2*60*5;
tepb=T1b(ib:jb);
ziad_tepb=SPT_T1b(ib:jb);
tb_kv=tb(1:jb-ib+1);
str_hod1=sum(tepb)/(length(tepb))
x1=[tb_kv(1) tb_kv(end)];
y1=[str_hod1 str_hod1];

ampl1=max(abs(tepb-ziad_tepb))
figure
plot(tb_kv,ziad_tepb,tb_kv,tepb,x1,y1,'LineWidth',2)
title('Riadená teplota T1, skok1'), xlabel('cas [min]'),ylabel('teplota [°C]'),
legend('žiadaná teplota T1','aktuálna teplota T1','stredná hodnota kmitov', 'Location','SouthEast')
grid on

% -----
% skok 3 z 30 na 40
% -----
load data4.txt;
tc=data4(:,1);
WPc=data4(:,8);
SPT_T1c=data4(:,2);
T1c=data4(:,4);
T2c=data4(:,6);
T2minc=data4(:,14);
T2maxc=data4(:,12);
ec=data4(:,10);

% plot(tc,WPc), figure, plot(tc,SPT_T1c,tc,T1c), figure,
% plot(tc,T2c,tc,T2minc,tc,T2maxc), figure, plot(tc,ec)

% -----amplituda a stredna hodnota 2-----
%[i,j]=find(tc==1400);
ic=21.45*60*5;
jc=41.95*60*5;
tepc=T1c(ic:jc);
ziad_tepc=SPT_T1c(ic:jc);
tc_kv=tc(1:jc-ic+1);
str_hod2=sum(tepc)/(length(tepc))
x2=[tc_kv(1) tc_kv(end)];
y2=[str_hod2 str_hod2];

ampl2=max(abs(tepc-ziad_tepc))
figure
plot(tc_kv,ziad_tepc,tc_kv,tepc,x2,y2,'LineWidth',2)
title('Riadená teplota T1, skok2'), xlabel('cas [min]'),ylabel('teplota [°C]'),
legend('žiadaná teplota T1','aktuálna teplota T1','stredná hodnota kmitov', 'Location','SouthEast')
grid on

```

```

% -----
% skok 4 z 40 na 45
% -----
load data5.txt;
td=data5(:,1);
WPd=data5(:,8);
T1d=data5(:,4);
SPT_T1d=data5(:,2);
T2d=data5(:,6);
T2mind=data5(:,14);
T2maxd=data5(:,12);
ed=data5(:,10);

% plot(td,WPd), figure, plot(td,SPT_T1d,td,T1d), figure,
% plot(td,T2d,td,T2mind,td,T2maxd), figure, plot(td,ed)

% -----amplituda a stredna hodnota 3-----
%[i,j]=find(td==1150);
id=21.4*60*5;
jd=45.7*60*5;
tepd=T1d(id:jd);
ziad_tepd=SPT_T1d(id:jd);
td_kv=td(1:jd-id+1);
str_hod3=sum(tepd)/(length(tepd))
x3=[td_kv(1) td_kv(end)];
y3=[str_hod3 str_hod3];

ampl3=max(abs(tepd-ziad_tepd))
figure
plot(td_kv,ziad_tepd,td_kv,tepd,x3,y3,'LineWidth',2)
title('Riadená teplota T1, skok3'), xlabel('cas [min]'),ylabel('teplota [°C]'),
legend('žiadaná teplota T1','aktuálna teplota T1','stredná hodnota kmitov', 'Location','SouthEast')
grid on

% -----
% skok 5 z 30 na 40
% -----
load data6.txt;
te=data6(:,1);
WPe=data6(:,8);
SPT_T1e=data6(:,2);
T1e=data6(:,4);
T2e=data6(:,6);
T2mine=data6(:,14);
T2maxe=data6(:,12);
ee=data6(:,10);

% plot(te,WPe), figure, plot(te,SPT_T1e,te,T1e), figure,
% plot(te,T2e,te,T2mine,te,T2maxe), figure, plot(te,ee)

% -----amplituda a stredna hodnota 4-----
%[i,j]=find(td==700);
ie=13.5*60*5;
je=48.68*60*5;
tepe=T1e(ie:je);
ziad_tepe=SPT_T1e(ie:je);
te_kv=te(1:je-ie+1);
str_hod4=sum(tepe)/(length(tepe))
x4=[te_kv(1) te_kv(end)];
y4=[str_hod4 str_hod4];

ampl4=max(abs(tepe-ziad_tepe))
figure
plot(te_kv,ziad_tepe,te_kv,tepe,x4,y4,'LineWidth',2)
title('Riadená teplota T1, skok4'), xlabel('cas [min]'),ylabel('teplota [°C]'),
legend('žiadaná teplota T1','aktuálna teplota T1','stredná hodnota kmitov', 'Location','SouthEast')
grid on

ampl=[ampl1 ampl2 ampl3 ampl4]
str_hod=[str_hod1 str_hod2 str_hod3 str_hod4]
spt=[SPT_T1b(end) SPT_T1c(end) SPT_T1d(end) SPT_T1e(end)];
odchylka=abs(str_hod-spt)

```

```

% ampl =    2.4152    1.1176    1.3623    1.4867
% str_hod =    30.0217    39.9552    45.1891    36.9762
% odchylka =    0.0217    0.0448    0.1891    0.0238

% -----
% -----
% -----
% -----

x11=(length(T1a)+[ib jb])/5/60;
x22=(length(T1a)+length(T1b)+[ic jc])/5/60;
x33=(length(T1a)+length(T1b)+length(T1c)+[id jd])/5/60;
x44=(length(T1a)+length(T1b)+length(T1c)+length(T1d)+[ie je])/5/60;

t=[ta; tb; tc; td; te];
T1=[T1a; T1b; T1c; T1d; T1e];
SPT_T1=[SPT_T1a; SPT_T1b; SPT_T1c; SPT_T1d; SPT_T1e];
T2=[T2a; T2b; T2c; T2d; T2e];
T2min=[T2mina; T2minb; T2minc; T2mind; T2mine];
T2max=[T2maxa; T2maxb; T2maxc; T2maxd; T2maxe];
WP=[WPa; WPb; WPe; WPd; WPe];
e=[ea; eb; ec; ed; ee];

plot(t,WP,'LineWidth',2)
title('Akčný zásah, WP'), xlabel('cas [min]'),ylabel('otáčky čerpadla [%]'),
legend('otáčky čerpadla', 'Location','SouthEast')
grid on

figure
plot(t,SPT_T1,t,T1,'LineWidth',2)
title('Riadená teplota T1'), xlabel('cas [min]'),ylabel('teplota [°C]'),
grid on
hold on
plot(x11,y1,'r',x22,y2,'r',x33,y3,'r',x44,y4,'r','LineWidth',2)
legend('žiadaná teplota T1','aktuálna teplota T1','stredné hodnoty kmitov na danom intervale',...
'Location','SouthEast')

figure
plot(t,T2,t,T2min,t,T2max,'LineWidth',2)
title('Riadená teplota T2'), xlabel('cas [min]'),ylabel('teplota [°C]')
legend('aktuálna teplota T2','spodná hranica T2','horná hranica T2', 'Location','SouthWest')
grid on

figure
plot(t,e,'LineWidth',2)
title('Regulacná odchýlka'), xlabel('cas [min]'),ylabel('e [°C]')
legend('regulacná odchýlka', 'Location','NorthEast')
grid on

```
