

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V
BRATISLAVE**

**FAKULTA CHEMICKÉJ A POTRAVINÁRSKEJ
TECHNOLÓGIE**

EVIDENČNÉ ČÍSLO: FCHPT-5415-61837

**TVORBA KNIŽNICE MODELOV
TECHNOLOGICKÝCH PROCESOV**

BAKALÁRSKA PRÁCA

2015

Katarína Kirová

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V
BRATISLAVE**

**FAKULTA CHEMICKÉJ A POTRAVINÁRSKEJ
TECHNOLÓGIE**

EVIDENČNÉ ČÍSLO: FCHPT-5415-61837

**TVORBA KNIŽNICE MODELOV
TECHNOLOGICKÝCH PROCESOV**

BAKALÁRSKA PRÁCA

EVIDENČNÉ ČÍSLO: FCHPT-5415-61837

Študijný program: automatizácia, informatizácia a manažment v chémii a potravinárstve

Číslo študijného odboru: 2621

Názov študijného odboru: 5.2.14. automatizácia, 5.2.52. priemyselné inžinierstvo

Školiace pracovisko: Ústav informatizácie, automatizácie a matematiky

Vedúci záverečnej práce: Ing. Ľuboš Čírka, PhD.

Bratislava 2015

Katarína Kirová



ZADANIE BAKALÁRSKEJ PRÁCE

Študentka: **Katarína Kirová**
ID študenta: 61837
Študijný program: automatizácia, informatizácia a manažment v chémii a potravinárstve
Kombinácia študijných odborov: 5.2.14. automatizácia, 5.2.52. priemyselné inžinierstvo
Vedúci práce: Ing. Ľuboš Čirka, PhD.

Názov práce: **Tvorba knižnice modelov technologických procesov**

Špecifikácia zadania:

Cieľom práce je doplniť knižnicu modelov technologických procesov v MWS (HTTP MATLAB Web Server). Knižnica je základom virtuálneho laboratória na monitorovanie a riadenie procesov chemickej, biochemickej a potravinárskej technológie.

Úlohy: rešerš dostupných riešení virtuálnych laboratórií; naštudovať jazyk MATLAB; vykonať analýzu, špecifikovať požiadavky a navrhnuť štruktúru nových modulov; programovo realizovať moduly v MATLABe a Simulinku; overiť funkčnosť a vypracovať postup inštalácie; vypracovať dokumentáciu.

Rozsah práce: 30

Zoznam odbornej literatúry:

1. Zaplatílek, K. *MATLAB : Průvodce začínajícího uživatele*. Brno: Tribun EU, 2011. 87 s. ISBN 978-80-263-0014-4.
2. Kozák, Š. – Kajan, S. *MATLAB – Simulink I*. Bratislava: STU v Bratislave, 1999. 125 s. ISBN 80-227-1213-2.
3. Dušek, F. *Matlab a Simulink úvod do používání*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2000. 146 s. ISBN 80-7194-273-1.
4. Čirka, Ľ. – Kalúz, M. – Oravec, J. – Míková, N. Designing PID Controllers Using MATLAB-SIMULINK Via the Internet. In *Technical Computing Bratislava 2014 [elektronický zdroj] : 22nd Annual Conference Proceedings. Bratislava, 4.11. 2014*. Prague: Institute of Chemical Technology, 2014, s. 7. ISBN 978-80-7080-898-6.

Riešenie zadania práce od: 16. 02. 2015

Dátum odovzdania práce: 24. 05. 2015

L. S.

Katarína Kirová

študentka

prof. Ing. Miroslav Fikar, DrSc.

vedúci pracoviska

prof. Ing. Miroslav Fikar, DrSc.

garant študijného programu

Podakovanie

Touto cestou sa chcem poďakovať vedúcemu mojej bakalárskej práce pánovi Ing. Ľubošovi Čirkovi, PhD. Predovšetkým za odbornú pomoc, praktické rady, ale hlavne za venovaný čas a ochotu pri riešení a vypracovaní tejto práce.

Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá tvorbou modelov vybraných technologických procesov pomocou programu MATLAB a Simulink. Technologickým procesom je prietok s jednoduchou akumuláciou látky. Užívateľ má možnosť zadávať vstupné údaje v prostredí MATLAB Web Server (MWS). Po vyplnení údajov ich MWS prepošle do MATLAB-u, v ktorom prebehne simulácia. Simulácia prebehne pomocou simulačnej schémy. Po skončení simulácie MATLAB spätne prepošle výsledky do MWS. Užívateľovi sa výsledky zobrazia vo výstupnej HTML stránke ako grafické priebehy.

Kľúčové slová: zásobník kvapaliny; model; simulácia; MATLAB; MWS; HTML.

Abstract

The theme of this thesis is Simulation models of technological processes using MATLAB and Simulink. The thesis deals specifically with the technological process of flow with basic accumulation of substances. The user is able to enter input data via MATLAB Web Server (MWS). MWS forwards these data to MATLAB and the simulation can overrun via simulation scheme. The simulation scheme verifies the functionality of issue related to model and it describes the behavior of the real system using mathematical model and concepts. When the simulation runs to completion MATLAB forwards the results back to MWS. The results are visible for user on HTML page as a graphical projection.

Key words: liquid reservoir; model; simulation; MATLAB; MWS; HTML.

Obsah

1	Úvod	12
2	Teoretická časť	13
2.1	Modelovanie procesov	13
2.1.1	Vytváranie modelov	13
2.1.2	Linearizácia	14
2.2	Prietokový proces s jednoduchou akumuláciou látky	15
2.2.1	Zásobníky kvapaliny s konštantným prierezom	15
2.2.2	Zásobníky kvapaliny s premenlivým prierezom	22
2.3	Použité technológie	25
2.3.1	MATLAB a Simulink	25
2.3.2	MATLAB Web Server	26
2.3.3	HTML	26
3	Praktická časť	28
3.1	Realizácia pomocou MWS	28
3.1.1	Úvodná stránka	28
3.1.2	Stránka so vstupnými údajmi	29
4	Záver	33

1 Úvod

V dnešnej dobe sa čoraz viac používa simulácia, ktorá nám ukazuje ako sa daný proces správa. Preferovaná oblasť, v ktorej sa využíva simulácia, je výučba. Vieme porozumieť rôznym systémom aj keď k nim nemáme prístup. Jedna z foriem takéhoto vzdelávania využíva virtuálne laboratória vytvorené pomocou HTTP MATLAB Web Serveru. Aby fungovali takéto laboratória, vytvára sa knižnica, ktorá obsahuje modely technologických procesov. Užívateľ si však dokáže vybrať iba taký model, ktorý obsahuje knižnica, a teda je tam schéma a formulár na zadávanie hodnôt. Užívateľovi sa po spustení potrebnej stránky v prehliadači objaví vstupný formulár, do ktorého zadáva hodnoty. Po odoslaní údajov MATLAB Web Server ich odošle do MATLABu na spracovanie. V MATLABe prebehne simulácia a po jej prebehnutí sa vygeneruje výstupný dokument, ktorý obsahuje údaje, ktoré užívateľ chce zistiť.

Cieľom tejto bakalárskej práce je práve doplnenie knižnice o modely technologických procesov. Na to bude potrebné vytvoriť simulačnú schému na simuláciu. Simuláciou zistujeme správanie sa reálneho procesu. Využitie simulácie je vhodné, ak nemáme k dispozícii zariadenia, ktoré zabezpečujú daný proces. Alebo ak zisťovanie správania sa procesu by bolo časovo náročné, nebezpečné,

Teoretická časť približuje systém tvorby modelu - čo je potrebné vedieť a ako postupovať. Ďalej sú opísané technológie, ktoré využívame na realizáciu, konkrétne MATLAB, Simulink, HTTP MATLAB Web Server a jazyk HTML.

V praktickej časti je bližšie popísaná tvorba vstupného formulára a rovnako aj tvorba výstupného dokumentu, ktorý sa užívateľovi vygeneruje po prebehnutí simulácie. Na to je využitý jazyk HTML, v ktorom sa spomenuté dokumenty vytvárajú. Keďže simulácia a vôbec celý výpočet prebieha v prostredí MATLAB/Simulink, tak si uvedieme a popíšeme bloky, ktoré sú využité v simulačnej schéme.

2 Teoretická časť

V teoretickej časti je podrobne vysvetlené vytváranie matematických modelov, pretože cieľom bakalárskej práce je doplniť knižnicu o určité modely technologických procesov v prostredí MWS. Knižnica je základom virtuálneho laboratória na monitorovanie a riadenie procesov chemickej, biochemickej a potravinárskej technológie.

Ak chceme skúmať reálne procesy, musíme si k nim vytvoriť modely, ktoré však neopisujú presne reálny proces, pretože sa pracuje so zjednodušujúcimi predpokladmi. Medzi ne môžeme zaradiť napríklad, že sa pracuje s otvoreným zásobníkom, konštantnosť tlaku, ...

Keďže našou úlohou je zamerať sa na matematické dynamické modely, je dobré vedieť, že je to model, v ktorom je vzťah vyjadrený medzi vstupnými a výstupnými veličinami.

2.1 Modelovanie procesov

[1]

Modelovať určitý proces a zabezpečiť tak správny výsledok, si vyžaduje určitú postupnosť krokov:

- použijeme materiálové bilancie na tvorbu dynamického modelu;
- k modelu, ktorý sme vytvorili, uvedieme model v ustálenom stave;
- odčítaním modelu v ustálenom stave od modelu dynamického vytvoríme lineárny odchýlkový model v okolí rovnovážneho stavu. Ak by sme mali dynamický model nelineárny, tak nelineárne členy je potrebné linearizovať;
- odvodíme prenos procesu z lineárneho modelu, ktorý sme upravili Laplaceovou transformáciou;
- skúmame rozdiely medzi nelineárnym a linearizovaným modelom.

Aby sme zvládli spraviť vyššie uvedený postup, oboznámime sa s pravidlami tvorby modelov a s linearizáciou, ktorá je potrebná na úpravu nelineárnych členov, s ktorými sa stretávame často pri modelovaní technologických procesov.

2.1.1 Vytváranie modelov

Pre teoretický (matematický) model akéhokoľvek technologického procesu sú dôležité materiálové/energetické bilancie, pretože iba na základe nich je ho možné vytvoriť. Pričom však využívame bilancie v nerovnovážnom stave. Stretávame sa s viacerými možnosťami bilancovania, napr. možnosť bilancovať celok, jednotlivé zložky, hmotnosť alebo dokonca aj látkové množstvo.

Ak bilancujeme proces v rovnovážnom (ustálenom) stave, tak bilancia pre hmotnosť má nasledovný tvar:

$$(\text{súčet hmotností vstupov}) = (\text{súčet hmotností výstupov})$$

Bilancia pre hmotnosť v nerovnovážnom stave bude mať iný tvar z dôvodu, že veličiny procesu sa menia s časom, čiže ide o dynamický prietokový systém. Pribudne člen, ktorý poukazuje na to, že dochádza k akumulácii hmoty a výsledná bilancia nadobudne tvar:

$$(\text{súčet hmotnostných tokov na vstupe}) = (\text{súčet hmotnostných tokov na výstupe}) + \\ (\text{rýchlosť akumulácie hmotnosti v systéme})$$

Keď pre daný model máme zostavené potrebné bilancie, určíme si veličiny, ktoré závisia od času - vstupné (riadiace, poruchové) a tie, ktoré získame na základe vyriešenia diferenciálnych rovníc z bilancie - stavové alebo výstupné. Riešiteľnosť modelu ovplyvňuje počet rovníc a počet neznámych v ňom - pre úspešné riešenie sa musia rovnať. V opačnom prípade je model neriešiteľný.

2.1.2 Linearizácia

[1]

Linearizácia sa dá aplikovať len pre funkcie nelineárne. Podstata linearizácie spočíva v tom, že veličiny procesu sa menia tak, že odchýlky od ustáleného stavu sú v čase dostatočne malé. Pri linearizácii sa využíva rozvoj funkcie do Taylorovho rádu.

Postup pri linearizácii:

Na základe predchádzajúcich poznatkov vieme vytvoriť nelineárny dynamický matematický model procesu (DMM). Na to, aby sme mohli linearizovať proces, musíme si vytvoriť matematický model v rovnovážnom (ustálenom) stave (MMUS) k uvedenému dynamickému modelu. V dynamickom modeli sa nám vyskytujú časovo premenné veličiny, za ktorými je označenie (t) . K nemu zodpovedajúci model v rovnovážnom stave je vytvorený tak, že veličiny budú konštantné a označované tou istou premennou, ale s horným indexom s .

Ďalším krokom, ešte pred linearizáciou, je odčítanie vyššie uvedených modelov a to odčítanie modelu v rovnovážnom stave od dynamického modelu (DMM - MMUS).

Ďalej je potrebné zdefinovať odchýlkové veličiny, ktoré predstavujú rozdiel veličín v dynamickom a rovnovážnom stave. Ide o zmenu veličiny vzhľadom na rovnovážny stav. Keďže v každom procese sú vstupné (riadiace ale aj poruchové), stavové a výstupné veličiny, bude potrebné ich rozlišovať. Preto odchýlkové vstupné riadiace označíme ako u , odchýlkové vstupné poruchové ako r , odchýlkové stavové veličiny ako x a odchýlkové výstupné veličiny si označíme ako y .

Potom nelineárnu funkciu aproximujeme Taylorovým rozvojom do prvého rádu. Ak ide o funkciu s jednou premennou $f(x)$ má tento rozvoj podobu

$$f(x) = f(x^s) + \left. \frac{df(x)}{dx} \right|_{x=x^s} (x - x^s) \quad (1)$$

a pre funkciu dvoch premenných $f(x, y)$

$$f(x, y) = f(x^s, y^s) + \left. \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \right|_{x=x^s, y=y^s} (x - x^s) + \left. \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right|_{x=x^s, y=y^s} (y - y^s) \quad (2)$$

Po všetkých úpravách dosadíme odchýlkové veličiny.

2.2 Prietokový proces s jednoduchou akumuláciou látky

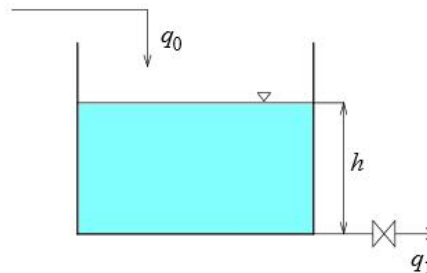
[1]

Budeme sa zaoberať zásobníkmi kvapaliny, pretože potrebujeme doplniť virtuálnu knižnicu o tieto prietokové procesy. Zásobníky kvapalín patria medzi základné technologické zariadenia a predstavujú základný problém pri Transporte tekutín. Aby sme vyjadrili vlastnosti určitých procesov, potrebujeme odvodiť matematické modely, ktoré nám určia správanie sa procesu, ak poznáme vstupné veličiny. V práci bude uvedený dynamický matematický model, rovnovážny stav a linearizovaný odchýlkový model pre rôzne tvary zásobníkov. Najskôr sa zameriame na zásobníky s konštantným prierezom, neskôr na zásobníky s premenlivým prierezom.

2.2.1 Zásobníky kvapaliny s konštantným prierezom

Pod pojmom zásobník s konštantným prierezom rozumieme napr. zásobník v tvare valca, ktorý stojí. To znamená, že po celej svojej výške má konštantný prierez. V tomto prípade je objem lineárne závislý od výšky hladiny.

Jeden zásobník kvapaliny



Obr. 1: Zásobník kvapaliny

V tejto časti preskúmame jednoduchý zásobník kvapaliny, ktorý je znázornený na obr. 1, v ktorom $h(t)$ je výška hladiny, $q_0(t)$ vstupný objemový prietok a $q_1(t)$ predstavuje výstupný objemový prietok. Zjednodušujúcim predpokladom je konštantnosť teploty kvapaliny v zásobníku, rovnako hustoty kvapaliny ρ a vzhľadom na geometrické tvary zásobníka aj prierez F . Na základe týchto predpokladov nadobudne materiálová bilancia tvar:

$$q_0(t)\rho = q_1(t)\rho + \frac{d(Fh(t)\rho)}{dt}, \quad h(0) = h^s \quad (3)$$

Kvôli spomínanej konštantnosti hustoty a prierezu zjednodušíme zápis rovnice (3)

$$q_0 = q_1 + F \frac{dh}{dt} \quad (4)$$

pričom časová závislosť sa v zápise tiež nebude vyskytovať.

Výstupný prietok q_1 závisí od výšky hladiny v zásobníku a vieme ho vyjadriť ako

$$q_1 = k_{11}\sqrt{h} \quad (5)$$

Ak dosadíme rovnicu (5) do rovnice (4), získame nelineárny dynamický matematický model zásobníka

$$q_0 = k_{11}\sqrt{h} + F \frac{dh}{dt} \quad (6)$$

a model v rovnovážnom (ustálenom) stave nadobudne tvar

$$q_0^s = k_{11}\sqrt{h^s} + F \frac{dh^s}{dt} \quad (7)$$

Matematické vyjadrenie

$$\frac{dh^s}{dt} = 0 \quad (8)$$

definuje, že výška hladiny kvapaliny v zásobníku je ustálená vplyvom dlhodobej konštantnosti q_0 . Potom z rovnice (7) vieme vyjadriť vzorec na výpočet výšky hladiny v ustálenom stave

$$h^s = \left(\frac{q_0^s}{k_{11}} \right)^2 \quad (9)$$

Keďže sa nám v modeli nachádza nelineárny člen, ako je vidno v rovnici (6), tak podľa postupu linearizácie si potrebujeme vyjadriť lineárny odchýlkový model, zdefinovať odchýlkové veličiny a následne linearizovať nelineárny člen ($\sqrt{h^s}$) podľa rovnice (1). Spomínaný model dostaneme odčítaním rovníc (6) a (7), čo sa matematicky vyjadri ako

$$q_0 - q_0^s = k_{11}\sqrt{h} - k_{11}\sqrt{h^s} + F \frac{d(h - h^s)}{dt} \quad (10)$$

Odchýlkové veličiny:

$$x = h - h^s$$

$$u = q_0 - q_0^s$$

Aproximácia v pracovnom bode Taylorovým rozvojom do prvého radu podľa rovnice (1):

$$\sqrt{h} = \sqrt{h^s} + \left. \frac{d\sqrt{h}}{dh} \right|_{h^s} (h - h^s) \quad (11)$$

$$\sqrt{h} = \sqrt{h^s} + \frac{1}{2\sqrt{h^s}}(h - h^s) \quad (12)$$

Rovnicu (12) dosadíme do (10) a dostaneme

$$q_0 - q_0^s = k_{11}\sqrt{h^s} + k_{11}\frac{1}{2\sqrt{h^s}}(h - h^s) - k_{11}\sqrt{h^s} + F\frac{d(h - h^s)}{dt} \quad (13)$$

Zavedením konštanty $k_1 = \frac{k_{11}}{2\sqrt{h^s}}$ a dosadením odchýlkových veličín do rovnice (13) zjednodušíme linearizovaný odchýlkový model na tvar

$$u = k_1 x + F \frac{dx}{dt} \quad (14)$$

a následne vydelíme rovnicu (14) členom k_1 a dostávame

$$\frac{1}{k_1}u = x + \frac{F}{k_1} \frac{dx}{dt} \quad (15)$$

Model upravíme do takého tvaru, aby sme si všimli ukrytú časovú konštantu T a zosilnenie Z pod konštantami $\frac{F}{k_1}$ a $\frac{1}{k_1}$. Týmito úpravami dostaneme linearizovaný model v tvare diferenciálnej rovnice

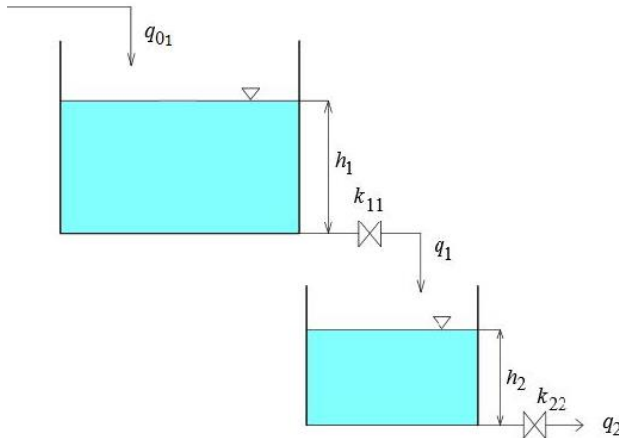
$$T \frac{dx}{dt} + x = Zu \quad (16)$$

Avšak môžeme si vyjadriť linearizovaný model aj prenosovou funkciou

$$G(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{Z}{Ts + 1} \quad (17)$$

ktorá vyjadruje pomer medzi výstupom a vstupom procesu.

Dva zásobníky kvapaliny bez interakcie



Obr. 2: 2 zásobníky kvapaliny bez interakcie

Na obr. 2 sú znázornené 2 zásobníky kvapaliny bez interakcie, čo znamená, že 2. zásobník neovplyvňuje správanie sa 1. zásobníka. Postup vytvárania dynamického modelu nadobúda rovnaký postup ako pri jednoduchom zásobníku kvapaliny. Vystupujú v ňom rovnaké vstupné, stavové a výstupné veličiny s rozdielom iba v ich počte, keďže zásobníky máme dva. Takisto platia aj všetky zjednodušujúce predpoklady (vypustenie zápisu časovej závislosti, teplota, hustota, ...). Potom materiálové bilancie sú

$$q_0 = q_1 + F_1 \frac{dh_1}{dt} \quad (18)$$

$$q_1 = q_2 + F_2 \frac{dh_2}{dt} \quad (19)$$

Rovnica (5), ktorá platí pre výstupný objemový prietok q_1 aj v tomto prípade, platí aj pre q_2 . Treba však podotknúť, že objemový prietok q_2 nezávisí od výšky hladiny h_1 ale od výšky hladiny h_2 , čo je vidieť aj v rovniciach

$$q_1 = k_{11} \sqrt{h_1} \quad (20)$$

$$q_2 = k_{22} \sqrt{h_2} \quad (21)$$

Do rovníc (18) a (19) dosadíme rovnice (20) a (21) a dostaneme nelineárny dynamický model zásobníkov

$$q_0 = k_{11} \sqrt{h_1} + F_1 \frac{dh_1}{dt} \quad (22)$$

$$k_{11} \sqrt{h_1} = k_{22} \sqrt{h_2} + F_2 \frac{dh_2}{dt} \quad (23)$$

Model v rovnovážnom stave zapíšeme ako

$$q_0^s = k_{11} \sqrt{h_1^s} + F_1 \frac{dh_1^s}{dt} \quad (24)$$

$$k_{11} \sqrt{h_1^s} = k_{22} \sqrt{h_2^s} + F_2 \frac{dh_2^s}{dt} \quad (25)$$

Aj pre túto sústavu zásobníkov platí podmienka, ktorú prezentuje rovnica (8) (platí aj pre výšku hladiny v 2. zásobníku), na základe ktorej vieme vyjadriť výpočet výšok ustálených hladín kvapaliny v zásobníkoch h_1^s a h_2^s z rovníc (24) a (25)

$$h_1^s = \left(\frac{q_0^s}{k_{11}} \right)^2 \quad (26)$$

$$h_2^s = \left(\frac{q_0^s}{k_{22}} \right)^2 \quad (27)$$

Pri poznaní dynamického modelu a modelu v rovnovážnom stave vieme určiť odchýlkový model

$$q_0 - q_0^s = k_{11} \sqrt{h_1} - k_{11} \sqrt{h_1^s} + F_1 \frac{d(h_1 - h_1^s)}{dt} \quad (28)$$

$$k_{11} \sqrt{h_1} - k_{11} \sqrt{h_1^s} = k_{22} \sqrt{h_2} - k_{22} \sqrt{h_2^s} + F_2 \frac{d(h_2 - h_2^s)}{dt} \quad (29)$$

a následne zdefinovať odchýlkové veličiny:

$$x_1 = h_1 - h_1^s$$

$$x_2 = h_2 - h_2^s$$

$$u = q_0 - q_0^s$$

Vidíme, že v rovniciach (28) a (29) sa vyskytujú nelineárne členy, ktoré aproximujeme do Taylorovho radu podľa rovnice (1) a dostaneme

$$\sqrt{h_1} = \sqrt{h_1^s} + \frac{1}{2\sqrt{h_1^s}}(h_1 - h_1^s) \quad (30)$$

$$\sqrt{h_2} = \sqrt{h_2^s} + \frac{1}{2\sqrt{h_2^s}}(h_2 - h_2^s) \quad (31)$$

Definovaním konštánt

$$k_1 = \frac{k_{11}}{2\sqrt{h_1^s}} \quad (32)$$

$$k_2 = \frac{k_{22}}{2\sqrt{h_2^s}} \quad (33)$$

a dosadením linearizovaných členov do rovníc (28) a (29) získame výsledný linearizovaný model v tvare diferenciálnej rovnice (34) a (35), a v tvare prenosovej funkcie (36), (37) a (38)

$$Z_1 u = T_1 \frac{dx_1}{dt} + x_1, x_1(0) = 0 \quad (34)$$

$$Z_2 x_1 = T_2 \frac{dx_2}{dt} + x_2, x_2(0) = 0 \quad (35)$$

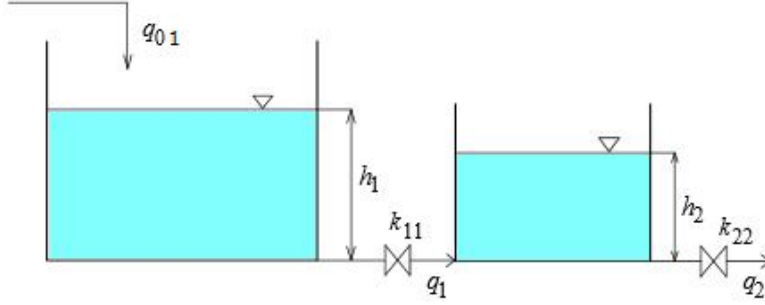
$$G_{1u}(s) = \frac{X_1(s)}{U(s)} = \frac{Z_1}{T_1 s + 1} \quad (36)$$

$$G_{21}(s) = \frac{X_2(s)}{X_1(s)} = \frac{Z_2}{T_2 s + 1} \quad (37)$$

$$G_{2u}(s) = \frac{X_2(s)}{U(s)} = \frac{Z_1 Z_2}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \quad (38)$$

kde v (36) je vyjadrený prenos medzi výškou hladiny v 1. zásobníku a vstupným prietokom, v rovnici (37) medzi výškou hladiny v 2. zásobníku a výškou hladiny v 1. zásobníku a v poslednej (38) je prenos vyjadrený medzi výškou hladiny v 2. zásobníku a vstupným prietokom. Vo všetkých rovniciach ide o rozdiel medzi odchýlkou od rovnovážneho stavu.

Dva zásobníky kvapaliny s interakciou



Obr. 3: 2 zásobníky kvapaliny s interakciou

Táto sústava zásobníkov (obr. 3) je podobná sústave bez interakcie, ale so zmenou v rovnici (20), v ktorej je vyjadrený prietok q_1 . Pre sústavu s interakciou je však priamo úmerný odmocnine z rozdielu výšok h_1 a h_2 , čo matematicky zapíšeme ako

$$q_1 = k_{11} \sqrt{h_1 - h_2} \quad (39)$$

a q_2 ostáva rovnaké ako v rovnici (21), čiže

$$q_2 = k_{22} \sqrt{h_2} \quad (40)$$

Potom nelineárny dynamický model je

$$q_0 = k_{11} \sqrt{h_1 - h_2} + F_1 \frac{dh_1}{dt} \quad (41)$$

$$k_{11} \sqrt{h_1 - h_2} = k_{22} \sqrt{h_2} + F_2 \frac{dh_2}{dt} \quad (42)$$

a poznáme aj model v rovnovážnom stave

$$q_0^s = k_{11} \sqrt{h_1^s - h_2^s} + F_1 \frac{dh_1^s}{dt} \quad (43)$$

Keďže podmienka v rovnici (8) ostáva v platnosti aj pre tento systém, vieme si z modelu v rovnovážnom stave určiť výpočet výšok hladín v tomto stave z rovnice (43) pre h_1^s

$$h_1^s = \left(\frac{q_0^s}{k_{11}} \right)^2 + h_2^s \quad (44)$$

a vidíme, že nám tam vystupuje h_2^s , ktorého výpočet poznáme z rovnice (27). Teda môžeme rovnicu (27) dosadiť do (44), vykonať potrebné matematické úpravy a dostaneme konečný vzorec na výpočet výšky hladiny h_1^s

$$h_1^s = (q_0^s)^2 \left(\frac{1}{(k_{11})^2} + \frac{1}{(k_{22})^2} \right) \quad (45)$$

V dynamickom modeli vidíme nelineárne členy, čo nám signalizuje, že je potrebné ich linearizovať. Člen $\sqrt{h_2}$ sme už v predchádzajúcom prípade linearizovali, preto vieme že nadobudne podobu podľa rovnice (31) a člen $\sqrt{h_1 - h_2}$ si linearizujeme, ale najskôr si vytvoríme odchýlkový model

$$q_0 - q_0^s = k_{11}\sqrt{h_1 - h_2} - k_{11}\sqrt{h_1^s - h_2^s} + F_1 \frac{d(h_1 - h_1^s)}{dt} \quad (46)$$

$$k_{11}\sqrt{h_1 - h_2} - k_{11}\sqrt{h_1^s - h_2^s} = k_{22}\sqrt{h_2} - k_{22}\sqrt{h_2^s} + F_2 \frac{d(h_2 - h_2^s)}{dt} \quad (47)$$

a zdefinujeme si odchýlkové veličiny, ktoré sú:

$$x_1 = h_1 - h_1^s$$

$$x_2 = h_2 - h_2^s$$

$$u = q_0 - q_0^s$$

Rozvinieme spomínaný nelineárny člen $\sqrt{h_1 - h_2}$ a v rovniciach (46) a (47) dosadíme linearizované členy a odchýlkové veličiny a získame finálny odchýlkový linearizovaný model - (49) a (50)

$$\sqrt{h_1 - h_2} - \sqrt{h_1^s - h_2^s} = \frac{1}{2\sqrt{h_1^s - h_2^s}}(h_1 - h_1^s) - \frac{1}{2\sqrt{h_1^s - h_2^s}}(h_2 - h_2^s) \quad (48)$$

$$u = k_1 x_1 - k_1 x_2 + F_1 \frac{dx_1}{dt} \quad (49)$$

$$k_1 x_1 - k_1 x_2 = k_2 x_2 + F_2 \frac{dx_2}{dt} \quad (50)$$

kde

$$k_1 = \frac{k_{11}}{2\sqrt{h_1^s - h_2^s}} \quad (51)$$

$$k_2 = \frac{k_{22}}{2\sqrt{h_2^s}} \quad (52)$$

S vyjadrením zosilnenia a časovej konštanty bude mať model tvar

$$Z_1 u = x_1 - x_2 + T_1 \frac{dx_1}{dt}, \quad x_1(0) = 0 \quad (53)$$

$$Z_2 x_1 - Z_2 x_2 = x_2 + T_2 \frac{dx_2}{dt}, \quad x_2(0) = 0 \quad (54)$$

Linearizovaného modelu vyjadrenému ako prenos zodpovedajú rovnice

$$G_{1u}(s) = \frac{X_1(s)}{U(s)} = \frac{Z_1(T_2 s + Z_2 + 1)}{T_1 T_2 s^2 + (T_1 + T_2 + T_1 Z_2)s + 1} \quad (55)$$

$$G_{2u}(s) = \frac{X_2(s)}{U(s)} = \frac{Z_1 Z_2}{T_1 T_2 s^2 + (T_1 + T_2 + T_1 Z_2)s + 1} \quad (56)$$

2.2.2 Zásobníky kvapaliny s premenlivým prierezom

Pod pojmom zásobník s premenlivým prierezom rozumieme napr. zásobník v tvare valca, ktorý leží. To znamená, že v každej výške má rôzny prierez. V tomto prípade objem nie je lineárne závislý od výšky hladiny.

Jeden zásobník kvapaliny

Model v dynamickom stave bude taký istý ako v rovnici(4)

$$q_{01} = q_1 + F_1 \frac{dh_1}{dt} \quad (57)$$

a model v rovnovážnom stave ako (7)

$$q_{01} = k_{11} \sqrt{h_1^s} + F_1 \frac{dh_1^s}{dt} \quad (58)$$

pričom sme dosadili $q_1 = k_{11} \sqrt{h_1}$.

Rozdiel však nastane vo vyjadrení prierezu F . Použijeme Pythagorovu vetu a získame výpočet neznámej x^2 :

$$x^2 = \left(\frac{H}{2}\right)^2 - \left(h_1 - \frac{D}{2}\right)^2 = h_1(D - h_1) \quad (59)$$

a dostaneme prierez F pre situáciu ak $h_1 > \frac{D}{2}$

$$F_1 \frac{dh_1}{dt} = D\pi x^2 \left(\frac{D}{2} + H\right) = D\pi h_1(D - h_1) \left(\frac{D}{2} + H\right) \frac{dh_1}{dt} \quad (60)$$

kde $D[m]$ je priemer a $H[m]$ je dĺžka zásobníka.

Ak by sme mali výšku hladiny menšiu ako $\frac{D}{2}$ rovnica (60) sa zmení len v člene $(D - h_1)$ na člen $(h_1 - D)$.

DMM - MMUS nám zabezpečí tvar odchýlkového modelu

$$q_{01} - q_{01}^s = k_{11} \sqrt{h_1} - k_{11} \sqrt{h_1^s} + D\pi h_1(D - h_1) \left(\frac{D}{2} + H\right) \frac{d(h_1 - h_1^s)}{dt} \quad (61)$$

Ako sme spomenuli, že modely valcov sa líšia len v priereze, to znamená, že nelineárne členy majú konečnú podobu rovnakú a nebudeme to rozpisovať ešte raz a len poznamenáme, že platí tu (14). To isté platí aj pre definovanie odchýlkových veličín.

Lineárny odchýlkový model je potom takýto:

$$u = k_1 x_1 + D\pi h_1(D - h_1) \left(\frac{D}{2} + H\right) \frac{dx_1}{dt} \quad (62)$$

Dva zásobníky kvapaliny bez interakcie

Všetky modely budú rovnaké ako v prípade valca, ktorý stojí, zmení sa len výpočet prierezu F . Ten sme si však odvodili v stati 2.2.1 a preto môžeme napísať lineárny odchýlkový model, pre ktorý kvôli zjednodušeniu predpokladáme, že:

- priemer 1. a 2. zásobníka je rovnaký
- dĺžka 1. a 2. zásobníka je rovnaká
- $h_1 > \frac{D}{2}$ a $h_2 < \frac{D}{2}$

$$u = k_1 x_1 + D\pi h_1 (D - h_1) \left(\frac{D}{2} + H \right) \frac{dx_1}{dt} \quad (63)$$

$$k_1 x_1 = k_2 x_2 + D\pi h_2 (h_2 - D) \left(\frac{D}{2} + H \right) \frac{dx_2}{dt} \quad (64)$$

Dva zásobníky kvapaliny s interakciou

V tejto sústave uvažujeme rovnaké zjednodušujúce predpoklady ako v sústave bez interakcie. V skratke uvedieme podobu konečného lineárneho odchýlkového modelu sústavy zásobníkov s interakciou

$$u = k_1 x_1 + D\pi h_1 (D - h_1) \left(\frac{D}{2} + H \right) \frac{dx_1}{dt} \quad (65)$$

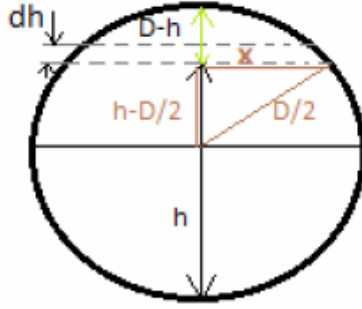
$$k_1 x_1 - k_1 x_2 = k_1 x_2 + D\pi h_2 (h_2 - D) \left(\frac{D}{2} + H \right) \frac{dx_2}{dt} \quad (66)$$

Jeden zásobník kvapaliny v tvare gule

Aj pre prípad jednoduchého guľového zásobníka na kvapalinu sa model líši od valcového takisto len v priereze F . Prierez, ako aj v situácii ležiaceho valca, nie je konštantný, preto sa bude prierez meniť v hoci ktorej výške hladiny zásobníka. Základné vyjadrenie pre model guľového zásobníka ostáva rovnaký ako pri valci

$$q_{01} = q_1 + \frac{dF}{dt} \quad (67)$$

ale musíme si vyjadriť výpočet prierezu F , ktorý získame z vety podľa Pythagora pre neznámy úsek x^2



Obr. 4: Prierez guľového zásobníka

$$x^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(h - \frac{D}{2}\right)^2 = h(D - h) \quad (68)$$

Potom F vyjadríme nasledovne

$$F dh = \pi x^2 dh = \pi h(D - h) dh \quad (69)$$

a dosadíme do (67) a vznikne

$$q_{01} = q_1 + \frac{\pi h(D - h) dh}{dt} \quad (70)$$

Výsledný dynamický model (70) platí v prípade, že výška hladiny v zásobníku h je vyššia ako polovica priemeru zásobníka D , kde podmienkou je

$$h > \frac{D}{2}$$

a výsledný model s dosadením $q_1 = k_{11}\sqrt{h}$ má podobu

$$q_{01} = k_{11}\sqrt{h} + \frac{\pi h(D - h) dh}{dt} \quad (71)$$

Podmienka

$$h < \frac{D}{2}$$

hovorí o tom, že výška hladiny h je menšia ako polovica priemeru D , čiže hladina sa nachádza pod polovicou výšky zásobníka a výsledný dynamický model pre túto situáciu má tvar

$$q_{01} = k_{11}\sqrt{h} \frac{\pi h(h - D) dh}{dt} \quad (72)$$

Model pre ustálený stav pre podmienku $h > \frac{D}{2}$ je

$$q_{01}^s = k_{11}\sqrt{h^s} + \frac{\pi h(D - h) dh^s}{dt} \quad (73)$$

a pre $h < \frac{D}{2}$

$$q_{01}^s = k_{11}\sqrt{h^s} + \frac{\pi h(h-D)dh^s}{dt} \quad (74)$$

Vytvorenie odchýlkového modelu má rovnaký postup (DMM-MMUS) a má tvar

$$q_{01} - q_{01}^s = k_{11}\sqrt{h} - k_{11}\sqrt{h^s} + \pi h(D-h)\frac{d(h-h^s)}{dt} \quad (75)$$

$$q_{01} - q_{01}^s = k_{11}\sqrt{h} - k_{11}\sqrt{h^s} + \pi h(h-D)\frac{d(h-h^s)}{dt} \quad (76)$$

Ďalej je známe, že člen $\sqrt{h^s}$ po linearizovaní je rovnaký ako v predchádzajúcich prípadoch, a to $\frac{1}{2\sqrt{h^s}}(h-h^s)$. Vieme si zadať aj $k_1 = \frac{k_{11}}{2\sqrt{h^s}}$. Výsledný odchýlkový model po linearizácii a dosadení odchýlkových veličín má tvar

$$u = k_1x + \pi h(D-h)\frac{dx}{dt} \quad (77)$$

a pre druhý prípad

$$u = k_1x + \pi h(h-D)\frac{dx}{dt} \quad (78)$$

Dva zásobníky kvapaliny v tvare gule bez interakcie

Keďže vyjadrenie modelu tejto sústavy je tiež totožné s modelom valca, v ktorom sme si postupne a logicky odviedli všetky súvislosti, zameriame sa na vyjadrenie odchýlkového linearizovaného modelu ak $h_1 > \frac{D}{2}, h_2 < \frac{D}{2}$ a takisto uvažujeme rovnaký priemer D obidvoch zásobníkov. Po všetkých matematických úpravách je linearizovaný odchýlkový model

$$u = k_1x_1 + \pi h_1(D-h_1)\frac{dx_1}{dt} \quad (79)$$

$$k_1x_1 = k_2x_2 + \pi h_2(h_2-D)\frac{dx_2}{dt} \quad (80)$$

Dva zásobníky kvapaliny v tvare gule s interakciou

Pre sústavu guľových zásobníkov s interakciou budeme tiež uvažovať rovnaký priemer D , $h_1 > \frac{D}{2}$, $h_2 < \frac{D}{2}$ a pre skutočnosť uvedených a vysvetlených všetkých potrebných matematických úkolov vyjadríme len konečný linearizovaný odchýlkový model pre túto sústavu

$$u = k_1x_1 + \pi h_1(D-h_1)\frac{dx_1}{dt} \quad (81)$$

$$k_1x_1 - k_1x_2 = k_1x_2 + \pi h_2(h_2-D)\frac{dx_2}{dt} \quad (82)$$

2.3 Použité technológie

2.3.1 MATLAB a Simulink

[2, 3, 4]

Programovacie prostredie MATLAB je určené predovšetkým na vedeckotechnické účely, výpočty, návrhy algoritmov, meranie a spracovanie signálov, návrhy riadenia, modelovanie, simulácie, ...

Nadstavbovou časťou MATLAB-u je Simulink. Je to program, ktorý sa využíva na modelovanie dynamických systémov a ich simulovanie. Simulink má iné užívateľské rozhranie v porovnaní s MATLABom. Kým v MATLAB-e sa využíva príkazový riadok, v Simulinku sa využíva bloková schéma.

Bloková schéma sa vytvára v novom skripte, do ktorého sa z knižnice volia jednotlivé bloky, ktoré pre konkrétnu problematiku splňajú účel. Vytvorený skript sa ukladá do príslušného priečinku s koncovkou *.mdl*, resp. *.slx*.

Takto vytvorená schéma nám vyrieši výpočet a zobrazí grafický priebeh dynamického systému. Na číselný výpočet Simulink využíva MATLAB. Taktiež MATLAB zasahuje aj do výpočtov nelineárnych diferenciálnych rovníc, ktorými sa vytvárajú modely akýchkoľvek procesov a výpočet zabezpečí cez s-funkciu.

2.3.2 MATLAB Web Server

[5]

MATLAB Web Server je nástroj, ktorý umožňuje vytváranie aplikácií v prostredí MATLAB, nazývaných prezentácie. MWS prezentácia je umiestnená na serveri a je možné ju ovládať z internetu prostredníctvom vstupného formulára.

Aplikácia, ktorú využíva MWS je zložená z 3 častí:

- Vstupný formulár – ide o jednoduchý HTML dokument, v ktorom sú obsiahnuté prvky potrebné na výpočet
- M-file – slúži na prijatie dát, ktoré MWS odošle pomocou vstupného formulára potrebných na výpočet a spätne odošle výstup vo forme HTML dokumentu
- Výstupná šablóna – takisto je to HTML dokument, v ktorom je výsledok (napr. ako grafický priebeh) zobrazený vo webovom prehliadači.

2.3.3 HTML

[6]

HTML (HyperText Markup Language) je značkový jazyk, ktorý sa hlavne využíva na vytváranie webových stránok.

Podľa názvu je zrejmé, že v štruktúre vytvárania webovej stránky sa využíva text a značky. Na rozlíšenie textu od značiek sa využívajú zátvorky <>, do ktorých sa vpisujú značky. Pre bližšiu predstavu o vzhľade tvorby web stránky si uvedieme štruktúru základného najjednoduchšieho dokumentu, ktorý vyzerá nasledovne

```
<!DOCTYPE html>
<html lang='sk'>
<head>
<meta charset='utf-8'>
... hlavička stránky ...
<title>Názov stránky</title>
</head>
<body>
... obsah stránky ...
</body>
</html>
```

Párovými značkami <html> a </html> začína a končí celý dokument. Značkami <head> a </head> je vymedzený priestor pre hlavičku a telo dokumentu označujú <body> a </body>, v ktorých sa nachádza obsah celej stránky.

3 Praktická časť

3.1 Realizácia pomocou MWS

Simulácia dynamických vlastností zásobníkov cez MATLAB Web Server prebieha nasledovným spôsobom:

- užívateľ spustí MWS a zobrazí sa mu úvodná HTML stránka s možnosťou výberu jedného z troch vyššie spomínaných tvarov zásobníka
- po výbere sa mu zobrazí HTML stránka, do ktorej zadáva vstupné údaje (q , k_{11} , $h_1^s, \dots$)
- v momente, keď odošle údaje, MWS odošle všetko do prostredia MATLAB
- MATLAB vykoná výpočtové operácie a odošle výsledky naspäť do MWS
- užívateľovi sa na základe predchádzajúcej operácie výsledok zadania objaví vo výstupnej HTML stránke, v ktorej sú vstupné údaje a grafický priebeh výšok hladín h_1 a h_2 .

3.1.1 Úvodná stránka

HTML kód úvodnej stránky:

```
<!DOCTYPE html>
<html lang='sk'>
<head>
<title>Modelovanie zásobníkov kvapaliny</title>
<meta charset='utf-8'>
</head>
<body>
<p>Zásobníky kvapaliny s konštantným prierezom</p>
<ul>
<li><a href="valeck1/index.html">1 zásobník</a></li>
<li><a href="valeck2/index.html">2 zásobníky</a></li>
</ul>
<p>Zásobníky kvapaliny s premenlivým prierezom</p>
<ul>
<li><a href="valecp1/index.html">1 zásobník</a></li>
<li><a href="valecp2/index.html">2 zásobníky</a></li>
<li><a href="gula1/index.html">1 guľový zásobník</a></li>
```

```

<li><a href="gula2/index.html">2 guľové zásobníky</a></li>
</ul>
</body>
</html>

```

3.1.2 Stránka so vstupnými údajmi

Častým príkladom HTML formulára je webová stránka, kde užívateľ zadáva vstupné údaje, ktoré sa od neho vyžadujú. Prostredníctvom tohto formulára ich pošle na server pomocou potvrdzovacieho tlačítka *Odoslať údaje*. HTML formulár zabezpečuje komunikáciu medzi webovým užívateľom a serverom. Keďže užívateľ zadáva vstupné údaje cez vstupný formulár, priblížime si vytvorenie tejto vstupnej stránky vytvorenej jazykom HTML:

```

<!DOCTYPE html>
<html lang='sk'>
<head>
<meta charset='utf-8'>
</head>
<body>
<h1>Zásobníky kvapaliny - valec stojí</h1>
<form action="valeczasobnik.m" method="post">

```

Párová značka <h1> </h1> nám určuje nadpis prvej úrovne. V značke *form* máme atribút *action*, ktorý nám hovorí o tom, kde sa odošlú dáta na spracovanie (*valeczasobnik.m*), a atribút *method* určuje spôsob odoslania dát. Pod dátami rozumieme vstupné údaje, ktoré zadáva užívateľ.

```

<table border="0" cellspacing="1" cellpadding="5" bgcolor="#99FF99">
<tr>
<td>Skoková zmena t<sub>0</sub> [min]:</td>
<td><input type="text" class="text" name="t0" size="5" /></td>
</tr>
:
<td>Interakcia</td>
<td>
<input type="radio" name="inter" value="1" >ano
<input type="radio" name="inter" value="0" checked="checked" />nie
</td>
:

```

```

</table>
<br />
<input type="submit" name="submit" value="Odoslať údaje" />
<input type="reset" name="reset" value="Vymazať údaje" />
</form>
</body>
</html>

```

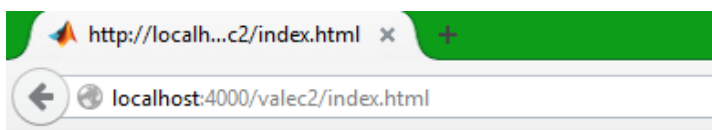
Najjednoduchšia forma, ako si vytvoriť vstupný formulár je pomocou tabuľky. Jednotlivé atribúty nachádzajúce sa v párovej značke *table* rozhodujú o konečnom vzhľade, šírke riadkov,

Vrátime sa k funkciám jednotlivých atribútov. Atribút *border* zabezpečuje viditeľnosť hraníc medzi jednotlivými riadkami alebo stĺpcami. Pri úplnom vynechaní tohto atribútu, budú hranice neviditeľné. *Cellspacing* určuje vzdialenosť medzi dvomi bunkami, pokiaľ *cellpadding* vzdialenosť medzi okrajom bunky a jej obsahom. Atribútom *bgcolor* máme možnosť urobiť tabuľku farebnou.

Značka *< tr >* *< /tr >* nám vymedzuje začiatok a koniec riadku a značka *< td >* *< /td >* začiatok a koniec bunky (stĺpec v danom riadku). Vyskytujú sa nám tu aj ďalšie párové značky ako *< sub >* *< /sub >* a *< sup >* *< /sup >*, ktoré určujú dolný a horný index v texte. V nepárovej značke *input* využijeme nasledujúce atribúty:

- *type* - určíme ním, či pôjde o heslo, text, prepínač, ... V našom formulári sa vyskytujú *submit*, *radio*, *text*, *reset*. Submit je odosielacie tlačítko, radio je prepínač, text logicky textový vstup a reset slúži na vymazanie všetkých vyplnených políček
- *class* – umožňuje pracovať v CSS prostredí (CSS - Cascading Style Sheets)
- *name* – pri tvorbe formuláru je potrebný na pomenovanie premenných. Musia však byť rovnaké ako v súbore, do ktorého sa formulár odošle, kvôli výpočtu
- *value* – týmto atribútom vytvoríme priestor, do ktorého užívateľ zadáva hodnoty
- *size* – slúži na určenie veľkosti poľa, v ktorom sa zadávajú hodnoty
- *radio* – tzv. prepínač. V tomto formulári ho využívame pre voľbu, či chceme sústavu zásobníkov s interakciou alebo bez. Ak je hodnota 1, ide o interakciu, ak 0 sústava je bez interakcie.

Konečný vzhľad takto vytvoreného formulára môžeme vidieť na obr. 5, v ktorom máme aj zadané hodnoty pre konkrétny typ zásobníka. Kliknutím na tlačítko *Odoslať údaje* odošle užívateľ formulár s dátami prostredníctvom MWS do MATLABu.



Zásobníky kvapaliny - valec stojí

Definovanie parametrov

Skoková zmena t_0 [min]:	0
Ustálený vstupný prietok q_{01}^s [$\text{m}^3\text{min}^{-1}$]:	4
Vstupný prietok q_{01} [$\text{m}^3\text{min}^{-1}$]:	4.4
Ustálená výška hladiny h_1^s [m]:	1
Ustálená výška hladiny h_2^s [m]:	1.2625
Ventilová konštanta k_{11} [$\text{m}^{2.5}\text{min}^{-1}$]:	4
Ventilová konštanta k_{22} [$\text{m}^{2.5}\text{min}^{-1}$]:	3.56
Prierez F_1 [m^2]:	4
Prierez F_2 [m^2]:	3.72
Interakcia	☐ ano ☒ nie
Čas simulácie t [min]:	30 rozsah: (0,300>
Linearizovaný matematický model $G(s)$	
Čitateľ prenosu $B(s)$:	[0.63]
Menovateľ prenosu $A(s)$:	[4.7 4.35 1]

Obr. 5: Vstupný formulár

Simulačná schéma

V okamihu, keď užívateľ odošle zadané vstupné údaje cez MWS, ten ich odošle do MATLABu, kde nastáva simulácia pomocou simulačnej schémy (obr. 6). Simulačnú schému sme si vytvorili z blokov, ktoré sú potrebné na daný proces. V tejto časti si popíšeme použité bloky v schéme na obr. 6.

- *Step* – nastavuje sa tu čas, v ktorom nastane skoková zmena, hodnota ustáleného vstupného prietoku a vstupný prietok pre zásobník kvapaliny.

-
- The screenshot displays the Simulink environment with a green title bar labeled 'valeczas'. The software interface includes a menu bar (File, Edit, View, Simulation, Format, Tools, Help) and a toolbar with icons for file operations, simulation control, and viewing options. The main workspace contains a Simulink model for a water level control system. The model starts with two input signals: 'Vstupny prietok' (Input flow) and 'Ustaleny vstupny prietok' (Constant input flow). These signals are combined at a summing junction to produce the error signal u_1 . This error signal is fed into the 'Linearizovany model' block, which contains the transfer function $B(s)/A(s)$. The output of this block is the signal x_2 . The signal x_2 is then fed into another summing junction along with a feedback signal from the 'Ustalenavy skahladiny' (Constant water level) block. The output of this second summing junction is the control signal h_2 . This signal h_2 is then fed into the 'Nelinearnymodel' block, which contains the 'valecfunfunction' block. The output of the nonlinear model is the signal h_2 (labeled as h_2 in the diagram). This signal is then fed into a scope block 'h1' and a plot block 'h2'. The plot block 'h2' also receives a time signal 'Cas' (Time) and a feedback signal from the 'hladina' (Water level) block. The 'hladina' block is a summing junction that receives the control signal h_2 and the feedback signal from the 'hladina' block. The output of the 'hladina' block is the water level signal, which is fed back to the 'Ustalenavy skahladiny' block. The status bar at the bottom shows 'Ready', '100%', and 'ode45'.

32

Výstupná HTML stránka so vstupnými údajmi a grafickým priebehom

Po skončení simulácie sa užívateľovi v prehliadači zobrazí výstupný HTML dokument, v ktorom sú vypísané vstupné údaje a grafický priebeh výšok hladín v zásobníkoch. Výstupný dokument si spracujeme takisto formou tabuľky, kde v prvom stĺpci sú vstupné údaje a v druhom grafický priebeh. Vstupné údaje sú zobrazené na miestach so znakmi \$\$:

:

<p>Čas simulácie t [min] = $\$time\$$ </p>

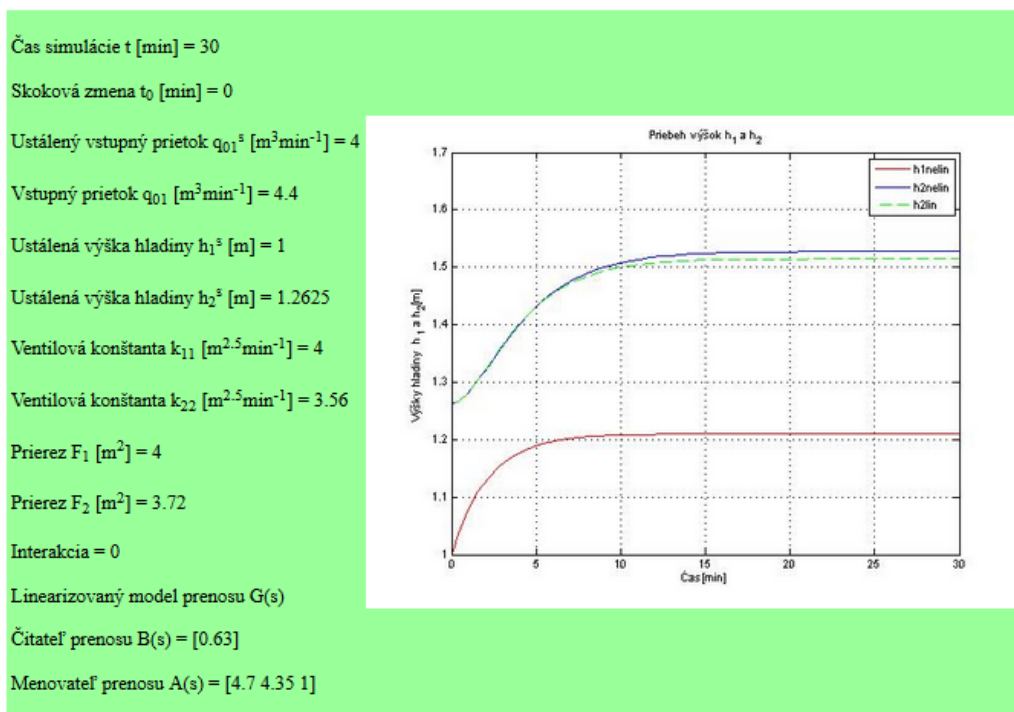
:

<p></p>

:

Atribút *Src* poukazuje na umiestnenie obrázku. Užívateľovi sa zobrazí výstupná stránka, ktorú zobrazuje obr. 7.

Výstupná stránka



Obr. 7: Výstupná HTML stránka

4 Záver

Cieľom bakalárskej práce bolo rozšíriť knižnicu o modely technologických procesov. Knižnicu sme doplnili o modely prietokových procesov s jednoduchou akumuláciou látky. Ide konkrétne o modely zásobníkov kvapaliny s konštantým prierezom a s premenlivým prierezom valcového a guľového zásobníka. Ku každému modelu sme vytvorili vstupný formulár, simulačnú schému a výstupný dokument, v ktorom sa dáta generujú na základe hodnôt vstupného formulára.

V teoretickej časti práce je opísaný postup vytvárania modelov technologických procesov, ako funguje proces, o ktorý doplníme knižnicu. Opísali sme si konkrétnejšie MATLAB/Simulink, HTTP MATLAB Web Server a jazyk HTML, pretože s pomocou týchto technológií bola možná realizácia doplnenia knižnice.

V praktickej časti tejto práce sme venovali pozornosť jazyku HTML, ktorým sme vytvárali vstupný formulár a výstupnú stránku. Zamerali sme sa hlavne na ich štruktúru. Opísali sme si simulačné bloky potrebné na simulačnú schému.

Výsledkom práce je doplnená knižnica o modely technologických procesov. Verím, že tieto modely uľahčia, nielen študentom, pochopiť správanie sa daného procesu.

Literatúra

- [1] M. Bakošová and M. Fikar. *Riadenie procesov*, Vydavateľstvo STU, Bratislava, 2. vydanie, 2012.
- [2] MATLAB. <http://cs.wikipedia.org/wiki/MATLAB>[online 17.5.2015]
- [3] MATLAB. <http://www.kirp.chnikf.stuba.sk/cirka/vyuka/matlab/kap1.php>[online 17.5.2015]
- [4] MATLAB. <http://en.wikipedia.org/wiki/MATLAB>[online 17.5.2015]
- [5] ČIRKA, Ľ. – KALÚZ, M. – ORAVEC, J. – MÍKOVÁ N., *Designing PID Controllers Using MATLAB-SIMULINK Via the Internet. In Technical Computing Bratislava 2014* [elektronický zdroj]:22nd Annual Conference Proceedings. Bratislava, 4.11. 2014. Prague: Institute of Chemical Technology, 2014, strana 2. ISBN 978-80-7080-898-6.
- [6] HTML - Struktura HTML stránky. www.tvorba-webu.cz/html/struktura.php[online 18.5.2015]