Studentská tvůrčí a odborná činnost
STOČ 2016

PŘEDIKTIVNÍ ŘÍZENÍ MODELU SPOJENÝCH NÁDRŽÍ

Jolana Pacíková

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
Fakulta aplikované informatiky,
Nad Stráněmi 4511, 760 05 Zlín

21. dubna 2016
FAI UTB ve Zlíně

Klíčová slova: *Prediktivní řízení, model spojených nádrží, identifikace, Matlab*

Anotace: *Práce se zabývá aplikací prediktivního řízení na řízení modelu spojených nádrží DTS 200. Model se skládá ze tří nádrží, které jsou navzájem propojeny ventily. Voda do nádrží se napouští pomocí dvou čerpadel, které jsou připojeny na první a poslední nádrž. Práce řeší řízení výšky hladin dvou vnějších nádrží. Jedná se o nelineární soustavu se dvěma vstupy a dvěma výstupy. Je řešeno jak řízení s pevně nastavenými parametry tak řízení systému s průběžnou identifikací modelu řízeného systému v reálném čase.*

Obsah

1. Úvod 4
2. Prediktivní řízení 4
3. Matematický model 5
4. Simulace 6
   4.1 Identifikace 6
   4.2 Regulace s pevně nastavenými parametry 6
   4.3 Regulace s průběžnou identifikací 6
5. Měření na reálné soustavě 7
   5.1 Kalibrace 7
   5.2 Statická charakteristika 8
   5.3 Identifikace 9
   5.4 Regulace s pevně nastavenými parametry 9
   5.5 Regulace s průběžnou identifikací 10
6. Závěr 11
Literatura 11

1. Úvod

Práce se zabývá aplikací prediktivního řízení pro řízení modelu spojených nádrží. Model se skládá ze tří válcových zásobníků na kapalinu, které jsou navzájem propojeny regulačními ventily (viz. Obrázek 2). Každý zásobník má navíc regulační ventil, který odvádí kapalinu pryč ze systému. Na první a poslední nádrž jsou připojena čerpadla, která čerpají kapalinu do systému. Pod modelem je umístěna akumulační nádoba, která slouží jako zásobárna kapaliny. V našem případě je zde umístěna voda. Do nádoby jsou vyvedeny regulační ventily, které odvádí vodu ze zásobníků a také jsou zde připojena čerpadla, která naopak vodu do systému opět vrací. Jedná se o nelineární soustavu

Díky tomu, že soustava obsahuje až 8 akčních zásahů (2 čerpadla a 6 ventilů) a až 3 regulované veličiny (výška hladin v jednotlivých nádržích), umožňuje velké množství konfigurací [2].

Pro práci byla zvolena varianta se dvěma vstupy a dvěma výstupy – řízení výšky hladiny ve dvou krajních nádržích pomocí připojených čerpadel. Přitom jsou plně otevřeny ventily propojující jednotlivé nádrže, tj. q_1, q_2, a ventily, které vypouští kapalinu z krajních zásobníků, tj. q_4 a q_6.

Řízení hladin bylo zvoleno pomocí prediktivního řízení, které je jednou z metod návrhů řízení. V posledních letech se tyto návrhy těší velké popularitě.

2. Prediktivní řízení

Aby mohl být systém řízen prediktivně, musí pro něj platit několik zásad [1]:

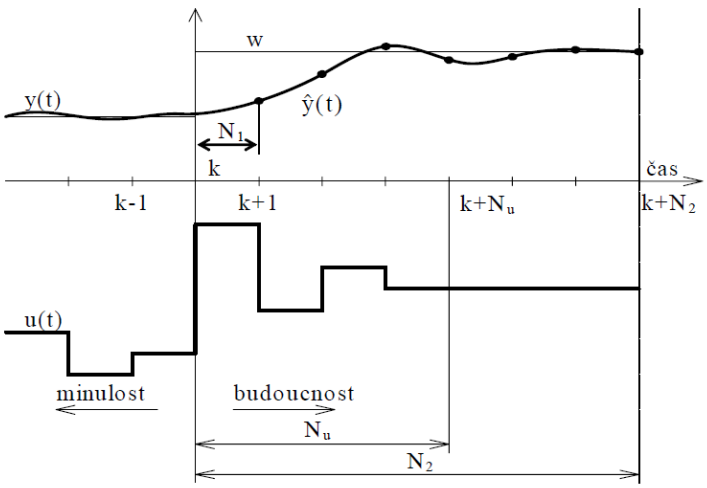
- Matematický model řízení systému je použitý na predikci budoucího řízení výstupu systému.
- Průběh trajektorie žádané hodnoty regulované veličiny je v budoucím čase znám.
- Výpočet posloupnosti budoucích řídících zásahů zahrnuje minimalizaci vhodné účelové funkce s budoucími trajektoriemi přírůstků řízení a regulační odchylky.

Přímo při návrhu regulátoru lze zahrnout omezení vstupních a výstupních veličin. Z toho důvodu se používá v průmyslových aplikacích.

V porovnání s PID regulátory je kvalita řízení obvykle vyšší, navíc tyto algoritmy jsou pro řízení procesů mnohostranně využitelné a robustní. Algoritmy mohou být aplikovány na neminimálně fázové, nestabilní, mnohorozměrné procesy a také na procesy s dopravním zpožděním.

Účelová funkce má následující parametry:

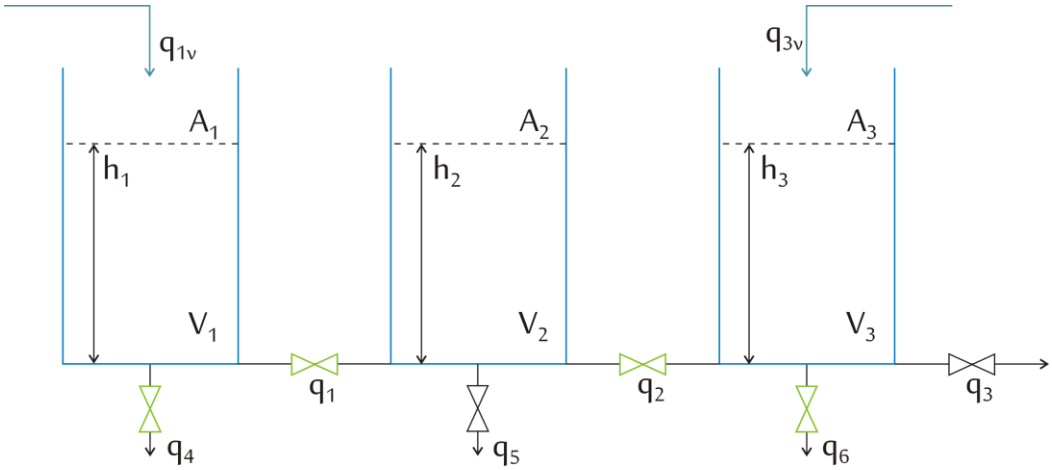
- N_1 a N_2… minimální a maximální horizont, které určují interval v budoucnosti, ve kterém je potřeba sledovat žádanou hodnotu
- N_u … řídící horizont, který snižuje výpočtovou náročnost.



Obrázek 1 Princip prediktivního řízení

3. Matematický model

Pro potřeby simulace modelu spojených nádrží byl vytvořen matematický model.



Obrázek 2 Schéma modelu spojených nádrží

q_{1v}, q_{3v} .....vstupní přítok do zásobníků 1 a 3

h_1, h_2, h_3 .....výška hladiny v jednotlivých zásobnících

$q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6$ .....průtok jednotlivými ventily

V_1, V_2, V_3 .....objemy v jednotlivých nádržích

A_1, A_2, A_3 .....plocha hladiny v zásobnících

Zjednodušený matematický model:

$$1.\,nádrž\text{:}\ A \cdot \frac{dh_1}{dt} = q_{1v}(t) - q_1(t) - q_4(t)$$

$$2.\,nádrž\text{:}\ A \cdot \frac{dh_2}{dt} = q_1(t) + q_2(t) - q_5(t)$$

$$3.\,nádrž\text{:}\ A \cdot \frac{dh_3}{dt} = q_{2v}(t) - q_2(t) - q_3(t) - q_6(t)$$

Jelikož není předem jasné, jestli bude vyšší hladina v první nádrži, nebo v nádrži poslední, a tím pádem jestli bude voda do prostřední nádrže přes ventily q_1 a q_2 přitékat nebo odtékat, musí být zavedena funkce signum, která při změně výšky hladiny změní znaménko z +1 na -1 a naopak.

Dle zvolené konfigurace, která je popsána v kapitole 1, byly ze soustavy rovnic odstraněny ventily q3 a q5, které jsou uzavřeny. Model byl proto upraven do následující soustavy rovnic:

1. nádrž

$$A_1 \cdot \frac{dh_1}{dt} = q_{1v}(t) - \lambda_1 \cdot sign[h_1(t) - h_2(t)] \cdot \sqrt{|h_1(t) - h_2(t)|} - q_4(t)$$

2. nádrž

$$A_2 \cdot \frac{dh_2}{dt} = \lambda_1 \cdot sign[h_1(t) - h_2(t)] \cdot \sqrt{|h_1(t) - h_2(t)|} + \lambda_2 \cdot sign[h_3(t) - h_2(t)] \cdot \sqrt{|h_3(t) - h_2(t)|}$$

3. nádrž

$$A_3 \cdot \frac{dh_3}{dt} = q_{2v}(t) - \lambda_2 \cdot sign[h_3(t) - h_2(t)] \cdot \sqrt{|h_3(t) - h_2(t)|} - q_6(t)$$

4. Simulace

Po vytvoření matematického modelu byla vytvořena v prostředí Matlab - Simulink simulace procesu. Model je realizován pomocí S-funkce a ovládá se přes prostředí Simulink.

4.1 Identifikace

Pro identifikaci parametrů byl systém vybuzen náhodným signálem s rovnoměrným rozdělením. Odezva na tento signál byla metodou nejmenších čtverců přepočítána na požadované parametry regulace. Pro periodu vzorkování 2s jsou parametry regulace následovné:

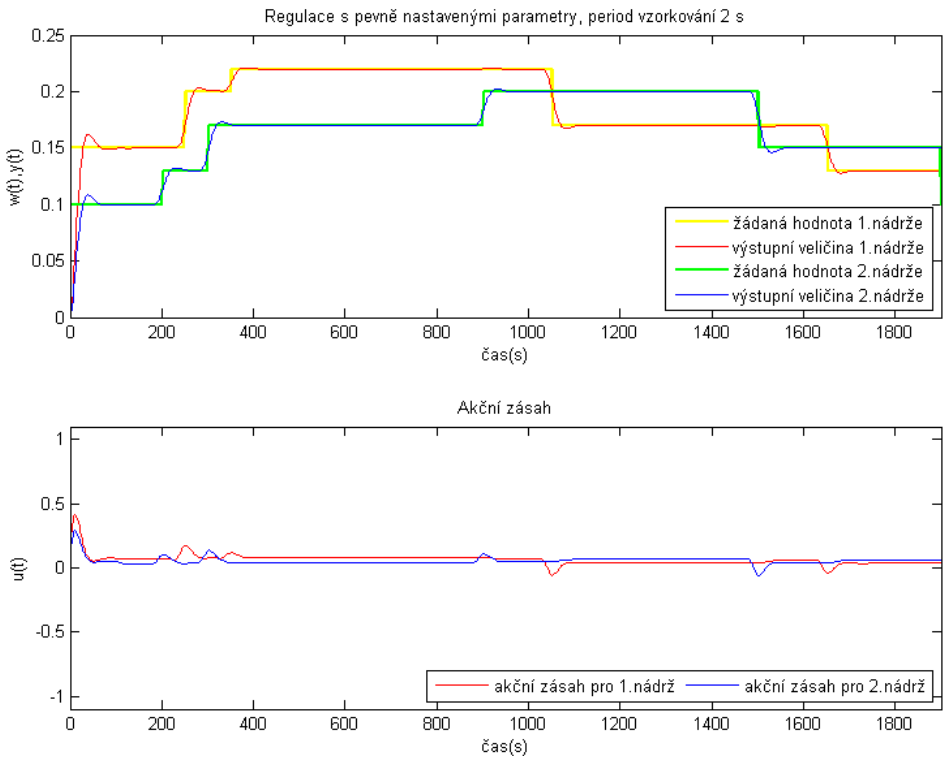
$$A = [-1.8808;\ 0.8810;\ -0.1131;\ 0.1129;\ 0.0034;\ -0.0034;\ -2.0285;\ 1.0285]$$

$$B = [0.0399;\ -0.0353;\ 0.0000;\ -0.0045;\ -0.0000;\ 0.0001;\ 0.0400;\ -0.0411]$$

4.2 Regulace s pevně nastavenými parametry

Pro samotnou regulaci byla žádaná hodnota stanovena v intervalu vyplývajícího ze statické charakteristiky. Tyto hodnoty byly realizovány pomocí skokových změn, které jsou v praxi nejčastěji využívané.

Pro návrh regulátoru byl použit jednodušší vstupně-výstupní model. Byl vypočítán prediktor a optimalizace byla provedena kvadratickým programování, což bylo vyřešeno pomocí funkce *Quadprog* v Matlabu.



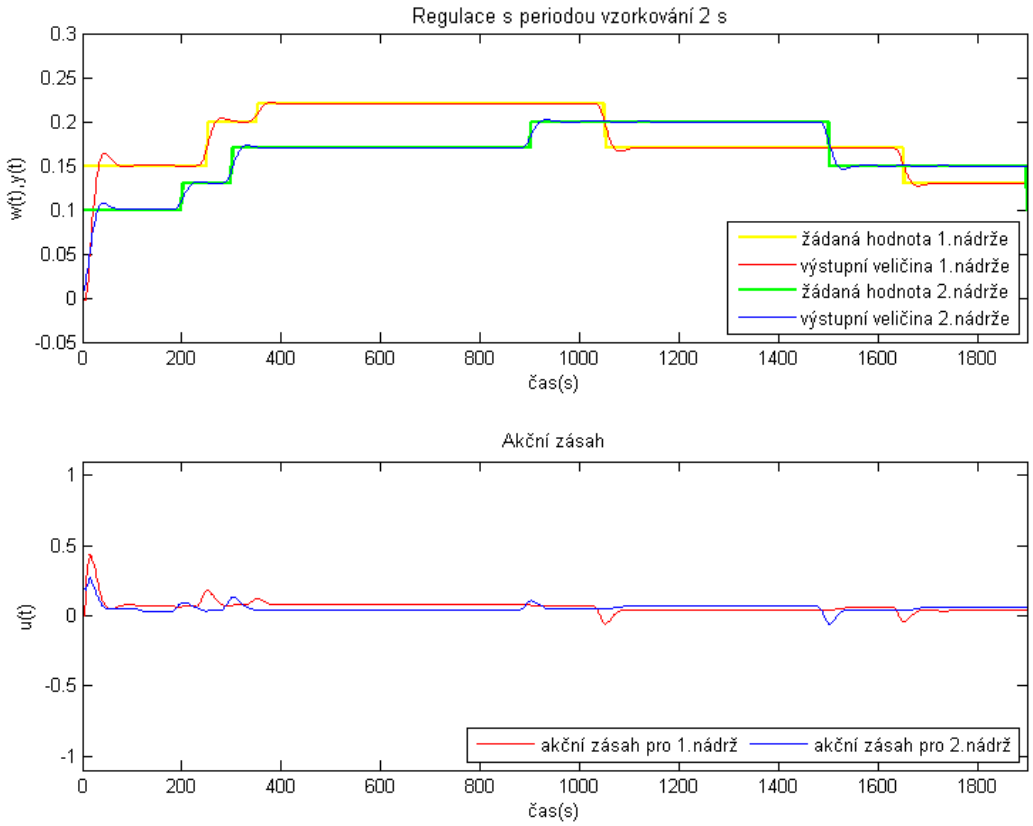
Graf 1 Regulace s pevně nastavenými parametry

4.3 Regulace s průběžnou identifikací

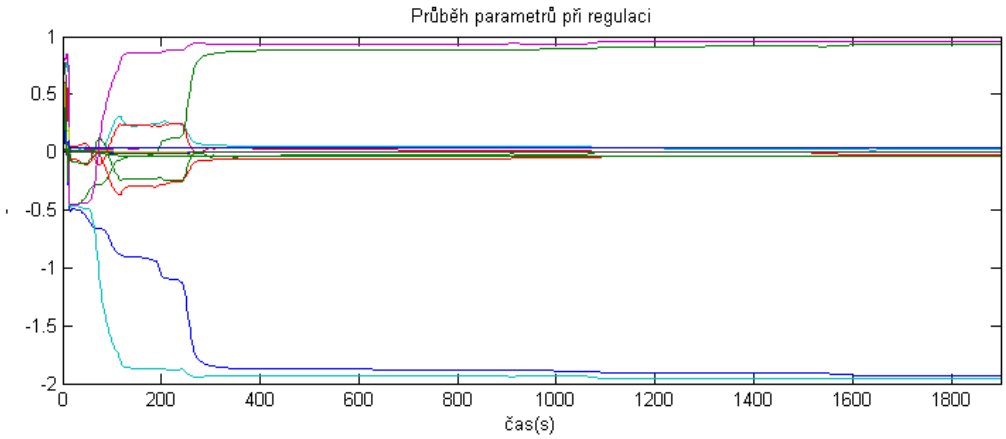
Pro průběžnou identifikaci byla také použita metoda nejmenších čtverců, která je zpracovávána v časových okamžicích určující aktuální perioda vzorkování.

Počáteční parametry jsou zadány ve formě:

$A = [0{,}1; 0{,}2; 0{,}3; 0{,}4; 0{,}5; 0{,}6; 0{,}7; 0{,}8]$ $B = [0{,}1; 0{,}2; 0{,}3; 0{,}4; 0{,}5; 0{,}6; 0{,}7; 0{,}8]$



Graf 2 Regulace s průběžnou identifikací



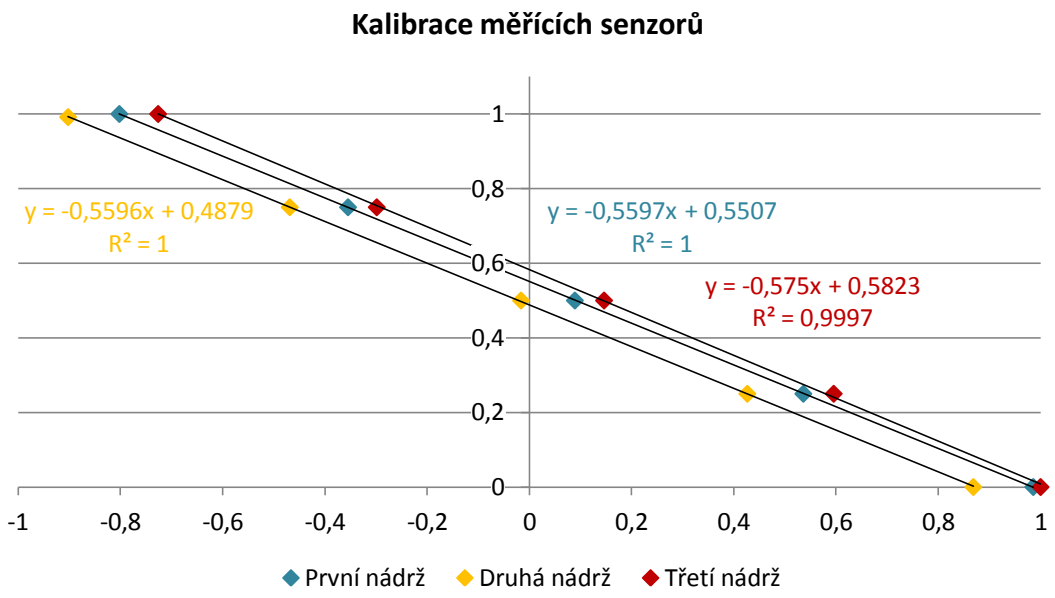
Graf 3 Průběh parametrů při regulaci

5. Měření na reálné soustavě

5.1 Kalibrace

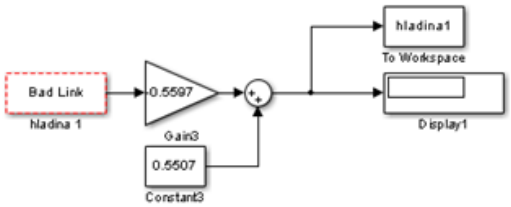
Před samotným měřením bylo nutné provést kalibraci měřících senzorů. Cílem této kalibrace bylo určit přepočet mezi všemi zásobníky a výstupním napětím senzoru.

Při samotné kalibraci byly nádrže napuštěny na maximální hodnotu a poté byla voda ze zásobníků vypouštěna pomocí ventilů vždy na požadovanou výšku. Pro danou výšku bylo zaznamenáno vždy 100hodnot, které se průměrovaly.



Graf 4 Kalibrace senzorů

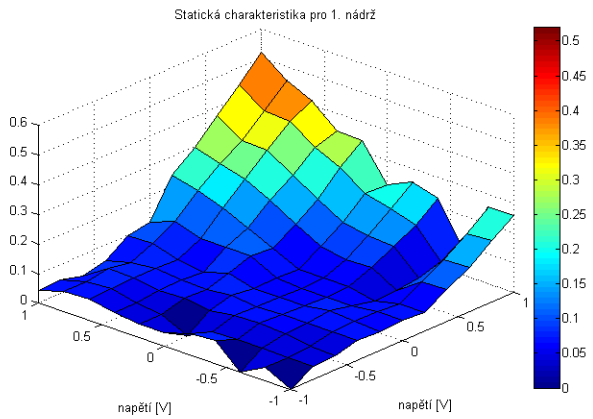
Hodnoty z rovnice regrese byly v Simulinkovém schéma realizovány pomocí bloků *Gain*, *Sum* a *Constant*.



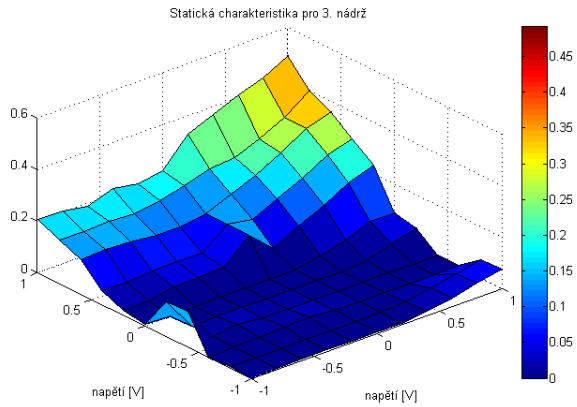
Obrázek 3 Ukázka zainteresování rovnice regrese do schématu

5.2 Statická charakteristika

Vstupní napětí čerpadel je možno zadávat v rozmezí <-1; 1>. Statická charakteristika byla proměřena pro měnící se napětí obou čerpadel vždy po kroku 0,2.



Graf 5 Charakteristika 1. nádrže

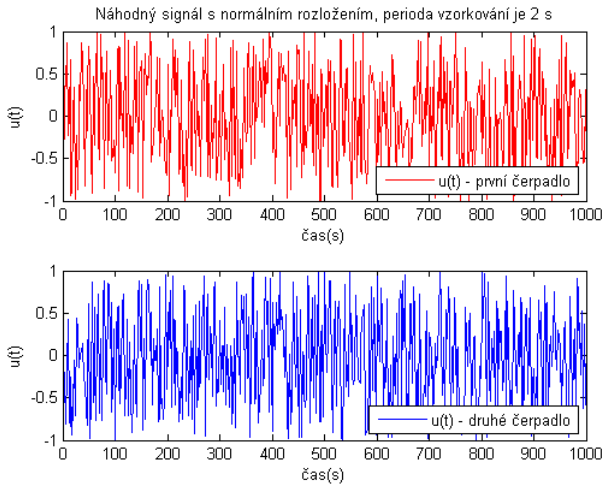


Graf 6 Charakteristika 3. nádrže

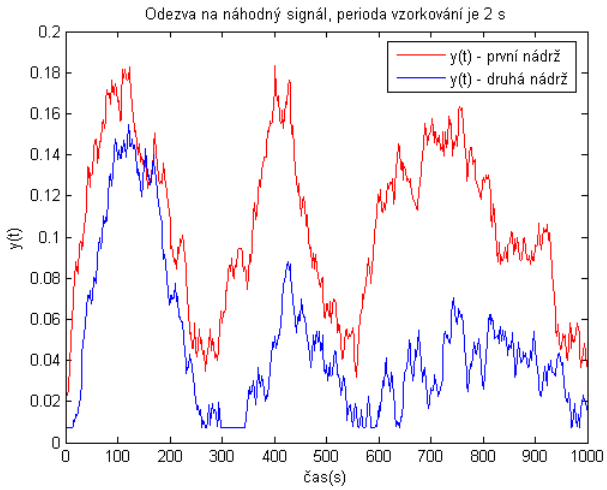
Po vyhodnocení dat ze statické charakteristiky byla, pro následné regulace, zvolena výstupní oblast z intervalu <0,1; 0,25> pro obě řízené nádrže.

5.3 Identifikace

Soustava byla zidentifikována tak jako u simulace, tedy náhodným signálem s normálním rozložením. Vzhledem k tomu, že se jedná o pomalou soustavu, byly vyzkoušeny 3 periody vzorkování - 2s, 5s a 10s. Jelikož všechny odezvy stačí určitým způsobem na signál zareagovat, byla pro následnou regulaci zvolena nejmenší perioda, tj. 2s.



Graf 7 Náhodný signál s normálním rozložením



Graf 8 Odezva regulované veličiny na náhodný signál

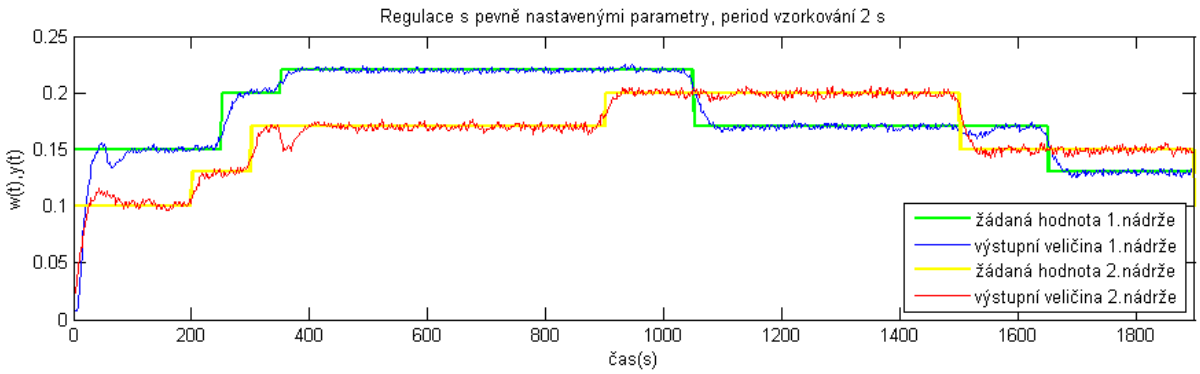
Data byla následně přepočítána metodou nejmenších čtverců na požadované parametry regulace. Pro periodu vzorkování 2s jsou to:

A = [-1.0729; 0.0653; -0.0808; 0.1017; -0.0302; 0.0182; -1.1931; 0.2138]

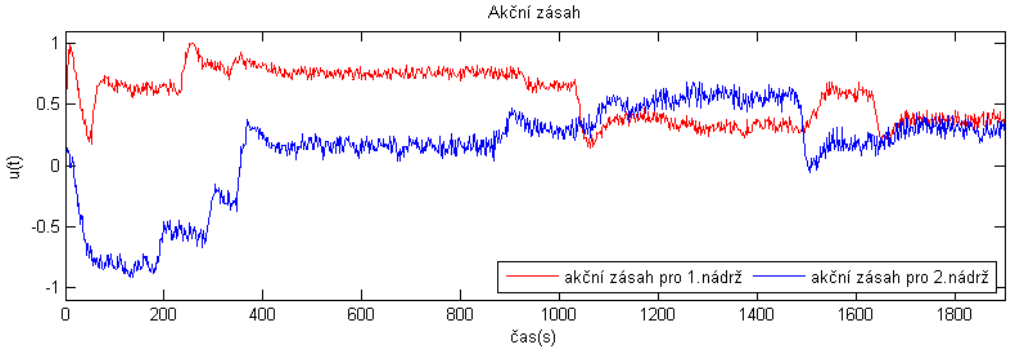
B = [-0.0001; 0.0072; 0.0000; -0.0001; 0.0002; -0.0000; -0.0001; 0.0072]

5.4 Regulace s pevně nastavenými parametry

Pro výše zmíněné parametry byla provedena regulace s trajektorií žádané hodnoty shodné jako v simulaci.



Graf 9 Regulace s pevně nastavenými parametry



Graf 10 Akční zásah pro regulaci

5.5 Regulace s průběžnou identifikací

Jelikož se jedná o nelineární soustavu, byla pro srovnání provedena i regulace s průběžnou identifikací s totožně nastavenými parametry.

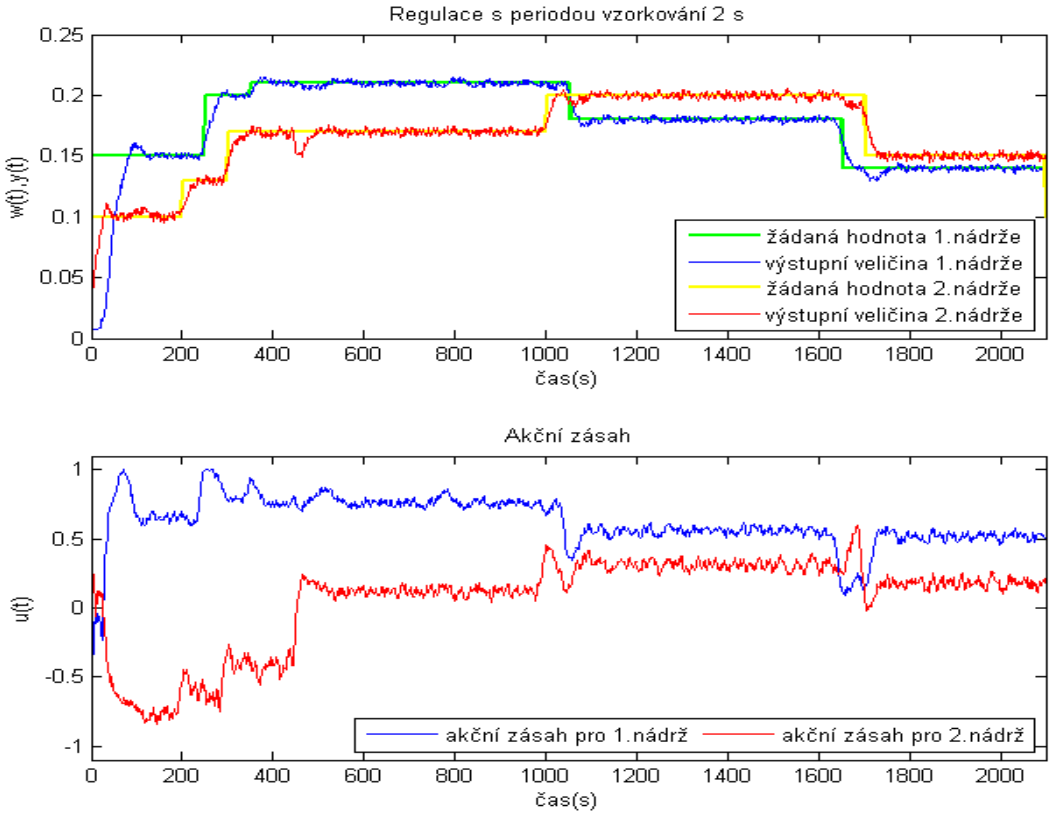
Průběžná identifikace byla zpracovávána také metodou nejmenších čtverců.

Počáteční parametry byly zvoleny následovně:

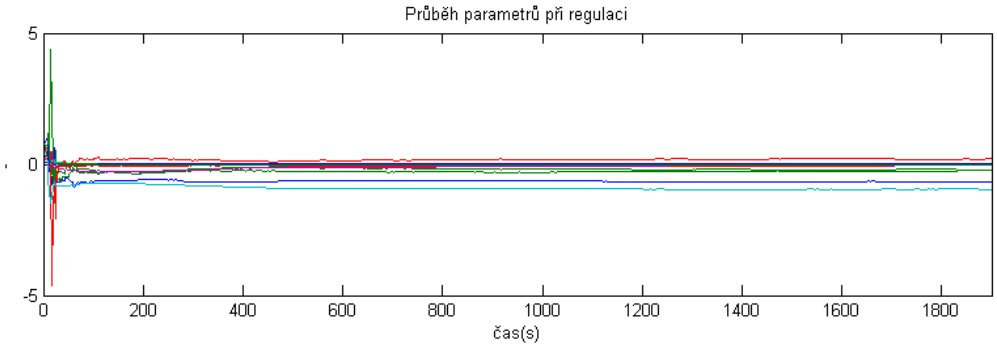
A = [0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8]

B = [0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8]

Jejich průběh lze pozorovat na níže uvedeném grafu.



Graf 11 Regulace s průběžnou identifikací



Graf 12 Průběh parametrů při regulaci

6. Závěr

V práci je aplikováno prediktivní řízení na modelu spojených nádrží. Jedná se o nelineární model se dvěma vstupy a dvěma výstupy. Nejprve byl sestaven matematický model celého systému, který je následně využit při návrhu simulačního modelu.

Poté byla provedena kalibrace samotného modelu a změřena statická charakteristika, aby bylo jasné, jaké výšky hladina může dosahovat. Těchto údajů se využilo při stanovení žádané hodnoty. Ta je realizována pouze ze skokových změn, jelikož ty se v praxi používají nejčastěji.

Nasimulovaná soustava byla zidentifikována náhodným signálem s rovnoměrným rozložením. Poté byla použita metoda nejmenších čtverců, díky které byly získány parametry pro regulaci.

Byl odvozen prediktivní regulátor, jehož rovnice byly pomocí kvadratického programování optimalizovány. Na to byla využita funkce *Quadprog* v Matlabu. Rovnice zde nejsou uváděny z důvodu omezeného množství textu.

V simulaci byla provedena regulace s pevně nastavenými parametry a také, pro srovnání – jelikož se jedná o nelineární soustavu, regulace s průběžnou identifikací. Obě regulace mají srovnatelnou kvalitu regulace.

Při reálném měření byla shodně jako v simulaci provedena identifikace, z jejíchž naměřených dat byly vypočítány parametry pro regulaci. Se shodnou žádanou trajektorií byla naměřena regulace s pevně nastavenými parametry i průběžnou identifikací. Obě regulace jsou taktéž srovnatelné.

Soustava má integrační charakter, má v různých pracovních bodech různé parametry, ovšem neliší se tolik, jako u jiných procesů (např. proces neutralizace). Proto zde nelze říci, který způsob regulace je vhodnější, jelikož soustava ureguluje i pevně nastavené parametry a proto není potřeba při regulaci používat průběžnou identifikaci.

Literatura

[1] BOBÁL, Vladimír. *Adaptivní a prediktivní řízení*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. ISBN 978-80-7318-662-3.

[2] CHALUPA, Petr, Jakub NOVÁK a Vladimír BOBÁL. Comprehensive model of DTS200 three tank system in Simulink. *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences* [online]. 2012, vol. 6, iss. 2, s. 358-365. [cit. 2016-02-01]. ISSN 1998-0140. Dostupné z: https://publikace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/1002755/Fulltext_1002755.pdf?sequence=1&isAllowed=n

[3] AMIRA. *DTS200: Laboratory Setup Three - Tank - System*. 2002, 270 s. Dostupné také z: http://www.utm.mx/~jvasquez/tanques_lab.pdf