

# DETEKCE DISKREDIBILITY SENZORU REGULOVANÉ VELIČINY POMOCÍ MODELU PROGRAMEM MATLAB/SIMULINK

*Ing. D. Klimánek\*, doc. Ing. B. Šulc, CSc.\**

\* Ústav řídicí a přístrojové techniky, FS ČVUT v Praze, Technická 4, Praha 6, 166 07

## Abstrakt

Při řízení procesů se můžeme setkat s problémem tzv. malých chyb regulace, které jsou obvykle zapříčiněny postupnými změnami vlastností senzorů regulovaných veličin, které nepředstavují totální selhání senzorů, ale pouze pokles jejich kvality. Pro označení takového stavu ztráty důvěryhodnosti senzoru regulované veličiny byl zaveden pojem diskredibilita. S diskredibilním senzorem z pohledu vnějšího pozorovatele regulace probíhá zdánlivě bez chyby, protože standardní regulační obvod nenabízí možnost duplicitního zjišťování regulované veličiny a jejich vzájemného porovnání. V příspěvku bude ukázán způsob realizace modelové metody detekce diskredibility senzoru regulované veličiny pomocí modelu a použitím programu Matlab/Simulink. Výhodou této metody je její schopnost estimovat čas, kdy u použitého senzoru regulované veličiny může vzniknout diskredibilita.

## 1 Úvod

Ve většině regulačních obvodů je regulovaná veličina snímána senzorem. Pokud senzor regulované veličiny selže zcela, je snadné tento stav rozpoznat. Postupnou změnou vlastností senzoru však přestanou být poskytována data správná a spolehlivá (kredibilní) a dochází k tzv. diskredibilitě senzoru regulované veličiny. Tedy specifickému, obtížně rozpoznatelnému stavu způsobujícímu, že regulace funguje s chybou. Další používání dat získaných diskredibilním senzorem může vést až k překročení přípustné tolerance udržení regulované veličiny na požadované hodnotě či k nepřijatelným sekundárním dopadům. Vše probíhá zdánlivě bez chyby, protože regulační obvod ve standardním přístrojovém řešení nenabízí možnost duplicitního zjišťování regulované veličiny a její porovnání se správnou hodnotou.

V praxi bývá problém vzniku a důsledků diskredibility senzoru regulované veličiny často opomíjen. Je-li vyžadováno jeho řešení, je použit jeden nebo více dalších duplicitních senzorů. To však představuje dodatečné náklady a není vždy zaručena shodnost těchto měření. Problém dopadu diskredibility senzoru je patrný zejména u spalovacího procesu, kde má na účinnost spalování, produkci a složení spalin významný vliv přebytek vzduchu. Proto je snaha proces spalování optimalizovat regulací přebytku vzduchu, což ovšem vyžaduje průběžné zjišťování spalovacího poměru. Nejčastěji je zjišťován nepřímo pomocí kyslíkové sondy. Existuje oprávněné nebezpečí, že pokud kyslíková sonda, která je náchylná ke změnám svých vlastností, poskytuje zkreslené informace, je bez dalšího měření obtížné zjistit zhoršující se kvalitu spalování a zvýšenou produkci škodlivin, která může být penalizována. Hlavním kritériem pro posuzování funkčnosti spalovacího zařízení je totiž udržení potřebné produkce tepla sledované např. prostřednictvím obvodu regulace teploty a ten bezproblémově funguje. Hardwarová redundance kyslíkové sondy pro obvod regulace spalovacího poměru se tak jeví jako bezpřemětné zvýšení nákladů, dokud nedojde na pokuty.

Obecným cílem prováděného výzkumu, o jehož části je příspěvku referováno, je rozšíření funkce standardního regulátoru o další podpůrnou schopnost, která odhalí nepřesnost regulačního obvodu způsobenou změnou vlastností senzoru regulované veličiny. Cílem příspěvku je ukázat způsob realizace modelové metody detekce diskredibility senzoru regulované veličiny v programu Matlab/Simulink.

## 2 Detekce diskredibility senzoru regulované veličiny s pomocí evolučních algoritmů v metodě založené na modelu senzoru

Modelová metoda detekce diskredibility senzoru regulované veličiny založená na jeho modelu (dále jen modelová metoda detekce diskredibility senzoru) charakterizuje použití statického modelu

senzoru se shodnou statickou charakteristikou jakou má prověřovaný senzor. Podrobněji je tento dosud neuplatněný koncept rozpracován a vysvětlen v [3], [4] a [8].

Modelová metoda detekce diskredibility senzoru využívá minimalizaci residua  $e$ , které je stanoveno jako rozdíl mezi hodnotou regulované veličiny změřenou detekovaným senzorem a hodnotou výstupní veličiny poskytnutou senzorem. Minimalizace residua je zajišťována průběžnou adaptací parametrů statické charakteristiky modelu senzoru (vektoru parametrů  $\mathbf{p}$  modelu senzoru) tak, aby odpovídala statické charakteristice prověřovaného senzoru. Zjednodušeně lze říci, že senzor je vyhodnocen jako diskreditibilní, pokud takto zjištěná změna parametrů statické charakteristiky modelu senzoru překročí stanovenou mez.

Na obr. 1 je znázorněno blokové schéma detekce diskredibility senzoru. Fyzikální hodnota regulované veličiny označená jako  $y_{real}$  je pro účely dalšího zpracování měřena senzorem, který tuto veličinu transformuje např. na elektrickou veličinu označenou  $y$ . Významným blokem schématu je blok modelu senzoru pro detekci diskredibility (dále model senzoru), který představuje model skutečného chování senzoru. Vstupem do bloku modelu senzoru by principiálně měla být fyzikální hodnota regulované veličiny  $y_{real}$ , která ale není k dispozici, a proto je nahrazena pouze předpokládanou (estimovanou) hodnotou označenou  $y_{est}$ . Způsob stanovení odhadu hodnoty fyzikální veličiny je odlišný a specifický pro každou aplikaci popisované metody. Pro její stanovení lze také využít metody uvedené v [1], [6]. Estimovaná hodnota  $y_{est}$  je modelem senzoru přenášena na hodnotu označenou jako  $y_m$ . Pokud postačuje, aby model senzoru vyjadřoval statické chování senzoru, pak lze využít pro obecný model senzoru aproximaci statické charakteristiky vztahem

$$y_m = q_m + k_m y_{est}, \quad (1)$$

kde  $y_{est}$  je estimovaná hodnota vstupu modelu senzoru a  $k_m, q_m$  jsou hodnoty dvouprvkového vektoru parametrů  $\mathbf{p}$  modelu senzoru (dále jen vektor parametrů  $\mathbf{p}$ ), který je v průběhu detekce diskredibility průběžně vyhledáván tak, aby minimalizoval residuum  $e$ .

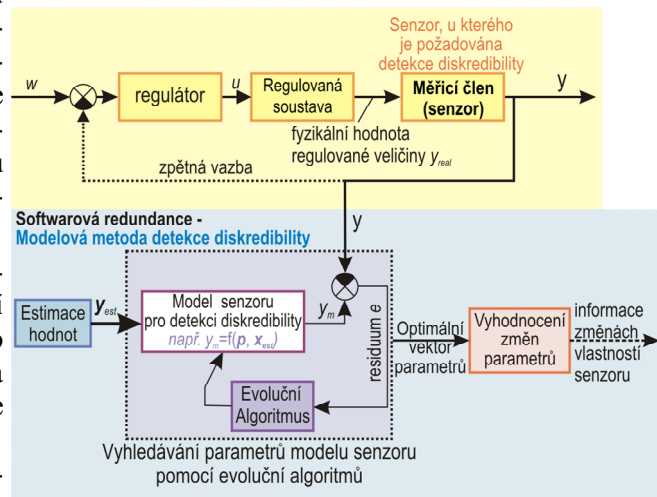
Nalezení vektoru parametrů  $\mathbf{p}$  modelu senzoru, neboli minimalizace rezidua, lze dosáhnout pomocí jakékoli numerické vícerozměrové statické optimalizační metody (např. gradientové metody, Lagrangeovy metody, optimalizačních evolučních algoritmů). Avšak vstupem senzoru je dynamicky se měnící fyzikální veličina přímo nezjistitelné hodnoty a zprostředkující vztah sám platí s přijatelnou přesností pouze v rovnovážném stavu. Proto je pro hledání vektoru parametrů  $\mathbf{p}$  modelu senzoru vhodné použít metodu, která by zohlednila také prvek náhodného výběru. Tento požadavek splňují optimalizační metody umělé inteligence, pro které byl zaveden termín evoluční algoritmy [11]. Uváděná časová náročnost evolučních algoritmů neznamená vážnou překážku, protože ztráta kredibility senzoru je dlouhodobý proces, v němž okamžitý průběžný výsledek není nutný. Podrobněji je způsob minimalizace residua pomocí evolučních algoritmů uveden v [3],[4].

### 3 Realizace modelové metody v programu Matlab/Simulink

Pro realizaci navržené modelové metody detekce diskredibility senzoru s pomocí evolučních algoritmů byly použity programy Matlab a Simulink, protože jejich prostředí umožňuje jak možnost simulačního ověření metody bez nutnosti existence reálného zařízení, tak i, s pomocí nástavby Real-time Workshop programu Simulink, připojení programu k reálné aplikaci.

Subsystém Modelová metoda detekce diskredibility s pomocí evolučních algoritmů zobrazený na obr. 2 se skládá z těchto programových bloků:

- Optimalizační blok. Vyhledávání je stěžejním blokem celého subsystému a vykonává jej algoritmus v souboru `vyhledavani.m`. Podle zvoleného typu evolučního algoritmu, možný je výběr genetického algoritmu nebo algoritmu simulated annealing, probíhá vyhledávání vektora

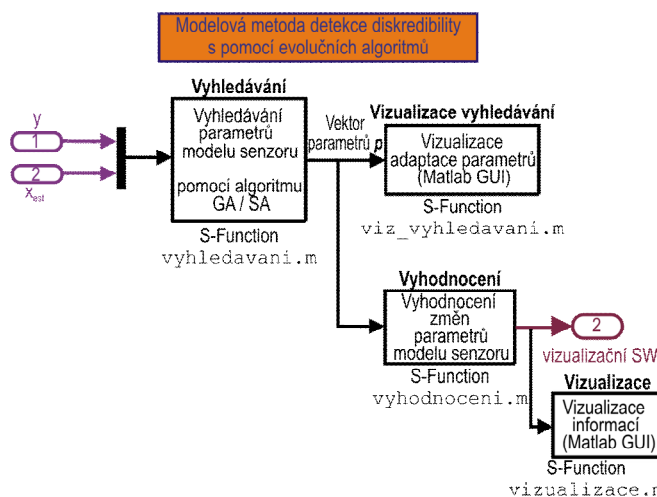


Obr. 1 Blokové schéma modelové metody detekce diskredibility senzoru regulované veličiny

ru parametrů  $p$ . Vstupem do tohoto bloku je jednak hodnota regulované veličiny získaná senzorem a dále výstup z bloku Estimace hodnot, který realizuje výpočet estimované hodnoty regulované veličiny

- Průběžné výsledky minimalizace residua jsou zobrazovány pomocí bloku Vizualizace vyhledávání, který vykonává algoritmus viz\_vyhledavani.m. Tento algoritmus v pravidelných intervalech zobrazí výsledky minimalizace na operátorské obrazovce
- Vývoj parametrů modelu senzoru zajišťuje blok Vyhodnocení s pomocí algoritmu vyhodnoceni.m
- Vyhodnocení vývoje parametrů modelu senzoru probíhá pravidelně v nastavených intervalech prostřednictvím bloku Vizualizace, který vykonává algoritmus vyhodnoceni.m. Výsledky vyhodnocení jsou zobrazeny do grafu vývoje parametrů modelu senzoru pomocí bloku Vizualizace a algoritmu vizualizace.m, jako křivka, zobrazující zbývající čas do diskreditability senzoru

Všechny použité bloky popisovaného subsystému detekce diskreditability s pomocí evolučních algoritmů byly vytvořeny prostřednictvím uživatelsky definovatelného bloku (tzv. S – function blok, S-funkce), který umožňuje ke standardním výpočetním blokům programu Simulink přidat vlastní algoritmy. Díky tomu S-function bloky poskytují výkonný mechanismus pro rozšíření schopností programu Simulink. S-funkcí může být libovolný počet, přičemž název algoritmu, který Simulink vykonává, se zadává jako parametr tohoto bloku. Jejich použití pro detekci diskreditability je výhodné především z následujících důvodů [10]:



Obr. 2 Simulační schéma modelové metody detekce diskreditability senzoru regulované veličiny

- bloky jsou připraveny pro použití v toolboxu Real-Time Workshop, který umožňuje napojení výpočetního prostředí Matlab na veličiny reálného prostředí,
- běh programu je v porovnání s realizací algoritmu pomocí standardních uživatelsky definovatelných M-funkcí rychlejší, protože konstanty, které se při výpočtech daného bloku používají, se již při inicializaci S-funkce načítají do globální paměti, a tak se, na rozdíl od M-funkcí, část zdrojového kódu obsahující tyto informace při každém průchodu tímto algoritmem nemusí zpracovávat.

### 3.1 Minimalizace residua pomocí evolučních algoritmů v programu Matlab/Simulink

Na obr. 3 je znázorněný typický průběh hledání vektoru parametrů modelu senzoru pomocí optimalizačního bloku. Jedná se o hledání nominálních parametrů modelu senzoru, neboli minimalizace residua v době, kdy předpokládáme, že senzor poskytuje věrohodné údaje.

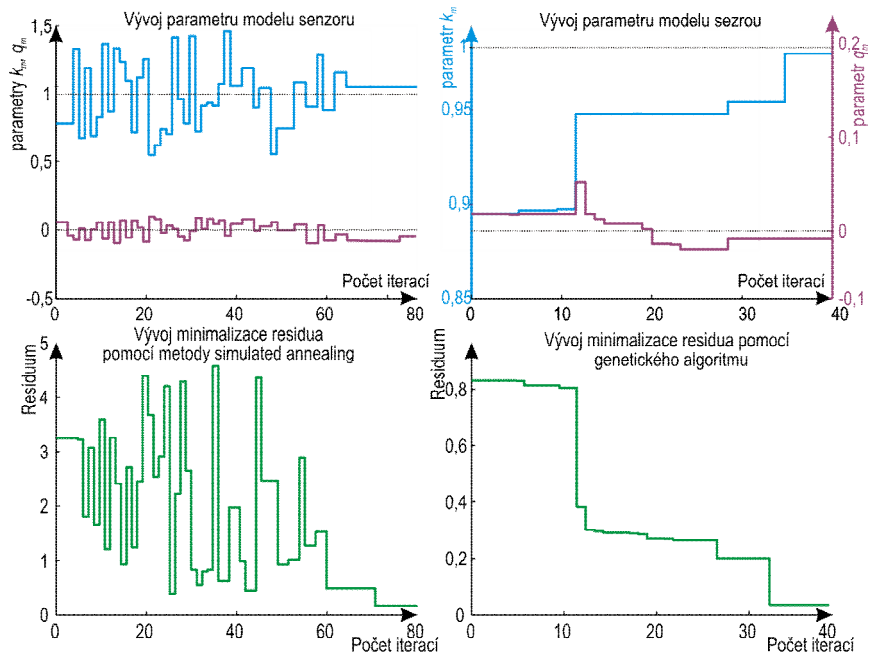
V tomto simulačním případě byly parametry modelu reálného chování senzoru  $k = 1$ ,  $q = 0$ . Nalezené nominální hodnoty parametrů byly, v případě minimalizace metodou simulated annealing,  $k_{m\ NOM} = 1,07$  a  $q_{m\ NOM} = -0,05$ , přičemž residuum bylo  $|e| = 0,2$  a v případě genetického algoritmu  $k_{m\ NOM} = 0,98$  a  $q_{m\ NOM} = -0,02$  a  $|e| = 0,005$ .

Z porovnání metod je patrné, že genetický algoritmus je daleko rychlejší, protože potřeboval 40 iterací, zatímco algoritmus simulated annealing potřeboval iterací 80.

V případě testování algoritmu na simulačním modelu sestaveném v programu Simulink je minimalizace residua realizována následovně:

- pokud je simulační čas roven zvolené periodě výpočtu, simulace činnosti regulačního obvodu zastaví, program Matlab zpracovává algoritmus pro nalezení vektoru parametrů  $p$ ,
- po nalezení vektoru parametrů  $p$  simulace regulace pokračuje dál.

Při použití navržené metody na data reálného procesu probíhá detekce diskredibility senzoru tak, že se v daném časovém okamžiku do programu načtou senzorem poskytované hodnoty regulované veličiny a zatímco regulace pokračuje dál, algoritmus hledá vektor parametrů  $p$ . V ideálním případě by doba hledání vektoru parametrů  $p$  byla menší než vzorkovací perioda, a to proto, aby každou vzorkovací periodu byly k dispozici informace o vývoji diskredibility senzoru ne starší než jedna perioda. Z tohoto důvodu bylo důležité nalézt optimální nastavení obou použitých evolučních metod.



Obr. 3 Typický průběh minimalizace residua metodou simulated annealing a genetického algoritmu

Celková doba iterací je závislá na výpočetním výkonu PC (v testovaném případě trvala několik sekund). Optimální nastavení metody genetického algoritmu a algoritmu simulated annealing, při kterém vektor parametrů  $p$  minimalizuje residuum na hodnoty menší než  $\varepsilon = 0,05$ , je uvedeno v tab. 1.

### 3.2 Testování modelové metody detekce diskredibility na modelu kaskády nádrží

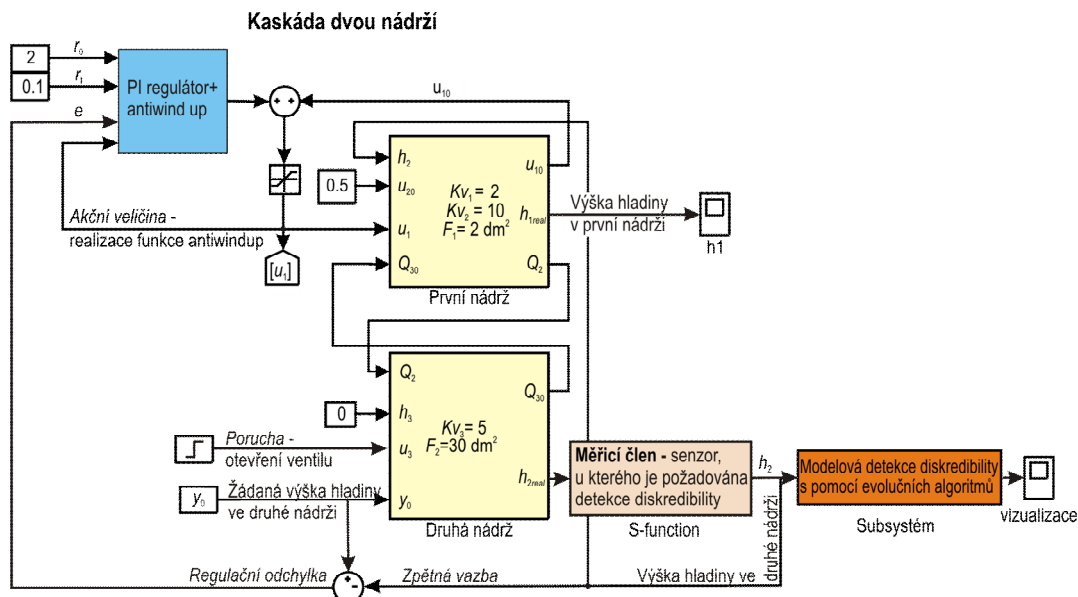
Při ověřování použitelnosti popisovaných modelových metod bylo vhodné, pro získání a porovnání srovnatelných výsledků, na začátku vyjít ze simulace činnosti jednoduchého regulačního obvodu, v němž lze jednoznačně deterministicky určit chování a zákonitosti změn regulované veličiny a je možné lépe zkoumat a ověřovat výsledky detekce diskredibility senzoru. Popsané požadavky splňoval model obvodu regulace výšky hladiny v kaskádě nádrží, který byl sestaven již dříve [9], a to s pomocí simulačních bloků programu Simulink (obr. 4). Za pozornost stojí, že simulační program respektuje vedle odmocninové závislosti průtoku na tlakové diferenci nelineární otevírací charakteristiky přítokového a výtokového ventilu nádrží, které jsou modelovány tzv. motýlkovou charakteristikou. Dále jsou ošetřeny mezní hodnoty otevření ventilů a saturace akční veličiny. PI regulátor je vybaven funkcí antiwind-up, která zabrání pokračování generování hodnoty signálu akční veličiny poté, co akční veličina dosáhne mezní realizovatelné hodnoty.

TAB. 1 OPTIMÁLNÍ NASTAVENÍ HLAVNÍCH PARAMETRŮ POUŽITÝCH EVOLUČNÍCH METOD

	Simulated annealing	Genetický algoritmus
Počáteční hodnota řídicího parametru $t_{init}$	100	
Váhový koeficient $\lambda$	0,9	
Konečná hodnota řídicího parametru $t_{final}$	0,01	
Pravděpodobnost mutace $p_{mut}$		0,01
Pravděpodobnost křížení $p_{cross}$		0,6
Velikost populace $popsiz$		40

### 3.3 Ověřování modelové metody detekce diskredibility

Simulační experimenty byly zaměřeny na ověření, zda je navržená modelová metoda detekce diskredibility senzoru schopna rozlišit simulovanou změnu vlastností senzoru a probíhaly tak, že v modelu byla simulována (obvykle skoková) změna jednoho nebo obou parametrů senzoru s možností vybrat si metodu minimalizace residua (genetický algoritmus nebo algoritmus simulated annealing) pro zjištění, která se při detekci diskredibility lépe uplatní.



Obr. 4 Simulační schéma pro detekci diskredibility senzorů v programu Matlab/Simulink

Výška hladiny v druhé nádrži je měřena senzorem, u kterého chceme ověřit, zda je navržená metoda schopna vyhodnotit a detekovat simulované změny vlastností senzoru. Existující model kaskády nádrží byl proto rozšířen o měřicí člen (senzor výšky hladiny), který představuje převod fyzikální hodnoty výšky hladiny na elektrickou veličinu, kterou lze dále softwarově zpracovávat. V případě změny vlastností senzoru výšky hladiny hrozí nebezpečí překročení povolené tolerance udržení výšky hladiny na požadované hodnotě.

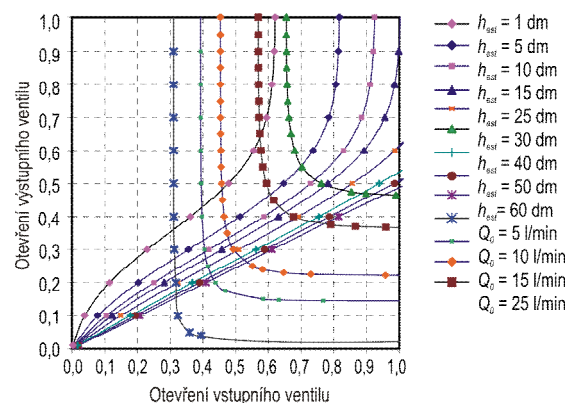
Reálné chování senzoru výšky hladiny je modelováno pomocí lineární funkce určené dvěma parametry – zesílením  $k$  a posunutím (tzv. offsetem)  $q$

$$h_2 = kh_{2real} + q, \quad (2)$$

kde koeficienty  $k$  a  $q$  představují parametry modelu reálného senzoru výšky hladiny (dále jen parametry senzoru) a veličina  $h_{2real}$  představuje fyzikální hodnotu regulované výšky hladiny ve druhé nádrži. U modelu senzoru musí být pro detekci diskredibility, z principu činnosti modelové metody detekce diskredibility senzoru, zvolena stejná rovnice

$$h_m = k_m h_{est} + q_m, \quad (3)$$

kde koeficienty  $k_m$  a  $q_m$  jsou hledané parametry modelu senzoru pro detekci diskredibility (dále jen parametry modelu senzoru),  $h_{est}$  (vstup do modelu senzoru) je očekávaná výška hladiny (estimovaná), která je podle této rovnice transformována na hodnotu označenou jako  $h_m$ . Očekávaná fyzikální hodnota výšky hladiny  $h_{est}$  může být v tomto případě určena nepřímo na základě znalosti velikosti akčního zásahu (otevření vstupního ventilu) a ustáleného průtoku pomocí statických charakteristik. V tomto prezentovaném případě byly statické charakteristiky soustavy (obr. 5) sestaveny pomocí rovnic rovnovážných stavů uvedených v [9] a výpočtu v programu Excel. Pokud jsou statické charakteristiky k dispozici, je snadné je použít ke zjišťování očekávaných hodnot regulované veličiny. Ve složitějším případě, kdy dané zařízení obsahuje více regulačních obvodů, by bylo nutno statické charakteristiky získat měřením v době, kdy předpokládáme, že senzor pracuje bez chyb. Toto řešení je opodstatněné v případě, že náklady na redundantní senzor jsou mnohem vyšší, než náklady na dodatečné měření.



Obr. 5 Statické charakteristiky kaskády dvou nádrží

### 3.4 Závěry z testování detekce diskredibility při různých provozních podmínkách

Navržená modelová metoda detekce diskredibility byla testována za různých podmínek. Cílem testování bylo zjistit, zda je metoda schopna detekovat změnu vlastností senzoru výšky hladiny a zda je v případě zjištěné změny schopna rozhodnout, zdali se již jedná o stav diskredibility senzoru.

V prvním testovaném případě byla v simulačním čase  $t = 200$  simulována skoková změna vlastností senzoru výšky hladiny z původní hodnoty  $k$  a  $q$  ( $k = 1$  a  $q = 0$ ) na hodnotu  $k = 0,94$  a  $q = 0$  (což odpovídá změně statické charakteristiky senzoru výšky hladiny o 5%). Dále byla v simulačním čase  $t = 800$  simulována další změna vlastností senzoru výšky hladiny na  $k = 0,92$  a  $q = 0$ .

Z výsledku simulace detekce diskredibility senzoru výšky hladiny s pomocí genetického algoritmu na obr. 6 je patrné, že do okamžiku změny vlastností senzoru výšky hladiny sleduje regulovaná veličina (výška hladiny) žádanou hodnotu a regulační odchylka je nulová. Současně probíhá vyhledávání jmenovitých parametrů modelu senzoru. V tomto případě byly nominální parametry ( $k_{NOM} = 1,05$  a  $q_{mNOM} = 0$ ) vyhodnoceny na základě vektorů parametrů  $\mathbf{p}$  získaných do simulačního času  $t = 100$ . Dále byly stanoveny limity maximální možné změny parametrů modelu, které představují 10% změnu od nominálního stavu.

V případě skokové změny vlastností senzoru výšky hladiny v simulačním čase  $t = 200$  jsou z obr. 6 patrné rozdíly mezi měřenou hodnotou výšky hladiny a skutečnou hodnotou výšky hladiny. Tato změna není pro operátora dobře zjištělná, z následujících důvodů:

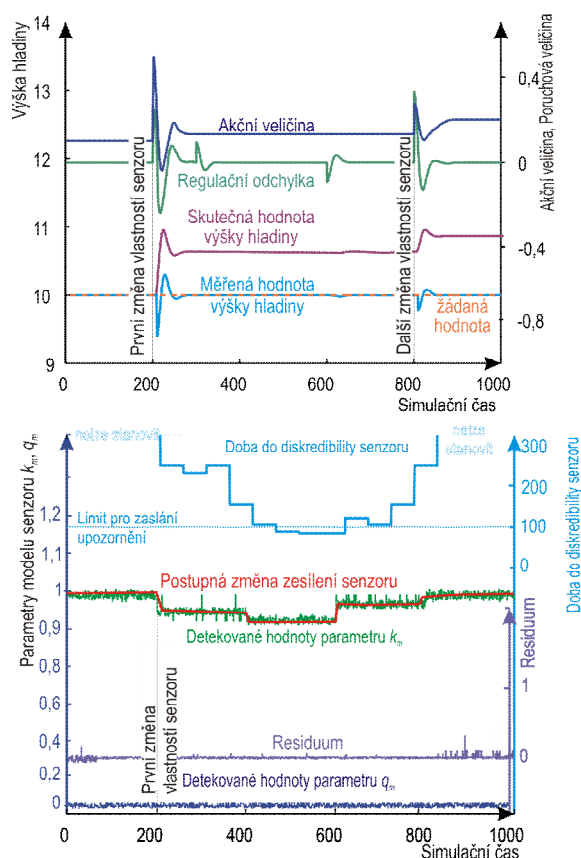
- regulovaná veličina stále sleduje žádanou hodnotu,
- vlivem zvýšení velikosti akčního zásahu dojde k odstranění regulační odchylky (regulační odchylka je nulová), zvýšení akční veličiny však může být také projevem jiných poruch působících na regulovanou soustavu.

Na obr. 6 je zřejmé, že optimalizační blok Vyhledávání, který je součástí subsystému Modelové detekce diskredibility s pomocí evolučních algoritmů, našel s pomocí genetického algoritmu nový vektor parametrů  $\mathbf{p}$  ( $k_m = 0,95$  a  $q_m = 0$ ). Hodnota vektoru parametrů  $\mathbf{p}$  se nemění až do simulačního času  $t = 800$ , ve kterém nastává další změna vlastností senzoru výšky hladiny. Optimalizační blok opět nalezne vektor parametrů  $k_m = 0,9$  a  $q_m = 0$ . „Zašumění“ parametru  $k_m$  je způsobeno vyhledáváním parametrů minimalizujících residuum tak, aby bylo menší než  $|\varepsilon| = 0,25$ .

### Závěr

Provedené experimenty prokázaly, že modelová metoda detekce diskredibility senzoru ve variantě s pomocí metody simulated annealing i genetického algoritmu je vhodným nástrojem při detekci diskredibility senzoru regulované veličiny, protože při simulaci byl patrný trend vývoje parametrů modelu senzoru, a to i v případě přechodových stavů modelu. Z porovnání metod simulated annealing a genetického algoritmu plyne, že se výsledky v závislosti na metodě zásadně neliší, u obou metod je důležité optimální nastavení jejich parametrů.

Dosažené výsledky experimentů s kaskádou nádrží vedly k přípravě testování použitelnosti modelové metody detekce diskredibility senzoru na reálném zařízení. Vhodným a na ČVUT dostupným zařízením pro experimenty je kotel na spalování biomasy, který je využíván v projektu decentralizované výroby a spotřeby energie. Pro toto zařízení byla vypracována koncepce zjišťování poklesu kva-



Obr. 6 Vliv skokové změny vlastností senzoru výšky hladiny na průběh regulace

lity senzoru kyslíku a je připravováno ověření navržených postupů. Experimentům na reálném zařízení však musí předcházet simulační ověření a vytvoření specifického modelu kyslíkové sondy.

Využití vytvořené modelové metody detekce diskredibility senzoru regulované veličiny s pomocí evolučních algoritmů je spojeno s takovými regulacemi průmyslových procesů, u nichž je včasné zjištění ztráty důvěryhodnosti senzorů regulačních obvodů velmi důležitým faktorem kvalitní regulační funkce. Nedojde-li totiž k totálnímu selhání senzoru, regulační obvod funguje navenek bezchybně, ale faktická hodnota regulované veličiny může být v zásadním nesouladu s požadovanou hodnotou se všemi negativními provozními následky.


## Poděkování

Tento výzkum byl podporován grantem číslo MSM 680770009 Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky grantem GAČR 101/04/1182.

## Literatura

- [1] HANUŠ, B., TŮMA, L. Estimátor v systému regulace s proměnnou strukturou. *Automatizace*. 2006, roč. 49, č. 7–8, s. 456–459.
- [2] KING, R. *Computational Intelligence in Control Engineering*. New York: Marcel Decker Inc., 1999. 295 s. ISBN 0–8247–1999–8.
- [3] KLIMÁNEK, D., ŠULC, B. Evolutionary Detection of Sensor Discredibility in Control Loops. In *Proceedings of the 31st Annual Conference IEEE Industrial Electronics*. New York: IEEE Computer Society Press, 2005. s. 136–141. ISBN 0–7803–9252–3.
- [4] KLIMÁNEK, D., ŠULC, B. Softwarová detekce diskredibility senzoru při regulaci a její ověřování. *Automatizace*. 2005, roč. 48, č. 12, s. 766–772.
- [5] KORBICZ, J., et al. *Fault diagnosis: Models, Artificial Intelligence, Applications*. Berlin: Springer, 2004. 920 s. ISBN 3–540–40767–7.
- [6] KOSTŮR, K., et al. The Classification Systems of Indirect Measurement. In *Proceedings of the 7th International Carpathian Control Conference ICC 2006*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006. s. 232–235. ISBN 80–248–1066–2.
- [7] KRAIDL, M. *Senzory neelektrických veličin*. Praha: Ben, 2005. 240 s. ISBN 80–7300–145–4.
- [8] ŠULC, B., KLIMÁNEK, D. Sensor Discredibility Detection via Computational Intelligence. *WSEAS Transactions on Systems*. 2005, vol. 4, no. 11, s. 1906–1915.
- [9] ŠULC, B., VÍTEČKOVÁ, M. *Teorie a praxe návrhu regulačních obvodů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. 333 s. ISBN 80–01–03007–5.
- [10] Writing S-Functions. *The MathWorks Inc [online]*. [cit. 2006–08–08]. Dostupný z WWW: <[www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/simulink/sfg/](http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/simulink/sfg/)>.
- [11] ZELINKA, I. *Umělá inteligence v problémech globální optimalizace*. Praha: Ben, 2002. 232 s. ISBN 80–7300–06–95.

---

Ing. David Klimánek  [David.Klimanek@fs.cvut.cz](mailto:David.Klimanek@fs.cvut.cz)

Ústav řídicí a přístrojové techniky, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, Technická 4, Praha, 166 07

Doc. Ing. Bohumil Šulc, CSc.  [Bohumil.Sulc@fs.cvut.cz](mailto:Bohumil.Sulc@fs.cvut.cz)

Ústav řídicí a přístrojové techniky, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, Technická 4, Praha, 166 07