

WWW.LDSYSTEMS.SK - riadenie dynamických systémov zadaných numerickými štruktúrami na zložitých oboroch definície v prostredí MATLAB, Simulink

Gabriel HULKÓ, Cyril BELAVÝ, Ivan HURÁK, Ján SZUDA

Katedra automatizácie a merania, Strojnícka fakulta STU Bratislava, Námestie Slobody 17, 812 31 Bratislava,
hulko@kam.vm.stuba.sk

WWW.LDSYSTEMS.SK – control of dynamic systems given by the numerical structures on complex definition domains in MATLAB, Simulink

Abstract

In the paper possibilities for control of dynamic systems given by the numerical structures on complex definition domains will be presented. Concept of lumped-input/distributed output System as well as distributed parameter control system will be established. Further web side WWW.LDSYSTEMS.SK will be introduced and examples of control of dynamic systems modelled in FEMLAB, ANSYS and FLUENT environment will be demonstrated.

1. Úvod

V poslednom období sa venuje veľká pozornosť otázkam vyšetovania dynamiky pohybu hmoty na zložitých oboroch definície. Deje sa to napríklad pomocou softvérových balíkov ANSYS, FLUENT, FEMLAB, PDETOOL, MODFLOW, atď. Polia vyšetovaných veličín sú často sledované kamerovými metódami alebo senzorovými poliami mikrosnímačov. Získané dynamické charakteristiky sa využívajú k interpretácii činnosti strojov a zariadení prakticky vo všetkých oblastiach inžinierskej praxe. Pričom je pradoxné, že tieto charakteristiky sa využívajú pre účely riadenia iba v minimálnej miere.

Tento stav je daný možnosťami matematickej teórie riadenia Systémov s Rozloženými Parametrami (SRP). Totiž v teórii riadenia sú tieto systémy interpretované ako SRP. Matematická teória SRP sa buduje od začiatku šesťdesiatych rokov na základe výsledkov analytickej teórie Parciálnych Diferenciálnych Rovníc (PDR) [1,2,3]. Vývoj posledných desaťročí však ukázal, že pri vyšetovaní dynamiky zložitých inžinierskych objektov možnosti analytického aparátu PDR sú veľmi obmedzené. Preto v praxi sa široko presadzujú numerické metódy pre modelovanie týchto systémov. Keď bolo evidentné, že analytický aparát nedáva dostatočné možnosti pre riešenie úloh modelovania systémov zadaných na zložitých oboroch definície bolo potrebné začať hľadať nové prístupy aj pre ich riadenie...

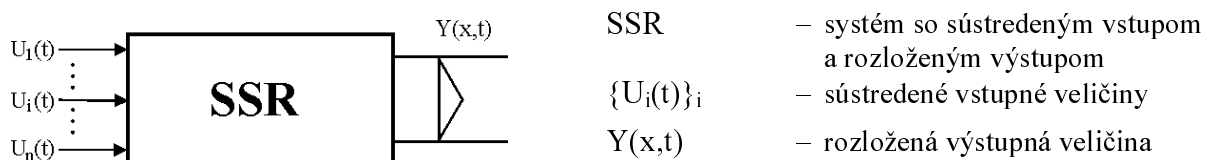
V osemdesiatych rokoch bola navrhnutá a rozpracovaná inžinierska teória SRP, ktorá vychádza z interpretácie týchto systémov pomocou Systémov so Sústredeným vstupom a Rozloženým výstupom (SSR). Táto teória ponúka široké možnosti pre riadenie SRP v inžinierskej praxi.

Výskumný tím Katedry automatizácie a merania Strojníckej fakulty STU Bratislava pracuje v oblasti SRP od polovice šesťdesiatych rokov [4]. Na tomto pracovisku bola

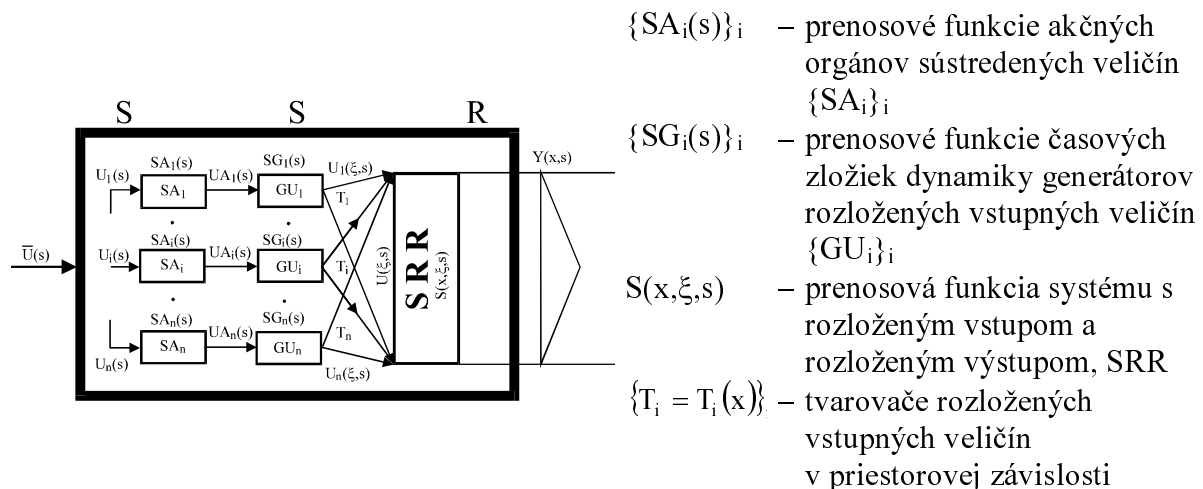
navrhnutá a rozpracovaná inžinierska teória SRP, teória SSR, ktorej základné výsledky boli publikované koncom osemdesiatych a začiatkom deväťdesiatych rokov [5,6,7,8,9,10,11,12,13]. Vďaka rozvoju výpočtovej techniky a možnostiam MATLAB prostredia boli tieto výsledky spracované vo forme monografie Hulkó G. a kol.: „Modeling, control and design of distributed parameter systems with demonstrations in MATLAB“ [14] a softvérového balíka DPSTOOL [15]. Posledne z vybraných výsledkov bola zostavená aj web stránka WWW.LDSYSTEMS.SK.

2. Systémy so sústredeným vstupom a rozloženým výstupom

Pri bližšej analýze činnosti technických objektov s rozloženými parametrami zisťujeme, že energia, suroviny a pracovné látky sa privádzajú do týchto geometricky veľkých priemyselných objektov vo vedeniach, rúrach a potrubiach ako sústredené veličiny a vlastné technologické procesy sa v nich uskutočňujú ako interakcie veličinových polí s rozloženými stavovými veličinami. Sú to v skutočnosti reálne Systémy so Sústredeným vstupom a Rozloženým výstupom (SSR), obr. 1.



Obr.1 Systém so sústredeným vstupom a rozloženým výstupom



Obr. 2 Prenosy systému so sústredeným vstupom a rozloženým výstupom

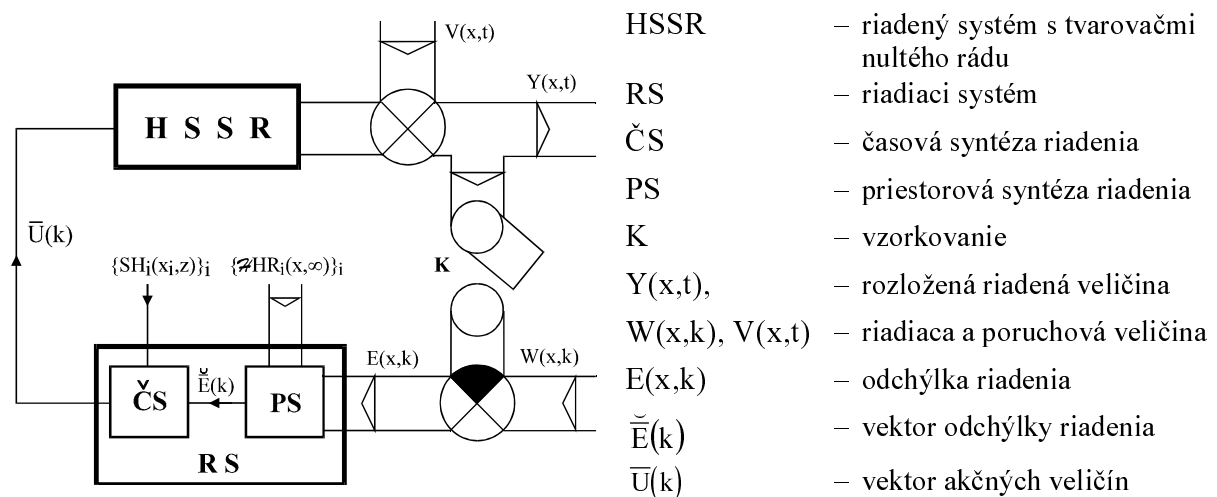
Pri analytickej identifikácii často vychádzame zo štruktúry SSR podľa obr. 2. Potom prenosové funkcie SSR dostávame v tvare
$$\left\{ S_i(x,s) = \int_0^L S(x,\xi,s) T_i(\xi) SG_i(s) SA_i(s) d\xi \right\}_i$$
. Keď skúmaný SSR je definovaný na zložitom obore definície $\Omega \in E_2$ alebo E_3 potom všetky potrebné dynamické charakteristiky pre syntézu riadenia počítame použitím MKP. Pri experimentálnej identifikácii sa vychádza z nameraných priebehov sústredených vstupných veličín a rozloženej výstupnej veličiny vo vhodne situovaných bodoch.

3. Systémy riadenia s rozloženými parametrami

Pri riadení k SSR je možné priradiť rôzne spätnoväzbové riadiace obvody v štruktúre uvádzanej na obr. 3. V procese riadenia v bloku PS sa rieši aproximačná úloha:

$$\min_{\tilde{E}_i} \left\| E(x, k) - \sum_{i=1}^n E_i(k) \text{HHR}_i(x, \infty) \right\| = \left\| E(x, k) - \sum_{i=1}^n \tilde{E}_i(k) \text{HHR}_i(x, \infty) \right\|$$

Zložky vektora odchýlky $\{\tilde{E}_i(k)\}$, vstupujú v bloku ČS na riadiace členy $\{R_i(z)\}_{i=1,n}$ jednoduchých riadiacich obvodov $\{SH_i(x_i, z), R_i(z)\}_{i=1,n}$ a dostávame sústredené akčné veličiny $\{U_i(k)\}_{i=1,n} = \bar{U}(k)$. Pri syntéze jednoduchých riadiacich obvodov v bloku ČS je možné využiť prakticky všetky výsledky teórie riadenia systémov so sústredenými parametrami. V monografii [14] v bloku ČS sú využívané PSD regulátory, výsledky stavovej, algebraickej teórie, robustného a adaptívneho riadenia systémov so sústredenými parametrami. $\{SH_i(x_i, z)\}_{i=1,n}$ určujeme pomocou $\{S_i(x_i, s)\}_{i=1,n}$ a $\{\text{HHR}_i(x, \infty)\}_{i=1,n}$ sú ustálené priebehy prechodových charakteristík riadeného systému.



Obr. 3 Riadiaci obvod s rozloženými parametrami

4. Web stránka WWW.LDSYSTEMS.SK

Web stránka obsahuje časti Úvod, Príklady, Metódy, Produkty, Servis a Kontakt. V časti Príklady sa uvádzajú typické ukážky systémov s rozloženými parametrami z rôznych oblastí inžinierskej praxe. Metodické východiská sú rozvádzané v podkapitolách: Identifikácia, Dekompozícia, Riadenie, Robustné riadenie, Adaptívne riadenie a Návrh priestorového usporiadania.

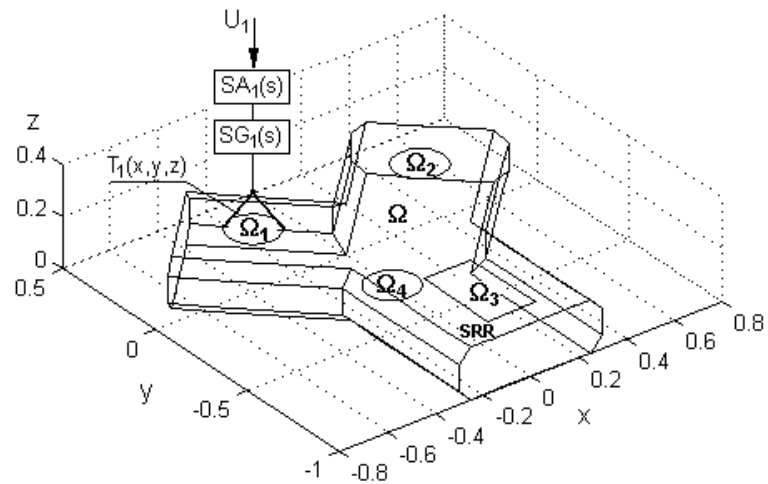
V časti Produkty sú uvádzané riešené modelové úlohy z nasledovných oblastí:

- riadenie analyticky zadaných rozložených systémov
- riadenie systémov zadaných numerickými štruktúrami
- riadenie fyzikálneho modelu technologického procesu
- robustné riadenie modelu sklárskej taviacej pece
- adaptívne riadenie modelu sklárskej taviacej pece
- návrh priestorového usporiadania horákov sklárskej taviacej pece

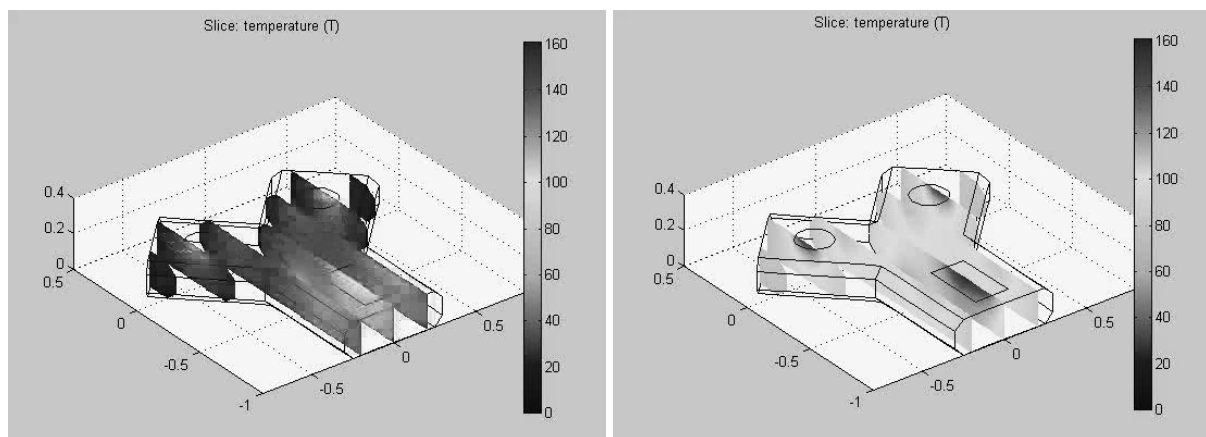
Pri riešení modelových úloh sú využívané softvérové balíky MATLAB, FEMLAB, ANSYS, FLUENT, PDETOOL a MODFLOW.

5. Demonštrácie

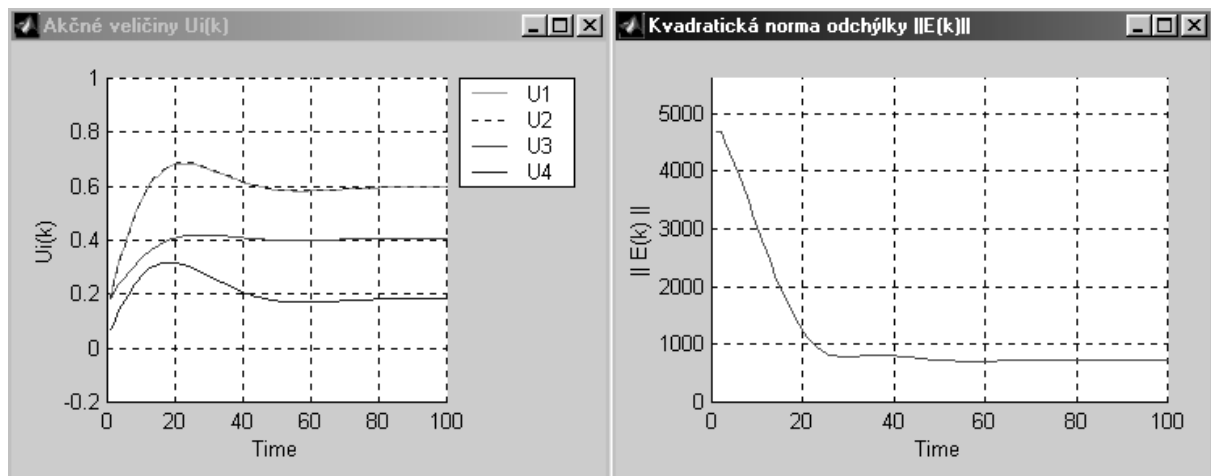
3D model oceleovej súčiastky tvaru Y, ktorá je ohrievaná štyrmi tepelnými vstupmi, bol vytvorený v programovom prostredí FEMLAB. Priestorové usporiadanie blokov SSR parabolického typu je na obr. 4., kde rozložené vstupné veličiny pôsobia na vyznačených podoblastiach. Pri syntéze riadenia v časovej závislosti sa využívajú PID regulátory.



Obr. 4 Schéma súčiastky s umiestnením pôsobísk vstupov

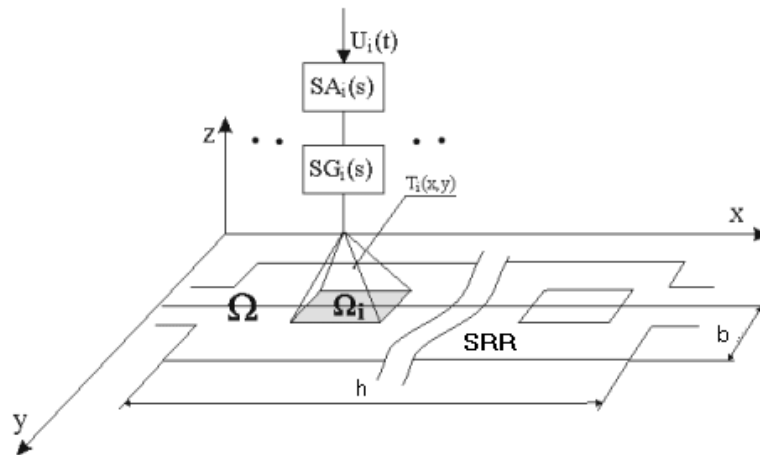


Obr. 5 Proces riadenia teplotného poľa oceleovej súčiastky

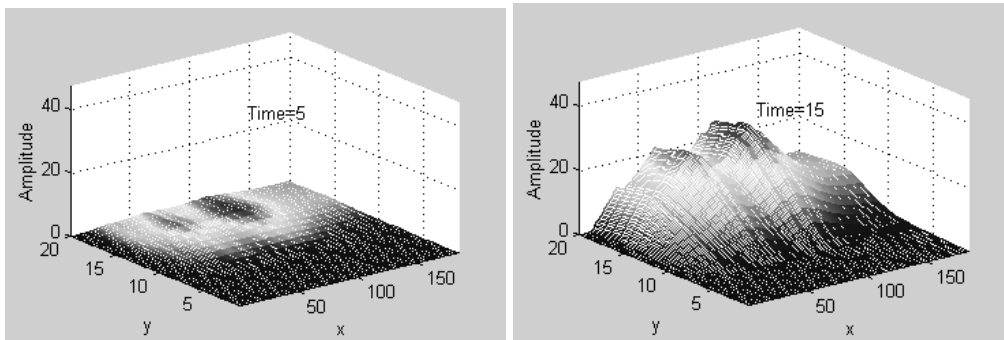


Obr. 6 Akčné veličiny a kvadratická norma odchýlky riadenia

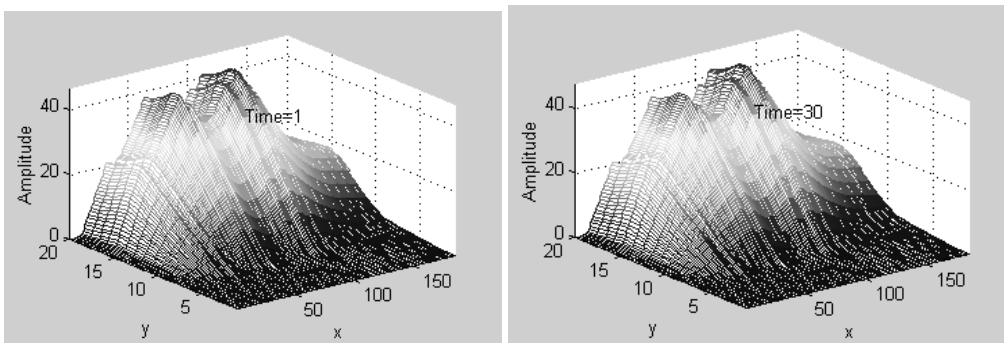
2D model spojitého technologického procesu, obr.7, bol vytvorený v programovom prostredí FLUENT. Prúdiace pracovné médium sa ohrieva štyrmi elektrickými ohrievacími telesami. Generátory rozložených vstupných veličín majú tvar ihlana. V bloku časovej syntézy sa využívajú PID regulátory pre reguláciu podľa rozloženej žiadanej veličiny.



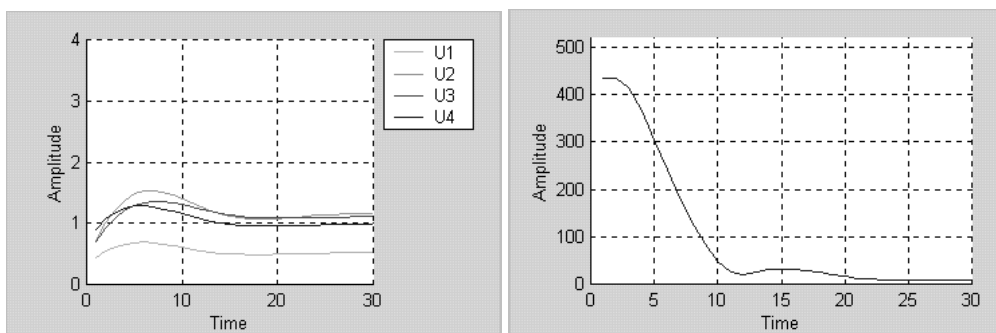
Obr. 7 Schéma modelu spojitého technologického procesu



Obr. 8 Priebeh rozloženej riadenej veličiny v niekoľkých krokoch riadenia.

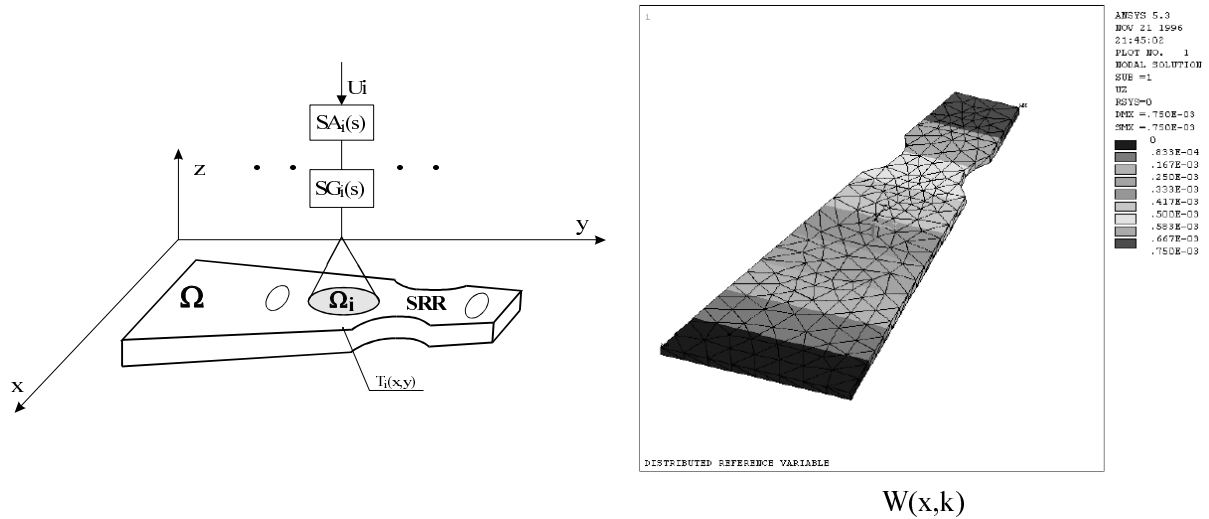


Obr. 9 Rozložená radiacia veličina a riadená veličina v ustálenom stave

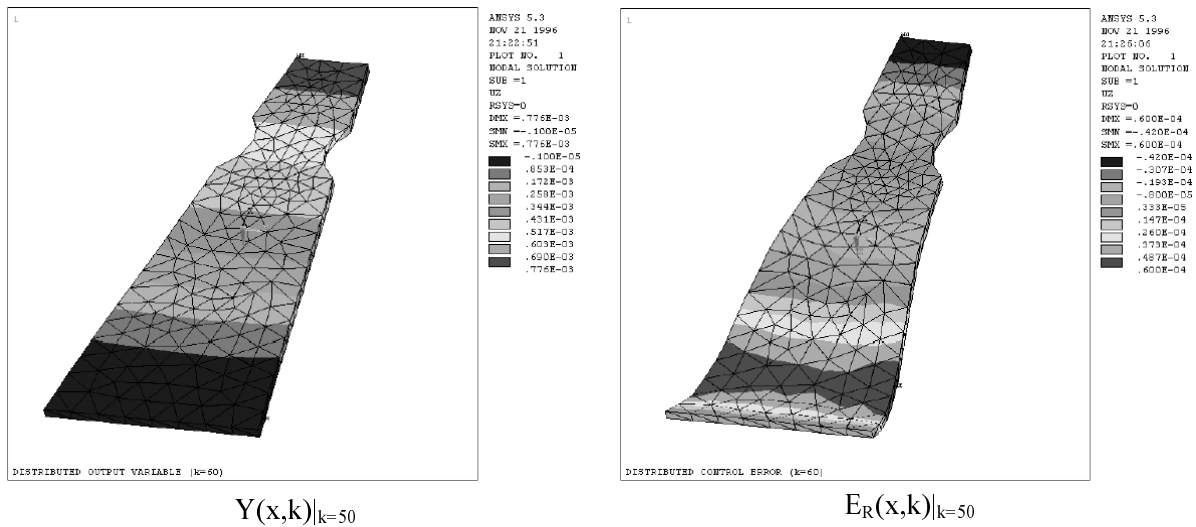


Obr. 10 Sústredené akčné veličiny a kvadratická norma odchyľky riadenia

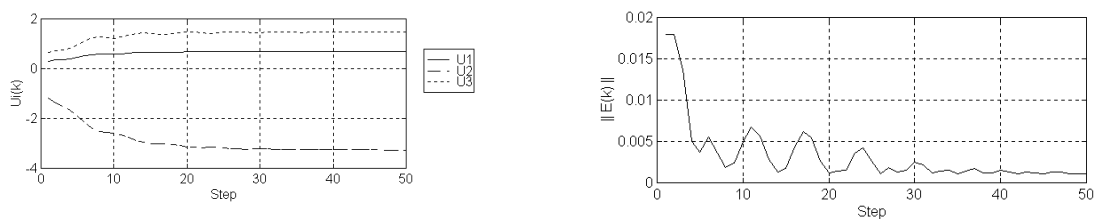
3D model nosníka zložitého tvaru bol vytvorený v programovom prostredí **ANSYS**. Na votknutý nosník, obr. 11, pôsobia rozložené vstupné veličiny na vyznačených podoblastiach cez tvarovače kužeľového tvaru. Pri syntéze riadenia v časovej závislosti sa využívajú PID regulátory.



Obr.11 Schéma votknutého nosníka a rozložení žiadanej veličiny $W(x,k)$



Obr.12 Proces riadenia votknutého nosníka: rozložená ustálená výstupná veličina $Y(x,k)|_{k=50}$ a rozložená regulačná odchýlka $E_R(x,k)|_{k=50}$



Obr.13 Priebeh akčných veličín $\{\bar{U}(k)\}_{i=1,3}$ a priebeh kvadratickej normy odchýlky riadenia

Pod'akovanie

Článok bol pripravený pri grantovej podpore VEGA projektov: 1/6018/99 - Metódy modelovania a riadenia systémov s rozloženými parametrami, 1/6185/99 - Modelovanie a riadenie strojárskych a hutníckych technologických procesov a mechatronických, smart materiálových štruktúr ako systémov s rozloženými parametrami.

Literatúra

- [1] BUTKOVSKIJ, A.G.: Teorija optimal'no upravlenija sistemami s raspredeľonnymi parametrami. Nauka, Moskva, 1965.
- [2] LIONS, J.L.: Optimal Control of Systems Governed by Partial Differential Equations. Springer-Verlag, 1971.
- [3] WANG, P.K.C.: Control of distributed parameter systems. In: Advances in Control Systems: Theory and Applications, Academic Press, 1964.
- [4] SKÁKALA, J. a kol.: Záverečná výskumná správa úlohy: "Matematický opis procesu reformovania benzínu pre účely optimálneho riadenia". Program ČSAV, Ústav technickej kybernetiky SAV, Bratislava, 1966.
- [5] HULKÓ, G.: Distributed Parameter Systems Control by Means of Multi-Input and Distributed-Output Systems I., II. Proc. IMACS / IFAC Symp. on Distributed Parameter Systems '87, Hiroshima, 1987.
- [6] HULKÓ, G.: Control of Distributed Parameter Systems by Means of Multi-Input and Distributed-Output Systems. Proc. 10-th IFAC World Congress, Munich, 1987.
- [7] HULKÓ, G.: Control of Lumped Input and Distributed Output Systems. Proc. 5-th IFAC / IMACS / IFIP Symp. on Control of Distributed Parameter Systems, Perpignan, 1989.
- [8] HULKÓ, G. et al.: Identification of Lumped Input and Distributed Output Systems. Proc. 5-th IFAC / IMACS / IFIP Symp. on Control of Distributed Parameter Systems, Perpignan, 1989.
- [9] HULKÓ, G. et al.: Computer Aided Design of Distributed Parameter Systems of Control. Proc. 11-th IFAC World Congress, Tallinn, 1990.
- [10] HULKÓ, G.: Lumped Input and Distributed Output Systems at the Control of Distributed Parameter Systems. *Problems of Control and Information Theory*, Pergamon Press, Oxford 20(2), 1991.
- [11] HULKÓ, G.: Riadenie a navrhovanie systémov so sústredeným vstupom a rozloženým výstupom. DrSc. dizertačná práca, Bratislava, 1991.
- [12] HULKÓ, G., BELANSKÝ, J., BELAVÝ, C., KOVALČÍK, J., ANTONIOVÁ, M., SZUDA, J., VÉGH, P.: Identification and Modeling of Lumped Input and Distributed Output Systems of Accuracy Requested. Proc. European Control Conference ECC '95, Roma, 1995.
- [13] HULKÓ, G., BELANSKÝ, J., BELAVÝ, C., KOVALČÍK, J., ANTONIOVÁ, M., SZUDA, J., VÉGH, P.: Self-Tuning Control of Lumped Input and Distributed Output Systems. Proc. 5-th IFAC Symp. on Adaptive Systems in Control and Signal Processing, Budapest, 1995.

- [14] HULKÓ, G., ANTONIOVÁ, M., BELAVÝ, C., BELANSKÝ, J., SZUDA, J., VÉGH, P.: Modeling, control and design of distributed parameter systems with demonstrations in MATLAB. Publishing house of STU, Bratislava, 1998
- [15] HULKÓ, G., ANTONIOVÁ, M., BELAVÝ, C., BELANSKÝ, J., SZUDA, J., VÉGH, P.: Software package DPSTOOL. Publishing house of STU, Bratislava, 1999.
- [16] ANSYS 5.5.: ANSYS, Inc. 201 Johnson Road, Houston, 1998.