

IMPLEMENTÁCIA FILTRA S FUNKCIOU PRÍSLUŠNOSTI DO RIADIACEHO SYSTÉMU SPAĽOVANIA BIOMASY

Ján PITEĽ¹ - Jana MIŽÁKOVÁ² - Jozef MIŽÁK³

Abstract: The problem with strong interferences of some measured process variables occurred during installation of control system of biomass combustion process for control of the medium-scale woodchips fired boiler. It was solved using special filter with membership function. In the paper there are described some results of its implementation into control system of combustion process.

Abstrakt: Pri inštalácii riadiaceho systému spaľovacieho procesu biomasy v kotle stredného výkonu na spaľovanie drevnej štiepky sa zistil problém so silným rušením niektorých meraných veličín. Bolo to riešené použitím špeciálneho filtra s funkciami príslušnosti. V príspevku sú popísané niektoré výsledky implementácie takéhoto filtra do riadiaceho systému spaľovacieho procesu.

Key words: biomass combustion, filtering, membership function, biomass combustion, process control

Kľúčové slová: spaľovanie biomasy, filtrácia, funkcia príslušnosti, riadenie procesu

ÚVOD

Spaľovanie biomasy je zložitý proces vyžadujúci si kvalitné riadenie pre dosiahnutie maximálnej účinnosti spaľovania a nízkych produkovaných emisií. Neriadený alebo nesprávne riadený spaľovací proces biomasy môže mať na životné prostredie (hlavne na lokálne ovzdušie) v niektorých prípadoch dokonca porovnateľne negatívny dopad ako napr. neriadené spaľovanie uhlia. Typickým prípadom nesprávneho riadenia je napríklad zle regulovaný pomer vzduchu a paliva pri zmene kvality dodávaného paliva, počas prechodových dejov pri náhlej zmene požadovaného výkonu, ale aj pri rozhorievaní alebo vyhasínaní kotla [1], [2], [3].

V zariadeniach pre spaľovanie drevnej štiepky je problematika zabezpečenia spaľovania blížiacemu sa k optimálnemu ešte o to zložitejšia, že okrem privedenia „správneho“ množstva spaľovacieho vzduchu je potrebné tento rozdeliť vhodným pomerom medzi vzduch primárny a sekundárny [4]. Vzhľadom na nekonštantné vlastnosti paliva je v podstate nutné korigovať množstvo spaľovacieho vzduchu pri každom prísune štiepky do ohniska a aj v priebehu jej spaľovania [5], [6], [7], [8]. Vplyv dodávaného množstva spaľovacieho vzduchu na účinnosť spaľovania biomasy, a tým aj produkciu škodlivých emisií CO, sa dá vyjadriť tzv. súčiniteľom prebytku vzduchu, ktorý sa obvykle zisťuje nepriamo meraním koncentrácie O₂ v spalinách pomocou tzv. lambda sondy, a preto sa v poslednom čase v technickej praxi tento súčiniteľ často označuje ako λ . Z nameranej koncentrácie O₂ sa potom súčiniteľ λ vypočíta podľa vzťahu:

$$\lambda = \frac{21}{21 - O_2 \%}. \quad (1)$$

¹ doc. Ing. Ján Piteľ, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, Katedra matematiky, informatiky a kybernetiky. Kontakt: Bayerova 1, 080 01 Prešov, jan.pitel@tuke.sk

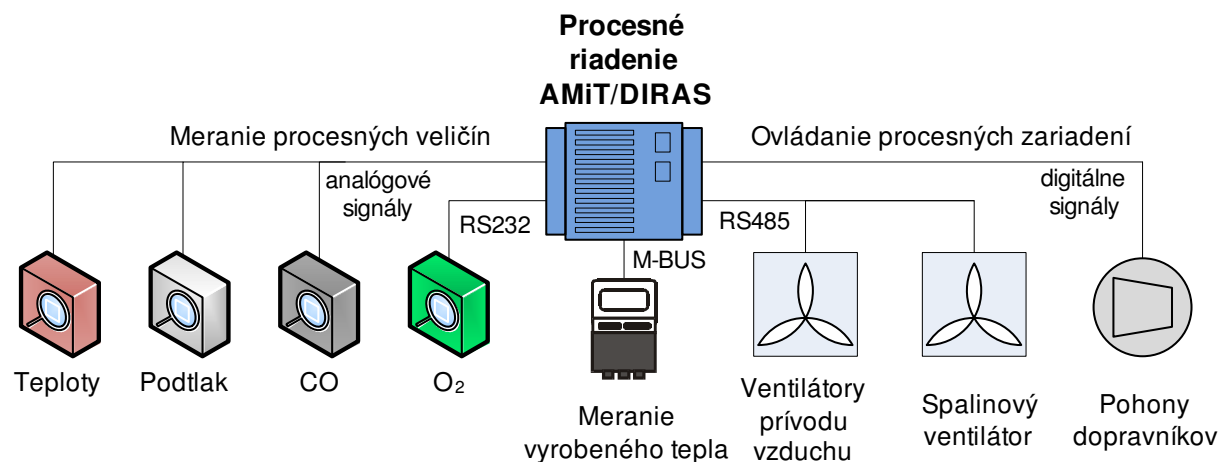
² PaedDr. Jana Mižáková, PhD., KOOR, s.r.o. Kontakt: Bajzova 1, 821 08 Bratislava, jana.mizakova@koor.sk

³ Ing. Jozef Mižák, Paufex Prešov s.r.o. Kontakt: Budovateľská 51, 080 01 Prešov, mizak@paufex.sk

1 SYSTÉM RIADENIA SPAĽOVACIEHO PROCESU BIOMASY

Jednou z úloh systému riadenia spaľovacieho procesu biomasy je nájsť aj pri zmene vlastností paliva, resp. v prechodových dejoch spaľovania, takú hodnotu súčiniteľa prebytku spaľovacieho vzduchu λ , pri ktorej budú emisie CO minimálne, čím budú naplnené predpoklady pre dosiahnutie najväčšej účinnosti spaľovania [9]. Pre splnenie tejto úlohy je potrebné, aby riadiaci algoritmus sledoval vývoj medzi emisiami CO a súčiniteľom prebytku spaľovacieho vzduchu a na základe toho následne upravoval žiadanú hodnotu koncentrácie O_2 v spalinách [10], [11]. Pre účinné spaľovanie biomasy je potrebné zabezpečiť aj dostatočne vysokú teplotu a dostatok času, aby mohlo prebehnúť úplné spálenie biomasy – intenzita uvoľňovania prchavej horľaviny z biomasy má v závislosti na teplote ostré maximum, kedy sa z biomasy za určitý časový interval vylučuje prevažná časť celkového obsahu prchavej horľaviny [12].

Pre splnenie vyššie uvedených úloh bol navrhnutý a zrealizovaný systém automatického riadenia spaľovania biomasy podľa Obr. 1, pričom kritériom pre výber snímačov na meranie koncentrácie O_2 a emisií CO v spalinách bolo splnenie požadovaných minimálnych technických parametrov pri maximálnej ekonomickej výhodnosti (nízke počítateľné náklady na ich obstaranie a taktiež nízke prevádzkové náklady).



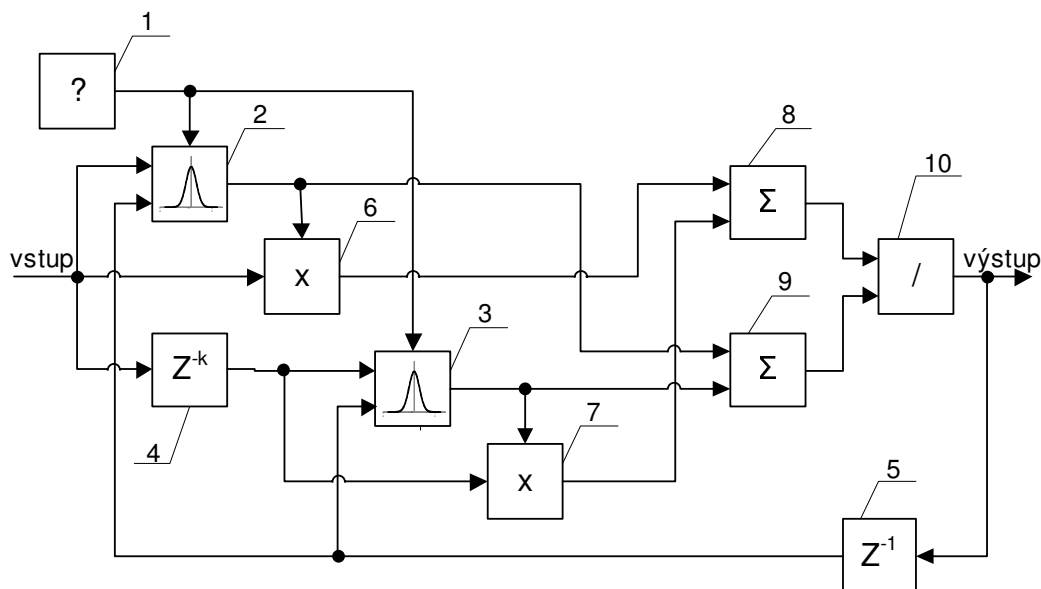
Obr. 1 Štruktúra systému automatického riadenia spaľovania biomasy

Základom systému automatického riadenia je riadiaci systém AMiT/DIRAS. Pre meranie emisií oxidu uhoľnatého v spalinách bol použitý senzor s premenlivým odporom v závislosti na koncentrácii CO. Pre jeho vyhodnocovanie bol navrhnutý prevod na napätový signál [13]. Pre meranie koncentrácie kyslíka v spalinách bola použitá širokopásmová lambda sonda, ktorá v rozsahu $\lambda = 0,7$ až teoreticky $\lambda = \infty$ (vzduch s obsahom 21% O_2) poskytuje na svojom výstupe jednoznačný spojité elektrický signál. Pre meranie podtlaku v spaľovacej komore bol použitý snímač tlakovej diferencie s výstupom 0 až 10 V DC. Pre meranie teploty v spaľovacej komore bol použitý termočlánok typu K, ostatné teploty boli merané snímačmi Pt100 s výstupom 4 až 20 mA. Otáčky ventilátorov prívodu primárneho a sekundárneho vzduchu a spalinového ventilátora boli riadené cez frekvenčné meniče s komunikáciou cez rozhranie RS485, pohony dopravníkov cez digitálne v/v riadiaceho systému.

Systém bol inštalovaný na riadenie dvoch rôznych typov kotlov (o rôznych výkonoch a od rôznych výrobcov) spaľujúcich drevnú štiepku v reálnej prevádzke v praxi na výrobu tepla na vykurovanie a prípravu teplej vody pre občiansku a komunálnu sféru. Do riadiacich systémov boli implementované algoritmy riadenia spaľovacieho procesu, avšak pri riadení jedného kotla bola úroveň šumu signálov zo snímačov meraných veličín vyššia, čo spôsobovalo problémy pri určení dlhodobého trendu meraných veličín a ich správneho využitia pre riadenie. Z tohto dôvodu bolo potrebné merané hodnoty vhodne filtrovať.

2 FILTER S FUNKCIAMI PRÍSLUŠNOSTI

Základnou požiadavkou na filter bolo, aby jednorázové zmeny neovplyvňovali výstup filtra a tým aj reguláciu príslušnej veličiny. Dlhodobejšie zmeny hodnôt aj mimo predpokladaného intervalu meranej veličiny museli ovplyvňovať výstup filtra a prejaviť sa na trende meranej veličiny. Navrhnutý bol špeciálny typ filtra využívajúci funkcie príslušnosti, ktorého bloková schéma je na Obr. 2. Filter s funkciami príslušnosti pozostáva z bloku 1 pre výber typu funkcie príslušnosti, z blokov 2 a 3 priradzovania váh vzorkám signálu na základe zvolenej funkcie príslušnosti, z blokov 4 a 5 pre zapamätanie a posuv posledných vzoriek nefiltrovaného a vyfiltrovaného signálu, z blokov 6 a 7 násobenia hodnoty vzoriek nefiltrovaného signálu s váhou podľa zvolenej funkcie príslušnosti a z blokov 8, 9 a 10 pre výpočet hodnoty filtrovaného signálu [14].



Obr. 2 Bloková schéma filtra s funkciami príslušnosti

Bol vykonaný matematický popis filtra s funkciami príslušnosti a vlastnosti filtra boli simulované v prostredí Matlab Simulink pre rôzne funkcie príslušnosti (Gaussovu, mocninovú, zvonovú a trojuholníkovú). Na základe získaných výsledkov bol na filtrovanie meraných a regulovaných veličín v spaľovacom procese biomasy vybraný filter s Gaussovou funkciou príslušností (normálnym rozdelením), pre ktorú pre výpočet váh platí (v zjednodušenom tvare) [15]:

$$w(x) = e^{-\frac{(x-\mu)^2}{s}}, \quad (2)$$

kde x je aktuálna hodnota (vzorka) filtrovanej veličiny, s je definované ako citlivosť a μ je posledný počítaný vážený priemer.

Citlivosť s je daná smerodajnou odchýlkou σ :

$$s = 2\sigma^2. \quad (3)$$

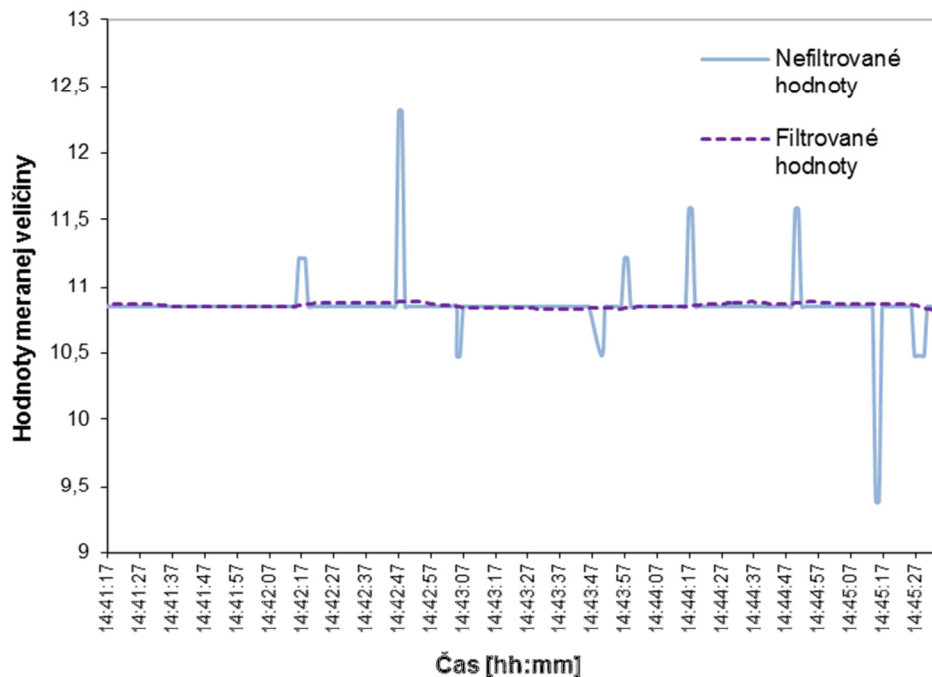
Pre výpočet váženého priemeru (výstupnej hodnoty filtra) bol použitý kľavý aritmetický priemer [15]:

$$\bar{x}_w = \frac{x_1 \cdot w_1 + x_2 \cdot w_2 + \dots + x_k \cdot w_k}{w_1 + w_2 + \dots + w_k}, \quad (4)$$

kde k je počet posledných vzoriek meranej veličiny zahrnutých do filtrovania.

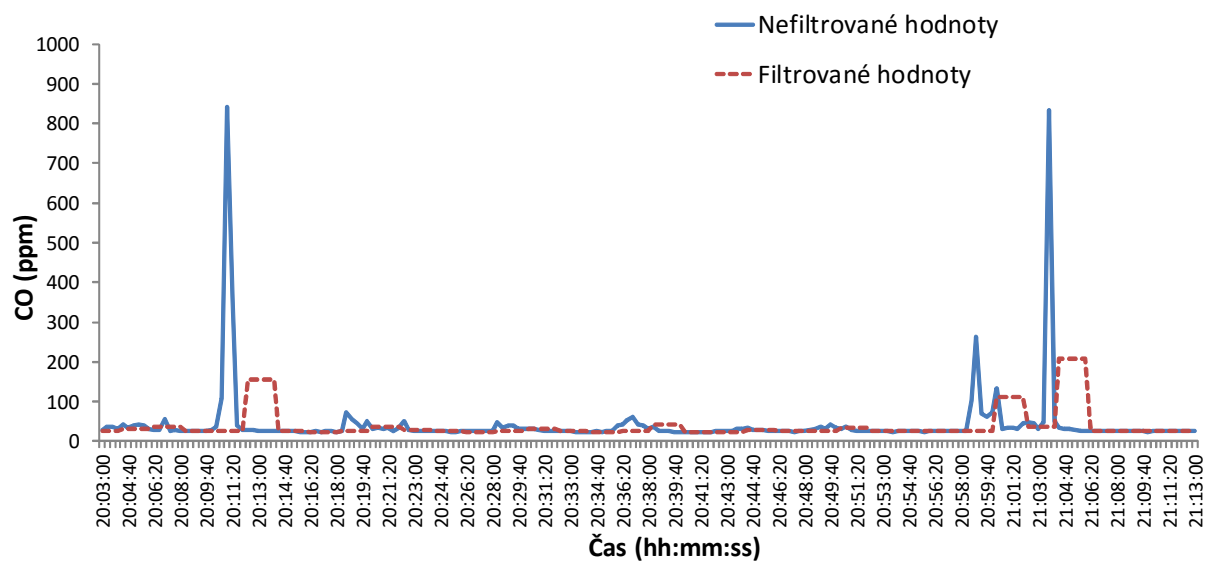
3 IMPLEMENTÁCIA A TESTOVANIE FILTRA S FUNKCIOU PRÍSLUŠNOSTI

Algoritmus filtrovania využitím Gaussovej funkcie príslušnosti bol implementovaný do priemyselného riadiaceho systému a testovaný v laboratórnych podmienkach [16]. Výsledok testovania filtrácie priebehu spojitaj veličiny s nasuperponovanými špičkami v dôsledku silného externého rušenia je na Obr. 3, z ktorého vyplýva, že použitím filtra s Gaussovou funkciou príslušnosti došlo k takmer úplnému potlačeniu rušenia.



Obr. 3 Výsledok testovania filtra s funkciou príslušnosti

Po úspešnom testovaní v laboratórnych podmienkach bol filter implementovaný do riadiaceho systému procesného riadenia kotla na spaľovanie drevnej štiepky. Vzhľadom na to, že pre riadenie spaľovacieho procesu biomasy je dôležité, aby riadiaci algoritmus sledoval vývoj medzi emisiami CO a súčiniteľom prebytku spaľovacieho vzduchu a na základe toho následne upravoval žiadanú hodnotu koncentrácie O₂ v spalinách, tak filter s funkciou príslušností bol aplikovaný na filtráciu meraných priebehov CO a O₂ (Obr. 4 a 5).



Obr. 3 Filtrovanie priebehu CO emisií filtrom s funkciou príslušnosti

Obr. 3 Filtrovanie priebehu O₂ koncentrácie filtrom s funkciou príslušnosti



4 ZÁVER

Implementáciou navrhnutého filtra s Gaussovou funkciou príslušnosti do procesného systému riadenia kotla na spaľovanie drevnej štiepky sa potvrdilo, že takýto typ filtra využívajúci funkciu príslušnosti na výpočet váh kľzavého aritmetického priemeru je vhodný na filtrovanie signálov zo snímačov CO emisií a O₂ koncentrácie v spalinách s výborným potlačením externého rušenia a vhodným odfiltrovaním náhlych zmien hodnôt meraných veličín, ktoré by mohli nepriaznivo vplývať na kvalitu riadenia spaľovacieho procesu biomasy.

Príspevok vznikol s finančnou podporou projektu VEGA 1/0881/13 Výskum algoritmov a metód prediktívneho riadenia spaľovacích procesov biomasy.

LITERATÚRA

- [1] HRDLIČKA, J., ŠULC, B., PLAČEK, V., VRÁNA, S. Impact of Control Solutions on Ecology and Economy of Small-scale Biomass Boilers. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, Vol. 5, No. 3, 2011. pp. 247-254. ISSN 1998-4464
- [2] OSWALD, C., ŠULC, B. Achieving Optimal Operating Conditions in PI Controlled Biomass-Fired Boilers — Undemanding Way for Improvement of Small-Scale Boiler Effectiveness. In: *Proceedings of the 2011 12th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, Velké Karlovice, Czech Republic, 25 – 28 May 2011. [CD-ROM]. IEEE, 2011. pp. 284 – 289. ISBN 978-1-61284-359-9
- [3] MULLEROVÁ, J., HLOCH, S., VALÍČEK, J. Zníženie emisií pri spaľovaní biomasy v teplovodnom kotly. *Chemické listy*, Vol. 104, No. 9, pp. 876-879, 2010. ISSN 0009-2770
- [4] SKOK, P., RIMÁR, M. Kontrola kvality spaľovacieho procesu drevnej štiepky. In: *Zborník príspevkov ARTEP 2010*, Stará Lesná, 24.2.–26.2.2010. Košice: TU v Košiciach, 2010. s. 65-1 – 6. ISBN 978-80-553-0347-5
- [5] KURČOVÁ, M., EHRENWALD, P. Regulácia kotlov na biomasu. In.: *Vykurovanie 2009*, Tatranské Matliare, 2.3.-6.3.2009. Bratislava: SSTP, 2009. s. 369 – 372. ISBN 978-80-89216-27-7
- [6] HOŠOVSKÝ, A. Biomass-fired Boiler Control Using Simulated Annealing Optimized Improved Varela Immune Controller. *Acta Polytechnica Hungarica*. Vol. 12, No. 1, 2015, pp. 23-39. ISSN 1785-8860
- [7] HOŠOVSKÝ, A., ŽIDEK, K., BUKOVSKÝ, I., Riadenie nelineárneho procesu s dopravným oneskorením pomocou optimalizovaného Varelovho imunitného regulátora. In: *Zborník príspevkov ARTEP 2015*, Stará Lesná, 11.2.–13.2.2015. Košice: TU v Košiciach, 2015. s. 10-1 – 16. ISBN 978-80-553-1968-1
- [8] HOŠOVSKÝ, A., TÓTHOVÁ, M., ŽIDEK, K. Comparison of Performance of Optimized Varela Immune Controller and PID Controller for Control of Time-delay Process. *International Journal of Engineering Research in Africa*, Vol. 18, 2015. pp. 103-111. ISSN 1663-3571

-
- [9] OSWALD, C., PLAČEK, V., ŠULC, B., HOŠOVSKÝ, A. Transfer Issues of Control Optimizing Combustion from Small-scale to Medium-scale Biomass-fired Boilers. In: *Proceedings of the 8th PP&PSC (Power Plant and Power System Control) IFAC Symposium*, Toulouse, September 2–5, 2012. Toulouse: IFAC, 2012. 5 p.
- [10] HOŠOVSKÝ, A., ŽIDEK, K., OSWALD, C. Hybridized GA-optimization of Neural Dynamic Model for Nonlinear Process. In: *Proceedings of the 13th International Carpathian Control Conference (ICCC 2012)*, Podbanské, Košice: IEEE, 2012. pp. 227 – 232. ISBN 978-1-4577-1866-3
- [11] BUKOVSKÝ, I., KOLOVRATNÍK, M. A Neural Network Model for Predicting NO_x at the Mělník 1 Coal-powder Power Plant. *Acta Polytechnica*, 2012, Vol. 52, No. 3/2012, pp. 17-22. ISSN 1210-2709.
- [12] PASTOREK, Z., KÁRA, J., JEVIČ, P. *Biomasa – obnoviteľný zdroj energie*. Praha: FCC PUBLIC, 2004. 286 s. ISBN 80-86534-06-5
- [13] DRGA, R., JANÁČOVÁ, D., CHARVÁTOVÁ, H. Infrared Radiation, Sensor, Source and Infrared Camera Measurement. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, Vol. 5, Issue 6, pp. 581-588, 2011. ISSN 1998-4464
- [14] BORŽÍKOVÁ, J., MIŽÁK, J., PITEĽ, J., ŽIDEK, K. *Filter s funkciami príslušnosti*. Úžitkový vzor č. 6400. ÚPV SR Banská Bystrica, 2013.
- [15] BORŽÍKOVÁ, J., MIŽÁK, J., TÓTHOVÁ, M., ŽIDEK, K. Využitie kľzavého váženého priemeru na filtrovanie meraných údajov. In: *Zborník príspevkov ARTEP 2012*, Stará Lesná, 22.2.–24.2.2012. Košice: TU v Košiciach, 2012. s. 10-2 – 6. ISBN 978-80-553-0835-7
- [16] BORŽÍKOVÁ, J., MIŽÁK, J. Zostavenie algoritmu filtrovania s rôznymi funkciami. In: *Zborník príspevkov ARTEP 2012*, Stará Lesná, 22.2.–24.2.2012. Košice: TU v Košiciach, 2012. s. 11-1 – 7. ISBN 978-80-553-0835-7

Recenzenti: doc. Ing. Jaroslav Šeminský, PhD., SjF TU v Košiciach
doc. Ing. Alexander Hošovský, PhD., FVT TU v Košiciach