

## TESTOVANIE VPLYVU TEPELNÉHO TOKU NA BIOPALIVO VO FORME PELIET POMOCOU KONICKÉHO KALORIMETRA

JOZEF HORVÁTH - KAROL BALOG - IGOR WACHTER - IVONA ŠIMONÍKOVÁ

### HEAT FLUX EFFECT OF BIOFUELS IN THE FORM OF PELLETS INVESTIGATION USING CONE CALORIMETER

#### ABSTRAKT

*So záujmom o ochranu životného prostredia sa do popredia dostáva energia získaná z biomasy ako obnoviteľného zdroja energie. Rastlinná biomasa je prevažne zložená z hemicelulózy, celulózy a lignínu. Ako obnoviteľný zdroj energie je ideálna pre výrobu tepla a elektriny pomocou tepelno-chemických procesov, ako je splyňovanie. Avšak, rastúce potreby biomasy ako zdroja energie spôsobuje, že dostupnosť biomasy ako vstupnej suroviny sa stáva obmedzená a to hlavne v husto zaľudnených lokalitách. Preto je potrebné zlepšiť technické postupy tak, aby širší rad typov biomasy vrátane odpadov z biomasy a vedľajších produktov, mohol byť využívaný ako zdroj energie pre vykurovanie a výrobu elektrickej energie. Hlavným cieľom štúdie je analýza plynných emisií počas tepelnej degradácie biomasy vo forme peliet. Plynné emisie vznikajúce pri spaľovaní biomasy, uvoľňujú sa v podobe dymu a spodin horenia a predstavujú jedno z hlavných rizík pre obyvateľov. Skúšobné vzorky sú testované pri dvoch tepelných tokoch 35 a 50 kW.m<sup>-2</sup> pomocou kónického kalorimetra. Počas merania je zaznamenávaná strata hmotnosti, čas iniciácie plameňového horenia, koncentrácia oxidu uhoľnatého pri jednotlivých testovaných vzorkách.*

**Kľúčové slová** – biomasa, vlastnosti peliet, strata hmotnosti, koncentrácia oxidu uhoľnatého

#### ABSTRACT

*With growing interest in environmental protection an energy obtained from biomass as a renewable energy source comes to the fore. Plant biomass is mainly composed of hemicellulose, cellulose and lignin. As a renewable energy source it is ideal for the production of heat and electricity using thermo-chemical processes such as the gasification. However, the growing needs of biomass as an energy source makes the availability of biomass as feedstock becomes limited especially in densely populated areas. Therefore, it is necessary to improve the techniques so that a wider range of biomass types, including biomass wastes and by-products could be used as a source of energy for heating and electricity production. The main objective of the study is the analysis of gaseous emissions during thermal degradation of biomass in the form of pellets. The gaseous emission produced by the combustion of biomass is released to the form of smoke and combustion gases and represent one of the major risks for the population. Test samples are tested at two heat flows of 35 and 50 kW.m<sup>2</sup> using cone calorimeter. During the measurement a weight loss, time to ignition of flame burning and concentration of carbon monoxide of each test sample is tested.*

**Keywords** – biomass, properties of pellets, mass loss, concentration of carbon monoxide

#### ÚVOD

Tuhé ušľachtilé biopalivá uvádzané na trh v Slovenskej republike musia spĺňať požiadavky príslušných technických noriem, všeobecne záväzných predpisov v oblasti ochrany zdravia ľudí, bezpečnosti, ochrany spotrebiteľa, v oblasti uvádzania chemických látok a chemických zmesí na trh a v oblasti právnych predpisov týkajúcich sa ochrany a starostlivosti o životné prostredie, vzťahujúce sa na produkt, jeho výrobu, používanie a zneškodnenie [1].

V produktoch môžu byť použité iba aditíva (lisovacia prísada) pochádzajúce z poľnohospodárskej a lesnej biomasy, ktorá nie je chemicky modifikovaná. Chemicky nemodifikované produkty z poľnohospodárskej a lesnej biomasy napr. (celozrnná kukuričná múka, kukuričný škrob a ražná múka) môžu byť zmiešané so základným materiálom pre uľahčenie priebehu lisovania a tie na zlepšenie energetickej bilancie a zvýšenie odolnosti voči oteru [1].

Pelety patria medzi ušľachtilé palivá vyrábané z drevných štiepok a pilín spravidla bez pridávanie iných spojív. Komprimáciou dreva sa dosahuje vysoká hustota zhruba okolo 1,4 t.m<sup>-3</sup> a s tým súvisiaca aj vysoká výhrevnosť od 17 do 21 MJ.kg<sup>-1</sup>. Vlhkosť obsiahnutá v peletách pritom znižuje hodnotu výhrevnosti. Jedná sa o palivo, ktoré spĺňa najvyššie požiadavky na komfort obsluhy a možnosť automatizácie celého procesu vykurovanie. Vzhľadom na tieto vlastnosti je vykurovanie peletami porovnateľné s vykurovaním fosílnymi palivami, pričom výsledný vplyv na životné prostredie je priaznivejší. V rámci EÚ nie sú doposiaľ vytvorené jednotné normy pre výrobu a využívanie peliet. V obchodnom styku sa najčastejšie aj v podmienkach Slovenska používajú nemecké normy DIN 51731 a rakúska Ö-NORM M 7135. Nemecká norma DIN bola čiastočne prepracovaná niektoré charakteristiky peliet ako paliva boli upravené [2].

Peleta je granula kruhového prierezu s priemerom okolo 6 - 8 mm a s dĺžkou 10 – 30 mm s relatívne nízkou vlhkosťou menej ako 12%. Taktiež je ich možné definovať ako kúsok tuhého alternatívneho paliva vyrobeného aglomeráciou sypkého materiálu v lisovacej forme, v disku alebo v bubne[3].

Do výroby neprichádzajú suroviny v optimálnom stave, ale ako piliny, hobliny a kusy dreva. Pred peletizáciou ich treba homogenizovať. Homogenizácia prebieha vo väčšine na vysoko výkonnom kladivkovom drviči, v niektorých prípadoch sa drvič vynechá a nahradí sa triedičom. Pri pretláčaní materiálu vzniká značné telo, ktoré zmäkčuje a uvoľňuje v surovine lignín. Obsah vody by sa mal pohybovať okolo 10%, piliny ktoré majú vyšší obsah vody sa musia vysušiť. Využívajú sa sušiarne v horúcim vzduchu okolo 160°C, pri tejto teplote nedochádza k strate horľavých prchavých látok ale len k odstráneniu prebytočnej vody. Proces výroby peliet je lisovanie tzv. peletizácia [3].



Obr. 1 Vybrané vzorky pelet.

Biopalivá sa ďalej delia podľa tried :

- A1** – prírodné drevo a chemicky neošetrené zbytky s nízkym obsahom popola, dusíka a chlóru;
- A2** – palivo s vyšším obsahom popola, dusíka a chlóru;
- B** – povolené chemicky ošetrené drevo z vedľajších produktov a odpadov a použité drevo [4].

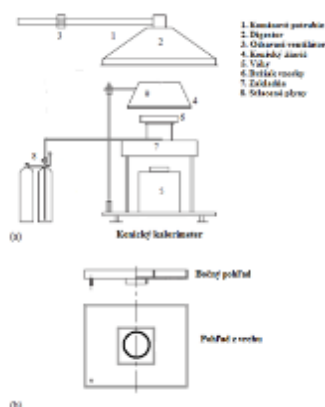
Tab. 1 Druhy dreva používané na výrobu peletiek podľa noriem [5].

Normy	EN plus – A1	EN plus – A2	EN - B
Druhy dreveného porastu	Biomasa na báze bylín, rastliny majú drevenú stonku	Celé stromy bez koreňov	Mladé lesné porasty, plantážové dreviny
	Chemicky neošetrené zvyšky dreva z drevo priemyslu	Biomasa na báze bylín, rastliny majú drevenú stonku	Chemicky neošetrené zvyšky dreva z drevo priemyslu
		Zvyšky z ťažby stromov	Chemicky ošetrené drevo pochádzajúce z demolácie stavieb a iných drevených konštrukcií
		Chemicky neošetrené zvyšky dreva z drevo priemyslu	

Vo všeobecnosti, vlastnosti horenia biomasy môžu byť klasifikované ako mikroskopické a makroskopické. Medzi mikroskopické vlastnosti sú zahrnuté tepelné, chemické, kinetické údaje o skúmanej vzorke biomasy. Avšak, makroskopické vlastnosti biomasy ako paliva zahŕňajú výhrevnosť, obsah vlhkosti, veľkosť častíc, sypanú hmotnosť a bod popolnatenia. [6,7]. Pri podmienkach, ktoré spĺňajú požiadavky (iniciačný zdroj s dostatočnou silou, vznik degradačných spodín, dostatočné množstvo kyslíka) dochádza k rozvoju procesu horenia, najčastejšie k plameňovému horeniu. Rozvoj plameňa je proces postupného zapalovania stále nových úsekov materiálu, ktorý prebieha samovoľne na úkor tepla, ktoré sa uvoľňuje v pásme horenia. Rozvoj plameňového horenia je závislý najmä na pyrolýze. Pyrolýzou sa rozumie rozklad bez prítomnosti kyslíka, spôsobený zahrievaním materiálu (depolymerizácia, štatistická degradácia, odštiepovanie funkčných skupín). Ak je rozklad spojený s úbytkom hmotnosti tuhého materiálu a s tvorbou prechavých produktov, ide o aktívnu pyrolýzu. Schopnosť splyňovania polymérneho materiálu je daná najmä jeho chemickou a fyzikálnou štruktúrou a závisí na privedenom a generovanom teple [8]. Ak je teplota, rýchlosť a množstvo uvoľnených plynných produktov dostatočné, tak vzniká plamenné horenie a ak tuhá látka pri zahrievaní nie je schopná uvoľňovať plynné produkty tepelného rozkladu, tak vzniká horenie tlením. Niektoré tuhé materiály veľmi ťažko horia plameňom, ale majú sklon k tleniu a žeraveniu [9]. Teplota, pri ktorej sa zapáli drevo, je okolo 250 až 350 °C. Významným faktorom, ktorý má vplyv na iniciáciu a znižuje teplotu zapálenia, je predĺžený čas ohrevu. Pri sálavom ohreve dreva na teplotu 200 °C môžeme vyvolať jeho samovznietenie za 12 až 40 minút, zatiaľ čo pri ohreve sa tento čas skrúti na 1,5 až 3,5 minúty [10].

## TESTOVACIA METÓDA




Stanovenie času iniciácie horenia ( $T_i$ ), úbytok hmotnosti testovanej vzorky ( $m_A$ ) a koncentrácie oxidu uhľnatého (CO) vo vzorkách prachu boli vykonané podľa normy ISO 5660-1: rýchlosť uvoľňovania tepla (metóda kónického kalorimeter). Na obrázku 2 je uvedená schéma testovacieho zariadenia. Pri testovaní na kónickom kalorimetri boli použité vzorky prachu z troch druhov biomasy vo forme peliet o priemere menej ako 500  $\mu\text{m}$ . Vzorky boli pripravené pomocou sitovej analýzy. Následne boli vzorky umiestnené v kruhovej nádobe s hrúbkou 15 mm a umiestnené pod kónický žiarič a testované pri tepelnom toku 35 a 50  $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ . Pri zahriatí povrchu vzorky to je 78,5  $\text{cm}^2$  dochádza k vzniku pyrolýznych plynov, pri meraní nebola použitá iniciačná iskra. Čas iniciácie pri plameňovom a bezplameňovom horení je rôzny pri jednotlivých testovaných vzorkách a v závislosti od testovaného tepelného toku. Experimentálnym meraním sa zaznamená interval od začiatku testu až po vznik plameňového a bezplameňového horenia na povrchu vzorky a koncentrácie (CO). Vzniknuté plyny sú zhromaždené v digestore a odvádzané cez ventilačný systém. Uvoľňovanie tepla sa meria za použitia údajov o nameranej koncentrácii kyslíka a vznikajúceho dymu. Koncentrácie (CO) a úbytok hmotnosti pri každej vzorke a rôznych tepelných tokoch sú znázornené na obrázku 4 a 5. Údaje o vzorkách boli zaznamenávané počas 800 sekúnd. Je potrebné poznamenať, že konečná hmotnosť vzorky na konci testu závisí od pôsobenia tepelného toku a procesu spaľovania (bezplameňové spaľovanie a plameňa). V tabuľke 4 sú uvedené výsledky testovania vzoriek prachu pri jednotlivých tepelných tokoch.



Obr. 2 Schéma testovacieho zariadenia – kónický kalorimeter

Na dostatočné množstvo prachu z peliet boli pripravené vzorky pomocou laboratórneho nožového mlynu, ktorý sa používa na homogenizáciu materiálu pomocou rezných nožov. Ostré nože sú rovné a zvierajú pravý uhol v smere otáčania. Nože sú tenké a rezná hrana je sklonená pod uhlom 15 stupňov. Rýchlosť otáčania je okolo 2000 až 10 000 otáčok za minútu. Konštantnú rýchlosť otáčania v priebehu mletia udržiava radiaca jednotka. Cieľom mletia je redukcia veľkosti vstupného materiálu na veľkosť, ktorá je vhodná pre použitie ku konkrétnej laboratórnej analýze. Pri príprave laboratórnej vzorky sa spracováva väčšie množstvo materiálu ako je potrebné na laboratórnu analýzu. Výsledná vzorka po homogenizácii musí predstavovať reprezentatívnu vzorku prachu, aby boli výsledky laboratórnej analýzy reprodukovateľné. Popis so zobrazením skúšobných vzoriek je uvedený v tabuľke 2.

Tab. 2 Popis skúšaných vzoriek

Názov	Vzorka A	Vzorka B	Vzorka C
Popis vzorky	Prach z peliet vyrobených z ihličnatých drevín s trávou	Prach z peliet vyrobených z ihličnatých drevín s kôrou	Prach z peliet vyrobených z ihličnatých drevín bez kôry
Vzorka			

Na analýzu boli použité 3 vzorky rôznych priemyselne vyrábaných peliet v tabuľke 3 sú uvedené vlastnosti skúšobných vzoriek peliet.

Tab. 3 Vlastnosti skúšobných vzoriek

Vzorky prachu	Rozmery peliet		Obsah vody (%)	Objemová hustota (kg/m <sup>3</sup> )	Výhrevnosť (MJ/kg)	Mechanická odolnosť (%)	Obsah popola (%)
	Priemer (mm)	Dĺžka (mm)					
Vzorka A	8,0	10-40	6,65	640	17,6	88,4	0,61
Vzorka B	6,0	10 – 40	7,70	650	18,7	99,4	0,51
Vzorka C	6,0	10 – 40	7,09	650	18,7	99,5	0,17



Obr. 3 Vzorka prachu peliet pred a po teste na kónickom kalorimetri.

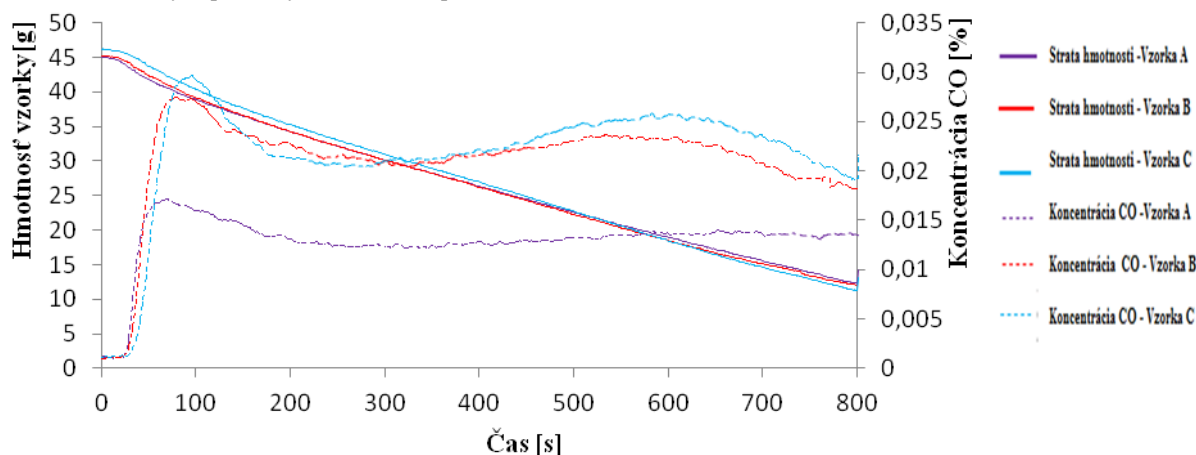
## VÝSLEDKY MERANIA

Metódy termickej analýzy umožňujú sledovať pochody prebiehajúce pri zahrievaní alebo ochladzovaní látok. Pochody môžu byť sprevádzané zmenou hmotnosti, prípadne objemu skúmanej vzorky, uvoľnením alebo pohltením energie (tepla), uvoľňovaním oxidu uhľového. Termogravimetria (TG) - sledujú sa zmeny hmotnosti vzorky v závislosti na tepelnom toku. Postupuje sa tak, že sa plynule zvyšuje teplota odváženého množstva vzorky skúmanej látky a sleduje sa priebeh závislosti  $m = f(T)$  alebo  $m = f(t)$ , termogravimetrická krivka. V tabuľke 4 sú uvedené výsledky z meraní.

Tab. 4 Výsledky merania

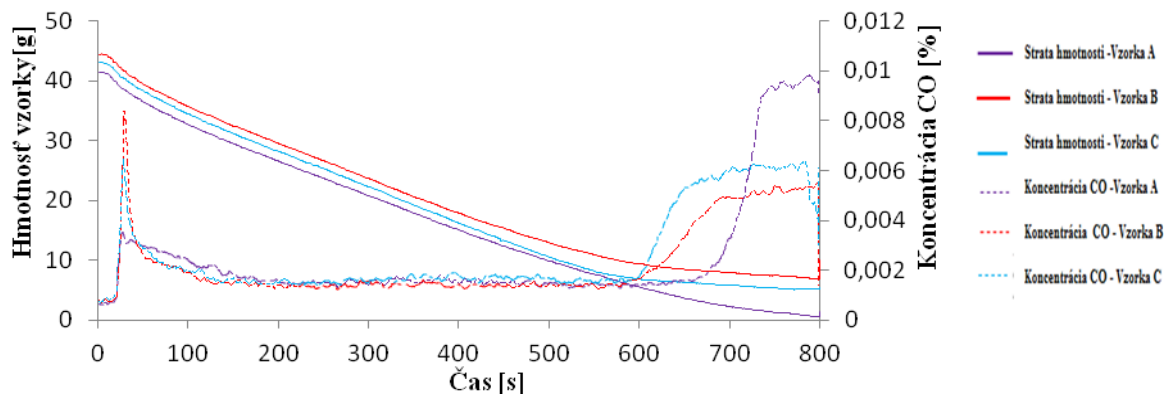
Tepelný tok [kW.m <sup>-2</sup> ]	Vzorky	Hmotnosť vzorky pred testom [g]	Hmotnosť vzorky po teste [g]	Čas iniciácie [s]	Bezplameňové /Plameňové horenie
35	A	45.07	14.326	25±2	Bezplameňové
	B	45.25	14.036	27±2	Bezplameňové
	C	46.17	13.227	29±2	Bezplameňové
50	A	41.45	1.492	8±2	Plameňové
	B	44.45	10.016	13±2	Plameňové
	C	43.16	5.515	13±2	Plameňové

Výsledky termickej analýzy sledovaných vzoriek pri rôznych tepelných tokoch sú zobrazené na obrázkoch 4 až 5. Pri tepelnom toku 35 kW.m<sup>-2</sup> nedošlo pri meraní vo vzorkách k iniciácii plameňového horenia. Pri tepelnom toku 50 kW.m<sup>-2</sup> dochádza vo všetkých prachových vzorkách k plameňovému horeniu.

Obr. 4 Závislosť vzniku koncentrácie CO a úbytku hmotnosti od posobenia tepelneho toku 35 kW.m<sup>-2</sup> na skúšané prachové vzorky.

Pomocou kónického kalorimetra som uskutočnil merania na vznik koncentrácie plynov (CO) pri tepelných tokoch 35 a 50 kW.m<sup>-2</sup> pôsobiacich na skúšobný materiál. Na obrázkoch 4 až 5 sú zobrazené závislosti tepelných tokov na vznik oxidu uhľového. Pri tepelnom toku 35 kW.m<sup>-2</sup> nedošlo k iniciácii plameňového horenia. Koncentrácie meraných plynov počas

celého menia pri vzorkách B a C sú nad 0,2% pri vzorke A je koncentrácia nižšia. Pri tepelnom toku  $50 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$  bolo zaznamenané plameňové horenie. Najvyššia koncentrácia (CO) bola pred iniciáciou plameňového horenia a po skončení plameňového horenia kde pri vzorka A sa bola okolo 0,01%. Vznik plameňového a bezplameňového horenia nemá vplyv na úbytok hmotnosti skúšaných vzoriek, od iniciácie horenia hmotnosť vzoriek klesala v závislosti od času pôsobenia tepelného toku.



Obr. 5 Závislosť vzniku koncentrácie CO a úbytku hmotnosti od posobenia tepelného toku  $50 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$  na skúšané prachové vzorky

## ZÁVER

Mnohé predchádzajúce celosvetové štúdiá poukázali na problémy v oblasti skladovania, výroby a používania drevených peliet. Je možné konštatovať, že medzi hlavné problémy patrí vznik prachových častíc so schopnosťou vytvoriť výbušnú atmosféru, nebezpečné sú taktiež koncentrácie plynov oxidu uhoľnatého vznikajúce pri skladovaní a spaľovaní, ktoré môžu následne ohroziť ľudské životy. Plyné emisie vznikajúce hlavne pri spaľovaní biomasy, uvoľňujú sa v podobe dymu a splodín horenia, predstavujú jedno z hlavných rizík. Skúšobné vzorky boli testované pri dvoch tepelných tokoch  $35$  a  $50 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$  pomocou kónického kalorimetra. Počas merania bola zaznamenávaná strata hmotnosti, čas iniciácie plameňového horenia, koncentrácia oxidu uhoľnatého pri jednotlivých testovaných vzorkách. Štúdiá poukazuje na problematiku v oblasti spaľovania biomasy vo forme peliet, určených na účely vykurovania rodinných domou. Analýzou plyných emisií počas tepelnej degradácie biomasy vo forme peliet bol preukázaný vplyv tepelného toku a spôsob horenia na vznik koncentrácie oxidu uhoľnatého a taktiež že tepelný tok nemá vplyv na úbytok hmotnosti v testovaných vzorkách. Koncentrácie oxidu uhoľnatého pri 0,01% spôsobujú u človeka slabé bolesti hlavy po 2-3 hodinách expozície a pri koncentráciách 0,04% sú to slabé bolesti hlavy pri kratšej expozícii a to po 1-2 hodinách a silnejšie pri expozícii 2-3 hodiny. Pri koncentracii 0,64% oxidu uhoľnatého môže dôjsť k strate vedomia pri expozícii 1-2 minúty, až k smrti pri expozícii 10-15 minút.

## ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] ŠOOŠ, L., MATÚŠ, M., KRÍŽAN, P.: *Štandardizácia tuhých ušľachtilých biopalív* [online]. [cit. 2014-12-05]. Dostupné na internete: [http://www.biomass-energy.eu/files/Standardizacia\\_tuhych%20uslachtenych\\_biopaliv.pdf](http://www.biomass-energy.eu/files/Standardizacia_tuhych%20uslachtenych_biopaliv.pdf)
- [2] ORAVEC, M., BARTKO, M., SLAMKA, M.: *Postupy intenzifikácie produkcie drevenej biomasy na energetické využitie*. Zvolen, 2012.
- [3] MALAŤÁK, J., VACULIK, P.: *Biomasa pro výrobu energie*. Praha: powerprint s.r.o., 2008. ISBN 978-80-213-1810-6
- [4] JANÍČEK, J.: *Výroba pelet*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 85 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Marek Baláš, Ph.D [cit. 2013-06-03]. Dostupné na internete: [https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/2596/2011\\_DP\\_Janicek\\_Jakub.pdf?sequence=1](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/2596/2011_DP_Janicek_Jakub.pdf?sequence=1)
- [5] European Pellet Council: *Handbook for the Certification of Wood Pellets or Heating Purposes*. Brusel: Renewable energy house, apríl 2013.
- [6] A. Demirbas: *Combustion characteristics of different biomass fuels*. IN Prog Energy Combust Science, Vol. 30 (2004), pp. 219–230
- [7] A.A.A. Abuelnuor, M.A. Wahida S. E. Hosseinia, A. Saat, K.M. Saqr, H.H. Sait and M. Osmand: *Characteristics of biomass in flameless combustion: A review*. In Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol. 33 (2014). p. 363-370
- [8] Balog, K., Kvarčák, M.: *Dynamika požárů*, Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1996, ISBN: 80-86111-44-X.
- [9] PALUŠ, J., MIKO, J., MENTEL, Š.: *Rukovät' požiarneho technika*. Bratislava: 2000. ISBN 80-8057-218-6.
- [10] Reinprecht, L.: *Procesy degradácie dreva*. 3. vyd. Zvolen: TU, 2001. ISBN 80-228-1070-3.



**ADRESY AUTOROV**

**Jozef Horváth, Ing.**, Materiálovotechnologická fakulta STU so sídlom v Trnave, Ústav bezpečnostného a enviromentálneho inžinierstva, Botanická 49, 91724 Trnava, jozef\_horvath@stuba.sk

**Karol Balog, prof., Ing., PhD.**, Materiálovotechnologická fakulta STU so sídlom v Trnave, Ústav bezpečnostného a enviromentálneho inžinierstva, Botanická 49, 91724 Trnava, karol.balog@stuba.sk

**Igor Wachter, Ing.**, Materiálovotechnologická fakulta STU so sídlom v Trnave, Ústav bezpečnostného a enviromentálneho inžinierstva, Botanická 49, 91724 Trnava, igor.wachter@stuba.sk

**Iлона Šimoníková, Ing.**, Vysoká škola baňská, TU- Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Lumírová 13, 700 30 Ostrava – Poruba, ilona.simonikova@vsb.cz

**RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU**

*Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.*

**REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS**

*Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.*