

## ENERGETICKÝ POTENCIÁL VYBRANÝCH ODPADOV S OBSAHOM BIOMASY

### ENERGY POTENTIAL OF THE CHOSEN WASTES WITH BIOMASS CONTENT

Jarmila Geffertová – Anton Geffert

#### ABSTRACT

The obtained knowledge confirms that observed biomass waste contents significant energy potential.

The biggest energy content among chosen wastes is hidden in paper waste from 14.2 to 17.5 MJ·kg<sup>-1</sup> except of Tetrapak packaging. PE foils increase energy content on 22.0 MJ·kg<sup>-1</sup>. In general, the sludge contains the smallest energy potential due to big content of incombustible components. Pulp-paper sludge contains from 5.7 to 7.5 MJ·kg<sup>-1</sup> and sewage sludge from 11.6 to 13.4 MJ·kg<sup>-1</sup>. The benefit of sludge combustion is total volume and mass reduction.

**Keywords:** ash , combustion heat, paper, sludge, waste.

#### ÚVOD

Zabezpečenie ďalšieho rozvoja národného hospodárstva potrebným množstvom energetických zdrojov je jedným z najväčších celosvetových problémov. Prevažná časť spotreby energie sa získava z fosílnych palív (uhlie, rašelina, ropa, zemný plyn), ktorých zásoby sú vyčerpateľné a neobnoviteľné.

Rovnocenná náhrada za fosílnu surovinu dnes neexistuje a prijateľným riešením zmiernenia disproporcie medzi spotrebou a produkciou energie ku kapacite zásob je znižovanie spotreby energie, zvyšovanie účinnosti využívania zdrojov energie a vytvorenie vhodných podmienok pre zhodnocovanie všetkých dostupných zdrojov energie.

Spotreba energií je veľmi vysoká, preto v poslednej dobe svet stále v širšej miere hľadá možnosti získavania obnoviteľných zdrojov surovín, resp. recyklácie odpadov s cieľom získania cenných produktov alebo ich energetického zhodnotenia (MARKOŠ *a kol.* 2010).

Odpad sa dostáva do pozornosti environmentálnej politiky EÚ. Jedným z novších dokumentov z tejto oblasti je Tématická stratégia prevencie vzniku odpadov a ich recyklácie, ktorý vytyčuje tri základné ciele súčasnej politiky EÚ v oblasti odpadov – predchádzanie vzniku odpadu, podpora jeho opätovného využitia recyklácie a zhodnocovania tak, aby sa znížil jeho dopad na životné prostredie, čo sa pri odpadoch z biomasy rešpektuje (GEFFERT, GEFFERTOVÁ 2004).

Z hľadiska ochrany životného prostredia sa veľmi perspektívne javia tie technológie, ktoré majú za cieľ energeticky využiť rôzne druhy organických substrátov, medziproduktov alebo odpadov. Ide predovšetkým o zložky, ktoré majú vyšší podiel organických látok, ako napr. nevyužité medziprodukty z rastlinnej a živočíšnej výroby v poľnohospodárstve, z potravinárstva, z priemyselných výrobných a pod. (SEDLÁČEK *a kol.* 2010, BODÍK *a kol.* 2010).

Z aspektu súčasného významu alternatívnych zdrojov energie - biopalív produkovaných na báze organických odpadov a očakávaného nárastu ich dôležitosti v blízkej budúcnosti, je mimoriadne dôležité podrobne študovať a spoznať ich fyzikálne i tepelno-chemické vlastnosti

v súvislosti s možnosťou ich uplatnenia v rôznych energetických zariadeniach s minimálnym rizikom zníženia ich životnosti a kvality životného prostredia v danej lokalite. Predpokladom úspešného a bezpečného využívania špecifického priemyselného odpadu ako doplnkového paliva je získanie nielen jeho základnej charakteristiky ako potenciálnej energetickej suroviny, ale aj komplexných informácií týkajúcich sa možných negatívnych vplyvov na životné prostredie pri jeho využití v sektore energetiky (VÍGLASKÝ *a kol.* 2007).

Cieľom práce bolo charakterizovať vybrané odpady s obsahom biomasy – papierenské kaly, celulózo-papierenské kaly, kaly z výroby preglejok, odpadové vlákno z výroby DVD, kaly z ČOV a odpady na báze papiera – z hľadiska možnosti ich energetického využitia, s poukázaním na prípadné riziká súvisiace s obsahom ťažkých kovov v niektorých vzorkách.

## EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Použité vzorky priemyselných odpadov (papierenských a celulózo-papierenských kalov, kalov z výroby preglejok, odpadových vlákien z výroby drevovláknitých dosiek, kalov z ČOV) boli odobraté od ich producentov. Odpady na báze papiera predstavujú bežný papierenský odpad, ktorý sa zbiera, recykluje a v prípade prebytkov alebo obťažnej recyklácie sa môže zhodnotiť aj energeticky.

Pri sledovaných vzorkách odpadov sa stanovovalo spaľovacie teplo na kalorimetri IKA C 200 za použitia softvéru Cal Win v súlade s STN ISO 1928 (44 1352).

Vzhľadom na to, že hodnoty spaľovacieho tepla sú negatívne ovplyvnené obsahom nehorľavých zložiek v palive – popol a vlhkosť, pre lepšie porovnanie energetického obsahu jednotlivých vzoriek boli pred samotným stanovením vzorky upravované na absolútnu sušinu ( $w = 0\%$ ).

Uvádzaný percentuálny obsah popola bol vypočítaný z obsahu anorganického zvyšku po spálení vzorky v kalorimetri.

Obsah ťažkých kovov v papierenských a čistiarenských kaloch sa stanovil na atómovom emisnom spektrometri s indukčne viazanou plazmou (ICP-AES-PLASMARAY 3000) a vzorky pred analýzou boli upravené mineralizáciou s  $\text{HNO}_3$  v tlakovej mikrovlnnej peci MDS 2000.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

V príspevku sú zhrnuté výsledky prác, pri ktorých boli sledované spaľovacie teplá a obsah popola rôznych druhov energeticky zhodnotiteľných materiálov a priemyselných odpadov ako sú: papierenské recyklované vlákna, celulózo-papierenské kaly, papierové kartónové obaly, obaly z vlnitej lepenky, kaly z ČOV vo forme brikiet, peliet alebo kusového odpadu.

Spaľovacie teplo je definované ako množstvo tepla, ktoré sa uvoľní úplným spálením paliva v kalorimetrickej tlakovej nádobe v prostredí stlačeného kyslíka pri teplote  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , vzťahnutého na jednotku jeho hmotnosti s predpokladom, že spľodiny horenia sa skladajú z plynného kyslíka, dusíka, oxidu uhličitého, oxidu siričitého, vody v kvapalnom stave a popola v tuhom stave.

Popol a vlhkosť tvoria balast – nežiaduci podiel paliva, ktorého rastom klesá spaľovacie teplo paliva. Túto závislosť potvrdzujú aj výsledky v tabuľke 1.

Papierenské a celulózo-papierenské kaly aj po vysušení majú pomerne nízku hodnotu spaľovacieho tepla ( $5,7$  až  $7,8\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) v dôsledku vysokého anorganického podielu – popola ( $51,8$ – $41,9\%$ ), ktorý je tvorený hlavne plnivami, tlačiarenskými farbami a pod.

Podobne aj vzorka Climatizéru plus obsahuje zvyšky plnív a tlačiarenských farbív, nakoľko predstavuje odpad na báze recyklovaných sekundárnych papierenských vlákien.

Naproti tomu odpady z výroby DVD a preglejok vzhľadom na nízky obsah popola v prípade nízkej vlhkosti predstavujú zaujímavé energeticky využiteľné palivo.

Obsah popola a jeho vlastnosti určujú rozhodujúcim spôsobom typ separácie popola, jeho dopravu a využitie. Zatiaľ čo vápnik (Ca) a horčík (Mg) zvyšujú bod tavenia popola, draslík (K),

chloridy a nízkotaviace alkalické silikáty vedú k poklesu teploty bodu tavenia. Koncentrácie ťažkých kovov v biopalivách z environmentálneho hľadiska sú aktuálne v prípade popola z biomasy, predovšetkým koncentrácie kadmia (Cd) a zinku (Zn) – ovplyvňujú zloženie popola, a preto majú vplyv aj na použiteľnosť jeho jednotlivých frakcií (VÍGLASKÝ *a kol.* 2007).

**Tab. 1 Spaľovacie teplo a popol vo vzorkách priemyselných odpadov.**

**Tab. 1 Combustion heat and ash in samples of industrial waste.**

Vzorka	Vlhkosť [%]	Spaľovacie teplo [MJ·kg <sup>-1</sup> ]	Popol [%]
Kaly papierenské - SHP	0	7,520	49,4
Kaly papierenské – METSÄ	0	7,861	41,9
Kaly celulózo-papierenské - MONDI	0	5,732	51,8
Odpadové kaly z výroby preglejok *	7,84	19,810	5,1
Odpadové vlákno z výroby DVD	0	20,328	0,8
Climatizer plus **	0	13,130	21,8

Poznámka: \* (VÍGLASKÝ, GEFFERTOVÁ, GEFFERT 2007)

\*\* (GEFFERT, MOJŽIŠKOVÁ 2009)

**Tab. 2 Obsah ťažkých kovov v papierenských kaloch.**

**Tab. 2 Heavy metals content in paper sludge.**

Vzorka	Obsah ťažkých kovov [mg/kg]						
	Cr	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Hg
Papierenské kaly	15,40	56,85	77,82	5,18	< 0,50	2,40	0,77

Komunálna sféra a priemysel produkujú čoraz viac odpadov, ktoré je nutné nejakým spôsobom eliminovať, aby sa predišlo negatívnemu tlaku na životné prostredie. Ročná produkcia čistiarenských kalov prostredníctvom ČOV sa odhaduje na 50–60 tis. ton sušiny (KARKULÍN 2007).

Čistiarenský kal je heterogénna zmes organických (živých aj neživých buniek mikroorganizmov) a anorganických látok. Organickú časť tvoria proteíny, sacharidy, tuky a anorganickú prevažne zlúčeniny kremíka, vápnika a fosforu. Okrem toho môžu obsahovať ťažké kovy, ťažko odbúrateľné organické látky (PCB, PCDD/F, PAH) a rôzne ďalšie organické škodliviny (MILČÁK 2003).

Za najefektívnejší spôsob nakladania s čistiarenskými kalmi sa vo všeobecnosti považuje ich aplikácia do pôdy po predchádzajúcej stabilizácii a odvodnení.

Ďalšou možnosťou nakladania s čistiarenským kalom je jeho energetické zhodnotenie spaľovaním, kde odpadom sa stáva popol, v ktorom sa skonzentrujú prípadné ťažké kovy.

Čistiarenský kal obsahuje veľký podiel vody a jeho samostatné spaľovanie pri nedostatočnej sušine, nie je možné.

**Tab. 3 Spaľovacie teplo a popol vo vzorkách ČOV kalov.**

**Tab. 3 Combustion heat and ash in samples of sewage sludge.**

Vzorka	Vlhkosť [%]	Spaľovacie teplo [MJ·kg <sup>-1</sup> ]	Popol [%]
Pelety z ČOV kalov (Rakúsko)	0	11,614	38,7
ČOV kaly – kusové (Zvolen)	7,8	13,432	32,2

**Tab. 4 Obsah ťažkých kovov v peletách z čistiarenských kalov.**

**Tab. 4 Heavy metals content in sewage sludge pellets.**

Vzorka	Obsah ťažkých kovov [mg·kg <sup>-1</sup> ]						
	Cr	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Mn
Pelety z ČOV	36,4	269,0	1 119,0	8,4	0,1	21,0	161,0

Hodnota výhrevnosti čistiarenských kalov je závislá od obsahu vody a pohybuje sa v rozmedzí 2–12 MJ·kg<sup>-1</sup> (ROUBÍČEK. a kol. 2003), 7–10 MJ·kg<sup>-1</sup> (MILČÁK 2003), 8–10 MJ·kg<sup>-1</sup> (DEMKO 2003). Úspešne bolo odskúšané aj spoločné spaľovanie hnedého uhlia s čistiarenským kalom (CEMERKOVÁ 2003). Z technického hľadiska existujú dva modely spaľovania čistiarenských kalov a to spaľovanie vysušeného kalu a spaľovanie vlhkého kalu s iným palivom. Z termodynamického hľadiska vzhľadom na výslednú energetickú bilanciu sú oba spôsoby rovnocenné. Vo väčšine prípadov spaľovanie čistiarenských kalov vychádza so zápornou energetickou bilanciou.

Výhodou spaľovania čistiarenských kalov je značná redukcia ich objemu a hmotnosti v porovnaní s pôvodným množstvom.

V súčasnosti sa spaľovanie čistiarenských kalov považuje za moderný spôsob zneškodňovania odpadov. Tento spôsob zneškodňovania čistiarenských kalov prináša tiež množstvo environmentálnych rizík vo vzťahu k ochrane ovzdušia (CO, PAH, PCDD/F) a zneškodňovaniu tuhých odpadov.

Energetické zhodnotenie odpadov na báze papiera, hlavne ťažko recyklovateľných, môže byť vhodnou alternatívou v prípade prebytkov zberového papiera.

**Tab. 5 Spaľovacie teplo a popol v odpadoch na báze papiera.**

**Tab. 5 Combustion heat and ash in paper waste.**

Vzorka	Vlhkosť [%]	Spaľovacie teplo [MJ·kg <sup>-1</sup> ]	Popol [%]
Sekundárne vlákno zo ZP	0	17,077	5,9
Obaly z 5-vrstvovej vlnitej lepenky	0	17,061	6,2
Obaly z 3-vrstvovej vlnitej lepenky	0	17,425	4,4
Obalový kartón s náterom a tlačou	0	14,385	18,4
Natieraný papier s potlačou	0	14,186	21,1
Papier s potlačou	0	16,210	11,6
Tetrapakové obaly s Al- a PE-fóliou	0	22,330	13,4
Tetrapakové obaly bez vnútorných fólií	0	17,742	10,0
Vrecový papier	0	17,518	1,0

Ťažko recyklovateľným odpadom na báze papiera sú tetrapakové obaly. Základná vrstva týchto obalov je na 75–80 % tvorená bezdrevným kartónom z dlhovláknitej sulfátovej buničiny o plošnej hmotnosti 200 g·m<sup>-2</sup>. Nápojové kartóny sú zušľachtené niekoľkými tenkými vrstvami polyetylénu (0,05 mm), ktorý dostatočne uzatvára povrch, zabezpečí zvarovateľnosť a nepriepustnosť pre tekutú alebo sypkú náplň a chráni obsah pred mikroorganizmami a vlhkosťou. Ďalšiu vrstvu tvorí hliníková fólia (0,0065 mm), ktorá je účinnou kyslíkovou bariérou a na zabránenie priameho kontaktu hliníka s potravinami je na nej nanosená vrstva polyetylénu.

Podľa práce ŽUKOWSKÉHO *et al.* (2008) tetrapak väčšinou obsahuje C (49,28 %), H (7,32 %), O (35,71 %) a Al, neobsahuje prvky ako F, Cl, Br, S, N, P a ťažké kovy.

Spaľovacie teplo tetrapakových obalov bez vnútorných fólií bolo 17,7 MJ·kg<sup>-1</sup> a bez odstránenia fólií sa zvýšilo až na 22,3 MJ·kg<sup>-1</sup> (hlavne vďaka PE-fólie) pri vzraсте obsahu popola z 10,0 % na 13,4 % v dôsledku obsahu Al (Obr. 1).

Hodnoty spaľovacieho tepla obalov z kartonáže, sekundárnych vlákien zo zberového papiera a vrecových papierov sa pohybovali v rozmedzí 17,0 až 17,5 MJ·kg<sup>-1</sup> pri obsahu popola od 1,0 do 6,2 %. Naproti tomu hodnoty spaľovacieho tepla natieraných papierov, prípadne papierov s potlačou (Tab. 5) sa vplyvom povrchových náterov a tlačiarenských farieb znížili v dôsledku zvýšeného obsahu popola.

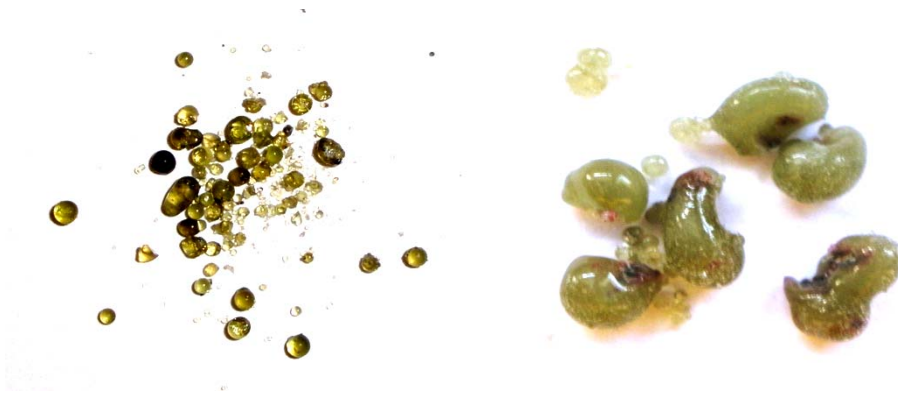
Väčšina papierov je zušľachtená prídavkom minerálnych látok, či už vo forme plniv alebo povrchových náterov na báze kremičitanov, síranov, uhličitanov a oxidov prevažne horčička

a vápnika. Najčastejšie používanou zložkou je kaolín ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (BLAŽEJ, KRKOŠKA 1989).

Vplyv minerálnych zložiek vo vzorkách odpadov na báze papiera sa prejavil sklovitým charakterom popola (Obr. 1, Obr. 2) nakoľko popol tvorený ľahko taviteľnými minerálmi začína mäknúť pri teplotách okolo 830 °C.



**Obr. 1** Charakter popola vzorky tetrapaku bez Al-fólie a s Al-fóliou.  
**Fig. 1** Ash characteristics of tetrapak sample without and with Al-foil.



**Obr. 2** Charakter popola vzorky obalov vlnitej lepenky a vzorky natieraných papierov.  
**Fig. 2** Ash characteristics of corrugated cardboard and coated paper samples.

Z aspektu zanášania kúreniska kotla problémom pri spaľovaní biomasy je biopalivo obsahujúce vyššie zastúpenie draslíka v popolovine. Draslík pri teplote od 850 °C sa speká na sklovitú hmotu, ktorá sa veľmi silne naväzuje na výmurovku a rošt. Odstraňovanie uvedených sklovitých nánosov je nielen namáhavé a obtiažne, ale pri mechanickom čistení sa odlupujú i vrstvy výmurovky, čo spôsobuje jej mechanické poškodzovanie a deštrukciu (DZURENDA, JANDAČKA 2007).

## ZÁVER

Získané poznatky potvrdzujú, že v sledovaných odpadoch z biomasy je uložený významný energetický potenciál, ktorý je možné využiť. Je ale potrebné si uvedomiť, že energetické zhodnotenie by malo stáť až na samom konci životného cyklu biomasy.

Najvyšší energetický obsah zo sledovaných odpadov s obsahom biomasy majú odpady

na báze papiera od 14,2 až 17,5 MJ·kg<sup>-1</sup>, z ktorých sa vymykajú Tetrapakové obaly, kde PE-fólia zvyšuje energetický obsah až nad 22,0 MJ·kg<sup>-1</sup>. Vo všeobecnosti najnižší energetický obsah majú vďaka vysokému podielu nehorľavých zložiek kaly: celulózo-papierenské kaly 5,7 až 7,5 MJ·kg<sup>-1</sup> a kaly z ČOV 11,6 až 13,4 MJ·kg<sup>-1</sup>, pri spaľovaní ktorých je nezanedbateľným prínosom redukcia ich celkového objemu a hmotnosti.

Energetické zhodnotenie biomasy má však aj slabé stránky:

- produkujú sa emisie do ovzdušia, tuhý a v niektorých procesoch aj kvapalný odpad (decht)
- efektívnosť procesu je závislá od množstva energeticky využiteľných materiálov v odpade ako sú papier, drevo alebo potravinový odpad. Práve tieto zložky sú veľmi vhodné na kompostovanie a tvoria cennú recyklovateľnú časť odpadu
- recyklácia odpadu vytvára viac pracovných príležitostí a je stále efektívnejšia z hľadiska využiteľnosti odpadu a vplyvu na životné prostredie, ako tepelný proces spracovania
- energia z biomasy nemôže v súčasnosti ekonomicky konkurovať energii získanej z fosílnych palív.

Uvedené nevýhody tepelného spracovania odpadnej biomasy sú čiastočne prechodné a budú sa odstraňovať počas ďalšieho výskumu a vývoja tohto procesu, ktorý vyústí do nových technológií.

## LITERATÚRA

- BLAŽEJ, A., KRKOŠKA, P. 1985. Technológia výroby papiera. 1. vyd. Bratislava: Veda, 1985. 404 s.
- BODÍK, I. *a kol.* 2010. Možnosti spracovania biomasy s cieľom produkcie bioplynu na čistiarňach odpadových vôd. In. Produkcia bioplynu, pyrolýza a splynovanie – efektívny spôsob zhodnotenia biomasy ako obnoviteľného zdroja energie: zborník príspevkov. Bratislava: STU, 2010, s. 80–88.
- CEMERKOVÁ, A. 2003. Energetické využití a likvidace směsi čistírenských kalů, biomasy a hnědého uhlí spalováním v reaktoru s cirkulující fluidní vrstvou. In. Energie z biomasy – seminář 2003. Brno, 2003, s. 7–12. ISBN 80-214-3067-2.
- DEMKO, J. 2003. Environmentálne aspekty zhodnocovania a zneškodňovania čistírenských kalov, Výskumný ústav vodného hospodárstva, 2003, 1. vyd., ISBN 80-89062-30-X.
- DZURENDA, L., JANDAČKA, J. 2010. Energetické využitie dendromasy. 1. vyd. Zvolen: TU vo Zvolene, 2010. 162 s. ISBN 978-80-228-2082-0.
- GEFFERT, A., GEFFERTOVÁ, J. 2004. Zloženie celulózo-papierenských kalov a možnosti ich využitia. In. TOP 2004 Technika ochrany prostredia. Bratislava: STU, 2004, s. 297–303. ISBN 80-227-2058-5.
- GEFFERT, A., MOJŽIŠKOVÁ, M. 2009. Tepelná izolácia na báze celulózo-papierenských kalov. In. Partikulárne látky vo vede, priemysle a životnom prostredí. Košice: TU-StavF, s.13–21. ISBN 978-80-533-0270-6.
- KARKULÍN, D. 2007. Čistiarenské kaly – pre niekoho hodnotné hnojivo, pre iných nebezpečný odpad. [www.agromagazin.sk/data/05/cele/cela02.php](http://www.agromagazin.sk/data/05/cele/cela02.php), 14. 6. 2007
- MARKOŠ, J., JELEMENSKÝ, Ľ., GAŠPAROVIČ, L. 2010. Pyrolýza a splynovanie biomasy: Základná charakteristika procesu, zariadenia. In. Produkcia bioplynu, pyrolýza a splynovanie – efektívny spôsob zhodnotenia biomasy ako obnoviteľného zdroja energie. Bratislava: STU, 2010, s. 36–48.
- MILČÁK, P. 2003. Možnosti termického využívání kalů v kotli s cirkulující fluidní vrstvou. In. Energie z biomasy – seminář 2003. Brno, 2003. s. 67–71. ISBN 80-214-3067-2.
- ROUBÍČEK, V. *a kol.* 2003. Modelový výzkum energetického využití alternativních paliv. In. Acta Mechanic Slovaca. Košice: TU-StrojF, s. 153–158, 3/2003, ISSN 1335-2393.
- SEDLÁČEK, S. *a kol.* 2010. Fermentačný zvyšok a jeho vplyv na čistiareň odpadových vôd. In. Produkcia bioplynu, pyrolýza a splynovanie – efektívny spôsob zhodnotenia biomasy ako obnoviteľného zdroja energie. Bratislava: STU, 2010, s. 96–98.
- STN ISO 1928 (44 1352): 2003, Tuhé palivá. Stanovenie spaľovacieho tepla kalorimetrickou metódou v tlakovej nádobe a výpočet výhrevnosti.
- VÍGLASKÝ, J., GEFFERTOVÁ, J., GEFFERT, P. 2007. Technologický priemyselný odpad z výroby preglejok ako strategická energetická surovina. In. Selected processes at the wood processing [elektronický zdroj]: zborník príspevkov. Zvolen: TU vo Zvolene, 2007. s. 311–318. ISBN 978-80-228-1768-4.

ZUKOWSKI, W. *a kol.* 2008. Recovery of aluminium from multi-component packaging using a fluidised bed reactor. Polish Journal of Chemical Technology, 2008, 10(4): 40–44, ISSN 1509-8117.

#### **PodĎakovanie**

Autori Ďakujú agentĳre VEGA SR za finanĎnú podporu pri riešení projektu 1/0334/11, v rámci ktorého vznikol prezentovaný príspevok.

#### **Adresa autorov**

Ing. Jarmila Geffertová, PhD.  
doc. Ing. Anton Geffert, CSc.  
Technická univerzita vo Zvolene  
Drevárska fakulta  
Katedra chémie a chemických technológií  
T. G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen  
Slovensko  
jgeffert@vsld.tuzvo.sk  
geffert@vsld.tuzvo.sk

