

Mateja Grubor, Tajana Krička, N. Voća, Vanja Jurišić, N. Bilandžija, A. Antonović, Ana Matin

Izvorni znanstveni članak – Original scientific paper
Primljeno – Received: 20. svibanj – May 2015

SAŽETAK

Posljednjih godina provedena su različita istraživanja koja ukazuju na veliki potencijal prerade posliježetvenih ostataka za proizvodnju energije. Zahvaljujući novim tehnologijama posliježetveni ostaci se mogu na razne načine iskoristiti za dobivanje toplinske i električne energije te tekućih ili plinovitih goriva. Jedan od oblika pretvorbe poljoprivrednih ostataka za dobivanje energije je proces pirolize. Stoga je cilj ovog istraživanja bio utvrditi svojstva slame nekoliko važnijih vrsti žitarica (slama pšenice, ječma, zobi i tritikala) s ciljem uvida u njihov potencijal za proizvodnju energije izravnim sagorijevanjem i pirolizom. Istraživanje je pokazalo da se konačni produkti pirolize slame žitarica, biougljen i bioulje, mogu koristiti kao sirovine za proizvodnju energije (neposredno ili kao sirovina u su spaljivanju), dok se biougljen može koristiti i kao poboljšivač tla.

Ključne riječi: slama žitarica, piroliza, proizvodnja energije

UVOD

Velika potrošnja energije kao i fosilnih goriva daje sve veću važnost istraživanjima alternativnih načina proizvodnje energije. Veliku ulogu u tim istraživanjima ima proizvodnja energije i goriva iz poljoprivredne biomase. Biomasa obuhvaća širok spektar sirovina koje se zahvaljujući novim tehnologijama mogu na razne načine iskoristiti za dobivanje toplinske i električne energije te tekućih ili plinovitih goriva. Osim što se korištenjem biomase dobiva energija, također se na ekološko prihvatljiv način zbrinjava i iskorištava otpad i ostatak iz poljoprivrede, šumarstva i prerade drva (Jurišić i sur., 2016.). Biomasa se može prevesti u korisne oblike energije koristeći nekoliko različitih procesa pretvorbe. Izbor procesa ovisi o tipu, svojstvima i količini raspoložive biomase, željenom krajnjem obliku energije, standardima okoliša te isplativosti samog postupka (McKendry, 2002.; Saxena i Adhikari, 2009.; Bilandžija i sur. 2016.). Najzastupljeniji oblici pre-

tvorbe biomase u energiju jesu proces izravnog sagorijevanja te proizvodnja tekućih biogoriva (biodizelsko gorivo i bioetanol).

Slama žitarica koristi se u proizvodnji druge generacije biogoriva i ubraja se u sirovine lignoceluloznog sastava (celuloza, hemiceluloza i lignin). Najvažnija svojstva lignocelulozne biomase su vrlo dobra čvrstoća, zapaljivost, biorazgradivost i reaktivnost (Olesen i Plackett, 1999.). Prosječne vrijednosti lignoceluloznog sastava biomase su: 40 – 60% celuloze, 20 – 40% hemiceluloze te 10 – 25% lignina (USDOE, 2004). Lignin pruža čvrstoću strukturi (Lange, 2007.) te je biomasa s višim udjelom lignina pogodnija za proizvodnju električne i/ili toplinske energije procesom izravnog sagorijevanja (Predojević, 2010.; Hodgson i sur., 2010., Bilandžija i sur. 2016.). Nadalje, žitarice imaju dugu tradiciju uzgoja u Republici Hrvatskoj, a njihova slama, u smislu posliježetvenih ostataka, predstavlja potencijalno visokovrijedan izvor biomase

Mateja Grubor, mag. ing. agr.; (grubor.mateja@gmail.com), Prof. dr. sc. Tajana Krička; Doc.dr. sc. Vanja Jurišić, Doc. dr. sc. Nikola Bilandžija, Prof. dr. sc. Neven Voća; Doc. dr. sc. Ana Matin, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10 000 Zagreb, Doc. dr. sc. Antonović Alan, Sveučilište u Zagrebu Šumarski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10 000 Zagreb

za proizvodnju energije (izravnim sagorijevanjem, pirolizom). Po definiciji, piroliza je proces toplinskog raspadanja biomase, uz oslobađanje plinova prilikom izgaranja. Provodi se bez prisutnosti kisika pri temperaturama od 400 do 600°C, kada započinje proces razgradnje plinova (Qiang i sur., 2009.). Pirolizom biomase mogu se dobiti proizvodi kao što su bioulje i biougljen (Ibarrola i sur., 2012.). Bioulje se smatra vrlo kvalitetnim tekućim biogorivom, a biougljen je stabilni produkt koji se upotrebljava kao gnojivo i/ili poboljšivač tla (Shackley i Sohi, 2010.; Verheijen i sur., 2010.; Krička i sur., 2016.), ali i kao energent za su spaljivanje u elektranama (Anderson i sur., 2013.; Jurišić i sur., 2016.).

Cilj ovog rada bio je utvrditi potencijal posliježe-
tenih ostataka slame žitarica (pšenice, ječma, zobi i tritikale), za proizvodnju bioulja i biougljena termičkom pretvorbom - pirolizom. Budući da vrsta sirovine značajno utječe na proces pirolize, cilj rada također je bio utvrditi kemijska i fizikalna svojstva ulaznih sirovina prije te nakon samog procesa pirolize.

MATERIJALI I METODE

Istraživanje je provedeno na Zavodu za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu. Istraživanja su provedena na biomasi slame žitarica i to slami pšenice, ječma, zobi i tritikale. Analizama je prethodilo usitnjavanje uzoraka u laboratorijskom mlinu (IKA Analysentechnik GmbH, Njemačka), nakon čega je standardnim metodama utvrđen sadržaj vode (CEN/TS 14774-2:2009), pepela (CEN/TS 14775:2009), koks (CEN/TS 15148:2009), fiksiranog ugljika (računski) i hlapive tvari (CEN/TS 15148:2009) te je u kalorimetru IKA C200 (IKA Analysentechnik GmbH, Njemačka) utvrđena gornja ogrjevna vrijednost u uzorcima (HRN EN 14918:2010). Također je napravljena analiza distribucije čestica sirovine prije pirolize (CEN/TS 15149-1:2009). Nakon analiza ulaznih sirovina, proveden je proces pirolize uzoraka slame u laboratorijskim uvjetima, pri temperaturi od približno 400 °C, pri čemu je utvrđen udio dobivenog biougljena i bioulja

Tablica 1. Analiza ulaznih sirovina slama žitarica

Table 1 Analysis of cereal straw - incoming raw materials

Parametri analize - Analysis parametre	Uzorak - Sample			
	Slama pšenice - Wheat straw	Slama ječma - Barley straw	Slama zobi - Oat straw	Slama tritikala - Triticale straw
Strukturalna svojstva (%) - Structural properties (%)				
Celuloza - Cellulose	31,2 ^c ± 0,11	45,66 ^a ± 0,13	30,64 ^d ± 0,07	38,23 ^b ± 0,11
Hemiceluloza - Hemicellulose	37,62 ^b ± 0,08	17,56 ^d ± 0,07	39,67 ^a ± 0,02	26,04 ^c ± 0,05
Lignin - Lignin	22,28 ^d ± 0,08	29,27 ^a ± 0,09	23,18 ^c ± 0,08	24,71 ^b ± 0,03
Fizikalno-kemijska svojstva - Physico-chemical properties				
Voda - Water	6,66 ^d ± 0,24	7,11 ^c ± 0,07	9,13 ^a ± 0,22	8,67 ^b ± 0,32
Pepeo - Ash	2,54 ^d ± 0,06	3,70 ^c ± 0,08	9,04 ^a ± 0,12	6,07 ^b ± 0,03
Fiksirani ugljen - Fixed carbon	12,39 ^a ± 0,11	12,51 ^a ± 0,10	5,27 ^b ± 0,24	13,49 ^a ± 1,25
Hlapive tvari - Volatile substances	78,23 ^a ± 0,42	76,40 ^b ± 0,11	79,66 ^a ± 0,32	34,62 ^c ± 1,49
Gorive tvari - Combustible substances	90,62 ^a ± 0,31	88,90 ^b ± 0,02	84,93 ^c ± 0,09	48,10 ^d ± 0,24
Koks - Coke	16,20 ^{cb} ± 0,24	17,76 ^b ± 0,18	14,90 ^c ± 0,46	34,76 ^a ± 2,56
Energetska svojstva - Energy properties				
Gornja ogrjevna vrijednost (MJ/kg) - Higher heating value (MJ/kg)	16,82 ^c ± 0,01	16,41 ^d ± 0,01	18,24 ^a ± 0,01	16,93 ^b ± 0,05

^{a,b,c,d} Srednje vrijednosti ± SD, s istim slovom nisu značajno različite (p < 0,05) prema Tukey-evom HSD testu
^{a,b,c,d} Means ± SD with the same letter are not significantly different (p < 0.05) by Tukey-HSD test

(računski). Biougljen je potom analiziran gore navedenim standardnim metodama. Određivanje sadržaja celuloze, hemiceluloze i lignina ulaznih sirovina provedeno je sukladno standardnoj proceduri prema Antonović i sur. (2010.). Podaci su analizirani pomoću statističkog programskog paketa SAS verzije 9.1 (USA).

REZULTATI I RASPRAVA

Da bismo dobili uvid u potencijal sirovine za proizvodnju energije izravnim sagorijevanjem, potrebno je utvrditi njezina strukturalna, fizikalno-kemijska te energetska svojstva. Stoga je u Tablici 1 prikazan sadržaj celuloze, hemiceluloze i lignina, sadržaj vode, goriva svojstva istraživane slame žitarica te njihove ogrjevne vrijednosti.

Biomasa s višim udjelom lignina pogodnija je za proizvodnju energije procesom izravnog sagorijevanja, dok je tijekom proizvodnje biogoriva druge generacije poželjan njegov što niži udio (Predojević, 2010.; McKendry, 2002.; Hodgson i sur., 2010.; Bilandžija i sur., 2016.). Celuloza ima višu koncentraciju kisika u odnosu na lignin, pa je ogrjevna vrijednost celuloze manja od lignina (Lewandowski i sur., 2003.). Zbog navedenog, poželjan je niži udio celuloze za proces izravnog sagorijevanja, a što viši u proizvodnji bioetanola druge generacije (iz ligno-celulozne biomase). Kao i celuloza, hemiceluloza ima višu koncentraciju kisika u odnosu na lignin pa je ogrjevna vrijednost hemiceluloze manja od lignina, stoga je također poželjan niži udio hemiceluloze u biomasi za proces sagorijevanja. Iz Tablice 1 vidljivo je da se udio lignina u slami proučavanih žitarica značajno razlikuje. S najvećim udjelom lignina, kao poželjnim svojstvom izravnog sagorijevanja, ističe se slama ječma s 29,27%.

Voda se u gorivu nalazi kao nesagorivi sastojak i ima izravan učinak na ogrjevnju vrijednost biomase zbog količine topline koja se troši na njeno isparavanje (Francescato i sur. 2008.). Uzevši u obzir sagorijevanje biomase, prema Ross i sur. (2008.) optimalni sadržaj vode kreće se između 10% i 15%. Iz Tablice 1 vidljiva je također značajna razlika ali je sadržaj vode u uzorcima biomase blizu optimalnog za sve oblike termokemijske konverzije biomase u gorivo (izravno sagorijevanje, piroliza) pa se može reći da je, s aspekta sadržaja vode, istraživana biomasa dobra sirovina za proizvodnju energije.

Prema Francescato i sur. (2008.), sadržaj pepela u poljoprivrednoj biomasi kreće se od 2% do 25%. Iz Tablice 1 vidljivo je da se sadržaj pepela kretao u tim vrijednostima, što slamu žitarica čini poželjnom za izravno sagorijevanje. Nadalje, sadržaj koksa predstavlja ostatak suhe destilacije te što ga ima više, gorivo je kvalitetnije (Francescato i sur., 2008.). Njegov sadržaj u istraživanim sirovinama kretao se od 15% kod slame zobi, do 35% kod slame tritikale (Tablica 1), a usporedbom utvrđenih sadržaja koksa s dostupnim podacima (Bilandžija i sur., 2012.), može se utvrditi da istraživani uzorci imaju približan sadržaj koksa kao i ostala poljoprivredna biomasa te da istraživani uzorci predstavljaju dobru sirovinu za proizvodnju energije.

Sadržaj fiksiranog ugljika, uz pepeo, predstavlja kruti ostatak nakon gorenja. Vrijednosti fiksiranog ugljika u istraživanoj slami žitarica kretale su se oko 5% (slama zobi) do približno 13% (ostale istraživane slame). Tijekom procesa izgaranja, biomasa se razgrađuje na hlapive plinove i kruti ostatak. Za biomasu je tipično da ima visok postotak hlapivih tvari, do 80%, a goriva koja imaju visoki sadržaj hlapivih tvari imaju manju energetska vrijednost (Quaak i sur. 1999.). Iz Tablice 1 je vidljivo da se po niskom sadržaju hlapivih tvari ističe slama tritikale s 34,62%, što je značajno niže od prosjeka pa ju čini vrlo dobrom sirovinom za izravno sagorijevanje.

Ogrjevna vrijednost je mjera za određivanje sadržaja energije u gorivu (Jenkins i sur., 1998.), a kod istraživanih sirovina iznosila je od 16,41 MJ/kg kod slame ječma do 18,24 MJ/kg kod slame zobi, što je u skladu s dostupnim podacima za poljoprivrednu biomasu (Jenkins i sur., 1998.; Bilandžija i sur., 2012.).

Veličina čestica sirovine ima značajan utjecaj na proces pirolize, jer utječe na stupanj zagrijavanja u reaktoru. Veće čestice ($>630 \mu\text{m}$) smanjuju stupanj zagrijavanja i povećavaju količinu proizvedenog biougljena. Manje čestice ($<630 \mu\text{m}$) pogoduju razgradnji ugljikovodika s povećanim sadržajem vodika, budući da je vrijeme zadržavanja hlapivih tvari u reaktoru duže (Zanzi, 2001.). Tablica 2 prikazuje distribuciju čestica sirovina prije procesa pirolize.

Iz Tablice 2 je vidljivo da je udio većih čestica (>630 μm) bio znatan u obje istraživane sirovine, iz čega slijedi i veći sadržaj proizvedenog biougljena (Tablica 3). U Tablici 3 prikazani su udjeli biougljena nakon pirolize s pripadajućim udjelima najvažnijih parametara te ogrjevnim vrijednostima biougljena.

Temeljem dobivenih rezultata iz posliježetvenih ostataka može se uočiti da postoji, bez obzira na kulturu koja se tretirala, veliki postotni udio biougljena nakon pirolize. Međutim, isto tako uočava

se signifikantna razlika postotnog udjela dobivenog biougljena između kultura. Dakle, izbor kultura posliježetvene biomase za proizvodnju biougljena vrlo je važan za proizvodnju, a u istraživanim kulturama s najvećim postotkom biougljena ističe se biomasa slame zobi.

Analizirajući količinu pepela, kao i ostala svojstva biougljena posliježetvenih ostataka nakon pirolize, uočava se vrlo velika količina pepela kod svih uzoraka, čak do 16,53% kod tritikala. Također

Tablica 2. Distribucija čestica (%) slame žitarica prije procesa pirolize

Table 2 Particles distribution (%) of cereal straw before pyrolysis

Porozitet sita – Sieve porosity	Uzorak (%) – Sample (%)			
	Slama pšenice – Wheat straw	Slama ječma – Barley straw	Slama zobi – Oat straw	Slama tritikala – Triticale straw
2 mm	0,50	0,53	0,95	2,27
1,25 mm	3,97	7,92	6,00	12,40
630 μm	28,78	39,49	34,15	39,46
300 μm	29,28	26,19	32,15	24,76
160 μm	20,67	16,74	18,05	12,30
dno	16,81	9,12	8,70	8,82

Tablica 3. Analiza biougljena slame žitarica nakon pirolize

Table 3. Analysis of cereal straw biochar after pyrolysis

Parametri analize – Analysis parametre	Uzorak - Sample			
	Slama pšenice – Wheat straw	Slama ječma – Barley straw	Slama zobi – Oat straw	Slama tritikala – Triticale straw
Biougljen (%) – Natural coal (%)	60,27 ^b \pm 0,01	55,19 ^d \pm 0,05	75,38 ^a \pm 0,01	58,88 ^c \pm 0,03
Fizikalno-kemijska svojstva – Physico-chemical properties				
Pepeo (%) – Ash (%)	11,99 ^c \pm 0,02	12,64 ^b \pm 0,03	9,15 ^d \pm 0,08	16,53 ^a \pm 0,04
Fiksirani ugljen (%) - Fixed carbon (%)	47,94 ^b \pm 0,09	50,25 ^a \pm 0,05	42,02 ^c \pm 0,12	33,15 ^d \pm 0,02
Hlapive tvari (%) – Volatile substances (%)	40,07 ^c \pm 0,16	37,11 ^d \pm 0,07	48,83 ^b \pm 0,21	50,31 ^a \pm 0,09
Gorive tvari (%) – Combustible substances (%)	91,34 ^a \pm 5,78	87,36 ^{ba} \pm 0,08	90,85 ^a \pm 0,38	83,47 ^b \pm 0,12
Koks (%) – Coke (%)	59,93 ^b \pm 0,05	62,89 ^a \pm 0,11	51,17 ^c \pm 0,01	49,69 ^d \pm 0,01
Energetska svojstva – Energy properties				
Gornja ogrjevna vrijednost (MJ/kg) – Higher heating value (MJ/kg)	24,72 ^d \pm 0,03	25,35 ^b \pm 0,01	25,70 ^a \pm 0,01	24,87 ^c \pm 0,06

^{a,b,c,d} Srednje vrijednosti \pm SD, s istim slovom nisu signifikantno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu

^{a,b,c,d} Means \pm SD with the same letter are not significantly different ($p < 0,05$) by Tukey-HSD test

se uočava velika količina koksa, što predstavlja dobru osobinu kod izgaranja, najveći postotak koksa imala je slama ječma (62,89%) dok je najniži imala slama tritikalea (49,69%). Uzimajući u obzir da veće količine pepela uzrokuju stvaranje čađe i korozije u sustavima za izgaranje biomase (Biedermann i sur., 2005.) slama tritikala pokazala se kao najlošija sirovina u odnosu na ostale proučavane kulture.

U dosadašnjim istraživanjima bio ugljena nakon pirolize drvnih ostataka (Sukiran i sur., 2011.; Anderson i sur., 2013.), ogrjevna vrijednost kretala se u rasponu od 20-30 MJ/kg. Iz Tablice 3 vidljivo je da se u ovom istraživanju ogrjevna vrijednost bio ugljena slame žitarica kretala oko 25 MJ/kg, što ga čini još boljim energentom po jedinici mase nego li je to ulazna sirovina. Ove vrijednosti su nešto manje od onih koje su dobili Anderson i sur. (2013.) u istraživanju pirolize drvene biomase, ali s obzirom na sastav sirovina, ovo je očekivani rezultat.

ZAKLJUČAK

U ovom istraživanju, pokazalo se da se, uzveši u obzir goriva svojstva i potencijalno nepoželjne komponente sirovine, različita slama žitarica može koristiti za proces izravnog sagorijevanja. Isto tako, postupkom pirolize, slama različitih kultivara žitarica je uspješno konvertirana u bio ugljen i bio ulje, kao visokovrijedna sirovina za dobivanje energije. Također se može utvrditi da se pirolizom dobiva veliki udio bio ugljena iz slame žitarica. Pritom postoji vrlo velika razlika u dobivenom udjelu u odnosu na kultivare.

ZAHVALA

Ovo istraživanje financirala je Hrvatska zaklada za znanost, u okviru projekta br. 3328, "Converting waste agricultural biomass and dedicated crops into energy and added value products – bio-oil and biochar production".

LITERATURA

1. Anderson, N. J., Greg Jones, J. G., Page-Dumroese, D., McCollum, D., Baker, S., Loeffler, D., Chung, W. (2013.): A Comparison of Producer Gas, Biochar, and Activated Carbon from Two Distributed Scale Thermochemical Conversion Systems Used to Process Forest Biomass. *Energies*. 6: 164-183.
2. Antonović, A., Jambrečević, V., Franjić J., Španić N., Pervan S., Ištvančić J., Bubljić A. (2010.): Influence of sampling location on content and chemical composition of the beech native lignin (*Fagus sylvatica* L.). *Periodicum Biologorum*, 112: 327-332.
3. Biedermann, F., Obernberger, I. (2005.): Ash Related Problems During Biomass Combustion. Possibilities for Sustainable Ash Utilisation. Institute Agrotechnology and Food Innovations-Biobased Products. Austrian Bioenergy Center. Austria.
4. Bilandžija, N., Voća, N., Krička, T., Matin, A., Jurišić, V. (2012.): Energy potential of fruit tree pruned biomass in Croatia. *Spanish J Agr Res*. 10 (2): 292-298.
5. Bilandžija, N., Jurišić, V., Voća, N., Leto, J., Matin, A., Antonović, A., Krička, T. (2016.): Lignocelulozni sastav trave *Miscanthus x giganteus* u odnosu na različite tehnološke i agroekološke uvjete. 51st Croatian and 11th International Symposium on Agriculture, 450-455.
6. CEN/TS: 14774-2:2009 (2009.): Solid biofuels - Methods for the determination of moisture content; 14775:2009 (2009.): Solid biofuels - Methods for the determination of ash content; 15148:2009 (2009.): Solid biofuels - Method for the determination of the content of volatile matter. Europska komisija za standardizaciju.
7. Francescato, V., Antonini, E., Bergomi, L. Z. (2008.): Priručnik o gorivima iz drvene biomase. Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske.
8. HRN EN 14918:2010 (2010.): Solid biofuels - Determination of calorific value. Europska komisija za standardizaciju.
9. Hodgson, E.M., Lister, S.J., Anthony, V.B., Clifton-Brown, J., Donnison, I.S. (2010.): Genotypic and environmentally derived variation in the cell wall composition of *Miscanthus* in relation to its use as a biomass feedstock. *Biomass and Bioenergy*, 34: 652-660.
10. Ibarrola, R., Shackley, S., Hammond, J. (2012.): Pyrolysis biochar systems for recovering biodegradable materials: A life cycle carbon assessment. *Waste Management*. 32: 859-868.
11. Jenkins, B.M., Baxter, L.L., Miles, Jr. T.R., Miles, T.R. (1998.): Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology*. 54: 17-46.
12. Jurišić, V., Krička, T., Matin, A., Bilandžija, N., Antonović, A., Voća, N., Torić, T. (2016.): Proizvodnja energije i proizvoda dodane vrijednosti pirolizom koštica trešnje i višnje. 51st Croatian and 11th International Symposium on Agriculture, 475-480.

13. Krička, T., Jurišić, V., Matin, A., Bilandžija, N., Antonović, A. (2016.): Mogućnosti pretvorbe i iskorištenja ostataka poljoprivredne biomase nakon procesa pirolize. 51st Croatian and 11th International Symposium on Agriculture, 485-489.
14. Lange, J.P. (2007.): Lignocellulose conversion: an introduction to chemistry, process and economics. *Biofuels, Bioprod. Bioref.*, 1: 39-48.
15. Lewandowski, I., Clifton-Brown, J.C., Andersson, B., Basch, G., Christian, D.G., Jorgensen, U., Jones, M.B., Riche, A.B., Schwarz, K.U., Tayebi, K., Texerija, F. (2003.): Environment and harvest time affect the combustion qualities of *Miskantus* genotypes. *Agronomy Journal*, 95: 1274 – 1280.
16. McKendry, P. (2002.): Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83: 37–46.
17. Olsen, P.O., Plackett, D.V. (1999.): Perspectives on the performance of natural plant fibres. Proceedings of the International Conference Natural Fibres Performance Forum. May 27 – 28. Copenhagen, Denmark.
18. Predojević, Z. (2010.): Postupci pripreme lignocelulozne sirovine za dobivanje bjetanola. Stručan rad. Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novome Sadu, Novi Sad. *Hem. ind.* 64: 283 – 310.
19. Qiang, L., Li, W.Z., Zhu, X.F. (2009.): Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils. *Energy Conversion and Management*. 50: 1376–1383.
20. Quaak, P., Knoef, H., Stassen, H. (1999.): *Energy from Biomass: A Review of Combustion and Gasiification Technologies*. The International Bank for Reconstruction. SAD.
21. Ross, C. J. (2008.): *Biomass Drying and Dewatering for Clean Heat and Power*. Northwest CPH Application Center. USA.
22. Saxena, D.K., Adhikari, H.B. (2009.): Goyal Biomass-based energy fuel through biochemical routes: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 13, Issue 1, 167-178.
23. Shackley, S., Sohi, S.P. (2010.): *An assessment of the benefits and issues associated with the application of biochar to soil*. Defra, London. p. 132.
24. Sukiran, M., Kheang, L., Bakar, N., May, C. (2011.): Production and characterization of bio-char from the pyrolysis of empty fruit bunches. *American Journal of Applied Sciences*. 8: 984–988.
25. USDoE - U.S. Department of Energy (2004.): *Understanding Biomass as a Source of Sugars and Energy*. Biomass Program.
26. Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A.C., van der Velde, M., Diafas, I. (2010.): *Biochar Application to Soils. A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions*. JRC Scientific and Technical Reports. EK, DG JRC. Italija.
27. Zanzi, R.V. (2001.): *Pyrolysis of biomass*. Disertacija. Royal Institute of Technology, Stockholm, Švedska.

ABSTRACT

In recent years various studies have been conducted that indicate the great potential of postharvest residues processing for energy production. Thanks to the new technologies postharvest residues can be utilized in many different ways to obtain heat and electricity and also liquid or gaseous fuels. One of the most important forms of conversion of residues for energy production is pyrolysis. The objective of this study was to provide information on combustion and pyrolysis of cereal straw (wheat straw, barley straw, oat straw, triticale straw). Research has shown that the final products after pyrolysis of cereals straw, biochar and bio-oil, can be used as feedstock for energy production (directly or as a feedstock in the co-incineration), while biochar can be used as soil enhancer.

Keywords: cereal straw, pyrolysis, energy production