

## Energetski aspekti korišćenja rezidbenih ostataka iz proizvodnje jabuke

Miloš Pajić<sup>1</sup>, Milan Dražić<sup>1</sup>, Vesna Pajić<sup>1</sup>, Dušan Radojičić<sup>1</sup>,  
Kosta Gligorević<sup>1</sup>, Ivan Zlatanović<sup>1</sup>, Mićo Oljača<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu,  
Zemun-Beograd, Republika Srbija*

### Sažetak

Velike količine biomase nastaju kao rezultat rezidbe voćaka, što predstavlja obaveznu pomotehničku meru. Dugogodišnja praksa uništavanja i spaljivanje rezidbenih ostataka se teško menja, ali energetski i ekološki pokazatelji ukazuju na značaj pravilne eksploatacije ovom biomasom. Cilj ovog rada je da ukaže na količine, energetske vrednosti i potencijal rezidbenih ostataka nastalih u proizvodnji jabuka, kao i načine i mogućnosti njegove pravilne eksploatacije. U Republici Srbiji jabuka se gaji na oko 40.000 ha, sa uobičajenim prinosom biomase od 3t ha<sup>-1</sup> rezidbenih ostataka. Prosečna gornja toplotna vrednost ostataka rezidbe dve sorte jabuke (Idared, Jonagold), pri vlažnosti od 42,36%, iznosi 18,14 MJ kg<sup>-1</sup>.

*Ključne reči:* prinos biomase, energija, vlažnost, toplotna moć, CO<sub>2</sub>

### Uvod

Biomasa je jedan od najdostupnijih obnovljivih izvora energije i kao takva ulazi u energetske bilanse, ekonomiju i organizovano korišćenje većine razvijenih zemalja. U Srbiji, od ukupnih energetskih potencijala obnovljivih izvora energije oko 60% čini biomasa (Ilić i sar. 2004). Kako je u Srbiji raširena poljoprivredna proizvodnja otuda imamo i pojavu gotovo svih tipova biomase koji su karakteristični za naše klimatsko po-

dručje, a to su pre svega ostaci iz: ratarske, voćarske, vinogradarske, stočarske i šumarske proizvodnje, kao i komunalni otpad (Sabo i Ponjičan, 1998). Većina biomase iz prethodno navedenih proizvodnji u Srbiji se tretira kao nus proizvod. U tehnologiji i praksi primenjenoj u voćarsko - vinogradarskoj proizvodnji najčešće se vrši sakupljanje i spaljivanje rezidbenih ostataka nakon rezidbe. U nekim slučajevima se vrši usitnjavanje biomase i njena inkorporacija u zemljište (Pajić i sar., 2011a). U oba slučaja ostaci rezidbe su izgubljeni kao energetski vredan i količinski značajan izvor energije.

Velike količine biomase nastaju kao rezultat rezidbe voćaka, što predstavlja obaveznu pomotehničku meru. Dugogodišnja praksa uništavanja i spaljivanje rezidbenih ostataka se teško menja, ali energetski i ekološki pokazatelji ukazuju na značaj pravilne eksploatacije ovom biomasom. U nizu mogućih načina kvalitetnog iskorišćenja biomase je i njeno sagorevanje u cilju transformisanja hemijske energije biomase u pogodne vidove energije za finalne potrebe (razni vidovi namenske toplotne energije).

Korišćenje biomase iz višegodišnjih zasada ima prednost u tome što se najčešće nalazi na mestu potrošnje ili u njegovoj neposrednoj blizini. Sa ekološkog stanovišta, posebno je značajna činjenica da biomasa u svom elementarnom sastavu u principu ne sadrži sumpor ili je sadržaj sumpora bar za red veličine manji od sadržaja u fosilnim gorivima. Hemijski sastav dobijene biomase, koji podrazumeva veliki procenat kiseonika, manji procenat ugljenika i nešto veći procenat vodonika, i čini je znatno povoljnijim gorivom za sagorevanje u odnosu na ugalj. Pored toga, u biomasu nema sumpora koji pri sagorevanju stvara SO<sub>2</sub> koji je najveći zagađivač pri sagorevanju fosilnih goriva. Nakon sagorevanja biomase ostaju jako male količine pepela, što predstavlja prednost u poređenju sa čvrstim fosilnim gorivima.

Pozitivan efekat korišćenja biomase se postiže i supstitucijom dela uglja u sistemima za sagorevanje, odnosno zajedničkim sagorevanjem biomase i uglja - kosagorevanjem. Pri razmatranju karakteristika biomase treba uočiti i njene nedostatke (mala gustina, heterogenost sastava, vremenska promenljivost sastava i količinska raspoloživost), kao i probleme vezane sa prikupljanjem, transportom i skladištenjem biomase (Radojević i sar., 2005).

Ukupni energetski potencijal ostataka biomase u našoj zemlji je procenjen na 115.000 TJ god.<sup>-1</sup>. Ukupni energetski potencijal ostataka

poljoprivredne biomase iznosi oko 65.000 TJ/god (Đajić, 2002) u koji se ubraja i 200.000 t god.<sup>-1</sup> ostataka rezide voćaka, vinove loze i prerade voća.

Energija koja bi se godišnje mogla dobiti korišćenjem biomase u Srbiji procenjena je na 2,68 miliona tona ekvivalentne nafte. Od toga se 1,66 miliona tona ekvivalentne nafte odnosi na poljoprivredu (Oka i Jovanović, 1997; Ilić i sar., 2004), a oko milion tona na šumsku biomasu.

Jabuka se u Republici Srbiji u 2010. godini gajila na 15.880.000 stabala, što dalje proizvodi oko 50.000 t god.<sup>-1</sup> biomase (Živković i sar., 2012; Republički zavod za statistiku Republike Srbije [RZZSRS], 2011), gde je energetski potencijal takve biomase oko 900 TJ god.<sup>-1</sup> ili 37,1 tona ekvivalentne nafte.

Obnovljivi izvori energije bi se u našoj zemlji, u bliskoj budućnosti, prvenstveno mogli koristiti za zadovoljenje niskotemperaturnih toplotnih potreba (grejanje, pripremu potrošne tople vode, sušenje, klimatizaciju), a znatno manje za visokotemperaturne potrebe (proizvodnja električne energije, procesna toplota).

## Materijal i metode rada

Istraživanja prikazana u ovom radu su sprovedena na Oglednom dobru Radmilovac, Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu, tokom 2010/11 godine. Praćeni su ostaci rezidbe kod dve sorte jabuke Jonagold i Idared. Jabuka je posađena na rastojanju 4 x 1,5 m sa uzgojnim oblikom – vitko vreteno. Obe sorte za podlogu imaju M26, a starost zasada je 18 godina. Zemljište u zasadu se održava kombinacijom konvencionalne obrade zemljišta i malčom.

Količina biomase po jedinici površine, koja nastaje kao produkt rezidbe u višegodišnjim zasadima, zavisi od velikog broja faktora: bujnosti podloge i sorte, godina starosti, fizičkih i hemijskih osobina zemljišta, prosečnih godišnjih temperatura, količina i rasporeda padavina, održavanja zemljišta u redu i između redova, navodnjavanja, inteziteta rezidbe, vremena sprovođenja rezidbe, zaštite, đubrenja, razmaka stabala u redu i između redova, uzgojnog oblika, kombinacije sorta-podloga i dr. U našem istraživanju je isključena zavisnost pojedinih faktora i praćen ukupno ostvaren prinos biomase nastao u procesu rezidbe.

Ogled je postavljen po potpuno slučajnom planu, pri čemu je uzorkovanje orezane mase vršeno u deset ponavljanja, a svako ponavljanje je predstavljeno jednim stablom. Rezultati koji su dobijeni u ispitivanju, korišćeni su za izračunavanje prosečnih vrednosti pokazatelja orezane

mase. Merenje mase orezanih grana je izvršeno u zasadima nakon zimske rezidbe, korišćenjem vage „Cas Shollex, tip Shre-122“.

Energetska vrednost ostataka rezidbe kod praćenih sorti jabuke je ustanovljena na osnovu gornje i donje toplotne moći. Gornja toplotna moć biomase  $H_g$  dobija se određivanjem u kalorimetrijskoj bombi „IKA C 400“, pri tome se produkti sagorevanja hlade na temperaturu okoline, a vodena para iz produkata sagorevanja se kondenzuje, pri čemu predaje toplotu promene faze (tzv. "latentnu toplotu") okolini. Poznavajući gornju toplotnu moć ( $H_g$ ) i količinu (sadržaj) vodonika (H) i vodene pare (w) u produktima sagorevanja apsolutno suve biomase može se izračunati donja toplotna moć prema izrazu:

$$H_d = H_g - 2440 (9H+W) \text{ kJ kg}^{-1}$$

$H_d$  – donja toplotna moć goriva (biomase)

$H_g$  – gornja toplotna moć goriva (biomase)

H – maseni udeo vodonika (H) u  $\text{kg kg}^{-1}$  biomase

W – higroskopska vlaga (vlaga biomase) u  $\text{kg kg}^{-1}$  biomase

Dobijena vrednost donje toplotne moći ( $H_d$ ) odnosi se na apsolutno suhu masu biogoriva. Sadržaj higroskopske vlage određen je u sušnici „Sutjeska“ na  $105^\circ\text{C}$  (International Energy Agency [IEA], 2007). Udeo vodonika (H) je određen sa CHNS uređajem „Vario EL CUBE“.

Sve izmerene vrednosti obrađene su odgovarajućim statističkim metodama, kako bi se stekao uvid u statističku značajnost dobijenih rezultata. Za potrebe opisivanja podataka korišćene su srednja vrednost, standardna devijacija, varijansa i opseg. Za utvrđivanje statističke značajnosti razlike u srednjim vrednostima određenih grupa podataka korišćen je t-test nezavisnih uzoraka. Sve analize su izvedene u softverskom paketu SPSS 17.0.

## Rezultati i diskusija

Veliki broj faktora koji utiču na prirast drvene mase u toku vegetacije kod različitih voćnih vrsta daju i različite vrednosti o masi rezidbenih ostataka. Količina orezane biljne mase u voćnjacima uslovljena je velikim brojem faktora koji zavise od bioloških osobina sorte, uzgojnog oblika, starosti voćnjaka/vinograda, agrotehničkih mera, razmaka sadnje, itd. Najveći uticaj na količinu imaju: bujnost sorte i podloge, sprovedena agrotehnika i sistem rezidbe (Di Blasi, 1997; Pajić i sar., 2011b).

Isključivši uticaj agrotehničkih mera i sistema rezidbe (identičan postupak kod obe sorte), pratili smo uticaj bujnosti sorte. Merenjima je usta-

novljeno da se kod sorte Jonagold ostvaruje veći prosečan prinos rezidbenih ostataka po jednom stablu od 3,056 kg, odnosno 5.091,3 kg ha<sup>-1</sup> ukupno rezidbenih ostataka. Ostvareni rezultati merenja orezane mase po stablu praćenih sorti jabuke u istraživanjima, detaljno su prikazan u tabeli 1.

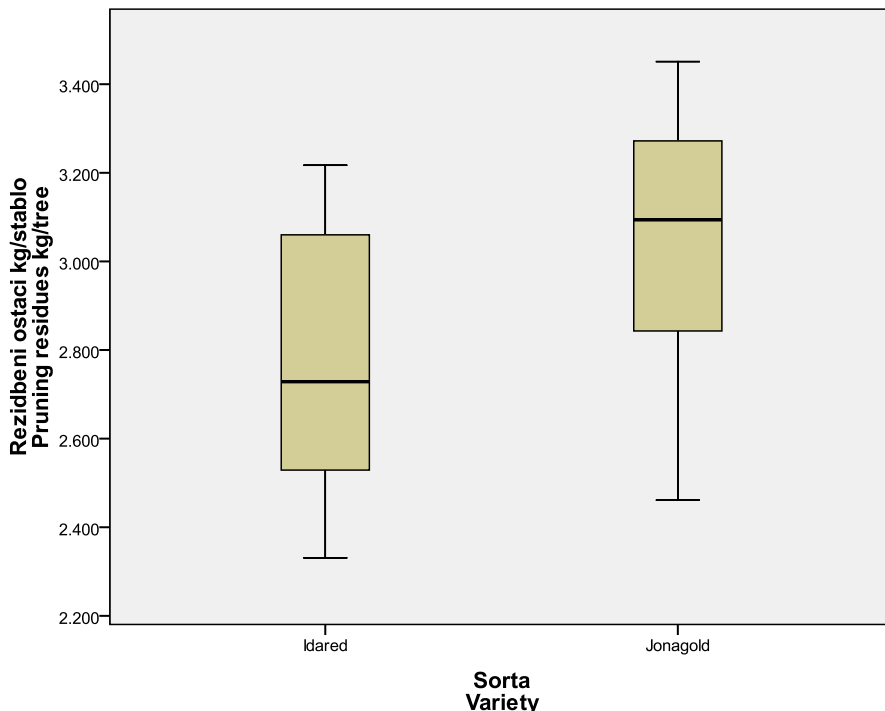
Tab. 1. Prosečne vrednosti rezidbenih ostataka nakon zimske rezidbe  
*Average values of pruning residues after winter pruning*

Sorta <i>Variety</i>	Razmak između stabala <i>Planting space</i>	Broj stabala (stabala ha <sup>-1</sup> ) <i>Number of trees</i> (trees ha <sup>-1</sup> )	Rezidbeni ostaci (kg stablo <sup>-1</sup> ) <i>Pruning residues</i> (kg tree <sup>-1</sup> )	Ukupno rezidbenih ostataka <i>Total pruning</i> <i>residues</i> (kg ha <sup>-1</sup> )
Idared	4 x 1,5 m	1667	2,774*	4.624,3
Jonagold	4 x 1,5 m	1667	3,056**	5.094,4

\* SD = 0,311

\*\* SD = 0,298

Distribucija rezidbenih ostataka prikazana je na grafikonu 1. T-test nezavisnih uzoraka pokazao je da uočena razlika u srednjim vrednostima rezidbenih ostataka ove dve sorte nije statistički značajna ( $t(18) = -2,071$ ;  $p = 0,053$ ).



Graf. 1. Plot dijagram rezidbenih ostataka (kg stablo<sup>-1</sup>)  
*Plot diagram of pruning residues (kg tree<sup>-1</sup>)*

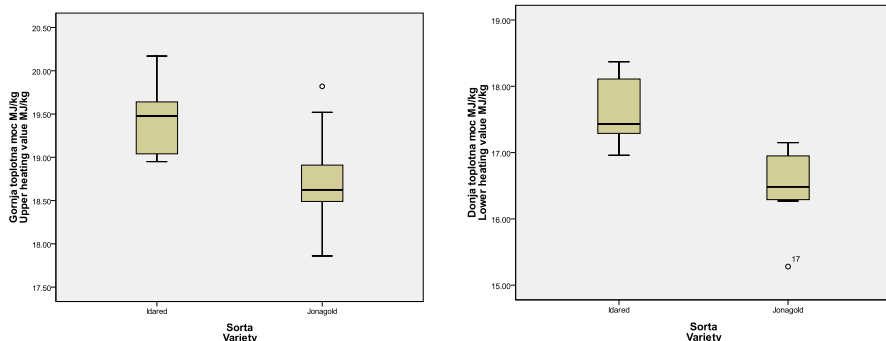
Toplotna moć biomase se razlikuje u zavisnosti od vrste i sastava same biomase, kao i od njihovog sadržaja vlage. Uzorci uzeti u ovom istraživanju, pri ustanovljenoj vlažnosti biomase, daju sledeće vrednosti gornje i donje toplotne moći koje su prikazane u tabeli 2.

Tab. 2. Vlažnost, gornja i donja toplotna moć rezidbenih ostataka jabuke  
*Humidity, higher and lower heating value of apple pruning residues*

Sorta Variety		Min.	Max.	Srednja vrednost Mean	Standardna devijacija Standard deviation	Varijansa Variance
Idare	Gornja toplotna moć Upper heating value (MJ kg <sup>-1</sup> )	18,95	20,17	19,4380	0,40669	0,165

	Higoskopska vlaga <i>Hygroscopic humidity</i> (kg kg <sup>-1</sup> biomase)	0,364	0,459	0,4167	0,036884	0,001
	Maseni udeo vodonika <i>Mass fraction of hydrogen</i> (kg kg <sup>-1</sup> biomase)	0,0182	0,0786	0,037110	0,0164487	0,001
	Donja toplotna moć <i>Lower heating value</i> (MJ kg <sup>-1</sup> )	16,96	18,37	17,6060	0,45659	0,208
Jonagold	Gornja toplotna moć <i>Upper heating value</i> (MJ kg <sup>-1</sup> )	17,86	19,82	18,7520	0,55815	0,312
	Higoskopska vlaga <i>Hygroscopic humidity</i> (kg kg <sup>-1</sup> biomase)	0,364	0,488	0,4306	0,042424	0,002
	Maseni udeo vodonika <i>Mass fraction of hydrogen</i> (kg kg <sup>-1</sup> biomase)	0,0200	0,0842	0,055170	0,0177918	0,001
	Donja toplotna moć <i>Lower heating value</i> (MJ kg <sup>-1</sup> )	15,28	17,15	16,4900	0,52873	0,280

Kako se toplotne moći biogoriva razlikuju u zavisnosti od vrste i sastava biomase, kao i od njihovog sadržaja vlage, uočene razlike dve sorte u donjoj i gornjoj toplotnoj moći su dodatno istražene. Grafikon 2 prikazuje distribuciju gornje i donje toplotne moći za obe sorte, na ispitivanim uzorcima.



Graf. 2. Plot dijagram distribucije gornje i donje toplotne moći  
*Plot diagram of the distribution of the upper and lower heating value*

Razlike u srednjim vrednostima gornje i donje toplotne moći su dodatno ispitane t-testom nezavisnih uzoraka, koji je pokazao da su ove razlike statistički značajne. Vrednosti izmerenih statistika prikazane su u tabeli 3.

Tab. 3. Rezultati T-testa  
*Results of T-test*

Gornja toplotna moć <i>Upper heating value</i>	$t(18) = 3,141; p < 0,01$
Donja toplotna moć <i>Lower heating value</i>	$t(18) = 5,052; p < 0,01$

Ukoliko se posmatra energetska vrednost biomase proizvedene u voćnjaku jabuke, sem gornje i donje toplotne moći, bitan faktor uticaja je i količina orezene mase. Ova dva faktora (toplotna moć i količina) često imaju različit uticaj, kao što je pokazano i na primeru sorte Jonagold. Ova sorta, iako ima manju toplotnu moć, ima daleko veću količinu orezena mase. Zbog toga je sa stanovišta proizvodnje biomase u voćnjaku, najbolji pokazatelj energetska vrednost po hektaru. Tabela 4 prikazuje prosečne energetske vrednosti za obe sorte po hektaru.

Tab. 4. Energetska vrednost biomase po 1 ha zasada jabuke  
*Energy value of biomass per 1 ha of apple orchard*



Sorta <i>Variety</i>	Higroskopna vlaga <i>Hygroscopic humidity</i> (%)	Gornja toplotna moć <i>Upper heating value</i> (MJ kg <sup>-1</sup> )	Ukupno rezidbenih ostataka <i>Total pruning residues</i> (kg ha <sup>-1</sup> )	Gornja toplotna moć <i>Upper heating value</i> (MJ ha <sup>-1</sup> )
Idared	41,67	19,44	4.624,3	89.896,39
Jonagold	43,06	18,75	5.094,4	95.520,00

## Zaključak

Jedan od osnovnih pokazatelja upotrebljivosti biomase kao goriva je njena toplotna moć. Toplotna moć rezidbenih ostataka iz proizvodnje jabuke nam pruža mogućnost projekcije i daljeg angažovanja energetskog potencijala ispitivane biomase.

Korišćenjem rezidbenih ostataka voćarsko-vinogradarske proizvodnje u energetske svrhe, može se značajno smanjiti potrošnja konvencionalnih energenata, čime se u prvom redu ostvaruje ušteda, nezavisnost i stabilnost energetskih izvora. S obzirom na trend smanjenja količina i povećanja cena fosilnih goriva, realno je očekivati da biomasa dobijena iz poljoprivredne proizvodnje ima sve veće učešće u ukupnoj energetskoj potrošnji.

Na osnovu dobijenih rezultata tokom ispitivanja vegetativnog potencijala jabuke izraženog preko mase rezidbenih ostataka, može se izvesti zaključak da veću toplotnu moć po jedinici mase ostvaruje jabuka sorte Idared (19,44 MJ kg<sup>-1</sup>), a najveću toplotnu moć po jedinici površine zbog veće bujnosti daje sorta Jonagold (95.461,9 MJ ha<sup>-1</sup>).

Posmatrajući ubrzani razvoj voćarsko-vinogradarske proizvodnje u Srbiji i energetske pokazatelje rezidbenih ostataka iste, može se zaključiti da je najracionalnije koristiti orezanu masu kao energent za dobijanje toplotne energije. Bez obzira o kojoj sorti se radi, energetska vrednost rezidbenih ostataka je značajna, pa proizvodnju biomase iz rezidbenih ostataka treba ozbiljno razmatrati, kao važan korak unapređenja u poljoprivrednoj proizvodnji.

Na osnovu ovog istraživanja, zaključujemo da se razlike u energetskoj vrednosti proizvedene biomase mogu posmatrati sa stanovišta njenog sastava (toplotne moći) i sa stanovišta količina orezane mase. Ove dve veličine često različito utiču na ukupnu dobijenu energetsku vrednost, pa je zbog toga uvek bolje posmatrati energetsku vrednost po hektaru zasada.

## Napomena

Ovaj rad je rezultat rada na projektu TR31063, finansiranom od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

## Literatura

- Di Blasi, C., Tanzi, V. & Lanzetta, M. (1997). A study on the production of agricultural residues in Italy. *Biomass and Bioenergy*, 12(5), 321-331.
- Đajić, N. (2002). Novi i obnovljivi izvori - šansa za održivi razvoj energetike Jugoslavije. *Alternativni izvori energije i budućnost njihove primene u zemlji*, 58(7), 15-20.
- Ilić, M., Grubor, B., Tešić, M. (2004). The state of biomass energy in Serbia. *Thermal science*, 8(2), 5-20.
- International Energy Agency (IEA), OECD/IEA. (2007). *Renewables In Global Energy Supply. An IEA Fact Sheet*. Paris: Iea Publications.
- Oka, S. i Jovanović, Lj. (1997). *Biomasa u energetici. Biomasa - obnovljivi izvori energije*. Beograd: Jugoslovensko društvo termičara.
- Pajić, M., Dražić, M., Radojičić, D., Pajić, V., Ranković-Vasić, Z., Gligorević, K. i Zlatanović, I. (2011a). Mehanizovani postupci pripreme i obrade komposta od rezidbenih ostataka voćarsko-vinogradarske proizvodnje. *Poljoprivredna tehnika*, 36(4), 39-45.
- Pajić, M., Dražić, M., Ranković-Vasić, Zorica, Stefanović, Gordana, Urošević, M., Pajić, Vesna, Živković, M. (2011b). *The influence of different fruit types, vine varieties and training systems on energy potential of pruning residues*. Paper presented at the II International Conference „Synergy in the Technical Development of Agriculture and Food Industry“, Gödöllő, Hungary.
- Radojević, R., Živković, M., Urošević, M., Vulić, T. i Radivojević, D. (2005). Pruning Orchard Residues As Biomass And Renewable Energy Sources. *PTEP*, 9(3-4), 85-87.
- Republički zavod za statistiku Republike Srbije. (2011). *Statistički godišnjak Republike Srbije*. Beograd: Republički zavod za statistiku Republike Srbije.
- Sabo, A. i Ponjičan, O. (1998). Energetski potencijal biomase u zasadima jabuke i mogućnost korišćenja. *PTEP*, 3(2), 106-108.

Živković, M., Urošević, M., Pajić, M. i Koprivica, R. (2012). Energetski potencijal produkata rezidbe voćarskih i vinogradarskih zasada Srbije. *Poljoprivredna tehnika*, 37(4), 69-77.

Primljeno: 25. aprila 2014.

Odobreno: 11. jula 2014.

## Energy Aspects of Exploitation of Pruning Residues from Apple Production

Miloš Pajić<sup>1</sup>, Milan Dražić<sup>1</sup>, Vesna Pajić<sup>1</sup>, Dušan Radojičić<sup>1</sup>,  
Kosta Gligorević<sup>1</sup>, Ivan Zlatanović<sup>1</sup>, Mićo Oljača<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Faculty of Agriculture, University of Belgrade,  
Zemun-Belgrade, Republic of Serbia*

### Abstract

Large quantities of biomass result from fruit pruning, which is a required pomotechnical operation. Long-standing practice of destroying and burning the pruning residues is hard to change, although energy and environmental indicators point to the importance of the proper biomass exploitation. The aim of this study is to show the quantity and energy value of pruning residues from apple production, as well as ways and means of their proper exploitation. In Republic of Serbia, apple is grown at 40,000 ha, with the usual biomass yield (3 t ha<sup>-1</sup> pruning residues). Upper heating value of pruning residues for two apple varieties (Idared and Jonagold), with 42.36% moisture, was 18.14 MJ kg<sup>-1</sup> average.

*Key words:* biomass yield, energy, moisture, heating power, CO<sub>2</sub>

Miloš Pajić  
*E-mail address:* paja@agrif.bg.ac.rs

Received: April 25, 2014  
Accepted: July 11, 2014