

*Izdavač:*

Univerzitet u Beogradu  
Poljoprivredni fakultet

*Za izdavača:*

Prof. dr Milica Petrović  
Poljoprivredni fakultet, Beograd

*Tehnička priprema:*

Null Images  
Novi Beograd

*Urednik:*

Dr Miloš Pajić  
Poljoprivredni fakultet, Beograd

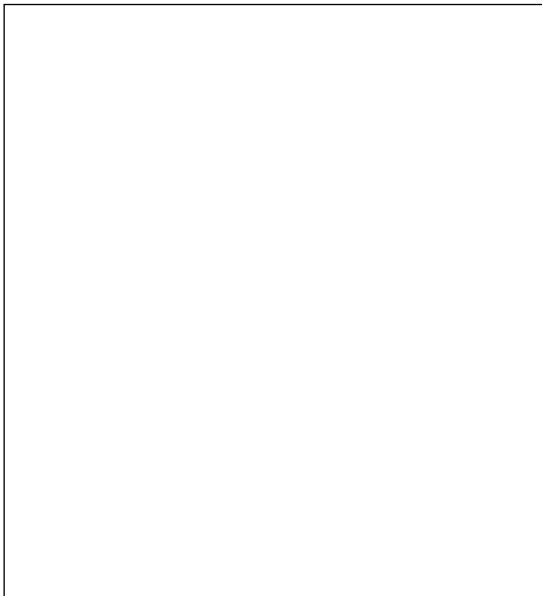
*Štampa:*

Interklima-grafika doo  
Vrnjačka Banja

*Tiraž:*

300 primeraka

CIP



**UNIVERZITET U BEOGRADU  
POLJOPRIVREDNI FAKULTET  
INSTITUT ZA POLJOPRIVREDNU TEHNIKU**

**ZADRUŽNI SAVEZ SRBIJE**

17. Naučno stručni skup sa međunarodnim učešćem  
AKTUELNI PROBLEMI MEHANIZACIJE POLJOPRIVREDE

*17th Scientific Conference  
CURRENT PROBLEMS AND TENDENCIES IN AGRICULTURAL ENGINEERING*

**ZBORNIK RADOVA**

***PROCEEDINGS***

**ISBN 978-86-7834-210-3**

**UDK 631 (059)**

Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6  
Zemun – Beograd, Republika Srbija  
12.12.2014. godine

# POTENCIJAL PROIZVODNJE I KORIŠĆENJA TOPLOTNE ENERGIJE DOBIJENE U PROCESU KOMPOSTIRANJA ČVRSTOG GOVEĐEG STAJNJAKA

**Dušan Radojičić<sup>1</sup>, Ivan Zlatanović<sup>1</sup>, Dušan Radivojević<sup>1</sup>,  
Miloš Pajić<sup>1</sup>, Milan Dražić<sup>1</sup>, Kosta Gligorević<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu, Nemanjin 6, 11080 Zemun*

## SAŽETAK

U ovom radu je analiziran potencijal dobijanja toplote iz procesa proizvodnje komposta, sa ciljem da se u grubim crtama utvrdi potencijal korišćenja toplote koja se razvija u procesu kompostiranja. Posmatrana je proizvodnja komposta od čvrstog goveđeg stajnjaka, na otvorenom platou, korišćenjem odgovarajuće mašine. Merenjem je ustanovljeno povećanje temperature u masi i do 75°C, i prilično stabilan temperaturni režim. Usvojen je model za analizu, elementarna prizma. U sprovedenoj analizi učinjene su određene aproksimacije i pojednostavljenja. Ovo je urađeno zbog toga što se od ovog koraka očekuje samo gruba procena potencijala dobijanja toplote. Rezultati iz analize pokazuju da posmatran proces zaslužuje detaljniji pristup, kako u eksperimentalnom radu, tako i u upotpunjavanju analize sa faktorima koji imaju uticaja u ovom procesu.

**Ključne reči:** kompost, toplota, korišćenje toplote

## POTENTIAL OF PRODUCTION AND UTILIZATION OF HEAT ENERGY OBTAINED IN A PROCESS OF SOLID CATTLE MANURE COMPOSTING

**Dusan Radojicic<sup>1</sup>, Ivan Zlatanovic<sup>1</sup>, Dusan Radivojevic<sup>1</sup>,  
Milos Pajic<sup>1</sup>, Milan Drazic<sup>1</sup>, Kosta Gligorevic<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Faculty of Agriculture University of Belgrade, Nemanjina 6, 11080 Zemun*

## ABSTRACT

The analysis of producing of heat from the compost production process, with goal to determine a rough sketch of the potential use of heat that develops in the process of composting is presented in this paper. Production of compost from solid cattle manure in bright plateau, using appropriate equipment is considered. Conductet temperature measurements revealed the temperature increase in the mass of up to 75 ° C, with a fairly

---

<sup>1</sup> Kontakt autor: Dušan Radojičić, e-mail: radojicic@agrif.bg.ac.rs

Rad predstavlja deo istraživanja na projektu: „Unapređenje biotehnoških postupaka u funkciji racionalnog korišćenja energije, povećanja produktivnosti i kvaliteta poljoprivrednih proizvoda”, evidencioni broj TR-31051, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

stable temperature regime. A model for the analysis, elemental prism was adopted. In the conducted analysis, certain approximations and simplifications were adopted. This is done because of that in this step only a rough estimate of the potential of heat production is expected. Results from the analysis show that the observed process deserves a more detailed approach, both in experimental work and in completing the analysis of the factors that influence this process.

**Keywords:** compost, heat, heat utilization

## UVOD

Proizvodnja komposta od čvrstog govedeg stajnjaka je tehnološki postupak koji može biti od velike važnosti kako za samu poljoprivrednu proizvodnju tako i za pitanja zaštite životne sredine. Osnovni cilj ovog tehnološkog postupka je brza konverzija organske materije u mineralnu, kao i prevođenje mineralnih materija u oblike koje biljke mogu brzo i lako da iskoriste [3].

Ovaj postupak podrazumeva periodičnu negu stajnjaka, čime se vrši unošenje vazduha, odnosno aeracija mase, odgovarajućom opremom. Jasno je da je pri tome potrebno utrošiti neku količinu energije. Preradom stajnjaka postupkom kompostiranja rešavaju se sledeći problem: uništavaju se patogeni mikroorganizmi i gljivice koje se nalaze u izlučevinama domaćih životinja i prostirci, uništava se sposobnost klijanja semena korova, smanjuje se potreban prostor za skladištenje stajnjaka (budući da gotov kompost ima višestruko manju zapreminu), smanjuje se zagađenje životne sredine neprijatnim mirisima i nekontrolisanim oticanjem osoke, smanjuju se troškovi manipulacije, transporta i aplikacije stajnjaka [4,6].

Sirovi stajnjak se podvrgava tretmanu u cilju unošenja vazduha u masu. Time se podstiče razvoj mikroorganizama koji razlažu organsku materiju. Sam stajnjak je veoma biogena sredina, sa prisutnim brojnim sojevima mikroorganizama. U prvoj fazi, razvijaju se psihrofilni mikroorganizmi. Optimalni uslovi njihovog razvoja podrazumevaju temperature od 15°C – 20°C. U sledećoj fazi, na temperaturama od 30°C - 40°C razvijaju se mezofilni mikroorganizmi. U trećoj fazi, na temperaturama preko 50°C razvija se grupa termofilnih mikroorganizama. Odgovarajućim rasporedom tretmana i održavanjem potrebnih količina vazduha, mezofilna faza postiže se već posle prvih 24 časa nege. Maksimalno postignute temperature održavele su se u periodu od 1/3 trajanja nege. Sama nega trajala je sedam nedelja. Za vreme trajanja nege stajnjaka izvrši se dvanaest tretmana mase [5,6]. Uzevši u obzir sledeće parametre: razvijene temperature, vreme trajanja tih temperatura i velike količine stajnjaka koje se svakodnevno proizvode može se pretpostaviti da se ovim postupkom mogu dobiti značajne količine energije. U prilog tome govore i rezultati do kojih su došli i drugi autori, po kojima se od 1 kg organskog otpada oslobađa toplota od 1136 kJ (komunalni otpad), 17,06 MJ (mešavina slame i pilećeg stajnjaka) [1].

Cilj rada je da se u grubim crtama utvrdi potencijal korišćenja toplote koja se razvija u procesu kompostiranja. Ukoliko se utvrdi da se razvija značajna količina toplote, treba sprovesti detaljnija istraživanja u cilju verifikacije ove procene i eventualnog razvijanja sistema za upotrebu energije dobijene na ovaj način.

## MATERIJAL I METOD

U radu se posmatra proces kompostiranja čvrstog govedeđ stajnjaka. Stajnjak se iz staja dovozi na betonski plato i odlaže u formi prizmi (slika 1). Nega se izvodila prototipom samohodne mašine za negu stajnjaka KOMPOMAT-1 (slika 1).

Osnovni tehnički podaci prototipa mašine su: masa 3400kg, širina traga 3600 mm, brzina kretanja 286-716 m/h, snaga motora 44 kW, nazivni broj obrtaja motora 2200 o/min, učinak 200-1300 m<sup>3</sup>/h, radni zahvat 3000 mm, klirens 1500 mm.

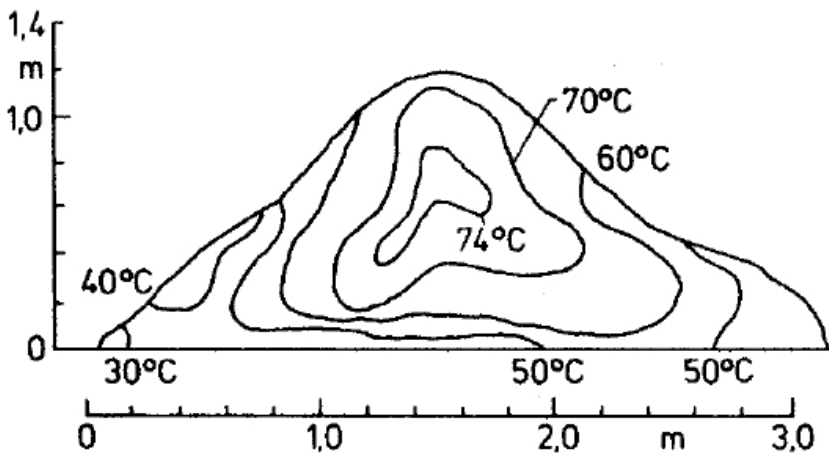
Radna brzina mašine menjana je u intervalu od 0.1-0.7 km/h, (na trasi dužine prizme od 80 m mereno je vreme, a brzina je dobijena računom) [6].



Slika 1. Mašina za negu stajnjaka u radu i formirana prizma  
*Figure 1. Machine for manure treatment in action and formed prisms*

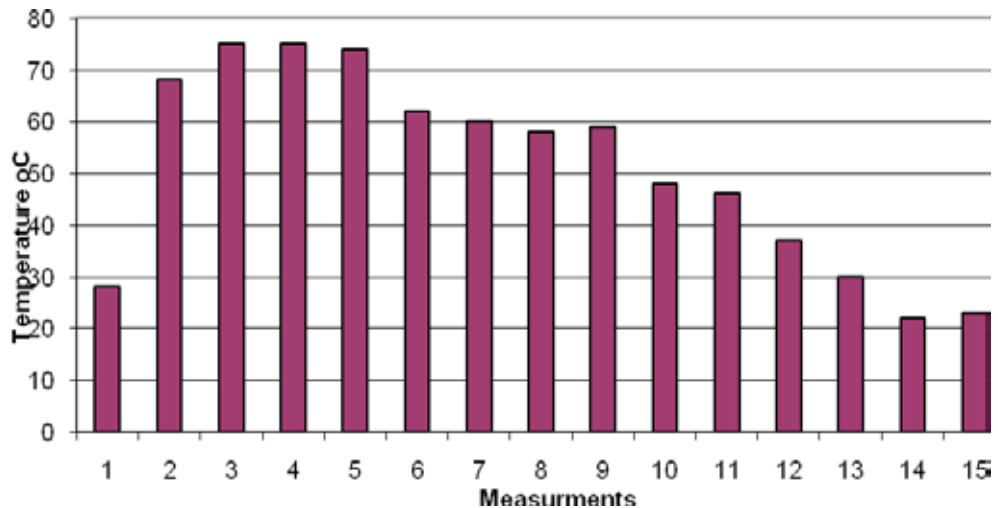
Radna brzina mašine menjana je u intervalu od 0,1-0,7 km/h, (na trasi dužine prizme od 80 m mereno je vreme, a brzina je dobijena računom) [6].

Nega se izvodila u trajanju od sedam nedelja, i za to vreme izvršeno je dvanaest tretmana. Jedan od praćenih parametara bila je i temperatura mase. Merenje temperature vršeno je dva puta nedeljno. Do značajnog povećanja temperature dolazi već posle drugog dana nege (slika 2).



Slika 2. Raspored temperaturnih polja u masi posle drugog dana nege  
*Figure 2. Distribution of temperature fields in manure after second day of treatment*

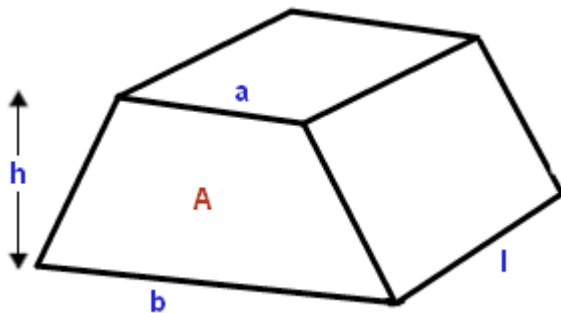
Merenjem temperature ustanovljene su vrednosti u granicama ambijentalne temperature pa sve do 75°C (grafik 1).



Grafik 1. Promene temperature u kompostu u toku perioda nege  
*Graph 1. Temperature changes in compost during treatment period*

## REZULTATI I DISKUSIJA

Za procenu mogućnosti korišćenja toplotne energije umesto realne prizme koja je u opštem slučaju i nepravilnog oblika, posmatraćemo odgovarajući model (slika 3).



Slika 3. Model za analizu  
Figure 3. Analysis model

Dimenzije modela su: dužina  $l=1\text{ m}$ , visina  $h=1,2\text{ m}$ , duža osnovica baze  $b=2,7\text{ m}$ , kraća osnovica baze  $a=1,314\text{ m}$ , dužina kraka baze  $c=1,386\text{ m}$ .

Posmatračemo samo model konvektivnog odavanja toplote, pri čemu ćemo smatrati da je podna površina dobro izolovana i da se kroz nju ne odvodi toplota. Ukupna površina preko koje se emituje toplota pod ovim pretpostavkama je:

$$A = 2(((a+b)/2)h) + 2cl + al = 8,9 \text{ (m}^2\text{)}$$

Ako za srednju brzinu kretanja mašine uzmemo  $0,4\text{ km/h}$ , onda će ukupno vreme tretiranja elementarne prizme iznositi (za svih 12 tretmana):

$$t = 12(l/v) = 12(1/400) = 0,03 \text{ (h)} = 108 \text{ (s)}$$

Za to vreme, utrošena energija za negu (potrošnja goriva) po elementarnoj prizmi će iznositi:

$$E_u = Peq_c H_d t = 44 * 0,24 * 43 * 0,03 = 13,6224 \text{ (MJ)}$$

U prethodnoj formuli  $Pe=44\text{ kW}$  je snaga motora,  $q_c=0,24\text{ kg/kWh}$  je specifična potrošnja goriva,  $H_d=43\text{ MJ/kg}$  [2], toplotna moć dizel goriva.

Za ocenu potencijala proizvodnje toplote iz procesa kompostiranja uzećemo vrednosti temperature preko  $40^\circ\text{C}$ , pod pretpostavkom da bi odvođenje toplote ispod tog temperaturnog nivoa moglo da naruši procese koji se eventualno još uvek događaju u masi komposta. Dakle, na raspolaganju nam je period od 30 dana, odnosno 720 časova. Za vrednost temperature koja ulazi u proračun uzima se srednja vrednost temperature u tom periodu (grafik 1). Srednja temperatura zapravo je temperatura koja se može smatrati konstantnom u tom periodu i njena vrednost je  $62,5^\circ\text{C}$ . Prenošenje toplote u ovom slučaju je složena fizička pojava čiji će intezitet zaviasiti od brojnih faktora. Neki od njih su temperatura okolnog vazduha, uslovi kretanja vazduha, vlažnosti vazduha i dr. Ako se posmatra samo konvektivno prenošenje toplote, primeniće se formula:

$$q = \alpha(T_2 - T_1)A$$

Ukoliko se posmatra konvekcija toplote u vazduh koji miruje za koeficijent prelazka toplote -  $\alpha$  se može uzeti vrednost:  $\alpha = 7 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ , a ukoliko se vazduh kreće, odnosno za prinudnu konvekciju, može se uzeti vrednost  $\alpha = 30 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ . Ako za temperaturu okolnog vazduha uzmemo npr.  $20^\circ\text{C}$ , toplota koja se prenosi imaće vrednost

$$q = 7 \cdot (335,65 - 293,15) \cdot 8,9 = 2647,75 \text{ (W)} = 2,65 \text{ (kW)} - \text{ za slučaj konvekcije u vazduh koji miruje}$$

$$q = 30 \cdot (335,65 - 293,15) \cdot 8,9 = 11347,5 \text{ (W)} = 11,35 \text{ (kW)} - \text{ za slučaj konvekcije u vazduh koji se kreće}$$

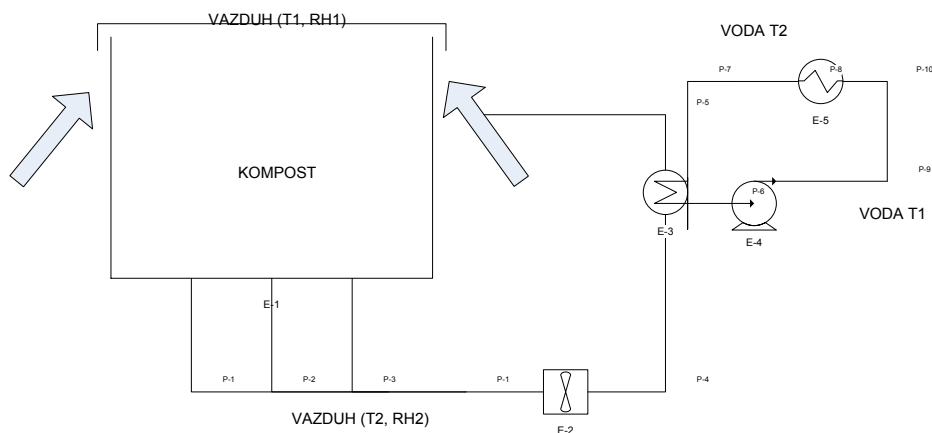
Ako se za vreme trajanja ovakvog prenosa energije uzme već pomenuti period od 30 dana, preneti energija će iznositi:

$$E_u = qt = 6862,968 \text{ (MJ)} \text{ za prvi slučaj}$$

$$E_u = qt = 29412,7 \text{ (MJ)} \text{ za drugi slučaj}$$

Zapremina elementarne prizme je približno  $2 \text{ m}^3$ , i u njoj se može naći oko 2000 kg supstrata (u početku). Odatle proizilazi da se po 1 kg supstrata može proizvesti od 3,43 do 14,71 MJ/kg supstrata. Iz analize se vidi da energijam koja se potencijalno može dobiti u proizvodnji komposta značajno prevazilazi ukoženu energiju.

Veću efikasnost, u tom smislu, pokazuju postrojenja kod kojih se vazduh kreće. Šema jednog takvog postrojenja data je na slici 4.



Slika 4. Šema postrojenja za proizvodnju komposta sa korišćenjem toplote proizvedene u procesu kompostiranja

Figure 4. Scheme of facility for compost production with process obtained heat utilization

Na slici 4, prikazano je postrojenje za korišćenje toplote iz procesa kompostiranja. Korišćenje toplote se ostvaruje na sledeći način: kompost se balazi u nadkrivenom objektu (može i u nepokrivenom, ali se tada povećavaju gubici toplote). Na podu objekta se nalaze podužni otvori, kroz koje se vazduh iz komposta izvlači ventilatorom. Pri



tome, na mesto vazduha koji je pokrenut ventilatorom dolazi svež vazduh iz okoline. Zagrejan vazduh se ventilatorom usmerava na razmenjivač toplote voda–vazduh, a posle toga se izvodi iz procesa. Preporučljivo je da se vazduh pre ispuštanja u atmosferu tretira nekim postupkom za prečišćavanje, npr. biofilterom [7]. Toplota koju vazduh predaje vodi u razmenjivaču toplote koristi se za zagrevanje vode. Dalja upotreba zagrejane vode zavisi od tehnološkog procesa na farmi, može se koristiti za grejanje objekta, za sanitarne potrebe, pripremu hrane i slično.

## ZAKLJUČAK

Iz rezultata analize zaključujemo da je moguće proizvesti značajne količine energije. Sama sprovedena analiza je prilično gruba, uz dosta aproksimacija i pojednostavljenja. Ali njena svrha je i bila da se stekne neka početna slika o tome da li se proizvodnja komposta može iskoristiti i za dobijanje toplote koju je moguće iskoristiti a da se sam proces kompostiranja ne naruši. Ukoliko toplotu preuzima vazduh on se može iskoristiti za dogrevanje objekata ili vode, naravno preko razmenjivača toplote, jer takav vazduh u sebi nosi neprijatne mirise. Za očekivati je da realni rezultati, po uključivanju svih (ili barem što većeg broja) parametara koji u ovako složenom procesu imaju uticaja budu drugačiji. Ono što svakako može narušiti razmatranu analizu su gubici toplote, kroz zidove objekata. Sa druge strane, ovde nije razmatran mehanizam prenosa toplote zračenjem. Takođe, ostaje i otvoreno pitanje da li je posmatrani temperaturni interval dobro izabran, odnosno, da li se sme odvoditi toplota iz mase i kada temperatura priđe vrednosti od 40°C ili ne.

Na osnovu dobijenih rezultata i brojnih literarnih izvora zaključujemo da posmatrani proces svakako zaslužuje detaljniju analizu. Ta analiza trebala bi da uključi terenska ispitivanja, odnosno posmatranje ovog procesa na postrojenjima – objektima za proizvodnju komposta (u punoj veličini), laboratorijske modele, verifikaciju podudarnosti rezultata laboratorijskog modela i objekata u punoj veličini. Jedna od faza trebala bi da bude i stvaranje pouzdanog matematičkog modela koji bi opisivao (što realnije) posmatrani proces. Na kraju, na osnovu dobijenih rezultata moglo bi se zaključiti da li je opravdano dodatno ulaganje u objekte i opremu u cilju iskorišćenja toplote koja se javlja u procesu proizvodnje komposta.

## LITERATURA

- [1] Irvine, G., Lamont, E.R., Antizar-Ladislao, B. 2010. Energy from waste: Reuse of compost heat as a source of renewable energy, *International Journal of Chemical Engineering*, Volume 2010, ArticleID 627930, 10 pp
- [2] Nikolić, B., Stefanović, A. 2007. Neke karakteristike ubrizgavanja biodizela, ulja repice i dizel goriva u motorima SUS, *Zbornik radova 13. SIMTERM*
- [2] Radivojević, D., Veljković, B., Radojičić, D., Koprivica, R., Ivanović, S., Božić, S. 2012. Fertilizing effects of manure aerobic treatment. *Proceedings of The First International Symposium on Animal Science*, Book II, pp 1123 – 1130
- [3] Radivojević, D., Ivanović, S., Radojičić, D., Veljković, B., Koprivica, R., Božić, S. 2012. Nutritive and Economic Effects of Aerobic Treatment of Solid Manure, *Ekonomika poljoprivrede*, 3 Vol. LIX, pp. 401-412

- [4] Radivojević, D., Radojičić, D., Veljković, B., Koprivica, R., Ivanović, S., 2014. Determination of influential parameters for composting of liquid manure with wheat straw. Kosutic S (ed) Proc 42nd International Symposium on agricultural Engineering Actual Tasks on Agricultural Engineering, Opatija, Croatia, pp 251-261.
- [5] Radivojević, D., Topisirović, G., Sredojević Zorica 2002: New methods of bovine solid manure tretment. Lucrari Stiintifi Zootehnie si biotehnologi, vol XXXV, Timisoara, p.p. 39 – 46
- [6] Radivojević, D. 1996. Energetske i eksplotacione karakteristike mašina za aerobnu negu stajnjaka. Savremena poljoprivredna tehnika pp 600 – 604
- [7] Radojičić, D., Zlatanović, I., Radivojević, D., Topisirović, G., Gligorević, K., Pajić, M., Dražić, M. 2012. Mogućnosti, značaj i efekti prečišćavanja stajskog vazduha, Zbornik radova sa 16. Naučno stručnog skupa sa međunarodnim učešćem „Aktuelni problemi mehanizacije poljoprivrede“, str. 147 - 155