Biblid: 0350-2953 (2015) 41(3): 181-188
UDK: 631.8

Originalni naučni rad
Original scientific paper

MOGUĆI EFEKTI INTERAKCIJE U SISTEMU TOPLOTNA PUMPA – ČVRST STAJNJAK

POSSIBLE EFFECTS OF INTERACTION IN SYSTEM HEAT PUMP – SOLID MANURE

Mladen Ivanišević, Miodrag Zoranović, Vladimir Višacki, Jan Turan¹

Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 8.

E-mail: mladen.ivanisevic@polj.uns.ac.rs

SAŽETAK

Energetski potencijal stajnjaka povezuje se najčešće sa produkcijom biogasa. Postavljanje razmenjivača toplote u prostor za kompostiranje daje mogućnost akumulacije toplote oslobođene u procesu razlaganja organske materije. Hlađenje stajnjaka pri redukciji gubitaka nutritivne vrednosti rezultira produkcijom adekvatne toplote.

Koeficijent grejanja predstavlja odnos između količine toplotne energije dobijene toplotnom pumpom i utrošenog rada za njenu operativnost. Maksimalna vrednost koeficijenta grejanja realizovana je pri $t_i = 35^\circ \text{C}$ i $t_p = 40^\circ \text{C}$: $\varepsilon_G = 6,6$, dok je minimalna bila $\varepsilon_G = 2,5$ pri $t_i = 15^\circ \text{C}$ i $t_p = 50^\circ \text{C}$. Akumulirana voda, u zavisnosti od potreba, može biti upotrebljena kao samostalni izvor toplote za dogrevanje: objekata za tov pilića, prasilišta, sanitarnih prostorija itd.

Ključne reči: toplotna pumpa, stajnjak, koeficijent grejanja, toplotna energija

1. UVOD

Trend povećanja intenziteta stočarske proizvodnje, uz porast proizvodnosti, donosi sa sobom i probleme menadžmenta velikih količina nusproizvoda – stajnjaka. Neadekvatno upravljanje stajnjakom svrstava ga u kategoriju otpada, sa potencijalom zagađenja prirodnog okruženja, dok društveno odgovornim ponašanjem on postaje resurs – nutritivni i energetski. Energetski potencijal stajnjaka povezuje se najčešće sa produkcijom biogasa. Investicija u postrojenje za dobijanje biogasa značajna je, što manja gazdinstva, posebno sa naših prostora, onemogućuje u njenoj implementaciji. U tabeli 1.1 prikazana je produkcija biogasa i kalorijska vrednost stajnjaka pojedinih životinjskih vrsta.

Pored spomenutog, postoje i drugi, manje rasprostranjeni, načini za “uzimanje” energije iz stajnjaka. Postavljanje razmenjivača toplote u prostor za kompostiranje pruža mogućnost skladištenja toplote oslobođene u procesu razlaganja organske materije. Da je prethodna konstatacija opravdana, zaključuje se poređenjem dobijenih produkata iz

aerobne i anaerobne fermentacije glukoze $C_6H_{12}O_6$ (sl. 1). Pri aerobnoj fermentaciji jednog mola glukoze oslobodi se 2800 kJ, dok pri anaerobnoj 405 kJ.

Redukcija temperature stajnjaka sa 25°C na 5 °C ima za posledicu smanjenje isparavanja amonijaka sa 34,9 na 4,4% (Wang et al, 2016). Dakle, hlađenjem stajnjaka (sl. 2), uz smanjenje gubitaka njegove nutritivne vrednosti i širenja neprijatnih mirisa, dobija se određena količina toplotne energije.

Tabela 1. Produkcija biogasa i kalorijska vrednost stajnjaka pojedinih životinjskih vrsta

Table 1. The yield of biogas and manure calorific value of individual animal species

Prinos biogasa i kalorijska vrednost supstrata u 1000 t/god The yield of biogas and the caloric value of the substrate in 1000 / year						
Sadržaj Content	Živinski stajnjak Poultry manure	Svinjski stajnjak Pig manure	Govedi stajnjak tečni Cattle liquid manure	Govedi stajnjak čvrsti Cattle solid manure	Konjski stajnjak čvrsti Horse solid manure	
Suva materija (SM)% u svežoj biomasi Dry matter (DM)% in fresh biomass	40	6	10	25	27	
Organska SM (oSM) % u SM Organic DM (oDM)% DM	75	80	80	85	84	
Prinos biogasa l/kg SM The yield of biogas l/kg DM	500	420	380	450	491	
Prinos biogasa m ³ /t SM The yield of biogas m ³ /t DM	150,0	20,2	30,4	95,6	112,5	
Sadržaj metana zapreminski % u biogasu Volumetric % content of methane in biogas	55	60	55	55	52	
Kalorijska vrednost Calorific value						
Biogas Nm ³ / god Biogas Nm ³ / year	150 000	20 160	30 400	95 625	112 451	
Metan u biogasu Nm ³ / god Methane in biogas Nm ³ / year	82 500	12 096	16 720	52 594	58 474	
Ukupna energija kWh/god Total energy kWh/ year	822 525	120 597	166 698	524 360	582 990	
Ekvivalent električne energije kWh _{el} Equivalent of electricity kWh	42	6	9	26	29	
Biodubrivo Biofertilizers						
Digestat t/god Digestate t/ year	806	975	960	876	896

Sl. 1. Poređenje aerobne i anaerobne fermentacije
Fig. 1. Comparison of aerobic and anaerobic fermentation

Sl. 2. Hlađenje stajnjaka
Fig. 2. Manure cooling

Cilj rada je da se analiziraju mogućnosti primene originalnog modela toplotne pumpe formiranog od dva sandučasta zamrzivača (*Zoranović et al, 2013*), u interakciji sa stajnjakom, odnosno toplotnom energijom dobijenom iz njega na neki od pomenutih načina.

2. MATERIJAL I METOD RADA

Kao model toplotne pumpe korišćena su dva sandučasta zamrzivača-Z1 i Z2, aktivne zapremine po 410 litara, sl. 3.

Sl. 3. Funkcionalna šema akumulacionog sistema toplotne pumpe sandučastih zamrzivača pri zagrevanju vode putem oduzimanja toplote iz stajnjaka (Zoranić *et al*, 2013)
Z1, Z2- sandučasti zamrzivači aktivne zapremine po 410 l; KM1, KM2- klipni kompresori snage po 150 W; KP1, KP2- kapilare ekspanzioni ventili; IS1, IS2- isparivači; K1, K2- kondenzatori; AT1, AT2- analogni kapilarni termostati temperaturnog histereziisa $\pm 4^\circ \text{C}$; DT1, DT2, DT3- digitalni termometri temperaturnog histereziisa $\pm 2^\circ \text{C}$; AMB1, AMB2- analogna monofazna električna brojila AR- akumulacioni rezervoar tople vode $V_r=1000 \text{ l}$; RT- alpex razmenjivač toplote; CP1- cirkulaciona pumpa demineralizovane vode kao radnog medijuma razmenjivača toplote RT; CP2- cirkulaciona pumpa za preuzimanje toplote u zoni stajnjaka; DTB- digitalno električno-trofazno brojilo;

Fig. 3. Functional scheme of the heat pump accumulation system of box freezers with water heated by subtracting heat from manure (Zoranić *et al*, 2013)

Z1, Z2- box-freezers with an active volume of 410 l each; KM1, KM2- reciprocating compressors with power of 150 W each; KP1, KP2- capillary expansion valves; IS1, IS2- evaporators; K1, K2- condensers; AT1, AT2- analog capillary thermostats of temperature hysteresis $\pm 4^\circ \text{C}$; DT1, DT2, DT3- digital thermometers of hysteresis $\pm 2^\circ \text{C}$; AMB1, AMB2- analog single-phase electric meters; AR- the storage tank of hot water $V=1000 \text{ l}$; RT- the alpex heat exchanger; CP1- ciculation pump of demineralized water as the working medium of the heat exchanger RT; CP2- ciculation water pump for taking heat form manure; DTB- electrical energy three phase digital meter;

Na zajedničkom postolju kondenzatori su okrenuti jedan prema drugom. Između zamrzivača forimirana je termoizolovana posuda sa uronjenim kondenzatorima. Cirkulaciona pumpa-CP2, vodu iz zamrzivača šalje kroz razmenjivač toplote, pozicioniran u stajnjaku, ili kompostu, nazad na početno mesto. Toplotna energija, preuzeta od adekvatnog izvora, prenešena je vodom u unutrašnjost zamrzivača. Zatim, preko isparivača-IS1 i IS2 i kondenzatora -K1 i K2, posredstvom kompresora podiže se na viši temperaturni nivo i predaje vodi u posudi između zamrzivača. Nadalje, voda sa CP1 šalje se u razmenjivač toplote-RT, pozicioniran u akumulacionom retervoaru-AR, zapremine 1000 litara. Na njemu se predaje toplotna energija vode, dobijena u kontaktu sa kondenzatorima, vodi u AR, a iz njega snabdeva se krajnji potrošač.

Za merenje angažovane električne energije korišćeno je analogno jednotarifno brojilo, baždareno referentnim digitalno-trofaznim brojiлом. Pri tome je uočeno odstupanje od 0,1%. Za merenje temperature korišćeni su digitalni termometri.

Koeficijent grejanja predstavlja odnos između količine toplotne energije dobijene toplotnom pumpom i utrošenog rada za njenu operativnost, a proračunava se prema Dagnijevoj formuli (Zoranić *et al*, 2010) :

$$K = \frac{Q}{P},$$

gde su:

K-koeficijent efikasnosti;

Q-količina dobijene toplotne energije, J i

P-rad utrošen za operativnost toplotne pumpe, J.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na dijagramu sa sl. 3.1 prikazani su koeficijenti grejanja laboratorijskog modela toplotne pumpe za temperature na kondenzatoru-toplotni ponor, od 40, 45 i 50° C, u zavisnosti od temperature na isparivaču-toplotni izvor.

Na osnovu dijagrama zaključuje se da povišenje temperature toplotnog izvora utiče na povećanje koeficijenta grejanja toplotne pumpe. Isto važi za snižavanje temperature ponora. Dobijeni podaci logični su, jer smanjenjem razlike temperatura izvora i ponora smanjuje se potrebna količina energije utrošene za rad kompresora.

Maksimalna vrednost koeficijenta grejanja realizovana je pri $t_i = 35^\circ \text{C}$ i $t_p = 40^\circ \text{C}$: $\varepsilon_G = 6,6$, dok je minimalna bila $\varepsilon_G = 2,5$, pri $t_i = 15^\circ \text{C}$ i $t_p = 50^\circ \text{C}$, tab. 2. To znači, za 1 J uložene električne energije za rad sistema dobija se 2,5 - 6,6 J toplotne energije.

Sl. 3.1. Koeficijent grejanja toplotne pumpe: A_{11} A_{12} A_{13} - temperatura kondenzatorske vode 40° C, 45° C i 50° C, respektivno

Fig. 3. 2 COP of heat pump: A_{11} A_{12} A_{13} - temperature of water heated by condenser

Tabela 2. Koeficijent grejanja toplotne pumpe
Table 2. COP of heat pump

Temperatura toplotnog izvora Heat source temperature - T_o , °C	Temperatura toplotnog ponora Heat sink temperature- T_i , °C		
	40	45	50
15	3,4	2,9	2,5↓
20	4,6	3,4	3
25	5	4,6	3,7
30	6	5,2	4,3
35	6,6↑	5,8	4,8

Primena efekata toplotne pumpe u domaćem stočarstvu nesretna je (Zoranović *et al*, 2013). Korišćenjem predstavljenog modela toplotne pumpe u interakciji sa čvrstim stajnjakom u formi komposta i varijante hlađenja tečnog stajnjaka radi redukcije isparavanja gasnih komponenti u uzgojni ambijent, moguće su značajne energetske uštede, tj. poboljšanje odnosa input-output bilo kog zatvorenog ciklusa uzgoja domaćih životinja. Osim toga, isti princip moguće je primeniti u sličnim tokovima izgubljenih viškova toplote, npr. hlađenja mleka, povrćaj osetne i latentne toplote izduvnog vazduha iz stočarskih objekata itd.

Akumulirana voda, u zavisnosti od potreba, može biti upotrebljena kao samostalni izvor toplote za dogrevanje: objekata za tov pilića, prasilišta, sanitarnih prostorija itd.

4. ZAKLJUČAK

Redukcija temperature stajnjaka sa 25°C na 5 °C ima za posledicu smanjenje isparavanja amonijaka sa 34,9 na 4,4%, što znači da uz smanjenje gubitaka njegove nutritivne vrednosti i širenja neprijatnih mirisa, dobija se određena količina toplotne energije. U postupku kompostiranja, u procesu razlaganja organske materije, oslobađa se toplotna energija.

Opisanim modelom toplotne pumpe, energija dobijane iz prethodna dva procesa, dovodi se u upotrebljivu formu. U zavisnosti od temperatura izvora i ponora, koeficijenti grejanja bili su od 2,5 do 6,6. Ovim sistemom mogu da se ostvare značajne uštede u troškovima za energenat.

5. LITERATURA

- [1] Bracmort K. (2010): Anaerobic Digestion: Greenhouse Gas Emission Reduction and Energy Generation. <http://www.crs.gov/>
- [2] Brown G. (2015): Heat Recovery, Food Production At Boston Composting Facility. <http://www.biocycle.net/2015/11/16/heat-recovery-food-production-at-boston-composting-facility/>
- [3] Henning Lyngsø Foged (2012): Livestock Manure to Energy. Agro Business Park A/S, Niels Pedersens Allé 2, 8830 Tjele, www.agropark.dk
- [4] 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, Article ID 627930, 10 pages
doi:10.1155/2010/627930

- [5] Martinov M, Đatkov Đ, Dragutinović G, Brkić M, Pešenjanski I, Veselinov B, Kiš F, Stanica Milojević Veselinov, Tešić M, Đaković D. 2008. Mogućnosti kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije iz biomase u AP Vojvodini. Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [6] Zoranović, M., Aleksandra Dimitrijević, Bajkin, A., Ponjičan, O., Ivanišević, M., Potkonjak, V. (2010): Primena toplotne pumpe u stočarstvu. Savremena poljoprivredna tehnika. 0350-2953 36 (4), 438-446.
- [7] Zoranović M, Potkonjak V, Turan J, Ivanišević M. (2011): Problemi aerobnih i anaerobnih emisija gasova iz tečnog stajnjaka. Savremena poljoprivredna tehnika, 37(2): 213-222.
- [8] Zoranović M, Karadžić B, Ivanišević M, Turan J. (2013): Laboratorijski model za regeneraciju toplote u stočarstvu. UDC: 621.57:636 .4:631.223:628.8.
- [9] Wang Y, Dong H, Zhu Z, Li L, Zhou T, Jiang B, Xin H. (2016): CH₄, NH₃, N₂O and NO emissions from stored biogas digester effluent of pig manure at different temperatures. Agriculture, Ecosystems and Environment. 0167-8809 217: 1-12

POSSIBLE EFFECTS OF INTERACTION IN SYSTEM HEAT PUMP – SOLID MANURE

Mladen Ivanišević, Miodrag Zoranović, Vladimir Višacki, Jan Turan

Agricultural faculty, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 8.

E-mail: mladen.ivanisevic@polj.uns.ac.rs

SUMMARY

The potential of manure for getting some form of energy is most often associated with the production of biogas. Set the heat exchanger in the area for composting gives us the ability to "collect" the heat released in the process of decomposition of organic matter. In aerobic fermentation of one mole of glucose is released in 2800 kJ, while in anaerobic 405 kJ. Cooling the manure, while reducing the loss of its nutritional value, receives a certain amount of heat.

As a model of heat pump We used two box-freezer of volume 410 liters each. Heat pump heating coefficient represents the ratio between the amount of heat produced by heat pump and invested work for its operation. The maximum value of the coefficient of performance is realized at temperature of heat source $t_i = 35^\circ\text{C}$ and temperature of heat sink $t_p = 40^\circ\text{C}$: $\varepsilon_G = 6.6$, while the minimum was $\varepsilon_G = 2.5$ at $t_i = 15^\circ\text{C}$ and $t_p = 50^\circ\text{C}$.

Hot water in storage tank can be used, depending on the needs as an independent source of heat or with additional heating for heating facilities like objects for fattening chickens, farrowing pens, sanitary facilities, etc.

Key words: heat pump, manure, coefficient of heating, heat energy

Napomena: Ovaj rad je deo istraživanja na projektu: „Unapređenje traktora i mobilnih sistema u cilju povećanja konkurentnosti, očuvanja zemljišta i životne sredine“, evidencioni broj 31046, koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj, Republike Srbije.

Primljeno: 19. 08. 2015. god.

Prihvaćeno: 28. 08. 2015. god.