



Časopis Naučnog društva za pogonske mašine, traktore i održavanje
Journal of Scientific Society of Power Machines, Tractors and Maintenance

TRAKTORI I POGONSKE MAŠINE

TRACTORS AND POWER MACHINES

2

UDK 631.372

ISSN 0354-9496

Godina 20

Dec. 2015.



Novi Sad, Srbija

DVODIMENZIONALNI MODEL STACIONARNOG PROVOĐENJA TOPLOTE KROZ ČVRSTI GOVEĐI STAJNJAK U TOKU PROCESA KOMPOSTIRANJA

TWO-DIMENSIONAL MODEL OF STEADY STATE HEAT TRANSFER IN SOLID CATTLE MANURE DURING COMPOSTING

Radojičić D.¹, Zlatanović I., Radivojević D., Pajić M., Dražić M., Gligorević K.

REZIME

U ovom radu je analiziran proces proizvodnje komposta i toplote koja se razvija egzotermnim hemijskim procesima tokom kompostiranja čvrstog govećeg stajnjaka. Aeracija komposta izvedena je na otvorenom platou, korišćenjem odgovarajuće mašine za negu stajnjaka. Na izlazu iz mašine za aeraciju komposta formira se prizma. Temperature u proizvoljnom poprečnom preseku prizme nalazile su se u opsegu od 30-74°C i njihove vrednosti su približno ujednačene i u podužnom pravcu u kome se mašina kreće. Razvijen je dvodimenzionalni numerički model stacionarnog provođenja toplote u proizvoljnom poprečnom preseku prizme. Modelom je obuhvaćen uticaj okoline na procese prostiranja toplote kroz kompost, uticaj termomehaničkih osobina materijala, uticaj nehomogenosti materijala na temperaturno polje. Izvršeno je poređenje rezultata merenja sa modeliranim rezultatima, pri čemu je dobijeno zadovoljavajuće poklapanje.

Ključne reči: kompost, toplota, temperaturno polje, model, provođenje toplote.

SUMMARY

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. Conducted temperature measurements revealed the temperature increase in the mass of up to 75 ° C, with a fairly 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.

¹ Dipl. inž. Dušan Radojičić, Doc. dr Ivan Zlatanović, Prof. dr Dušan Radivojević, Doc. dr Miloš Pajić, Dipl. inž. Milan Dražić, Doc. dr Kosta Gligorević, Univerzitet u Beogradu – Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, Zemun, e-mail: radojicic@agrif.bg.ac.rs

Keywords: compost, heat, temperature field, model, heat transfer.

UVOD

Proizvodnja komposta od čvrstog goveđeg stajnjaka podrazumeva brzu konverziju organske materije u mineralnu, koju kao takvu biljke mogu brzo i lako da iskoriste [2,3]. Kompostiranjem stajnjakase uništavaju 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, smanjuje se zagađenje životne sredine neprijatnim mirisima i nekontrolisanim oticanjem osoke, smanjuju se troškovi manipulacije, transporta i aplikacije stajnjaka [4,5].

Postupak kompostiranja zahteva periodičnu negu stajnjaka u vidu aeracije mase, odgovarajućom opremom. Za vreme trajanja nege stajnjaka izvrši se dvanaest tretmana mase [3,5]. Razvijena temperatura komposta u egzotermnim reakcijama, vreme trajanja tih temperatura i količina stajnjaka koja je svakodnevno na raspolaganju, ukazuju na to da se ovim postupkom mogu dobiti značajne količine energije [7]. Prema nekim istraživanjima se od 1 kg organskog otpada oslobađa toplota od 1136 kJ (komunalni otpad), 17,06 MJ (mešavina slame i pilećeg stajnjaka) [1].

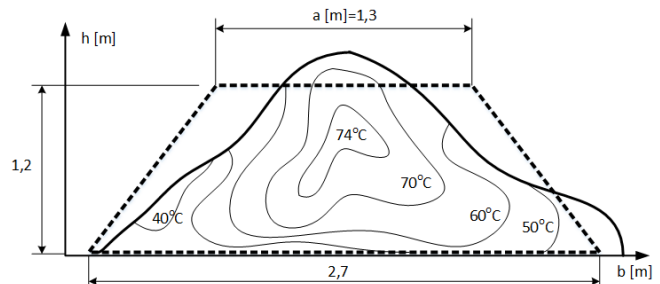
U ovom radu je razvijen i analiziran dvodimenzionalan model stacionarnog provođenja toplote kroz material komposta u ravni poprečnog preseka prizme. Modelom su objedinjeni uticajni parametri koji uzimaju u obzir uticaj okoline i termomehaničke osobine komposta. Model je razvijen u skladu sa potrebom da se na brz i efikasan način analiziraju varijacije temperatura i temperaturnog polja u poprečnom preseku prizme komposta.

MATERIJAL I METOD

Čvrsti goveđi stajnjak tokom se tokom procesa kompostiranja, usled unutrašnjih egzotermnih procesa, nalazi na povišenoj temperaturi i predstavlja potencijalni izvor toplote. U radu se posmatra proces kompostiranja čvrstog goveđeg stajnjaka, koji se iz staja dovozi na betonski plato i odlaže u formi prizme. Aeracija stajnjaka se izvodi prototipom samohodne mašine za negu stajnjaka *Kompomat-1*. Ceo postupak kompostiranja, kao i osnovni tehnički podaci prototipa mašine detaljnije su opisani u [7]. Period posmatranja procesa nege je trajao sedam nedelja, u toku kojih je izvršeno ukupno dvanaest tretmana.

Eksperimentalno istraživanje

Merenje temperature vršeno je dva puta nedeljno u jednom tipičnom preseku prizmeu više mernih tačaka kako bi se dobilo kompletno temperaturno polje u tom preseku. Poprečni presek prizme je aproksimiran jednakostraničnim trapezom (Slika 1). Dimenzije poprečnog preseka su: visina $h=1,2$ m, duža osnovica baze $b=2,7$ m, kraća osnovica baze $a=1,4$ m. Jedinična



Sl. 1. Model trapeza sa prikazom realnog temperaturnog polja u drugoj nedelji nege

Fig. 1. Trapeze model with second week crosssection temperature field

dužina prizme je $l=1\text{ m}$.

Jednačine modela

Numerički model dvodimenzionog stacionarnog provođenja toplote [9,10] kroz materijal komposta dobijen je rešavanjem diferencijalne jednačine (1),

$$\frac{1}{a} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla^2 T + \frac{\dot{q}_v}{\lambda} \quad (1)$$

gde je sa a označena toplotna difuzivnost materijala i može se odrediti iz (2).

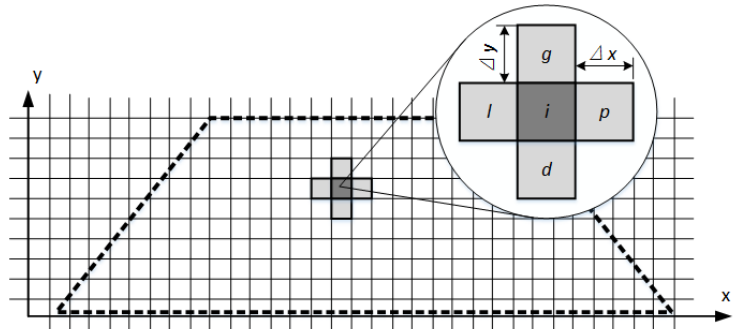
$$a = \frac{\lambda}{c_p \rho} \quad (2)$$

Za rešavanje pomenute jednačine potrebno je postaviti odgovarajuće granične uslove [8,11], kao i zadati vrednosti termomehantičkih veličina koje se u njima javljaju. Usvojeni su sledeći granični uslovi:

- ◆ temperatura okoline, 20°C;
- ◆ temperatura tla, 15°C;
- ◆ koeficijent provođenja toplote materijala, 15 W/mK;
- ◆ koeficijent provođenja toplote tla, 1,5 W/mK;
- ◆ koeficijent prelaženja toplote na spoljni vazduh, 7 W/m²K;
- ◆ dimenzije mreže, $\Delta x = \Delta y = 0,1\text{ m}$;

Poprečni presek (trapez) podeljen je numeričkom mrežom na ćelije dimenzija $\Delta x = \Delta y$, u skladu sa slikom 2.

Jednačinom numeričkog modela (3), izračunava se temperatura ćelije („i“, prema slici 2) na osnovu temperatura svih ćelija koje je okružuju („g, p, d, l“, prema slici 2).



Sl. 2. Model trapeza sa prikazom numeričkom mrežom
 Fig. 2. Trapeze model with numerical net

$$T_i = \frac{T_l \cdot k_{li} + T_g \cdot k_{gi} + T_p \cdot k_{pi} + T_d \cdot k_{di} + \dot{q}_{vi} \cdot \Delta x \Delta y}{k_{li} + k_{gi} + k_{pi} + k_{di}} \quad (3)$$

gde je k_{ji} toplotna provodljivost „i“-te ćelije i koja zavisi od koeficijenata provođenja toplote ćelija koje okružuju „i“-tu ćeliju čija se temperatura traži, a može se odrediti prema (4),

$$k_{ji} = \frac{\Delta x}{\Delta y} \left(\frac{1}{2\lambda_j} + \frac{1}{2\lambda_i} \right) \quad (4)$$

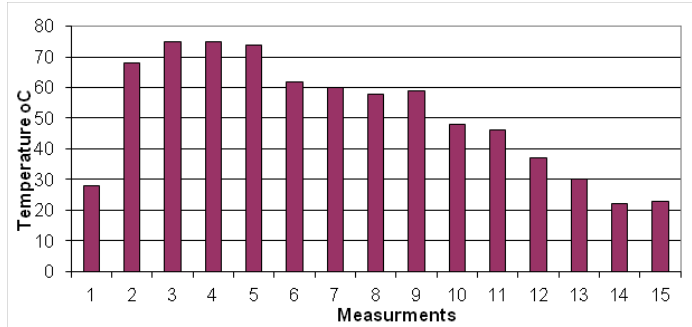
gde su λ_i i λ_j koeficijenti provođenja toplote „i“-te i „j“-te (jedne od četiri susedne) ćelije.

Ukoliko se u pomenutom modelu jedna od susednih ćelija nađe na granici, tj. bude presečena isprekidanom linijom (Slika 2) ivice trapeza, njena vrednost se zasebno zadaje imajući u vidu neki od pomenutih graničnih uslova.

REZULTATI I DISKUSIJA

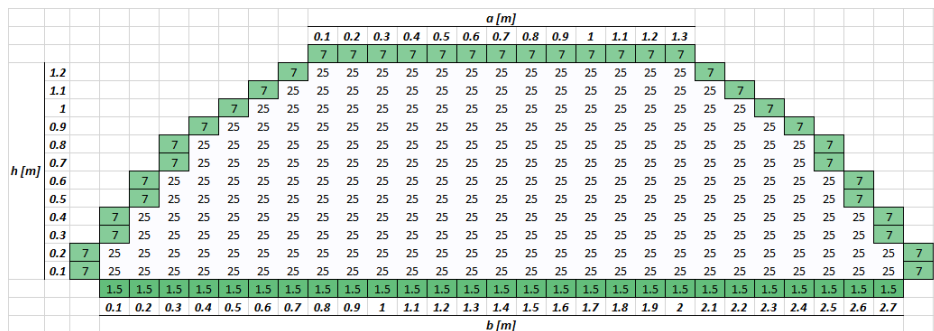
Rezultati merenja prosečne vrednosti temperatura, tokom perioda nege, u odabranom poprečnom preseku nalaze se u opsegu 22 do 75°C (Slika 3).

Za rešavanje jednačina numeričkog modela prethodno je neophodno formirati matricu graničnih i početnih uslova, u skladu sa geometrijom trapeznog modela poprečnog preseka. Numerička rešenja biće predstavljena za tri karakteristična slučaja:



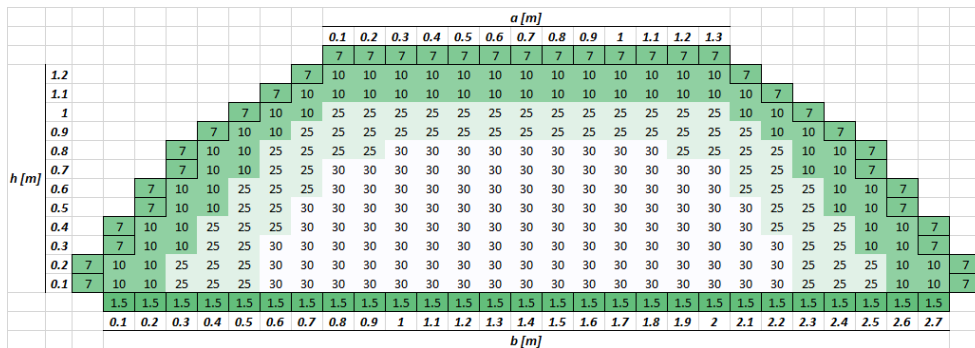
Sl. 3. Promene temperature u kompostu u toku perioda nege
Fig. 3. Temperature changes in compost during treatment period

- ◆ Materijal je homogen (Slika 3) i egzotermne reakcije se zanemaruju (Slika 5);
- ◆ Materijal je homogen (Slika 3) i egzotermne reakcije se uzimaju u obzir, a početni uslovi su postavljeni u skladu sa eksperimentalnim meranjima temperature (Slika 6);
- ◆ Materijal je nehomogen (Slika 4) i egzotermne reakcije se uzimaju u obzir, a početni uslovi su postavljeni u skladu sa eksperimentalnim meranjima temperature (Slika 7);



Sl. 3. Matrica graničnih uslova numeričkog modela – homogen materijal
Fig. 3. Boundary conditions matrix – homogeneous material

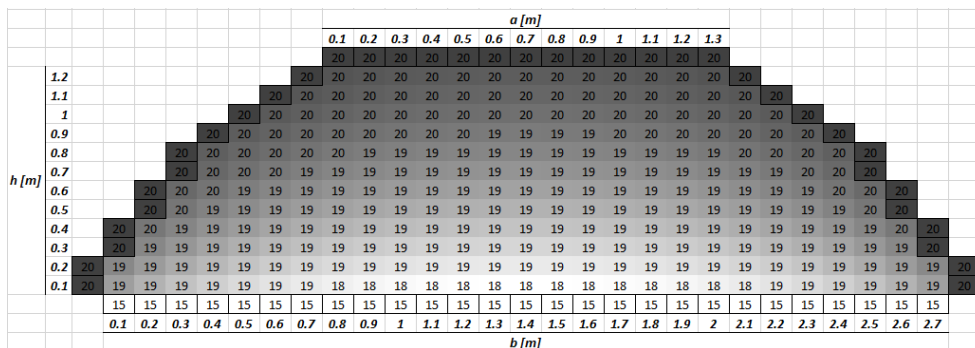
U slučaju homogenog materijala u termomehaničkom smislu (Slika 3), ćelije po obodu matrice imaju vrednosti koeficijenta prelaza toplote sa materijala na okolni vazduh $7 \text{ W/m}^2\text{K}$, i koeficijenta provođenja toplote sa materijala na tlo 1.5 W/mK . Unutar materijala, sve vrednosti toplote provodljivosti su jednake usled osobina homogenosti 25 W/mK .



Sl. 4. Matrica graničnih uslova numeričkog modela – nehomogen materijal
Fig. 4. Boundary conditions matrix – inhomogeneous material

U slučaju nehomogenog materijala (Slika 4), vrednosti toplotne provodljivosti unutar materijala variraju. Numerički model će ovu nejednakost uzeti u obzir, što će se manifestovati na odgovarajuće vrednosti temperatura ćelija. Ovakav slučaj se javlja u realnosti ali nije bio predmet ovog istraživanja. Međutim, ilustracije radi, može se pretpostaviti da će toplotna provodljivost spoljnih slojeva materijala biti niža od toplotne provodljivosti unutrašnjih slojeva. Ove vrednosti su uzete da se kreću u opsegu 10 do 30 W/mK.

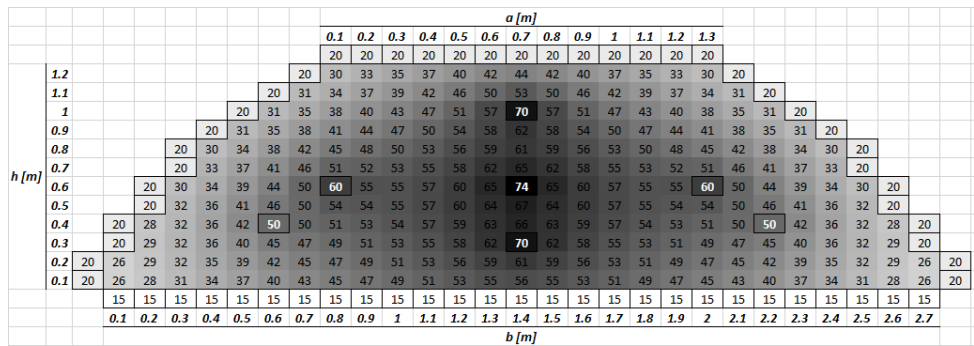
U slučaju zanemarivanja egzotermnih reakcija kojima se oslobađa toplota unutar materijala, materijal postaje jednostavan sloj kroz koji se toplota prenosi sa okolnog vazduha do tla (Slika 5).



Sl. 5. Numeričko rešenje jednačina modela u slučaju zanemarivanja egzotermnih reakcija u materijalu

Fig. 5. Numerical solution of model equations in case of neglecting material exothermic process

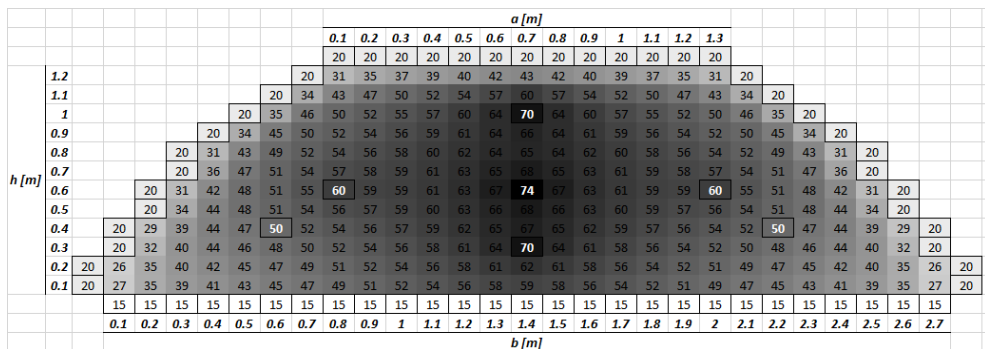
U slučaju kada se efekti egzotermnih reakcija uzmu u obzir, temperature pojedinih ćelija u unutrašnjosti materijala su veće. Ove temperature su izmerene i unete u model, a sedam pozicija unosa naznačena su na slici 6 (polja ćelija su uokvirena i unos obojen svetlijim brojevima). Poređenjem slika 5 i 6 jasno se može videti uticaj egzotermnog procesa na temperaturno polje u posmatranom preseku. Rezultat prikazan na slici 6 se veoma dobro slaže sa rezultatima merenja prikazanim na slici 1.



Sl. 6. Numeričko rešenje jednačina modela u slučaju uzimanja u obzir egzotermnih reakcija u materijalu

Fig. 6. Numerical solution of model equations including the material exothermic process

Treći analizirani slučaj uzima u obzir i nehomogenost materijala, kroz različite vrednosti toplotne provodljivosti materijala prikazane na slici 4, i kroz uzimanje u obzir postojanja egzotermnih reakcija. Rezultati rešavanja numeričkog modela (Slika 7) su u ovom slučaju veoma slični rezultatima prikazanim na slici 6.



Sl. 7. Numeričko rešenje jednačina modela u slučaju uzimanja u obzir egzotermnih reakcija u materijalu

Fig. 7. Numerical solution of model equations including the material exothermic process

Obzirom da je nehomogenost termomehaničkih osobina materijala uzeta kroz niže vrednosti toplotne provodljivosti spoljnih slojeva, temperaturno polje prikazano na slici 7 ukazuje na izolacione osobine spoljnih slojeva i slabije odavanje toplote u okolinu.

ZAKLJUČAK

U ovom radu je razvijen dvodimenzionalni numerički model stacionarnog provođenja toplote u proizvoljnom poprečnom preseku prizme kompostiranog čvrstog govedeg stajnjaka. Rezultati merenja ukazuju na postojanje temperaturnog polja u poprečnom preseku materijala, sa opsegom temperatura koje sekreću u intervalu 22 do 75°C. Povišene temperature su izazvane egzotermnim reakcijama u materijalu.

Modelom je obuhvaćen uticaj okoline na procese prostiranja toplote kroz kompost, uticaj termomehaničkih osobina materijala, uticaj nehomogenosti materijala na izgled temperaturnog polja. Analizirana su tri tipična slučaja u zavisnosti od toga da li je materijal homogen ili nehomogen u termomehaničkom smislu, i sa ili bez uzimanja u obzir egzotermnih procesa u

materijalu. Izvršeno je poređenje rezultata merenja sa modeliranim rezultatima, pri čemu je dobijeno zadovoljavajuće poklapanje.

Dalje unapređenje prikazanog modela može se kretati u smeru modeliranja spoljnih uticaja u procesu kompostiranja, kao što su uzimanje u obzir različitih intenziteta konduktivnog, konvektivno i radijacionog odavanja toplote u okolinu, i slično.

Rad predstavlja deo istraživanja na projektu: „Unapređenje biotehnoloških 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.

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.] 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., Pajić, M., Dražić, M., Gligorević, K., 2014. Potencijal proizvodnje i korišćenja toplotne energije dobijene u procesu kompostiranja čvrstog govedeg stajnjaka, Zbornik radova sa 17. Naučno – stručnog skupa sa međunarodnim učešćem "AKTUELNI PROBLEMI MEHANIZACIJE POLJOPRIVREDE – 2014", pp 187-194
- [8.] Sucheta A., Sikora K., “Solving two dimensional steady heat conduction with the use of spreadsheet”, XII Symposium on Heat and Mass Transfer, AGH-Kraków 2004. p.795-804
- [9.] Roman Weber, “Lectures Notes in Heat Transfer, 2ndEdition”, 2004 Clausthal-Zellerfeld
- [10.] Wojciech Zielenkiewicz, Eugeniusz Margas, “Theory of calorimetry”, 2002 Kluwer Academic Publishers
- [11.] Yunus A. Çengel, “Heat Transfer. A practical Approach”, 1998 McGraw Hill

Rad primljen: 09.11.2015.

Rad prihvaćen: 17.11.2015.