

Bibliid: 0350-2953 (2016) 42(4): 197-206
UDK: 662.7; 697

Originalni naučni rad
Original scientific paper

ANALIZA UTICAJA VRSTE GORIVA NA TERMOFIZIČKE KARAKTERISTIKE BALIRANE BIOMASE

EFFECTS OF TYPES OF FUELS ON THERMO-PHYSICAL PROPERTIES OF BALED BIOMASS

Aleksandar Eric¹, Dragoljub Dakić², Stevan Nemoda¹,
Mirko Komatina³, Branislav Repić¹

^aUniverzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke "Vinča",
Laboratorija za termotehniku i energetiku, 11351 Beograd, Mihaila Petrovića Alasa 12-14

^bUniverzitet u Beogradu, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta
11000 Beograd, Kraljice Marije 16

^vUniverzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 11000 Beograd, Kraljice Marije 16
E-mail: erica@vinca.rs

SAŽETAK

U radu su prikazani rezultati eksperimentalnog određivanja termofizičkih karakteristika balirane biomase čije poznavanje je neophodno za procese modeliranja transportnih fenomena u materijalu sa osobinama poroznog sloja. U cilju određivanja termofizičkih karakteristika balirane biomase osmišljena je eksperimentalna metoda i konstruisana odgovarajuća eksperimentalna aparatura. Ispitivan je uticaj veličine poroznosti sloja na vrednost stagnantne toplotne provodljivosti. Na osnovu sprovedenih merenja, kao i analize eksperimentalnih rezultata, određena je funkcionalna zavisnost stagnantne toplotne provodljivosti od poroznosti u opsegu od 0,50-0,85. Dobijeni rezultati pokazuju da smanjenjem poroznosti sloja do vrednosti od 0,65 dolazi do smanjenja vrednosti toplotne provodljivosti, a daljim smanjenjem veličine poroznosti ispod 0,65 dolazi do porasta vrednosti toplotne provodljivosti. Dobijeni rezultati korišćeni su u procesu modeliranja transportnih fenomena sagorevanja u poroznom sloju.

Gljučne reči: termofizičke karakteristike, toplotna provodljivost, balirana biomasa.

1. UVOD

Sagorevanje balirane biomase po principu cigaretnog sagorevanja je nova i nedovoljno istražena tehnologija [Bech et al, 1996, Janić i dr, 2008, Repić et al, 2013]. Specifičnost ove tehnologije se ogleda u tome što se proces sagorevanja značajnim delom odvija u bali, koja po svojim osobinama predstavlja porozni sloj. Za modeliranje transportnih fenomena u poroznom sloju neophodno je poznavanje termofizičkih karakteristika [Erić i dr., 2013]. Najvažnije termofizičke karakteristike koje je potrebno definisati pri numeričkoj

simulaciji sagorevanja baliranog agro ostatka su: poroznost, permeabilnost i toplotna provodljivost.

Prema modelu trenja [Kaviany, 1995], koji se najčešće koristi za opisivanje pojava prenošenja toplote u poroznoj sredini, toplota se provođenjem unutar same sredine redno ili paralelno prenosi i kroz čvrstu i kroz gasovitu fazu. Ovaj efekat je intenzivniji ako u poroznoj sredini postoji strujanje gasovite faze unutar pora. Model trenja, u suštini, pojednostavljuje složen oblik prenošenja toplote uvođenjem efektivnog koeficijenta koji spregnuto u obzir uzima sve ove mehanizme (konvektivni i konduktivni) i pretpostavlja kao da se toplota u poroznoj sredini prenosi samo provođenjem. Koeficijent se definiše kao efektivna toplotna provodljivost (λ_{eff}) [Kaviany, 1995, Nemoda i dr, 2004, Nield, 2006]. Ova termička karakteristika je složena i zavisi od više faktora. Ako se uzme u obzir da je karakter strujanja prilikom sagorevanja balirane biomase laminaran, efektivna toplotna provodljivost može da se подели na dva dela i to na stagnatnu (λ_o) i disperznu (λ_{dis}):

$$\lambda_{eff} = \lambda_o + \lambda_{dis} \quad (1)$$

Toplotna disperzija je pojava koja se javlja u poroznoj sredini kao posledica strujanja gasovite faze na nivou pora, koje je uzrokovano spoljašnjim uticajima. U uslovima mirovanja gasovite faze λ_o predstavlja toplotnu provodljivost porozne sredine. U tom slučaju, na nju utiču sledeći faktori porozne sredine: veličina poroznosti (ε), toplotna provodljivost čvrste (λ_s) i gasovite faze (λ_f), kao i raspored pora i čvrste matrice u odnosu na pravac prenošenja toplote (gradijent temperature). Ako se pretpostavi da se prenošenje toplote kroz poroznu sredinu obavlja paralelno kroz pore i čvrstu materiju, onda stagnantna toplotna provodljivost će imati oblik sledeće zavisnosti [Nield, 2006, Erić, 2010]:

$$\lambda_o = (1 - \varepsilon) \cdot \lambda_s + \varepsilon \cdot \lambda_f \quad (2)$$

Drugi slučaj orijentacije matrice strukture, kod koje se pore i čvrsta materija smenjuju redno u pravcu prostiranja toplote, može da se predstavi u sledećem obliku [Nield, 2006]:

$$\frac{1}{\lambda_o} = \frac{1 - \varepsilon}{\lambda_s} + \frac{\varepsilon}{\lambda_f} \quad (3)$$

Iz izraza (2) i (3) se analizom može zaključiti da je vrednost λ_o pri paralelnoj raspodeli, uvek veći od toplotne provodljivosti čvrste faze, osim u slučaju kada je $\lambda_s \leq \lambda_f$. Za praktične primene [Nield, 2006] pominje još jedna zavisnost između λ_s i λ_f , pri definisanju λ_o :

$$\lambda_o = \lambda_s^{1-\varepsilon} \cdot \lambda_f^\varepsilon \quad (4)$$

Ova zavisnost ne daje dobre rezultate u slučaju kada je razlika u vrednosti koeficijenta λ_s i λ_f izrazito velika. Primenljivost datog izraza nije samo uslovljeno poznavanjem vrednosti koeficijenta λ_s i λ_f , nego i poznavanjem i postojanjem pravilne geometrije porozne sredine. Naime, u slučaju porozne sredine vlaknaste strukture, ako je prostiranje toplote duž ose vlakana, onda je ispravno koristiti rednu zavisnost, pri definisanju stagnantnog koeficijenta. U drugom slučaju, poprečnog prostiranja toplote u odnosu na orijentaciju vlakana, treba koristiti harmonijsku zavisnost. Međutim, u realnosti

se najčešće ne sreću ovako pravilno definisani problemi, pa svako ovakvo razmatranje može da dovede do nekorektnih ili netačnih podataka. Stoga se najčešće pribegava eksperimentalnom određivanju λ_o koristeći opštu formulu [Erić, 2010, Erić i dr., 2010a]:

$$\lambda_o = - \frac{\dot{q}}{\nabla T} \quad (5)$$

gde \dot{q} predstavlja toplotni protok po jedinici površine. Osnovna jednačina koja je korišćena prilikom određivanja λ_o je jednačina koja proističe iz Fourier-ovog zakona da je toplotni protok kroz neku sredinu proporcionalan gradijentu temperature, što za slučaj cilindričnog zida može da se prikaže u sledećem obliku:

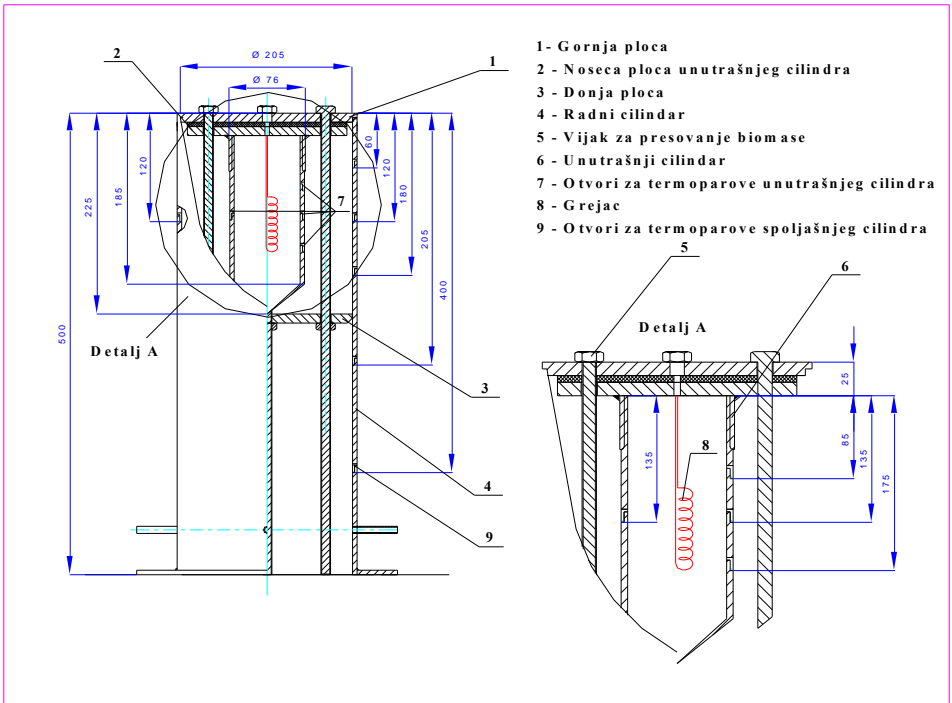
$$\lambda_o = \frac{|\dot{Q}|}{2\pi l \Delta T} \ln \frac{d_2}{d_1} \quad (6)$$

gde su d_2 i d_1 spoljašnji i unutrašnji prečnik cilindra, Q ukupni toplotni protok, a l dužina cilindra. Na ovaj način, merenjem razlike temperatura između spoljašnjeg i unutrašnjeg zida cilindra, kao i toplotnog protoka između ova dva zida cilindra, moguće je jednostavno odrediti koeficijent provođenja toplote. Ova metodologija je primenjena u radu.

2. MATERIJAL I METOD

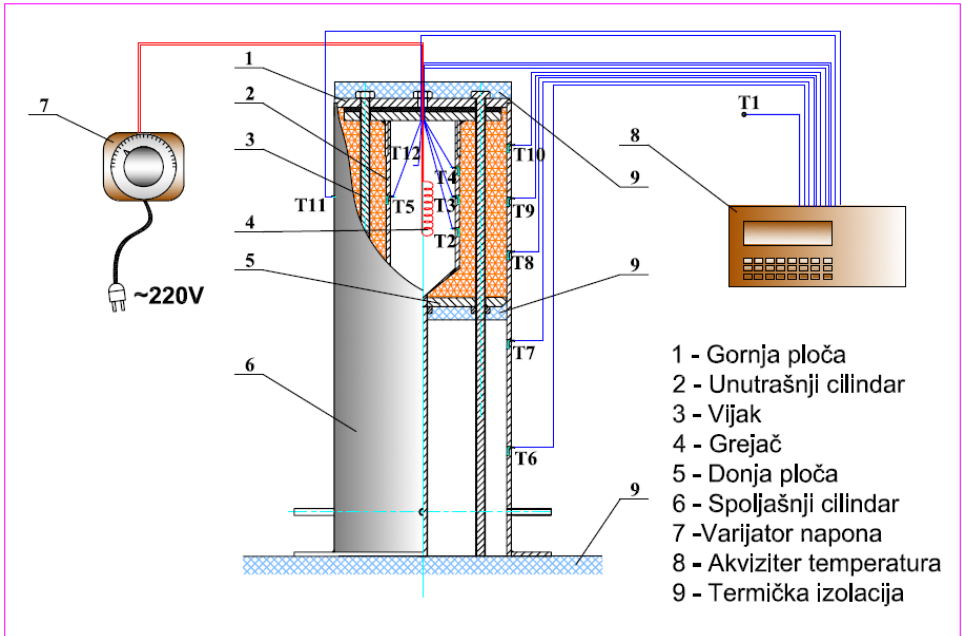
Cilj sprovedenih eksperimentalnih istraživanja je određivanje vrednosti stagnantne toplotne provodljivosti (λ_o) baliranog agro ostataka, kao i njene funkcionalne zavisnosti od veličine poroznosti. Imajući u vidu karakteristike agro biomase u pogledu anizotropnosti, reprezentativni uzorak mora biti što veći kako bi se uticaj ove karakteristike sveo na minimum. Za izvođenje ispitivanja konstruisana je i izrađena eksperimentalna aparatura na kojoj je moguće određivati λ_o , pri različitim vrednostima poroznosti (Sl. 1.).

Stagnantna toplotna provodljivost je određivana na osnovu modela provođenja toplote kroz cilindrični zid, u čiju svrhu je vršeno merenje razlike temperatura na spoljašnjoj i unutrašnjoj strani zida. Aparatura omogućava da se promenom zapremine radnog dela (poz. 4), u kojem se nalazi uzorak konstantne mase, varira njegova poroznost u izabranom opsegu. Radni deo aparature je dovoljno veliki tako da omogućava rad sa 1kg uzorka u slobodnoj formi, što predstavlja dovoljnu količinu kojom bi se u znatnoj meri smanjio uticaj eventualne anizotropnosti uzorka na krajnji rezultat. Šema aparature je prikazana na Sl. 2. Princip merenja λ_o se zasniva na merenju temperatura spoljašnjeg i unutrašnjeg cilindra, kao i okolne temperature pomoću termoparova (T_{12}). Prikupljanje podataka je vršeno pomoću akvizitera (poz. 8). U cilju smanjenja toplotnih gubitaka aparatura je izolovana stiroporom (poz. 9).



Sl. 1. Radni deo eksperimentalne aparature za određivanje toplotne provodljivosti
Fig. 1. The working part of experimental apparatus for determining thermal conductivity

Određivanje toplotnog protoka iz jedn. (6) se zasniva na posmatranju toplotnog protoka sa zida spoljašnjeg cilindra na okolinu, korišćenjem srednjih vrednosti Nuseltovog broja. Zbog velike vrednosti toplotne provodljivosti materijala zida, pretpostavljeno je da se temperatura duž debljine zida može smatrati konstantnom. Određivanje temperature spoljašnjeg cilindra je vršeno ponderisanjem na površinu čiju temperaturu reprezentuju.



Sl. 2. Šema eksperimentalne aparature za određivanje stagnatne toplotne provodljivosti
Fig. 2. Scheme of the experimental apparatus for determine stagnant thermal conductivity

Kada je u pitanju određivanje razlike temperatura ΔT iz jednačine (6) potrebno je napomenuti da je usvojena još jedna pretpostavka, a to je jednakost temperature zida i površine uzorka koji je u kontaktu sa njim. Za karakteristične temperature na spoljašnjoj i unutrašnjoj površini uzorka usvojene su srednje temperature zidova na datim deonicama.

Validacija metode izvršena je poređenjem rezultata dobijenih merenjem poroznog materijala poznate toplotne provodljivosti. U ovu svrhu korišćen je referentni materijal - stiropor poznate toplotne provodljivosti $\lambda=0,045\text{W/mK}$, čija je toplotna provodljivost uporediva sa očekivanom toplotnom provodljivošću baliranog ostatka. Na osnovu rezultata dobijenih merenjem toplotne provodljivosti stiropora po opisanoj metodologiji, došlo se do korektivne vrednosti za toplotnu provodljivost baliranog ostatka. Greška merenja je jednaka greški merenja termoparova tipa K, koja na opsegu od $0-100^{\circ}\text{C}$ iznosi $0,5^{\circ}\text{C}$, a prilikom određivanja toplotnog protoka se može pretpostaviti da greška ne može biti veća od 5%.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Prilikom izvođenja eksperimenata ograničavajući faktor je veličina poroznosti do koje je moguće vršiti presovanje biomase. Za slučaj većine agro biomase najniža poroznost koju je moguće postići presovanjem na aparaturi je oko 0,5, jer nakon toga sila za presovanje postaje izrazito velika, pa postaje ugrožena izdržljivost aparature. U realnim uslovima balirana biomase se nikada ne presuje do poroznosti od 0,5. Na opisanoj

aparaturi izvršeno je devet eksperimenata sa uljanom repicom i jedan eksperiment validacije metode sa stiroporom. Izbor temperatura T_1 - T_{12} je vršen u stacionarnom režimu nakon približno 24 h rada. Temperature dobijene u eksperimentima prikazane su u Tabeli 1.

Rezultati proračuna toplotne provodljivosti predstavljeni su u Tabeli 2 i na Sl. 3. Razlika koja je dobijena merenjem toplotne provodljivosti stiropora, čija je katalogska vrednost $\lambda=0,045\text{W/mK}$, je usvojena kao apsolutna greška aparature, koja najverovatnije nastaje usled nesavršenosti izolovanja i postojanja izvesnih toplotnih mostova.

Tab. 1. Temperature za određivanje toplotne provodljivosti

Tab. 1. Temperatures for determination of thermal conductivity

| Poroznost Porosity | Temperature/Temperatures, °C | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ | T ₅ | T ₆ | T ₇ | T ₈ | T ₉ | T ₁₀ | T ₁₁ | T ₁₂ |
| Stiropor | 13,10 | 70,30 | 70,41 | 64,72 | 69,90 | 20,54 | 21,66 | 22,76 | 23,60 | 24,52 | 23,61 | 62,80 |
| 0,84 | 17,38 | 58,47 | 60,88 | 57,50 | 60,25 | 19,44 | 20,37 | 21,29 | 21,75 | 22,6 | 21,92 | 60,75 |
| 0,80 | 16,25 | 62,35 | 63,94 | 59,93 | 63,43 | 18,38 | 19,26 | 20,14 | 20,50 | 21,37 | 20,86 | 60,14 |
| 0,75 | 16,53 | 56,59 | 58,88 | 55,97 | 58,31 | 18,26 | 19,19 | 20,01 | 20,31 | 20,89 | 20,61 | 59,65 |
| 0,71 | 16,56 | 60,33 | 62,00 | 57,93 | 61,59 | 18,38 | 19,25 | 20,09 | 20,49 | 21,17 | 20,63 | 59,92 |
| 0,67 | 19,13 | 70,23 | 71,17 | 66,34 | 70,83 | 21,04 | 21,86 | 22,69 | 23,06 | 23,70 | 23,15 | 66,98 |
| 0,63 | 18,23 | 73,43 | 74,21 | 68,84 | 73,87 | 20,15 | 21,10 | 22,08 | 22,58 | 23,38 | 22,58 | 67,93 |
| 0,59 | 18,92 | 76,32 | 76,71 | 71,15 | 76,28 | 20,86 | 21,82 | 22,86 | 23,41 | 24,24 | 23,55 | 67,84 |
| 0,55 | 16,26 | 71,55 | 72,13 | 66,80 | 71,58 | 18,15 | 19,21 | 20,34 | 20,97 | 21,94 | 20,77 | 64,41 |
| 0,51 | 19,51 | 74,16 | 74,8 | 69,49 | 74,20 | 21,69 | 22,63 | 23,59 | 24,00 | 24,80 | 24,17 | 69,61 |

Tab. 2. Proračun stagnatne toplotne provodljivosti

Tab. 2. Calculation of stagnant thermal conductivity

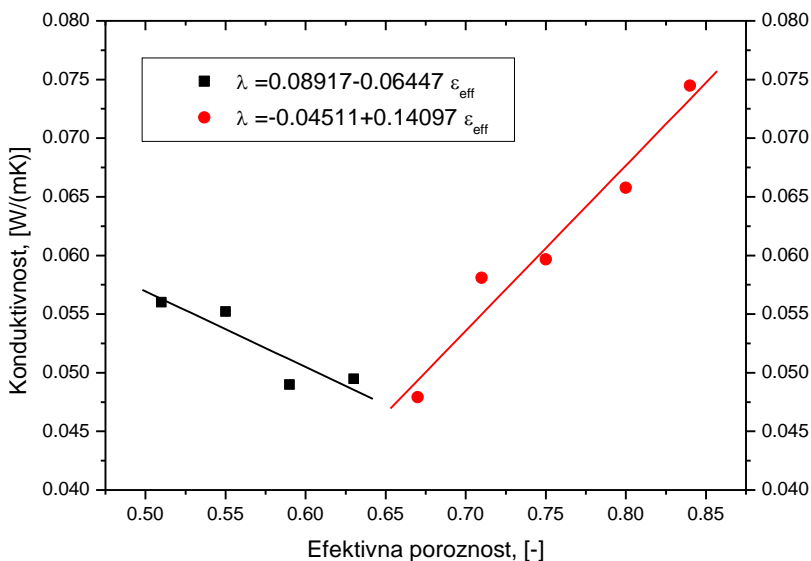
| Poroznost Porosity | Nu | α | $ \dot{Q} $ | λ | λ_{kor} |
|-----------------------|----------|--------------|-------------|------------|-----------------|
| | [-] | $[W/(m^2K)]$ | [W] | $[W/(mK)]$ | $[W/(mK)]$ |
| Stiropor | 62,23571 | 3,149127 | 3,48936 | 0,060650 | 0,01565 |
| 0,84 | 62,30117 | 3,277041 | 3,816919 | 0,090495 | 0,07447 |
| 0,80 | 62,60178 | 3,292854 | 3,839044 | 0,081796 | 0,06578 |
| 0,75 | 60,20605 | 3,166838 | 3,170601 | 0,075692 | 0,05967 |
| 0,71 | 60,75434 | 3,195678 | 3,319538 | 0,074119 | 0,0581 |
| 0,67 | 60,30438 | 3,17201 | 3,333626 | 0,063932 | 0,04791 |
| 0,63 | 61,62075 | 3,241252 | 3,662114 | 0,065501 | 0,04948 |
| 0,59 | 61,81089 | 3,251253 | 3,760245 | 0,065007 | 0,04899 |
| 0,55 | 62,95606 | 3,311489 | 3,949901 | 0,071243 | 0,05522 |
| 0,51 | 62,32851 | 3,278479 | 3,958971 | 0,072021 | 0,056 |

Na Sl. 3. se može videti da λ_0 opada sa smanjenjem poroznosti do vrednosti od 0,65, a zatim počinje da raste. Analizirajući najčešće korišćene modele provođenja toplote kroz porozni sloj (jedin. 2-4), može se primetiti da sve tri funkcionalne zavisnosti karakteriše porast λ_0 sa smanjenjem poroznosti. Ova tvrdnja važi za oblast kada je λ čvrste faze veća od λ fluidne faze ($\lambda_s / \lambda_f > 1$), jer se tada fluid ponaša kao izolator pa porast poroznosti dovodi do smanjenja toplotnog protoka. Slučaj koji se ovde razmatra pripada pomenutoj oblasti, jer je vrednost λ fluidne faze jednaka λ vazduha za srednju temperaturu od približno 50°C i iznosi $\lambda_f=0,026\text{W/(mK)}$, a pretpostavlja se da toplotna provodljivost

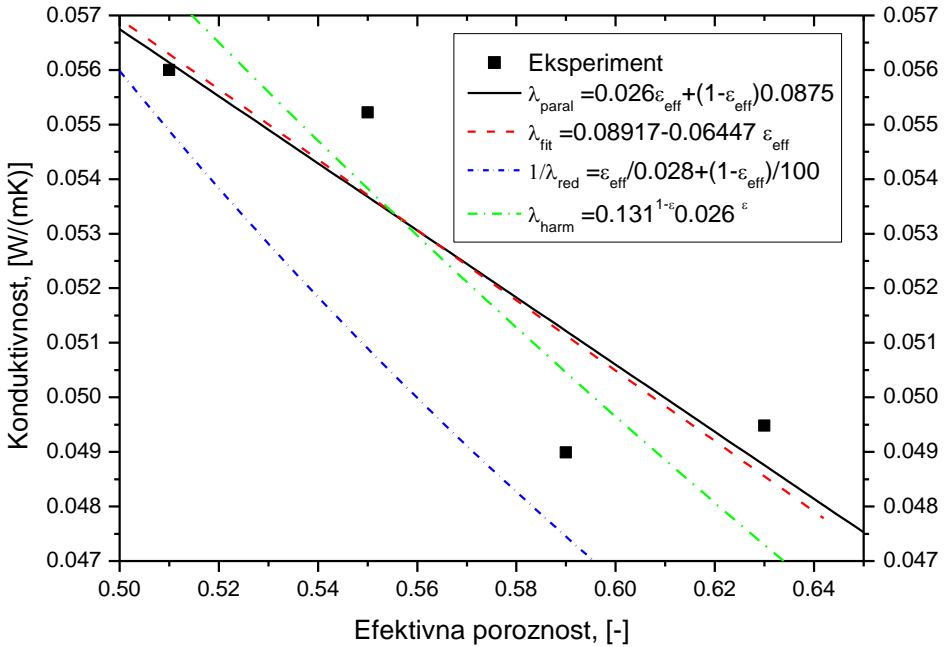
čvrste faze može biti približna toplotnoj provodljivosti drveta, koja iznosi oko $\lambda_s=0,1\text{W}/(\text{mK})$.

U poroznoj sredini kakva je bala uljane repice postoje otvorene i zatvorene pore. Međutim, kako se radi o λ_o (bez spoljašnjeg stujanja fluida) na njenu veličinu istovetno deluju i otvorene i zatvorene pore, a jedina razlika se može ogledati u njihovoj veličini. Otvorene pore su znatno veće od zatvorenih pora koje se nalaze u samoj stabljici. Stoga pri presovanju najpre dolazi do smanjenja zapremina otvorenih pora. Smanjenjem poroznosti bale dolazi do smanjenja zapremina otvorenih pora kao i njihovog deljenja. Usled toga fluid unutar njih ima smanjenu mogućnost cirkulacije, a samim tim i smanjenu mogućnost prenošenja toplote između zidova. Na taj način se može objasniti činjenica dobijena ispitivanjem da λ_o uljane repice opada sa smanjenjem poroznosti do vrednosti od 0,65.

Sa daljim smanjenjem poroznosti rezultati pokazuju drugačiji karakter (Sl. 3.). Pretpostavka je da su otvorene pore do te mere smanjene da su postale reda veličina zatvorenih pora, tako da unutar njih nema cirkulacije fluida i uticaja na intenzivnije prenošenje toplote. Dalje smanjenje poroznosti se sada odvija, kako na račun smanjenja otvorenih, tako i na račun zatvorenih pora. Detaljniji prikaz sa analizom ove pojave (primenom poznatih modela λ_o) prikazan je na Slici 4. Isprekidana linija predstavlja linearnu funkcionalnu zavisnost dobijenu fitovanjem eksperimentalnih rezultata. Odatle se može primetiti zadovoljavajuće slaganje ove zavisnosti sa funkcionalnom zavisnošću modela koji pretpostavlja paralelan način prenošenja toplote u poroznom sloju za vrednosti λ_f od $\lambda_f=0,026\text{W}/(\text{mK})$ i čvrste faze od $\lambda_s=0,0875\text{W}/(\text{mK})$ [Ražnjević, 1975].



Sl. 3. Zavisnost stagnatne toplotne provodljivosti uljane repice od poroznosti
Fig. 3. Dependence of stagnant thermal conductivity and porosity for rapeseed



Sl. 4. Zavisnost stagnantne toplotne provodljivosti od poroznosti za vrednosti ispod 0,65
Fig. 4. Dependence of stagnant thermal conductivity and porosity to values below 0.65

$$\lambda_{par} = 0,026 \varepsilon_{eff} + 0,0875 (1 - \varepsilon_{eff})$$

(7) Razilaženje rezultata se primećuje kada je u pitanju harmonijski model prenošenja toplote za vrednosti toplotne provodljivosti fluidne faze od $\lambda_f=0,026\text{W}/(\text{mK})$ i čvrste faze od $\lambda_s=0,131\text{W}/(\text{mK})$ [Ražnjević, 1975]:

$$\lambda_{harm} = 0,131^{1-\varepsilon_{eff}} 0,026^{\varepsilon_{eff}}$$

(8) U slučaju rednog modela se vidi da je njegova primena praktično nemoguća na razmatranom poroznom sloju, jer ne pokazuje slaganje sa eksperimentalnim rezultatima čak i kada su uzete nerealne vrednosti toplotne provodljivosti fluidne i čvrste faze od $\lambda_f=0,028\text{W}/(\text{mK})$ i $\lambda_s=100\text{W}/(\text{mK})$ [Ražnjević, 1975].

$$1/\varepsilon_{eff} = \varepsilon_{eff} / 0,028 + (1 - \varepsilon_{eff}) / 100$$

(9) Formalno gledano ni jedan od razmatranih modela ne može biti primenjen na slučaj balirane uljane repice, jer forma pakovanja čvrste i fluidne faze nema pravilan karakter, već treba koristiti fitovane eksperimentalne podatke. Odavde proističe zaključak da do vrednosti efektivne poroznosti od 0,65 smanjenje zapremina pora se odvija na račun otvorenih pora, a nakon toga kada otvorene pore postanu reda veličina zatvorenih pora, prenošenje toplote konvekcijom unutar njih gubi na značaju, pa se procesi prenošenja

toplote odvijaju po standardnim modelima. Kao rezultat ovih istraživanja mogu se prikazati dve jednačine za λ_o u zavisnosti od poroznosti u sledećem obliku:

$$\lambda_o = 0,08917 - 0,06447 \varepsilon_{eff} \quad za \quad \varepsilon_{eff} < 0,65$$

(10)

$$\lambda_o = -0,04511 + 0,14097 \varepsilon_{eff} \quad za \quad \varepsilon_{eff} > 0,65$$

(11)

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan postupak eksperimentalnog određivanja stagnantne toplotne provodljivosti balirane biomase, kao i uticaj promene poroznosti na njenu vrednost. U cilju simulacije realnih uslova po principu „cigaretnog sagorevanja“ biomase razmatran je širok opseg promene uticajnih karakteristika goriva i poroznosti u opsegu od 0,50-0,85. Primenjena metoda prilagođena je potrebama dobijanja podataka iz uzoraka koji odgovaraju realnim uslovima u ložištu. Eksperimenti su pokazali da se toplotna provodnost biomase smanjuje, smanjenjem poroznosti uzorka do vrednosti od 0,65, što se može objasniti pojavom smanjenja zapremine zatvorenih pora, pa fluid unutar njih ima smanjenu mogućnost cirkulacije, a samim tim i smanjen intenzitet prenošenja toplote između zidova pora. Dobijene eksperimentalne zavisnosti stagnantne toplotne provodljivosti balirane uljane repice od poroznosti koriste se prilikom projektovanja ložišta kao i prilikom formiranja detaljnih CFD modela procesa u ložištima za „cigaretno“ sagorevanje biomase.

6. LITERATURA

- [1] Bech N, Wolff L, Germann L. (1996). Mathematical Modeling of Straw Bale Combustion in Cigar Burners. *Energy & Fuels* 10: 276-283.
- [2] Erić A. (2010). Termomehantički procesi pri sagorevanju baliranog sojinog ostatka u potisnom ložištu. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet.
- [3] Erić A. i dr. (2010a). Određivanje stagnantne toplotne provodljivosti baliranog sojinog ostatka. *Savremena poljoprivredna tehnika* 36(4): 334-343.
- [4] Erić A. i dr. (2013). Analiza sagorevanja balirane biomase u ložištu toplotne snage 50 kW. *Savremena poljoprivredna tehnika* 39(4): 221-228.
- [5] Janić T, Brkić M, Igić S, Dedović N. (2008). Termoenergetski sistemi sa biomasom kao gorivom. *Savremena poljoprivredna tehnika* 34(3-4): 212-219.
- [6] Kaviany M. (1995). *Principles of Heat Transfer in Porous Media*, 2nd Ed., Springer.
- [7] Nemoda S, Trimis D, Zivkovic G. (2004). Numerical simulation of porous burners and hole plate surface burners. *Thermal Science* 8(1): 3-17.
- [8] Nield D A, Bejan A. (2006). *Convection in Porous Media*, Springer Science Business Media, Inc.
- [9] Ražnjević K. (1975). Termodinamičke tablice, Školska knjiga, Zagreb.
- [10] Repić B. et al. (2013). Investigation of the cigar burner combustion system for baled biomass. *Biomass and Bioenergy* 58(11): 10-19.

EFFECTS OF TYPES OF FUELS ON THERMO-PHYSICAL PROPERTIES OF BALED BIOMASS

Aleksandar Erić¹, Dragoljub Dakić², Stevan Nemoda¹,
Mirko Komatina³, Branislav Repić¹

¹ University of Belgrade, Institute of Nuclear Sciences "Vinca", Laboratory for thermotechnic and energy, 11351 Beograd, Mihaila Petrovića Alasa 12-14, Serbia

² University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering Innovation Centre, 11000 Belgrade, Kraljice Marije 16, Serbia

³ Univerzitet in Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, 11000 Belgrade, Kraljice Marije 16, Serbia

SUMMARY

The paper presents experimental data obtained in the course of investigation focused on analysis of thermo-physical properties of baled biomass which value are necessary for modeling of transport phenomena in materials with porous bed. Experiments were conducted using a custom designed and constructed experimental setup and implementing original experimental procedure. Results obtained enabled stagnant thermal conductivity of biomass to be determined for different biomass porosity values. Analysis of experimental data enabled functional dependence of stagnant thermal conductivity on porosity to be determined, with porosity varied in a range 0.50-0.85. Results obtained indicate that reduced bed porosity, down to the value of 0.65, causes stagnant thermal conductivity of the bed to be reduced. Further porosity reduction, below the value of 0.65, results in increased stagnant thermal conductivity of the bed. In addition, data to be acquired shall be helpful in modeling the transport phenomena associated with combustion in porous beds.

Keywords: Thermo-physical characteristics, thermal conductivity, baled biomass

Napomena: Rad predstavlja deo istraživanja na projektu „Razvoj i unapređenje tehnologija za energetski efikasno korišćenje više formi poljoprivredne i šumske biomase na ekološki prihvatljiv način, uz mogućnost kogeneracije“ (III42011) koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Primljeno: 17. 02. 2016. god.

Prihvaćeno: 08. 03. 2016. god.