

UDK: 631.536

*Originalni naučni rad
Original scientific paper*

ANALIZA ENERGETSKE EFIKASNOSTI SUŠENJA SEMENSKOG KUKURUZA U INSTITUTU ZA KUKURUZ “ZEMUN POLJE“ U ZEMUNU

Ivan Zlatanović^{1*}, Kosta Gligorević¹, Dušan Radojičić¹, Milan Dražić¹, Mičo Oljača¹, Zoran Dumanović³, Miloš Mišović³, Nebojša Manić², Nedžad Rudonja²

¹*Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Institut za poljoprivrednu tehniku, Beograd- Zemun*

²*Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd*

³*Institut za kukuruz „Zemun polje“ Beograd- Zemun*

Sažetak: U ovom radu je analizirana i ispitana energetska efikasnost sušenja semenskog kukuruza u doradnom centru Instituta za kukuruz “Zemun Polje“ u Zemunu. Podaci o radu starog sistema sušenja koji je kao energent koristio prirodni gas, analizirani su i upoređeni sa energetske parametrima novog sistema, koji kao energent koristi usitnjeni oklasak dobijen u procesu krunjenja semenskog kukuruza. Rad se takođe bavi i razmatranjem ekoloških aspekata korišćenja oklasaka kao goriva i tehnno-ekonomskom opravdanošću primene ovakvog sistema sušenja.

Ključne reči: *sušenje, energetska efikasnost, oklasak, semenski kukuruz, prirodni gas, ekologija.*

UVOD

Tehnologija proizvodnje semena kukuruza podrazumeva da se klip semenskog kukuruza često ubira sa visokim sadržajem vlage (preko 40% pre nego što fiziološki sazri), da bi se smanjio rizik oštećenja od mrazeva, insekata i bolesti [1]. Da bi se bezbedno skladištilo neophodno je da se sadržaj vlage snizi na najviše 14%. U zavisnosti od sadržaja vlage i karakteristika hibrida sušenje traje 60 – 100 sati po binu. Budući da je većina sušara za semenski kukuruz realizovana po principu sušenja u debelom nepokretnom sloju [1], potrebno je utrošiti velike količine toplotne energije, odnosno velike količine energenata. Postojeće stanje na tržištu energenata, sa sve skupljim gorivima fosilnog porekla, kao i

* Kontakt autor: Ivan Zlatanović, Nemanjina 6, 11080 Beograd-Zemun, Srbija.
E-mail: ivan@agrif.bg.ac.rs

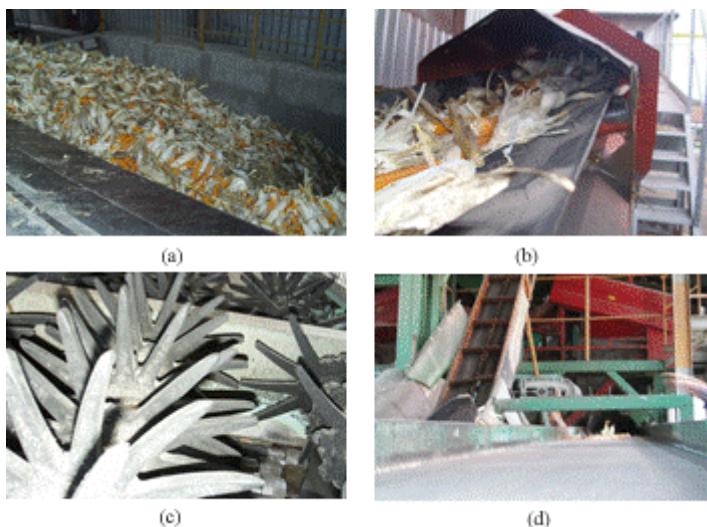
tendencije zaštite životne sredine, nameću potrebu promene tehnologije sušenja i prelazak na biomasu kao gorivo. Fizički oblik i karakterističan hemijski sastav biomase uslovljavaju značajnu razliku u odnosu na fosilna goriva i ističu njenu ekološku vrednost. Činjenica da biomasa u svom sastavu ne sadrži, ili sadrži znatno manje, sumpora u odnosu na fosilna goriva, daje joj ekološki značaj [2].

Prema direktivi EU 2003/30/EC, biomasa predstavlja biorazgradivu frakciju proizvoda, otpada i ostataka iz poljoprivrede (biljnog i životinjskog porekla), šumarstva i sa njima povezanih oblasti, kao i biorazgradive frakcije industrijskog i komunalnog otpada [3].

U ovom konkretnom slučaju, kao zamena za zemni gas koristi se oklasak kukuruza.

PREGLED OPERACIJA RAZMATRANE TEHNOLOGIJE SUŠENJA

Posle uzorkovanja i određivanja vlage, prijem semenskog kukuruza vrši se u prijemnom košu (Sl.1a). Nakon prijema, klipovi se elevatorom neokomušanog klipa (Sl.1b) transportuju do dozatora komušaća, čiji je zadatak da klipove ravnomerno raspoređi i doprema do komušaća (Sl.1c). U postrojenju se nalaze dva komušaća sa po 12 valjaka. Nakon izvršenog komušanja, klipovi se trakastim transporterom okomušanog klipa transportuju do prebirne trake (Sl.1d). Na prebornoj traci radnici ručno vrše dodatnu selekciju u cilju odstranjivanja eventualno zaostale komušine, atipičnog klipa i sl.

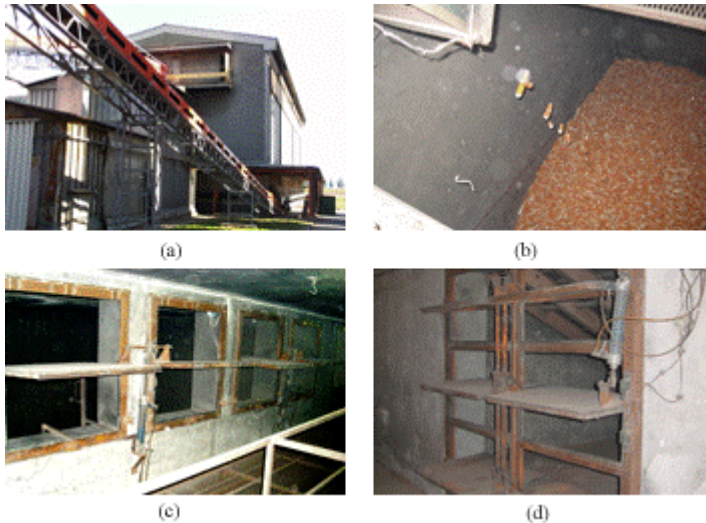


Slika. 1 Prijem i priprema klipa

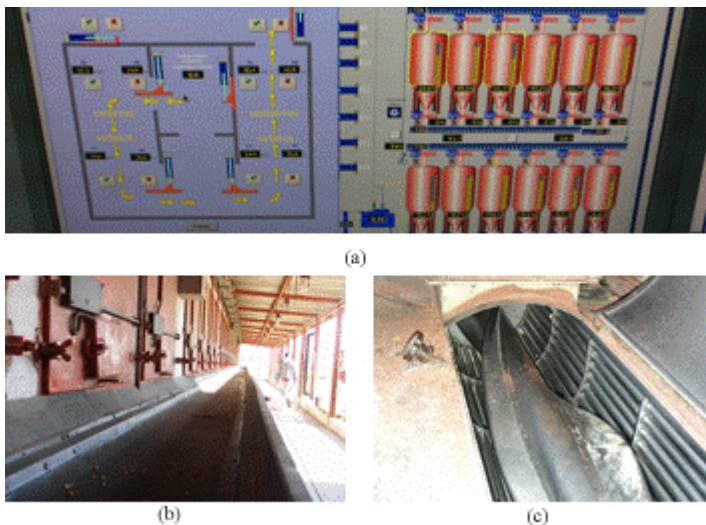
Figure 1. Entrance and ear preparation

Klip pripremljen za sušenje se kosim trakastim elevatorom uvodi u samu sušaru (Sl.2a) koja ima tri nivoa. Gornji nivo sušare (Sl.2b) služi za punjenje binova. U njemu se celom dužinom nalazi trakasti transporter i pomični bočni transporter kojim se klip raspoređuje po binovima. Sušara je podeljena na 14 komora – binova. Svaki od binova sa gornje strane poseduje po dva otvora kroz koje se vrši njihovo punjenje. Sa donje

strane binova nalazi se kosi rešetkasti pod, kojim je omogućeno strujanje toplog vazduha kroz sadržaj bina, kao i otvori za pražnjenje samih binova. U srednjem nivou sušare (Sl.2c) nalazi se kanal kroz koji se potiskuje topao vazduh, koji obavlja sušenje klipa. Topao vazduh se doprema do sušare jednim centralnim ventilatorom za celu sušaru. Donji nivo sušare (Sl.2d) se koristi za preusmeravanje vazduha između binova.

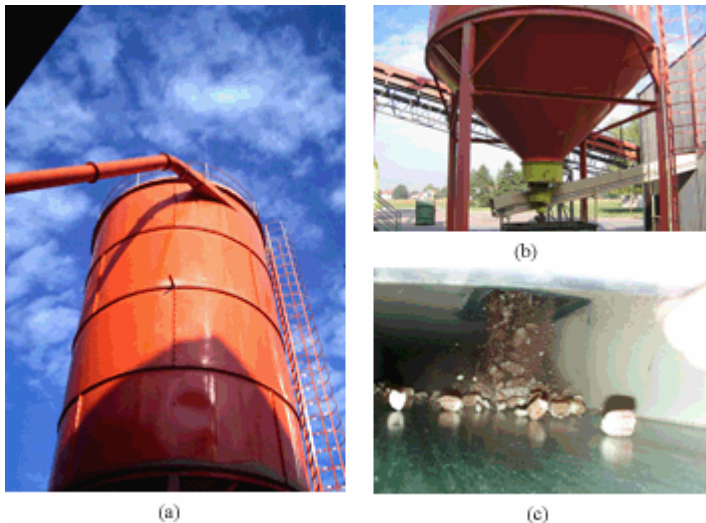


Slika. 2. Sušara
Figure 2. Dryer



Slika. 3. Automatska regulacija
Figure 3. Automatic regulation

Binovi imaju mogućnost preusmeravanja strujanja toplog vazduha zahvaljujući otvorima preko kojih su povezani sa različitim nivoima sušare. Sa obzirom na ovakav raspored binova i kanala za usmeravanje toplog vazduha, razlikujemo jednofazno i višefazno sušenje sadržaja bina. Pod jednofaznim sušenjem podrazumeva se kretanje vazduha kroz bin, tako što se topli vazduh usmerava sa gornje strane bina a nakon toga se izbacuje u spoljašnju atmosferu. Za razliku od jednofaznog, znatno češće se primenjuje dvofazni sistem sušenja, koji podrazumeva da se vazduh nakon prolaska kroz bin ne ispušta u atmosferu već se uvodi u naspramni bin sa njegove donje strane (SI.3a). Preusmeravanjem strujanja vazduha kroz binove postiže se povećanje efikasnosti sistema. Osušeni klip se nakon sušenja, trakastim transporterima (SI.3b) transportuje do krunjača (SI.3c). Posle krunjenja, zrno se transportuje do doradnog centra, a oklasak se pneumatskim transporterom doprema do silosa za oklasak (SI.4a) a potom trakastim transporterima doprema do kotlova (SI.4b) i koristi kao osnovno gorivo.



Slika. 4. Silos za oklasak

Figure 4. Corncob silo

MATERIJAL I METODE RADA

Energetski deo postrojenja sušare (SI.5) je koncipiran tako da poseduje dva nezavisna sistema za pripremu toplog vazduha za proces sušenja:

- SISTEM 1 – Ovaj sistem kao energent koristi zemni (prirodni) gas. Produkti sagorevanja zemnog gasa se mešaju u mešnoj komori sa svežim vazduhom a mešavina se potom ventilatorom transportuje do binova za sušenje.
- SISTEM 2 – Ovaj sistem kao energent koristi oklasak dobijen u procesu krunjenja osušenih kukuruznih klipova. Produkti sagorevanja oklaska u kotlovskom suprotnosmernom razmenjivaču toplote posredno zagrevaju svež vazduh koji se potom ventilatorom transportuje do binova za sušenje.

PSZG – produkti sagorevanja zemnog gasa / *Natural gas combustion products*

PSOK – produkti sagorevanja oklasaka / *Corncob combustion products*

BIN – bin za sušenje / *Drying bin*

VENT – ventilator / *Fan*

GOR – gorionik / *Burner*

KOT – kotao / *Coil*

MK – mešna komora / *Mixing chamber*

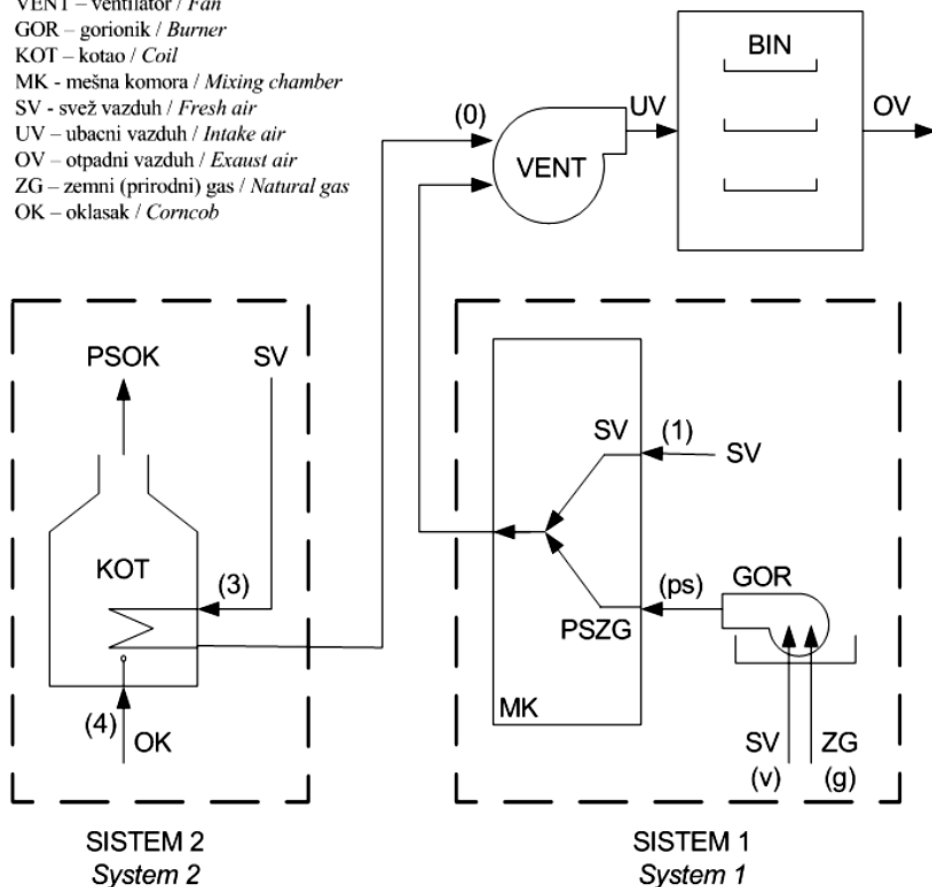
SV – svež vazduh / *Fresh air*

UV – ubacni vazduh / *Intake air*

OV – otpadni vazduh / *Exhaust air*

ZG – zemni (prirodni) gas / *Natural gas*

OK – oklasak / *Corncob*



Slika 5. Šema energetskeg dela postrojenja sušare

Figure 5. Dryer power plant

Na osnovu šeme prikazane na slici (Sl.5), formirani su matematički modeli (Tab.1) sistema 1 i sistema 2, odnosno odgovarajući računarski kod, kojim je sprovedena odgovarajuća parametarska analiza a sve u cilju predviđanja rada pojedinačnih sistema u realnim uslovima.

Ulazni podaci koji se tiču sastava odgovarajućeg energenta preuzeti su iz literature [4,5], ali tako da njihova energetska vrednost odgovara vrednosti dobijenoj laboratorijskim ispitivanjem uzorka uzetog sa lica mesta.

Parametarska analiza je sprovedena variranjem odgovarajućih veličina (uticajnih parametara) u realnim opsezima njihovih mogućih vrednosti. Varirane su sledeće veličine:

- Spoljna temperatura – parametar je od značaja jer utiče na oba sistema obzirom na to da se kod Sistema 1 svež vazduh spoljne temperature meša sa produktima sagorevanja, a kod Sistema 2 svež vazduh se direktno zagreva na temperaturu sušenja. Parametarska analiza je sprovedena variranjem vrednosti spoljne temperature od 0 do 25°C.
- Sadržaj vlage u oklasku – parametar je od značaja jer direktno utiče na gornju toplotnu moć ovog energenta, a posredno i na potrošnju oklaska. Parametarska analiza je sprovedena variranjem vrednosti sadržaja vlage u osušenom oklasku od 0 do 0,06 kg /kg oklaska.

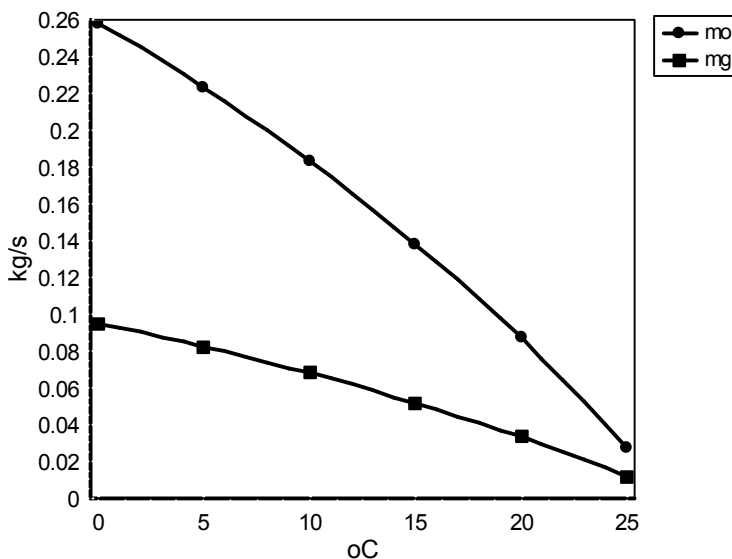
Tabela 1. Osnovne postavke modela

Table 1. Model setup basics

Model Model	(1)	(2)
Sastav goriva Fuel composition	$CH_4 = 0.9703$ $C_2H_6 = 0.009$ $C_3H_8 = 0.0036$ $C_4H_{10} = 0.0016$ $CO_2 = 0.0053$ $N_2 = 0.0094$ $O_2 = 0.0008$ [m ³ /m ³]	$c = 0.4828$ $h = 0.0536$ $o = 0.4233$ $s = 0.0080$ $w = 0.0323$ [kg/kg]
Donja toplotna moć goriva [6] Lower calorific value of fuel	$H_{d,ZG} = 35.3 \cdot r_{CH_4} + \dots$ $\dots + 63.7 \cdot r_{C_2H_6} + 91.1 \cdot r_{C_3H_8} + \dots$ $\dots + 118.4 \cdot r_{C_3H_6} + 113.5 \cdot r_{C_4H_8} + \dots$ $\dots + 118.4 \cdot r_{C_4H_{10}} + 146.5 \cdot r_{C_5H_{12}} + \dots$ $\dots + 58.3 \cdot r_{C_2H_4} + 55.9 \cdot r_{C_2H_2} + \dots$ $\dots + 12.63 \cdot r_{CO} + 10.78 \cdot r_{H_2} + \dots$ $\dots + 23.4 \cdot r_{H_2S} + \dots$	$H_{d,OK} = 33.9 \cdot c + 121.4 \cdot \left(h - \frac{o}{8} \right) +$ $\dots + 10.46 \cdot s - 2.51 \cdot w$
Energetski bilans Energy balance	$m_g (h_g + H_{d,g}) + m_v h_v = m_0 (h_0 - h_1) + m_{ps} h_1$	$\eta \cdot m_4 \cdot H_{d,4} = m_0 (h_0 - h_3)$

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

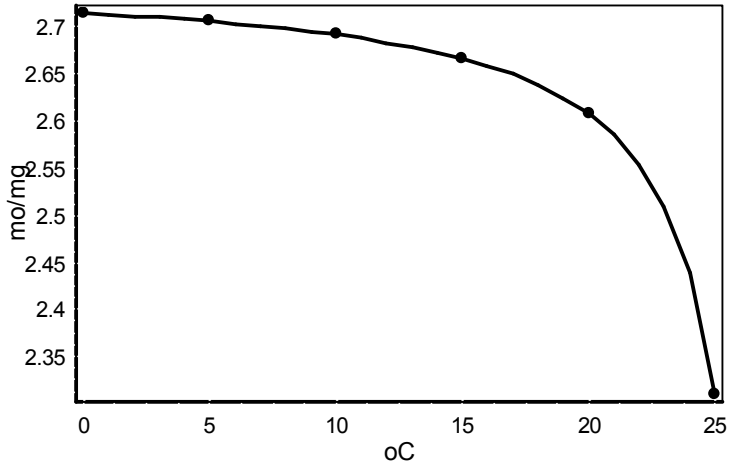
Sprovedena analiza ukazuje na veliku osetljivost oba analizirana sistema na spoljne temperature vazduha (Graf.1). Primećuje se da je gradijent promene utrošene mase oklasaka sa snižavanjem spoljne temperature veći nego kod zemnog gasa. Ukoliko se uspostavi relativan odnos vrednosti utrošenih energenata u oba sistema, može se primetiti (Graf.2) da na nižim temperaturama potrošnja oklasaka može biti veća približno 3 puta od potrošnje gasa, posmatrajući potrebne masene protoke ovih energenata za isti očekivani učinak.



Grafik 1. Uticaj spoljne temperature vazduha na potrošnju oklasaka (mo) i zemnog gasa (mg)

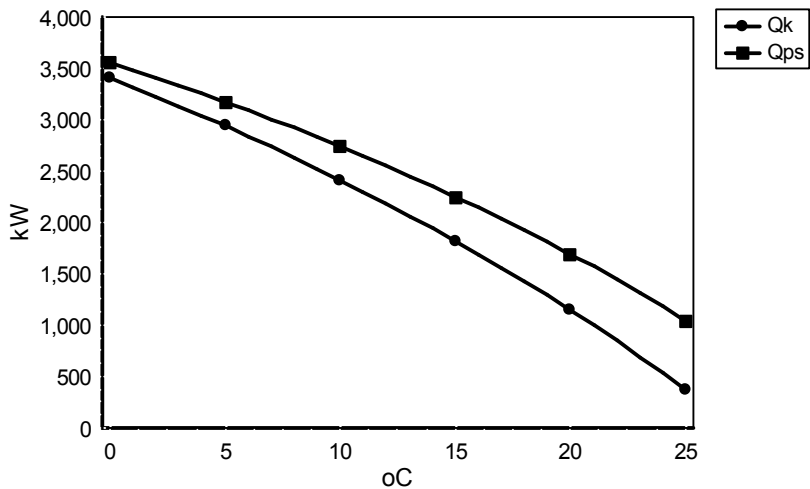
Chart 1. Fresh air temperature influence on corncob (mo) and natural gas (mg) consumption

Uticaj spoljne temperature vazduha (Graf. 3) na toplotni učinak kotla na čvrsto gorivo (oklasak) i gorionika (zemni gas) za uobičajene kapacitete i režime rada posmatrane sušare dovodi do potrebe za izuzetno velikim snagama energetskog postrojenja bez obzira na tip energenta. Ovo se može umanjiti na dva načina. Prvi način je pomeranje procesa sušenja u period godine sa višim spoljnim temperaturama pri čemu je ograničavajući faktor odgovarajuća faza zrelosti kukuruza. Drugi način je predgrevanje svežeg vazduha kroz nekakav vid rekuperacije ili iskorišćenja otpadne toplote nekog procesa (ukoliko takav proces postoji).



Grafik 2. Uticaj spoljne temperature vazduha na odnos potrošnje oklaska (mo) i zemnog gasa (mg)

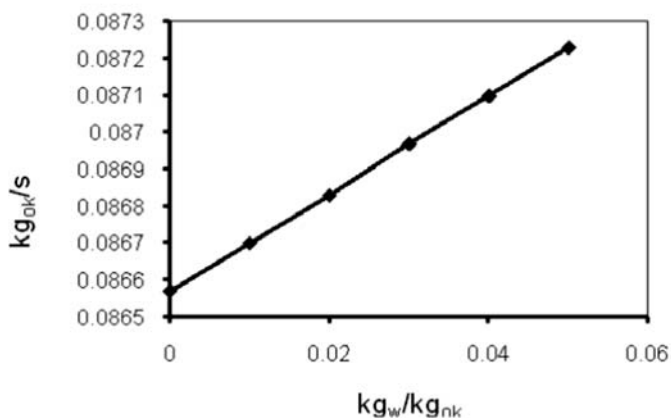
Chart 2. Fresh air temperature influence on corncob (mo) and natural gas (mg) consumption ratio



Grafik 3. Uticaj spoljne temperature vazduha na potrošnju energije

Chart 3. Fresh air temperature influence on energy consumption

Variranjem parametra vlage u osušenom oklasku (Graf. 4) primećuje se dinamika povećanja potrošnje oklaska u slučaju njegove povišene vlažnosti.



Grafik 4. Uticaj količine vlage u oklasku na potrošnju oklaska

Chart 4. Corncob moisture content influence on corncob consumption

ZAKLJUČAK

U ovom radu je analizirana i ispitana energetske efikasnosti sušenja semenskog kukuruza u doradnom centru Instituta za kukuruz "Zemun Polje" u Zemunu. Uštede u energiji koje su postignute ovim sistemom nisu zanemarljive što se pokazalo i u analizama drugih autora sprovedenih ranije na nekim drugim postrojenjima za sušenje. U cilju dodatnog unapređenja procesa i postizanja novih ušteda sprovedena je parametarska analiza na bazi realnih ulaznih podataka. Primećeno je da sa trenutnom koncepcijom sistema spoljna temperatura vazduha ima dominantan uticaj na potrošnju energenata, pri čemu je osetljiviji sistem koji kao energent koristi oklasak. Postizanje viših temperatura ulaznog svežeg vazduha moguće je ostvariti predgrevanjem (kroz određen proces rekuperacije). Drugi način postizanja viših temperatura ulaznog vazduha je pomeranje procesa sušenja tako da se odvija u periodu viših spoljnih temperatura vazduha (uz vođenje računa o odgovarajućoj zrelosti kukuruza). Tome u prilog ide i činjenica da ako je masa klipa kukuruza niske temperature, može doći do kondenzacije vlage iz fluida. Time se povećava utrošak energije i produžava vreme sušenja [1]. Dodatne uštede se mogu ostvariti i korišćenjem suvljeg oklaska u procesu sagorevanja, pri čemu je bitno uspostaviti odgovarajući optimum između energije utrošene na sušenje tog oklaska (u binu, pre krunjenja) i energije koja se dobije njegovim sagorevanjem.

LITERATURA

- [1] Brkić, M., Janić, T., 2000. *Analiza efikasnosti i kvaliteta rada sušara za semenski kukuruz*, Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi, 4, str. 18-21.
- [2] Radojević, R., Živković, M., Radivojević, D., Božić, S., 2007. *Stanje i mogućnosti korišćenja biomase kao obnovljivog izvora energije*, Poljoprivredna tehnika, 2, str. 79-86.

- [3] Mago, L., Topisirović, G., Oljača, S., Oljača, M.V., *Solid biomass potential from agriculture in Hungary and Serbia*, Poljoprivredna tehnika, 4, str. 35-45.
- [4] GasTel d.o.o. 2008. *Tipičan sastav prirodnog gasa*,
Dostupno na: <http://www.gastel.rs/prirodni-gas.html/> [datum pristupa: 01.11.2011]
- [5] Brkić, M., et al., 2007. Studija: *Potencijali i mogućnosti briketiranja i peletiranja otpadne biomase na teritoriji pokrajine Vojvodine*, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- [6] Đorđević, B., Valent, V., Šerbanović, S., 2000. *Termodinamika sa termotehnikom*, Tehnološko-metalurški fakultet, pp.379-390.

ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS OF CORN SEED DRYING PROCESS IN MAIZE RESEARCH INSTITUTE „ZEMUN POLJE“ - ZEMUN

Ivan Zlatanović¹, Kosta Gligorević¹, Dušan Radojičić¹, Milan Dražić¹, Mićo Oljača¹, Zoran Dumanović³, Miloš Mišović³, Nebojša Manić², Nedžad Rudonja²

¹University of Belgrade, Faculty of agriculture, Institute of Agricultural Engineering, Belgrade - Zemun

²University of Belgrade, Faculty of mechanical engineering, Belgrade

³Maize research institute „Zemun polje” Belgrade- Zemun

Abstract: In this paper actual parameter analysis of corn seed energy efficiency drying process was performed in Maize research institute „Zemun polje“ in Zemun. Energy consumption data and performances of old – natural gas based system and new – corncob combustion based system were compared and analyzed. This paper deals with basic improvement measures, biomass usage and corncob usage validation in this type of industrial systems.

Key words: *Drying, energy efficiency, corncob, corn seed, natural gas, ecology.*

Datum prijema rukopisa: 07.11.2011.

Datum prijema rukopisa sa ispravkama:

Datum prihvatanja rada: 09.11.2011.