

## Upravljanje biomasom ljuske semena suncokreta u održivoj industrijskoj proizvodnji suncokretovog ulja

### Biomass management of sunflower seed shells in sustainable industrial production of sunflower oil

*Tamara Premović<sup>1</sup>, Seddiq Mrihil Ali Esalami<sup>2</sup>, Aleksandra Gajdobranski<sup>3\*</sup>, Aleksandar Brčić<sup>4</sup>*

<sup>1,3</sup>Univerzitet Union - Nikola Tesla, Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo, Staro sajmište 29, 11070 Beograd, Srbija / University Union - Nikola Tesla, Faculty of Information Technologies and Engineering, Staro sajmište 29, 11070 Belgrade, Serbia

<sup>2</sup>Azzaytuna University, Poljoprivredni fakultet, Departman nauka o hrani, Q. B. Gasher, Tripoli, Libya / Azzaytuna University, Faculty of Agricultural, Food Science Department, Q. B. Gasher, Tripoli, Libya

<sup>4</sup>Megatrend Univerzitet, Fakultet za civilno vazduhoplovstvo, Bul. Mihajla Pupina 117, 11070 Beograd, Srbija / Megatrend University, Faculty of Civil Aviation, Bulevar Mihajla Pupina 117, 11070 Belgrade, Serbia

\*Autor za prepisku / Corresponding author

Rad primljen / Received: 01.10.2022, Rad prihvaćen / Accepted: 18.10.2023.

**Sažetak:** Valorizacijom agroindustrijske biomase nastale u okviru prehrambene industrije, kao energenta i/ili biogoriva, daje se doprinos u ostvarenju savremenih zahteva za primenom principa cirkularne ekonomije, odnosno daje se doprinos u ispunjenju ekonomskih, ekoloških i energetskih zahteva savremene održive industrijske proizvodnje kao preduslova opstanka na tržištu i potencijalnog unapređenja poslovanja. Naučnim istraživanjima koja su sprovedena za potrebe izrade ovog rada dat je doprinos održivoj „zelenoj“ tehnologiji industrijske proizvodnje jestivog ulja iz semena uljarica, sa posebnim akcentom na jestivo ulje iz semena suncokreta, koje čini preko 80% industrijski proizvedenog domaćeg jestivog biljnog ulja. U fokusu sprovedenih istraživanja je ljuska semena suncokreta zaostala nakon ljuštenja semena suncokreta u okviru industrijske proizvodnje jestivog suncokretovog ulja, a čija je naknadna potencijalna primena višestruka. Naročito je značajna valorizacija zaostale ljuske semena suncokreta kao energenta, u cilju uspostavljanja održive industrijske prerade semena suncokreta u jestivo ulje suncokreta, što je sve primenom savremenih naučnih metoda analizirano i prikazano u ovom naučnom radu.

**Ključne reči:** ulje, suncokret, seme, ljuska, agroindustrijska biomasa.

**Abstract:** The valorization of agro-industrial biomass generated within the food industry, as an energy source and/or biofuel, contributes to the realization of modern requirements for the application of circular economy principles, i.e. contributes to the fulfillment of the economic, ecological and energy requirements of modern sustainable industrial production as a prerequisite for survival on the market and potential business improvement. The scientific research conducted for the purposes of this paper contributed to the sustainable “green” technology of industrial production of edible oil from oilseeds, with a special emphasis on edible oil from sunflower seeds, which accounts for over 80% of industrially produced domestic edible vegetable oil. The focus of the conducted research is the shell of sunflower seeds left after shelling the sunflower seeds in the industrial production of edible sunflower oil, and the subsequent potential application of which is multiple. Valorization of the residual sunflower seed husk as an energy source is particularly significant, in order to establish a sustainable industrial processing of sunflower seeds into edible sunflower oil, which is all analyzed and presented in this scientific paper using modern scientific methods.

**Keywords:** oil, sunflower, seed, shell, agro-industrial biomass.

<sup>1</sup>[orcid.org/0000-0001-5664-3644](https://orcid.org/0000-0001-5664-3644), e-mail: [tamara.premovic@gmail.com](mailto:tamara.premovic@gmail.com)

<sup>2</sup>[orcid.org/0009-0007-2597-533X](https://orcid.org/0009-0007-2597-533X), e-mail: [seddiqesalami@gmail.com](mailto:seddiqesalami@gmail.com)

<sup>3</sup>[orcid.org/0000-0002-4978-5553](https://orcid.org/0000-0002-4978-5553), e-mail: [aleksandragaj@yahoo.com](mailto:aleksandragaj@yahoo.com)

<sup>4</sup>[orcid.org/0009-0008-9985-0887](https://orcid.org/0009-0008-9985-0887), e-mail: [brcicaleksandar@gmail.com](mailto:brcicaleksandar@gmail.com)

## UVOD / INTRODUCTION

Industrija za preradu uljarica i proizvodnju ulja ubraja se u važnije privredne delatnosti Srbije i jedna je od vodećih delatnosti domaće prehrambene industrije (Gajdobranski, 2015), a u okviru nje industrijska prerada semena suncokreta, tradicionalno najzastupljenije i najznačajnije uljarice na području naše zemlje zauzima posebno mesto (Premović, 2022). Preko 80% industrijski proizvedenog domaćeg jestivog biljnog ulja dobija se industrijskom preradom semena suncokreta. Ishrana potrošača danas je gotovo nezamisljiva bez primene suncokretovog ulja, kao i njegovih industrijskih prerađevina ([www.kombeg.org](http://www.kombeg.org)). Poljoprivredna proizvodnja je veoma zavisna od klimatskih uslova, zbog čega je podložna promenama i varijabilnosti, što utiče na bezbednost hrane (Janković i sar., 2022).

Polazna pretpostavka savremene održive industrijske proizvodnje podrazumeva poštovanje principa cirkularne (zelene) ekonomije i ekološki odgovornog poslovanja, čiji je osnovni zadatak ostvarivanje održive proizvodnje uz stvaranje gotovog proizvoda adekvatnog i prepoznatljivog sastava i kvaliteta, uz postizanje ekonomskog rasta i razvoja i uz istovremeno očuvanje kvaliteta životne sredine (Premović i dr., 2022; Vučinić i dr., 2022). Cirkularna ekonomija je obnovljiva industrijska ekonomija koja ima izmenjeni koncept proizvodnje i potrošnje prema dizajnu, načinu korišćenja resursa i ima izmenjen odnos prema stvaranju otpada. U ovom konceptu ekonomije otpad ne postoji, već samo sirovina koja se opet može ponovo upotrebiti za iste ili druge proizvodne procese. Prelaz na cirkularnu ekonomiju može doneti trajne koristi privredi i privrednim subjektima kroz inovacije, unapređenje imidža i lojalnosti potrošača, kao i kroz povećanje produktivnosti i smanjivanje troškova poslovanja (Arsić & Premović, 2021; Bojičić & Tripković, 2023). Cirkularna ekonomija smanjuje potrebu za dodatnim količinama materijala i energije, i smanjuje pritisak na životnu sredinu koji je povezan sa eksploatacijom resursa (kao što su energija, voda, zemljište i materijali) u proizvodnji, emisijama i odlaganjem otpada (Gajdobranski, 2020).

U tehnološkom procesu proizvodnje jestivog biljnog ulja u industrijskim objektima, u okviru pripreme semena za izdvajanje ulja najčešće se sprovodi i faza ljuštenja semena uljarica. Procesom ljuštenja pri preradi semena uljarica izdvojena ljuska se smatra agroindustrijskom biomasom koja se može primeniti za različite namene. Jedna od mogućih primena zaostale ljuske semena je kao energenta za loženje u pogonima za proizvodnju ulja (Rabrenović & Vujasinović, 2021). Za zagrevanje parnih kotlova primena i valorizacija zaostale izdvojene

ljuske kao energenta usklađuje se sa proizvodnim kapacitetima pogona uljara. Sagorevanje ljuske u cilju proizvodnje energije smatra se ekološki, energetski i ekonomski efikasnim načinom valorizacije ljuske, naročito ako se uzme u obzir stalni porast cene energije iz fosilnih goriva i uticaj javnosti koja insistira na smanjenju zagađenja životne okoline, koje prati proizvodnju i primenu fosilnih goriva. Ustanovljeno je da se od 1 tone ljuske uljarica može proizvesti 1353 kWh električne energije i 2706 kWh toplote energije. Ljuska izdvojena pri preradi uljarica se može koristiti i za kompostiranje zemljišta, u cilju popravljivanja strukture zemljišta. U ove svrhe ljuska uljarica se može primenjivati samostalno i/ili u kombinaciji sa lucerkom, što je naročito značajno sa ekološkog aspekta zaštite životne sredine, budući da se na taj način postiže eliminisanje ljuske kao biootpada iz okoline, a ujedno se daje doprinos i unapređenju kvaliteta zemljišta. Sa aspekta zaštite životne sredine značajan je i potencijal preradom uljarica zaostale ljuske za uklanjanje jona teških metala iz vodenih rastvora, budući da ljuska suncokreta i kokosa, kao i sirove koštice masline imaju dobre performanse za uklanjanje jona teških metala (Pb, Cu) iz vodenih rastvora (Milojković i dr., 2015).

Postoje višestruke mogućnosti potencijalne primene sporednih proizvoda nastalih industrijskom proizvodnjom ulja iz semena uljarica, kao i ulja iz semena suncokreta, medju kojima ljuska semena suncokreta zauzima posebno mesto, budući da se njenom optimalnom valorizacijom daje značajan doprinos u uspostavljanju principa cirkularne ekonomije i održive „zelene“ proizvodnje jestivog ulja suncokreta.

## 1. MATERIJALI I METODE / MATERIALS AND METHODS

Zadatak istraživanja je zahtevao primenu metodoloških postupaka, gde se istraživanje najvećim delom zasnivalo na tzv. „istraživanju za stolom“, kao i na prikupljanju primarnih i sekundarnih podataka. Pored naučnih metoda koje će se u radu koristiti, biće korišćene i tabele u kojima će se prezentovati sažeti podaci (Premović, 2014).

Predmet istraživanja ovog naučnog rada oslanja se na mogućnost održive industrijske proizvodnje jestivog ulja suncokreta, kroz ostvarivanje ekonomski održive i ekološki opravdane valorizacije ljuske iz semena suncokreta, agroindustrijske biomase industrijske proizvodnje jestivog ulja suncokreta, sa posebnim akcentom na primenu ljuske semena suncokreta kao energenta na mestu njene proizvodnje, u pogonima uljara. Potpuniju sliku navedenog daju prezentovani tabelarni prikazi.

## 2. REZULTATI I DISKUSIJA / RESULTS AND DISCUSSION

### 2.1. Ljuska semena suncokreta / Husk of sunflower seeds

U industriji ulja najznačajniju ulogu ima plod suncokreta, koji je po biološkoj terminologiji ahenija. Aheniju sačinjavaju višeslojna oplodnica i seme. U industriji ulja za plod suncokreta se koristi naziv seme, a za oplodnicu ljuska (semena). Seme suncokreta jajastog je oblika, blago je rebrasto, različite je veličine i boje, koja varira od bele i bež, pa sve do tamno braon i crne boje. Ljuska semena suncokreta čini do 40% mase semena. U ljusci se nalazi pancirni sloj koji štiti seme od suncokretovog moljca i žiška. To je sloj tzv. fitomelana crne boje koji se nalazi između sloja od plute i sklerenhima. Omotač semena je veoma grub i čvrst i njegov udeo iznosi 22-56% semena suncokreta (Dimić i sar., 2003).

Ljuska je u semenu suncokreta zastupljena u širokom intervalu vrednosti, koji u zavisnosti od vrste hibrida iznosi od 20% do 40% semena (tabela 1). Kod visokouljnih hibrida sadržaj ljuske je manji nego kod niskouljnih hibrida, a sadržaj ljuske zavisi i od lokaliteta gajenja suncokreta. U sastavu ljuske sa više od 50% dominiraju polisaharidi, uglavnom celuloza i lignin, a u malom sadržaju su zastupljeni proteini, ulje i voskovi. Sadržaj voskova u ljusci suncokreta zavisi od porekla semena, lokacije uzgoja i vrste hibrida. Tako je u ljusci novijih hibrida sadržaj voskova od 3,5 do 5 puta veći nego u ranijim hibridima, a utvrđeno je i da oko 85% voskova u sirovom ulju suncokreta vodi poreklo iz ljuske semena suncokreta. Ljuska suncokreta takođe sadrži i do 5,4% fenolnih jedinjenja semena, koja u mnogome određuju antioksidativni potencijal ljuske (De Leonardis et al., 2005). Osnovni sastav ljuske semena suncokreta prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1. Sastav ljuske semena suncokreta  
Table 1. Composition of sunflower seed husk

Komponenta	Sadržaj (%)
Celuloza	37,70-60
Hemiceluloza	6
Necelulozni polisaharidi (g/kg SM)	
Ksilozna	127-163
Glukoza	4,8-53,2
Arabinoza	28,8-39,2
Manoza	10,5-13,5
Galaktoza	10,2-11,8
Ramnoza	5,3-6,7
Fruktoza	1
Vlaga	6,02-8,60
Proteini	2,45-4,75
Lipidi	1,16-2,17
Pepeo	1,23-2,10
Voskovi	0,02-0,10

Izvor / Source: (Premović, 2014)

### 2.2. Ljuštenje semena suncokreta / Hulling sunflower seeds

Nakon činjenja seme suncokreta se, u industrijskoj preradi u jestivo ulje suncokreta, dalje upućuje na ljuštenje u ljuštionu. Ljuska semena suncokreta je specifičnog sastava (u kojem dominiraju celulozne i hemicelulozne materije, a sadrži i veoma male količine lipida, tabela 1), u okviru kojeg su zastupljene i materije koje su nepoželjne u ulju, kao što su voskovi, neosapunjive materije i fosfolipidi. Stoga se uklanjanjem ljuske iz semena suncokreta utiče na kvalitet iscedenog ulja, ali se postiže i povećanje kapaciteta i iskorišćenja prese, smanjenje temperature tokom presovanja, smanjivanje utroška energije i habanja uređaja.

Oblik i veličina semena, kao i karakteristike ljuske pojedinih hibrida suncokreta se međusobno značajno razlikuju, što zahteva odgovarajuću konstrukciju ljuštilice i posebno podešavanje parametara ljuštenja. Kako bi ljuštenje bilo efikasno sprovedeno potrebno je da seme suncokreta bude adekvatno pripremljeno za ljuštenje. Sortiranje semena suncokreta po veličini pre ljuštenja značajno povećava efikasnost uklanjanja ljuske (Rosa et al., 2009). Za uspešno odvijanje operacije ljuštenja veoma je bitno i da seme suncokreta ima odgovarajući sadržaj vlage, budući da se sa povećanjem vlažnosti povećava i specifičan rad potreban za ljuštenje. Operacija ljuštenja semena suncokreta najefikasnije se obavlja pri sadržaju vlage od 6%, čime se istovremeno postiže i najbolji kvalitet oljuštenog semena.

Pri ljuštenju semena suncokreta mogu se primeniti različita rešenja, ali se ljuska iz semena suncokreta najčešće odstranjuje mehaničkim putem, pomoću ljuštilice, primenom dve osnovne operacije: razbijanjem ljuske i oslobađanjem jezgra suncokreta, te odvajanjem ljuske od jezgra suncokreta. Odvajanje ljuske od jezgra suncokreta se obavlja upotrebom sita (prosejanjem), struje vetrova (aspiracijom) ili upotrebom električnog polja. Operaciju ljuštenja semena suncokreta treba izvesti tako da se dobije što više celih jezgara i što celovitija ljuska. Važno je da pri razdvajanju ljuske, jezgra ne pređu u ljusku. Količina jezgra zaostalog u ljusci bi trebala biti do 0,5%, jer veća količina jezgra u ljusci predstavlja znatne gubitke na ulju. Takođe, treba nastojati da pri ljuštenju zaostane što manje neoljuštenog semena suncokreta.

Kako bi proces ljuštenja semena suncokreta bio adekvatno sproveden važno je i primeniti savremenu opremu visokog kvaliteta. Primenom savremene ljuštilice koja obezbeđuje visokoproduktivnu tehnologiju ljuštenja semena suncokreta postižu se višestruke prednosti, uz povećanje stepena ljuštenja na oko 96%, čime se postižu značajne uštede i ekonomičnost proizvodnje. Uz to, primenom ovih ljuštilica, postiže se i odvajanje ljuske u iznosu od

100% u samom procesu ljuštenja, te se stoga isključuje u potpunosti potreba za investiranjem u mašine, opremu i radni prostor u svrhu separacije ljuske od oljuštenog suncokreta. Procesom ljuštenja je moguće veoma jednostavno i precizno upravljati u širokom intervalu promene radnih parametara ljuštenja i time obezbediti optimalan kvalitet ljuštenja i međusobni odnos frakcija. Postojanje savremenih ljuštilica sa visokoproduktivnom tehnologijom ljuštenja semena suncokreta je veoma važna budući da se za proizvodnju jestivog ulja suncokreta primenjuje seme suncokreta poreklom od različitih hibrida, koji se mogu značajno razlikovati po tehničko-tehnološkim karakteristikama, od kojih mnogo zavisi karakter i uspešnost procesa ljuštenja (Marušić i sar., 2008). Primena savremenih ljuštilica je naročito značajna kod ljuštenja semena teško ljuštivih hibrida suncokreta, koji mogu uzrokovati velike probleme u procesu ljuštenja, a time i značajno povećati troškove proizvodnje.

Poznato je da seme, a naročito ljuska semena suncokreta sadrži abrazivne čestice ( $\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$ ), tvrdoće  $\approx 6$  Mohsa, koje su uzroci trošenja-oštećenja radnih delova prese i da je taj proces nemoguće izbeći (Marušić i sar., 2010), što je razlog više za primenu procesa ljuštenja pri proizvodnji sirovog i jestivog ulja suncokreta. Oljušteno jezgro semena suncokreta se mora odmah uputiti na dalju preradu, na izdvajanje ulja, jer u takvom materijalu veoma brzo nastupaju nepoželjni oksidativni i hidrolitički procesi. Ljuštenjem semena suncokreta izdvojena ljuska se sakuplja i može se dalje primenjivati na različite načine, a jedan od njih je kao sirovina u različitim granama industrije, kao što su: građevinska, papirna, farmaceutska, hemijska, prehrambena, industrija hrane za životinje i dr. (Premović, 2022).

Značajna je takođe i potencijalna primena izdvojene zaostale ljuske iz semena suncokreta kao biogova. U industrijskim objektima zaostala ljuska iz semena suncokreta se ekološki, energetski i ekonomski efikasno može primeniti i kao energent, dajući na taj način doprinos u ostvarivanju održive industrijske prerade semena suncokreta u ulje, uz poštovanje principa cirkularne ekonomije.

Stalni porast cena, povećanje uvoza i smanjenje rezervi nafte i prirodnog gasa na tržištu energenata, uz sve veću brigu o zagađenju životne sredine i potrebu za postizanjem što većeg stepena nezavisnosti od uvoza fosilnih goriva uticali su na potrebu za pronalaženjem alternativnih goriva i energenata. Proteklih decenija u svetu su intenzivirana istraživanja u pronalaženju biogoriva i energenata iz obnovljivih izvora koja bi ispunila sve pretpostavke uspešne održive primene, kao i sve zahtevnije ekološke standarde, a što se uklapa u pretpostavke i očekivanja da se do 2100. godine ukupna energija obezbedi iz obnovljivih izvora. Stoga je primena

ljuske semena suncokreta, agroindustrijske biomase proizvodnje suncokretovog ulja, vrednog proizvoda prehrambene industrije čija je potrošnja u stalnom porastu, kao energenta, veoma važna sa ekonomskog, ekološkog i energetskog aspekta, naročito u zemljama kao što je naša u kojoj je energetski potencijal agroindustrijske biomase veoma značajan i treba biti što više i što bolje iskorišćen. Prednost koncepta zelene ekonomije ogleda se u proizvodnji biodizela i podsticajima za ulaganja u proizvodnju solarne energije (Dimić i sar., 2023). Optimalnom valorizacijom ljuske semena suncokreta daje se doprinos održivoj industrijskoj preradi semena suncokreta u ulje i zaostalu sačmu iz semena suncokreta, uz poštovanje zaštite životne sredine i uz ispunjenje principa cirkularne ekonomije.

Obilje raspoložive zaostale biomase pruža velike mogućnosti našoj zemlji da primenom otpadne biomase obezbedi značajne količine energije iz obnovljivih izvora. Raspoloživi potencijal otpadne biomase na području naše zemlje procenjuje se na oko 3,45 miliona ten, što u ukupnom potencijalu obnovljivih izvora energije predstavlja oko 60%. Potencijal biomase koji se koristi iznosi oko 19%, dok dodatni raspoloživi potencijal biomase iznosi 41%. Od ovog potencijala najveći deo čini potencijal poljoprivredne biomase, 1,67 miliona ten. U našoj zemlji biomasa zauzima vodeće mesto među nefosilnim obnovljivim izvorima energije (Zakon o energetici, 2014). Ukupan tehnički potencijal obnovljivih izvora energije u našoj zemlji procenjen je na 5,65 miliona ten godišnje, a od ukupnog raspoloživog potencijala obnovljivih izvora koristi se 1,054 miliona ten biomase (Strategija razvoja energetike, 2015). U Nacionalnom akcionom planu za korišćenje obnovljivih izvora energije naznačeno je da u našoj zemlji biomasa ima najveći energetski potencijal (Nacionalni akcioni plan za korišćenje obnovljivih izvora energije, 2015).

### *2.3. Ljuska semena suncokreta kao energent / Husk of sunflower seeds as an energy source*

Pri industrijskoj preradi semena suncokreta (u proizvodnji ulja uz izdvajanja sačme iz semena suncokreta), zaostaju značajne količine ljuske semena suncokreta, koja se uglavnom tretira kao otpadna biomasa industrije ulja. Ljuštenjem semena suncokreta zaostala ljuska suncokreta, kao otpadna biomasa, se prema Zakonu o upravljanju otpadom (2018) kategorizuje kao neopasan otpad.

Sa tehnološkog, ekološkog i energetskog aspekta postoji više mogućih načina prerade zaostale biomase od ljuske semena suncokreta, prvenstveno preradom u biogoriva, bioproizvode i primenom kao energenta. Isplativost prerade otpadne biomase u biogoriva utvrđuje se izradom kalkulacija-bilansa

stanja potencijalne prerade biomase u biogoriva. S obzirom na aktuelno stanje i kretanje na međunarodnom i na domaćem tržištu goriva, generalno vlada mišljenje da aktuelni tržišni uslovi u zemlji i u regionu ne pogoduju preradi biomase u biogoriva, koja je sa tehnološkog i sa ekološkog aspekta moguća i preporučljiva, ali u najvećem broju slučajeva (sem kod pogona koji prerađuju više od nekoliko desetina hiljada tona otpadne biomase) nije održiva, budući da bi doprinela da postrojenja za proizvodnju biogoriva iz biomase posluju sa gubitkom.

U energetske bilansu Republike Srbije primena biomase ima sporadičnu i sistemskim merama neregulisanu poziciju. Osnovna primena biomase u energetske svrhe je sagorevanje biomase u pećima i kotlovima uz generisanja toplotne energije koja se primenjuje za zagrevanje objekata. Kvalitet peći i kotlova koji se primenjuju u ove svrhe može značajno da varira. Na našem tržištu postoje proizvođači peći i kotlova za ove namene, koji uspešno posluju. Od kvaliteta peći i kotlova, od energetske efikasnosti, stepena automatizacije rada i sl., bitno zavisi obim i uspešnost primene biomase u navedene svrhe (<https://unece.org/>).

U industrijskim uslovima, na našim područjima, primena biomase kao energenta može se uspešno sprovoditi u industrijskoj preradi semena suncokreta u proizvodnji ulja i sačme. Fabrike ulja iz semena suncokreta mogu da primenjuju biomasu zaostale ljuske iz semena suncokreta kao energent u sopstvenim kotlarnicama, za proizvodnju toplotne energije. Kotlarnice u sastavu uljara mogu biti namenski izgrađena postrojenja za sagorevanje biomase zaostale ljuske iz semena suncokreta ili se biomasa zaostale ljuska iz semena suncokreta kombinuje i meša sa silosnom prašinom i ostalim zaostalim otpadom iz semena suncokreta u posebno prilagođenim postrojenjima i potom koristi u kombinaciji sa fosilnim gorivom. Prema procenama eksperata ukupna raspoloživa biomasa ljuske zaostale ljuštenjem semena suncokreta godišnje iznosi 1.149,9 t i ista se u celosti može primeniti u energetske svrhe.

Biomasa ljuske iz semena suncokreta predstavlja veoma kvalitetan energent, koji se rentabilno može primeniti za sagorevanje u ložištima parnih kotlova instalisanim na uljarama. Donja toplotna moć biomase ljuske semena suncokreta iznosi od 15.600 do 16.700 kJ/kg, zavisno od sadržaja vlage u ljusci semena suncokreta, koji obično iznosi 12-14%, dok je sadržaj pepela oko 2%, a sadržaj volatila je relativno visok i iznosi oko 80% ([www.psegs.vojvodina.gov.rs](http://www.psegs.vojvodina.gov.rs)). Prema podacima iz dostupne literature donja toplotna moć ljuske iz semena suncokreta iznosi 17.550-17.600 kJ/kg ([www.psegs.vojvodina.gov.rs](http://www.psegs.vojvodina.gov.rs)). Ukupan energetske potencijal biomase ljuske semena suncokreta iznosi 20.238,0

GJ/godišnje. Jedan kg ljuske iz semena suncokreta može da zameni 0,4 kg mazuta. Kod dobrog sagorevanja biomase ljuske iz semena suncokreta u ložištu kotla ne dolazi do zagađivanja okolne sredine. Stvoreni produkti sagorevanja ljuske semena suncokreta (dimni gasovi) nemaju štetnih sastojaka, a količina zaostalog pepela je mala.

Na području naše zemlje postoje proizvođači parnih kotlova za sagorevanje biomase ljuske semena suncokreta, koji se bave proizvodnjom ne samo parnih kotlova za biomasu ljuske semena suncokreta, već i toplovodnih i vrelovodnih kotlova za različite energente (balu, slamu, oklaske, piljevinu) čija je snaga postrojenja 1-15 MW.

#### 2.4. Definisane toplotne moći biomase ljuske semena suncokreta /

#### *Defining the thermal power of sunflower seed husk biomass*

Gornja toplotna moć goriva, ljuske semena suncokreta,  $H_g$ , dobija se određivanjem u kalorimetrijskoj bombi (najčešće), pri tome se produkti sagorevanja hlade na temperaturu okoline, a vodena para iz produkata sagorevanja se kondenzuje, pri čemu predaje toplotu promene faze (tzv. „latentnu toplotu“) okolini. Kod donje toplotne moći voda se nalazi u obliku vodene pare. Poznavajući gornju toplotnu moć i količinu (sadržaj) vodene pare u produktima sagorevanja apsolutno suve biomase, ljuske semena suncokreta, može se izračunati donja toplotna moć prema izrazu ([www.psegs.vojvodina.gov.rs](http://www.psegs.vojvodina.gov.rs)):

$$H_{d_s} = H_{g_s} - 24,4 W \text{ [kJ/kg] ,}$$

gde je:  $W$  [%] količina vodene pare u produktima sagorevanja, procentualno izražena u odnosu na apsolutno suhu masu goriva, ljuske semena suncokreta.

Dobijena vrednost toplotne moći odnosi se na apsolutno suhu masu ljuske suncokreta kao biogoriva. Preračunavanje toplotne vrednosti na masu vlažnog biogoriva, ljuske semena suncokreta, obavlja se pomoću izraza ([www.psegs.vojvodina.gov.rs](http://www.psegs.vojvodina.gov.rs)):

$$H_{d_v} = H_{d_s} (100 - w)/100 - 24,4 w \text{ [kJ/kg] ,}$$

gde je:  $w$  [%] sadržaj vlage u ljusci suncokreta kao biogorivu.

Gornja toplotna moć izražena u odnosu na vlažnu ljusku semena suncokreta kao biogoriva je ([www.psegs.vojvodina.gov.rs](http://www.psegs.vojvodina.gov.rs)):

$$H_{g_v} = H_{d_v} + 24,4 (W + w) \text{ [kJ/kg] .}$$

U tabelama 2 i 3, koje slede, prikazana je toplotna moć (gornja i donja toplotna moć) ljuske semena suncokreta, kao i drugih vrsta biomase (tabela 2), odnosno prikazana je donja toplotna moć ljuske semena suncokreta, kao i drugih vrsta biomase pri ravnotežnom sadržaju vlage (tabela 3).

Tabela 2. Toplotna moć ljuske semena suncokreta i drugih vrsta biomase  
Table 2. Thermal capacity of the sunflower seeds husks and the other types of biomass

R. br.	Vrsta biomase	Gornja toplotna moć Hg [MJ/kg]	Donja toplotna moć Hd [MJ/kg]
1.	Slama - pšenična	17,753 – 0,178 w*	16,540 – 0,190 w*
2.	Stablo kukuruza	18,792 – 0,188 w	17,394 – 0,198 w
3.	Oklasak kukuruza	19,672 – 0,196 w	18,260 – 0,207 w
4.	<b>Ljuska semena suncokreta</b>	<b>22,461 – 0,225 w</b>	<b>21,026 – 0,235 w</b>
5.	<b>Ljuska suncokreta sa prašinom</b>	<b>24,086 – 0,241 w</b>	<b>22,460 – 0,250 w</b>
6.	Konoplja	18,519 – 0,185 w	17,118 – 0,196 w
7.	Jabuka - granjevina	18,857 – 0,188 w	17,547 – 0,200 w
8.	Malina - orezina	18,955 – 0,190 w	17,618 – 0,201 w
9.	Vinova loza - orezina	18,218 – 0,182 w	16,874 – 0,194 w
10.	Vinova loza - komina	19,898 – 0,199 w	18,651 – 0,212 w
11.	Ševar	17,744 – 0,177 w	16,352 – 0,177 w
12.	Trska	17,863 – 0,179 w	16,481 – 0,190 w
13.	Topola - granjevina	18,799 – 0,179 w	18,996 – 0,215 w
14.	Vrba - granjevina	19,383 – 0,194 w	18,074 – 0,206 w
15.	Bagrem - granjevina	19,988 – 0,200 w	18,667 – 0,212 w
16.	Hrast - granjevina	19,574 – 0,196 w	18,248 – 0,207 w
17.	Hrast – granjevina sa lišćem	19,025 – 0,190 w	17,734 – 0,202 w
18.	Bor - šišarka	19,571 – 0,196 w	18,155 – 0,206 w
19.	Bor - iglice	21,739 – 0,219 w	19,962 – 0,225 w
20.	Jela - šišarke	20,107 – 0,201 w	18,691 – 0,212 w
21.	Bukva - piljevina	17,752 – 0,178 w	16,413 – 0,189 w
22.	Hrast - piljevina	17,928 – 0,179 w	16,592 – 0,191 w
23.	Jasen - piljevina	18,384 – 0,184 w	17,051 – 0,196 w
24.	Jela - piljevina	19,606 – 0,196 w	18,269 – 0,208 w

\* w [%] sadržaj vlage u materijalu  
Izvor / Source: (Mitić, 1998)

Tabela 3. Donja toplotna moć ljuske semena suncokreta i drugih vrsta biomase pri ravnotežnom sadržaju vlage

Table 3. Lower heat capacity of sunflower seed husks and other types of biomass at equilibrium moisture content

R. br.	Vrsta biomase	Donja toplotna moć Hd [MJ/kg]
1.	Pšenična slama	14,00
2.	Ječmena slama	14,20
3.	Ovsena slama	14,50
4.	Ražena slama	14,00
5.	Kukuruzovina	13,50
6.	Kukuruzovina semenskog kukuruza	13,85
7.	Oklasak	14,70
8.	<b>Stabljika suncokreta</b>	<b>14,50</b>
9.	<b>Ljuska semena suncokreta</b>	<b>17,55</b>
10.	Slama od soje	15,70
11.	Slama od uljane repice	17,40
12.	Stabljika hmelja	14,00
13.	Stabljika duvana	13,85
14.	Ostaci rezidbe u voćnjacima	14,15
15.	Ostaci rezidbe u vinogradima	14,00
16.	Stajnjak - biogas	23,00*

\* MJ/m<sup>3</sup>

Izvor / Source: (Brkić & Janić, 2000)

## ZAKLJUČAK / CONCLUSION

Otpadna biomasa kao energent u zemljama članicama Evropske Unije zauzima treće mesto, odmah posle hidroenergije i energije vetra. Austrija i Danska imaju veoma razvijenu poljoprivredu, iz tog razloga je u ovim evropskim zemljama najznačajniji energent otpadna biomasa iz poljoprivredne proizvodnje (Milanović & Lekić, 2017). U našoj zemlji se u toku jedne godine proizvede oko 12,5 miliona tona otpadne agrpoindustrijske biomase. Ovaj ogroman prirodni resurs se gotovo i ne koristi (Strategija razvoja energetike, 2015), budući da na području naše zemlje ne postoji definisana procedura, postupci, niti institucije koje bi se na jedinstven i organizovan način bavile pitanjem tretiranja otpadne biomase. Agroindustrijska biomasa se na teritoriji naše zemlje pretežno ili odlaže na deponije ili se na mestu nastanka otpadne biomase vrši njeno spaljivanje. Ovakvim „tretiranjem“ otpadne biomase značajno se narušava životna sredina, budući da se daje doprinos emitovanju gasova staklene bašte i klimatskim promenama. Savremeni način života i potrošačke navike društva uzrokuju konstantan porast zaostale otpadne biomase, čije „tretiranje“ bi trebalo biti ekološki prihvatljivo, energetski efikasno i ekonomski održivo (Milojković i sar. 2015). Veliki potencijal raspoložive otpadne biomase koji postoji u našoj zemlji, naročito potencijal raspoložive biomase poreklom iz poljoprivrede i prehrambene industrije, u kojoj proizvodnja jestivog biljnog ulja, zauzima značajno mesto, trebalo bi optimalno iskoristiti.

U osnovne privredne delatnosti naše zemlje spada proizvodnja i prerada hrane, stoga je potrebno više pažnje i prostora posvetiti održivoj industrijskoj proizvodnji prehrambenih proizvoda, među kojima jestivo ulje suncokreta zauzima značajno mesto. U okviru savremen održive industrijske proizvodnje prehrambenih proizvoda važno je uspostaviti i principe održive „zelene tehnologije i proizvodnje“, što podrazumeva poštovanje principa cirkularne ekonomije i zaštite životne sredine, u okviru koje adekvatno upravljanje otpadom i njegova valorizacija kroz stvaranje novog proizvoda uz minimalne naknadne troškove predstavlja važan segment.

Sprovedena naučna istraživanja o valorizaciji zaostale ljuske semena suncokreta, agroindustrijske biomase industrije jestivog ulja suncokreta, čiji su rezultati prikazani u ovom originalnom naučnom radu, daju doprinos u uspostavljanju održive industrijske proizvodnje jestivog ulja suncokreta uz poštovanje principa cirkularne ekonomije i zaštite životne sredine.

Naša zemlja ima izuzetne potencijale za proizvodnju i primenu biogoriva i energenata iz obnov-

ljivih izvora energije, a naročito poreklom iz agroindustrijske biomase, u okviru koje posebno mesto zauzima i ljuska iz semena suncokreta. Optimalnoj valorizaciji ljuske iz semena suncokreta, agroindustrijskoj biomasi industrijske prerade semena suncokreta u ulje suncokreta, bi u narednom periodu trebalo posvetiti dodatno prostora uz sprovođenje i dodatnih multidisciplinarnih istraživanja, budući na njen izuzetan potencijal i odlična svojstva kao energenta, čija bi primena mogla i trebala biti unapređena, a što bi sve dalo dodatni doprinos ne samo u obezbeđivanju principa cirkularne „zelene“ ekonomije i održive industrijske proizvodnje jestivog ulja suncokreta, već i u obezbeđivanju većeg stepena energetske nezavisnosti naše zemlje.

**Zahvalnost / Acknowledgement**

Rad je nastao u okviru Projekta „Održiva proizvodnja i nutritivno-zdravstveni značaj namirnica u savremenoj ishrani“, Obrazovno-poslovnog centra za razvoj ljudskih resursa, upravljanje i održivi razvoj Novi Sad

The paper was created within the Project “Sustainable production and the nutritional and health importance of foods in the modern diet” of the Educational and Business Center for Human Resources Development, Management and Sustainable Development Novi Sad.

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] Arsić, Lj., Premović, J. (2021). Institucionalni okvir za razvoj modela cirkularne ekonomije u Srbiji, Zbornik radova: *Ekonomska politika u Srbiji i svetu u 2021: u susret globalnim šokovima i rastućoj neizvesnosti*, redaktori: M. Zec, M. Arsić, O. Radonjić, Centar za izdavačku delatnost - Ekonomski fakultet BU, Beograd, str. 155-167.
- [2] Bojičić, R., Tripković, A. (2023). Uticaj organske proizvodnje na poslovanje poljoprivrednih gazdinstava, *Ecologica*, 30(111): 375-382. doi:10.18485/ecologica.2023.30.111.5
- [3] Brkić, M., Janić, T. (2000). Biomasa kao izvor sirovina, đubriva, stočne hrane i energije, *Traktori i pogonske mašine*, 5(2): 23-28.
- [4] De Leonardis, A., Mcciola, D., Domenico, N. Di (2005). A first pilot study to produce a food antioxidant from sunflower seed shells (*Helianthus annuus*), *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 107: 220-227.
- [5] Dimić, E., Škorić, D., Romanić, R., Jocić, S. (2003). Kvalitet i tehničko - tehnološke karakteristike semena oleinskog suncokreta, *Industrija ulja*, 34(1-2): 45-50.

- [6] Dimić, M., Gajdobranski, A., Paunović, S. (2023). Zelena ekonomija - pokretač ekonomskog razvoja nakon pandemije Kovid 19. *Ecologica*, 30(109): 99-106. doi:10.18485/ecologica.2023.30.109.14
- [7] Gajdobranski, A. (2015). *Analiza faktora konkurentnosti proizvodnje i izvoza uljarica Srbije*, Fakultet za poslovne studije i pravo, Univerzitet UNION - Nikola Tesla, Beograd, str. 32.
- [8] Gajdobranski, A. (2020). *Uvod u zelenu ekonomiju*, Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo, Univerzitet UNION - Nikola Tesla, Beograd, str. 56.
- [9] Janković, M., Bogdanović-Jović, A., Gajdobranski, A., Miljković, Lj. (2022). Organska poljoprivreda i klimatske promene, *Ecologica*, 29(106): 193-200. doi:10.18485/ecologica.2022.29.106.8.
- [10] Marušić, V., Ivandić, Ž., Križić, T. (2008). Smanjenje efikasnosti rada prešaone kao posljedica trošenja uzrokovanog konstrukcijom djelova preša, *Uljarstvo*, 39 (1-2): 71-76.
- [11] Marušić, V., Milinović, A., Galić, J. (2010). Neke mogućnosti smanjenja gubitka kod pužnih preša velikog kapaciteta, *Uljarstvo*, 41 (1-2): 23-28.
- [12] Milanović, T., Lekić, N. (2017). Upotreba obnovljivih izvora energije kao jedna od ključnih komponenti održivog razvoja, Međunarodni naučni skup: IOR-EDA 2017 „Izazovi održivog razvoja – ekonomski i društveni aspekt“, Zbornik radova, Univerzitet u Prištini, Ekonomski fakultet Pristina, str. 229-239.
- [13] Milojković, J. V., Stojanović, M. D., Mihajlović, M. L., Lopičić, Z. R., Petrović, M. S., Petrović, J. T., Stanojević, M. R. (2015). Primena otpadne biomase za sprečavanje negativnog efekta klimatskih promena, *Ecologica*, 22(79): 498-502.
- [14] Mitić, D. (1998). Fizičke karakteristike biomasa i biobriketa Srbije (potencijalna ekološka goriva), monografija, JDPTEP, JSDITZ, Novi Sad - Niš, 119.
- [15] Nacionalni akcioni plan za korišćenje obnovljivih izvora energije, Službeni glasnik RS, br. 53/2013.
- [16] Premović, T. (2014). Uticaj vremena skladištenja, sadržaja nečistoće i ljuske semena na senzorni kvalitet, bioaktivne komponente i oksidativnu stabilnost hladno presovanog ulja suncokreta, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
- [17] Premović, T. (2022). *Nerafinisana ulja suncokreta - ekološki, tehnološki, nutritivni i ekonomski aspekti*, Ekonomski institut a.d., Beograd.
- [18] Premović, T. (2022a). Ekološki menadžment u proizvodnji uljarica i jestivih biljnih ulja, *Primena novih tehnologija u menadžmentu i ekonomiji*, Osmo međunarodna konferencija, Zbornik radova, Univerzitet „Union - Nikola Tesla“, Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo, Fakultet za poslovne studije i pravo, Beograd.
- [19] Premović, T., Premović, J., Tripković, A. (2022). Cirkularna ekonomija u proizvodnji hladno presovanih ulja suncokreta, *Primena novih tehnologija u menadžmentu i ekonomiji*, Osmo međunarodna konferencija, Zbornik radova, Univerzitet „Union - Nikola Tesla“, Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo, Fakultet za poslovne studije i pravo, Beograd.
- [20] Rabrenović, B., Vujasinović, V. (2021). *Tehnologija biljnih ulja i masti*, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd.
- [21] Rosa, P. M., Antoniassi, R., Freitas, S. C., Bizzo, H. R., Zanotto, D. L., Oliveira, M. F., Castiglioni, V. B. R. (2009). Chemical composition of brazilian sunflower varieties, *Helia*, 32 (50): 145-156.
- [22] Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2025. godine sa projekcijama do 2030. godine, Službeni glasnik RS, br. 101/2015.
- [23] Vučinić, I., Arsić, Lj., Vujović, S. (2022). Mogućnosti primene koncepta cirkularne ekonomije u organskoj proizvodnji, *Ecologica*, 29(107): 373-381. doi:10.18485/ecologica.2022.29.107.11.
- [24] Zakon o energetici, Službeni glasnik RS, br. 145/2014.
- [25] Zakon o upravljanju otpadom, Službeni glasnik RS, br. 36/2009, 88/2010, 14/2016 i 95/2018 i dr. zakon.
- [26] [https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/2019/21-22\\_March\\_Serbia/1.2\\_SERBIA\\_UNDP\\_GEF\\_Biomass\\_Project\\_Janic.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/2019/21-22_March_Serbia/1.2_SERBIA_UNDP_GEF_Biomass_Project_Janic.pdf)
- [27] [www.kombeg.org.rs/aktivnosti/c\\_eko\\_ino/pdf/poljoprivreda.pdf](http://www.kombeg.org.rs/aktivnosti/c_eko_ino/pdf/poljoprivreda.pdf).
- [28] [www.psegs.vojvodina.gov.rs/wp-content/uploads/2013/03/Razvoj-trzista-biomase-u-AP-Vojvodini.pdf](http://www.psegs.vojvodina.gov.rs/wp-content/uploads/2013/03/Razvoj-trzista-biomase-u-AP-Vojvodini.pdf)