



Proizvodnja i

Prerada

Uljarica

Zbornik radova

64. Savetovanje industrije ulja

Production and Processing of Oilseeds

Proceedings of the 64th Oil Industry Conference

64. SAVETOVANJE
64th CONFERENCE

PROIZVODNJA I PRERADA
ULJARICA

sa međunarodnim učešćem

PRODUCTION AND
PROCESSING OF OILSEEDS

with international participation

ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS

Herceg Novi, Crna Gora
25 - 30. jun 2023. godine

IZDAVAČI
PUBLISHERS

UNIVERZITET U NOVOM SADU, TEHNOLOŠKI FAKULTET NOVI SAD
UNIVERSITY OF NOVI SAD, FACULTY OF TECHNOLOGY NOVI SAD
INSTITUT ZA RATARSTVO I POVRTARSTVO NOVI SAD,
INSTITUT OD NACIONALNOG ZNAČAJA ZA REPUBLIKU SRBIJU
INSTITUTE OF FIELD AND VEGETABLE CROPS NOVI SAD,
NATIONAL INSTITUTE OF THE REPUBLIC OF SERBIA
„INDUSTRIJSKO BILJE” DOO NOVI SAD
„INDUSTRIAL PLANTS” DOO NOVI SAD

UREĐIVAČKI ODBOR
EDITORIAL BOARD

Prof. dr Biljana Pajin, Prof. dr Ranko Romanić, Dr Vladimir Miklič, Dr Vojin Đukić
Mr Zvonimir Sakač, Dr Olga Čurović, Zoran Nikolovski, dipl. inž., Vladimir Šarac,
dipl. inž., Gordan Parenta, dipl. inž., Nada Grbić, dipl. inž., Milan Ševo, dipl. inž.,
Dragan Trzin, dipl. inž.

UREDNIK
EDITOR

Savet tehnologa

TEHNIČKI UREDNICI
TECHNICAL EDITORS

Prof. dr Ranko Romanić
Doc. dr Ivana Lončarević

ADRESA IZDAVAČA
PUBLISHER'S ADDRESS

„INDUSTRIJSKO BILJE” DOO, NOVI SAD
21000 Novi Sad, Dimitrija Tucovića 2A, Srbija
Tel/fax. +381 21 66 16 633, +381 21 66 24 311, +381 21 66 12 135
e-mail: office@indbilje.co.rs

ISBN 978-86-6253-170-4

ŠTAMPA
PRINT



Štamparija Feljton, Novi Sad
Stražilovska 17
Tel: 021/ 66-22-867

ŽETVENI OSTACI PŠENICE, KUKURUZA I SUNCOKRETA – SASTAV LIPIDNIH EKSTRAKATA

*Ranko Romanić¹, Tanja Lužaić¹, Snežana Kravić¹,
Stevan Samardžić², Zoran Maksimović²*

¹Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet Novi Sad, Novi Sad, Srbija

²Univerzitet u Beogradu, Farmaceutski fakultet, Beograd, Srbija

IZVOD

Poljoprivredni otpad koji nastaje nakon biljne proizvodnje je još uvek u velikoj meri nedovoljno iskorišćen. Često se spaljuje na poljima, posebno u zemljama u razvoju koje nemaju jake regulatorne instrumente za kontrolu takve prakse, uključujući Srbiju. Kao uobičajena praksa, otvoreno sagorevanje poljoprivrednih ostataka dovodi do zagađenja vazduha, što predstavlja rizik po zdravlje ljudi i po životnu sredinu. Pored toga, dovodi do potpunog gubitka organske materije i azota, ugrožava divljač i predstavlja veliku opasnost zbog mogućnosti nekontrolisanog širenja požara. Primena žetvenih ostataka pšenice, kukuruza i suncokreta još uvek nije dovoljno istražena, nema visokovrednu primenu, pa je cilj ovog rada da se ispita sastav heksanskih ekstrakata žetvenih ostataka pšenice, kukuruza i suncokreta sa posebnim akcentom na ispitivanje sastava masnih kiselina. Utvrđeno je da ne postoji značajna različitost među ispitanim uzorcima u sadržaju linolne masne kiseline. Sadržaj oleinske masne kiseline je značajno niži u lipidnom ekstraktu žetvenih ostataka pšenice, u poređenju sa kukuruzom i suncokretom. Sa druge strane, sadržaj zasićenih masnih kiselina, palmitinske i lignocerinske masne kiseline, dobijen u ekstraktu žetvenih ostataka pšenice je značajno veći. U sadržaju ostalih masnih kiselina nije utvrđena značajna razlika među ispitanim uzorcima.

Ključne reči: sastav masnih kiselina, heksanski ekstrakt, žetveni ostaci, pšenica, kukuruz, suncokret

WHEAT, CORN AND SUNFLOWER HARVEST RESIDUES – COMPOSITION OF LIPID EXTRACTS

ABSTRACT

Agricultural waste generated after crop production is still largely underutilized. It is often burned in fields, especially in developing countries that do not have strong

regulatory instruments to control such practices, including Serbia. As a common practice, open burning of agricultural residues leads to air pollution, which poses a risk to human health and the environment. In addition, they lead to a complete loss of organic matter and nitrogen, threaten wildlife and pose a great danger due to the possibility of uncontrolled spread of fire. The use of wheat, corn and sunflower crop residues has not yet been sufficiently investigated, it does not have a high-value application, so the aim of this work is to examine the composition of hexane extracts of wheat, maize and sunflower crop residues with special emphasis on the examination of fatty acid composition. It was found that there is no significant difference among the tested samples in the content of linoleic fatty acid. The oleic fatty acid content is significantly lower in the lipid extract of wheat crop residues, compared to corn and sunflower. On the other hand, the content of saturated fatty acids, palmitic and lignoceric, obtained in the extract of wheat harvest residues is significantly higher. No significant difference was found in the content of other fatty acids among the tested samples.

Key words: fatty acid composition, hexane extract, harvest residues, wheat, corn, sunflower

UVOD

U svim granama biljne proizvodnje posle žetve ostaje korenje i nadzemni delovi bilke - žetveni ostaci. Ovi sporedni proizvodi biljne proizvodnje mogu se iskoristiti na više načina: kao hrana za životinje, neposredno ili u prerađenom i oplemenjenom obliku, kao sirovina za dobijanje celuloze, papira, iverice i sl., kao prostirke u stočarstvu, kao sirovina za spremanje veštačkog stajnjaka i komposta i neposrednim uključivanjem u procesu korišćenja organske materije zaoravanjem u zemljište. Ukoliko se žetveni ostaci ne odnesu sa njive i ne koriste u stočarstvu ili na neki drugi način, potrebno ih je na neki način ukloniti i osloboditi površinu za blagovremenu obradu zemljišta za naredni usev. Spaljivanje žetvenih ostataka dovodi do štetnih posledica u poljoprivrednoj proizvodnji, a po postojećim zakonskim propisima je i zabranjeno (Zakon o zaštiti od požara, 2009). Spaljivanje znači potpun gubitak organske materije i azota. Osim gubitaka u organskoj materiji vatra uništava korisne članove edafona, ugrožava divljač, zagađuje okolinu i predstavlja veliku opasnost zbog mogućnosti nekontrolisanog širenja požara. Količina žetvenih ostataka u intenzivnoj biljnoj proizvodnji je značajna i zavisi od biljne vrste, sorte/hibrida, kao i od vremenskih uslova u pojedinim godinama. Nakon žetve pšenice zaostane 5-7 t/ha slame, kod kukuruza 8-12 t/h, dok je kod suncokreta 4-6 t/ha (Evon, 2008).

Potreba za održivom zamenom fosilnog ugljenika i održavanjem trenda porasta temperature na globalnom nivou znatno ispod 2°C u odnosu na predindustrijski nivo (IPCC, 2018) izaziva sve veći interes za korišćenje poljoprivrednih sporednih proizvoda kao alternativnih sirovina za dobijanje ugljenika. U zemljama sa visokim poljoprivrednim kapacitetom, žetveni ostaci predstavljaju važan izvor nefosilnog ugljenika (Hamelin i sar., 2019, 2021; Hansen i sar., 2020; Karan i Hamelin, 2021). Iako se slama žita obično eksploatiše (Thorenz i sar., 2018), upotreba slame uljarica, a posebno slame suncokreta

(koja se takođe obično naziva stabljika suncokreta), dobija manje pažnje u smislu njihove upotrebe kao sirovine za dobijanje ugljenika u budućoj bioekonomiji. Ipak, uzgoj suncokreta je u stalnom porastu tokom poslednjih 20 godina, a evropska proizvodnja je odgovorna za više od polovine globalne ponude (FAOSTAT, 2020). U nekoliko studija je razmatrana valorizacija različitih sporednih proizvoda suncokreta, a stabljike su bile poželjnije s obzirom na njihovu dostupnost i sastav. Stabljike predstavljaju oko 25% (na suhu materiju) ukupne mase biljke (Evon, 2008). Primeri mogućih upotreba stabljike kreću se od proizvodnje iverice (Evon i sar., 2012, 2015; Kristova i sar., 1996) za proizvodnju nameštaja (Bektas i sar., 2005; Klimek i sar., 2016), za materijale za pakovanje (Klimek i sar., 2016; Marechal i Rigal, 1999) ili toplotne izolacije (Matijas i sar., 2015; Mati-Baouche i dr., 2016; Evon i sar., 2014). Druge primene uključuju njegovu upotrebu za proizvodnju komponenata za vozila male mase (Mathias i sar., 2015) i u građevinskom sektoru za proizvodnju materijala sa većim koeficijentima apsorpcije zvuka od trenutno komercijalizovanih materijala (Oancea i sar., 2018). Poslednja pomenuta primena se smatra da ima velikog potencijala, za lignocelulozne materijale uopšteno, pa i za žetvene ostatke suncokreta (Jensen i sar., 2021; Oldham i sar., 2011; Pedrosa i sar., 2017). Prema Chabriac i sar. (2016), srž suncokreta, unutrašnja penasta komponenta stabljike, ima vrednost koeficijenta apsorpcije zvuka koje mogu biti ekvivalentne onima dobijenim od materijala kao što je fiberglas. Slično, Oancea i sar. (2018) utvrdili su da beton pomešan sa suncokretovom srži ima veće koeficijente apsorpcije zvuka od konvencionalnog betona koji se koristi kao građevinski materijal. Iako potencijalno vredan tok u naporima ka neutralizovanju efekta staklene bašte, stabljika suncokreta nakon žetve izaziva zabrinutost, između ostalog, zbog iscrpljivanja zaliha ugljenika u zemljištu (Hansen i sar., 2020). Takvi kompromisi se često analiziraju pomoću Procene životnog ciklusa (LCA), opštepriznatog alata za poređenje uticaja novih i postojećih tehnologija na životnu sredinu radi donošenja odluka zasnovanih na dokazima. Međutim, većina ekoloških procena o suncokretu su bile foksirane na upotrebu semena/zrna kao sirovine za proizvodnju biljnog ulja ili biogoriva (Sanz Rekuena i sar., 2011; Iriarte i sar., 2010). Studija Mathis i sar. (2015) je, prema saznanjima autora, jedini dostupan LCA o korišćenju rezidualne biomase suncokreta kao sirovine za proizvodnju materijala, gde se procenjuju svojstva stabljika suncokreta za biokompozitne materijale. Iako je vredna, ova studija se ne bavi pitanjem iscrpljivanja zaliha ugljenika i ograničena je na poljoprivrednu fazu proizvodnje suncokreta.

Prinos lipofilne frakcije izdvojene heksanom iz žetvenih ostataka suncokreta je veoma mali, svega 0,3% (Sin, 2012). Nizak prinos ekstrakcije objašnjava se velikim poprečnim presekom stabljike što znači da bi površina kutikularnih lipida bila manja po gramu uzorka koji se ekstrahuje. Suncokretova slama ima veoma veliko unutrašnje jezgro od celuloze koje je potpuno bez lipida, smatra se da bi odvajanjem površine slame od njenog unutrašnjeg jezgra dovelo do većeg prinosa ekstrakcije. Sin (2012) je u heksanskom ekstraktu žetvenih ostataka suncokreta od zasićenih masnih kiselina utvrdio prisustvo palmitinske (C16:0), stearinske (C18:0), arahidonske (C20:0), kao i polinezasićene linolne (C18:2) masne kiseline.

Sa aspekta primene žetvenih ostataka pšenice, u svetu se oni koriste kao potencijalna sirovina u industriji papira (Sun i Sun, 2001). U lipidnom ekstraktu žetvenih ostataka

pšenice Sin (2012) je identifikovao tri zasićene slobodne masne kiseline: miristinsku (C14:0), palmitinsku (C16:0) i stearinsku masnu kiselinu (C18:0). Slobodne masne kiseline sa neparnim brojem ugljenikovih atoma su veoma retke jer se ova grupa molekula formira dodavanjem C2 dela molekula tokom procesa elongacije. Slobodne masne kiseline nastaju biosintezom lipida i verovatno hidrolizom triacilglicerola ili estara voskova starenjem biljke (Kunst i Samuels, 2003). Sun i Tompkinson (2003) izvestili su o sadržaju slobodnih zasićenih masnih kiselina u pšeničnoj slami u rasponu od kaprinske (C10:0) do lignocerinske masne kiseline (C24:0). Dosadašnja istraživanja dokazuju prisustvo slobodnih zasićenih masnih kiselina i sa parnim i sa neparnim brojem C atoma, iako samo tri preovlađuju: miristinska (C14:0), palmitinska (C16:0) i stearinska masna kiselina (C18:0) (Sun i Tompkinson, 2003; Deswarte, 2006). Sin (2012) je identifikovao ograničen broj slobodnih zasićenih masnih kiselina jer su lipidni ekstrakti analizirani grubo, bez razdvajanja. Nezasićene slobodne masne kiseline palmitoleinska (C16:1), oleinska (C18:1), linolna (C18:2), alfa linolenska (C18:3) i eikosenska kiselina (C20:1) identifikovane su u prethodnim studijama (Sun i Tompkinson, 2003; Deswarte, 2006). U početku biosintetskog puta se formira miristinska kiselina (C14:0), a zatim slede palmitoleinska (C16:1) i oleinska masna kiselina (C18:1). Deswarte (2006) je uspeo da identifikuje tako širok spektar masnih kiselina pošto su sirovi ekstrakti frakcionisani hromatografijom na koloni, tako da GC metoda može da se podesi da analizira slobodne masne kiseline pojedinačno, na primer upotrebom polarnije kolone da bi se olakšalo razdvajanje. Dobijene masne kiseline mogu naći potencijalnu primenu u prizvodnji sapuna, deterdženata, ulja za podmazivanje i lakova za čišćenje (Ruston, 1952; Hill, 2001).

Lipofilna frakcija žetvenih ostataka pšenice i suncokreta, a još manje kukuruza, nije dovoljno istražena, nema visokovrednu primenu, što otvara novu mogućnost za izvođenje ekstrakcije i valorizaciju komponenti visoke vrednosti. S tim u vezi, u ovom radu ispitan je sastav lipidnih ekstrakata dobijenih rastvaranjem u heksanu žetvenih ostataka pšenice, kukuruza i suncokreta sa posebnih akcentom na ispitivanje sastava masnih kiselina. Cilj je da se ispita mogućnost potencijalne primene pomenutih ekstrakata u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji.

MATERIJAL I METODE RADA

Materijal

Žetveni ostaci pšenice, kukuruza i suncokreta sakupljeni su sa polja na teritoriji Vojvodine, zasejanim ovim kulturama, neposredno nakon žetve. Dobijeni ostaci su osušeni na suncu, a zatim isečeni na manje komade i samleveni pomoću mlina čekićara, u cilju lakše ekstrakcije. Lipidni ekstrakt žetvenih ostataka dobijen je u poluindustrijskim uslovima, korišćenjem heksana kao rastvarača, koji je zatim uparen pod vakuumom.

Metode

Sastav masnih kiselina uzoraka heksanskih ekstrakata određen je gasnom hromatografijom-masenom spektrometrijom (GC-MS) u skladu sa standardnom metodom (SRPS EN ISO 12966-4, 2016; SRPS EN ISO 12966-2, 2017).

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri pojedinačne probe \pm standardna devijacija. Jednosmerna analiza varijanse (ANOVA) pomoću Tukey testa korišćena je za utvrđivanje značajnih razlika među podacima na nivou značajnosti $p < 0,05$. Za statističku obradu podataka korišćeni su programi Statistica verzija 13.5.0.17 (StatSoft, Tulsa, Oklahoma, USA) i Microsoft Excel 2013.

REZULTATI I DISKUSIJA

Tabela 1. Sastav masnih kiselina lipidnih ekstrakata
žetvenih ostataka pšenice, kukuruza i suncokreta
Table 1. Fatty acid composition of lipid extracts of wheat,
corn and sunflower harvest residues

Masne kiseline/ Fatty acids	Lipidni ekstrakt žetvenih ostataka/ Lipid extracts of harvest residues		
	Pšenice/ Wheat	Kukuruza/ Corn	Suncokreta/ Sunflower
C14:0	1,44 \pm 0,31 ^{abB}	0,49 \pm 0,02 ^{aA}	nd
C16:0	23,74 \pm 8,23 ^{cdB}	11,84 \pm 0,46 ^{eAB}	6,13 \pm 0,28 ^{cA}
C16:1	nd	4,61 \pm 0,10 ^{dA}	nd
C18:0	3,10 \pm 0,79 ^{abA}	2,58 \pm 0,08 ^{bcA}	2,56 \pm 0,08 ^{ba}
C18:1	12,93 \pm 3,99 ^{bcA}	29,32 \pm 0,30 ^{hb}	26,54 \pm 1,02 ^{eB}
C18:2	26,76 \pm 7,61 ^{dA}	24,01 \pm 0,21 ^{gA}	34,34 \pm 0,97 ^{fA}
C18:3n3	1,59 \pm 0,48 ^{abA}	2,93 \pm 0,02 ^{eB}	0,88 \pm 0,12 ^{abA}
C20:0	6,97 \pm 2,94 ^{abA}	4,37 \pm 0,08 ^{dA}	5,53 \pm 0,53 ^{cA}
C22:0	6,92 \pm 3,30 ^{abA}	4,74 \pm 0,36 ^{dA}	4,84 \pm 0,20 ^{cA}
C24:0	3,16 \pm 0,15 ^{abB}	2,10 \pm 0,25 ^{ba}	2,33 \pm 0,18 ^{ba}
Ostale komponente	21,68 \pm 6,96 ^{cdB}	13,02 \pm 0,10 ^{fA}	16,85 \pm 1,97 ^{dAB}

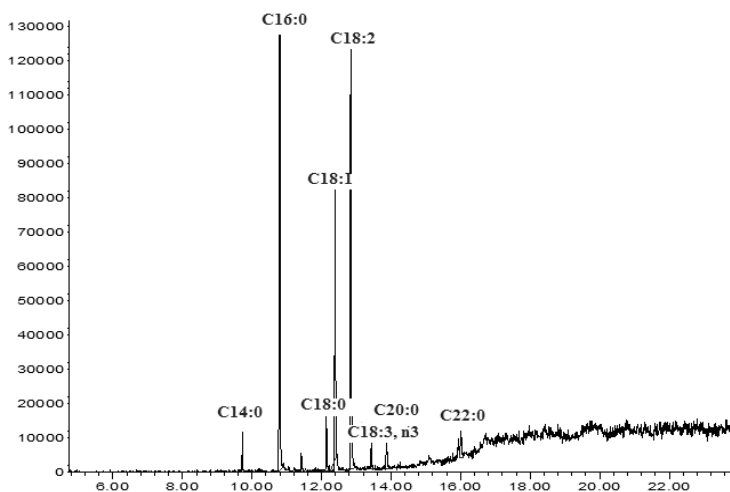
nd - nije detektovano

Različita mala slova u istoj koloni ukazuju na značajno različite vrednosti između sadržaja masnih kiselina, dok različita velika slova u istom redu ukazuju na značajno različite vrednosti među uzorcima ($p < 0,05$)

Ispitivanjem sastava lipidnih ekstrakata žetvenih ostataka pšenice, kukuruza i suncokreta utvrđeno je da najveći deo čine masne kiseline. Naime, svega 21,68 \pm 6,96%, 13,02 \pm 0,10% i 16,85 \pm 1,97% lipidnih ekstrakata žetvenih ostataka pšenice, kukuruza i suncokreta su druge komponente (tabela 1). Sun i Sun (2001) ispitivali su sastav masnih kiselina lipidnih ekstrakata žetvenih ostataka pšenice dobijenih ekstrakcijom različitim organskim rastvaračima: toluen - metanol (2:1, v/v), toluen - metanol -

etanol (1:1:1, v/v/v), metil tert - butil etar, hlороform - metanol (2:1, v/v). Sadržaj masnih kiselina u ovim ekstraktima kretao se od $42,08 \pm 0,92\%$, koliko je utvrđeno u uzorku ekstrahovanom metil tert - butil etrom do $63,32 \pm 1,62\%$, dobijenim u uzorku ekstrahovanom smešom rastavarača toluen - metanol - etanol.

U heksanskom ekstraktu žetvenih ostataka pšenice dominantna masna kiselina je linolna (C18:2) sa sadržajem od $26,76 \pm 7,61\%$. U nešto nižem sadržaju ($23,74 \pm 8,23\%$) utvrđeno je prisustvo palmitinske kiseline (C16:0), zatim sledi oleinska (C18:1) sa ($12,93 \pm 3,99\%$). Ostale zasićene masne kiseline (stearinska - C18:0, miristinska - C14:0, arahidska - C20:0, behenska - C22:0, lignocerinska - C24:0) nalaze se u značajno nižem udelu (manje od $6,97\%$). U izuzetno niskom sadržaju ($1,59 \pm 0,48\%$) utvrđeno je prisustvo i alfa linolenske masne kiseline (C18:3n3). Dobijeni masnokiselinski sastav prikazan je i na hromatogramu na slici 1.

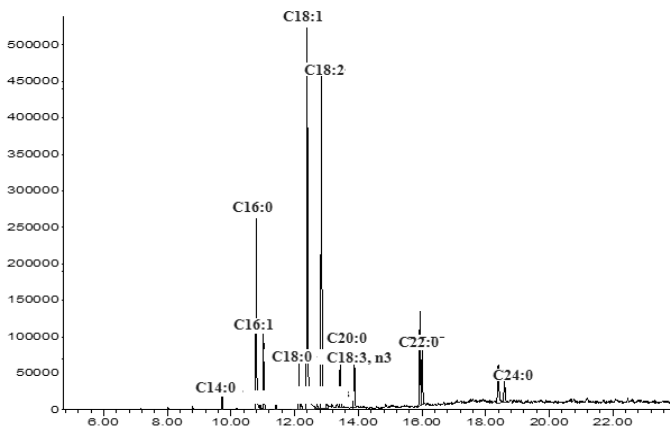


Slika 1. Hromatogram sastava masnih kiselina
lipidnog ekstrakta žetvenih ostataka pšenice
Figure 1. Fatty acids composition GC chromatogram of
hexane extract of wheat harvest residues

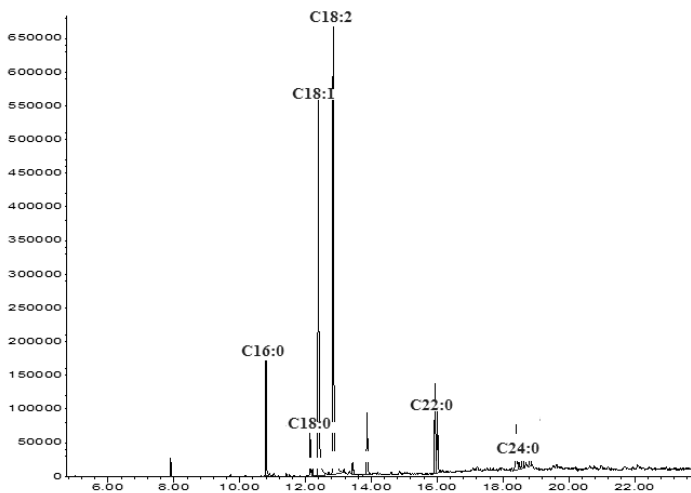
U heksanskom ekstraktu žetvenih ostataka kukuruza dominantna masna kiselina je oleinska čiji sadržaj je iznosio $29,32 \pm 0,30\%$. Linolna masna kiselina se nalazi u nešto nižem sadržaju ($24,01 \pm 0,21\%$). Zatim sledi palmitinska sa udelom od $11,84 \pm 0,46\%$. Sadržaj ostalih masnih kiselina je niži od 5% (tabela 1, slika 2).

Slično ekstraktu žetvenih ostataka kukuruza i kod suncokreta je dominantna masna kiselina linolna sa sadržajem od $34,34 \pm 0,97\%$ (tabela 1, slika 3). Utvrđen je značajno niži sadržaj oleinske masne kiseline koji iznosi $26,54 \pm 1,02\%$. Od zasićenih masnih kiselina najzastupljenija je palmitinska sa sadržajem od $6,13 \pm 0,28\%$, zatim sledi arahidonska ($5,53 \pm 0,53\%$), behenska ($4,84 \pm 0,20\%$), dok je u značajno nižem

sadržaju potvrđeno prisustvo stearinske ($2,56 \pm 0,08\%$) i lignocerinske masne kiseline ($2,33 \pm 0,18\%$).



Slika 2. Hromatogram sastava masnih kiselina lipidnog ekstrakta žetvenih ostataka kukuruza
Figure 2. Fatty acids composition GC chromatogram of hexane extract of corn harvest residues



Slika 3. Hromatogram sastava masnih kiselina lipidnog ekstrakta žetvenih ostataka suncokreta
Figure 3. Fatty acids composition GC chromatogram of hexane extract of sunflower harvest residues

U ispitanim lipidnim ekstraktima utvrđeno je prisustvo i alfa linolenske masne kiseline, najviše u ekstraktu žetvenih ostataka kukuruza, $2,93 \pm 0,02\%$, dok je kod pšenice i suncokreta dobijen značajno niži sadržaj ove masne kiseline, $1,59 \pm 0,48\%$ i $0,88 \pm 0,12\%$, redom.

ZAKLJUČAK

Poređenjem sastava masnih kiselina žetvenih ostataka pšenice, kukuruza i suncokreta može se zaključiti da ne postoji značajna različitost u sadržaju najdominantnije, linolne masne kiseline između uzoraka. Sadržaj oleinske masne kiseline je značajno niži u lipidnom ekstraktu žetvenih ostataka pšenice, u poređenju sa kukuruzom i suncokretom. Sa druge strane, sadržaj zasićenih masnih kiselina, palmitinske i lignocerinske masne kiseline, dobijen u ekstraktu žetvenih ostataka pšenice je značajno veći. U sadržaju ostalih masnih kiselina nije utvrđena značajna razlika među ispitanim uzorcima.

Zahvalnica

Istraživanje sporevedeno uz podršku Fonda za nauku Republike Srbije, broj projekta: 7752847, Value-Added Products from Maize, Wheat and Sunflower Waste as Raw Materials for Pharmaceutical and Food Industry - PhAgroWaste.

LITERATURA

1. Antolin, G., Tinaut, F.V., Briceno, Y., Castano, V., Perez, C. Ramirez, A.I. (2002) Optimization of Biodiesel Production by Sunflower Oil Transesterification. *Bioresour. Technol.*, 83: 111–114.
2. Bektas, I., Guler, C., Kalaycioglu, H., Mengeloglu, F., Nacar, M. (2005). The Manufacture of Particleboards using Sunflower Stalks (*Helianthus annuus* L.) and Poplar Wood (*populus alba* L.). *J. Compos. Mater.*, 39(5): 467–473.
3. Chabriac, P.A., Gourdon, E., Gle, P., Fabbri, A., Lenormand, H. (2016). Agricultural byproducts for building insulation: acoustical characterization and modeling to predict micro-structural parameters. *Construct. Build. Mater.*, 112: 158–167.
4. Deswarte, F. (2006). Extraction of high-value chemicals from wheat straw (*Triticum aestivum*). PhD thesis, University of York, York, UK.
5. Evon, P. (2008). Nouveau procédé de bioraffinage du tournesol plante entière par fractionnement thermo-mécano-chimique en extrudeur bi-vis: Etude de l'extraction aqueuse des lipides et de la mise en forme du raffinat en agromatériaux par thermomoulage/New process for the biorefining of sunflower whole plant by thermo-mechanical-chemical fractionation in a twin-screw extruder: Study of the aqueous extraction of lipids and the shaping of the raffinate into agromaterials by thermomoulding. University of Toulouse - National Polytechnic Institute of Toulouse.
6. Evon, P., Vandebossche, V., Pontalier, P., Rigal, L. (2014). New thermal insulation fiberboards from cake generated during biorefinery of sunflower whole plant in a twin-screw extruder. *Ind. Crop. Prod.*, 52: 354–362.

7. Evon, P., Vandenbossche, V., Rigal, L. (2012). Manufacturing of renewable and biodegradable fiberboards from cake generated during biorefinery of sunflower whole plant in twin-screw extruder: influence of thermo-pressing conditions. *Polym. Degrad. Stabil.*, 97(10): 1940–1947.
8. Evon, P., Vinet, J., Labonne, L., Rigal, L. (2015). Influence of thermo-pressing conditions on the mechanical properties of biodegradable fiberboards made from a de-oiled sunflower cake. *Ind. Crop. Prod.*, 65: 117–126.
9. FAOSTAT (2020). Sunflower seed. *Crops*. September. (dostupno na: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>).
10. Hamelin, L., Borzęcka, M., Kozak, M., Pudełko, R. (2019). A spatial approach to bioeconomy: quantifying the residual biomass potential in the EU-27. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 100: 127–142.
11. Hamelin, L., Møller, H.B., Jørgensen, U. (2021). Harnessing the full potential of biomethane towards tomorrow's bioeconomy: a national case study coupling sustainable agricultural intensification, emerging biogas technologies and energy system analysis. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 138: 110506.
12. Hansen, J.H., Hamelin, L., Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J.E., Wenzel, H. (2020). Agricultural residual bioenergy potential that sustain soil carbon depends on energy conversion pathways. *Glob. Change Biol. Bioenergy*, 12(11): 1002–1013.
13. Hill, K. (2001). Fats and Oils as Oleochemical Raw Materials. *J. Oleo Sci.*, 50(5): 433–444.
14. IPCC (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, p. 616.
15. Iriarte, A., Rieradevall, J., Gabarrell, X. (2010). Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. *J. Clean. Prod.*, 18(4): 336–345.
16. Jensen, M.S., Alfieri, P.V. (2021). Design and manufacture of insulation panels based on recycled lignocellulosic waste. *Clean. Eng. Technol.*, 3: 100–111.
17. Karan, S.K., Hamelin, L. (2021). Crop residues may be a key feedstock to bioeconomy but how reliable are current estimation methods? *Resour. Conserv. Recycl.*, 164: 105211.
18. Khristova, P., Yossifov, N., Gabir, S. (1996). Particle board from sunflower stalks: preliminary trials. *Bioresour. Technol.*, 58 (3): 319–321.
19. Klímek, P., Meinschmidt, P., Wimmer, R., Plinke, B., Schirp, A. (2016). Using sunflower (*Helianthus annuus* L.), topinambour (*Helianthus tuberosus* L.) and cup-plant (*Silphium perfoliatum* L.) stalks as alternative raw materials for particleboards. *Ind. Crop. Prod.*, 92: 157–164.
20. Kunst, L., Samuels, A. L. (2003). Biosynthesis and secretion of plant cuticular wax. *Prog. Lipid Res.*, 42: 51-80.
21. Marechal, V., Rigal, L. (1999). Characterization of by-products of sunflower culture - commercial applications for stalks and heads. *Indus. Crop Prod.*, 10(3): 185–200.

22. Mathias, J.-D., Alzina, A., Gr'ediac, M., Michaud, P., Roux, P., Baynast, H.D., Delattre, C., Dumoulin, N., Faure, T., Larrey-Lassalle, P., Mati-Baouche, N., Penneç, F., Sun, S., Tessier-Doyen, N., Toussaint, E., Wei, W. (2015). Upcycling sunflower stems as natural fibers for biocomposite applications. *BioResour.*, 10 (4): 8076–8088.
23. Mati-Baouche, N., de Baynast, H., Michaud, P., Dupont, T., Leclair, P. (2016). Sound absorption properties of a sunflower composite made from crushed stem particles and from chitosan bio-binder. *Appl. Acoust.*, 111: 179–187.
24. Oancea, I., Bujoreanu, C., Budescu, M., Benchea, M., Gradinaru, C.M. (2018). Considerations on sound absorption coefficient of sustainable concrete with different waste replacements. *J. Clean. Prod.*, 203: 301–312.
25. Oldham, D.J., Egan, C.A., Cookson, R.D. (2011). Sustainable acoustic absorbers from the biomass. *Appl. Acoust.*, 72: 350–363.
26. Pedroso, M., de Brito, J., Silvestre, J. (2017). Characterization of eco-efficient acoustic insulation materials (traditional and innovative). *Construct. Build. Mater.*, 140: 221–228.
27. Perspectives agricoles (2022). Perspectives 'economiques: les grandes cultures en Europe dans dix ans. (dostupno na: <https://www.perspectives-agricoles.com/perspectives-economiques-les-grandes-cultures-en-europe-dans-dix-ans-@/view-3898-arvarticlepa.html>).
28. Ruston, N. A. (1952). Commercial uses of fatty acids. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 29(11): 495–498.
29. Sanz Requena, J.F., Guimaraes, A.C., Quir'os Alpera, S., Relea Gangas, E., Hernandez- Navarro, S., Navas Gracia, L.M., Martin-Gil, J., Fresneda Cuesta, H. (2011). Life Cycle Assessment (LCA) of the biofuel production process from sunflower oil, rapeseed oil and soybean oil. *Fuel Process. Technol.*, 92 (2): 190–199.
30. Sin, E. H. K. (2012). The extraction and fractionation of waxes from biomass. PhD thesis, University of York, York, UK.
31. SRPS EN ISO 12966-2 (2017). Srpski standard. Ulja i masti biljnog i životinjskog porekla - Gasna hromatografija metilestara masnih kiselina - Deo 2: Priprema metilestara masnih kiselina (ISO 12966-2:2017). Institut za standardizaciju Srbije, Beograd.
32. SRPS EN ISO 12966-4 (2016). Srpski standard. Ulja i masti biljnog i životinjskog porekla - Gasna hromatografija metilestara masnih kiselina - Deo 4: Određivanje kapilarnom gasnom hromatografijom (ISO 12966-4:2015). Institut za standardizaciju Srbije, Beograd.
33. Sun, R. C., Sun, X. F. (2001). Identification and quantitation of lipophilic extractives from wheat straw. *Ind. Crops. Prod.*, 14(1): 51–64.
34. Sun, R. C., Tomkinson, J. (2003). Comparative study of organic solvent and water-soluble lipophilic extractives from wheat straw I: Yield and chemical composition. *J. Wood Sci.*, 49(1): 47–52.
35. Thorenz, A., Wietschel, L., Stindt, D., Tuma, A. (2018). Assessment of agroforestry residue potentials for the bioeconomy in the European Union. *J. Clean. Prod.*, 176: 348–359.
36. Zakon o zaštiti od požara, Službeni glasnik Republike Srbije, 111/2009.