

KVALITATIVNE I ENERGETSKE PROMJENE PLODA LJEŠNJAKA U PROCESU KONVEKCIJSKOG SUŠENJA

QUALITATIVE AND ENERGETIC CHANGES OF HAZELNUTS AFTER THE PROCESS OF CONVECTIVE DRYING

Ana Matin, Tajana Krička, Vanja Jurišić, N. Bilandžija, I. Kuže, N. Voća, Marijana Landeka

Izvorni znanstveni članak - Original scientific paper
Primljeno - Received: 18. veljače - February 2013

SAŽETAK

Zbog povećanog sadržaja vode neposredno nakon ubiranja, plod lješnjaka se mora termički doraditi do ravnotežne vlažnosti te je kao takav na tržištu dostupan tijekom cijele godine. Jedan od postupaka termičke dorade je konvekcijsko sušenje. Cilj ovog rada bio je utvrditi utjecaj temperature prije i nakon termičkog procesa konvekcijskog sušenja na kvalitativne (fizikano-kemijske) karakteristike ploda lješnjaka, kao i utvrditi iskoristivost ljuske lješnjaka kao energenta. U istraživanjima su korištene dvije sorte lješnjaka, Istarski duguljasti i Rimski okrugli. Plodovi lješnjaka konvekcijski su sušeni na temperaturi od 50°C pri brzini zraka od 1,0 m s⁻¹. Na temelju dobivenih rezultata, određena je brzina otpuštanja vode iz ploda lješnjaka, kao i promjene u fizikalnim (dimenzije, sferičnost, gustoća i volumen), kemijskim (sadržaji vode, pepela, proteina, masti i ugljikohidrata) te energetske (sadržaji vode, pepela, koksa, fiksiranog ugljika, dušika (N), ugljika (C), sumpora (S), vodika (H), kisika (O) te hlapive tvari, gorive tvari i gornja H_g i donja H_d ogrjevna vrijednost) svojstvima ploda lješnjaka. Utvrđeno je da se nakon termičke dorade ne gubi većina nutritivnih vrijednosti jezgre te da ljuska lješnjaka ima dobra energetska svojstva.

Ključne riječi: lješnjak, konvekcijsko sušenje, energija

UVOD

Grmovi lješnjaka rastu diljem Europe te su na tržištu plodovi lješnjaka dostupni tijekom cijele godine i mogu se kupiti u ljusci ili bez nje. Međutim, tako dostupan lješnjak mora se termički doraditi kako bi mu se kroz vremensko razdoblje skladištenja očuvala kvaliteta te spriječile negativne fizikalno-kemijske promjene. Kao jedna od najčešćih metoda termičke dorade jezgre lješnjaka koristi se konvekcijsko sušenje.

Sušenje poljoprivrednih proizvoda je najstarija i vrlo raširena, a u nekim slučajevima i obvezna

metoda konzerviranja kojemu je cilj odstranjivanje suvišne vode iz ploda (Katić, 1997). U procesu sušenja, plod u dodiru s okolnim zrakom otpušta vodu do stanja higroskopne ravnotežne vlažnosti u slučaju lješnjaka do 6%. Nivo vlažnosti ploda pri kojem će se uspostaviti higroskopna ravnotežna vlažnost ovisi o stanju zraka, njegovoj temperaturi i relativnoj vlažnosti.

Svi lako kvarljivi proizvodi moraju se konzervirati kad se uništavaju prisutni mikroorganizmi ili zaustavlja njihovo razvijanje i razmnožavanje (Niksić-Aleksić, 1988; Krička, 1993; Akpinar i Bicer, 2005). Sušenje kao jedan od načina konzerviranja omogu-

ćava fizikalno-kemijsku stabilizaciju ploda smanjenjem udjela vlage, kao i proizvod s novim kvalitativnim svojstvima različite prehrambene i ekonomske vrijednosti (Akpinar i sur., 2003; Babalis i Belessiotis, 2004). Ovaj postupak osigurava proizvodu određeno vrijeme čuvanja bez promjene i mogućnost njegovog korištenja tijekom cijele godine (McLean, 1980; Krička i Pliestić, 1994; Krička i sur., 2001; Krička i sur., 2003; Matin i sur., 2007). Osim očuvanja kakvoće proizvoda, proces sušenja mora biti ekonomičan, a učinak sušare što veći (Katić, 1985). Na efikasnost sušenja utječe zrak svojim toplinskim intenzitetom, relativnom vlažnošću, brzinom strujanja i konstrukcijom sušare (Krička 1993; Katić i sur., 1994). Način sušenja, odnosno temperaturu zraka kojim se suši i temperaturu na koju se zagrijava proizvod, treba prilagoditi osobinama proizvoda i njegovoj namjeni (Katić, 1997). Povišenjem temperature zraka smanjuje se njegova relativna vlažnost, pa povećana razlika vlažnosti između ploda i zraka pospješuje sušenje.

Nakon provedene termičke dorade ploda lješnjaka, jezgra odlazi u daljnju preradu, dok ljuska ostaje kao nusproizvod. Jezgra lješnjaka najviše se koristi u prehrambeno prerađivačkoj industriji za proizvodnju čokolade, sladoleda, bombona, keksa i peciva (Kinderlerer i Johnson, 1992; Labell, 1992; Villarroel i sur., 1993; Köksal i Okay, 1996). Prehrambena industrija zahtijeva plodove sitnije do srednje veličine, okruglog do ovalnog oblika (Miletić i sur., 2007), a posebno značenje ima aroma i okus jezgre (Farinelli i sur., 2009). Neispravne jezgre koje se ne mogu koristiti u prehrambenoj industriji koriste se u kozmetičkoj i farmaceutskoj industriji.

Za razliku od jezgre, ljuska lješnjaka predstavlja biomasu visoke energetske (gorive) vrijednosti, a karakterizira je to što ne iziskuje dodatne troškove sakupljanja i daljnje termičke dorade te kao takva može koristiti u proizvodnji energije iz obnovljivih izvora. Gorivo je smjesa složenih kemijskih spojeva te se sastoji od gorivog dijela (gorivih tvari) i balasta (negorivih tvari). Negorive tvari predstavljaju nepoželjnu komponentu goriva i naročito su izražene kod krutih, manje kod tekućih a minimalno kod plinovitih goriva.

Prema Strategiji o biogorivima Europske unije (2006), biomasa je definirana kao biorazgradivi dio proizvoda, otpada ili ostataka iz poljoprivrede (uključujući biljne i životinjske tvari), šumarstva i srodnih industrija te kao biorazgradivi dio industrijskog i komunalnog otpada. Poljoprivredna biomasa, kao

dio lignocelulozne biomase ima znatan energetski potencijal, jer predstavlja ostatke dobivene nakon poljoprivredne proizvodnje, koji mogu biti dostupni po relativno niskim cijenama (slama, kukuruzovina, oklasak, stabljike, ljuske, koštice).

Uzimajući u obzir da je Republika Hrvatska zemlja s izrazito velikim potencijalom biomase za proizvodnju energije (oko 4 milijuna tona godišnje, trenutačno dostupnih) ona bi mogla zamijeniti do 25% ukupno utrošene energije (Krička i sur., 2007). Iskorištavanjem biomase poljoprivrednog podrijetla u energetskom sektoru ostvaruju se brojni pozitivni učinci koji se očituju u zbrinjavanju otpada, zaštiti okoliša te poštivanju normi EU, posebno postupnim uvođenjem sve više ograničavajućih EU legislativa o upotrebi obnovljivih izvora energije.

Temeljem svega navedenog cilj ovog rada je utvrditi utjecaj temperature prije i nakon termičkog procesa konvekcijskog sušenja na kvalitativne (fizičko-kemijske) karakteristike ploda lješnjaka, kao i utvrditi iskoristivost ljuske lješnjaka u svrhu korištenja kao energenta.

MATERIJAL I METODE

Istraživanje je provedeno na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu u Zavodu za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport. Uzorci lješnjaka, sorata Istarski duguljasti i Rimski okrugli bili su uzgajani tijekom 2010. godine. Navedene su sorte odabrane, jer su vrlo raširene u proizvodnji.

Kvalitativne (fizičke i kemijske) te energetske analize ploda lješnjaka obavljene su prije te nakon termičkog postupka konvekcijskog sušenja u 3 grupe uzoraka.

Sušenje je provedeno u laboratorijskoj sušari koja može simulirati uvjete velike industrijske sušare. Brzina zraka u sušari bila je održavana na $1,0 \text{ m s}^{-1}$, a uzorci su bili sušeni na temperaturi od 50°C . Neposredno prije sušenja određen je sadržaj vode u uzorku ploda lješnjaka. Svakih 5 minuta gubitak mase određivan je pomoću digitalne vage do ravnotežne vlažnosti ploda lješnjaka od 6%.

Za svaku grupu uzoraka određene su fizičke karakteristike. Određena je veličina plodova, odnosno dimenzije i to dužina, širina i debljina pomičnim mjerilom (Digital Caliper 0-150 mm). Za uspješno skladištenje osim klasičnih parametara (hektolitar i

masa 1000 plodova) uočena je potreba i za ostalim fizikalnim karakteristikama. Za dugotrajno kvalitetno skladištenje neophodno je analizirati sferičnost, a njome mogućnost praćenja kvalitetnog skladištenja. Iz toga proizlazi potreba za mjerenjem volumena i gustoće ploda. Sferičnost je izvedena iz dimenzija ploda u ovisnosti o obliku ploda. Koeficijent sferičnosti pokazuje bliskost nekog tijela kugli, a određuje se prema izrazu Mohsenina (1970) i Strohinea i sur. (1986) koja glasi:

$$\Phi = \frac{\left[\left(\frac{\pi}{6} \right) abc \right]^{\frac{1}{3}}}{\left[\left(\frac{\pi}{6} \right) a^3 \right]^{\frac{1}{3}}} = \left(\frac{b}{a^2} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{(abc)^{\frac{1}{3}}}{a}$$

gdje su:

- a – duljina zrna – najveći promjer (promjer opisane kružnice) (mm),
- b – širina zrna – srednji promjer (promjer upisane kružnice) (mm),
- c – debljina zrna – najmanji promjer (mm).

Gustoća i volumen određeni su pomoću vage Mettler Toledo s dodatnim dijelom za određivanje gustoće (Density determination kit-33360). Pri odvagama je korišten etanol (tekućina koju zrno ne upija) čija je gustoća prethodno određena i ona je pri temperaturi od 25°C iznosila 0,785 g/ml. Temperatura okolnog zraka kretala se u rasponu od 23°C do 27°C.

Uz navedene fizikalne karakteristike potrebno je pratiti i važnije kemijske karakteristike. Prema standardnim metodama određen je sadržaj vode u laboratorijskoj sušnici (INKO ST-40, Hrvatska) (HRN ISO 6496:2001), pepela u mufolnoj pećnici Nabertherm B170 (Lilienthal, Njemačka) (HRN ISO 5984:2004), ukupnog škroba na polarimetru (KRÜSS, P3001, Njemačka) (HRN ISO 6493:2001), sirovih proteina na Kjeldahl digestionnoj jedinici K 12 (Behr Labortechnik GmbH, Njemačka) (HRN ISO 1871:1999) te sirovih masti na ekstratoru Soxhlet R 304 (Behr Labortechnik GmbH, Njemačka) (HRN ISO 6492:2001).

U svrhu istraživanja energetske iskoristivosti, odnosno gorivih svojstava ljuske lješnjaka provedene su analize sadržaja negorivih i gorivih tvari standardnim metodama. Od negorivih tvari određen je sadržaj vode (CEN/TS 14774-2:2004), pepela (CEN/

TS 14775:2004), koksa i fiksiranog ugljika (CEN/TS 15148:2005) te dušika (N) (HRN EN 15104:2011). Od gorivih tvari određen je sadržaj ugljika (C), vodika (H), kisika (O) (HRN EN 15104:2011) i sumpora (S) (HRN EN 15289:2011) metodom suhog spaljivanja na Vario, Macro CHNS analizatoru (Elementar Analysensysteme GmbH, Njemačka) te sadržaj gorive tvari i hlapljive tvari (CEN/TS 15148:2005), kao i gornje H_g i donje H_d ogrjevne vrijednosti kalorimetrom (IKA C200 Analysentechnik GmbH, Njemačka) (HRN EN 14918:2010). Statistička obrada podataka provedena je pomoću paketa SAS verzije 9.1 (SAS Institute, Cary, NC, USA) uz uporabu GLM procedure uz nivo značajnosti $P \geq 0.05$.

REZULTATI I RASPRAVA

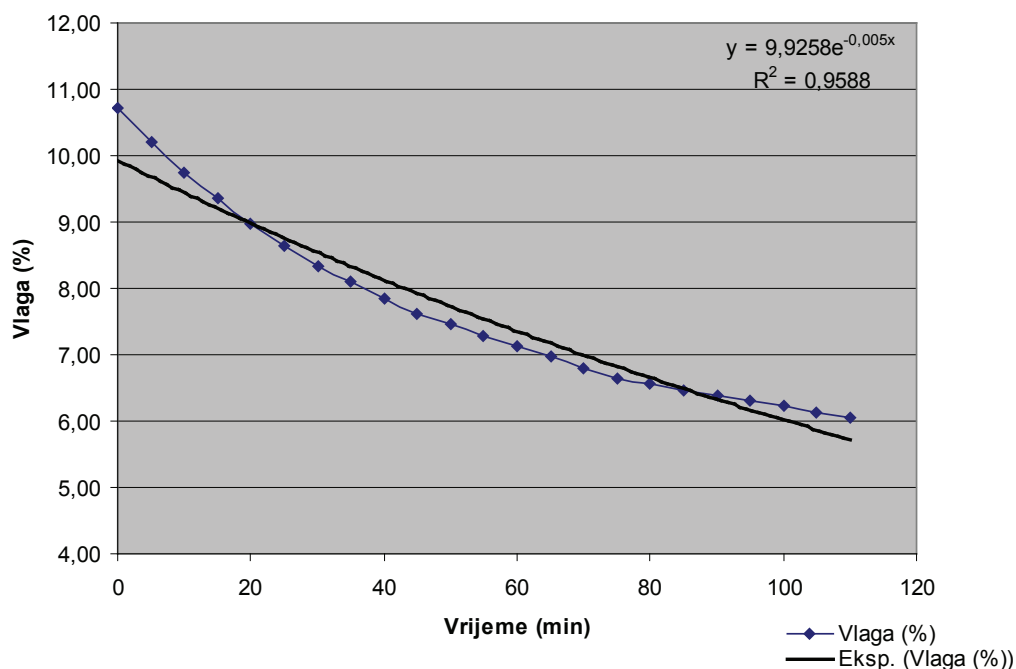
U vrijeme berbe, plodovi najčešće imaju veću vlažnost od higroskopne. Zbog toga, da bi se uspješno mogli skladištiti, uglavnom se moraju konzervirati termičkom doradom. Uzorci istraživanih dviju sorti lješnjaka (Istarski duguljasti i Rimski okrugli) sušeni su na temperaturi zraka od 50°C.

Na slici 1 prikazana je krivulja otpuštanja vode sorte Istarski duguljasti, a na slici 2 krivulja otpuštanja vode sorte Rimski okrugli do ravnotežne vlažnosti od 6%.

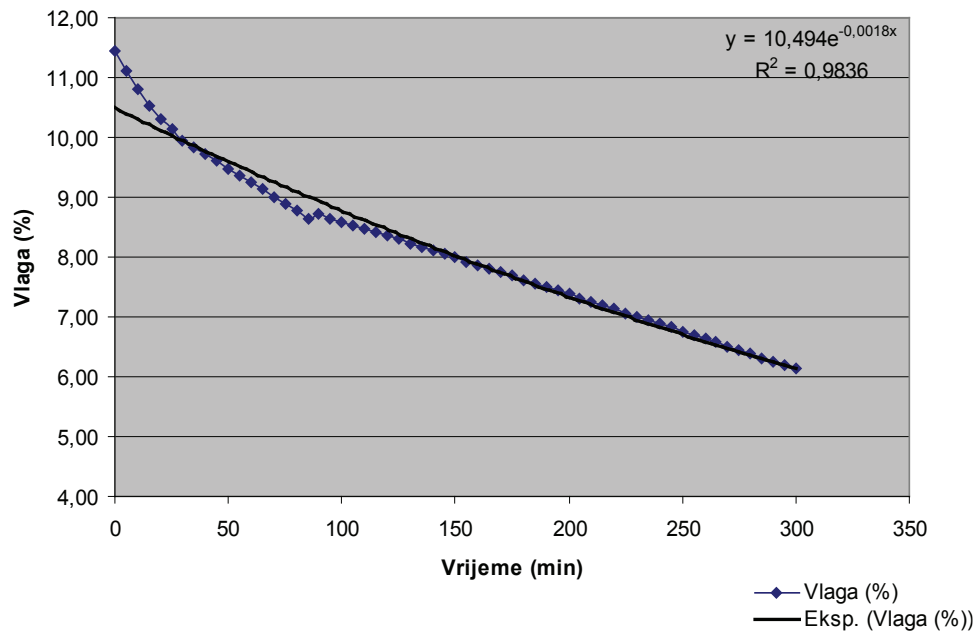
Analizom podataka utvrđeno je da je kod obje istraživane logaritamske jednadžbe utvrđen koeficijent korelacije 0,95 i 0,98 koji pokazuje da su istraživanja otpuštanja vode iz ploda lješnjaka vođena precizno te da su dobiveni rezultati međusobno usporedivi. Također je utvrđeno da je sorta Istarski duguljasti brže otpuštala vodu iz ploda od sorte Rimski okrugli. Naime, što eksponent u jednadžbi ima veću vrijednost, sušenje je brže (Krička, 1993).

Nadalje, u tablici 1 prikazane su fizikalne karakteristike i to veličina ploda (dužina, širina i debljina), sferičnost, gustoća i volumen prirodnog i osušenog ploda lješnjaka.

Veličina ili dimenzije (dužina, širina i debljina), sferičnost, gustoća, kao i volumen prirodnog te osušenog ploda lješnjaka sorata Istarski duguljasti i Rimski okrugli, prikazane su u tablici 1. Jedna od značajnijih promjena koja se događa prilikom procesa termičke dorade je smanjenje obujma sušenog materijala što se može uočiti i iz rezultata navedene tablice. U ovisnosti o istraživanim sortama,



Grafikon 1. Krivulja otpuštanja vode iz ploda lješnjaka do ravnotežne vlažnosti od 6% sorte Istria duguljasti
Graph 1. Water releasing curve from the hazelnut to the equilibrium moisture of 6% in Istria Long-shaped



Grafikon 2. Krivulja otpuštanja vode iz ploda lješnjaka do ravnotežne vlažnosti od 6% sorte Rimski okrugli
Graph 2. Water releasing curve from the hazelnut to the equilibrium moisture of 6% in Tonda Romana

Tablica 1. Veličina ploda (dužina, širina i debljina), sferičnost, gustoća i volumen prirodnog i osušenog ploda lješnjaka

Table 1. Hazelnut size (length, width and thickness), sphericity, density and volume of natural and dried hazelnut

Uzorak	Dužina (mm)	Širina (mm)	Debljina (mm)	Sferičnost (%)	Gustoća (g/cm ³)	Volumen (m ³)
Istarski dugi prirodno	23,58±0,84 ^a	20,19±0,75 ^a	14,92±1,10 ^c	0,95±0,05 ^b	1,08±0,19 ^b	0,95±0,15 ^a
Istarski dugi 50°C	19,52±0,91 ^b	18,57±0,94 ^c	14,09±1,14 ^a	0,79±0,04 ^d	1,09±0,09 ^b	0,92±0,07 ^a
Rimski okrugli prirodno	19,33±0,27 ^d	22,18±1,27 ^c	14,74±1,26 ^a	0,99±0,04 ^a	1,76±0,33 ^a	0,59±0,15 ^b
Rimski okrugli 50°C	18,13±55 ^c	21,79±1,31 ^b	13,01±0,94 ^b	0,91±0,04 ^c	1,96±0,38 ^a	0,53±0,14 ^b

Srednje vrijednosti ± SD, za svaku godinu posebno, s istim slovom nisu signifikantno različite (p<0,05)

Tablica 2. Sadržaj vode, pepela, proteina, masti i ugljikohidrata na suhu tvar prirodne i osušene jezgre lješnjaka

Table 2. Water, ash, protein, fat and carbohydrates content per dry basic of natural and dried hazelnut kernel

Uzorak	Voda (%)	Pepeo (%)	Proteini (%)	Masti (%)	Ugljikohidrati (%)
Istarski dugi prirodno	10,73±0,13 ^b	3,00±0,07 ^a	17,58±0,21 ^b	65,28±0,31 ^b	14,15±0,17 ^c
Istarski dugi 50°C	5,58±0,09 ^d	2,59±0,12 ^b	17,94±0,03 ^a	67,02±0,25 ^a	11,66±0,40 ^d
Rimski okrugli prirodno	11,48±0,04 ^a	2,71±0,05 ^b	12,09±0,09 ^d	62,91±0,39 ^c	22,28±0,43 ^a
Rimski okrugli 50°C	5,89±0,28 ^c	2,37±0,02 ^c	12,70±0,01 ^c	64,26±0,67 ^b	19,49±0,64 ^b

Srednje vrijednosti ± SD, za svaku godinu posebno, s istim slovom nisu signifikantno različite (p<0,05)

vrijednosti dužine, širine, debljine i sferičnosti bile su signifikantno različite, kako u prirodnom, tako i u osušenom uzorku, dok vrijednosti gustoće i volumena nisu bile signifikantno različite. Slične rezultate u istraživanju prirodno osušenog ploda lješnjaka dobili su Plietić i sur. (2006) koji su utvrdili vrijednosti dužine ploda lješnjaka i to 25,32 mm, širine 20,54 mm te debljine 17,93 mm, za razliku od rezultata Aydina (2002) koji je istražujući veličinu te volumen prirodno osušenog ploda lješnjaka dobio vrijednosti dužine 18,03 mm, širine 18,97 mm i debljine 16,58 mm, što nije u suglasju s dobivenim rezultatima.

U tablici 2. prikazani su rezultati kemijskih karakteristika i to sadržaj vode, pepela, proteina, masti i ugljikohidrata na suhu tvar prirodne i osušene jezgre lješnjaka.

Sadržaj vode, pepela, proteina, masti i ugljikohidrata jezgre lješnjaka, odnosno statistička analiza utjecaja pojedinih sorata na prirodnu i osušenu jezgru lješnjaka prikazana je u tablici 2. Prema rezultatima navedene tablice uočava se da su svi istraživa-

ni parametri signifikantno različiti te nakon termičke dorade vrijednosti sadržaja vode, pepela i ugljikohidrata padaju, dok vrijednosti sadržaja proteina i masti koja predstavlja dominirajući sastojak u prirodnoj i osušenoj jezgri lješnjaka rastu. Prema navodima literature jezgra lješnjaka sadrži od 60 do 70% masti, iako njen udio varira ovisno o sortama i području uzgoja (Percherisa i sur., 1993; Botta i sur., 1994; Pala i Ünal, 1997; Simopoulos, 2002). Veći sadržaj masti u jezgri lješnjaka sadržavala je sorta Istarski dugi (prirodna - 65,28%; sušena - 67,02%). Dobiveni rezultati sadržaja masti su u suglasju s navodima Balte i sur. (2006) koji navode sadržaj masti od 57,50 do 74,10% te Seyhana i sur. (2007) od 47,09 do 65,08% sadržaja masti.

Rezultati energetske analize ljuske lješnjaka, odnosno sadržaj negorivih tvari (vode, pepela, koksa, fiksiranog ugljika i dušika (N) na suhu tvar prikazani su u tablici 3., dok je sadržaj gorivih tvari ljuske lješnjaka prikazan u tablicama 4 i 5. U tablici 4. prikazana je elementarna analiza sastava ugljika (C), sumpora (S), vodika (H) i kisika (O) na suhu

Tablica 3. Sadržaj negorivih tvari (vode, pepela, koksa, fiksiranog ugljika i dušika (N)) ljuske lješnjaka na suhu tvar prirodne i osušene jezgre lješnjaka

Table 3. Non-combustible materials (water, ash, coke, fixed carbon and nitrogen (N)) content per dry basic of natural and dried hazelnut shell

Uzorak	Voda (%)	Pepeo (%)	Koks (%)	Fiksirani ugljik (%)	Dušik (N) (%)
Istarski dugi prirodno	16,33±0,01 ^b	1,33±0,05 ^b	23,33±0,60 ^a	18,19±0,45 ^b	0,34±0,01 ^b
Istarski dugi 50°C	6,04±0,03 ^d	1,49±0,06 ^a	22,83±0,41 ^a	19,96±0,31 ^a	0,41±0,01 ^a
Rimski okrugli prirodno	17,40±0,10 ^a	1,26±0,07 ^b	22,82±0,06 ^a	17,59±0,20 ^c	0,17±0,01 ^d
Rimski okrugli 50°C	6,13±0,20 ^c	1,59±0,05 ^a	23,10±0,13 ^a	20,10±0,05 ^b	0,20±0,06 ^c

Srednje vrijednosti ± SD, za svaku godinu posebno, s istim slovom nisu signifikantno različite (p<0,05)

Tablica 4. Sadržaj gorivih tvari (ugljika (C), sumpora (S), vodika (H) i kisika(O)) ljuske lješnjaka na suhu tvar

Table 4. Combustible materials (carbon (C), sulfur (S), hydrogen (H) and oxygen (O)) content per dry basic of natural and dried hazelnut shell

Uzorak	Ugljik (C) (%)	Sumpor (S)(%)	Vodik (H) (%)	Kisik (O) (%)
Istarski dugi prirodno	55,11±0,14 ^b	0,09±0,01 ^a	6,51±0,10 ^b	37,71±0,21 ^a
Istarski dugi 50°C	54,18±0,62 ^a	0,07±0,01 ^b	6,74±0,09 ^a	38,61±0,64 ^b
Rimski okrugli prirodno	59,99±4,35 ^b	0,08±0,02 ^{bc}	6,70±0,01 ^a	33,07±4,33 ^a
Rimski okrugli 50°C	53,81±3,77 ^c	0,06±0,01 ^c	6,92±0,22 ^b	39,72±3,55 ^a

Srednje vrijednosti ± SD, za svaku godinu posebno, s istim slovom nisu signifikantno različite (p<0,05)

tvar, dok je u tablici 5 prikazan sadržaj hlapive tvari, gorive tvari te gornje (H_g) i donje (H_d) ogrjevne vrijednosti na suhu tvar.

Analizom podataka iz tablice 3. vidljivo je da se sadržaj negorivih tvari ljuske lješnjaka, odnosno vode i koksa signifikantno smanjuje nakon sušenja, dok se sadržaj pepela, fiksiranog ugljika i dušika (N) značajno povećava nakon sušenja. Ujedno je vidljivo da je sorta lješnjaka Rimski okrugli sadržavala veću količinu vode (prirodno - 17,40%; sušeno - 6,13%). Sadržaj koksa koji predstavlja ostatak suhe destilacije, te što ga ima više gorivo je kvalitetnije bio je približno isti kod obje istraživane sorte. Dobiveni rezultati su nešto niži nego oni što je dobio Demirbaş (2005) i to 1,40% pepela, 28,30% fiksiranog ugljika te 1,60% dušika (N). Abreu-Naranjo (2012) navodi da sastav pepela biomase ovisi o vrsti biljke, dijelu biljke, dostupnosti hranjiva, kvaliteti tla i gnojivbi.

Prema rezultatima elementarne analize sadržaja gorivih tvari prikazanih u tablici 4. može se uočiti

da se signifikantno razlikovao sadržaj svih istraživanih elemenata, osim kisika (O) kod sorte Rimski okrugli. Sadržaj ugljika (C) i sumpora (S) se smanjio, dok se sadržaj vodika (H) i kisika (O) povisio nakon termičke dorade. Tako je viši sadržaj ugljika (C) (prirodno- 59,99%; sušeno - 53,81%), što je osnovni i najvažniji element svih vrsta goriva i vodika (H) (prirodno- 6,70%; sušeno - 6,92%) bio viši kod sorte Rimski okrugli, dok je viši sadržaj sumpora (S) što čini osnovni sastav gorive tvari svakog goriva (prirodno- 0,09%; sušeno - 0,07%) te kisika (O) (prirodno- 37,71%; sušeno - 38,61%) bio viši kod sorte Istarski duguljasti. Budući da sadržaj sumpora (S) i dušika (N) utječe na emisije nepoželjnih plinova (NO_x i SO₂) pri izgaranju biomase (Garcia i sur., 2012) poželjno je da biomasa ima niže koncentracije istih. Sumpor (S) je najmanje zastupljen element te se on u biomasi obično nalazi u tragovima. Dobivene vrijednosti su nešto više nego što je naveo Demirbaş (2005) koji je utvrdio da ljuska lješnjaka sadrži 51,60% ugljika (C) i 0,04% sumpora (S).

Tablica 5. Gorive tvari ljuske lješnjaka na suhu tvar (hlapiva tvar, goriva tvar, donja i gornja ogrjevna vrijednost na suhu tvar)

Table 5. Combustible materials (volatile matter, fuel matter, lower H_d and upper H_g heating value) content per dry basis of natural and dried hazelnut shell)

Uzorak	Hlapiva tvar (%)	Goriva tvar (%)	H_g (MJ/g)	H_d (MJ/kg)
Istarski dugi	64,15±0,51 ^c	82,34±0,06 ^c	20,43±0,09 ^a	19,01±0,14 ^a
Istarski dugi 50 °C	72,51±0,03 ^d	92,47±0,16 ^d	19,94±0,13 ^c	18,47±0,13 ^c
Rimski okrugli	63,76±0,34 ^a	81,35±0,04 ^a	21,52±0,11 ^b	20,06±0,09 ^a
Rimski okrugli 50 °C	72,18±0,12 ^b	92,28±0,07 ^b	20,01±0,17 ^{bc}	18,66±0,13 ^b

Srednje vrijednosti ± SD, za svaku godinu posebno, s istim slovom nisu signifikantno različite ($p < 0,05$)

Rezultati hlapive tvari, gorive tvari te gornje H_g i donje H_d ogrjevne vrijednosti što predstavlja osnovni parametar za proračun energije biomase prikazani su u tablici 5. Sadržaj svih istraživanih parametara signifikantno se razlikovao nakon provedene termičke dorade. Tako je ljuska lješnjaka sorte Rimski okrugli sadržavala viši sadržaj svih istraživanih parametara kako u prirodnom tako i u sušenom uzorku. Najvažnija od njih je ogrjevna vrijednost, osnovni parametar za proračun energije biomase te je kod sorte Rimski okrugli gornja (H_g) iznosila 21,52 MJ/g, a donja (H_d) 20,06 MJ/g čime se uočavaju odlične ogrjevne vrijednosti u usporedbi s naftom 42 MJ/g. Na ogrjevnu vrijednost utječu vlažnost, kemijski sastav i gustoća biomase. Dobiveni rezultati su nešto viši nego oni koje je dobio Demirbaş (1997, 1998) koji navodi da gornja ogrjevna vrijednost (H_g) ljuske lješnjaka iznosi 18,50 MJ/kg, a donja ogrjevna vrijednost (H_d) 17,30 MJ/kg, dok su Krička i sur. (2010) utvrdili gornju ogrjevnu vrijednost (H_g) ukupne hortikulturne biomase od 19,31 MJ/kg.

ZAKLJUČAK

Usporedbom vremena konvekcijskog sušenja utvrđeno je da sorta Istarski duguljasti brže otpušta vodu tijekom sušenja od sorte Rimski okrugli. Kinetičke krivulje sušenja daju očekivane trendove s obzirom na uvjete provedbe procesa. Praćenjem fizikalnih karakteristika ploda lješnjaka tijekom upotrebe termičkog tretmana konvekcijskog sušenja utvrđeno je signifikantno smanjenje veličine ploda (dužina, širina i debljina) i volumena te povećanje gustoće i sferičnosti. Praćenjem promjena kemij-

skih karakteristika jezgre lješnjaka tijekom upotrebe termičkog tretmana sušenja utvrđeno je da sušenje utječe na signifikantno smanjenje sadržaja vode, pepela i ugljikohidrata te povećanje sadržaja proteina i masti.

Temeljem analiziranih podataka može se utvrditi da ljuska lješnjaka ima dobra energetska (goriva) svojstva što se potvrđuje i velikom količinom ugljika (C), te gornjom (H_g) i donjom ogrjevnom vrijednosti (H_d). Dobiveni podaci potvrdili su veliki energetski potencijal ljuske lješnjaka kao visoko kvalitetne sirovine u proizvodnji energije, u odnosu na ostalu poljoprivrednu biomasu.

LITERATURA

1. Abreu-Naranjo, R. (2012): Utilizacion energetica de la biomasa ligno-celulosica obtenida del *Dichrostachys cinerea* mediante procesos de termodescomposicion. Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali, Universita Politecnica delle Marche, Marche, Italy.
2. Akpınar, E.K.; Bicer, Y.; Yildiz, C. (2003): Thin layer drying of red pepper, *Journal of Food Engineering* 59 (1): 99–104.
3. Akpınar, E.K.; Bicer, Y. (2005): Modeling of the drying of eggplants in thin layer, *International Journal of Food Science and Technology* 40: 273–281.
4. Aydin, C. (2002): Physical properties of hazelnut nuts, *Biosystems Engineering* 82 (3): 297–303.
5. Babalis, S.J.; Belessiotis, V.G. (2004): Influence of drying conditions on the drying constants and mo-

- isture diffusivity during the thin-layer drying of figs, *Journal of Food Engineering* 65: 449–58
6. Balta, M.F.; Yarılgaç, T.; Askin, M. A.; Kuçuk, M.; Balta, F.; Özrenk, K. (2006): Determination of fatty acid compositions, oil contents and some quality traits of hazelnut genetic resources grown in eastern Anatolia of Turkey, *Journal of Food Composition and Analysis* 19 (6–7): 681–686.
 7. Botta, R.; Gianotti, C.; Richardson, D.; Suwangaul, A.; Sanz, C.L. (1994): Hazelnut variety organic acids sugars and total lipid fatty acids, *Acta Horticulturae (ISHS)* 351: 693–699.
 8. CEN/TS 14774-2:2004 (2004) Solid biofuels - Methods for the determination of moisture content. European Committee for Standardization.
 9. CEN/TS 14775:2004 (2004) Solid biofuels - Methods for the determination of ash content. European Committee for Standardization.
 10. CEN/TS 15148:2005 (2005) Solid biofuels - Method for the determination of the content of volatile matter. European Committee for Standardization.
 11. Demirbaş, A. (1997): Calculation of higher heating values of biomass fuels, *Fuel* 76 (5): 431-434.
 12. Demirbaş, A. (1998): Kinetics for non-isothermal flash pyrolysis of hazelnut shell, *Bioresource Technology* 66 (3): 247-252.
 13. Demirbaş, A. (2005): Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues, *Progress in Energy and Combustion Science* 31: 171–192.
 14. EU Strategy for Biofuels. COM (2006): 34 final, Commission of the European Communities, EU.
 15. Farinelli, D.; Boco, M.; Tombesi, A. (2009): Productive and Organoleptic Evaluation of New Hazelnut Crosses, *Acta Horticulturae (ISHS)* 845:39-52.
 16. Garcia, J.M.; Açar, I.T.; Streif, J. (1994): Lipid characteristics of kernel from different hazelnut varieties, *Turkish Journal of Agricultural and Forestry* 18: 199-202.
 17. HRN ISO 6496:2001 (2001) Determination of moisture and other volatile matter content. European Committee for Standardization.
 18. HRN ISO 5984:2004 (2004) Determination of crude ash. European Committee for Standardization.
 19. HRN ISO 6493:2001 (2001) Determination of starch content - Polarimetric method. European Committee for Standardization.
 20. HRN ISO 1871:1999 (1999) General directions for the determination of nitrogen by the Kjeldahl method. European Committee for Standardization.
 21. HRN ISO 6492:2001 (2001) Determination of fat content. European Committee for Standardization.
 22. HRN EN 15104:2011 (2011) Solid biofuels- Determination of total content of carbon, hydrogen and nitrogen – instrumental methods. European Committee for Standardization.
 23. HRN EN 15289:2011 (2011) Solid biofuels- Determination of total content sulfur and chlorine. European Committee for Standardization.
 24. HRN EN 14918:2010 (2010) Solid biofuels- Determination calorific value. European Committee for Standardization.
 25. Katić, Z. (1985): Sušenje zrna - energetska bilanca i tehnološka rješenja, Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja „Zrnko 85“ 4-54.
 26. Katić, Z.; Krička, T.; Plietić, S.; Bratko., J.; Krivec, G.; Sito, S. (1994): Utjecaj toplinske dorade prije sušenja na hranidbenu kakvoću zrnja, Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja „Zrnko 94“ 1-17.
 27. Katić, Z. (1997): Sušenje i sušare u poljoprivredi, *Multigraf, Zagreb, Hrvatska*.
 28. Kinderlerer, J.L.; Johnson, S. (1992): Rancidity in hazelnuts due to volatile aliphatic aldehydes, *Journal of the Science of Food and Agriculture* 58 (1): 89-93.
 29. Köksal, A.I.; Okay, Y. (1996): Effects of different pellicle removal applications on the fruit quality of some important hazelnut cultivars, *Acta Horticulturae (ISHS)* 445: 327-333.
 30. Krička, T. (1993): Utjecaj perforiranja površine zrna kukuruza različitih hibrida na brzinu sušenja, Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja „Zrnko 93“ 68-73.
 31. Krička, T.; Plietić, S. (1994): Promjene brzine sušenja zrna kukuruza u zavisnosti o hibridu, *Agromoski glasnik*, 57 (5/6): 449 – 459.
 32. Krička, T.; Voća, N.; Jukić, Ž. (2001): Technological and nutritional characteristics of a kernel of maize exposed to a “cooking treatment”, *Czech Journal of Animal Science*, 46 (5): 213 -216.
 33. Krička, T.; Jukić, Ž.; Voća N., Sigfild, N.; Zanuškar, J.; Voća, S. (2003): Nutritional characteristics of soybean after thermal processing by toasting, *Acta Veterinaria* 53: 191-197.
 34. Krička, T.; Tomić, F.; Voća, N.; Jukić, Ž.; Janušić, V.; Matin, A. (2007): Proizvodnja obnovljivih izvora energije u EU, *Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti*, 9-16.

35. Krička, T.; Voća, N.; Brlek Savić, T.; Bilandžija, N.; Sito, S. (2010): Higher heating values estimation of horticultural biomass from their proximate and ultimate analyses data, *Journal of food agriculture and environment* 8 (3-4): 767-771.
36. Labell, F.M. (1992): Hazelnut supply flavour and crunch, *Food Processing* 53: 52-54.
37. Matin, A.; Krička, T.; Voća, N.; Jukić, Ž.; Janušić, V. (2007): Utjecaj uparavanja na fizikalna svojstva zrna kukuruza, *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 72(3): 205-209.
38. McLean, K.A. (1980): *Drying and Storing Combinable Crops*, Farming Press, Alexandria Bay, New York, SAD.
39. Miletić, R.; Mitrović, M.; Rakičević, M.; Blagojević, M.; Karakljajić- Stajić, Ž. (2007): Proučavanje populacija i klonska selekcija šumske i mačje leske, *Genetika* 1: 13-22.
40. Mohsenin, H.J. (1970): *Physical Properties of Plant and Animal Materials*, Gordon and Breach Science Publisher, New York, SAD.
41. Niketić-Aleksić, G. (1988): *Tehnologija voća i povrća*, Naučna knjiga Beograd, Srbija
42. Pala, M.; Ünal, M. (1997): Application of supercritical extraction to production of low-calorie hazelnut, *Acta Horticulturae ISHS* 445: 311-317
43. Parcerisa, J.; Boatella, J.; Codony, R.; Farrà, A.; Garcia, J.; Lopez, A.; Rafecas, M.; Romero, A. (1993a): Influence of variety and geographical origin on the lipid fraction of hazelnuts (*Corylus avellana* L.) from Spain: I. Fatty acid composition, *Food Chemistry*, 48 (4): 411-414.
44. Pliestic, S.; Dobricevic, N.; Filipović, D.; Gospodarić, Z. (2006): Physical Properties of Filbert Nut and Kernel, *Biosystems engineering* 93 (2): 173-178.
45. Seyhan, F.; Ozay, G.; Saklar, S.; Ertaş, E.; Satir, G.; Alasalvar, C. (2007): Chemical changes of three native Turkish hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.) during fruit development, *Food Chemistry* 105 (2): 590-596
46. Simopoulos, A.P. (2002): The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids, *Biomedicine & Pharmacotherapy* 56 (8): 365-379.
47. Strohshine, R.; Tuite, J.; Crane, P. (1987): Effect of Kernel Physical Properties on Shelled-Corn Thin-Layer Drying Rate, *American Society of Agricultural Engineers*, Paper No: 87-6557, St. Joseph, Michigan, SAD.
48. Villarroel, M.; Biolley, E.; Bravo, S.; Carrasco, P.; Rios, P. (1993): Characterization of Chilean hazelnut sweet cookies, *Plant Food for Human Nutrition* 43: 279-285.

SUMMARY

Due to increased moisture level after harvesting, hazelnut has to be thermally treated in order to reach the equilibrium moisture, a form in which hazelnut is marketed throughout the year. Convection drying is used as one of the thermal finishing procedures. The aim of this study was to determine how the convection drying process influences the qualitative properties of nut, as well as the fuel properties of nutshell. In this investigation, two hazelnut cultivars, Istria Long-shaped and Tonda Romana were used. Hazelnut fruits were convection dried at the temperature of 50°C and air velocity of 1.0 m s⁻¹. Based on the results obtained, water release rate from hazelnut fruits was determined, as well as changes of physical (dimensions, sphericity, density and volume), chemical (water, ash, protein, fat and carbohydrates content) and fuel (water, ash, coke, fixed carbon, nitrogen (N), carbon (C), sulphur (S), hydrogen (H), oxygen (O), volatile compounds and combustible content, higher H_g and lower H_d heating values) properties of hazelnuts. The majority of nutritive properties were preserved in the fruit, whereas it was found that hazelnut shell had good fuel properties after thermal finishing.

Key words: hazelnut, convection drying, energy