

## INFRARED DRYING OF APPLES TREATED WITH HIGH INTENSITY ULTRASOUND

### INFRACRVENO SUŠENJE JABUKA TRETIRANIH ULTRAZVUKOM VISOKOG INTENZITETA

KARLOVIC, Sven; JEZEK, Damir; TRIPALO, Branko; BRNCIC, Mladen; BOSILJKOV, Tomislav & ZUTIC Ana

**Abstract:** *Drying of fruits is widespread method for conservation and production of new products. Drying time is directly influenced on fruit, composition, water share, drying temperature, relative humidity, and some other parameters. In this paper, influence of high intensity ultrasound on drying time of apple was analyzed, and its textural properties after treatment. Results show that pretreatment with ultrasound significantly shorten (up to 25 %) drying time of apple chips, with changes in textural properties (hardness, elasticity), but in favor of US treatment.*

**Keywords:** *infrared drying, apples, ultrasound, texture*

**Sažetak:** *Sušenje voća je danas vrlo raširena metoda produživanja vremena trajanja, kao i dobivanja novih proizvoda. Trajanje sušenja direktno ovisi o vrsti i sastavu voća, količini vlage, temperaturi sušenja, relativnoj vlazi i još nekim parametrima. U radu se ispitivao utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta na trajanje sušenja jabuka, te njena teksturna svojstva nakon obrade. Pokazalo se da je predtretman ultrazvukom značajno skratio (za 25 %) vrijeme sušenja čipsa od jabuke, pri čemu se ispitivana teksturna svojstva (tvrdoća, elastičnost) mijenjaju, ali ne na štetu konačnog proizvoda.*

**Ključne riječi:** *infracrveno sušenje, jabuke, ultrazvuk, tekstura*



**Authors' data:** Sven **Karlovic**, dipl.ing., Prehrambeno – biotehnološki fakultet, Zagreb, skarlovi@pbf.hr; Damir **Jezeck**, dr.sc., Prehrambeno – biotehnološki fakultet, Zagreb, djezek@pbf.hr; Branko **Tripalo**, dr.sc.; Prehrambeno – biotehnološki fakultet, Zagreb, btripalo@pbf.hr; Mladen **Brncic**, Prehrambeno – biotehnološki fakultet, Zagreb, mbrncic@pbf.hr; Tomislav **Bosiljkov**, Prehrambeno – biotehnološki fakultet, Zagreb, tbosilj@pbf.hr ; Ana **Zutic**

## 1. Uvod

Trend konzumacije osušenog voća je u porastu, te je sve veća njegova potražnja na tržištu. Konvencionalne metode sušenja svode se na sušenje vrućim zrakom ili preko dodirne površine (kondukcijom), pri čemu su se pokazale vrlo dobrim i nije ih moguće zamijeniti. Ipak, nove tehnologije poput obrade namirnica ultrazvukom visokog intenziteta mogu poboljšati proces, te utjecati na ekonomsku isplativost (skraćenje vremena sušenja, manji utrošak energije na sušenje, manje potrebe za radnom snagom, veći volumen osušenog voća u istom uređaju po jedinici vremena i dr.).[1] Da bi se razmatrao kao isplativ, takav modificirani proces sušenja mora uz ekonomsku isplativost produžiti rok trajanja voća, te ne smije utjecati na teksturna svojstva, kao ni na boju i nutritivne tvari u samom proizvodu. Pri tome sušenjem se smanjuju troškovi transporta (koji ne treba biti hlađen) i skladištenja (također hlađeno, a često i u modificiranoj atmosferi) jer zbog malog udjela vode dolazi do inhibicije rasta broja mikroorganizma, kao i enzimske aktivnosti.[2] Ultrazvuk visokog intenziteta (veći od otprilike  $1 \text{ W/cm}^2$ ) djeluje tako da se u tekućini stvaraju kavitacijski mjehurići koji implozijom ili eksplozijom u blizini površine uzorka oslobađaju vrlo visoke temperature (iznad 5000 K) i tlakove.[3] To utječe na samu strukturu jabuke, stvaraju se kanalići, a dolazi i do utjecaja na stanične stijenke. To dovodi do lakše difuzije vode i ostalih tvari u jabuci u atmosferu, odnosno medij u kojem se obrađuje. Posljedica brže difuzije je kraće vrijeme sušenja, što ima značajan ekonomski utjecaj. Kakav će utjecaj obrada ultrazvukom imati na jabuku ovisi o dužini trajanja obrade, intenzitetu, ciklusu i drugim parametrima, te je prije upotrebe u industriji nužno pronaći optimalne parametre obrade i kasnije napraviti „scale-up“. U protivnom može doći do uništenja strukture jabuke, a posljedično i teksture gotovog proizvoda koji kao takav ne može izaći na tržište. U radu je ispitivan utjecaj ultrazvuka na dužinu sušenja, te tvrdoću i elastičnost kao najvažnije parametre gotovog proizvoda. Analizirana je i raspodjela topline prilikom obrade i sušenja. Cilj rada je ispitivanje mogućnosti poboljšanja komercijalno dostupnih tehnologija sušenja, s naglaskom na skraćenje vremena sušenja kao bitan ekonomski parametar. Pri tome se ne smiju degradirati svojstva osušenog voća, posebno okus, tekstura i nutritivni sastav.

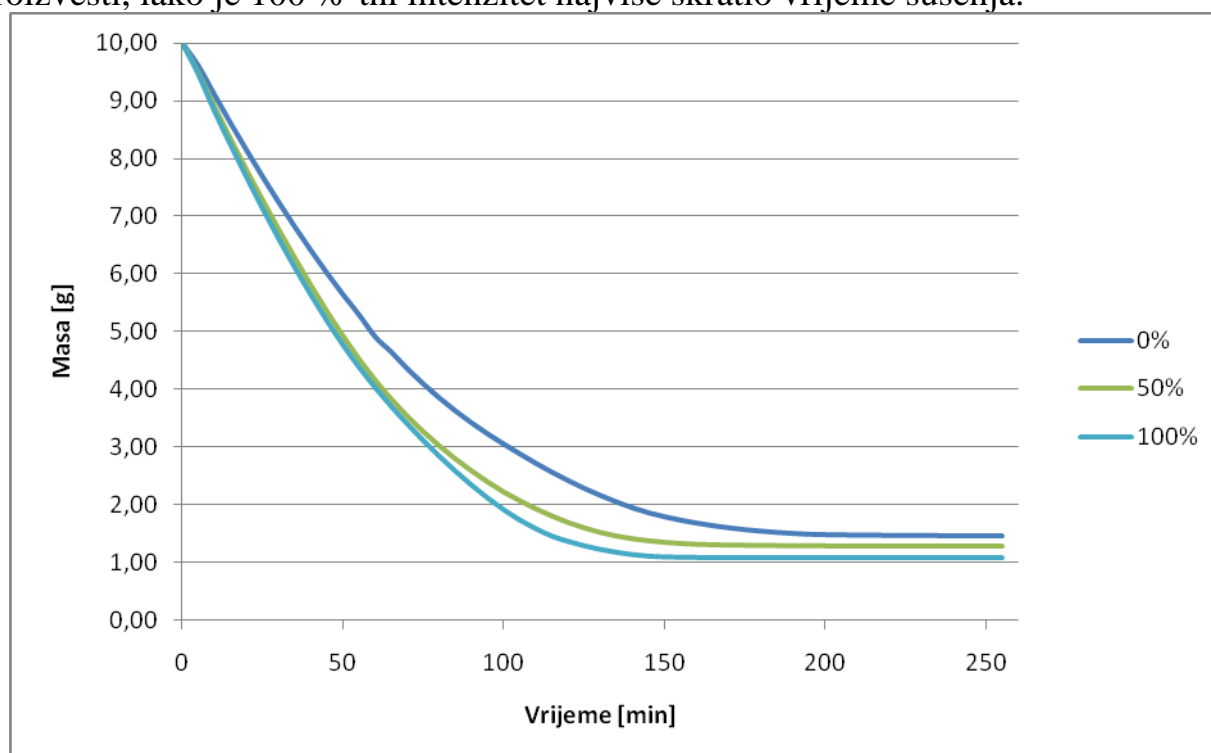
## 2. Materijali i metode

Za sirovinu koja se podvrgla tretmanu ultrazvukom i sušenju izabrana je jabuka sorte granny smith, čuvana u hladnjaku na  $4 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Iz mesa jabuke izrezani su uzorci dimenzija  $3 \times 3 \times 0,5 \text{ cm}$ . Izuzeto je po tri uzorka iz tri različite jabuke. Uzorci su uronjeni u 100 mL destilirane vode, te tretirani ultrazvukom nominalne snage 400 W i promjera sonde od 22 mm (dr. Hielscher, Njemačka). Tretman je vršen u trajanju od 5 minuta, uz puni ciklus ultrazvuka, te podešene amplitude od 0 % (bez ultrazvuka, kontrola), 50 % i 100 %. Sušenje se provodilo u infracenoj sušari/analizatoru vlage (Mettler CJ16) pri temperaturi od  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ , do uspostave ravnotežnog stanja. Tvrdoća i elastičnost analizirani su na analizatoru teksture (TA.HDPlus, Stable Micro Systems)

uz korištenje sonde promjera 6 mm, te brzinu podešenu na 0,5 mm/s i dubinu prodiranja na 10 mm (potpuno prodiranje). Ispitana je i raspodjela temperature tijekom obrade ultrazvukom i sušenja uz pomoć termokamere, kao i boja uzorka upotrebom kolorimetra (c3500d, Konica – Minolta).

### 3. Rezultati

Rezultati sušenja prikazani na slici 1. jasno pokazuju utjecaj tretmana ultrazvukom pri 50 % i 100 % intenziteta na duljinu sušenja uzoraka. Vidljivo je da je tretman sa najvećom amplitudom skratio vrijeme sušenja za 50 minuta u usporedbi sa netretiranim uzorcima, dok je 50 %-tni intenzitet skratio vrijeme sušenja za oko 40 minuta. Pri tome se u oba slučaja kod tretiranih uzoraka uklonila veća količina vode do trenutka u kojem se je uspostavilo ravnotežno stanje. Pri tome je masa uzoraka svedena na 10,1 % početne, te je u usporedbi sa netretiranim uzorcima difuzijom uklonjeno 26 % više vode. Pokazalo se da se na oba intenziteta zbog djelovanja kavitacije na površinu uzoraka, stvaraju kanalići koji olakšavaju difuziju vode iz jabuke u atmosferu. Moguće je i djelovanje kavitacije na stanične stjenke, što bi imalo značajan utjecaj na teksturu proizvoda, te je potrebno intenzitet i vrijeme obrade ultrazvukom smanjiti na minimalne vrijednosti, a da se zadrži njegov povoljan utjecaj. Usporedbom potrošnje energije kod svih ispitivanih parametara pokazalo se da je najefikasnije bilo sušenje sa 50 % maksimalnog intenziteta kojeg uređaj može proizvesti, iako je 100 %-tni intenzitet najviše skratio vrijeme sušenja.



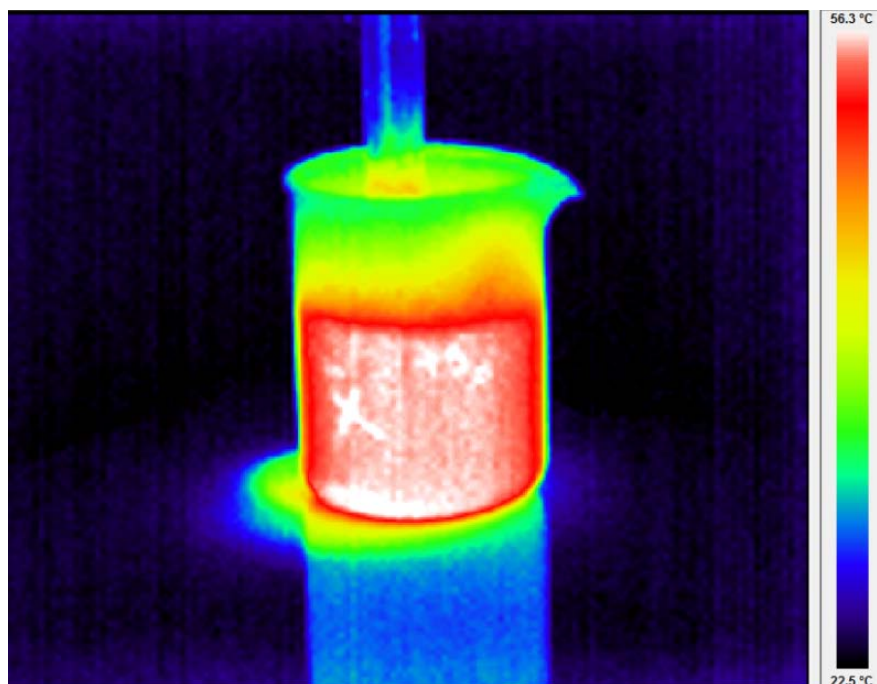
Slika 1. Prikaz ovisnosti mase uzoraka jabuke o vremenu sušenja za ispitivane parametre.

Iz prijašnjih istraživanja pokazalo se da vrijeme iznad 5 minuta tretiranja, uz iste parametre, ne dovodi do značajnijeg poboljšanja procesa sušenja, te se iz toga može

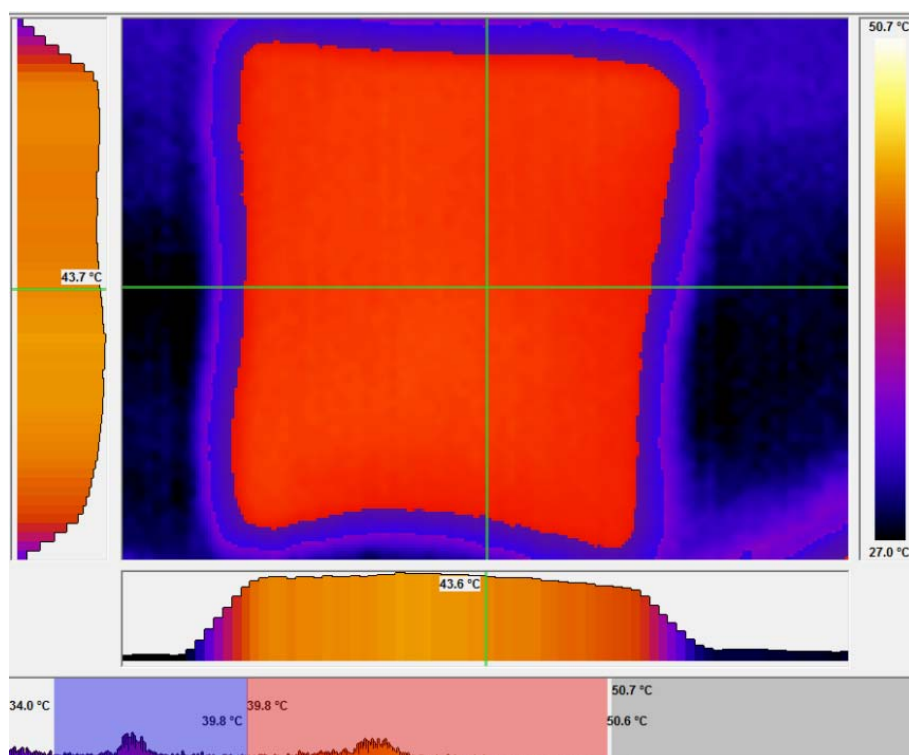
zaključiti da je sa 50 % amplitude na korištenom uređaju postignuta optimalna obrada uzoraka jabuke, koja ne utječe značajno na njenu teksturu nakon sušenja. Daljnja istraživanja mogu to područje još suziti (ispitivanje na amplitudama od 25 % do 50 %), što bi eventualno dovelo do još većih ušteda u energiji i vremenu.

Druga bitna stavka kod obrade jabuke je zadržavanje svih (ili većine) nutritivnih tvari poput vitamina i antioksidanata. Pri tome je vrlo važno koristiti što nižu temperaturu obrade. Kako je sušenje vršeno na 60 °C, nije poželjno da se tijekom obrade ultrazvukom prijede ta vrijednost. Uz puni ciklus i maksimalnu amplitudu, toplinska slika prikazana na slici 2 pokazuje da najveća očitana temperatura nakon 5 minuta sušenja iznosi 56,3 °C. Daljnje produživanje vremena obrade dovelo bi do povećanja temperature iznad dozvoljene granice, što bi imalo negativan utjecaj na sadržaj uzoraka jabuke (teksturu i nutritivni sastav). Pri tome se tretman od 5 minuta u ovom slučaju pokazao optimalnim.

Tijekom samog sušenja očigledan je gradijent temperature od središta uzorka prema rubovima. Među ostalim i zbog olakšane difuzije tekućine nakon obrade ultrazvukom, došlo je do ravnomjernog sušenja uzorka, te se uspostavilo ravnotežno stanje pri čemu je središnja površina uzorka poprimila temperaturu okoline. Utjecaj kavitacije na površinu jabuke nije bio dovoljno intenzivan i dugotrajan da bi poremetio taj proces, tako da ni s te strane nema negativnog utjecaja.



Slika 2. Raspodjela topline nakon 5 minuta obrade ultrazvukom visokog intenziteta.



Slika 3. Profil raspodjele topline tijekom sušenja jabuke.

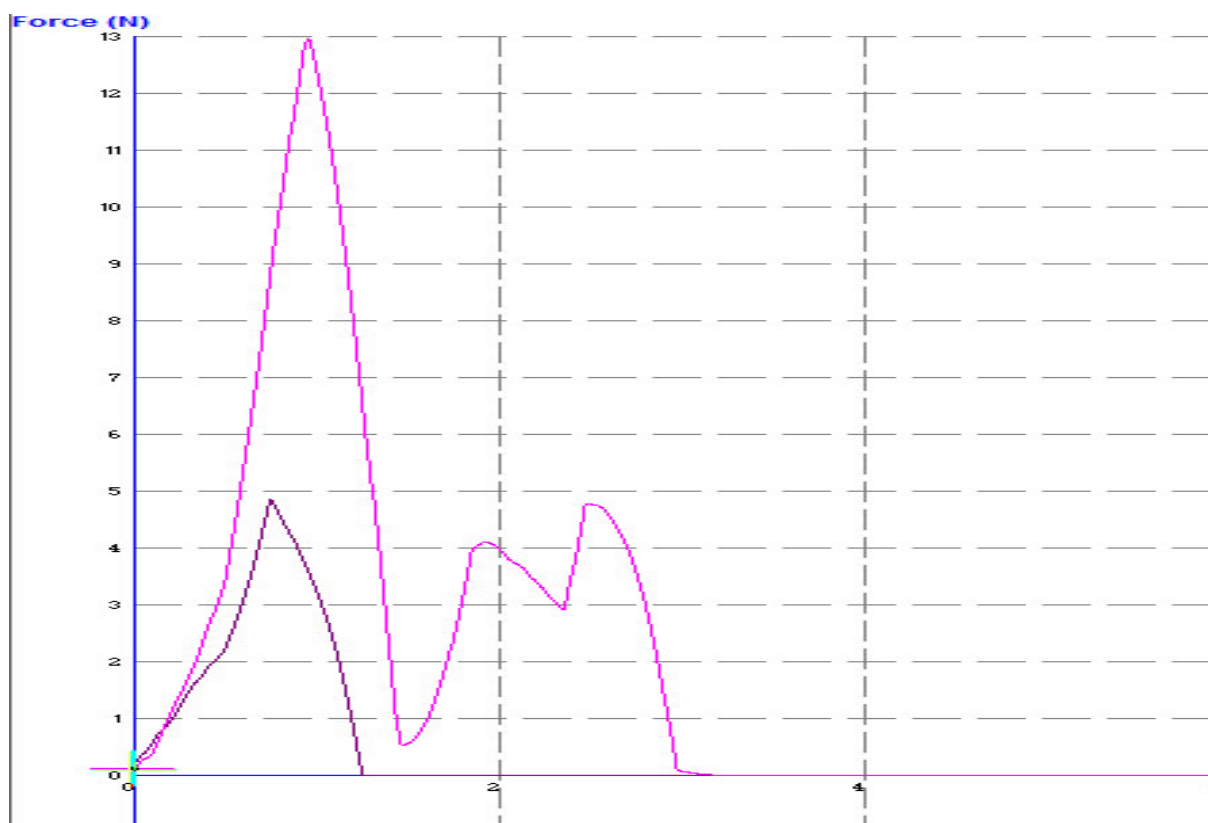
Uza sve prednosti s ekonomskog aspekta, nužno je da dobiveni gotovi proizvod bude prihvatljiv potrošačima. Tako među ostalim i njegova teksturna svojstva ne smiju odstupati od već utvrđenih granica parametara dobivenih organoleptičkom analizom. Tvrdoća uzoraka prikazana u tablici 1. opada sa porastom amplitude, pri čemu je najmanja tvrdoća od 5,0 N dobivena na uzorku tretiranom sa maksimalnim intenzitetom. I na teksturnom profilu na slici 4. vidi se da ultrazvuk utječe na svojstva proizvoda, te je potrebno pažljivo procijeniti maksimalnu amplitudu koja se smije koristiti, a da se smanji utjecaj na proizvod. I u ovom slučaju se amplituda od 50 % pokazala najboljom. Vrijednosti maksimalne sile potrebne za prodiranje u proizvod su i tu manje nego kod netretiranog uzorka, ali sve je i dalje unutar predviđenih granica. Ni pri najvećoj amplitudi ne kviri se organoleptički dojam prilikom konzumacije. Potrebno je još ispitati ponašanje teksture na nižim amplitudama (u rangu 25 % do 50 %), pri čemu je na temelju već dobivenih dobrih teksturnih karakteristika ipak važniji utjecaj na dužinu sušenja.

Amplituda [%]	Tvrdoća [N]	Elastičnost [mm]
0	12,85 ± 0,41 <sup>1</sup>	0,894 ± 0,08
50	5,73 ± 0,30	0,889 ± 0,05
100	4,98 ± 0,27	0,808 ± 0,09

<sup>1</sup> standardna devijacija na temelju pet mjerenja

Tablica 1. Teksturni parametri ispitivanih uzoraka

Ne dolazi do značajne promjene u elastičnosti ispitivanih uzoraka, iako statistički gledano sa povećanjem amplitude dolazi do pada elastičnosti. To je vrlo bitan rezultat koji usprkos smanjenju tvrdoće upućuje na to da nije došlo do značajnijih promjena unutar samih uzoraka. Kraće vrijeme tretiranja i relativno veliko prigušenje ultrazvučnog vala u uzorku omogućuju obradu jabuke sa 50 % i 100 %-tnim intenzitetom, uz zadržavanje važnih teksturnih svojstava. Ipak, i ovdje je vidljiva prednost 50 %-tnog intenziteta, dobivaju se kvalitetniji uzorci, iako svi zadovoljavaju minimalne zahtjeve.



Slika 4. Analiza teksture ispitivanih uzoraka, 0 % i 100 % amplitude.

Tretman ultrazvukom utjecao je na boju uzoraka, pogotovo na  $L^*$  (lightness, svjetlina) vrijednost. Vizualnim pregledom osušenih uzoraka vidljiva je tamnija površina uzorka. Ipak, bitno je da su uzorci po čitavoj površini jednakomjerno potamnili, te da kavitacija nije selektivno oštetila pojedine jedinice površine. Tako svi uzorci zadovoljavaju standarde za boju, te se i iz tog aspekta boljim pokazao uzorak tretiran sa 50 % amplitude. Dobivene  $\Delta E$  vrijednosti potvrđuju da je razlika između netretiranog i tretiranih uzoraka vidljiva, ali da nije vrlo značajna ( $\Delta E < 12$ ). To je posljedica uklonjene veće količine vode, što bi se izbjeglo sušenjem do željenog stupnja vlažnosti, umjesto do uspostave ravnotežnog stanja. Dobivene vrijednosti za sve ispitivane uzorke se izuzetno pozitivno uklapaju u kvalitativni Birenov dijagram koji prikazuje poželjnost neke boje osušenog uzorka kod potrošača.

Amplituda [%]	L*	a*	b*	$\Delta E$
0	$67,46 \pm 0,33^1$	$13,28 \pm 0,01$	$35,42 \pm 0,15$	-
50	$65,86 \pm 0,27$	$10,08 \pm 0,13$	$30,27 \pm 0,08$	6,27
100	$63,14 \pm 0,25$	$9,91 \pm 0,09$	$31,62 \pm 0,11$	6,66

<sup>1</sup> standardna devijacija na temelju 3 mjerenja

Tablica 3. Prikaz L\*, a\* i b\* vrijednosti za ispitivane uzorke jabuka.

#### 4. Zaključak

Najefikasnijim se pokazao tretman maksimalnom amplitudom, pri čemu je došlo do najvećeg gubitka vode i skraćivanja trajanja sušenja. Uzevši u obzir energetske potrošnje, utjecaj na teksturna svojstva i druge parametre, optimalnim se pokazao tretman sa 50 % amplitude. To je ostvareno tijekom 5 minuta obrade, uz puni ciklus, pri čemu se temperatura nije dizala iznad dozvoljene granice. Vrijeme sušenja skratilo se za oko 40 – 50 minuta, što je vrlo velik utjecaj na ekonomsku stranu čitavog procesa sušenja. Uz uštede u transportu i skladištenju, omogućuju se uštede u energiji potrošenoj za sušenje, radnim satima, a omogućuje se i sušenje većeg volumena voća u istom vremenu. Tvrdća i elastičnost jabuka predtretiranih ultrazvukom su manje nego kod netretiranih, ali unutar predviđenih granica, tako da ni tu nema prepreka za uvođenje takvog načina obrade jabuka. Također rezultati kolorimetrijskih ispitivanja pokazali su da svi uzorci zadovoljavaju, te da su unutar željenih granica, uz ujednačenu boju po čitavom uzorku. Manje razlike u boji uzoraka posljedica su primijenjene metode sušenja, što dokazuju i teksturna svojstva osušenih uzoraka. Tvrdća i elastičnost uzoraka opadaju porastom intenziteta, ali tekstura je i dalje u prihvatljivim granicama, te bi se takav proizvod mogao plasirati na tržište.

Tehnologija obrade ultrazvukom visokog intenziteta pokazala se kao vrlo perspektivnom, te ju je uz nužno dodatno optimiranje parametara i scale-up moguće ubaciti u postojeće pogone za obradu, tj. sušenje voća. Glavni dobitak takvog modificiranog procesa sušenja je ušteda u energiji potrebnoj za sušenje, vremenu i potencijalno nižim temperaturama sušenja.

#### 5. Literatura

- [1] Jimoh K.O.; Olurin T.O. & Aina J.O. (2009). Effect of drying methods on the rheological characteristics and colour of yam flours. *African Journal of Biotechnology*. 8 (10) 2325-2328.
- [2] Ježek, D.; Tripalo, B.; Brnčić, M.; Karlović, D.; Vikić-Topić, D. & Herceg, Z. (2006). Modelling of convective carrot drying, *Croatica Chemica Acta*, 79, (3), 385-391.
- [3] Brnčić, M.; Tripalo, B.; Penava, A.; Karlović, D.; Ježek, D.; Vikić-Topić, D.; Karlović, S. & Bosiljkov, T. Primjena ultrazvuka visokog intenziteta pri obradi hrane. *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam* 1-2, str.18-22, 1847-3423.



Photo 071. Zupanijska street in Pozega / Županijska ulica u Požegi