Utjecaj ultrazvuka na osmotsku dehidrataciju kore naranče

Papac, Snježana

Master's thesis / Diplomski rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:138082

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

REPOZITORIJ PTFOS PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Food Technology Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Snježana Papac

UTJECAJ ULTRAZVUKA NA OSMOTSKU DEHIDRATACIJU KORE NARANČE

DIPLOMSKI RAD

Osijek, listopad, 2015.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Prehrambeno – tehnološki fakultet Osijek

Zavod za prehrambene tehnologije

Katedra za tehnologiju voća i povrća

Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Nastavni predmet: Tehnologija konzerviranja i prerade voća i povrća

Tema rada je prihvaćena na XI. sjednici Odbora za završne i diplomske ispite Prehrambeno- tehnološkog fakulteta Osijek održanoj 30.09. 2013. godine.

Mentor: *dr.sc. Nela Nedić Tiban, izv.prof.*

UTJECAJ ULTRAZVUKA NA OSMOTSKU DEHIDRACIJU KORE NARANČE

Snježana Papac, 133/DI

Sažetak: Osmotska dehidratacija provedena je pomoću otopina saharoze (45, 55, i 65% S) bez i sa dodatkom maltodekstrina (10 i 20% MD), kao i pasteriziranim sirupom naranče (65% NS) pri atmosferskom tlaku (OD) u različitim vremenskim intervalima (2, 7 i 24 sata) sa i bez miješanja. Da bi se poboljšala učinkovitost osmotske dehidratacije i kvaliteta konačnog proizvoda istražena je primjena ultrazvuka uz ispitivanje utjecaja na promjenu boje (flaveda i albeda) i teksturu kore naranče. Također je ispitan utjecaj vakuuma na početku osmotskog procesa (pulsirajuća vakuum impregnacija, PVOD) u cilju ubrzanja kinetike procesa i skraćenja trajanja procesa. Povećanje koncentracije saharoze, kao i dodatak maltodekstrina imalo je značajan utjecaj na indeks učinkovitosti procesa osmotske dehidratacije (DEI) kore naranče. Obrada sa narančinim sirupom (65% NS) pokazala je najviše vrijednosti DEI, dok su najniže DEI vrijednosti izračunate za uzorke obrađene sa najnižom koncentracijom otopina (45% S). Pod djelovanjem ultrazvuka (UZ PVOD), obrada otopinama saharoze u kombinaciji sa maltodekstrinom pokazala je više vrijednosti parametara teksture kore naranče u usporedbi sa obradom otopinama bez dodatka maltodekstrina. Ukupna promjena boje (ΔE) kore naranče veća je u poroznom albedu, a najvišu vrijednost (37,72) imao je uzorak obrađen sa 65% NS (24 sata sa miješanjem).

Ključne riječi: Narančina kora, maltodekstrin, ultrazvuk, osmotska dehidracija.

Rad sadrži: 52 stranice
24 slike
12 tablica
63 literaturne reference

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav povjerenstva za obranu:

1.	dr.sc. *Vlasta Piližota*, red. prof.	predsjednik
2.	dr. sc. *Nela Nedić Tiban*, izv. prof.	član- mentor
3.	dr.sc. *Mirela Kopjar*, izv. prof.	član
4.	dr.sc. *Jurislav Babić*, izv. prof.	zamjena člana

Datum obrane: 6. listopad 2015.

Rad je u tiskanom i u elektroničkom (pdf format) pohranjen u Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

University Josip Juraj Strossmayer in Osijek

Faculty of Food Technology Osijek

Department of Food Technologies

Sub-department of Fruits and Vegetables Technology

Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Croatia

Scientific area: Biotechnical Sciences

Scientific field: Food Technology

Course title: Fruit and Vegetable Processing and Preservation

Thesis subject was approved by the Faculty Council of the Faculty of Food Technology at its session no. XI held on September 30, 2013.
Mentor: *Nela Nedić Tiban*, PhD, associate prof.

EFFECT OF ULTRASOUND ON OSMOTIC DEHYDRATION ORANGE PEEL
Snježana Papac, 133/ DI

Summary: Osmotic dehydration is carried out using a solution of sucrose (45, 55, and 65% S) with/without the addition of maltodextrin (10 and 20% MD), and pasteurized orange syrup (65% NS) at atmospheric pressure (OD) at different time (2, 7, and 24 hours) with and without stirring. In order to improve the efficiency of osmotic dehydration and quality of the final product, application of ultrasound was applied, with investigation of the influence on the change of color (flavedo and albedo) and the texture of orange peel. It also investigated the influence of a vacuum at the beginning of the osmotic process (pulsed vacuum impregnation, PVOD) in order to accelerate the kinetics of the process and shortening the duration of the process. Increasing concentration of sucrose, as well as the addition of maltodextrin had a significant influence on the dehydration efficiency index (DEI) of the orange peel. Treatment with orange syrup (65% NS) showed the highest values of the DEI, while the lowest DEI values were in samples treated with the lowest concentration of the solution (45% S). Ultrasound (UZ PVOD) treatment with sucrose solution in combination with maltodextrin showed higher values orange peel texture parameters in comparison with solutions without the addition of maltodextrin. The total color change (ΔE) of orange peel is higher in the porous albedo layer, and the highest value (37.72) had a sample treated with 65% NS (24 hours with stirring).

Key words: Orange peel, maltodextrin, ultrasound, osmotic dehydration.
The thesis contains:

52 pages
24 figures
12 tables
63 references

Original in: Croatian

Defense date: October 6, 2015

Defense committee:

1 .	*Vlasta Piližota*, PhD, full prof.	chairperson
2.	*Nela Nedić Tiban*, PhD, associate prof.	supervisor
3.	*Mirela Kopjar*, PhD, associate prof.	member
4.	*Jurislav Babić*, PhD, associate prof.	stand-in

The printed and electronic (pdf format) versions of the thesis are deposited in the Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

Zahvaljujem svojoj mentorici dr. sc. Neli Nedić Tiban, izv. prof. na predloženoj temi, stručnim savjetima, razumijevanju i pomoći tijekom izvršavanja eksperimentalnog dijela i pisanju diplomskog rada.

Najviše zahvaljujem svojim roditeljima koji su mi omogućili studiranje i bili potpora tijekom studiranja.

Zahvaljujem svojim kolegama i prijateljima na ugodno provedenim trenucima.

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. TEORIJSKI DIO 2
2.1. TEORIJA OSMOTSKE DEHIDRATACIJE 2
2.2. OSMOTSKI TLAK 4
2.3. MEHANIZAM PRIJENOSA MASE U PROCESU OSMOTSKE DEHIDRATACIJE 6
2.4. UTJECAJ PROCESNIH PARAMETARA NA OSMOTSKU DEHIDRATACIJU 9
2.4.1. Vrijeme trajanja procesa osmotske dehidratacije 9
2.4.2. Temperatura osmotske otopine 9
2.4.3. Koncentracija osmotske otopine 10
2.4.4. Miješanje osmotskih otopina 10
2.5. VAKUUM IMPREGNACIJA 11
2.5.1. Princip izvođenja vakuum impregnacije 12
2.5.2. Utjecaj vakuuma na narančinu koru 13
2.6. ULTRAZVUK 14
2.6.1. Ultrazvuk niskog intenziteta 15
2.6.2. Ultrazvuk visokog intenziteta 15
2.6.3. Primjena ultrazvuka kao predobrade kod sušenja (dehidratacije) 16
2.6.4. Ultrazvuk visoke snage kao predtretman sušenju 17
2.7. NARANČA 19
2.8. SAHAROZA 20
2.9. MALTODEKSTRINI 20
3. EKSPERIMENTALNI DIO 22
3.1. ZADATAK 23
3.2. MATERIJAL I METODE 23
3.2.1. Određivanje kemijskog sastava i pH vrijednosti 23
3.2.2. Priprema kore naranče i obrada otopinama 24
3.2.3. Mjerenje i praćenje promjene boje 25
3.2.4. Mjerenje parametara teksture 27
4. REZULTATI I RASPRAVA 28
5. ZAKLJUČCI 45
6. LITERATURA 46

1. UVOD

Kora citrusa čini oko 45 do 60% ploda, što je veliki ekonomski i okolišni problem. Zadnjih godina usporedo sa povećanjem proizvodnje citrusa, osobito naranči, koji se najvećim dijelom prerađuju u sokove, raste i broj proizvoda i nusproizvoda koji su sve zanimljiviji i prisutniji u ljudskoj prehrani. Daljnja prerada kore citrusa osigurava dodatni izvor prihoda za proizvođače, a prehrambenoj industriji omogućava smanjenje zagađenja. Prehrambeni proizvodi koji se dobivaju iz citrusa su: voćni sokovi, proizvodi na bazi pektinskog gela, citrus baze, sušena pulpa, sušena kora, pektin, kandirana kora citrusa, boje, arome, ulja (hladno prešana, terpeni, koncentrirana i destilirana), kao i ulje iz koštica. Sok iz kore citrusa može služiti kao izvor fermentirajućih ugljikohidrata za proizvodnju hrane za kvasce, zatim za proizvodnju industrijskog alkohola, octa, butilena i mliječne kiseline. Nusproizvodi kore citrusa koriste se i za ishranu stoke. Dokazano je da kora i sjemenke citrusa imaju značajan antioksidativni potencijal, pa se u posljednje vrijeme njihova primjena sve više povećava.

Proces osmotske dehidratacije se sastoji od potapanja biološkog materijala, sa određenim sadržajem vode, u koncentrirane vodene otopine, pri čemu dolazi do prijenosa dijela mase vode iz staničnog materijala u osmotsku otopinu. Osmotske otopine imaju visok osmotski tlak i nisku vrijednost aktiviteta vode. Najčešće korištene osmotske otopine su otopine saharoze, fruktoze, maltodekstrina, sorbitola, itd. Ovaj proces može doprinijeti modificiranju funkcionalnih karakteristika hrane, poboljšati ukupnu kvalitetu finalnih proizvoda, stvarajući atraktivne nove proizvode uz potencijalnu uštedu energije.

U radu će se provesti osmotska dehidratacija narančine kore uz ispitivanje utjecaja na boju i teksturu kore naranče, a u cilju dobivanja proizvoda poboljšanih senzorskih svojstava. Da bi se povećala učinkovitost osmotske dehidratacije i kvaliteta konačnog proizvoda istražiti će se primjena ultrazvuka. Također će se ispitati utjecaj vakuuma na početku osmotskog procesa (pulsirajuća vakuum impregnacija, PVOD) u cilju ubrzanja kinetike procesa i skraćenja trajanja procesa. Osmotska dehidratacija provesti će se pomoću otopina saharoze (45, 55, i 65%) bez i sa dodatkom maltodekstrina (10 i 20%), kao i pasteriziranim sirupom naranče. Kako bi se poboljšao prijenos mase tijekom osmotske dehidratacije istraživanja će se provesti pri atmosferskom tlaku (OD) u različitim vremenskim intervalima sa i bez miješanja (agitacije), kao i pulsirajuća vakuum osmotska dehidratacija (PVOD) sa i bez primjene ultrazvuka, uz izračun parametara osmotske dehidratacije.

2. TEORIJSKI DIO

Suvremena prehrambena industrija temelji se na stalnim nastojanjima usmjerenim na produženje trajnosti proizvoda i postizanju što veće stabilnosti hrane u prometu, uz osiguravanje zdravstvene ispravnosti hrane i očuvanju njezine kvalitete, pri čemu se u što većoj mjeri nastoje sačuvati izvorna svojstva sirovina.

Kvaliteta prehrambenog proizvoda ovisi o kvaliteti njegovih sastojaka, o načinu procesiranja (kako bi se dobio proizvod željenih svojstava), o interakcijama koje se dešavaju između pojedinih sastojaka, te o fizikalnim, kemijskim i biokemijskim reakcijama koje se odvijaju unutar kompleksnog matriksa hrane.

2.1. TEORIJA OSMOTSKE DEHIDRATACIJE

U usporedbi s drugim oblicima dehidratacije, osmotska dehidratacija je energetski nisko zahtjevan proces, jer se zasniva na uklanjanju vode iz dehidrirajućeg materijala bez fazne transformacije, te stoga i bez utroška energije za zagrijavanje sirovine i latentne topline isparavanja vode (Torreggiani, 1993.).

Zadnjih godina povećan je interes za osmotskom obradom voća i povrća, ponajviše zbog stalne potrebe za unaprjeđenjem kvalitete prehrambenih proizvoda. Bolja kvaliteta se postiže ne samo zbog uklanjanja vode bez termičkog „stresa", već i zbog impregnacije kojom je moguće pojačati prirodnu aromu i očuvati boju u proizvodima od voća kako bi se izbjegao dodatak aditiva.

Osmotska dehidratacija se pokazala vrlo dobrom za dobivanje prehrambenih proizvoda s dodanom vrijednosti. Tijekom procesa iz sirovine se uklanja voda i dolazi do porasta suhe tvari dehidratiranog proizvoda, što u konačnici vodi do poboljšanja kvalitete gotovog proizvoda (Flink, 1979. ; Fito i sur., 1998.).

Pojedine operacije tijekom dehidratacije moraju biti precizno kontrolirane i optimizirane da bi se dobio proizvod koji u što većoj mjeri ima očuvane nutritivne sastojke uz postizanje mikrobiološke stabilnosti.

Osmoza je prodiranje malih molekula, najčešće molekula vode kroz staničnu membranu, koja je polupropusna, u vanjsku sredinu gdje je udio vode manji. Postupak osmotske dehidratacije se sastoji od potapanja biološkog materijala, sa određenim sadržajem vode, u koncentrirane vodene otopine (osmotske otopine), pri čemu dolazi do prijenosa dijela mase

vode iz staničnog materijala u osmotsku otopinu. Osmotske otopine imaju visok osmotski tlak i nisku vrijednost aktiviteta vode. Najčešće korištene otopine su otopine saharoze i natrijevog klorida. Koriste se i druge otopine kao što su otopine laktoze, maltodekstrina, etanola, glukoze, glicerina i kukuruznog sirupa (Hawkes i Flink, 1978.).

Otopine šećera koriste se za osmotsku dehidrataciju voća, dok se otopine soli koriste za dehidrataciju povrća i proizvoda životinjskog podrijetla. Dugo vremena je poznat mehanizam osmoze kao prirodne pojave uklanjanja vode iz biološkog materijala (Ponting i sur., 1966.). Ovaj proces može osigurati modifikaciju funkcionalnih svojstava hrane, poboljšati ukupnu kvalitetu finalnih proizvoda, stvarajući atraktivne nove proizvode uz potencijalnu uštedu energije (Shi i Xue, 2009.).

Osmotska dehidratacija je kombinacija dehidratacijskog i impregnacijskog procesa, koji mogu minimizirati negativne promjene sastojaka svježih sirovina. Nakon potapanja svježe sirovine koja ima visok sadržaj vode u hipertoničnu osmotsku otopinu, pogonska sila za uklanjanje vode je gradijent koncentracije između otopine i unutar stanične tekućine. Ukoliko bi membrana bila savršeno polupropusna, topljiva tvar iz osmotske otopine ne bi mogla proći kroz membranu unutar stanice biološkog materijala. U praksi, međutim membrane stanica biološkog materijala nisu savršeno polupropusne, uslijed njihove kompleksne strukture i mogućih oštećenja tijekom procesa. Stoga, proces osmotske dehidratacije omogućava prijenos materijala u dva suprotna pravca između stanice i osmotske otopine i obrnuto. Neke čvrste tvari otopljene u osmotskoj otopini ulaze u stanice dehidratirane sirovine, dok plin koji ispunjava međustanični prostor također izlazi iz sirovine u osmotsku otopinu (Shi i Xue, 2009.).

Tijekom procesa osmotske dehidratacije stanične membrane djeluju kao polupropusne membrane koje omogućavaju prolaz malih molekula, kao što su molekule vode, a onemogućavaju prolaz velikih molekula kao što je šećer. Voda nastavlja prolaz kroz staničnu membranu sve do uspostavljanja dinamičke ravnoteže sa obje strane membrane. Gradijent osmotskog tlaka nastaje uslijed razlike koncentracije osmotske otopine, sa jedne strane stanične membrane i koncentracije unutar stanične tekućine. Upravljanjem glavnim promjenjivim parametrima procesa, prijenos mase može se usmjeriti u različitim smjerovima:

- osmotska dehidratacija (uklanjanje vode),
- natapanje uz impregnaciju (bubrenje) (Raoult-Wack, 1994.; Ratti, 2009.).

Korištenjem visoko koncentrirane osmotske otopine (sadržaja suhe tvari od 50 do 80% na masu otopine), voda intenzivno izlazi iz sirovine u osmotsku otopinu. Izlazak vode iz sirovine uvijek prati i transport topljivih tvari u sirovini prema osmotskoj otopini. Sa druge strane topljiva tvar, prisutna u osmotskoj otopini ulazi u tkivo dehidratirajuće sirovine. U ovom slučaju uklanjanje vode je mnogo intenzivnije od unošenja topljivih tvari u sirovinu. Tijekom procesa osmotske dehidratacije uklanjanje vode iz sirovine i u njoj topljivih tvari, i unos topljivih tvari iz osmotske otopine u sirovinu su simultani i protustrujni procesi kod kojih ne dolazi do fazne transformacije vode, ali ih prate strukturne promjene skupljanja ili širenja tkiva dehidratirajuće sirovine (Shi i Xue, 2009.).

Ukoliko se namirnica koja se obrađuje potopi u osmotsku otopinu niske koncentracije, prijenos tvari je veći u pravcu unošenja topljivih tvari u sirovinu, nego što je uklanjanje vode iz nje. U tom slučaju proces je „natapanje uz impregnaciju" (ili rehidriranje), pri čemu je gradijent koncentracije vode veći u otopini i dovodi do ulaska osmotske otopine u proizvod, a gradijent koncentracije topljivih tvari „izvlači" ih iz sirovine prema osmotskoj otopini. Stoga, neki pigmenti, aromatične tvari i nutrijenti izlaze iz proizvoda tijekom potapanja i rehidratacije (Shi i Xue, 2009.).

Postoji mnoštvo različitih mehanizama prijenosa u ukupnom prijenosu mase koji variraju u ovisnosti od karakteristika sirovine i osmotske otopine tijekom procesa osmotske dehidratacije. Primjena ovog procesa uspješno se provodi na sirovinama kao što je voće, povrće, riba i meso. U posljednjih par desetljeća značajan napredak procesa osmotske obrade postignut je i u procesnoj industriji. Istraženi su mnogi različiti aspekti osmotske obrade u cilju boljeg razumijevanja (Ratti, 2009.).

2.2. OSMOTSKI TLAK

Voda je jedan od glavnih sastojaka namirnica prirodnog podrijetla i ona utječe na njihovu mikrobiološku i kemijsku stabilnost, kao i na senzorska svojstva. Postoji generalni stav da na prethodno navedene karakteristike ne utječe količina vode, već termodinamičko stanje u kojem se ona nalazi (Potter i Hotchkiss, 1998.). Termodinamičko stanje vode je izraženo pomoću aktiviteta vode (a_w) koji iznosi 0 za suhe tvari, a 1 za čistu vodu. Sa smanjenjem a_w

vrijednosti povećava se stabilnost hrane (mikrobiološka i kemijska), a tekstura se mijenja iz sočne i elastične, u lomljivu i krhku. Termodinamičko stanje vode u otopini je karakterizirano interakcijom molekula vode sa otapalom. S obzirom da svaka molekula ima vlastitu unutrašnju energiju, i da je za svaku vrstu interakcije neophodna energija, svaka supstanca u otopini se nalazi u određenom energetskom stanju. To energetsko stanje izraženo na 1 mol supstance se naziva kemijski potencijal (Lewicki i Lenart, 2006.). Kemijski potencijal je funkcija koncentracije, temperature i tlaka. Pod izotermnim uvjetima isključivo ovisi od tlaka i koncentracije (Cazier i Gekas, 2001.).

Povećanje koncentracije otapala smanjuje kemijski potencijal vode, koji se može izraziti preko aktiviteta vode prema sljedećoj jednadžbi:

$$\mu = \mu_{ow} + RT \ln a_w \quad (1)$$

gdje je: μ_w - kemijski potencijal vode; μ_{ow} - standardni kemijski potencijal vode (pri standardnim uvjetima T= 298 K, p= 101,3 kPa iznosi -273,18 kg); R - univerzalna plinska konstanta (R= 8,314 $J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$); T- apsolutna temperatura; a_w - aktivitet vode

Interakcija dva sustava sa različitim sadržajem energije podrazumijeva razmjenu energije koja se odvija do uspostavljanja ravnoteže tj. dok se kemijski potencijali dva sustava ne izjednače. Ravnotežno stanje pod izotermnim uvjetima može biti postignuto ili promjenom koncentracije ili promjenom tlaka. Dodatni tlak neophodan za postizanje ravnotežnog stanja između čistog otapala i otopine naziva se osmotski tlak i izražen je kao:

$$\Pi = -RT/V \ln a_w \quad (2)$$

gdje je V molarni volumen otopine, a R, T i a_w imaju isto značenje kao i u prethodnoj jednadžbi. Drugim riječima, osmotski tlakovi se javljaju uvijek na mjestima gdje postoji izvjesna koncentracijska razlika, i to u uskoj vezi sa pojavom difuzije (Lewicki i Lenart, 2006.).

Osmotski tlak je mjerilo težnje nekog sustava da difuzijom uspostavi koncentracijsku ravnotežu na svim mjestima na kojima je poremećena. Osmotske sile su dakle pogonske sile difuzije. S obzirom da je voda otapalo u svim namirnicama prethodni izraz može biti pojednostavljen:

$$\Pi = -4{,}6063 \cdot 10^{-5} T \ln a_w \quad (3)$$

Osmotski tlak je jedna od koligativnih osobina otopina, tako da otopine elektrolita imaju veći osmotski tlak od otopina neelektrolita (Potter i Hotchkiss, 1998.).

Razlika osmotskih tlakova između dva sustava koja su razdvojena polupropusnom membranom je pogonska sila za prijenos mase. Ova pojava koristi se u osmotskom uklanjanju vode iz voća i povrća (Lewicki i Lenart, 2006.).

2.3. MEHANIZAM PRIJENOSA MASE U PROCESU OSMOTSKE DEHIDRATACIJE

Istraživanja mehanizama prijenosa mase u osmotskoj obradi prehrambenih proizvoda provode se radi istraživanja kinetike prijenosa mase. Na transport mase u sustavu hrana - osmotska otopina utječu brojni kompliciranі i često međusobno povezani fizikalni i kemijski procesi. Kao glavne promjenjive veličine koje utječu na svojstva prijenosa mase prepoznati su (Filipović, 2013.):

- procesni, tehnološki parametri (temperatura, vrijeme, tlak procesa, koncentracija i sastav otopine),
- karakteristike prijenosa mase (različiti fluksevi - protoci tvari kao i njihovi međusobni utjecaji).

U posljednjih petnaest godina razvijeni su različiti modeli za opisivanje procesa osmotske dehidratacije i za procjenu transporta međusobno zavisnih otopljenih tvari u poroznom materijalu (Marcotte i Le Maguer, 1991.).

Većina ovih modela se bazira na pretpostavci da je brzina prijenosa mase limitirana i da se može predvidjeti odgovarajućim matematičkim rješenjima pojednostavljenog drugog Fickovog zakona za nestacionarni difuzijski proces. Razlike u kemijskom potencijalu vode i raznih topljivih tvari u sustavu rezultiraju u protoku komponenata između proizvoda i otopine. Mehanizmi prijenosa, brzine difuzije i ravnotežni sadržaj vode za svaku od ovih komponenata su različiti, što utječe na kinetiku i krajnje ravnotežno stanje sustava. Kinetika prijenosa mase se obično opisuje preko vrijednosti gubitka vode, porasta suhe tvari i smanjenja mase obrađenog proizvoda. Gubitak vode (engl. water loss) i porast suhe tvari (egl. solid gain) mogu se mjeriti preko brzine protoka vode i suhe tvari u vremenu ili preko gubitka vode i porasta suhe tvari nakon određenog vremenskog perioda u ovisnosti od količine polaznog proizvoda (Shi i Xue, 2009. ; Mišljenović i sur., 2008.).

U svojim istraživanjima Conway i sur. (1983.) su razvijali modele osmotske dehidratacije na bazi Crank-ove jednadžbe.

Ovakav pristup je, međutim, ograničen na proces u kome se prijenos mase odvija samo difuzijom, tako da je tok materijala samo u jednom pravcu sa zanemarivim interakcijama između komponenti u materijalu i otopljenih tvari u otopini tijekom difuzije (Fito i Pastor, 1994.; Fito i sur., 1996., 1998.; Fito i Chiralt, 2000.; Filipović, 2013.; Marcotte i Le Maguer, 1991.).

Kada tkivo dođe u kontakt sa osmotskim otopinom, otopljena tvar počinje difundirati u međustanični prostor tkiva, a voda počinje difundirati u suprotnom smjeru. Sve dok je koeficijent prijenosa mase na strani osmotske otopine dovoljno velik, koncentracija ispod površine tkiva postaje skoro istovremeno jednaka koncentraciji otopine. Nakon početnog perioda brze promjene, dostiže se period sporih promjena.

Karakteristike prijenosa vode u prehrambenom materijalu koji je potopljen u osmotskoj otopini mogu se opisati različitim transportnim mehanizmima u ovisnosti od prirode materijala, vrste veza kojima je voda vezana, sadržaja vode, temperature, tlaka u kapilarnim porama i sl.

Voda se u otopinama transportira putem molekularne difuzije, koja je relativno jednostavna pojava. U kapilarno-poroznim biološkim materijalima prijenos mase se događa u plinom ispunjenim šupljinama, kapilarama, staničnim membranama i izvan staničnim i unutar staničnim prostorima. Biološki materijal sadrži mnoštvo topljivih tvari. Kada se biološki, stanični materijal potopi u visoko koncentriranu osmotsku otopinu, stanice u prvom sloju tkiva počinju gubiti vodu uslijed koncentracijskog gradijenta između stanica i hipertonične otopine, a zatim se počinju skupljati. Nakon što stanice iz prvog sloja izgube vodu, uspostavlja se razlika u kemijskom potencijalu vode između prvog i drugog sloja stanica. Kao posljedica ove razlike, drugi sloj stanica počinje „pumpati“ vodu u prvi sloj stanica nakon čega se i on skuplja. Pojava prijenosa mase i skupljanja tkiva se širi od površine prema središtu materijala u funkciji vremena. Na kraju, stanice iz središta materijala gube vodu i prijenos mase dolazi u ravnotežu nakon dovoljno dugog vremena kontakta tkiva i osmotske otopine (Yao i Le Maguer, 1996.; Fito i Chiralt, 2000.; Shi i Le Maguer, 2002.; 2003. a, b).

Parametri osmotske dehidratacije

Na osnovu sljedećih izraza mogu se izračunati parametri osmotske dehidratacije (Moreira i sur., 2003.):

Gubitak vlage (WL):

$$WL = WR+SG \quad (4)$$

Porast suhe tvari (SG):

$$SG = (u - u_0) / w_0 \quad (5)$$

Smanjenje mase (WR):

$$WR= (w_0 - w)/w_0 \quad (6)$$

Normalizirani sadržaj vode (NMC):

$$NMC= x/x_0 \quad (7)$$

Normalizirani sadržaj suhe tvari (NSC):

$$NSC= u/u_0 \quad (8)$$

Indeks učinkovitosti osmotske dehidratacije (DEI):

$$DEI= WL/SG \quad (9)$$

gdje su:
u - masa suhe tvari (g)
u_0 - početna masa suhe tvari (g)
w - masa (g)
w_0 - početna masa (g)
X - sadržaj vode
X_0 - početni sadržaj vode

2.4. UTJECAJ PROCESNIH PARAMETARA NA OSMOTSKU DEHIDRATACIJU

Brojni čimbenici utječu na prijenos mase tijekom procesa osmotske dehidratacije, a najvažniji procesni parametri koji direktno utječu na prijenos mase su: temperatura procesa, vrijeme trajanja procesa i koncentracija osmotske otopine (Tortoe, 2010). Osmotska dehidratacija ima dvije točke gledišta, to su prinos procesa i stabilnost proizvoda.

2.4.1. Vrijeme trajanja procesa osmotske dehidratacije

Određivanje uvjeta koji definiraju ravnotežno stanje između materijala i osmotske otopine pokazuje da stanje ravnoteže karakterizira jednakost aktiviteta vode i koncentracije otopljenih tvari u materijalu i otopini. Lenart i Flink (1984.) su zapazili da se ravnotežno stanje u procesu osmotske dehidratacije postiže nakon dvadeset sati procesa, a da se prijenos mase značajno ne mijenja nakon četvrtog sata procesa. U najvećem broju istraživanja procesa u kojima se nije postizalo ravnotežno stanje, vrijeme trajanja procesa osmotske dehidratacije je bilo od 3 do 5 sati. Zapaženo je da je početni period procesa najvažniji, budući da su fenomeni transporta mase tada najbrži i imaju najveći utjecaj na dalje odvijanje osmotskog procesa (Hawkes i Flink, 1978.; Conway i sur., 1983.; Biswal i sur., 1991.; Mišljenović i sur., 2008.).

2.4.2. Temperatura osmotske otopine

Temperatura je najvažniji procesni parametar koji utječe na kinetiku prijenosa mase tijekom procesa osmotske dehidratacije. Povećanje temperature osmotske otopine rezultira povećanim gubitkom vode, dok pokazuje manji utjecaj na porast suhe tvari (Beristain i sur., 1990.). Zapaženo je, također, da pri visokim temperaturama otopljena tvar ne difundira tako lako kao voda kroz tkivo, pa se stoga osmotska ravnoteža postiže istjecanjem vode iz tkiva u većoj mjeri od ulaska otopljene tvari u tkivo, što daje manji porast suhe tvari u dehidriranom proizvodu (Rahman i Lamb, 1990.).

Više procesne temperature vjerojatno uvjetuju brži gubitak vode uslijed bubrenja stanica, veće brzine difuzije vode u tkivu i boljeg prijenosa mase (vode) na površini tkiva uslijed manje viskoznosti osmotskog medija. Istovremeno difuzija otopljene tvari u proizvod također je ubrzana uslijed povišenih temperatura, ali to povećanje brzine difuzije je manje u odnosu na vodu, vjerojatno uslijed veličine molekula otopljenih tvari i koncentracije osmotske otopine (Tortoe, 2010.).

Potrebno je, ipak, odrediti optimalnu temperaturu osmotskih otopina i procesa osmotske dehidratacije, jer tkivo sirovine koja se dehidratira pri dužim izlaganjima osmotskoj otopini više temperature gubi svoju selektivnost. S druge strane, primjena nižih temperatura utječe na očuvanje boje i zadržavanje senzorskih i nutritivnih svojstava polaznog proizvoda. Granica primjene visokih temperatura ovisi od toplotne tolerancije tkiva koje se dehidratira (Lazarides, 2003.).

2.4.3. Koncentracija osmotske otopine

Povećanje koncentracije osmotske otopine rezultira povećanim gubitkom vode do ravnotežnog nivoa, kao i povećanjem brzine dehidratacije (Conway i sur., 1983.). Povećanjem koncentracije otopine dolazi do bržeg smanjenja mase. Razlog za ove posljedice pripisuju se smanjenju aktiviteta vode u otopini sa povećanjem koncentracije otopljene tvari u osmotskoj otopini (Lenart i Flink, 1984.; Lerici i sur., 1985.; Chandrasekaran i King, 1972.; Rahman i Lamb, 1990.; Biswal i sur., 1991.; Marcotte i Le Maguer, 1991.).

Pri povećanju koncentracije formira se gusti barijerni sloj otopljene tvari na površini materijala koji se dehidratira, povećava efekt dehidratacije i smanjuje gubitak nutrijenata tijekom procesa. Sličan barijerni sloj se formira i u slučaju osmotskih otopina sa otopljenim tvarima velikih molekularnih masa, čak i pri nižim koncentracijama (Saurel i sur. 1994. a, b).

2.4.4. Miješanje osmotskih otopina

Miješanje ili cirkulacija osmotske otopine oko uzorka pospješuje osmotsku dehidrataciju. Miješanje osigurava kontinuiran kontakt površine tkiva koje se dehidratira sa koncentriranom osmotskom otopinom, čime se osigurava veliki gradijent koncentracija na dodirnoj površini tkiva i otopine. Stoga, miješanje ima veliki utjecaj na gubitak mase u slučajevima kada gubitak vode karakterizira velik vanjski otpor prijenosu mase (u slučaju visoko viskoznih ili sporo pokretnih medija koji akumuliraju razrijeđenu otopinu u kontaktnoj zoni) (Hawkes i Flink, 1978.; Contreras i Smyrl, 1981.; Lenart i Flink, 1984.).

Miješanje povećava gubitak vode, posebno pri nižim temperaturama procesa (< 30 °C), kada je viskoznost otopine visoka i na početku procesa osmoze. Sa druge strane, porast suhe tvari se smanjuje s miješanjem. Za kratko vrijeme trajanja procesa miješanje nema utjecaja na porast suhe tvari. Za duže vrijeme trajanja procesa porast suhe tvari drastično opada sa miješanjem. Zaključeno je da miješanje nema direktnog utjecaja na porast suhe tvari, a da je

smanjenje porasta u dugotrajnim procesima vjerojatno posljedica povećanog gubitka vode koje snižava koncentraciju otopljene tvari u osmotskoj otopini i remeti gradijent koncentracije otopljene tvari između otopine i materijala koji se dehidratira (Raoult-Wack, 1994.; Mavroudis i sur., 1997.; Moreira i sur., 2007.).

2.5. VAKUUM IMPREGNACIJA

Vakuum impregnacija je proces čiji je osnovni cilj da se u pore prisutne u proizvodu impregnira tekućina ili otopina kojom se proizvod tretira (obrađuje). Voće i povrće su idealni proizvodi za obradu vakuum impregnacijom jer imaju uglavnom poroznu strukturu. U tekućini za impregnaciju mogu biti otopljeni konzervansi ili drugi aditivi kao i sredstva za poboljšanje okusa ili drugih senzorskih svojstava (šećer, sol, alkohol), pa čak i sama voda kada se želi postići vlaženje proizvoda radi omekšavanja strukture. Vakuum impregnacija se može primijeniti kod gotovo svih procesa u kojima voće i povrće dolazi u kontakt sa plinovitom ili tekućom fazom, kao što su sušenje, soljenje, zamrzavanje i pakiranje. Do impregnacije može doći i bez djelovanja vakuuma kada se provodi konzerviranje (npr. pasterizacijom, voće ili povrće se drži potopljeno u slanom, slatkom ili kiselom naljevu). Takva impregnacija pri atmosferskom tlaku se naziva pasivna impregnacija.

Međutim, pod utjecajem vakuuma ovaj proces je uspješniji jer tekućina brže, potpunije i ravnomjernije prodire u pore proizvoda (web 1).

Ukupan prijenos vode tijekom osmotske dehidratacije ovisi o kombinaciji difuznog i kapilarnog toka. Obrada vakuumom intenzivira kapilarni tok i povećava prijenos vode, dok nema utjecaja na transport otopljene tvari (Fito, 1994.).

Istraživanja pokazuju da vakuum primijenjen u osmotskoj dehidrataciji dovodi do promjena u „ponašanju" prijenosa mase u sustavu materijal/otopina (Perera, 1990. ; Fito, 1994.; Fito i Pastor, 1994.).

Pored vakuuma, primjena visokog hidrostatskog tlaka, centrifugalne sile, visokog električnog polja i ultrazvuka poboljšava prijenos mase tijekom osmotske dehidratacije (Rastogi i sur., 2000.).

2.5.1. Princip izvođenja vakuum impregnacije

Osnovni čimbenik za provođenje procesa vakuum impregnacije je poroznost proizvoda. Što je poroznost veća, proces je uspješniji. Sve vrste voća i povrća imaju manje ili više izraženu poroznu strukturu. Te pore su obično mikroskopski međustanični prostori ispunjeni plinom ili međustaničnom tekućinom. Ukupni volumni udio praznog međustaničnog prostora predstavlja poroznost tkiva. Kada je proizvod izložen normalnim uvjetima, tj. atmosferskom tlaku, plin smješten u međustaničnim prostorima također je pod atmosferskim tlakom. Od vanjskog tlaka ovisiti će koliki će volumen taj plin zauzeti. Kada je vanjski tlak jednak atmosferskom, volumen plina u porama je jednak volumenu pora. Ako se tlak smanji, plin prisutan u porama ima sklonost ka povećanju svoga volumena. Zato se plin širi i počinje napuštati pore, a na njegovo mjesto dolazi tekućina u koju je proizvod potopljen. Prodiranje tekućine u pore nastupa kada se zaustavi djelovanje vakuuma i proizvod ponovno izloži atmosferskom tlaku. Tada se postiže ravnoteža između vanjskog i unutarnjeg tlaka. Proces vakuum impregnacije se odvija u dvije faze, koje slijede jedna iza druge :

- izlaganje proizvoda vakuumu,
- izlaganje proizvoda atmosferskom tlaku i uspostavljanje ravnoteže.

Pod vakuumom ili podtlakom se podrazumijeva bilo koji tlak koji je manji od atmosferskog a obično se primjenjuju tlakovi manji od 600 mbara. Kada se proizvod podvrgne vakuum impregnaciji masa obrađenog proizvoda se povećava. Taj porast mase ovisi o poroznosti materijala, ali i od poroznosti tekućine kojom se proizvod obrađuje. Što je poroznost veća, biti će veći i porast mase impregniranog materijala. Gradijent tlaka je osnovna pokretačka sila za prijenos mase kod izvođenja vakuum impregnacije. Kako prisutni plin u ovisnosti od tlaka može da se širi i komprimira, osnovna pokretačka sila za izvođenje vakuum impregnacije je gradijent tlaka. Gradijent tlaka dp/dx je diferencijalno mala promjena tlaka po jedinici duljine proizvoda. Kako se tlak mijenja po jedinici duljine, stvara se pokretačka sila koja uzrokuje prijenos mase, tj. širenje plina. Plin se širi i napušta pore a nakon ponovne uspostave atmosferskog tlaka u pore ulazi tekućina. Ova pojava naziva se hidrodinamički mehanizam (HDM). Uspostavljanje atmosferskog tlaka dovodi do kompresije i proizvod ostaje ispunjen tekućom fazom. Količina vanjske tekućine kojom je moguće impregnirati proizvod ovisi od poroznosti proizvoda i razlike u tlakovima. Veća poroznost proizvoda dozvoljava prodor veće količine tekućine. Isto tako, veći vakuum, tj. veća razlika u tlakovima

u odnosu na atmosferski uvjetovati će bolju impregnaciju. Volumni udio proizvoda impregniranog tekućinom može se izračunati preko sljedeće jednadžbe:

$$f = \varepsilon_e (p_2 + p_c - p_1)/(p_2 + p_1) \quad (10)$$

gdje je ε - efektivna poroznost proizvoda, p_2 - atmosferski tlak, p_1 - primijenjeni vakuum, p_c - tlak kapilara (web 1).

2.5.2. Utjecaj vakuuma na narančinu koru

Vakuum obrada ubrzava osmotske procese zahvaljujući učinku hidrodinamičkog mehanizma sa pseudo - difuzijskim mehanizmom (PDM). Međutim, čak i za veliki broj viskoznih tekućina kao što su otopine hidrokoloida i koncentrirani sirupi vrijeme potrebno za vakuum impregnaciju je relativno kratko i traje pet do deset minuta. Vrijeme potrebno za vakuum impregnaciju ovisi od učinkovitosti uređaja (vakuum pumpa, zapremina uređaja). U najboljem slučaju dovoljno je svega nekoliko sekundi, a u većim kapacitetima nekoliko minuta da se osigura što potpunije izdvajanje plina i pora. Vakuum se može dozirati u jednoj kontinuiranoj dužoj obradi ili u nekoliko kraćih impulsa. Pulsirajuće doziranje je učinkovitija metoda. Kao tekućina za impregnaciju može se koristiti obična voda, alkohol ili različite otopine. Šećerna, slana ili kisela otopina koriste se radi smanjenja osmotskog tlaka s ciljem konzerviranja i postizanja željenog okusa. U cilju održanja teksture proizvoda koriste se otopine kalcij klorida, pektina, albumina i alginata. Prodiranje tekućine ostvaruje se na principu difuzije i osmoze. Ovaj proces podrazumijeva brzu izmjenu sastava proizvoda koji utječe na osmotske pokretačke sile i kinetiku prijenosa mase (Barat i sur., 2009.; Fito i Chiralt, 2000.).

Problematika obrade narančine kore vakuum impregnacijom se može izraziti pomoću nekoliko parametara: deformacijom volumena uzorka (ɣ) i volumnog udjela impregniranog uzorka (X) u svakom koraku procesa, na kraju vakuum obrade ($ɣ_1$ i X_1) i nakon stajanja pri atmosferskom tlaku (ɣ i X). Efektivna poroznost je određena iz vrijednosti parametara impregnacije prema modelu (p_1/p_2), omjera kompresije (r). Efektivna poroznost dobivena pomakom volumena u piknometru koristeći izotoničnu otopinu kao referentnu tekućinu iznosi (Fito i sur., 1996.):

$$\varepsilon_e = \frac{(X-\gamma)r+\gamma_1}{r-1} \quad (11)$$

Fito i sur. (1996.) navode da je efektivna poroznost za narančinu koru 23%, a deformacija 14%, što su vrijednosti u rasponu s visoko poroznim voćem kao što su jabuke (Salvatori i sur., 1998.).

Gustoća narančine kore je 774 kg/m^3, zbog visoke poroznosti albeda (Fito i sur., 1996.). Sadržaj vode u kori je u granicama do 75%, a topljiva suha tvar oko 15%. Netopljive tvari čine oko 10% (w/w) proizvoda, dok 90% (w/w) otpada na vodu i otopljene tvari (Cháfer i sur., 2001).

2.6. ULTRAZVUK

Dosadašnje spoznaje u primjeni ultrazvuka u prehrambenoj tehnologiji i biotehnologiji pokazale su u zadnjih deset godina pozitivne rezultate, posebno u raznim segmentima pripreme, kontrole i proizvodnje hrane. Obrada ultrazvukom ili sonifikacija je jedna od novih tehnologija koja postaje sve značajnija zbog povećanih zahtjeva potrošača za neinvazivnim metodama prerade hrane jer u manjoj mjeri utječu na promjenu sastojaka i na ukupnu kvalitetu hrane. Pod ultrazvukom (UZ) se podrazumijevaju valovi (frekvencija između 18 i 100 kHz) koji su slični običnim zvučnim valovima (16 kHz) samo što su njihove frekvencije više i ljudsko uho ih ne može čuti. Ultrazvuk visoke snage znači primjenu intenziteta višeg od 1 W/cm^2 (uobičajeno u rasponu od 10 do 1000 W/cm^2). Ultrazvuk visoke snage i niskih frekvencija (20 do 100 kHz) smatra se „snažnim ultrazvukom“, jer uzrokuje pojavu kavitacije te ima primjenu u prehrambenoj industriji (web 2).

U prehrambenoj industriji mogu se primjenjivati dvije vrste ultrazvučnih valova:

- ultrazvuk niskog intenziteta - frekvencija 5 -10 MHz i snage do 1 W/cm^2
- ultrazvuk visokog intenziteta - frekvencija 25 MHz i snage 100 do 1000 W/cm^2.

Za primjenu u prehrambenoj industriji najznačajnije frekvencije ultrazvuka su one više od 20 kHz (web 2).

2.6.1. Ultrazvuk niskog intenziteta

Ultrazvuk niskog intenziteta je ultrazvuk intenziteta manjeg od 1 W/cm^2 i frekvencije više od 100 kHz. Uspješno se primjenjuje za neinvazivnu detekciju (kontrolu operacije) i za karakterizaciju fizikalno - kemijskih značajki proizvoda (procjenu proizvoda i kontrolu) te stimulaciju aktivnosti živih stanica, površinsko čišćenje hrane, djelovanje na enzime, ekstrakciju potpomognutu ultrazvukom, kristalizaciju, emulgiranje, filtraciju, operacije sušenja i smrzavanja te omekšavanja mesa (Povey i Mason, 1998.).

2.6.2. Ultrazvuk visokog intenziteta

To je ultrazvuk intenziteta višeg od 1 W/cm^2 (uobičajeno u rasponu od 10 – 1000 W/cm^2) i frekvencija između 18 i 100 kHz (Povey i Mason, 1998.; Villamiel i De Jong, 2000.). Primjenjuje se kod odzračivanja tekuće hrane, za induciranje reakcija oksidacije/redukcije, za ekstrakciju enzima i proteina, za inaktivaciju enzima i za indukciju nukleacije kod kristalizacije (Roberts, 1993.; Thakur i Nelson, 1997.). Kombinacija ultrazvuka s toplinom i tlakom (manotermosonifikacija) pokazala se učinkovitom u inaktivaciji enzima otpornih na toplinu. Ultrazvuk visokog intenziteta dokazano je koristan u nastajanju kristala leda tijekom zamrzavanja vode. Pod utjecajem jakog ultrazvuka dolazi do skraćivanja vremena između inicijacije kristalizacije i potpune tvorbe leda te time smanjenja oštećenja stanice. Nadalje, druga ispitivanja (Lima i Sastry, 1990.; Sastry i sur., 1989.) pokazala su da snažni ultrazvuk pospješuje prijenos topline. Primjenjuje se kod emulgiranja, sterilizacije, ekstrakcije, odzračivanja, filtriranja, sušenja i pospješivanja oksidacije. Ultrazvuk visokog intenziteta generiran periodičnim mehaničkim gibanjima sonde, prenosi ultrazvučnu energiju u tekući medij i uzrokuje vrlo velike promjene u tlaku, koje dovode do stvaranja malih brzo rastućih mjehurića (udubljenja). Mjehurić se širi tijekom negativnog tlaka te implodira tijekom pozitivnog tlaka stvarajući visoke temperature, tlakove i sile na vrhu sonde (Suslick, 1988.).

Ultrazvuk visokog intenziteta potiče ekstrakciju proteina povećavajući topljivost, ali vodi i do smanjenja molekulske mase proteina. Wang i Wang (2004) su istraživali ultrazvuk visokog intenziteta u izolaciji škroba iz riže i dobili vrlo dobre rezultate kod kratkog vremena obrade.

Akustička kavitacija

Kavitacija uključuje stvaranje, rast i snažno rasprsnuće mjehurića ili praznina u tekućini kao rezultat fluktuacije tlaka. Općenito, kavitacija u tekućinama može uzrokovati brzo i potpuno odzračivanje; inicirati različite kemijske reakcije stvarajući slobodne kemijske radikale; ubrzati kemijske reakcije poboljšavajući miješanje reaktanata; potaknuti reakcije polimerizacije/depolimerizacije privremenim raspršivanjem agregata ili nepovratnim prekidom kemijskih veza u polimernim lancima; povećati stupanj stvaranja emulzije; poboljšati brzinu difuzije; stvarati visoko koncentrirane emulzije ili jednolične disperzije čestica; pomoći u ekstrakciji tvari kao što su enzimi iz životinjskih, biljnih ili bakterijskih stanica; ukloniti viruse iz zaraženog tkiva; te na kraju, erodirati i slomiti osjetljive čestice, uključujući mikroorganizme (Režek-Jambrak i sur., 2010.).

2.6.3. Primjena ultrazvuka kao predobrade kod sušenja (dehidratacije)

Pred-obrada u operacijama sušenja se primjenjuje kako bi se smanjila inicijalna vlažnost ili kako bi se modificirala struktura tkiva voća na taj način da se skrati vrijeme sušenja. Operacije sušenja koje imaju veliku ulogu u prehrambenoj industriji, uglavnom se temelje na primjeni toplinske energije. Takve metode mogu uzrokovati strukturne promjene u proizvodu. Posljedično tome, primjenjuju se novi tretmani kako bi se očuvala kvaliteta gotovog proizvoda. Mehanizam i princip djelovanja ultrazvuka na tkivo voća i povrća kao čvrstog materijala temelji se na sljedećem: prolaskom akustičke energije visokog intenziteta kroz čvrsti medij zvučni val uzrokuje serije brzih i sukcesivnih kompresija i opuštanja, s brzinama koje ovise o njegovoj frekvenciji. Zbog toga je materijal izložen brzim serijama promjenjivih stezanja i širenja vrlo nalik neprekidnom stiskanju i opuštanju spužve. Taj mehanizam, poznat kao „rektificirana difuzija“, vrlo je važan u akustičkom sušenju i migraciji vlage (Ensminger, 1986.).

Kod materijala veće gustoće koji su praktički nestlačivi, promjenjivi akustički tlak potiče odvlaživanje. Do toga dolazi očuvanjem postojećih kanala za uklanjanje vode ili stvaranjem novih. Gušći materijali obično „pucaju“ pod akustičkim tlakom. U smjeru u kojem se širi val tijekom svojeg opuštanja ili paralelno sa širenjem vala tijekom kompresije, stvaraju se mikroskopski kanali (Floros i Liang, 1994.).

Isti mehanizam rezultira povišenjem i smanjenjem tlaka među fazama plin/tekućina te na taj način povećava stupanj isparavanja. Iako su promjene tlaka pod djelovanjem zvučnog vala vrlo male, njegov učinak je jak zbog brze oscilacije tlaka. Jedan od principa operacije sušenja je primjena ultrazvuka visoke snage i ultrazvučnih vibracija u izravnom kontaktu s proizvodom ili se ultrazvuk visoke snage primjenjuje kao prethodna obrada klasičnom sušenju vrućim zrakom (Režek-Jambrak i sur., 2010.).

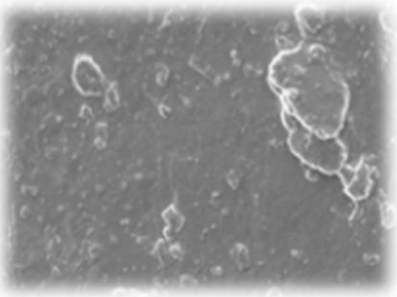
2.6.4. Ultrazvuk visoke snage kao predtretman sušenju

Primjene različitih predtretmana kao što su osmotska dehidratacija, ultrazvuk i ultrazvukom potpomognuta osmotska dehidratacija pokazale su različite utjecaje na biljne sirovine. Osmotska dehidratacija je uobičajena metoda prethodne obrade koja se primjenjuje prije operacije sušenja vrućim zrakom. Ta tehnika temelji se na uranjanju voća u hipertoničnu otopinu kako bi se odstranio dio vode iz voća. Sila koja vodi uklanjanje vode je diferencijal u osmotskom tlaku između voća i hipertonične otopine. Kompleksna stanična struktura voća djeluje kao polupropusna membrana koja stvara dodatnu prepreku difuziji vode (Torreggiani, 1993.; Raoult-Wack, 1994.; Simal i sur., 1998.).

Primjena osmotske dehidratacije mijenja teksturu voća, pogotovo zbog promjena u pektinima i oštećenja staničnog tkiva. Primjena ultrazvuka u obradi predstavlja zanimljivu metodu komplementarnu klasičnom sušenju vrućim zrakom. Prethodna obrada ultrazvukom uključuje uranjanje voća u vodu ili hipertoničnu otopinu te primjenu ultrazvuka u tom tekućem mediju. Obradom ultrazvukom neće doći do inkorporacije topljivih komponenata u voće ukoliko se destilirana voda upotrebljava kao tekući medij. Vodovodna voda je bolji medij kojim se omogućuje bolje širenje ultrazvučnih vibracija kroz medij. Otopljene soli i plinovi pridonose boljem prijenosu mase i difuziji vode. Primjena ultrazvučnog predtretmana povećava difuziju vode u voću. Režek-Jambrak i sur. (2010) navode da je difuzija vode povećana za 14,4% nakon obrade voća tijekom 20 minuta primjenjujući ultrazvuk. Ta pojava može se pripisati, kao što je već prije rečeno, stvaranju mikrokanalića tijekom primjene ultrazvuka, čime dolazi do smanjenja sloja granice za difuziju i do povećanja prijelaza mase u voću. Tretman ultrazvukom zbog pojave kavitacije i stvaranja mikrokanalića može imati i negativne učinke. Prednost primjene ultrazvuka visoke snage je u tome da se postupak može provoditi kod sobne temperature te se time smanjuju moguća oštećenja vitamina i drugih tvari, odnosno vjerojatnost degradacije komponenata hrane. Primjena ultrazvuka može biti

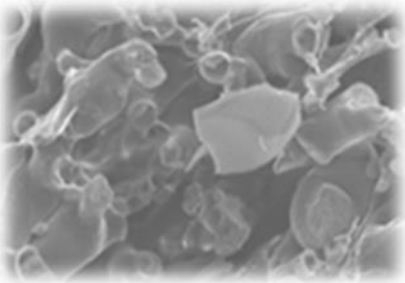
vrlo zanimljiva za prehrambenu industriju jer je oprema, kojom se može rukovati u kontinuiranoj obradi kod normalnih uvjeta, vrlo jednostavna (posuda s vibrirajućom podlogom) (Režek-Jambrak i sur., 2010.).

Narančina kora sadrži dva tipa tkiva: flavedo i albedo. Flavedo predstavlja vanjski sloj narančine kore, a albedo unutrašnji. Flavedo sadrži kompaktnu strukturu sa sferičnim stanicama bez unutar staničnih prostora. Prekriven je tankim voštanim slojem, kutikulom, koja štiti naranču od dehidracije i različitih vanjskih utjecaja tijekom zrenja i dozrijevanja (Ortuño i sur., 2010.).



Slika 1 Flavedo sloj - svježa naranča (Ortuño i sur., 2010.)

Utjecaj ultrazvuka proučavan je i na albedu. Uzorak albeda karakteriziran je dugim cjevastim stanicama i unutar staničnim prostorima. Puno intenzivniji utjecaj na strukturu albeda je uočen na uzorcima tretiranim ultrazvukom. Stanična struktura se čini skoro uništenom, i veliki zračni unutar stanični prostori stvaraju visoku poroznost materijala što olakšava prijenos vode. Alternativna ekspanzija i kompresija uzrokovana ultrazvučnim valovima u materijalu su odgovorne za degradaciju tkiva. Ovu pojavu nazivamo „efekt spužve" (Garcia-Perez i sur., 2007.).



Slika 2 Albedo sloj - svježa naranča (Ortuño i sur., 2010.)

Ultrazvučna obrada hrane još uvijek je nedovoljno istražena, posebice u Hrvatskoj, i zahtijeva opsežna buduća istraživanja kako bi se razvila tehnologija u industrijskom mjerilu te razjasnio utjecaj ultrazvuka na svojstva hrane (web 2).

2.7. NARANČA

Naranča pripada porodici *Rutaceae*, rodu *Citrus*. Citrusi, prema tome i naranče se često prerađuju u sok, koncentrate, pektin, kandiranu koru, sjemeno ulje i kašu. Kora ima svojstva prirodnog i zdravog, čemu pridonose komponente kao pektin, flavonoidi, karotenoidi. Među zdravim prednostima, efekt pektina je u kontroli glikemijskog indeksa, kolesterola, prevenciji karcinoma, kontroli ravnoteže mineralnih tvari.

Albedo je glavni izvor pektina, a sastoji se od velikih parenhimskih stanica s vrlo poroznom strukturom. Flavedo sadrži karotenoide i esencijalna ulja, od kojih najveći sadržaj pripada limonenu (Cháfer i sur., 2001.). Prevladavajući flavonoidi su hespiridin, naringin i neohespiridin.

Tablica 1 Kemijski sastav naranče (Bampidis i Robinson, 2006.)

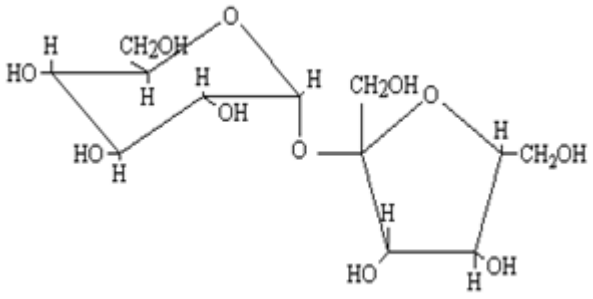
Kemijski sastav	**Narančina kora (svježa)**	**Narančina kora (silaža)**		**Pulpa naranče (svježa)**	**Osušena pulpa naranče**
n	2	1	1	7	5
DM[b] (g/kg)	233±16,6	193	154	192±3,5	902±10,1
OM (g/kg DM)	975	954	-	965±1,4	909±3,0
CP (g/kg DM)	58±7,3	81	109	64±4,6	72±2,1
Sirove masti (g/kg DM)	-	-	-	40±5,7	30±9,6
Lignini (g/kg DM)	-	-	-	13±1,1	5±2,0
pH	3,64	3,10	3,50	3,70	-
Mliječna kiselina (g/kg DM)	23,0	83,6	21,9	1,1	-
Octena kiselina (g/kg DM)	2,0	64,3	29,8	3,3	-
Propionska kiselina (g/kg DM)	0,3	3,3	2,9	1,1	-
Izomaslačna kiselina (g/kg DM)	0,6	3,6	-	-	-
Maslačna kiselina (g/kg DM)	-	1,3	0,5	0,2	-

*DM- suha tvar; OM- organska tvar; CP- sirove bjelančevine

2.8. SAHAROZA

Saharoza je disaharid široko rasprostranjen u biljnom svijetu. Nalazi se u staničnom soku mnogih biljaka, a tehnički se uglavnom proizvodi iz šećerne repe i šećerne trske. Konzumni šećer, odnosno kristalna saharoza je najvažnije sladilo u ljudskoj prehrani. Ima vrlo visoku energetsku vrijednost (1650 J/100 g), a uz masti je jedan od najjeftinijih izvora energije. Saharoza je nereducirajući šećer, sastoji se od α-D-glukoze i β-D-fruktoze (**Slika 3**) povezanih glikozidnom vezom. Kristalizira u monoklinskom sustavu i daje hemimorfne kristale. Kristal saharoze je vrlo složen i predstavlja kombinaciju šest kristalografskih oblika.

Saharoza je prije svega sredstvo za zaslađivanje, zatim i za konzerviranje brojnih prehrambenih proizvoda, a podjednako se upotrebljava u prehrambenoj industriji i kućanstvima. Dobro je topljiva u vodi, ima ugodan sladak okus, a u organizmu se potpuno i brzo resorbira.



Slika 3 Strukturni prikaz molekule saharoze

2.9. MALTODEKSTRINI

Maltodekstrini su hidrolizati škroba koji se već pedesetak godina koriste u prehrambenoj industriji u vrlo različite svrhe. Prve komercijalne maltodekstrine proizvela je 1959. godine američka firma "American Maize Products Company", vjerojatno niti ne sluteći koji će biti domet njihove uporabe. Maltodekstrini se koriste kao nosači aroma, tvari za postizanje volumena i teksture, pomoćne tvari pri sušenju raspršivanjem, za tvorbu filmova, kontrolu zamrzavanja, sprečavanje kristalizacije, a u posljednje vrijeme i kao zamjene za masti ili tvari za postizanje određene nutritivne vrijednosti.

Maltodekstrini se mogu definirati kao ugljikohidratni polimeri sastavljeni od jedinica glukoze koje su primarno povezane α-1,4 vezom, različitog dekstroznog ekvivalenta. Maltodekstrini se od sastoje linearnih i razgranatih molekula. Tako je moguće da maltodekstrini jednakog dekstroznog ekvivalenta imaju različite karakteristike, što je uvjetovano njihovom molekularnom strukturom. Maltodekstrini niskog dekstroznog ekvivalenta nisu slatki.

Maltodekstrini se primarno proizvode iz kukuruznog i krumpirovog škroba, ali mogu se proizvesti od rižinog škroba i škroba tapioke. Ovisno o početnoj sirovini, u gotovom proizvodu može biti i drugih sastojaka, tako npr. rižin maltodekstrin može sadržavati od 5-7% proteina, te su mu karakteristike nešto drugačije od kukuruznog maltodekstrina. Maltodekstrini iz krumpirova škroba osim što sadrže više amilopektina, sadrže i više fosfata. Različite vrste maltodekstrina također imaju različiti okus. Uglavnom se suše raspršivanjem i prodaju u obliku praha, iako postoje i tekući oblici. Tekući oblici su već djelomično formulirani za uporabu, i u njih se dodaju konzervansi i kiseline da bi se poboljšala stabilnost i trajnost. Postoje i maltodekstrini koji su djelomično pripremljeni za upotrebu (npr. otopine za prehranu bolesnika, ili sportski napitci) (Marchal i sur., 1999.). Praškasti maltodekstrini se dodatno obrađuju aglomeracijom. Na ugljikohidratni sastav maltodekstrina utječu razni čimbenici: hidrolitički enzimi koji se koriste u razgradnji škroba, vrsta i koncentracija škroba, temperatura na kojoj se provodi hidroliza, dodatak organskih otapala, tlak, ekstrakcija produkata, kao i kombinacija svih navedenih čimbenika.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

1. Odrediti kemijski sastav naranči
2. Istražiti utjecaj saharoze i kombinacija sa maltodekstrinom na osmotsku dehidrataciju:
    - kore naranče pri atmosferskom tlaku - OD nakon 2 sata, 7 sati i 24 sata sa i bez miješanja,
    - kore naranče obrađene pulsirajućom vakuum osmotskom dehidratacijom - PVOD,
    - kore naranče obrađene ultrazvučnom pulsirajućom vakuum osmotskom dehidratacijom - UZPVOD.
3. Ispitati utjecaj provedenih obrada na boju, odnosno promjenu boje kore naranče
4. Ispitati utjecaj provedenih obrada na teksturu, odnosno silu i čvrstoću kao parametre teksture kore naranče
5. Odrediti kemijski sastav najučinkovitijih obrada naranči

3.2. MATERIJAL I METODE

Za istraživanje su korišteni neoštećeni i zdravi plodovi naranče (*Citrus sinensis cv. Navel Late,* Španjolska) približno iste veličine, prosječne mase oko 300 g.

Za pripremu otopina korišten je komercijalni šećer, saharoza i maltodekstrin, DE 20 (Sigma-Aldrich, Njemačka).

3.2.1. Određivanje kemijskog sastava i pH vrijednosti

Metode koje su korištene za određivanje pH i kemijskog sastava kore naranče su:

- Određivanje ukupne suhe tvari (sušenjem u vakuumu),
- Određivanje topljive suhe tvari (refraktometrom),
- Određivanje netopljive suhe tvari (gravimetrijski),
- Određivanje pH vrijednosti (pH metar, Titrator TTT2, Radiometer, Copenhagen),
- Određivanje ukupnih fenola (modificirana Folin – Ciocalteu metoda),
- Određivanje ukupnih flavonoida (spektrofotometrijski),

- Određivanje šećera (ukupnih i reducirajućih) metodom po Luff – Schoorlu,
- Određivanje ukupnih kiselina (titracijski).

3.2.2. Priprema kore naranče i obrada otopinama

Naranče (*Citrus sinensis cv. Navel Late*, Španjolska) su nakon kupnje u lokalnom trgovačkom centru skladištene u hladnjači pri 4 °C, gdje su čuvane do obrade. Neposredno prije obrade su termostatirane, oprane i posušene ubrusima.

Izrezana kora (albedo i flavedo) naranče (kockice 15x15 mm, debljine 5-6 mm) podvrgnuta je osmotskoj dehidrataciji (OD) pri sobnoj temperaturi sa/bez primjene vakuuma i ultrazvuka u otopinama:

- 45% saharoza (OD; PVOD; UZ PVOD) **45% S**
- 55% saharoza (OD; PVOD; UZ PVOD) **55% S**
- 65% saharoza (OD; PVOD; UZ PVOD) **65% S**
- 45% saharoza + 10% maltodekstrin (OD; PVOD; UZ PVOD) **45%S+ 10% MD**
- 45% saharoza + 20% maltodekstrin (OD; PVOD; UZ PVOD) **45%S + 20% MD**
-65% narančin sirup **65% NS**

Prije obrade kora naranče i otopine su vagane, a omjer kockica kore naranče i osmotske otopine tijekom svake obrade bio je 1:5 (w/w). Svaka pojedina obrada je provedena dva puta, a nakon svake obrade osmotska otopina je bačena kako bi se izbjegla mogućnost promjene koncentracije otopina.

Utjecaj vakuuma na boju i teksturu ispitan je pri 50, 500 i najvišem postignutom vakuumu (733 mbar). Utjecaj ultrazvuka ispitan je pri 35 kHz u vremenu od 5, 10 i 15 minuta. Nakon preliminarnih ispitivanja su odabrani uvjeti obrade:

-osmotska dehidracija (OD) u trajanju od 2 sata, 7 sati i 24 sata sa i bez miješanja - uvjeti: 25 °C, 100 rpm (tresilica SW 22, Labor Technik, Njemačka)

-osmotska dehidratacija uz kratkotrajnu primjenu vakuuma (5 min.; 50 mbar, vacuum boca) i potom stajanje u otopini pri atmosferskom tlaku (5 min.) - PVOD - pulsirajuća vakuum osmotska dehidratacija

-osmotska dehidratacija uz predobradu ultrazvukom - uvjeti: 25 ˚C, 10 min., 35 kHz (ultrazvučna kupelj Sonorex Super RK 100H, Bandelin, Njemačka), zatim kratkotrajna primjena vakuuma (5 min., vacuum boca; 50 mbar) i potom stajanje u otopini pri

atmosferskom tlaku (5 min.) - UZ PVOD - pulsirajuća vakuum osmotska dehidratacija s ultrazvukom

Porast temperature tijekom obrade nije bila viša od 2 ˚C. Nakon obrade višak otopine sa površine kore naranči je uklonjen sa 4 sloja ubrusa tijekom 1 minute i potom je uzorak vagan.

Mjerenje topljive suhe tvari (mjerenje refraktometrom) i ukupne suhe tvari (sušenje do konstantne mase u vakuum sušioniku pri 60 ˚C) provedeno je za svaki uzorak dva puta (paralele) prije i poslije obrade, a vrijednosti su korištene za izračun kinetičkih parametara osmotske dehidratacije: indeks učinkovitosti procesa osmotske dehidratacije (DEI), normalizirani sadržaj vode (NMC) i normalizirani sadržaj suhe tvari (NSC).

3.2.3. Mjerenje i praćenje promjene boje

U ovom istraživanju je korišten kromametar Minolta CR-300 Chroma Meter (Japan) prikazan na **Slici 4**. Mjerna glava ovog kromametra koristi difuzno osvjetljenje pri 0°. Pulsirajuća ksenonova PXA lampa unutar postolja omogućuje ujednačeno difuzno osvjetljenje kroz prostor za uzorak koji je 8 mm u promjeru. Svjetlost koja se odbija okomito od površine uzorka se skuplja u šest silikonskih fotoćelija (tri fotoćelije mjere osvjetljenje iz izvora, a preostale odbijenu svjetlost.

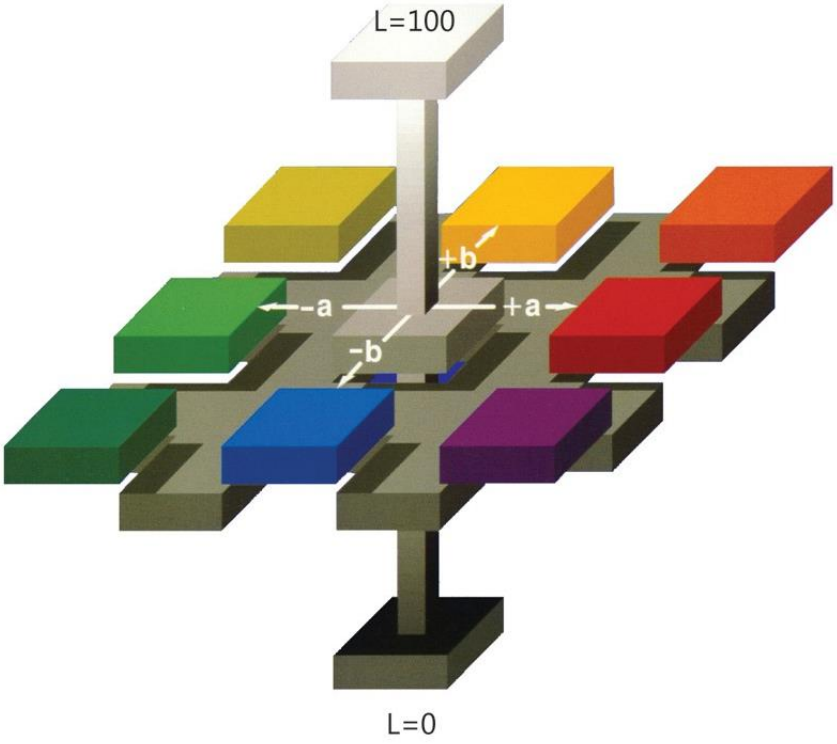
Uređaj ima mogućnost mjerenja i zapisivanja podatka u 5 različitih sustava (X,Y,Z; Yxy; Lab; Hunter Lab; LCh).



Slika 4 Kolorimetar Minolta CR-300 Chroma Meters

U ovom istraživanju korištena su dva sustava mjerenja boje (Lab i LCh°).

Lab sustav (**Slika 5**): vrijednosti „L“ parametra (engl. „*lightness*“) znače koliko je neki predmet taman ili svijetao. „L“ parametar ima vrijednosti u rasponu od 0 kada je predmet mjerenja crne, pa do 100 kada je bijele boje. Vrijednosti parametara „a“ i „b“ mogu biti pozitivne ili negativne. Vrijednost parametra „a“ određuje je li neki predmet crvene ili zelene boje. Ako je „a“ vrijednost pozitivna, predmet je crvene boje, a ako je „a“ negativna, predmet je zelene boje. Vrijednost parametra „b“ određuje je li neki predmet žute ili plave boje. Ako je „b“ pozitivan, predmet je žute boje, a ako je „b“ parametar negativan, predmet ima nijansu plave boje.



Slika 5 Prikaz načina očitavanja boje u Lab sustavu

LCh sustav: ima isti „L“ parametar „*lightness*“ kao i „L“ u Lab sustavu. „C“ parametar ili „*chroma*“ predstavlja intenzitet boje, pri čemu pozitivna vrijednost parametra „C“ označava neutralnu boju, a negativna vrijednost parametra „C“ označava potpuno zasićenu boju. „h°“ parametar označava nijansu boje „*hue*“, odnosno kut „*hue angle*“ promjene boje u odnosu na „a“ parametar, sa vrijednostima od 0 do 360°. Kada je vrijednost parametra „h°“ 0°, boja je crveno-purpurna, 90° je žuta nijansa, 180° je zelena, a 270° plava.

Na temelju izmjerenih „L“, „a“ i „b“ vrijednosti obavljen je izračun učinka pojedinih sredstava izraženih kao ukupna promjene boje (ΔE), prema izrazu (13):

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \qquad (12)$$

3.2.4. Mjerenje parametara teksture

Glavni cilj analize teksture je provedba jednog ili više mehaničkih testova kako bi se zamijenila senzorska ocjena kao sredstvo za ocjenu teksture. Za određivanje teksture

korišten je Texture analyser TA.XTplus (Stable Mycro System, Velika Britanija) pri čemu je ispitivanje provedeno pri sobnoj temperaturi pomoću cilindričnog nastavka promjera 2 mm, izrađenog od nehrđajućeg čelika. Mjerena su dva parametra: sila potrebna za prodiranje u uzorak, engl. Bioyield point, i čvrstoća, engl. Flesh firmness albeda kore naranče, izražene u gramima. Dobiveni rezultati analizirani su s Texture Expert Version 1.22 Software.

Parametri mjerenja

Test: kompresija

Brzina prije mjerenja: 1,5 mm/s

Brzina tijekom mjerenja: 1,5 mm/s

Brzina nakon mjerenja: 10 mm/s

Dubina prodiranja cilindra: 4 mm

Sila reagiranja: 25 g



Slika 6 Teksturometar TA.XT (Stable Micro System, Velika Britanija)

4. REZULTATI I RASPRAVA

Tablica 2 Kemijski sastav i pH vrijednost svježe kore naranče

Ukupna suha tvar (%)	25,44
Topljiva suha tvar (%)	12,0
Netopljiva suha tvar (%)	14,01
Ukupne kiseline (%)	0,19
pH	4,9
Šećeri - reducirajući (%)	7,29
Šećeri - ukupni (%)	9,17
Fenolne tvari (gL^{-1})	4,59
Flavonoidi (gL^{-1})	3,87

Rezultati analize kemijskog sastava prikazani u **Tablici 2** su u skladu sa literaturnim vrijednostima (Bampidis i Robinson, 2006.; Bejar i sur., 2012).

Izračun parametara osmotske dehidratacije u obrađenoj kori naranče prikazan je u **Tablicama 3 - 10**:

Tablica 3 Parametri osmotske dehidratacije (OD) kore naranče nakon obrade sa otopinama saharoze (S) s/bez dodatka maltodekstrina (MD) te narančinim sirupom (2 sata, atmosferski tlak)

Uzorak/obrada	SG	WL	DEI	NMC	NSC
45% S	1,04	0,87	0,84	0,82	2,23
45% S + 10% MD	1,05	0,96	0,92	0,81	2,27
45% S + 20% MD	1,14	1,12	0,99	0,73	2,33
55% S	1,03	0,89	0,87	0,78	2,24
65% S	1,25	1,18	0,95	0,70	2,47
65% NS	1,46	1,51	1,04	0,72	2,73

*DEI-indeks učinkovitosti procesa; NMC-normalizirani sadržaj vode; NSC-normalizirani sadržaj suhe tvari

Tablica 4 Parametri osmotske dehidratacije (OD) kore naranče nakon obrade sa otopinama saharoze (S) s/bez dodatka maltodekstrina (MD) te narančinim sirupom (2 sata uz miješanje, atmosferski tlak)

Uzorak/obrada	SG	WL	DEI	NMC	NSC
45% S	1,19	1,01	0,85	0,82	2,38
45% S + 10% MD	1,47	1,37	0,93	0,78	2,68
45% S + 20% MD	1,54	1,53	0,99	0,75	2,80
55% S	1,42	1,32	0,93	0,78	2,71
65% S	1,64	1,63	0,99	0,74	2,92
65% NS	1,63	1,69	1,03	0,71	2,93

*DEI-indeks učinkovitosti procesa; NMC-normalizirani sadržaj vode; NSC-normalizirani sadržaj suhe tvari

Tablica 5 Parametri osmotske dehidratacije (OD) kore naranče nakon obrade sa otopinama saharoze (S) s/bez dodatka maltodekstrina (MD) te narančinim sirupom (7 sati, atmosferski tlak)

Uzorak/obrada	SG	WL	DEI	NMC	NSC
45% S	1,04	0,88	0,84	0,83	2,27
45% S + 10% MD	1,21	1,15	0,95	0,78	2,43
45% S + 20% MD	1,67	1,68	1,00	0,76	3,02
55% S	0,98	0,89	0,91	0,77	2,18
65% S	1,18	1,17	0,98	0,73	2,47
65% NS	1,41	2,20	1,56	0,70	2,77

*DEI-indeks učinkovitosti procesa; NMC-normalizirani sadržaj vode; NSC-normalizirani sadržaj suhe tvari

Tablica 6 Parametri osmotske dehidratacije (OD) kore naranče nakon obrade sa otopinama saharoze (S) s/bez dodatka maltodekstrina (MD) te narančinim sirupom (7 sati uz miješanje, atmosferski tlak)

Uzorak/obrada	SG	WL	DEI	NMC	NSC
45% S	0,31	0,04	0,12	0,75	2,73
45% S + 10% MD	0,39	0,30	0,77	0,72	2,93
45% S + 20% MD	0,63	0,69	1,09	0,63	3,52
55% S	0,53	0,37	0,69	0,66	3,22
65% S	0,62	0,60	0,97	0,60	3,47
65% NS	0,89	0,89	1,00	0,55	4,17

*DEI-indeks učinkovitosti procesa; NMC-normalizirani sadržaj vode; NSC-normalizirani sadržaj suhe tvari

Tablica 7 Parametri osmotske dehidratacije (OD) kore naranče nakon obrade sa otopinama saharoze (S) s/bez dodatka maltodekstrina (MD) te narančinim sirupom (24 sata, atmosferski tlak)

Uzorak/obrada	SG	WL	DEI	NMC	NSC
45% S	2,13	1,70	0,80	0,77	3,50
45% S + 10% MD	2,40	2,18	0,91	0,72	3,82
45% S + 20% MD	2,49	2,46	0,99	0,66	3,93
55% S	2,36	2,11	0,89	0,70	3,73
65% S	2,43	2,38	0,98	0,63	3,82
65% NS	2,86	2,87	1,00	0,61	4,30

*DEI-indeks učinkovitosti procesa; NMC-normalizirani sadržaj vode; NSC-normalizirani sadržaj suhe tvari

Tablica 8 Parametri osmotske dehidratacije (OD) kore naranče nakon obrade sa otopinama saharoze (S) s/bez dodatka maltodekstrina (MD) te narančinim sirupom (24 sata uz miješanje, atmosferski tlak)

Uzorak/obrada	SG	WL	DEI	NMC	NSC
45% S	2,18	1,72	0,79	0,67	3,57
45% S + 10% MD	2,77	2,50	0,90	0,61	4,28
45% S + 20% MD	3,14	3,10	0,99	0,53	4,62
55% S	2,77	2,48	0,90	0,62	4,23
65% S	2,96	2,90	0,98	0,53	4,33
65% NS	3,42	3,42	1,00	0,45	5,01

*DEI-indeks učinkovitosti procesa; NMC-normalizirani sadržaj vode; NSC-normalizirani sadržaj suhe tvari

Tablica 9 Parametri osmotske dehidratacije kore naranče nakon obrade sa otopinama saharoze (S) s/bez dodatka maltodekstrina (MD) te narančinim sirupom (NS) (pulsirajuća vakuum osmotska dehidratacija-PVOD: 5 min. vakuum, 5 min. atmosferski tlak)

Uzorak/obrada	SG	WL	DEI	NMC	NSC
45% S	0,81	0,55	0,68	0,84	1,95
45% S + 10% MD	1,46	1,02	0,69	0,77	2,77
45% S + 20% MD	1,55	1,12	0,72	0,74	2,86
55% S	1,50	1,00	0,66	0,76	2,76
65% S	1,61	1,19	0,74	0,74	2,88
65% NS	1,50	1,12	0,75	0,71	2,83

*DEI-indeks učinkovitosti procesa; NMC-normalizirani sadržaj vode; NSC-normalizirani sadržaj suhe tvari

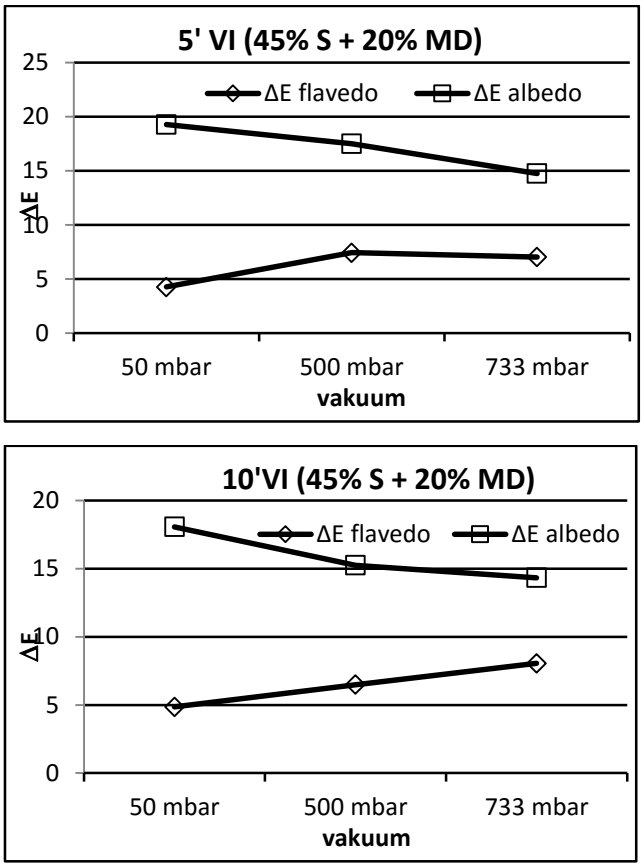
Tablica 10 Parametri osmotske dehidratacije kore naranče nakon obrade sa otopinama saharoze (S) s/bez dodatka maltodekstrina (MD) te narančinim sirupom (NS) (pulsirajuća vakuum osmotska dehidratacija sa ultrazvukom-UZ PVOD: 10 min. UZ, 5 min. vakuum, 5 min. atmosferski tlak)

Uzorak/obrada	SG	WL	DEI	NMC	NSC
45% S	1,04	0,57	0,55	0,83	2,27
45% S + 10% MD	1,58	1,03	0,65	0,76	2,87
45% S + 20% MD	1,80	1,25	0,69	0,72	3,12
55% S	1,50	0,95	0,63	0,76	2,80
65% S	1,66	1,10	0,66	0,70	3,04
65% NS	1,74	1,34	0,77	0,68	3,15

*DEI-indeks učinkovitosti procesa; NMC-normalizirani sadržaj vode; NSC-normalizirani sadržaj suhe tvari

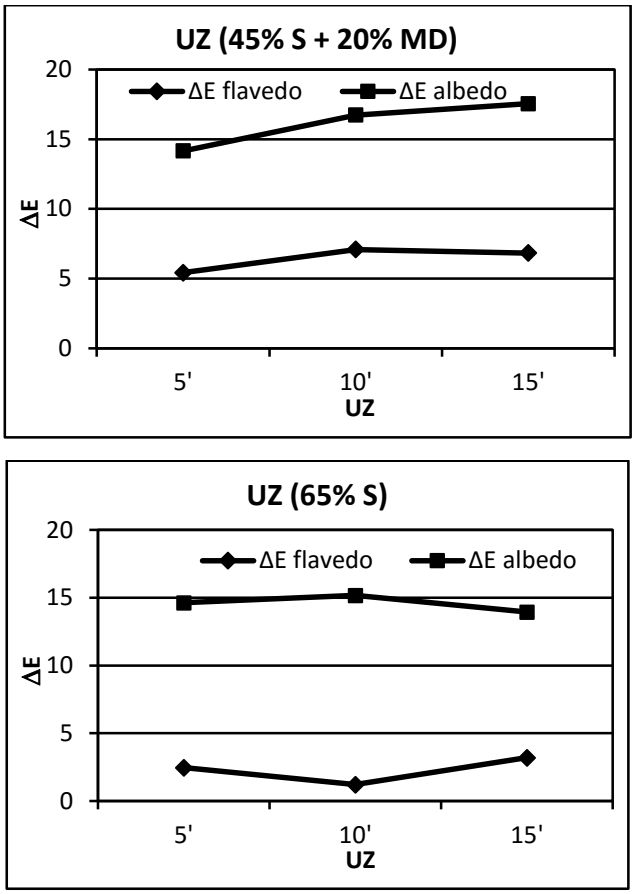
Povećanjem koncentracija otopina kod svih je obrada došlo do većeg porasta mase (SG) kao i većeg gubitka vode (WL). Višu vrijednost indeksa učinkovitosti procesa (DEI) imali su uzorci obrađeni sa otopinama saharoze (45% i 55%) sa dodatkom maltodekstrina (MD) od uzoraka obrađenih sa otopinama saharoze istih koncentracija. Obrada sa narančinim sirupom (65% NS) pokazala je najviše vrijednosti DEI, dok su najniže DEI vrijednosti zabilježene kod uzoraka obrađenih sa najnižom koncentracijom otopina (45% S). Vrijednosti NMC (normalizirani sadržaj vode) su se neznatno snižavale porastom koncentracija otopina kod svih obrada, ali nije bilo značajnijih razlika između samih obrada. Nasuprot tome, porastom koncentracija otopina rasle su vrijednosti NSC (normalizirani sadržaj suhe tvari), pri čemu su kod obrade PVOD zabilježene niže vrijednosti u odnosu na ostale obrade. Lazarides i sur. (1995.) u svojim istraživanjima dokazuju da koncentracija otopine, temperatura tijekom dehidratacije i trajanje procesa osmotske dehidratacije imaju značajan utjecaj na porast suhe tvari osmotski dehidratiranih kriški jabuka. Rahman i Lamb (1990.) ističu da gubitak vode i porast suhe tvari tijekom osmotske dehidratacije ananasa linearno rastu s porastom koncentracije šećera i temperature. Ukupan prijenos vode tijekom osmotske dehidratacije ovisi o kombinaciji difuznog i kapilarnog toka. Rezultati nekoliko studija (Cháfer i sur. 2001; Shi i Xue, 2009;

Filipović, 2013.) pokazali su da obrada vakuumom intenzivira kapilarni tok i povećava prijenos vode, što je u skladu sa rezultatima ovog istraživanja.



Slika 7 Utjecaj vakuuma (u trajanju od 5 i 10 minuta) na ukupnu promjenu boje (∆E) kore naranče

Utjecaj vakuuma na ukupnu promjenu boje ispitan je kod obrade 45% S + 20% MD, a prikazan je na **Slici 7**. Kod flaveda, najmanju ∆E vrijednost imala je obrada kod najmanjeg vakuuma (50 mbar), dok je kod albeda najveća ∆E vrijednost zabilježena kod najmanjeg vakuuma (50 mbar). Budući da je veći vakuum, čak i u trajanju od 5 min. negativno djelovao na teksturu (poroznost albeda), za dalje istraživanje je odabran vakuum od 50 mbar.



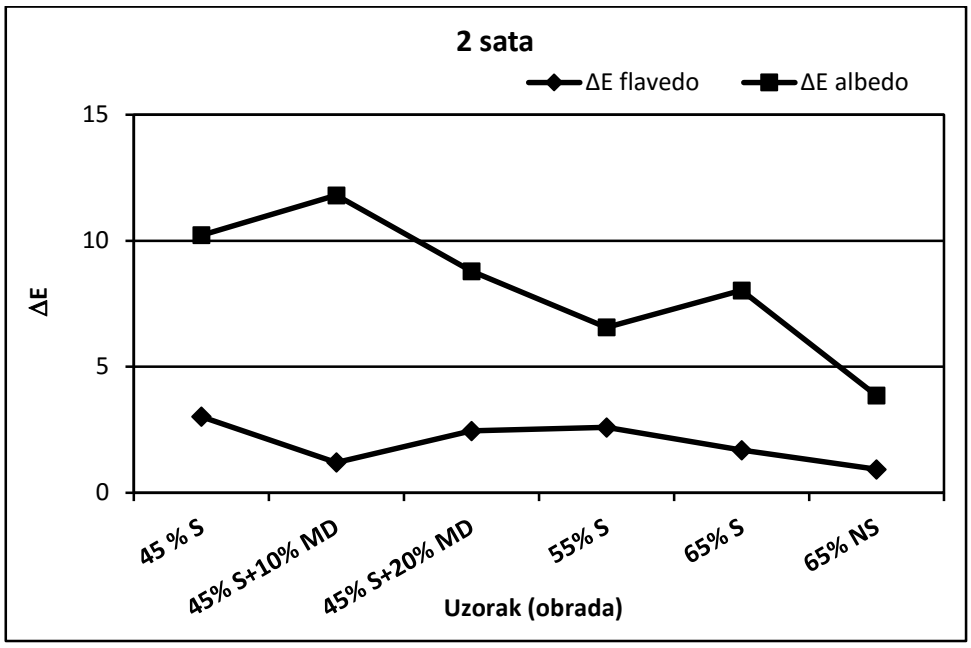
Slika 8 Utjecaj ultrazvuka (u trajanju od 5, 10 i 15 minuta) na ukupnu promjenu boje (ΔE) kore naranče kod različitih obrada

Utjecaj ultrazvuka na ukupnu promjenu boje ispitan je kod obrada otopinama 45% S + 20% MD i 65% S, a prikazan je na **Slici 8** i u **Tablici 11**. S obzirom na promjenu boje, nisu zabilježene značajnije razlike u odnosu na vremenske intervale (5, 10 i 15 min.).

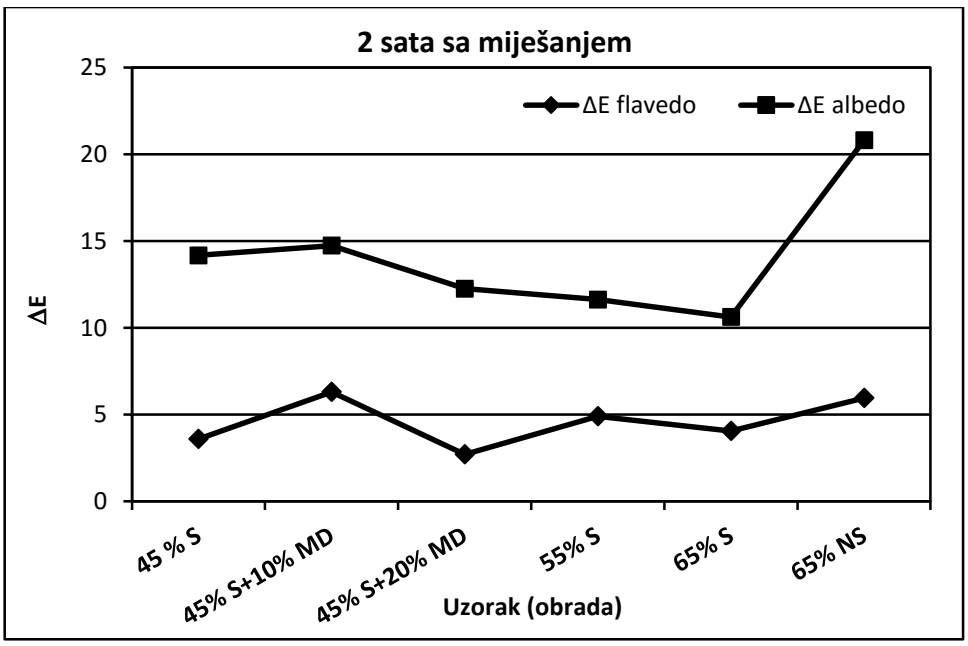
Tablica 11 Utjecaj ultrazvuka (u trajanju od 5, 10 i 15 minuta) na suhu tvar kore naranče kod različitih obrada

UZ obrada (min.)	**Ukupna suha tvar (%)**	**Topljiva suha tvar (%)**	**Ukupna suha tvar (%)**	**Topljiva suha tvar (%)**
	45% S + 20% MD		65% S	
5	42,25	27,8	43,66	30,0
10	44,10	27,8	44,77	30,4
15	44,30	27,8	44,96	30,4

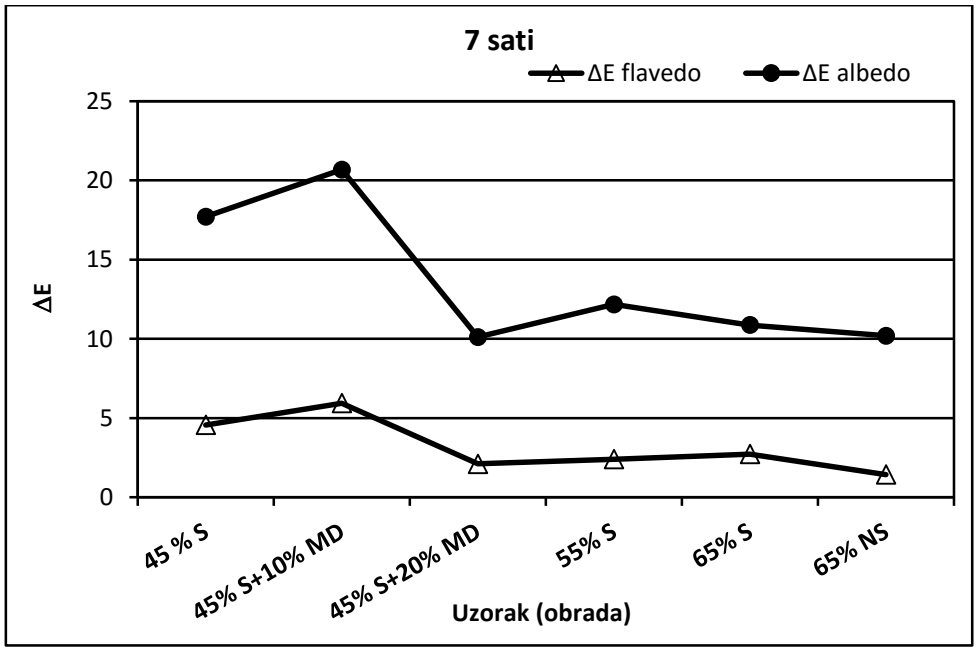
Obrada ultrazvukom u trajanju od 10 min. pokazala je veći utjecaj na povećanje ukupne suhe tvari u odnosu na 5-min. obradu, dok između 10 i 15 min. obrade nisu zabilježene značajnije razlike. Stoga je odabrana obrada ultrazvukom u trajanju od 10 min.



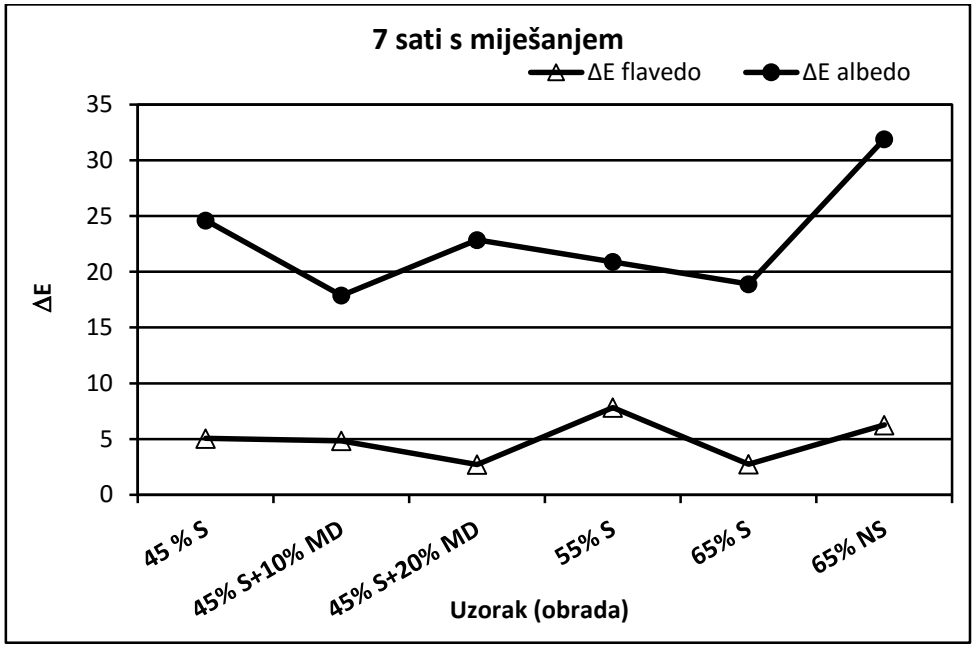
Slika 9 Utjecaj obrade u trajanju od 2 sata na ukupnu promjenu boje (ΔE) kore naranče



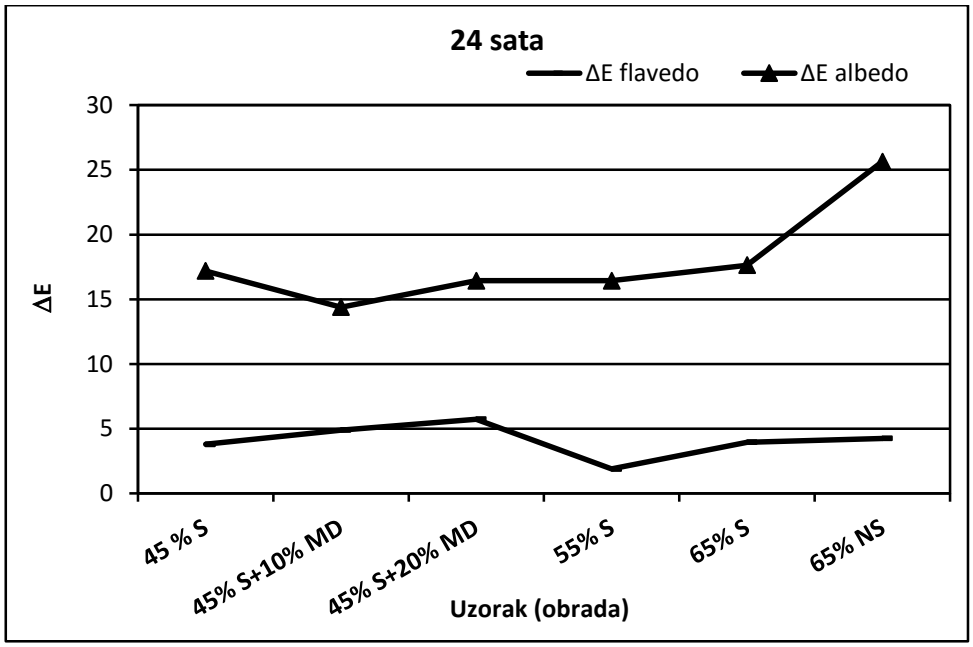
Slika 10 Utjecaj obrade u trajanju od 2 sata sa miješanjem na ukupnu promjenu boje (ΔE) kore naranče



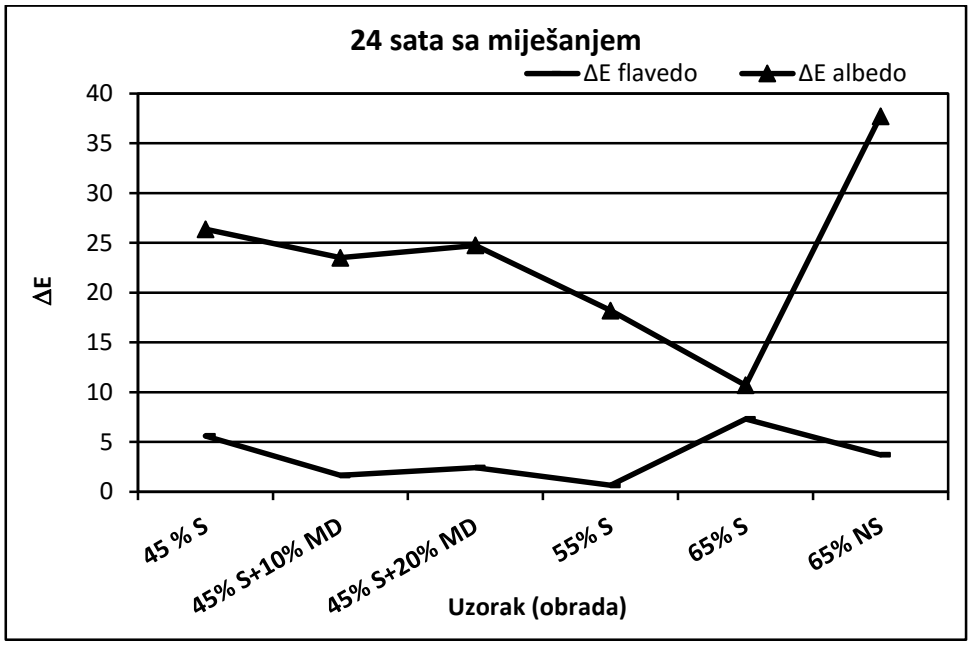
Slika 11 Utjecaj obrade u trajanju od 7 sati na ukupnu promjenu boje (ΔE) kore naranče



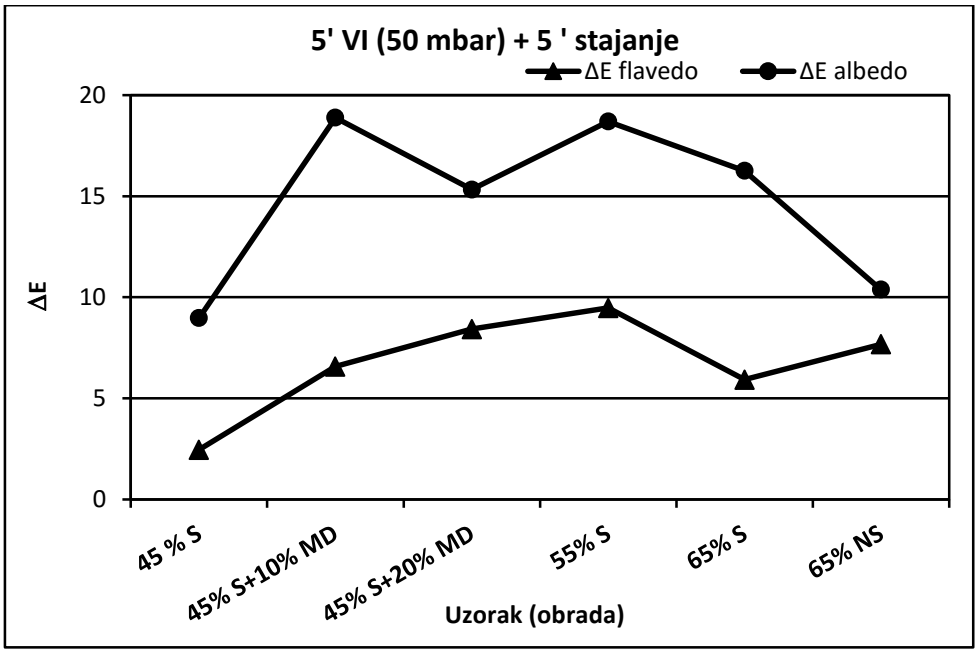
Slika 12 Utjecaj obrade u trajanju od 7 sati sa miješanjem na ukupnu promjenu boje (ΔE) kore naranče



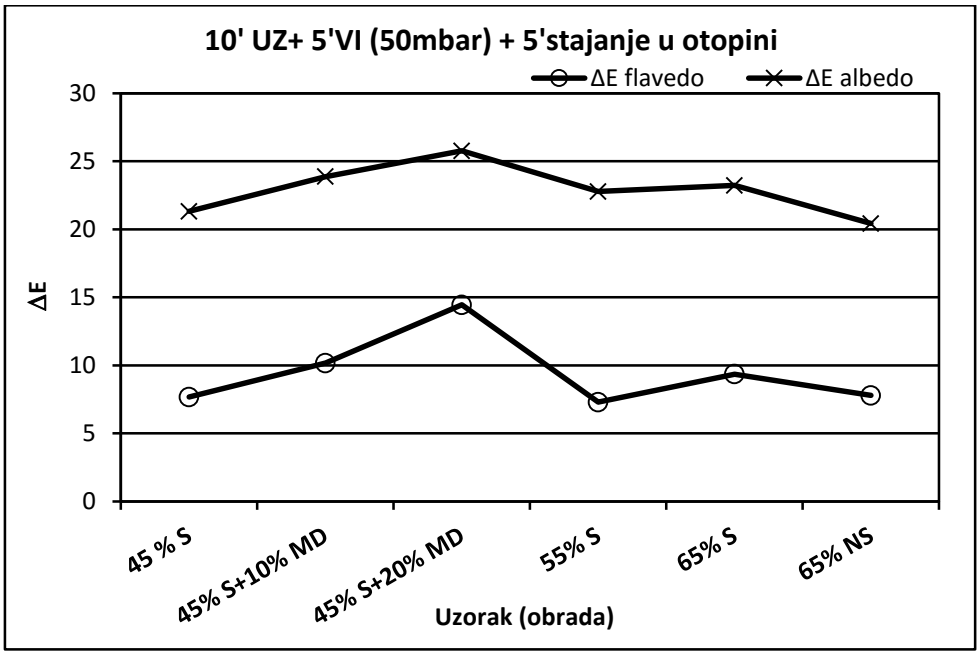
Slika 13 Utjecaj obrade u trajanju od 24 sata na ukupnu promjenu boje (ΔE) kore naranče



Slika 14 Utjecaj obrade u trajanju od 24 sata sa miješanjem na ukupnu promjenu boje (ΔE) kore naranče



Slika 15 Utjecaj obrade (PVOD: 5 min. vakuum, 5 min. atmosferski tlak) na ukupnu promjenu boje (ΔE) kore naranče



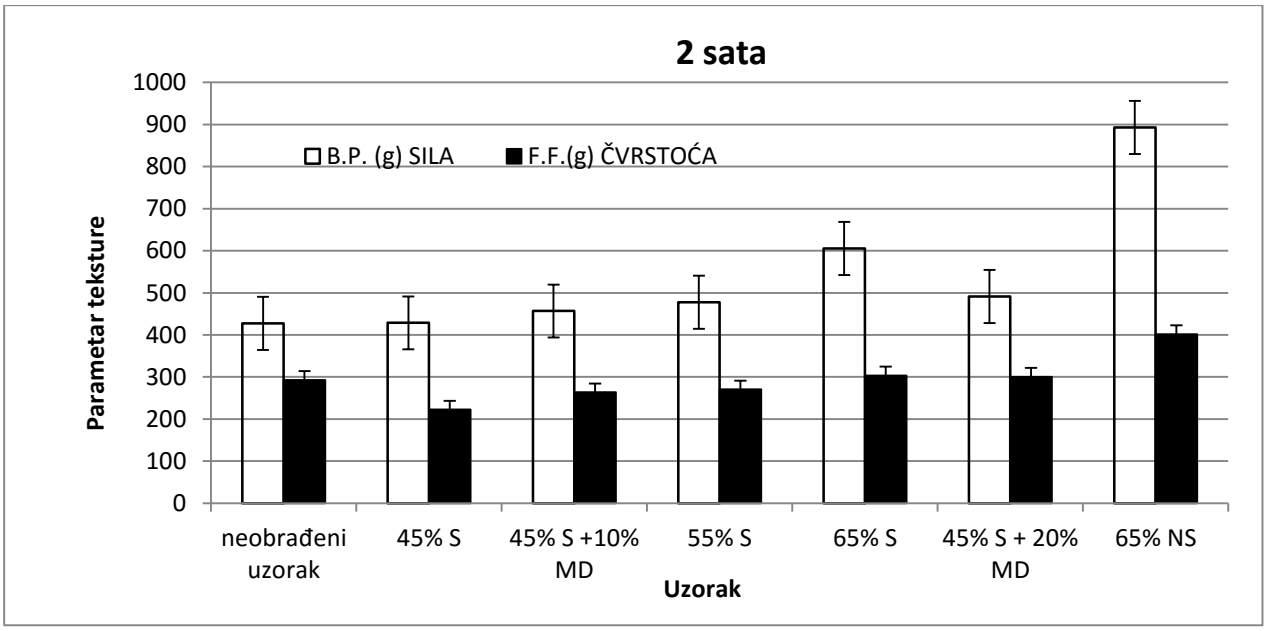
Slika 16 Utjecaj obrade (UZ PVOD: 10 min. UZ, 5 min. vakuum, 5 min. atmosferski tlak) na ukupnu promjenu boje (ΔE) kore naranče

Na **Slikama 9 do 14** prikazani su izračuni ukupne promjene boje (ΔE) kore naranče obrađeni osmotskom dehidratacijom (OD) pri atmosferskom tlaku i sobnoj temperaturi u različitom trajanju (2, 7 i 24 sata, sa i bez miješanja). Kod svih obrada vidljivo je da je ukupna promjena boje (ΔE) kore naranče puno veća u više poroznom albedu za razliku od flaveda, jer je unutar

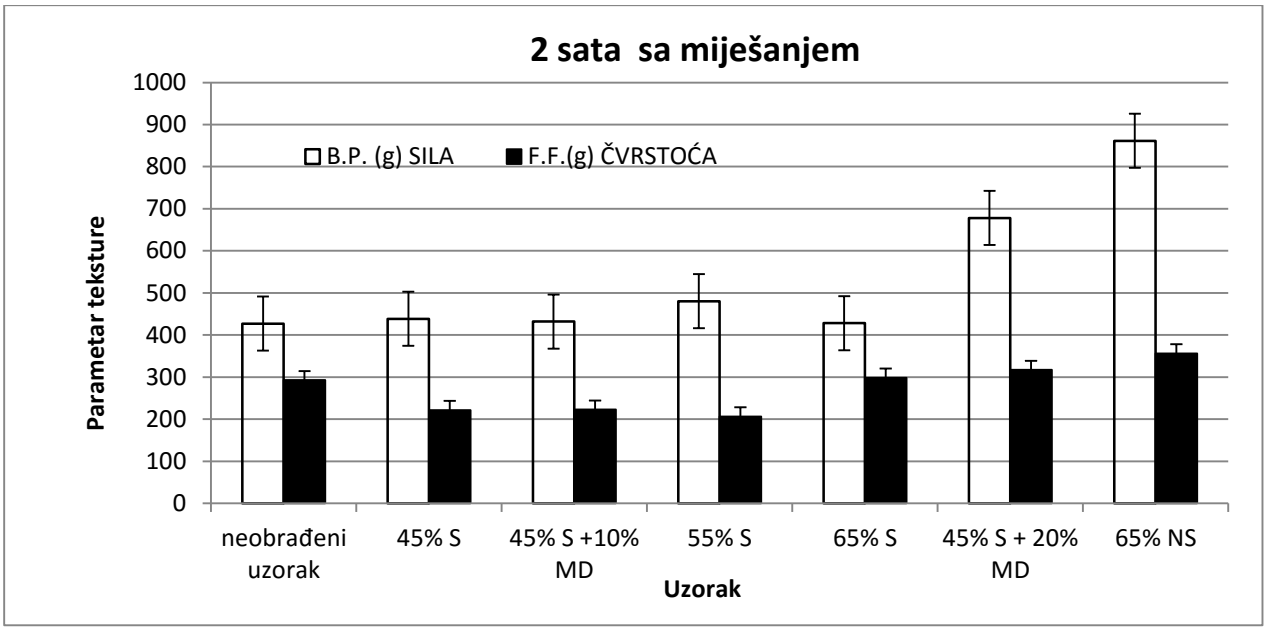
tkiva izraženija izmjena plin-tekućina (otopina). Analizirajući albedo, može se primijetiti značajan porast ΔE vrijednosti u uzorku obrađenom narančinim sirupom (65% NS), s izuzetkom kod obrade 2 sata bez miješanja, gdje je ukupna promjena boje bila najniža (3,85). Razlog visokim ΔE vrijednostima (kod obrade u trajanju od 24 sata sa miješanjem iznosila je čak 37,72) je zbog toga što je koncentrat (narančaste boje) kojom je tretiran uzorak tijekom dugotrajne obrade uvelike utjecao na povišenje vrijednost a* i b* parametra u poroznom albedu (sa 33,37 u neobrađenom uzorku b* vrijednost se povisila nakon obrade na 69,54).

Na **Slikama 15** i **16** prikazani su rezultati obrade kore naranče osmotskom dehidratacijom bez primjene ultrazvuka (PVOD: 5 min. vakuum, 5 min. atmosferski tlak) i sa primjenom ultrazvuka (UZPVOD: 10 min. UZ, 5 min. vakuum, 5 min. atmosferski tlak). Vakuum i ultrazvuk su imali za posljedicu veće ΔE vrijednosti za flavedo, dok promjene boje albeda nisu bile izražene kao kod spomenutih obrada uzoraka sa narančinim sirupom pri atmosferskom tlaku.

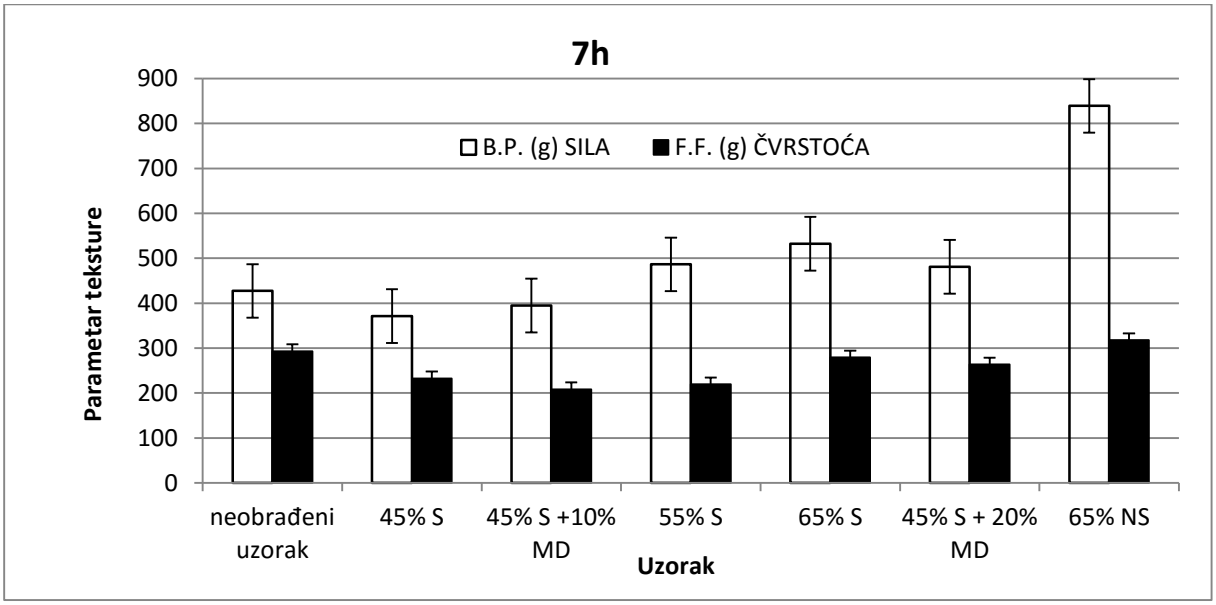
Rezultati mjerenja parametara teksture prikazani su na **Slikama 17-24,** a obuhvaćaju mjerenje sile potrebne za prodiranje u uzorak, engl. Bioyield point, i čvrstoće, engl. Flesh firmness, albeda kore naranče pomoću analizatora teksture.



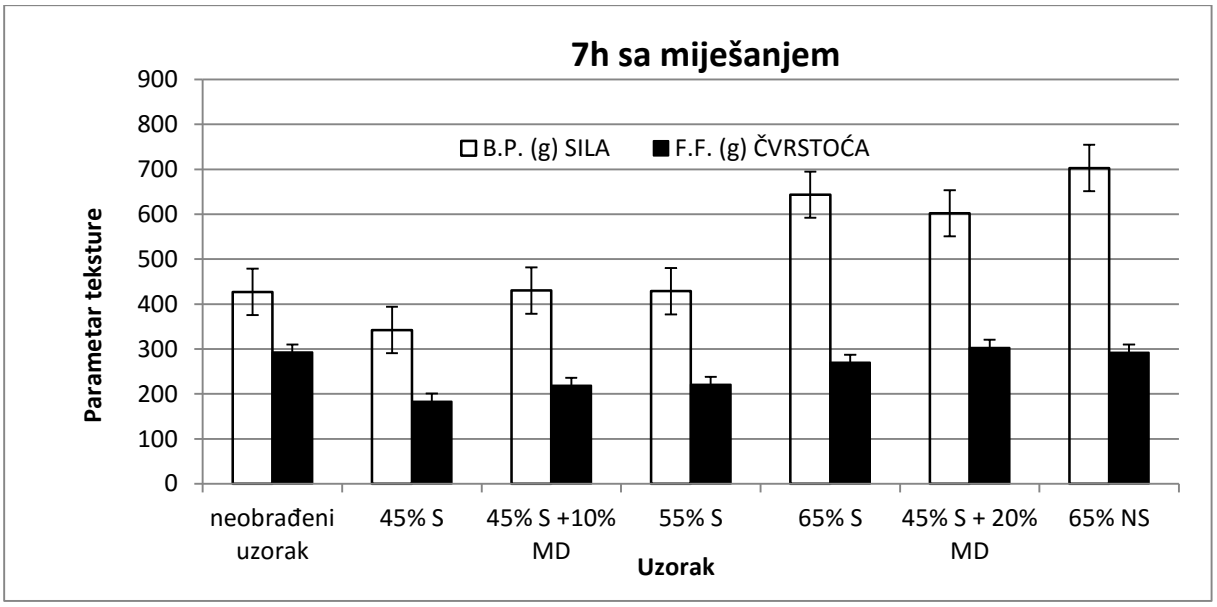
Slika 17 Parametri teksture kore naranče nakon obrade sa otopinama saharoze (S) s/bez dodatka maltodekstrina (MD) te narančinim (NS) sirupom (2 sata)



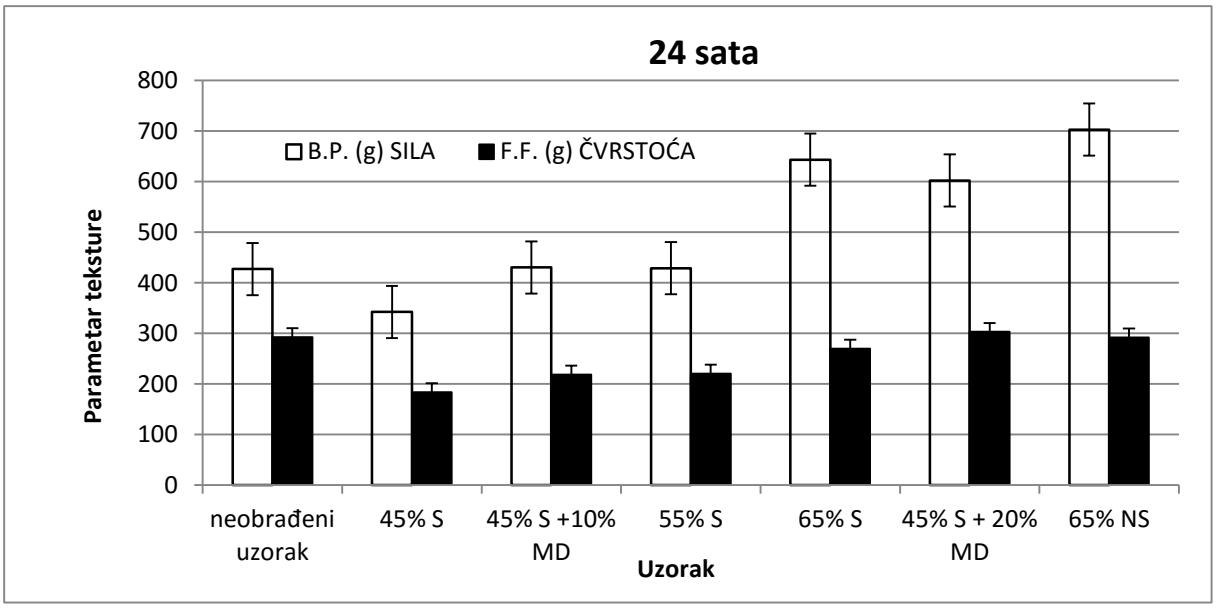
Slika 18 Parametri teksture kore naranče nakon obrade sa otopinama saharoze (S) s/bez dodatka maltodekstrina (MD) te narančinim (NS) sirupom (2 sata sa miješanjem)



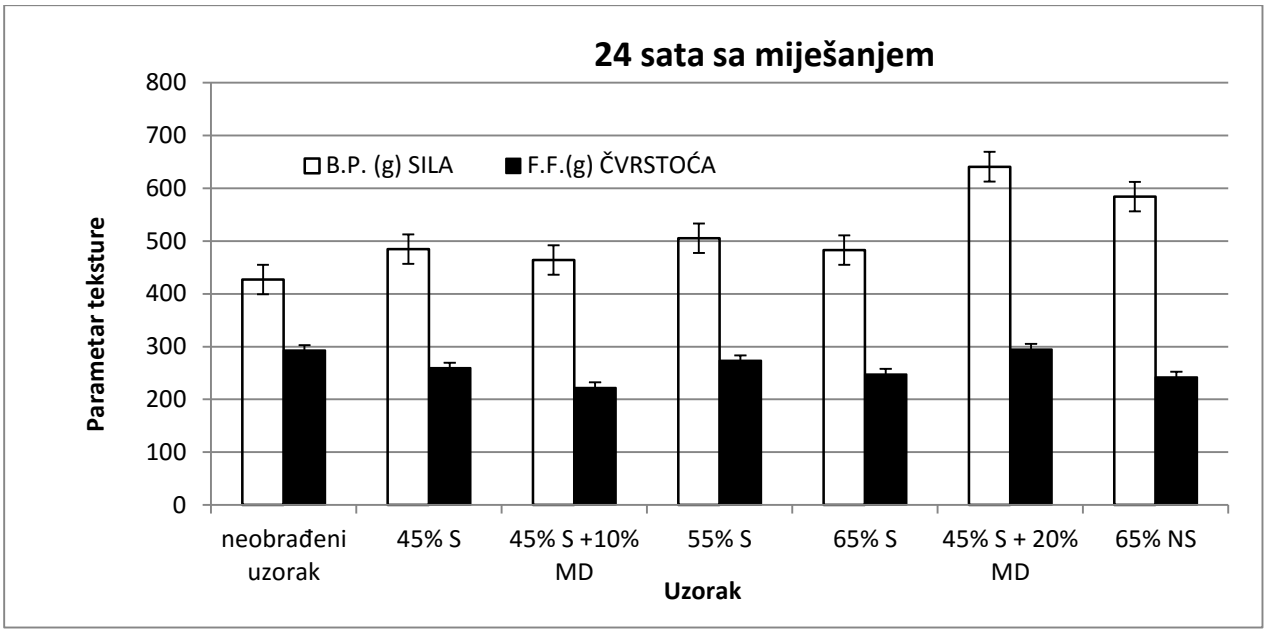
Slika 19 Parametri teksture kore naranče nakon obrade sa otopinama saharoze (S) s/bez dodatka maltodekstrina (MD) te narančinim (NS) sirupom (7 sati)



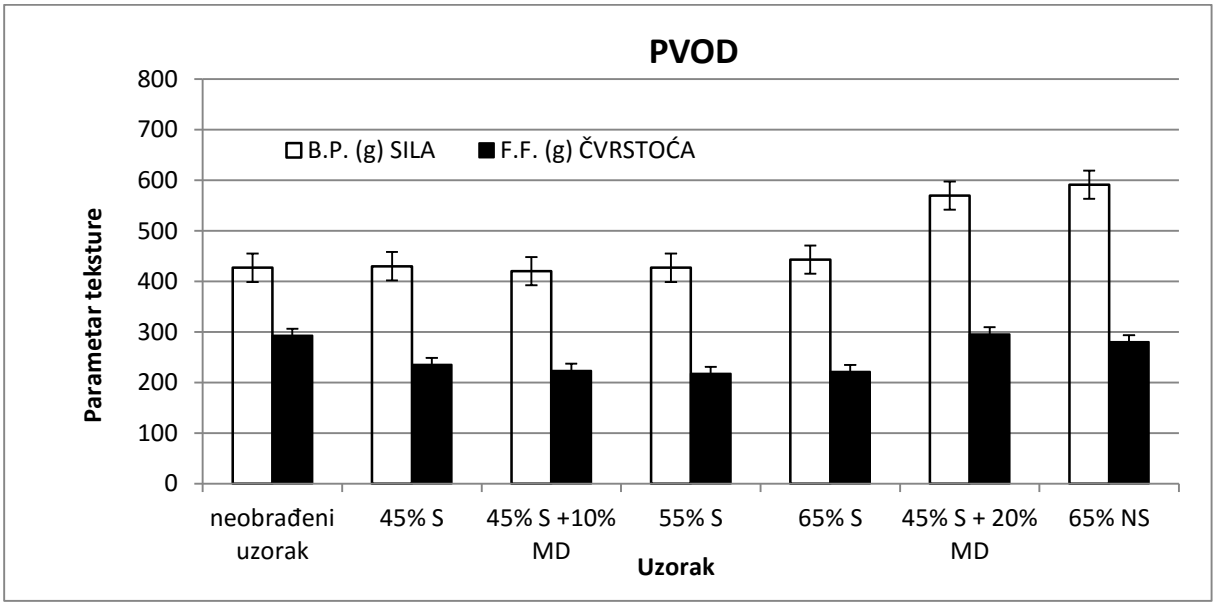
Slika 20 Parametri teksture kore naranče nakon obrade sa otopinama saharoze (S) s/bez dodatka maltodekstrina (MD) te narančinim (NS) sirupom (7 sati sa miješanjem)



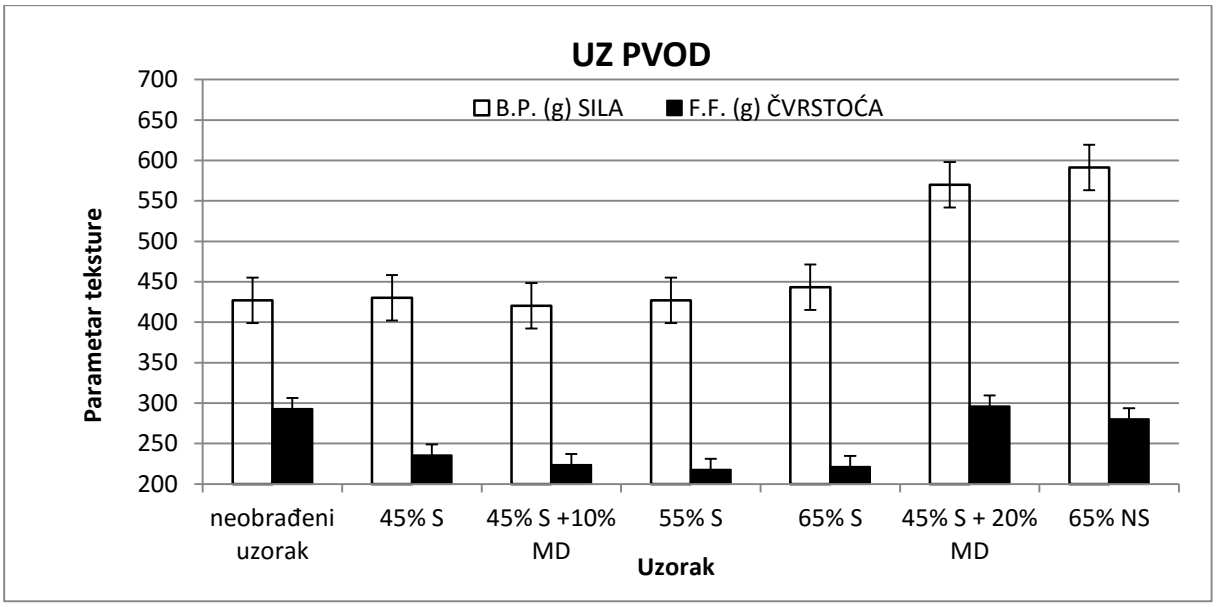
Slika 21 Parametri teksture kore naranče nakon obrade sa otopinama saharoze (S) s/bez dodatka maltodekstrina (MD) te narančinim (NS) sirupom (24 sata)



Slika 22 Parametri teksture kore naranče nakon obrade sa otopinama saharoze (S) s/bez dodatka maltodekstrina (MD) te narančinim (NS) sirupom (24 sata sa miješanjem)



Slika 23 Parametri teksture kore naranče nakon obrade sa otopinama saharoze (S) s/bez dodatka maltodekstrina (MD) te narančinim (NS) sirupom (PVOD: pulsirajuća vakuum osmotska dehidratacija, 10 min. ultrazvuk, 5 min. vakuum, 5 min. atmosferski tlak)



Slika 24 Parametri teksture kore naranče nakon obrade sa otopinama saharoze (S) s/bez dodatka maltodekstrina (MD) te narančinim (NS) sirupom (UZ PVOD: ultrazvučna pulsirajuća vakuum osmotska dehidratacija, 10 min. ultrazvuk, 5 min. vakuum, 5 min. atmosferski tlak)

Vrijednosti za neobrađeni uzorak kore naranče iznosile su 427,15 g (sila) i 292,84 g (čvrstoća). Iz rezultata se može zaključiti da su obrade vakuumom PVOD, ultrazvukom i vakuumom (UZ PVOD) utjecale na smanjenje sile, što ukazuje na veće omekšanje teksture (**Slike 23** i **24**). Obrada u vakuumu ubrzava proces osmoze uslijed zajedničkog djelovanja hidromehaničkog i osmotsko-difuznog mehanizma. Kada je proizvod izložen normalnim uvjetima, tj. atmosferskom tlaku, plin smješten u međustaničnim prostorima također je pod atmosferskim tlakom. Od vanjskog tlaka zavisiti će koliku će zapreminu taj plin zauzeti. Kada je vanjski tlak jednak atmosferskom, volumen plina u porama je jednak volumenu pora. Ako se tlak smanji, tj. kada se djeluje vakuumom, plin prisutan u porama ima sklonost ka povećanju svoje zapremine. Zbog toga se plin širi i počinje da napušta pore, a na njegovo mjesto dolazi tekućina u koju je proizvod potopljen. Prodiranje tekućine u pore nastupa kada se zaustavi djelovanje vakuuma i proizvod ponovo izloži atmosferskom tlaku. Tada se postiže ravnoteža između vanjskog i unutrašnjeg tlaka. Cháfer i sur. (2001.) su također dokazali da pulsirajuća vakuum obrada kore naranče pokazuje niže vrijednosti sile i veće omekšavanje teksture od osmotske dehidratacije pri atmosferskom tlaku.

Najveće promjene u smislu žilavosti uzorka primijećene su vizualno, kod uzorka obrađenog sa 65% NS. To se slaže sa rezultatima upotrjebljene sile potrebne za probijanje albeda (Bioyield point), koje su kod ovog uzorka bile među najvišima kod svake ispitane obrade. Općenito se može primijetiti da su niže koncentracije (45% i 55%), neovisno o obradi, rezultirale i nižim vrijednostima parametara teksture zbog niže pokretačke sile tijekom dehidratacije. Pod djelovanjem ultrazvuka (UZ PVOD) obrada otopinama saharoze u kombinaciji sa maltodekstrinom imala je više vrijednosti parametara teksture u usporedbi sa otopinama saharoze bez dodatka maltodekstrina (**Slika 24**).

Nakon provedenih obrada određen je kemijski sastav i pH vrijednost tri najučinkovitije obrade kore naranče sa ultrazvukom (**Tablica 11**).

Tablica 12 Kemijski sastav i pH vrijednost nekih obrada kore naranče **-** UZ PVOD (10 min. UZ, 5 min. vakuum, 5 min. atmosferski tlak)

	65% S	**45% S + 20% MD**	**65% NS**
Ukupna suha tvar (%)	46,50	44,20	48,28
Topljiva suha tvar (%)	37,20	35,40	42,40
Netopljiva suha tvar (%)	16,74	15,04	17,40
Ukupne kiseline (%)	0,11	0,11	0,64
pH	4,9	4,8	3,5
Šećeri - reducirajući (%)	7,47	7,30	27,73
Šećeri - ukupni (%)	31,60	29,73	30,56
Fenolne tvari (gL^{-1})	3,35	3,58	4,15
Flavonoidi (gL^{-1})	2,89	2,93	3,89

Iz rezultata u **Tablici 12** vidljivo je povećanje suhe tvari obrađenih uzoraka, a s tim u vezi i sadržaja šećera, posebno kod obrade sa 65%-tnim sirupom naranče (NS).

5. ZAKLJUČCI

Na temelju provedenih analiza, dobivenih rezultata i provedene rasprave može se zaključiti sljedeće:

1. Povećanjem koncentracija otopina u svim je uzorcima kore naranče došlo do većeg porasta mase (SG) kao i većeg gubitka vode (WL).
2. Povećanje koncentracija saharoze, kao i dodatak maltodekstrina imalo je značajan utjecaj na indeks učinkovitosti procesa osmotske dehidratacije (DEI) kore naranče. Višu vrijednost indeksa učinkovitosti procesa imali su uzorci obrađeni sa otopinama saharoze (45% i 55%) sa dodatkom maltodekstrina u koncentraciji od 10% i 20% (MD) od uzoraka obrađenih sa otopinama saharoze istih koncentracija. Obrada sa narančinim sirupom (65% NS) pokazala je najviše vrijednosti DEI, dok su najniže DEI vrijednosti bile kod uzoraka obrađenih sa najnižom koncentracijom otopina (45% S).
3. Kod svih obrada vidljivo je da je ukupna promjena boje (ΔE) kore naranče puno veća u više poroznom albedu za razliku od flaveda, jer je unutar tkiva izraženija izmjena plin-tekućina (otopina).
4. Analizirajući albedo, može se primijetiti značajan porast ΔE vrijednosti u uzorku obrađenom sirupom naranče (65% NS), s izuzetkom kod obrade 2 sata bez miješanja, gdje je ukupna promjena boje bila najniža. Razlog visokim ΔE vrijednostima je zbog toga što je koncentrat kojom je tretiran uzorak tijekom dugotrajne obrade uvelike utjecao na povišenje vrijednosti a* i b* parametra u poroznom albedu.
5. Primjena vakuuma i ultrazvuka imala je za posljedicu veće ΔE vrijednosti za flavedo, dok promjene boje albeda nisu bile izražene kao kod spomenutih obrada uzoraka sa sirupom naranče pri atmosferskom tlaku.
6. Općenito se može zaključiti da su niže koncentracije (45% i 55%), neovisno o obradi, rezultirale i nižim vrijednostima parametara teksture zbog niže pokretačke sile tijekom dehidratacije. Pod djelovanjem ultrazvuka (UZ PVOD) obrada otopinama saharoze u kombinaciji sa maltodekstrinom pokazala je više vrijednosti parametara teksture kore naranče u usporedbi sa otopinama bez dodatka maltodekstrina.
7. Primjena ultrazvuka kao predobrade povećala je učinkovitost osmotske dehidratacije narančine kore.

6. LITERATURA

Bampidis VA, Robinson PH: Citrus by-products as ruminant feeds: A review. *Animal Feed Science and Technology* 128: 175-217, 2006.

Barat JM, Aliño M, Fuentes A, Grau R, Romero JB: Measurement of swelling pressure in pork meat brining. *Journal of Food Engineering* 93: 108-113, 2009.

Bejar AK, Mihoubi NB, Kechaou N: Moisture sorption isotherms - Experimental and mathematical investigations of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. *Food Chemistry* 132: 1728-1735, 2012.

Beristain CI, Azuara E, Cortés R, Garcia HS: Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. *International Journal of Food Science Technology* 25: 576-582, 1990.

Biswal RN, Bozorgmehr K, Tompkins FD, Liu X: Osmotic concentration of green beans prior to freezing. *Journal of Food Science* 56: 1008-1012, 1991.

Cháfer M, Ortola MD, Chiralt A, Fito P: Orange peel products obtained by osmotic dehydration. U *Osmotic dehydration & vacuum impregnation*. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, Pennsylvania, 2001.

Cazier JB, Gekas V: Water activity and its prediction: a review. *International Journal of Food Properties* 4: 35-43, 2001.

Contreras JE, Smyrl TG: An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn solids solutions. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal* 14: 310-314, 1981.

Conway J, Castaigne F, Picard G, Vovan X: Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal* 16: 25-29, 1983.

Ensminger DE: *Acoustic dewatering*. Battelle Press, Columbus, Ohio, 1986.

Fito P: Modelling of vacuum osmotic dehydration of foods. *Journal of Food Engineering* 22: 313-318, 1994.

Fito P, Pastor R: Studies on some non-diffusional mechanism occurring during vacuum osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering* 21: 513-519, 1994.

Fito P, Andrés A, Chiralt A, Pardo A: Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. *Journal of Food Engineering* 21: 229-240, 1996.

Fito P, Chiralt A, Barat J, Salvatori D, Andrés A: Some advances in osmotic dehydration of fruits. *Food Science and Technology International* 4: 329-338, 1998.

Fito P, Chiralt A: Vacuum impregnation of plant tissues. U *Design of minimal processing technologies for fruits and vegetables*, Aspen Publishers, Gaithersburg, MD, 2000.

Filipović V, Kuljanin T, Mišljenović N, Ćurčić B, Nićetin M, Koprivica G, Pezo L: Determination of the water apparent diffusivity coefficients during osmotic dehydration of carrot in sugar beet molasses*. U Proceedings of 6th Central European Congress on Food, CEFood*, str. 656-661, Faculty of Agriculture, Beograd, 2012.

Filipović V: Uticaj procesa osmotske dehidratacije na prenos mase i kvalitet mesa svinja. *Disertacija*. Tehnološki fakultet, Novi Sad, 2013.

Flink JM: Dehydrated carrot slices: influence of osmotic concentration on drying behaviour and product quality. *Food Process Engineering*, London, 412-418, 1979.

Floros JD, Liang H: Acoustically assisted diffusion trough membranes and biomaterials*. Food Technology* 48: 79-84, 1994.

Garcia-Perez JV, Cárcel JA, Benedito J, Mulet A: Power ultrasound mass transfer enhancement in food drying. *Food and Bioproducts Processing* 85: 247-254, 2007.

Hawkes J, Flink JM: Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration, *International Journal of Food Science and Technology* 2: 265-284, 1978.

Lazarides HN: Dehydration system design. U *Encyclopedia of Agricultural and Food Engineering* 180-185, 2003.

Lazarides H, Nicolaidis A, Katsanidis E: Sorption behaviour changes induced by osmotic preconcentration of apple slices in different osmotic media. *Journal of Food Science* 60: 348-359, 1995.

Lerici CR, Pinnavaia G, Rosa M, Bartolucci L: Osmotic dehydration of fruits. Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food Science* 50: 1217-1226, 1985.

Lenart A, Flink JM: Osmotic concentration of potato. I. Criteria for the endpoint of the osmosis process. *International Journal of Food Science and Technology* 19: 45-63, 1984.

Lewicki PP, Lenart A: Osmotic dehydration of fruits and vegetables. U *Handbook of industrial drying,* Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, Florida, 2006.

Chandrasekaran SK, King CJ: Multicomponent diffusion and vapour–liquid equilibria of dilute organic components in aqueous sugar solutions. *American Institute of Chemical Engineering Journal* 18: 513-519, 1972.

Lima M, Sastry SK: Influence of fluid rheological properties and particle location on ultrasound-assisted heat transfer between liquid and particles. *Journal of Food Science* 55: 1112-1115, 1990.

Marchal LM, Beeftink HH, Tramper J: Towards a rational design of commercial maltodextrins. *Trends in Food Science and Technology* 10: 345-355, 1999.

Marcotte M, Le Maguer M: Mass transfer in cellular tissues. Part I: The mathematical model. *Journal of Food Engineering* 13: 199-220, 1991.

Mavroudis NE, Gekas V, Sjöholm I: Osmotic dehydration of apples - effects of agitation and raw material characteristics. *Journal of Food Engineering* 35: 191-209, 1998.

Mišljenović N, Koprivica G, Lević Lj, Petkova M, Kuljanin T: Mass transfer during osmotic dehydration of apple and carrot in sugar beet molasses*. Journal on Processing and Energy in Agriculture* 4: 211-214, 2008.

Moreira R, Sereno AM: Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions*. Journal of Food Engineering* 57: 25-31, 2003.

Moreira R, Chenlo F, Torres MD, Vazquez G: Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solutions. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* 40: 1507-1514, 2007.

Ortuño C, Perez-Manuera I, Puig A, Riera E, Garcia-Perez JV: Influence of power ultrasound application on mass transport and microstructure of orange peel during hot air drying. *International Congress on Ultrasonics*, Universidad de Santiago de Chile, 2010.

Perera CO: A report on drying of kiwi fruit (confidential). *Horticulture and Food Research Institute of New Zealand Ltd,* New Zealand 18, 1990.

Ponting JD, Watters GG, Forrey GG, Jackson RR, Stanley R: Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology* 20: 125-131, 1966.

Potter NN, Hotchkiss JH: *Food Science*. Aspen Publishers Inc., Gaithersburg, Maryland, 1998.

Povey MJW, Mason TJ: *Ultrasound in food processing*, Blackie Academic & Professional, London, 1998.

Rahman MS, Lamb J: Osmotic dehydration of pineapple. *Journal of Food Science and Technology* 27: 150-152, 1990.

Raoult-Wack AL: Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Food Science and Technology* 5: 255-260, 1994.

Rastogi NK, Angersbach A, Knorr D: Synergistic effect of high hydrostatic pressure pretreatment and osmotic stress on mass transfer during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering* 45: 25-31, 2000.

Ratti C: *Advances in Food Dehydration*, CRC Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, 2009.

Roberts RT: High intensity ultrasonics in food processing. *Chemistry and Industry* 15: 119-121, 1993.

Režek-Jambrak A, Lelas V, Herceg Z, Badanjak M, Werner Z: Primjena ultrazvuka visoke snage u sušenju voća i povrća*, Kemija u industriji* 4: 169-177, 2010.

Salvatori D, Andres A, Chiralt A, Fito P: The response of some properties of fruits to vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering* 21: 59-73, 1998.

Sastry SK, Shen GQ, Blaisdell JL: Effect of ultrasonic vibration on fluid-to-particle convective heat transfer coefficients. *Journal of Food Science* 54: 229-230, 1989.

Saurel R, Raoult-Wack A, Rios G, Guilbert S: Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple. I Fresh plant tissue. *International Journal of Food Science and Technology* 29: 531-537, 1994a.

Saurel R, Raoult-Wack A, Rios G, Guilbert S: Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple. II Frozen plant tissue. *International Journal of Food Science and Technology* 29: 538-542, 1994b.

Shi J, Xue SJ: Application and development of osmotic dehydration technology in food processing. U *Advances in Food Dehydration,* Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2009.

Shi J, Le Maguer M: Analogical cellular structure changes in solid–liquid contacting operations, *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* 35: 444-451, 2002.

Shi J, Le Maguer M: Mass transfer flux at solid–liquid contacting interface*, Food Science and Technology International* 9: 193-199, 2003a.

Shi J, Le Maguer M: Mass transfer in cellular material at solid–liquid contacting interface. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* 36: 3-11, 2003b.

Simal S, Benedito J, Sánchez ES, Roselló C: Use of ultrasound to increase mass transport rate during the osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering* 36: 323-336, 1998.

Suslick KS: *Ultrasounds, its chemical, physical and biological effects*. VCH Publishers Inc., New York, 1988.

Thakur BR, Nelson PE: Inactivation of lipoxygenase in whole soy flour suspension by ultrasonic cavitation. Die Nahrung 41: 299-301, 1997.

Torreggiani D: Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International* 26: 59-68, 1993.

Tortoe C: A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science* 4: 303-324, 2010.

Villamiel M, De Jong P: Influence of high intensity ultrasound and heat treatment in continuous flow on fat, proteins and native enzymes of milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 472-478, 2000.

Wang L, Wang Y: Rice starch isolation by neutral protease and high intensity ultrasound. *Journal of Cereal Science* 39: 291-296, 2004.

Yao Z, Le Maguer M: Mathematical modelling and simulation of mass transfer in osmotic dehydration processes. Part I: Conceptual and mathematical models. *Journal of Food Engineering 29*: 349–360, 1996.

Web1 Piližota V: Vakuum impregnacija 2013. http://studenti.ptfos.hr/Diplomski_studij/Minimalno_procesiranje_hrane/vakuum%20impregnacija [30.07. 2015.]

Web2 Piližota V: Ultrazvuk 2013. http://studenti.ptfos.hr/Diplomski_studij/Minimalno_procesiranje_hrane/Ultrazvuk) [01.07. 2015.]