

Određivanje boje tikve sušene u vakuumu

Lončar, Anamarija

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:159:556537>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-18**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski studij Biotehnologija

Anamarija Lončar
6747/BT

ODREĐIVANJE BOJE TIKVE SUŠENE U VAKUUMU

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Jedinične operacije

Mentor: Prof. dr. sc. Mladen Brnčić

Zagreb, 2017.

Ovaj završni rad izrađen je u okviru projekta (kratkotrajna potpora) **Sveučilišta u Zagrebu** pod Nazivom „Utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta na brzinu difuzije vode voća sušenog pod vakuumom“ i sufinanciran sredstvima Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost u vidu financijskih sredstava pomoći ostvarenih temeljem prijave na javni poziv za neposredno sufinanciranje istraživačkih i razvojnih djelatnosti u području klimatskih promjena (Odluka br. 48947) od 01.prosinca 2015.

Zahvaljujemo se Sveučilištu u Zagrebu te Fondu za Zaštitu okoliša i energetske učinkovitost na ukazanom povjerenju i financijskoj pomoći.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski sveučilišni studij Biotehnologija

Zavod za procesno inženjerstvo
Laboratorij za tehničku termodinamiku

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Biotehnologija

Određivanje boje tikve sušene u vakuumu
Anamarija Lončar, 0058203368

Sažetak: Cilj ovog završnog rada bio je pronaći optimalne i najekonomičnije uvjete sušenja tikve u vakuumu pri kojima su efektivnost sušenja i boja takvi da zadovolje potražnju potrošača. Provedeni su eksperimenti pri procesnim parametrima od 30°C i 30 mbar, 40°C i 30 mbar, 50°C i 50 mbar u trajanju od 2, 3 i 4 sata te eksperimenti pri procesnim parametrima od 50°C i 30 mbar u trajanju od 1, 2, 3 i 4 sata. Pri svakom procesnom parametru praćeni su ukupni gubitak vode, ekonomičnost i promjena boje pomoću parametara L^* , a^* , b^* , c^* , h , ΔE^* i indeksa smeđenja. Nakon provedenih eksperimenata, zaključeno je da su optimalni parametri sušenja s obzirom na efektivnost, ekonomičnost i očuvanje boje oni pri 50°C i 30 mbar u trajanju od jednog sata.

Ključne riječi: boja, karotenoidi, pigment, sušenje u vakuumu, tikva

Rad sadrži: 31 stranicu, 19 slika, 2 tablice, 42 literaturna navoda, 2 priloga

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: Prof. dr. sc. Mladen Brnčić

Pomoć pri izradi: dr.sc. Filip Dujmić, Marko Marelja, mag.

Datum obrane: 18. rujna, 2017.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Bachelor thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
University undergraduate study Biotechnology

Department of Process Engineering
Laboratory for Thermodynamics

Scientific area: Biotechnical Sciences
Scientific field: Biotechnology

Colour determination of vacuum dried gourd
Anamarija Lončar, 0058203368

Abstract: Aim of this thesis is to find optimal and the most economical conditions during vacuum drying of gourd that will satisfy consumers in terms of effective drying and colour preservation. Experiments were performed at 30°C & 30 mbar, 40°C & 30 mbar, 50°C & 50 mbar during 2, 3 and 4 hours and at 50°C & 30 mbar during 1, 2, 3 and 4 hours. Parameters that were determined during each experiment were water loss, economical consumption and colour parameters (L^* , a^* , b^* , c^* , h , ΔE^* and browning index). Results of performed experiments showed that in terms of effective drying, economical consumption and colour preservation optimal drying conditions were at 50°C & 30 mbar during 1 hour.

Keywords: carotenoids, colour, gourd, pigment, vacuum drying

Thesis contains: 31 pages, 19 figures, 2 tables, 42 references, 2 supplements

Original in: Croatian

Thesis is in printed and electronic form deposited in the library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: PhD Mladen Brnčić, Full Prof.

Technical support and assistance: Filip Dujmić PhD; Marko Marelja, MSc

Defence date: 18th September, 2017

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1. Tikva.....	2
2.1.1. Opća podjela tikvi.....	2
2.1.2. Kemijski sastav tikve.....	3
2.1.3. Nutritivna i ljekovita svojstva tikve.....	3
2.1.4. <i>Cucurbita moschata</i>	3
2.2. Sušenje.....	5
2.2.1. Sušenje u vakuumu.....	6
2.2.2. Degradacija β -karotena.....	7
2.3. Boja.....	9
2.3.1. Spektrofotometar.....	9
2.3.2. Lambert-Beerov zakon.....	10
2.3.3. CIELAB sustav.....	11
2.3.4. Munsellov sustav.....	12
2.3.5. Ljudsko oko i percepcija boja.....	13
3. MATERIJAL I METODE.....	14
3.1. Priprema uzorka.....	14
3.2. Izvođenje eksperimenta.....	14
3.3. Statistička obrada.....	15
3.4. Proračun.....	15
3.4.1. Izračun gubitka mase.....	15
3.4.2. Izračun promjene boje nakon sušenja (ΔE^*).....	16
3.4.3. Izračun c^* i h vrijednosti.....	16
3.4.4. Izračun indeksa smeđenja (BI).....	17
3.4.5. Izračun specifične energije.....	17
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	18
4.1. Utjecaj vremena sušenja na vlažnost tikve.....	18
4.2. Određivanje boje.....	19
4.2.1. Određivanje parametra L^*	19
4.2.2. Određivanje parametra a^*	20
4.2.3. Određivanje parametra b^*	21
4.2.4. Određivanje promjene boje ΔE^*	22
4.2.5. Određivanje parametra c^*	22
4.2.6. Određivanje parametra h	23
4.2.7. Određivanje indeksa smeđenja (BI).....	23
4.3. Utrošak energije.....	24
5. ZAKLJUČAK.....	26
6. POPIS LITERATURE.....	27
7. PRILOZI	
7.1. Detaljniji kemijski sastav tikve	
7.2. Maillardova reakcija	

1. UVOD

Boja je vizualno svojstvo namirnice, a time i prva i najvažnija karakteristika koju potrošači uočavaju. Prema tome, o njoj treba posebno povesti računa prilikom proizvodnje i plasiranja proizvoda na tržište.

Brojne tehnološke operacije, poput sušenja, kojima se prehrambena sirovina podvrgava kako bi se dobio mikrobiološki ispravan, nutritivno obogaćen i ukusan proizvod mogu dovesti do gubitka ili promjene kvalitete boje, a time se i negativno odraziti na odabir od strane potrošača. Upravo zbog toga je važno prilikom cijelog proizvodnog procesa pratiti promjene boje i optimirati pojedine tehnološke operacije kako bi se uz što manje energije, vremena i finansijskih sredstava dobio proizvod koji uz nutritivne i ljekovite odlike ima i vizualno privlačan izgled. Sušenje u vakuumu primjer je jedne takve optimizacije jer se nakon takvog procesa dobije proizvod koji je zadržao svoju boju (Liu i sur., 2014).

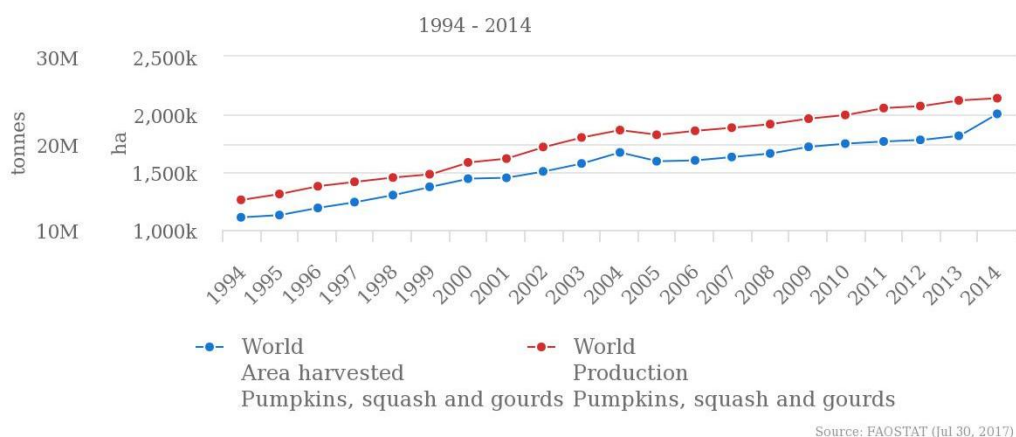
Međutim, promjena boje nakon tehnološke operacije nije samo problem estetske prirode, već može biti i znak kemijskih promjena koje drastično smanjuju kvalitetu proizvoda. Konkretno, promjena u boji tikve rezultat je degradacije pigmenata, posebice karotenoida (Provesi i Amante, 2015) koji su neophodni u ljudskoj prehrani. Prema tome, praćenjem se boje može efikasno odrediti kako promjena pojedinih procesnih parametara djeluje na kemijski sastav proizvoda.

Svrha je ovog eksperimenta nalazak procesnih parametara sušenja pri kojima će tikva maksimalno zadržati svoju boju, a posljedično time i svoj kemijski sastav. Također, povest će se računa o udjelu vode u konačnom proizvodu i ekonomičnosti pri odabranim procesnim parametrima.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Tikva

Podatci koji su sakupljeni od 1994. do 2014. godine govore nam da je uzgoj tikvi u svijetu u laganom porastu; prema tim istim podacima najveći uzgajivač tikvi na svijetu u 2014. godini bila je Kina čiji je godišnji prinos iznosio oko 7,2 milijuna tona (FAO, 2017).



Slika 1. Uzgoj tikvi u svijetu u periodu 1994.-2014.

(<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>)

2.1.1. Opća podjela tikvi

Tikve se dijele u četiri velike skupine s obzirom na razlike u strukturi peteljki: *Cucurbita pepo*, *Cucurbita moschata*, *Cucurbita maxima* i *Cucurbita mixta* – valja napomenuti kako se biljke koje pripadaju različitim skupinama u pravilu ne mogu međusobno oprašivati (ATTR, 2010).

S obzirom na vrijeme konzumacije tikve se pak dijele na dvije velike skupine: zimske (konzumiraju se kada postanu zrele) i ljetne (konzumiraju se još nezrele) (ATTR, 2010; Paris, 2010).

2.1.2. Kemijski sastav tikve

Tikva je osobito bogata vlaknima (Usha i sur., 2010; Provesi i Amante, 2015), polisaharidima poput pektina, mineralima i nezasićenim kiselinama (Provesi i Amante, 2015) i karotenoidima (Nawirska i sur., 2009; Provesi i Amante, 2015) luteinom, α -kriptoksantinom, violaksantinom, zeaksantinom, α -karotenom, ζ -karotenom, *trans*- β -karotenom i *cis*- β -karotenom (Provesi i sur., 2012). Vlakna, minerali i nezasićene kiseline nalaze se u sjemenkama dok je pulpa bogata pektinom i karotenoidima (visokokonjugirani tetraterpenoidi koji daju žutu ili narančastu boju tikvi te neki od njih poput α - i β -karotena služe kao prekursori za sintezu vitamina); udio i sastav karotenoida može varirati ovisno o vrsti tikve (Provesi i Amante, 2015), zrelosti tikve, vremenu berbe ili pak o klimatskim uvjetima u kojima je plod kultiviran budući da je sinteza karotenoida inhibirana pri nižim temperaturama (Provesi i sur., 2012). Plod jarko narančaste boje sadrži visok udio β -karotena (Weinstein i sur., 2004). Detaljniji kemijski sastav tikve nalazi se u Prilogu.

2.1.3. Nutritivna i ljekovita svojstva tikve

Konzumacija tikve pokazala se uspješnom u kontroli dijabetesa zbog toga što sadrži biološki aktivne polisaharide koji podižu razinu inzulina i time smanjuje koncentraciju glukoze u krvi (Caili i sur., 2006). Studija provedena na laboratorijskim životinjama pokazala je da se inkorporacijom tikvinih sjemenki u prehranu povišuje koncentracija HDL-C, a snizuje TC i LDL-C (Abuelgassim i Al-showayman, 2011). Karotenoidi koji se nalaze u plodu smanjuju rizik od kardiovaskularnih bolesti, raka kože i prostate (Rao i Rao, 2007). Ulje tikvinih sjemenki pokazalo se uspješnim u prevenciji i tretmanu preaktivnog mokraćnog mjehura (Nishimura i sur., 2014). Također, ekstrakt tikvinog ploda pokazuje imunomodulatornu aktivnost (Jafarian i sur., 2012). Tikvino se brašno zbog svoje male viskoznosti, ali i velike količine hranjivih tvari pokazalo prikladnim u prehrani male djece, posebice one koje pate od hipovitaminoze A (Usha i sur., 2010).

2.1.4. *Cucurbita moschata*

Cucurbita moschata tikva je srednjih do velikih dimenzija tamnozelene, blijedožute ili svijetlonarančaste boje koja raste u toplim klimatskim uvjetima poput Kariba, Meksika te Srednje i Južne Amerike (Paris, 2010). Tu zimsku tikvu karakterizira izduženi vrat te finija

tekstura mesa (ATTRA, 2010). Ima visoku nutritivnu vrijednost, brzo zori i ima dugo vrijeme skladištenja (Isaboke i sur., 2012).

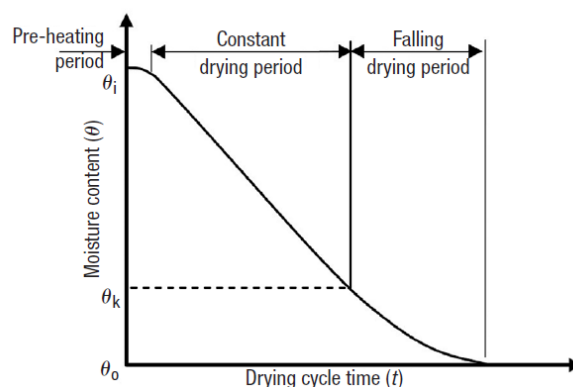


Slika 2. *Cucurbita moschata*

(<http://www.gardening.cornell.edu/homegardening/scene11f1.html>)

2.2. Sušenje

Sušenje je tehnološka operacija gdje se voda, koja može biti slobodna i vezana, odvaja od krute tvari (Parikh, 2015). Spada u najstarije i najprimjenjivnije tehnološke operacije (Kudra i Mujumdar, 2009). Sastoji se od dvije faze: constant drying period i falling drying period (Earle, 1983; Parikh, 2015). Constant period je period gdje se sušenjem iz proizvoda izdvaja slobodna voda, dok je falling period period kojim se izdvaja vezana voda iz unutrašnjosti krute tvari (Earle, 1983).



Slika 3. Dvije faze sušenja

(Parikh, D. (2015) Vacuum Drying: Basics and Application *Chemical Engineering* -New York- McGraw Hill Incorporated then Chemical Week Publishing Llc, str. 48)

Smanjenjem udjela vode produljuje se vijek trajanja proizvoda (za rast mikroorganizama potrebna je voda, pa sušenje stoga smanjuje vjerojatnost kvarenja proizvoda) te se smanjuje ukupna masa proizvoda što olakšava transport (Jangam i sur., 2010). Samom toplinskom obradom razgrađuje se celuloza u biljnoj stanici i time povećava dostupnost β -karotena (Dutta i sur., 2006). Također, zbog toga što je na tržištu najzastupljenije povrće u svježoj formi, sušenje se pokazalo kao dobar način komercijalizacije procesiranog povrća (Guiné i Barroca, 2012). Konkretno, osušena tikva primjenjuje se u industriji proizvodnje tikvinog brašna i tikvinog čipsa (Provesi i Amante, 2015).

Danas se u industriji primjenjuju različiti načini sušenja. Tikva se može sušiti u vakuumu sa ili bez primjene mikrovalova te zamrzavanjem (Nawirska i sur., 2009). Najekonomičniji način sušenja tikve je tzv. „hot air drying“, međutim zbog doticaja sa zrakom

i visokih temperatura u takvome procesu ubrzava se proces oksidacije karotenoida (Provesi i Amante, 2015).

2.2.1. Sušenje u vakuumu

Sušenje u vakuumu odvija se pri sniženom tlaku (zbog čega je onda posljedično i potrebna niža temperatura sušenja što je idealno za termolabilne uzorke) dok ogrjevni medij (para ili topla voda) prolazeći kroz šuplje police neizravno predaje toplinu uzorcima (Parikh, 2015). Međutim, upotreba vakuuma povisuje troškove procesa (Nawirska i sur., 2009).



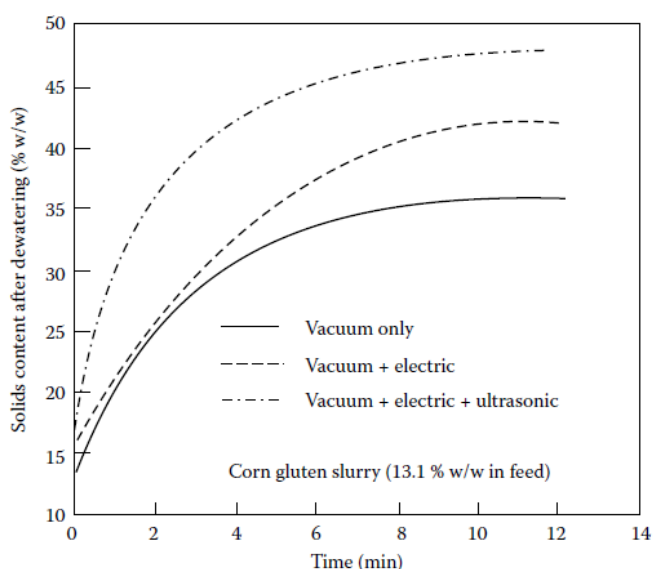
Slika 4. Vakuum sušara

(<https://www.johnmorrisgroup.com/AU/Vacuum/Product/3715/Memmert-VO200-Vacuum-Oven>)

Sušenje u vakuumu pokazalo se prikladnim za sušenje tikve jer se ono odvija pri nižoj temperaturi i pri ograničenom kontaktu između uzorka i kisika (Nawirska i sur., 2009; Liu i sur., 2014). Pri takvim uvjetima smanjuje se vjerojatnost degradacije i oksidacije karotenoida što posljedično dovodi do zadržavanja boje proizvoda (Liu i sur., 2014). Nadalje, prilikom sušenja u vakuumu smanjeno je vrijeme sušenja (de Mendonça i sur., 2017) čime se smanjuje mogućnost rasta plijesni, a time i pojave aflatoksina (Öztekin i sur., 1999). Međutim, u nekim se slučajevima kod sušenja u vakuumu produljilo vrijeme retencije o kojem ovisi termalna degradacija proizvoda što je rezultiralo raspadom proizvoda već pri niskim temperaturama (Kudra i Mujumdar, 2009).

Za razliku od konvektivnog, sušenje u vakuumu dalo je proizvod koji je imao veći udio karotenoida, visok koeficijent rehidracije i manje promjene u volumenu i boji pri nižim temperaturama dok se na višim temperaturama javilo malo variranje boje, smanjenje udjela karotenoida i volumena te porast koeficijenta rehidracije (de Mendonça i sur., 2017).

U nekim se slučajevima vakuum sušenje može potpomognuti predtretmanom, primjerice osmotskom dehidratacijom (de Mendonça i sur., 2017), ultrazvukom ili elektrikom (Kudra i Mujumdar, 2009).



Slika 5. Usporedba efektivnosti sušenja u vakuumu sa i bez predtretmana

(Kudra T., Mujumdar A.S. (2009), *Advanced Drying Technologies*, 2. izd. CRC Press Taylor & Francis Group, LLC, str. 214.)

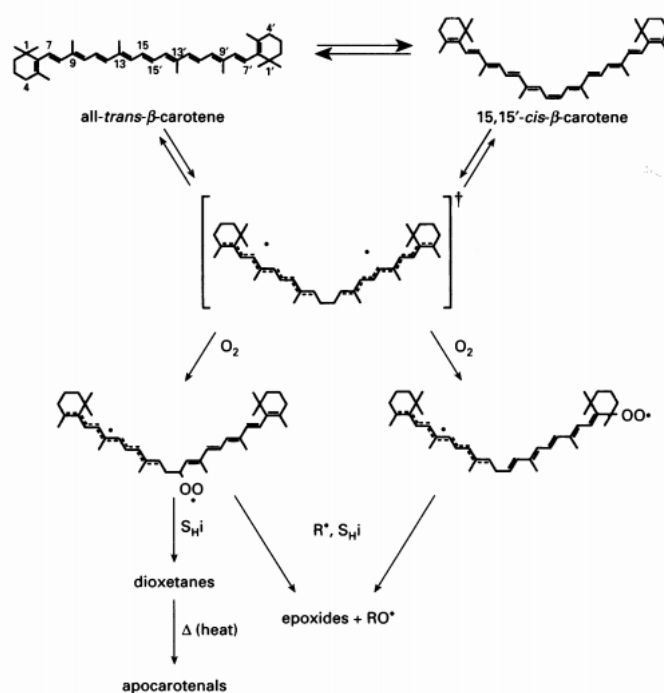
2.2.2. Degradacija β -karotena

Karotenoidi se transformiraju u biološki aktivne produkte (Nagao, 2004). Imaju visokokongjugiranu strukturu i izrazito su reaktivni (Nagao, 2004; Pénicaud i sur., 2011), upravo zbog velikog broja delokaliziranih n -elektrona (Pénicaud i sur., 2011). Zbog svoje visoke reaktivnosti, karotenoidi se mogu oksidirati u brojne spojeve (Nagao, 2004). Oni karotenoidi pronađeni u biljkama su produkti sekundarnog metabolizma i potrebni su za pravilno funkcioniranje fotosinteze i sprječavanje fotooksidacije (Pénicaud i sur., 2011).

Iz jedne molekule β -karotena mogu se dobiti dvije molekule retinala cijepanjem centralne dvostruke veze uz pomoć enzima β -karoten-15,15'-dioksigenaze – taj retinal kasnije se prevede u retinol (Nagao, 2004; Pénicaud i sur., 2011). Alternativno, predložen je drugačiji mehanizam nastanka retinala na način da se pocijepa bilo koja veza β -karotena pri čemu nastaju lanci β -apokarotenali (koji su različitih duljina) i retinal (Nagao, 2004).

Valja napomenuti da nije u potpunosti razjašnjen mehanizam djelovanja β -karoten-15,15'-dioksigenaze kao niti mehanizam njegove regulacije (Nagao, 2004).

Zbog djelovanja topline, ali i svjetla, javljaju se dvije reakcije kojima se β -karoten degradira: izomerizacija (iz *trans* u *cis* oblik) i oksidacija (koja može biti enzimska, autooksidacija i fotooksidacija) (Pénicaud i sur., 2011). Slika 6. поближе opisuje reakciju degradacije β -karotena. Konačni produkti oksidacije su epoksidi, apokaroteni, apokarotenali i norizoprenoidi (Pénicaud i sur., 2011).



Slika 6. Degradacija β -karotena

(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1134307/pdf/biochemj00111-0304.pdf>)

2.3. Boja

Vidljivi dio spektra (dio elektromagnetskog spektra koji je vidljiv ljudskim okom) obuhvaća valne duljine od 10^{-8} do 10^{-6} m i sastoji se od svjetlosti crvene, narančaste, žute, zelene, plave i ljubičaste boje (Harvey, 2000). Boje koje čine vidljivi dio spektra nazivaju se spektralno čistim bojama što znači da svakoj od navedenih boja u vidljivom spektru pripada jedna valna duljina (USC, 2000).

2.3.1. Spektrofotometar

Spektrofotometar je instrument koji mjeri apsorbanciju nekog uzorka i pri tome koristi monokromator za izbor valnih duljina (Harvey, 2000). Princip rada spektrofotometra je mjerenje količine fotona koju je neki uzorak apsorbirao (Vo, 2015). Spektrofotometre možemo podijeliti na četiri skupine: jednosnopni, dvosnopni s prostorno razdvojenim snopovima, dvosnopni s vremenski razdvojenim snopovima i višekanalni (Skoog i sur., 1999). S obzirom na područje elektromagnetnog spektra u kojem operiraju, spektrofotometri se dijele na dvije skupine: UV/VIS (operira u ultraljubičastom i vidljivom dijelu spektra) i IR (operiraju u infracrvenom dijelu spektra) (Vo, 2015).



Slika 7. Spektrofotometar

(<http://sensing.konicaminolta.asia/products/cm-3500d-spectrophotometer/>)

Najjednostavniji je jednosnopni spektrofotometar koji ima monokromator sa nepromjenjivom valnom duljinom – kalibracija i namještanje valne duljine kod ovog spektrofotometra je ručno pa je stoga on nije praktičan (Harvey, 2000). Danas se najčešće

koriste dvosnopni instrumenti: kod njih zraka iz izvora zračenja prolazi kroz filter (monokromator) te se razdvaja se na dvije zrake – jedna zraka prolazi kroz referentni, a druga kroz nepoznati uzorak (Skoog i sur. 1999).

Spektrofotometar se sastoji od dva uređaja: spektrometra (njegova uloga je namještanje željene valne duljine) i fotometra (mjeri količinu fotona i šalje signal na galvanometar ili zaslon) (Vo, 2015). Svaki spektrofotometar u sebi sadrži izvor zračenja, filter (monokromator), razdvajač zraka (samo kod dvosnopnih), zaslon, dvije kivete (jedna referentna i jedna za uzorak), fotodetektor, pojačalo i uređaj za očitavanje (Skoog i sur. 1999).

2.3.2. Lambert-Beerov zakon

Lambert-Beerov zakon daje linearan odnos između izmjerene apsorpcije i koncentracije nepoznatog uzorka te se matematički izražava kao:

$$A = \varepsilon * b * c$$

gdje su A – apsorpcija na zadanoj valnoj duljini svjetlosti; ε – molarni apsorpcijski koeficijent ($L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$); b – duljina puta svjetlosti kroz uzorak (cm), odnosno debljina kivete; c – koncentracija tvari u otopini (mol L^{-1}) (Skoog i sur. 1999; Harvey, 2000; Vo, 2015).

Lambert-Beerov zakon eksperimentalno je izveden promatranjem ulaznog snopa paralelnog monokromatskog zračenja snage P_0 koji je ušao pod pravim kutom u materijal koji apsorbira i čija duljina iznosi b (Skoog i sur., 1999; Vo, 2015). Nakon što ulazni snop prođe, dio zračenja se apsorbira što kao posljedicu ima smanjenje snage zračenja na P (Skoog i sur., 1999).

Snage ulaznog i izlaznog stavljene u omjer daju veličinu koja se zove transmitacija (to je mjera za količinu upadnog zračenja koji je prošao kroz nepoznati uzorak) – negativni logaritam izraza za transmitaciju daje izraz za apsorpciju (Skoog i sur. 1999; Harvey, 2000; Vo, 2015):

$$T = \frac{P}{P_0} \rightarrow A = -\log(T) = \log\left(\frac{P_0}{P}\right)$$

2.3.3. CIELAB sustav

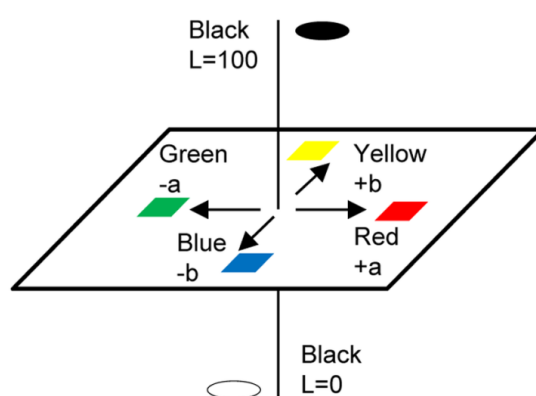
CIELAB je sustav koji daje informaciju o položaju boja u trodimenzionalnom prostoru, a određen je 1976. godine od strane Međunarodne komisije za rasvjetu (USC, 2000).

Preteča CIELAB-a je sustav imena CIE sustav tristimulusa koji kombinira koordinate X,Y i Z u dvodimenzionalne koordinate x i y te na taj način daje informaciju o količini crvene, zelene i plave boje (Giusti i sur., 2017). Problem CIE sustava tristimulusa je taj što on nije uniforman i ne može uspostaviti korelate za ton (hue), svjetlinu (lightness) i čistoću boje (chroma) (Sharma i Rodríguez-Pardo, 2012).

$L^*a^*b^*$ sustav definiran je sa tri parametra: slovo L^* (lightness) označava svjetlinu, slovo a^* položaj na zeleno-crvenoj, a slovo b^* na plavo-žutoj osi (Mohammadi i sur., 2008; Sharma i Rodríguez-Pardo, 2012; de Mendonça i sur., 2016). Vrijednosti L^* , a^* , b^* (izmjerene vrijednosti osušenog uzorka), kao i L_0^* , a_0^* , b_0^* (izmjerene vrijednosti netretiranog uzorka), uvrstavaju se u formulu

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}$$

kako bi se dobila vrijednost promjene boje (Mohammadi i sur., 2008; Sharma i Rodríguez-Pardo, 2012; Guiné i Barroca, 2012).



Slika 8. $L^*a^*b^*$ sustav

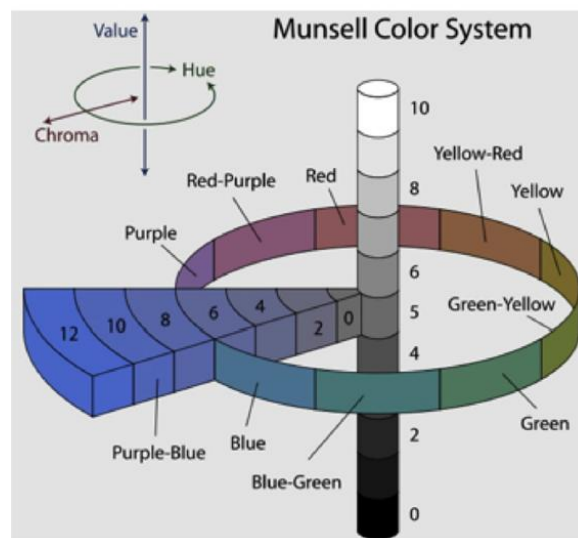
(https://www.researchgate.net/figure/260525858_fig3_Figure-2-CIE-Lab-color-space)

2.3.4. Munsellov sustav

Munsellov je sustav odigrao važnu ulogu u konstrukciji CIELAB sustava (Sharma i Rodríguez-Pardo, 2012) te je svoju primjenu našao u tekstilnoj industriji, ekologiji, arheologiji, forenzici i prehrambenoj industriji (Cochrane, 2014).

Munsellov sustav svaku boju opisuje s obzirom na 3 parametra: lightness, hue i chroma (Burns i sur., 1990; Cochrane, 2014). Prema Munsellu, ako dva uzorka imaju međusobno jednaku samo jednu od te tri varijable, oni će u toj jednoj varijabli biti potpuno identični (npr. ako dva uzorka imaju jednaku lightness vrijednost, oni će se međusobno činiti jednako svijetlima bez obzira na različite chroma i hue) (Cochrane, 2014). Mijenjanjem jedne varijable, dok su druge dvije držane konstantnima, je i konstruiran Munsellov sustav (Cochrane, 2014) koji ima cilindričan trodimenzionalan oblik (Burns i sur., 1990).

Međutim, neka istraživanja su pokazala da ako se dvije boje međusobno razlikuju samo po različitoj osvijetljenosti, oni se neće uopće doimati identičnima (Burns i sur., 1990; Sharma i Rodríguez-Pardo, 2012). Također, sam Munsell u konstrukciji sustava nije uzimao u obzir sustave koji se samoosvijetljuju (Sharma i Rodríguez-Pardo, 2012), kao niti valne duljine ili pigmente (Burns i sur., 1990; Cochrane, 2014). Daljnji problem s Munsellovim sustavom je i konverzija varijabli boje između CIE i Munsellovog sustava (Burns i sur., 1990).



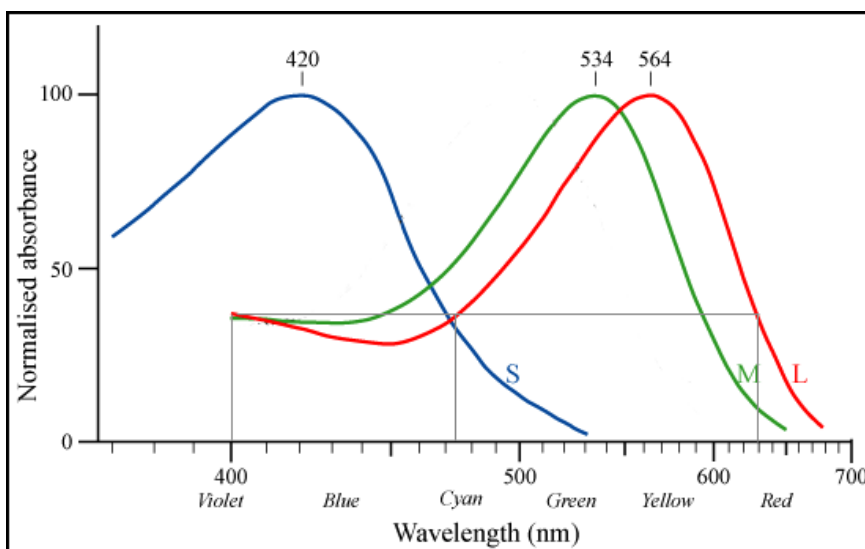
Slika 9. Munsellov sustav

(Cochrane, S. (2014) The Munsell Color System: A scientific compromise from the world of art. *Studies in History and Philosophy of Science* **47**: str. 26-41.)

2.3.5. Ljudsko oko i percepcija boja

U samim počecima spektroskopije, jedan od načina određivanja koncentracije analita bio je vizualnim uspoređivanjem boje analita sa nizom standarda uz pomoć Nesslerovih epruveta sa ravnim dnom, iz čega se može zaključiti da je prvi detektor u optičkoj spektroskopiji bio ljudsko oko (Harvey, 2000). U ljudskom oku postoje dvije vrste fotoreceptora: štapići (osjetljivi na svjetlost) i čunjići (osjetljivi na boju) (Gouras, 2009).

Svjetlost različitih valnih duljina izaziva odgovor čunjića koji je ovisan o apsorbiranoj energiji (Gouras, 2009). Čunjići se međusobno razlikuju s obzirom na spektralni odgovor, s time da se na pojedinim područjima spektralni odgovori dva ili čak sva tri čunjića preklapaju (Robertson, 1992). Postoje S (short), M (medium) i L (long) čunjići koji su ime dobili po valnim duljinama pri kojima pokazuju najveću osjetljivost (Gouras, 2009). Što se događa kasnije sa živčanim signalom koji su čunjići proizveli nije u potpunosti razjašnjeno, no generalno je prihvaćena teorija da proizvedeni signal slijedi jedan od tri puta – crveno-zeleni, plavo-žuti ili crno-bijeli (Robertson, 1992).



Slika 10. Osjetljivost čunjića

(<http://www.huevaluechroma.com/032.php>)

3. MATERIJAL I METODE

3.1. Priprema uzorka

Tikva vrste *Cucurbita moschata* izvađena je iz hladnjaka i narezana na ploške debljine 3 mm uz pomoć rezača povrća. Ploške su oguljene i očišćene od koštica.

3.2. Izvođenje eksperimenta

Sušenje se provodilo pri različitim temperaturama, tlakovima i vremenima (Tablica 1.). Sveukupno je bilo 13 eksperimenata.

Za svaki je eksperiment korišteno 9 ploški tikvi. Tri su ploške bile slijepa proba i one nisu išle na sušenje već su im samo izmjereni parametri L^* , a^* , b^* , c (chroma) i h (hue) na spektrofotometru CM-3500D (Konica – Minolta, Japan) uz pomoć programa SpectraMagic NX (Konica – Minolta, Japan). Te izmjerene parametre označili smo s indeksom 0 jer pripadaju slijepoj probi. Korištena leća je imala promjer od 8 mm.

Šest je ploški izvagano na elektroničkoj vagi i stavljeno na sušenje. Korištena je vakuum sušara Memmert Vacuum oven VO 200 (1200 W). Nakon provedenog sušenja, uzorci su izvađeni iz sušare i izvagani. Izmjereni su im parametri L^* , a^* , b^* , c i h na spektrofotometru CM-3500D (Konica – Minolta, Japan) uz pomoć programa SpectraMagic NX (Konica – Minolta, Japan) i pri tome se koristila leća od 8 mm. Nakon toga su uzorci fotografirani fotoaparatom Olympus E-520. Zatim su stavljeni u vakuum vrećicu i vakuumirani te pohranjeni u hladnjak.

Tablica 1. Procesni parametri sa pripadajućim trajanjima sušenja

eksperiment br.	trajanje sušenja (h)	procesni parametri
I	2	50°C i 50 mbar
II	3	
III	4	
IV	1	50°C i 30 mbar
V	2	
VI	3	
VII	4	40°C i 30 mbar
VIII	2	
IX	3	
X	4	30°C i 30 mbar
XI	2	
XII	3	
XIII	4	

3.3. Statistička obrada

Za ΔE^* prvo je konstruiran box plot dijagram kako bi se eliminirale one paralele koje previše odstupaju od ostatka izmjerenih vrijednosti. Valja napomenuti kako se u slučaju odstupanja ΔE^* u tom slučaju nisu uzimale u obzir niti L^* , a^* , b^* , c^* , h iz te paralele za grafički prikaz rezultata.

Nakon toga su provedeni ANOVA test ($\alpha=0,05$), F-test ($\alpha=0,05$) i t-test ($\alpha=0,05$). ANOVA je potvrdila da su nakon eliminacije odstupajućih rezultata, meani grupa 30°C i 30 mbar, 40°C i 30 mbar, 50°C i 30 mbar te 50°C i 50 mbar različiti ($2,872332 > 2,735541$) čime se odbacila nulta hipoteza i time se može zaključiti da procesni parametri utječu na promjenu boje. F- test je pokazao da su varijance između 30°C (30 mbar) i 40°C (30 mbar) te 50°C (30 mbar) i 50°C (50 mbar) jednake. Nakon provedenog t-testa odbačena je nulta hipoteza između parametara 30°C (30 mbar) i 40°C (30 mbar), zatim između 30°C (30 mbar) i 50°C (30 mbar) i naposljetku između 30°C (30 mbar) i 50°C (50 mbar). To znači da se usporedbom tih parametara ne može sa sigurnošću zaključiti da će se ΔE^* značajno promijeniti.

3.4. Proračun

3.4.1. Izračun gubitka mase

Kao što je i ranije rečeno, za svaki su eksperiment korištene tri kriške tikve za slijepu probu i šest kriški tikve koje su išle na sušenje. Tri kriške iz slijepe probe nisu se vagale. Šest se kriški tikve prije i nakon sušenja izvagalo na električnoj vagi. Masa svake od tih šest ploški prije sušenja označena je s m_1 , dok je masa svake ploške nakon sušenja označena sa m_2 . Korištene su formule:

$$\Delta m = m_1 - m_2$$

$$\% \text{ izgubljene mase u paraleli} = 100 * \left(1 - \frac{\Delta m}{m_1} \right)$$

gdje je n = broj paralela ($n=6$)

$$\text{prosječni \% izgubljene mase pri određenom parametru} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \% \text{ izgubljene mase u paraleli}$$

3.4.2. Izračun promjene boje nakon sušenja (ΔE^*)

Trima ploškama koje nisu išle na sušenje izmjerene su L^* , a^* , b^* , c^* i h vrijednosti. Budući da je to slijepa proba, te izmjerene vrijednosti označuju se sa indeksom 0. Koristile su se formule:

$$\overline{L_0^*} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n L_0^*$$

$$\overline{a_0^*} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n a_0^*$$

gdje je n = broj
paralela ($n=3$)

$$\overline{b_0^*} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n b_0^*$$

$$\overline{c_0^*} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n c_0^*$$

$$\overline{h_0} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n h_0$$

Radi jednostavnosti $\overline{L_0^*}$, $\overline{a_0^*}$, $\overline{b_0^*}$ u daljnim koracima imenovati ćemo L_0^* , a_0^* , b_0^* .

Nakon svakog provedenog eksperimenta, šest je ploški izvađeno iz sušare i izmjerene su im L^* , a^* i b^* vrijednosti. Dobivene vrijednosti uvrstile su se u formulu (Mohammadi i sur., 2008; Guiné i Barroca, 2011; Sharma i Rodríguez-Pardo, 2012):

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}$$

$$\overline{\Delta E^*} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta E^*$$

gdje je n = broj
paralela ($n \leq 6$)

3.4.3. Izračun c^* i h vrijednosti

c^* i h vrijednosti izračunavaju se prema formulama (Mohammadi i sur., 2008; Guiné i Barroca, 2011; Sharma i Rodríguez-Pardo, 2012; Ismail i Kocabay, 2016):

$$c^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$h = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

3.4.4. Izračun indeksa smeđenja (BI)

Indeks smeđenja daje informaciju o nastanku smeđeg pigmenta i izračunava se prema formuli (Mohammadi i sur., 2008):

$$BI = \frac{100(x - 0,31)}{0,17}$$

$$x = \frac{(a^* + 1,75L^*)}{(5,645L^* + a^* - 3,012b^*)}$$

3.4.5. Izračun specifične energije

Snaga korištene sušare je 1200 W odnosno 1,2 kW. Količina električne energije potrebne u pojedinom procesu [kWh] je:

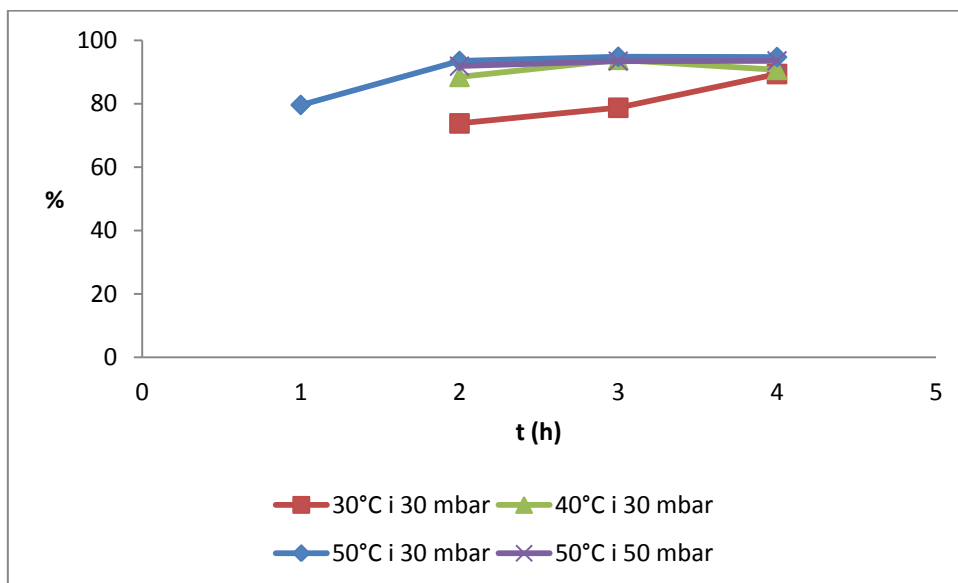
$$E = P * t \text{ gdje je } P \text{ snaga sušare [kW], a } t \text{ trajanje procesa [h]}$$

Pomoću E izračunata je i specifična energija koja je količina energije potrebna da ispari 1 kg vode pri određenim procesnim parametrima (Ismail i Kocabay, 2016):

$$E_{spec} = \frac{E}{\Delta m}$$

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Utjecaj vremena sušenja na vlažnost tikve



Slika 11. Graf ovisnosti vlažnosti tikve o vremenu sušenja

Iz priloženog se grafa vidi kako je gubitak vlage nakon četiri sata sušenja jednak bez obzira na uvjete pri kojima se sušenje odvijalo. Valja napomenuti da prilikom odabira temperature, tlaka i vremena sušenja, uz efikasnost sušenja treba uzeti u obzir i potrošnju energije.

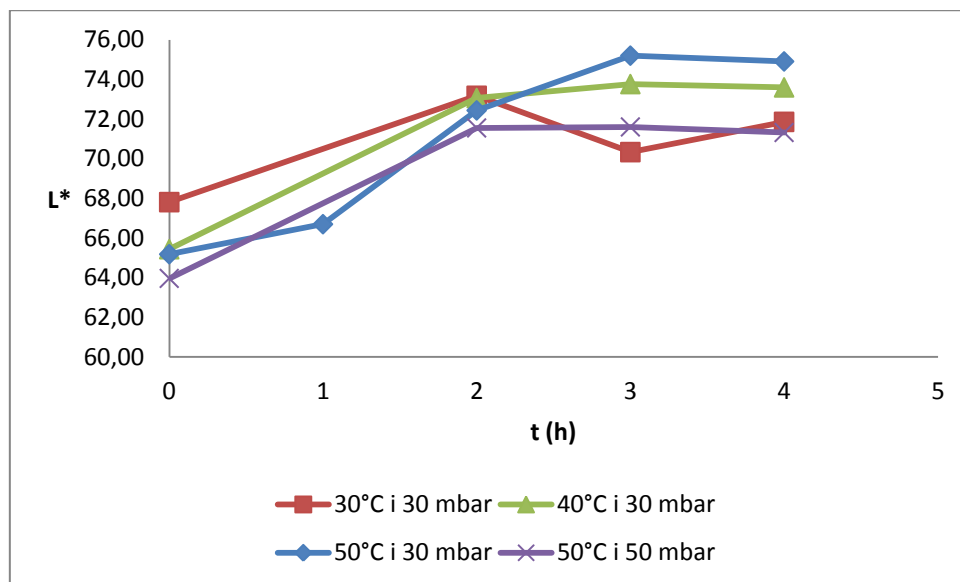
Što se tiče efikasnosti sušenja, najmanji gubitak vlage pokazalo je sušenje pri 30°C i 30 mbar u trajanju od 2 sata, tako da ti procesni parametri nisu dovoljno dobri za ovaj tehnološki proces.

Što se tiče parametara 40°C i 30 mbar te 50°C i 30 mbar oni prilikom trajanja procesa od 3 sata pokazuju približno jednaku efikasnost. Efikasnost sušenja na 40°C i 30 mbar u trajanju od 2 sata nešto je manja od one pri 50°C i 30 mbar u istom vremenskom periodu.

Naravno, uz efikasnost sušenja i količinu utrošene energije, valja uzeti u obzir i promjenu boje tikve kako posljedicu sušenja.

4.2. Određivanje boje

4.2.1. Određivanje parametra L^*



Slika 12. Graf ovisnosti L^* o vremenu sušenja

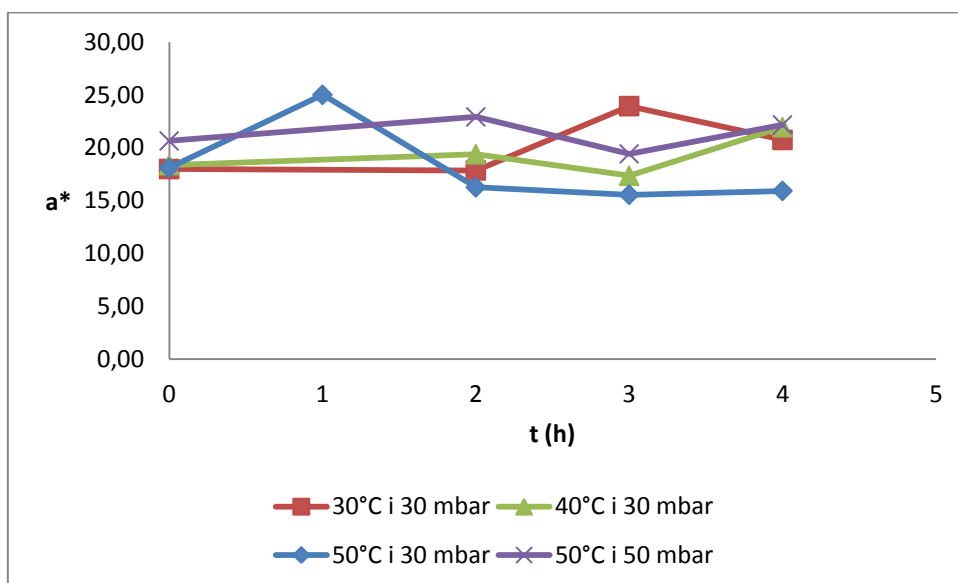
Porast L^* vrijednosti znači da se povećava svjetlina proizvoda (Sharma i Rodríguez-Pardo, 2012; de Mendonça i sur., 2016) što je posljedica smanjenja koncentracije karotenoida (Weinstein i sur., 2004).

Kada su parametri sušenja bili 30°C i 30 mbar, uočen je polagani rast L^* vrijednosti do 73,1767 u prva dva sata s obzirom na svježiji uzorak (67,8122). Zatim u idućih sat vremena uslijedio lagani pad do 70,3367 i zatim ponovni rast do 71,8617.

Pri parametrima sušenja 40°C i 30 mb i 50°C i 50 mbar L^* vrijednost se povećavala i dosegla svoj maksimum u drugom satu da bi nakon drugog sata ostala konstantna.

Pri 50°C i 30 mbar L^* vrijednost se povećavala do trećeg sata kada je postigla svoj maksimum. Dakle, većina se karotenoida iz tikve razgradila do trećeg sata u ovim uvjetima što potvrđuje najveća promjena L^* vrijednosti s obzirom na svježiji uzorak.

4.2.2. Određivanje parametra a^*



Slika 13. Graf ovisnosti a^* o vremenu sušenja

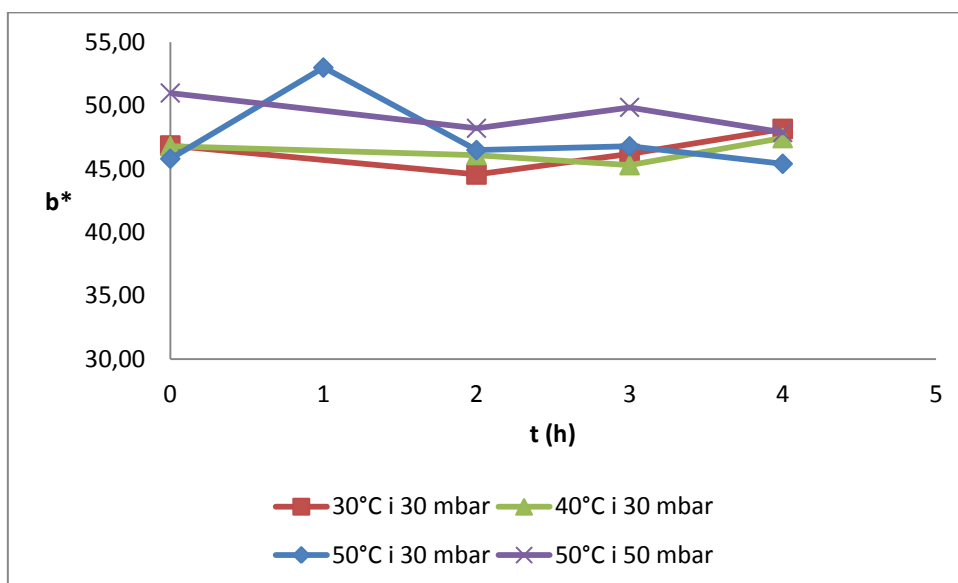
Porast a^* vrijednosti znači da je na crveno-zelenoj osi boja pomaknuta prema crvenoj strani (Sharma i Rodríguez-Pardo, 2012; de Mendonça i sur., 2016).

Pri 30°C i 30 mbar a^* je ostala konstantna do drugog sata. Zatim je počela rasti do trećeg sata – povećavala se koncentracija β -karotena, a još degradacija nije nastupila. Nakon trećeg sata je a^* počela padati jer se β -karoten počeo razgrađivati.

Pri 40°C i 30 mbar a^* je također ostala konstantna do drugog sata da bi zatim počela lagano padati između drugog i trećeg sata – počela je degradacija β -karotena. Iza trećeg sata je a^* vrijednost ponovno počela rasti. Ista se stvar dogodila i pri 50°C i 50 mbar. Razlog tog polaganog porasta može biti to da se pri tim uvjetima počeo razgrađivati i klorofil (Mohammadi i sur., 2008), pa se udio zelene boje smanjio što je doprinijelo da crvena boja preostalih karotenoida dođe do izražaja. U jednoj je studiji uočeno kako se denaturacija CCII (dimera iz protein-klorofil kompleksa) javlja između 40°C i 50°C (Lípová i sur., 2010).

Pri 50°C i 30 mbar a^* je rasla do prvog sata (kao što je i prije napomenuto, povećavala se koncentracija β -karotena, a još degradacija nije nastupila) da bi zatim pala između prvog i drugog – degradacija je započela. Od drugog do četvrtog sata a^* je bila konstantna što može značiti da se uz β -karoten počeo degradirati i klorofil (u protivnom bi a^* padala jer bi koncentracija zelenog pigmenta bila veća od koncentracije crvenog).

4.2.3. Određivanje parametra b^*



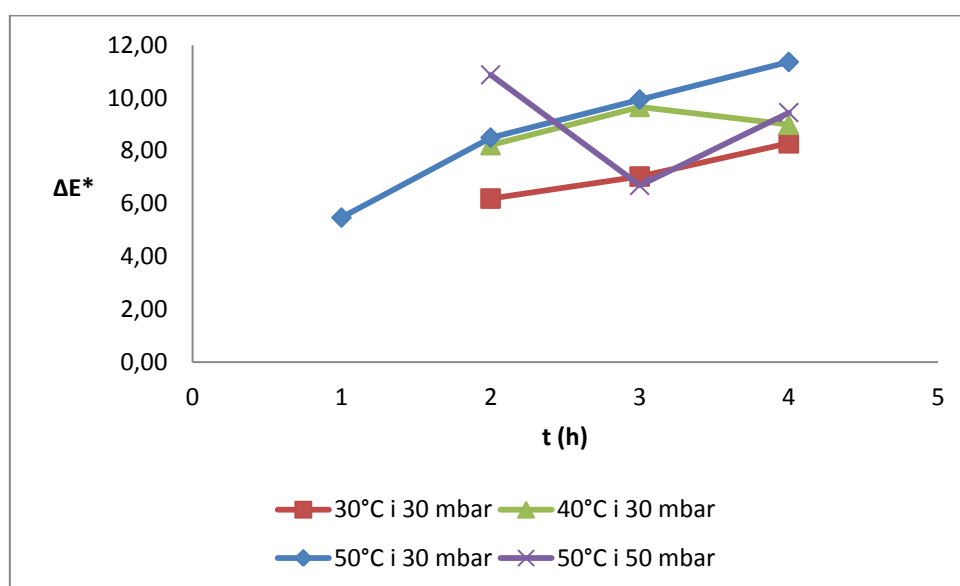
Slika 14. Graf ovisnosti b^* o vremenu sušenja

Iz priloženog se dijagrama vidi kako su promjene b^* vrijednosti kod 30°C i 30 mbar, 40°C i 30 mbar i 50°C i 50 mbar približno jednake. Razlog može biti taj da su pigmenti odgovorni za žutu boju (konkretno u slučaju tikve to su lutein, kriptoksantin, violaksantin i zeaksantin) stabilni pri tim uvjetima pa se nije dogodila degradacija žutog pigmenta.

Pri 50°C i 30 mbar vidimo da je došlo do porasta u b^* vrijednosti i razlog tomu može biti razgradnja plavog pigmenta poput antocijana. Antocijan je pigment koji daje narančastu do plavu boju i pri 50°C se raspada unutar četiri sata (Ma i sur., 2012). Zatim je b^* vrijednost počela opadati – znači da se počeo razgrađivati žuti pigment. Konkretno, prema jednom istraživanju nakon 200 minuta zagrijavanja na 45°C gubitak *cis*-violaksantina, luteina, zeaksantina i β -kriptoksantina bile su 30, 15, 20 i 10% (Hadjal i sur., 2012).

Promjena b^* vrijednosti s obzirom na svježi uzorak je na kraju četvrtog sata pri svim parametrima približno podjednaka.

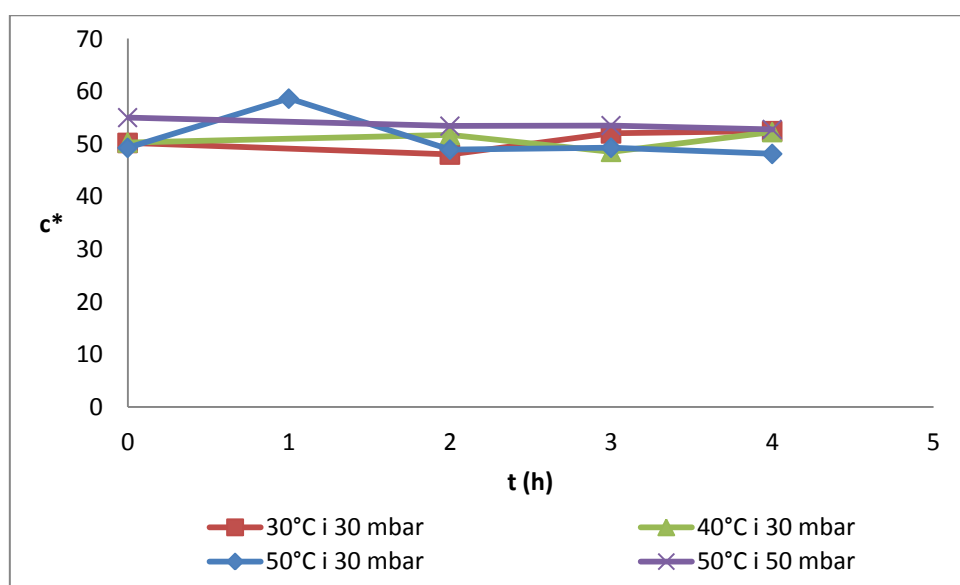
4.2.4. Određivanje promjene boje ΔE^*



Slika 15. Graf ovisnosti ΔE^* o vremenu sušenja

Iz priloženog se grafa vidi kako je najveću izmjerenu ΔE^* vrijednosti imao proces pri 50°C i 30 mbar u trajanju od 4 sata. Najmanja je izmjerena ΔE^* bila pri parametrima 50°C i 30 mbar u trajanju od 1 sata što znači da je pri tim uvjetima boja najviše očuvana. Boja je relativno dobro očuvana i pri procesnim parametrima od 30°C i 30 mbar u trajanju od 2 sata.

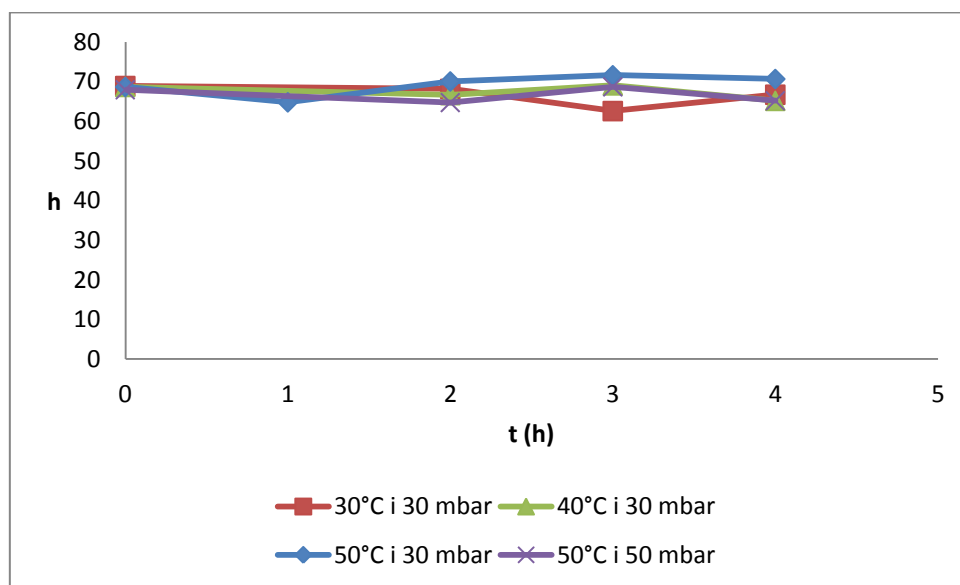
4.2.5. Određivanje parametra c^*



Slika 16. Graf ovisnosti c^* o vremenu sušenja

c^* vrijednost je pri svim parametrima sušenja ostala približno podjednaka, dakle, nije došlo do gubitka kvalitete boje (nije došlo do sivljenja odnosno dekolorizacije proizvoda). Iz toga se može zaključiti da sušenje u vakuum sušari neće djelovati negativno na čistoću boje proizvoda.

4.2.5. Određivanje parametra h



Slika 17. Graf ovisnosti h o vremenu sušenja

Parametar h je također tijekom cijelog sušenja ostao približno konstantan što je pozitivno jer to znači da nije došlo do promjene originalne boje tikve u potpuno drugu boju (npr. iz narančaste boje u plavu).

4.2.6. Određivanje indeksa smeđenja (BI)

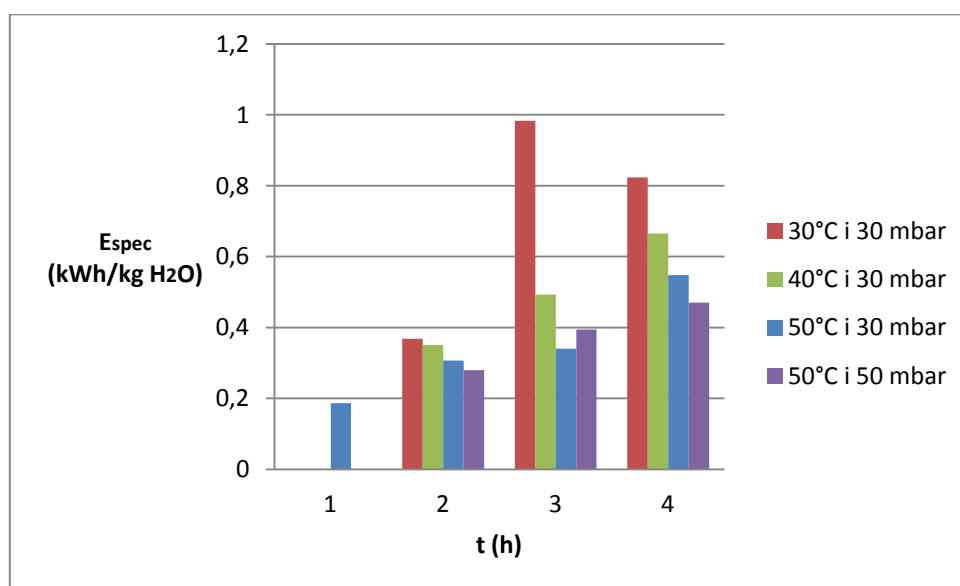
Tablica 2. Indeks smeđenja prilikom različitih procesnih parametara sušenja

Vrijeme (h)	Indeks smeđenja (BI)			
	30°C i 30 mbar	40°C i 30 mbar	50°C i 30 mbar	50°C i 50 mbar
0	127,1851	134,339	130,9953	159,4605
1	/	/	162,254	/
2	106,9167	113,2521	112,6609	127,0179
3	124,4414	107,3698	106,979	128,952
4	123,923	118,6911	103,9578	125,7672

Iz tablice je vidljivo da netretirani uzorak tikve ima relativno visok indeks smeđenja, a razlog tome je što se nakon berbe voća i povrća tijekom rukovanja događaju oksidacija i polimerizacija u smeđe pigmente (Tammana i Mahmood, 2014).

Samo neenzimsko smeđenje je ovisno o temperaturi (Soysal i sur., 2009). Sa povećanjem temperature, povećava se i indeks smeđenja (Tammana i Mahmood, 2014). To je i vidljivo iz priloženih rezultata prema kojima najveći indeks smeđenja pokazuje sušenje pri 50°C i 30 mbar te ono pri 50°C i 50 mbar. Povećani indeks smeđenja rezultat je tzv. Maillardove reakcije u kojoj pri višim temperaturama aminokiseline i šećeri reagiraju i daju produkte melanoidine koji posljedično rezultiraju u karakterističnom okusu i smeđoj boji (Tammana i Mahmood, 2014). Detaljniji prikaz Maillardove reakcije nalazi se u Prilogu.

4.3. Utrošak energije



Slika 18. Ovisnost potrošnje specifične energije o vremenu

Iz priloženog se grafa može vidjeti kako za isparavanje jednog kilograma vode, najveću potrošnju energije imaju procesni parametri od 30°C i 30 mbar. To znači da sušenje pri tim procesnim parametrima nije energetski najisplativije, usprkos efikasnosti sušenja i relativno dobro očuvanoj boji. Energetski najisplativije sušenje je ono pri 50°C i 30 mbar u trajanju od jednog sata, a pri tim uvjetima je i očuvanje boje optimalno.



Slika 19. Uzorci tikve osušeni pri različitim procesnim parametrima

Treba napomenuti da iako su uzorci uzeti od iste vrste tikve (*Cucurbita moschata*) razlog neuniformnog položaja netretiranog uzorka na y osi (tzv. slijepe probe) može biti posljedica vanjskih faktora kao što su heterogenost tikve (tikva nema potpuno jednak kemijski sastav u svakom svom dijelu), oksidacija na zraku ili truljenje.

5. ZAKLJUČAK

Koristeći sušenje u vakuumu pri relativno niskim temperaturama i u kratkom vremenskom periodu može se dobiti efektivno osušen proizvod. Iako su više temperature utjecale su na promjenu L^* , a^* , b^* , ΔE^* i indeksa smeđenja, samo sušenje u vakuumu pokazalo je relativno dobro očuvanje c^* i h vrijednosti koje su pri različitim uvjetima procesa bile gotovo konstantne. Indeks smeđenja pokazao je kako se Maillardova reakcija ubrzava pri višim temperaturama što dovodi do pojave smeđih mrlja koje narušavaju očuvanje boje proizvoda, ali i da se sam uzorak poslije berbe, a prije tehnološkog procesa treba zaštititi od oksidacije.

Sušenje pri višim temperaturama zahtijevati će manju potrošnju električne energije u svrhu isparavanja vode, a time će i troškovi procesa biti manji.

Nakon provedenih eksperimenata može se zaključiti kako je sušenje pri parametrima 50°C i 30 mbar u trajanju od jednog sata optimalno što se tiče efektivnosti sušenja, ali i očuvanja same boje. Dakle, relativno kratko vrijeme trajanje procesa smanjiti će deterioraciju kemijskog sastava proizvoda (Liu i sur., 2014), a i ukupnu potrošnju električne energije. Stoga se može zaključiti da je sušenje pri 50°C i 30 mbar u trajanju od jednog sata i ekonomski najisplativiji način da se zadovolji potražnja potrošača za proizvodom koji je vizualno privlačan, ukusan i nutritivan.

6. POPIS LITERATURE

1. Abuelgassim AO, Al-showayman SI (2011) The effect of pumpkin (*Cucurbita pepo* L) seeds and L-arginine supplementation on serum lipid concentrations in atherogenic rats. *African Journal of Traditional Complementary and Alternative medicines*. **9(1)**:131-137
2. ATTRA (2010) The National Sustainable Agriculture Information Service
<www.attra.ncat.org> Pristupljeno 30. srpnja 2017.
3. Burns, S., Cohen, J.B., Kuznetsov, E.N. (1990) The Munsell color system in fundamental color space
<www.researchgate.net/publication/227931200_The_Munsell_color_system_in_fundamental_color_space> Pristupljeno 13. kolovoza 2017.
4. Caili, F., Huan S., Quanhong L. (2006) A review of pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin. *Plant foods for Human Nutrition*. **61**: 73-80.
5. Cochrane, S. (2014) The Munsell Color System: A scientific compromise from the world of art. *Studies in History and Philosophy of Science* **47**: str. 26-41
6. de Mendonça K.S., Corrêa, J.L.G, de Jesus Junqueira J.R., Cirillo M.R., Figueira F.V., Nunes Carvalho E.E. (2017) Influences of convective and vacuum drying on the quality attributes
7. Dutta, D., Dutta, A., Raychaudhuri U., Chakraborty, R. (2006) Rheological characteristics and thermal degradation kinetics of beta-carotene in pumpkin puree *Journal of Food Engineering* **76**: 538-546
8. Earle, R.L. (1983) Unit operations in food processing, Chapter 7
<www.nzifst.org.nz/unitoperations/drying1.htm> Pristupljeno 30. srpnja 2017.
9. FAO (2017) Food and agriculture organization of the United Nations
<www.fao.org> Pristupljeno 30. srpnja 2017.

10. Giusti, M.M., Wrolstad R.E., Smith D.E. (2017) CIE Color Specifications Calculated from Reflectance or Transmittance Spectra u Nielsen, S.S.(2017) Food Analysis Laboratory Manual, Food Science Text Series, Springer International Publishing, Poglavlje 27, str. 219-222
11. Gouras, P. (2009) Color vision
<www.webvision.med.utah.edu/book/part-vii-color-vision/color-vision> Pristupljeno 13. kolovoza 2017.
12. Guiné R.P.F, Barroca, M.J. (2012) Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper) *Food and bioproducts processing* **90**: 58–63
13. Hadjal, T., Dhuique-Mayer, C., Madani, K., Dornier, M., Achir, N. (2012) Thermal degradation kinetics of xanthophylls from blood orange in model and real food systems. *Food Chemistry* **138(4)**: 2442-2450
14. Harvey, D. (2000) Modern Analytical Chemistry, The McGraw-Hill Companies, Inc. str. 368-449
15. Isaboke H. N., Mshenga P., Saidi M. (2012) The Effect of Butternut Squash (*Cucurbita moschata*) on the Incomes of the Small-Holders in Suba District, Kenya. *Asian Journal of Agricultural Sciences* **4(5)**: 319-324
16. İsmail O., Kocabay Ö. G. (2016) Evaluation of the drying methods and conditions with respect to drying kinetics, colour quality and specific energy consumption of thin layer pumpkins *Bulgarian Chemical Communications* **48(3)**: 480– 491
17. Jafarian A., Zolfaghari B., Parnianifard M. (2012) The effects of methanolic, chloroform, and ethylacetate extracts of the *Cucurbita pepo* L. on the delay type hypersensitivity and antibody production. *Research in Pharmaceutical Sciences* **7(4)**:217-224.
18. Kudra T., Mujumdar A.S. (2009), Advanced Drying Technologies, 2. izd., CRC Press Taylor & Francis Group, LLC, str. xi, 161., 214.

19. Lípová L., Krchňák P., Komenda J., Ilík P. (2010) Heat-induced disassembly and degradation of chlorophyll-containing protein complexes in vivo. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics* **1797**(1): 63-70

20. Liu, Y., Wu, J., & Miao, S. (2014). Effect of a modified atmosphere on drying and quality characteristics of carrots. *Food and Bioprocess Technology* **7**(9): 2549–2559.

21. Ma C., Yang L., Yang F., Wang W., Zhao C., Zu, Y. (2012) Content and Color Stability of Anthocyanins Isolated from *Schisandra chinensis* Fruit. *International Journal of Molecular Sciences* **13**(11): 14294–14310

22. Mohammadi, A., Rafiee, S., Emam-Djomeh Z., Keyhani A. (2008) Kinetic Models for Colour Changes in Kiwifruit Slices During Hot Air Drying. *World Journal of Agricultural Sciences* **4** (3): 376-383

23. Nagao A. (2004) Oxidative Conversion of Carotenoids to Retinoids and Other Products *Journal of Nutrition* **134**: 237-240

24. Nawirska A, Figiel A, Kucharska A.Z, Sokoł-Łętowska A., Biesiada A. (2009) Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods. *Journal of Food Engineering* **94**:14–20

25. Nishimura M., Ohkawara T., Sato H., Takeda H., Nishihira J. (2014) Pumpkin Seed Oil Extracted From *Cucurbita maxima* Improves Urinary Disorder in Human Overactive Bladder. *Journal of Traditional and Complementary Medicine* **4**(1):72-74.
of osmo-dried pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) slices. *Food Chemistry* **224**: 212–218

26. Öztekin S; Bascetincelik A; Soysal Y (1999). Crop drying programme in Turkey. *Renewable Energy* **16**: 789–794

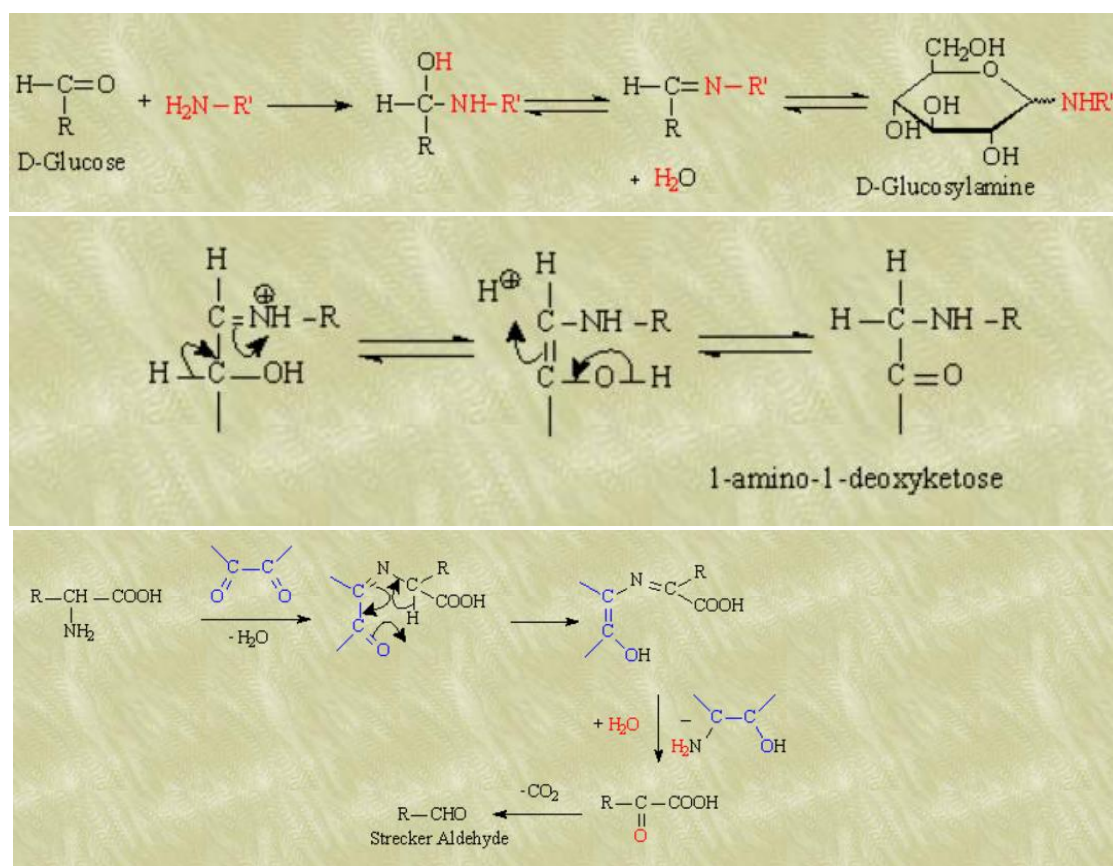
27. Parikh, D. (2015) Vacuum Drying: Basics and Application *Chemical Engineering*
<www.researchgate.net/publication/283088611_Vacuum_Drying_Basics_and_Application>
Pristupljeno 03. kolovoza 2017.
28. Paris H. (2010) Horticultural Reviews, Volume 25, 71-170
<www.researchgate.net/publication/230343706_Horticultural_Reviews_Volume_25>
Pristupljeno 30. srpnja 2017.
29. Pénicaud C., Achir N, Dhuique-Mayer, C., Dornier M., Bohuon P. (2011) Degradation of β -carotene during fruit and vegetable processing or storage: Reaction mechanisms and kinetic aspects: A review, *Fruits*, **66**: 417-440
30. Provesi J.G., Amante E.R. (2015) Carotenoids in Pumpkin and Impact of Processing Treatments and Storage u Preedy, V. (2015) Processing and Impact on Active Components in Food, Poglavlje 9, str. 71-80
31. Provesi, J.G., Dias, C.O., Amboni, R.D.M.C., Amante E.R. (2012) Characterization and stability of quality indices on storage of pumpkin (*Cucurbita moschata* and *Cucurbita maxima*) purees. *Int.J. Food Sci. Technol.* **47**: 67-74.
32. Rao, A.V., Rao, L.G. (2007) Carotenoids and human health. *Pharmaceutical Research* **55**: 207–216
33. Robertson A. (1992) Color perception. *Physics today* **45(12)**: 24-29
34. Sharma G., Rodríguez-Pardo C.E. (2012) The Dark Side of CIELAB
<https://www.researchgate.net/publication/228518447_The_dark_side_of_CIELAB>
Pristupljeno 05. kolovoza 2017.
35. Skoog D.A., West D.M., Holler F.J. (1999) Osnove analitičke kemije, 6. izdanje, Školska knjiga d.d., str. 489-540

36. Soysal, Y., Ayhan Z., Eştürk O., Arikan M.F. (2009) Intermittent microwave–convective drying of red pepper: Drying kinetics, physical (colour and texture) and sensory quality *Biosystems engineering* **103**: 455-463
37. Tamanna N., Mahmood N. (2014) Food Processing and Maillard Reaction Products: Effect on Human Health and Nutrition. *International Journal of Food Science* **2015**: 1-6
38. USC (2000) School of Medicine, University of South Carolina
<http://dba.med.sc.edu/price/irf/Adobe_tg/models/cielab.html> Pristupljeno 07. kolovoza 2017.
39. USC (2000) School of Medicine, University of South Carolina
<http://dba.med.sc.edu/price/irf/Adobe_tg/models/rgbcmy.html> Pristupljeno 07. kolovoza 2017.
40. Usha R., Lakshmi M., Ranjani M. (2010) Nutritional, Sensory and Physical Analysis of Pumpkin Flour Incorporated into Weaning Mix *Malaysian Journal of Nutrition* **16(3)**: 379 - 387
41. Vo, K. (2015) Spectrophotometry
<https://chem.libretexts.org/Core/Physical_and_Theoretical_Chemistry/Kinetics/Reaction_Rates/Experimental_Determination_of_Kinetics/Spectrophotometry> Pristupljeno 05. kolovoza 2017.
42. Weinstein S.J., Vogt T.M., Gerrior, S.A. (2004) Healthy eating index scores are associated with blood nutrient concentrations in the third National Health and Nutrition Examination Survey. *Journal of the American Dietetic Association* **104(4)**:576-584

7.1. Detaljniji kemijski sastav tikve

< <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/3188?fgcd=&manu=&lfacet=&format=&count=&max=50&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=butternut&ds=&qt=&qp=&qg=&qn=&q=&ing=> => pristupljeno 13.kolovoza 2017.

7.2. Maillardova reakcija



<<http://www.chm.bris.ac.uk/webprojects2002/rakotomalala/maillard.htm>> pristupljeno 13.kolovoza 2017.

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mog rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

Marko Jovanović

ime i prezime studenta