

Praćenje promjene dimenzija i boje čajnog peciva s dodatkom pljevice pira računalnom analizom slike

Vukas, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:109:609615>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Tomislav Vukas

**PRAĆENJE PROMJENE DIMENZIJA I BOJE ČAJNOG PECIVA S
DODATKOM PLJEVICE PIRA RAČUNALNOM ANALIZOM SLIKE**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan, 2019.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za prehrambene tehnologije
Katedra za tehnologije prerade žitarica
Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

Diplomski sveučilišni studij Prehrambeno inženjerstvo

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija
Nastavni predmet: Tehnologija proizvodnje tjestenine i keksarskih proizvoda
Tema rada je prihvaćena na IX. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2018./2019. održanoj 27. lipnja 2019.
Mentor: prof. dr. sc. *Daliborka Koceva Komenić*
Komentor: Izv. prof. dr. sc. *Jasmina Lukinac Čačić*
Pomoć pri izradi: prof. dr.sc. *Marko Jukić*

Praćenje promjene dimenzija i boje čajnog peciva s dodatkom pljevice pira računalnom analizom slike
Tomislav Vukas, JMBAG: 0113137138

Sažetak: Cilj diplomskog rada je ispitivanje utjecaja različitih udjela pljevice pira na promjenu dimenzija (promjera, visine te faktora širenja) te parametre boje čajnog peciva pomoću računalne analize slike. Ispitivanje se provodilo s dodacima pljevice pira u udjelima 5%, 10% i 15%, a navedene smjese su se koristile za izradu čajnog peciva prema standardnoj AACC metodi 10- 50D. Rezultati promjene dimenzija te boje čajnog peciva prikazani su grafički i tablično. Računalna analiza slike pokazala se kao objektivna, uspješna i primjenjiva metoda za određivanje boje te promjene fizikalnih svojstava čajnog peciva kontinuirano tijekom procesa pečenja. Ukupna promjena boje bila je jasno uočljiva za ljudsko oko te su veće vrijednosti izmjerene su kod uzoraka od pšeničnog brašna, u odnosu na one s dodatkom pljevice pira. Nadalje, nisu zabilježene statistički značajne promjena fizikalnih svojstava (širine, visine i faktora širenja) analiziranih uzoraka čajnog peciva s dodatkom pljevice pira.

Ključne riječi: čajno pecivo, pljevica pira, promjena dimenzija, boja, računalna analiza slike

Rad sadrži: 45 stranica
20 slika
7 tablica
0 priloga
35 literaturnih referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:

1.	prof. dr. sc. <i>Marko Jukić</i>	predsjednik
2.	prof. dr. sc. <i>Daliborka Koceva Komlenić</i>	član-mentor
3.	Izv. prof. dr. sc. <i>Jasmina Lukinac Čačić</i>	član-komentor
4.	prof. dr. sc. <i>Mirela Planinić</i>	zamjena člana

Datum obrane: 13. rujna 2019.

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku 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 Technology
Subdepartment of grain processing technologies
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

Graduate program Food Engineering

Scientific area: Biotechnical sciences

Scientific field: Food technology

Course title: Technology of pasta and biscuit production

Thesis subject was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session IX. held on Jun 27, 2019.

Supervisor: *Daliborka Koceva Komlenić*, PhD, full professor

Co-supervisor: *Jasmina Lukinac Čačić*, PhD, associate professor

Technical assistance: *Marko Jukić*, PhD, full professor

Tracking the Changes in the Dimensions and the Colour of Tea Biscuits with Added Spelt Husks Using Computer Image Analysis

Tomislav Vukas, JMBAG: 0113137138

Summary: The aim of this research was to investigate the effect of replacing part of wheat flour with different spelt husks (in addition of 5, 10 and 15%). Cookies were produced according to the AACC (American Association of Cereal Chemists) 10-50D method. To determine the colour change and changes in the samples dimensions, digital image analysis were used. Results of the samples colour and dimensions changes are shown graphically and in tables. The obtained results showed that digital image analysis method is an objective, efficient and applicable method for determining the colour change and the physical properties of tea biscuits continuously during the baking process. The total colour difference was noticeable to the human eye. Higher values of total colour difference were measured in wheat flour samples, compared to those with the addition of spelt husks. Furthermore, no statistically significant changes in the physical properties (width, height, and spread rate) of the analysed tea biscuits with the addition of a spelt husks.

Key words: biscuit, spelt husks, changes in dimensions, colour, computer image analysis

Thesis contains: 45 pages
20 figures
7 tables
0 supplements
35 references

Original in: Croatian

Defence committee:

- | | |
|--|---------------|
| 1. <i>Marko Jukić</i> , PhD, associate professor | chair person |
| 2. <i>Daliborka Koceva komlenić</i> , PhD, full professor | supervisor |
| 3. <i>Jasmina Lukinac Čačić</i> , PhD, associate professor | co-supervisor |
| 4. <i>Mirela Planinić</i> , PhD, full professor | stand-in |

Defence date: September 13, 2019

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

Diplomski rad je izrađen u okviru projekta Hrvatske zaklade za znanost: "Razvoj održivog integriranog procesa proizvodnje biološki aktivnih izolata iz proizvodnih ostataka prehrambene industrije" (POPI-WinCEco) (IP-2018-01-1227)

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO	3
2.1. Pir	4
2.1.1. Bc Vigor	7
2.2. ČAJNO PECIVO	8
2.2.1. Podjela čajnih peciva	8
2.2.2. Sirovine za proizvodnju čajnog peciva	9
2.3. BOJA	12
2.4. PROSTOR BOJA	15
2.4.1. RGB prostor boja	15
2.4.2. CIEL*a*b* prostor boja.....	16
2.5. RAZVOJ BOJE NA POVRŠINI ČAJNOG PECIVA	17
2.6. ODREĐIVANJE BOJE PEKARSKIH PROIZVODA.....	17
2.7. SUSTAV ZA RAČUNALNU ANALIZU SLIKE.....	18
2.7.1. Rasvjeta	18
2.7.2. Fotoaparati	18
2.7.3. Skener	18
2.7.4. Računalo	19
3. EKSPERIMENTALNI DIO	20
3.1. Zadatak	21
3.2. Materijali	21
3.3. METODE.....	21
3.3.1. Mjerenje boje čajnog peciva računalnom analizom slike	22
Transformacija (konverzija) boja iz jednog u drugi model boja.....	25
Ukupna promjena boje (CIE76, 1976).....	26
3.3.2. Mjerenje fizikalnih svojstava čajnog peciva računalnom analizom slike	27
3.3.3. Statistička obrada rezultata	30
4. REZULTATI I RASPRAVA	31
4.1. Rezultati mjerenja promjene boje čajnog peciva	32
4.2. Rezultati mjerenja fizikalnih svojstava čajnog peciva	37
5. ZAKLJUČCI.....	40
Zaključci	41
6. LITERATURA	42

1. UVOD

Upotreba nusproizvoda prehrambene industrije u proizvodnji novih proizvoda sve je češća pojava. Nusproizvodi se mogu dodavati radi poboljšanja određenih karakteristika proizvoda. To omogućuje kompanijama smanjenje ekonomskih gubitaka uzrokovanih nastankom nusproizvoda i njihovim zbrinjavanjem, jer ih mogu inkorporirati u novi proizvod.

U ovom radu nastojat će se proizvesti čajno pecivo s dodatkom pljevice pira, koja je nusproizvod prerade žitarica. Pratit će se utjecaj dodatka samljevene pljevice pira u različitim udjelima. Na uzorcima čajnog peciva analizirat će se promjena boje i dimenzija tijekom pečenja primjenom metode računalne analize slike.

Boja je bitan čimbenik pri odabiru proizvoda od strane potrošača jer je vizualni doživljaj prvi dojam koji potrošač stvara o proizvodu. Promjena boje je ujedno indikator promjena u proizvodu, koje mogu biti negativne ili pozitivne, a posljedice su prerade i kvarenja hrane. Tijekom pečenja čajnog peciva pojava smeđe boje smatra se poželjnim svojstvom, a nastaje kao posljedica neenzimskog posmeđivanja. Procesni parametri kao što su temperatura i vrijeme pečenja utječu na brzinu razvoja boje na površini čajnog peciva. Postoji i mogućnost nastanka nepoženjenih spojeva koje će negativno utjecati na boju proizvoda, stoga je bitno pratiti i optimizirati parametre prilikom pečenja.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Pir

Pravi pir ili krupnik jedna je od najstarijih kultiviranih biljaka i bliski je srodnik običnoj pšenici. Jednogodišnja je biljka, koja spada u porodicu *Poacea* (trave), potporodicu *Pooideae* (klasate trave) te rod *Triticum* (pšenica) (Mlinar i Ikić, 2012). Potječe iz Azije i ima dugu povijest uzgoja. U početku uzgoj ove žitarice bio je ograničen na područja visoke nadmorske visine, jer većina ostalih žitarica se tamo nije mogla uzgajati. Osvješćenjem potrošača o potrebi zdrave ishrane dobiva na većoj važnosti i proizvodnja pira se raširila. Pogodan je za ekološku proizvodnju zbog otpornosti na uobičajene bolesti žitarica. Pir je vrlo prilagodljiv različitim uvjetima, ali u odnosu na pšenicu daje znatno manji prinos. Za razliku od ostalih žitarica ima sposobnost stvaranja velikog broja novih izdanaka. Pirova stabljika je šuplja i glatka, a može narasti do metar i pol visine. Na njoj rastu dugi, uski i glatki tamno zeleni listovi. Pravi pir ubrajamo u kulturne pljevičaste forme s lomljivim klasnim vretenom na kojem se nalaze klasića s 3 - 5 cvjetova od kojih su samo donja dva cvijeta fertilna, te će se iz njih razviti dva zrna. Strukturu klasića čine čvrste, grube i sjajne pljeve zajedno s nježnim, tankim i svijetlim unutrašnjim pljevicama (*palea inferior*) i košuljica (*palea superior*). Čvrste i široke pljeve štite cvjetne organe, kao i zrno koje će se kasnije razviti. U pljevicama je prisutan visok sadržaj silicijeve kiseline koja štiti ovu žitaricu od napada gljivičnih bolesti i štetnika. Zbog stanjivanja tkiva članci klasnog vretena u fazi pune zriobe se lako lome i odvajaju (Mlinar i Ikić, 2012).



Slika 1. Pir

Prilikom žetve zrna ne ispadaju iz pljevice, a kasnije u fazi pune zriobe se od njih lako odvajaju. Zrno obavijeno pljevicama otpornije je na bolesti i štetnika. Pljevice sa zrna pira se uklanjaju neposredno prije mljevenja u brašno, kako bi se sačuvale hranjive vrijednosti i zadržala svježina. Uklanjanje pljevica provodi se brušenjem pomoću trenja te primjenom jake centrifugalne sile, pri čemu zrno udara o tvrdu podlogu i tako se oslobađa. Efikasnost ovih postupaka iznosi 60-70 % oljuštenog zrna od ukupne mase pljevičastih plodova ([Radat, 2016](#)).



Slika 2. Pir nakon vršidbe

Uključivanje pravog pira u ekološku proizvodnju moguće je povećati različitost žitarica u ljudskoj prehrani. Jedinstvena kemijska i reološka svojstva pira pridonose povećanju nutritivnih vrijednosti prehrambenih proizvoda. [Bojnanska i Frančakova \(2002\)](#) analizom pet različitih kultivara pravog pira utvrdili su visok sadržaj hranjivih tvari i to bjelančevina 12.5 – 19.5 %, vlažnog glutena 30.6 – 51.8 % i škroba 46.07 – 67.4 %. Sadržaj vitamina i minerala pira dan je u tablici 1.

Tablica 1. Sadržaj vitamina i minerala u zrnu pira (mg/kg) i preporučene dnevne količine (RDA) (Radat, 2016)

Sastav	Sadržaj	RDA (%)
Minerali		
Fosfor	401	57
Kalij	388	8
Kalcij	27	3
Magnezij	136	38
Željezo	4.44	34
Mangan	3.0	143
Cink	3.28	35
Vitamini		
Tiamin (B1)	0.364	32
Riboflavin (B2)	0.113	9
Niacin (B3)	6.843	46
Piridoksin (B6)	0.230	18
Tokoferol (E)	0.790	5

2.1.1. Bc Vigor

Bc Vigor je prvi domaći kultivar pravog pira. Kreiran je u Bc institutu za oplemenjivanje i proizvodnju bilja d.d. Zagreb metodom masovne selekcije domaćih genotipova. Na sortnu listu 2012. godine upisan je rješenjem Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodnog gospodarstva. Klas ovog kultivara rahle je strukture, gladak, blijedo crvene boje bez sjaja, sužen je na oba kraja, a u potpunoj zriobi savinut prema dolje. Ima visok potencijal rodnosti i uspješno se uzgaja u različitim proizvodnim uvjetima. Kultivar Bc, kao i pravi pir posjeduje izuzetnu otpornost na niske temperature i brz proljetno porast. Strukturu klasića čine slobodna zrna (pšena) 68 - 79 % i pljeva 21 – 32 %. Prosječan prinos Bc Vigora je 5.002 kg/ha što je više od standarda čiji prinos iznosi 4.895 kg/ha. Uzorak brašna Bc Vigora sadržavao je 0.77 % pepela, 59,2 % vlažnog te 18,6 % suhog glutena (Mlinar i Ikić, 2012).



Slika 3. Bc Vigor u punoj zriobi

2.2. ČAJNO PECIVO

Čajno pecivo je proizvod dobiven pečenjem oblikovanog tijesta, a sadrži najmanje 10 % masnoće i najviše 5 % vode, računato na ukupnu masu gotovog proizvoda ([Pravilnik NN 81/16](#)). Spada u skupinu finih pekarskih proizvoda.



Slika 4. Čajno pecivo (Web 1)

2.2.1. Podjela čajnih peciva

Prema udjelu masnoće čajna peciva se dijele u tri kvalitetne skupine:

1. Desertna čajna peciva s najmanje 20 % masnoća*
2. Čajna peciva prve kvalitete s najmanje 15 % masnoća*
3. Čajna peciva druge kvalitete s najmanje 10 % masnoća* ([Koceva Komlenić i Jukić, 2018](#))

*Udio masnoće se računa na gotov proizvod s najviše 5 % vode

Prema sastavu i svojstvima sirovina te prema načinu obrade i oblikovanja čajna peciva dijele se na :

1. Prešano
2. Sječeno
3. Oblikovano (formirano)
4. Istisnuto (dresirano) ([Koceva Komlenić i Jukić, 2018](#))

2.2.2. Sirovine za proizvodnju čajnog peciva

Sirovine za proizvodnju čajnog peciva mogu se podijeliti u dvije skupine (osnovne i dodatne). Osnovne sirovine čine brašno, voda, masnoće i šećeri. Dodatne sirovine podrazumijevaju dodatak sredstava za narastanje, aditiva, jaja, meda, soli, pekarskog kvasca. Od dodatnih sirovina najvažniju ulogu imaju sredstva za narastanje tijesta. Njihovom primjenom mijenja se pH sredine tijesta, kao i formirana struktura proizvoda tijekom pečenja (Gavrilović, 2003).

Tijesto za čajno pecivo može se umijesiti u tvrdi ili meki zamjes, ovisno o količini dodane vode prilikom zamjesa. Tvrdi zamjes sadrži veću količinu vode i manju količinu masnoće i šećera, dok se u meki zamjes dodaje manja količina vode i veća količina šećera i masnoća.

2.2.2.1. Brašno

Najčešće korišteno brašno u proizvodnji čajnih peciva je pšenično brašno T-400 i T-550. Najzastupljenija komponenta pšeničnog brašna je škrob, a njegov udio ovisi o količini škroba u pšenici te o stupnju izmeljavanja. Za ocjenu tehnološke kvalitete brašna od primarnog je značenja količina i kvaliteta glutena. Gluten je protein kojeg formiraju glijadin i glutenin, a njihov međusobni odnos određuje kvalitetu glutena. U proizvodnji čajnih peciva koriste se slaba brašna s nižim udjelom glutena (23 do 25 % vlažnog glutena). Tijesto od ovog brašna nije čvrsto povezano, brzo omekšava i postiže odgovarajuća plastična svojstva (Hrg, 2015).

Lipidi, iako su slabo zastupljeni (1,5 - 2,5 %), imaju veliki značaj za tehnološku kvalitetu brašna. Gradeći kompleksne spojeve sa škrobom tijekom termičke obrade tijesta uvelike utječu na konzistenciju tijesta. Osim toga povoljno utječu na gluten koji pri tome zadržava više plinova u tijestu što uzrokuje veći volumen i bolju strukturu proizvoda.

Vitamini i minerali imaju samo nutritivnu ulogu, stoga tamnija brašna od cjelovitog zrna imaju veću biološku vrijednost (Kent i Evers, 2013).

2.2.2.2. Šećer

Najznačajniji šećer u proizvodnji keksarskih proizvoda je saharoza. Ona daje okus slatkoće, a osim toga utječe na teksturu i strukturu proizvoda te na viskoznost tijesta. Pri zamjesu saharoza pridonosi smanjenju osmotske aktivnosti vode, što dovodi do sporijeg bubrenja glutena, a samim time i sporijeg oblikovanja tijesta. O količini dodanog šećera ovisit će tvrdoća, svježina (hrskavost), boja i volumen čajnog peciva (Hoseney, 1994). Tijekom pečenja ostatak neotopljenog šećera se otapa i to doprinosi širenju čajnog peciva. Hoseney (1994) smatra da tijekom pečenja rekristalizacija saharoze uzrokuje tipične površinske pukotine. Sa anorganskim solima i organskim spojevima saharoza daje spojeve koji su topljiviji od saharoze te sprječavaju njenu kristalizaciju (Šubarić i sur, 2011).

2.2.2.3. Masnoće

Masnoće koje se koriste u prehrambenoj industriji mogu biti prirodne, emulgirane ili hidrogenirane. Mogu biti životinjskog i biljnog podrijetla, a po kemijskom sastavu masnoće se dijele na tvrde (masti), tekuće (ulja) te masnoće mazive konzistencije. Zasićene masne kiseline, kao što su palmitinska i stearinska, prevladavaju u sastavu masti, dok su u uljima nezasićene, od kojih je najčešće prisutna oleinska. U tijestu za čajno pecivo mast je raspodijeljena u tankim slojevima gdje se preko hidrofobnih veza povezuje s proteinima brašna. Također, mast u tijestu dolazi u kontakt sa enzimima brašna. kiselinama, sredstvima za narastanje i drugim sirovinama, kao i s vodom u manjoj ili većoj količini (Gavrilović, 2003). Masti su odgovorne za plastična svojstva tijesta i sposobnost apsorpcije mjehurića zraka. Porastom temperature tijekom zamjesa, ukoliko mast nije dovoljno plastična ona će se otopiti, što će se negativno odraziti na hidrataciju. Najčešća masnoća korištena u keksarskoj industriji je biljna mast, dok je maslac najcjenjenija.

2.2.2.4. Voda

Tijekom proizvodnje keksarskih proizvoda voda koja se koristi mora biti bez boje, okusa i mirisa. U sastavu tijesta voda može biti prisutna u vezanom ili slobodnom obliku. Vezana voda se nalazi u sastavu glutena, dok kapilarnu vodu prima škrob. Visoko – elastična svojstva tijesta ovise o udjelu slobodne vode (Gavrilović, 2011).

2.2.2.5. Sredstva za narastanje

Sredstva za narastanje koja se mogu koristiti u prehrambenoj industriji dijele se na kemijska i biokemijska. Biokemijsko sredstvo za narastanje je pekarski kvasac, no češće se upotrebljavaju kemijska sredstva kao što su amonijev hidrogenkarbonat i natrijev hidrogenkarbonat. Pekarski kvasac koristi se u svježem stanju (oko 70 % vode) ili u suhom aktivnom obliku (Kent i Evers, 1994). Tijekom fermentacije kvasac razgrađuje šećer do vode i CO₂, koji je odgovoran za narastanje tijesta. Kemijska sredstva utječu na promjenu pH sredine tijesta, sprječavaju ljepljivost tijesta i zbog toga je moguće stanjivanje tijesta tijekom mehaničke obrade.

2.2.2.6. Sol

Kuhinjska sol je bezbojni kristal. Osim zbog okusa, dodaje se radi učvršćivanja glutena. Može se dodavati na dva načina; u suhom obliku ili kao vodena otopina (sol otopljena u vodi potrebnoj za zamjes)(Kent i Evers, 1994).

2.2.2.7. Otopina glukoze

Dodaje se radi omekšavanja i smanjenja krutosti finih pekarskih proizvoda, sprječava otvrdnjivanje šećera te ubrzava posmeđivanje tijekom pečenja (Koceva Komlenić i Jukić, 2018).

2.3. BOJA

Osjet boje predstavlja psihofizički doživljaj koji ovisi o izvoru svjetla, psihološkim i fiziološkim uvjetima promatrača i karakteristikama objekta koji se promatra. Boja je često svojstvo prehrambenih proizvoda koje se prvo uočava i direktno pretvara u pozitivan ili negativan predznak ukupne kvalitete proizvoda.

Doživljaj boje ovisan je o tri faktora:

- spektralnom sastavu svjetla koje pada na promatrani predmet
- molekularnoj strukturi materijala s kojeg se svjetlo reflektira ili koje ga propušta
- čovjekovim osjetom boje kroz oči i mozak (Lukinac Čačić, 2012).

Percepcija boje u ljudskom oku je reflektirana svjetlost s površine promatranog objekta, zbog čega je karakteriziranje svjetlosti izuzetno bitno za znanost o bojama i njihovo korištenje u računalnom vidu (Filko, 2013).

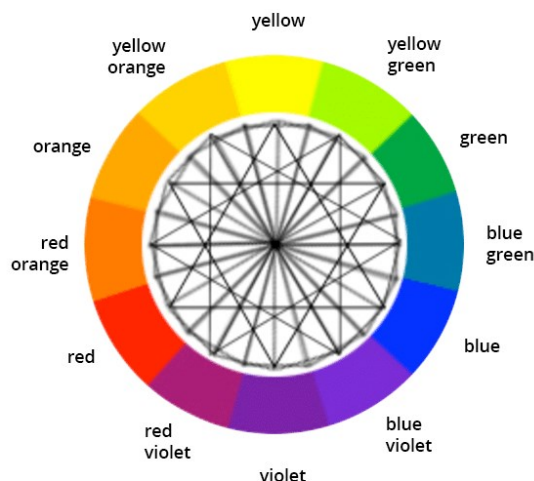
Ukupnu svjetlost ili dio svjetlosti koja pada na površinu osvijetljenog objekta, ovisno o prirodi i geometriji njegove površine, objekt reflektira, apsorbira ili propušta. Ljudskom oku vidljiv je elektromagnetski spektar valnih duljina 380 - 770 nm (Hsien-Che, 2005 ; Pomeranz i Melan, 1994).

Svaka boja je definirana pomoću tri atributa :

- ton boje ili tonalnost boje (engl. hue)
- zasićenost ili saturacija (engl. saturation)
- svjetlina ili luminancija (engl. lightness) (Lukinac Čačić, 2012).

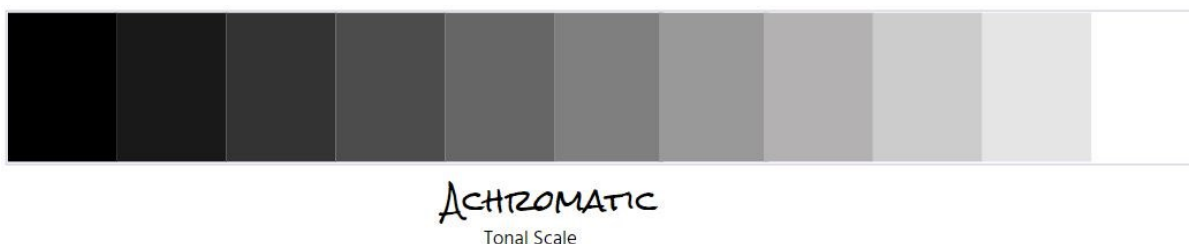
Ton boje označava vrstu boje koja je definirana kao kromatska kvaliteta boje, odnosno kvaliteta kojom se jedna boja razlikuje od druge. Poprima vrijednost od 0° do 360° na kružnoj paleti boja, gdje se crvena boja nalazi na 0° (ili 360°), zelena na 120°, a plava na 240°.

Da bi se objasnili pojmovi zasićenosti i svjetline, potrebno je podijeliti boje u dvije osnovne skupine. U prvoj skupini nalaze se prave, odnosno kromatske boje, a to su crvena, narančasta, žuta, plava, zelena itd. Kromatske boje prikazane su na slici 5.



Slika 5. Kromatske boje (Web 2)

Druga skupina boja naziva se akromatskim bojama ili nebojama i čini skalu od crne, preko sive do bijele. Na slici 2 prikazane su akromatske boje.



Slika 6. Akromatske boje (Web 3)

Svjetlina je osobina kromatske boje koja je usporediva sa svjetlinom akromatske boje. Izražava se u postotcima od 0 - 100 %, prilikom čega vrijednost od 0 % će dati crnu boju, a 100 % bijelu boju. Slika 7 prikazuje svjetlinu boje.



Slika 7. Svjetlina boje (Web 4)

Zasićenost boje je stupanj čistoće boje, koji se određuje udjelom akromatskih boja u kromatskim bojama. Kao i svjetlina boje, zasićenost se izražava u postotcima od 0 - 100 %, samo u ovom slučaju vrijednost 0 dati će sivu boju, dok vrijednost od 100 % predstavlja čistu boju. Zasićenost boje prikazana je na slici 8.



Slika 8. Zasićenost boje (Web 5)

Mjerenje boje definira boju kvantitativno, a to je bitno zbog toga što percepcija boje može biti različita od osobe do osobe. Mjerenje boja prehrambenih proizvoda jednostavna je i brza metoda, koja omogućava određivanje i praćenje promjene boje proizvoda tijekom prerađivanja i čuvanja. To je nedestruktivna metoda koja daje korisne informacije za kontrolu kvalitete proizvoda te procesa njegove proizvodnje. Najčešće korišteni uređaji kod instrumentalnog mjerenja boje su: kolorimetar, spektralni fotometar i spektralni radiometar. Ovi mjerni instrumenti koriste sljedeće matematičke sustave za boju: CIE x yY, CIEXYZ, CIE $L^*a^*b^*$, HunterLab, RGB, sRGB. Da bi se sustav mogao koristiti mora biti odobren od strane Međunarodne komisije za svjetlo i rasvjetu (Yost i sur., 2006; Maskan, 2001.; Palou i sur., 1999.; Eshtiaghi i sur., 1994.).

2.4. PROSTOR BOJA

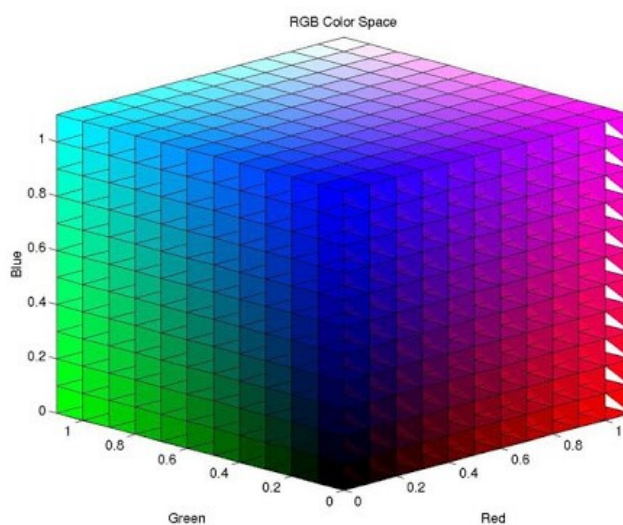
Pomoću prostora ili modela boja definiraju se, stvaraju te vizualiziraju boje. Prostori boja su definirani gamutom, tj. opsegom boja. Svaki opseg je različit po nekim karakteristikama, a time pogodniji za prezentaciju boje. Postoji puno opsega boja, a osnovna podjela je na :

- aditivni prostor boja, ovisan o uređaju, kod kojeg se boja dobiva zbrajanjem pojedinih komponenti (npr. RGB)
- subtraktivni prostor boja, neovisan o uređaju, kod kojeg se boja dobiva oduzimanjem pojedinih komponenti (npr. CIE L*a*b*)

Boja je definirana pomoću tri koordinate (parametra), koje određuju poziciju boje unutar prostora. Za uspješnu analizu slike potrebno je očuvanje kvalitete, boja i tonova. Stvoreni su sustavi koji omogućuju objektivne analize i prezentacije rezultata (Russ, 2007.; Leon i sur., 2006.; Larrain i sur., 2008).

2.4.1. RGB prostor boja

RGB prostor je definiran pomoću tri aditivna primara : crvene, zelene i plave boje. Svaka boja u tom prostoru nastaje zbrajanjem pojedinih komponenti te tri boje. Taj prostor boja najčešće je korišten u računalima, a predstavljen je pomoću kocke. Crvena boja u toj kocki predstavlja x-os, zelena y-os, a plava z-os. Taj prostor se najčešće normira na vrijednosti od 0 do 1 (Lukinac Čačić, 2012).



Slika 9. RGB prostor boja (Web 6)

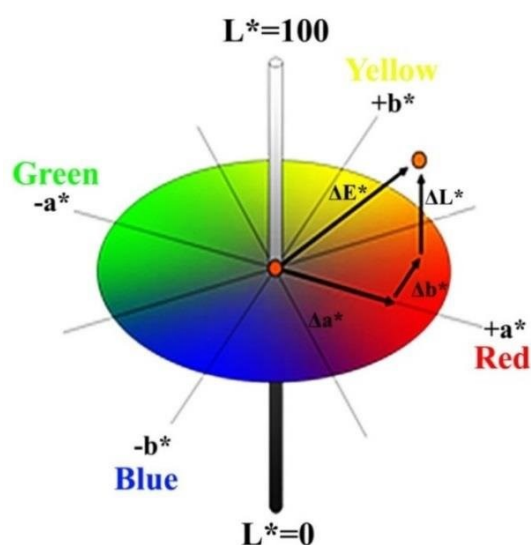
2.4.2. CIEL*a*b* prostor boja

CIEL*a*b* prostor boja je trodimenzionalni prostor boja baziran na percepciji boje standardnog promatrača. Prednost ovog sustava je uvođenje svjetline kao treće dimenzije.

Opisan je pomoću tri komponente :

- L^* - svjetlina (lightness), akromatska komponenta
- a^* - kromatska komponenta, koja predstavlja odnos između crvene i zelene boje
- b^* - kromatska komponenta, koja predstavlja odnos između plave i žute boje

Numeričke vrijednosti u ovom sustavu opisuju sve boje koje ljudsko oko može razlikovati. Ovaj sustav često nalazi primjenu u prehrambenoj industriji te istraživanjima koja uključuju prisutnost prirodnih pigmenta.



Slika 10. Prikaz CIEL*a*b* prostora boja (Web 7)

2.5. RAZVOJ BOJE NA POVRŠINI ČAJNOG PECIVA

Proces pečenja je bitna faza u proizvodnji finih pekarskih proizvoda, gdje kao posljedica toplinskih procesa dolazi do reakcija poput neenzimskog posmeđivanja, želatinizacije škroba i denaturacije proteina. Tijekom pečenja temperatura u sredini proizvoda znatno sporije raste zbog stvaranja površinske tanke elastične kore, koja sprječava brže prodiranje topline u unutrašnjost proizvoda (Zang i Datta, 2006). Nastanak boje na površini keksarskih proizvoda je poželjno svojstvo. Obojenje proizvoda započinje pojavom svijetlih, žutih dekstrina pri temperaturama od 110 – 120 °C. Daljnjim povišenjem temperature nastaju melanoidini i karamel koji nastaju kao produkti Maillardovih reakcija te karamelizacije (neenzimsko posmeđivanje). Na još višim temperaturama pečenja dolazi do izgaranja proizvoda, nastanka neželjene boje i razvijanja nepoželjnih produkata, kao što su hidroksimetilfurfural i akrilamid. Za potonji element dokazana su kancerogena svojstva. Zbog toga je bitno spriječiti njihov nastanak.

2.6. ODREĐIVANJE BOJE PEKARSKIH PROIZVODA

Boja je bitan čimbenik pri odabiru proizvoda od strane potrošača jer je vizualni doživljaj prvi dojam koji potrošač stvara o proizvodu. Iz tog razloga nastaju brojne metode određivanja boje, koje omogućuju kontroliranje procesa pečenja kako bi proizvod imao odgovarajuću i što ujednačeniju boju. Postoje dvije vrste metoda određivanja boja. Prva je direktna i ona je usmjerena na kvantitativno praćenje produkata Maillardovih reakcija i karamelizacije. Druga vrsta su indirektno metode, a one se zasnivaju na principu mjerenja reflektirane količine svjetlosti s površine analiziranog uzorka mjernim uređajima. Najsuvremenija metoda indirektnog određivanja boje je sustav za računalnu analizu slike. Računalna analiza slike može obuhvatiti cjelokupnu površinu uzorka, što je nedostatak kod drugih uređaja indirektnog određivanja boje (kod kolorimetra analizirana površina uzorka svega je nekoliko centimetara). Upravo zbog mogućnosti analize cjelokupne površine uzorka, računalna analiza slike je objektivnija i preciznija metoda.

2.7. SUSTAV ZA RAČUNALNU ANALIZU SLIKE

Boja površine uzorka primjenom računalne analize slike određuje se beskontaktno. Primjenom odgovarajućih računalnih algoritama moguće je dobiti vrlo točne i pouzdane informacije o promjeni boje proizvoda koje nastaju tijekom proizvodnje. Ova metoda za praćenje boje može se koristiti kao alat za automatsko vođenje procesa u industriji (za vizualni pregled procesa proizvodnje) te time poboljšati ukupnu kvalitetu proizvoda (Lukinac Čačić, 2012). Sustav za analizu slike karakterizira objektivnost i kontinuiranost u procjeni boje, što je prednost nad praćenjem boje ljudskim okom. Uzorak se u sustavu za analizu slike registrira s tri senzora boje. Najvažniji elementi koji ga čine su rasvjeta, fotoaparata, skener te računalo.

2.7.1. Rasvjeta

Rasvjeta predstavlja vrlo važan element kod računalne analize slike jer upravo boja analiziranog uzorka ovisi o količini svjetlosti koju će površina tog uzorka reflektirati. Izvor svjetlosti je fizički realizirano zračenje (svijeća, lampa, sunce), a karakteriziraju ga svojstva poput raspodjele spektralnog zračenja i temperature boje svjetlosti. Kut između osi objektivna fotoaparata i izvora svjetlosti koji osvjetljava uzorak trebao bi biti oko 45° (Yam i Papadakis., 2004). Osvijetljeni objekti prenose primljenu svjetlost apsorpcijom, refleksijom i propuštanjem te se razlika pojedinih uzoraka prati određivanjem razlike u količini reflektirane svjetlosti s njegove površine. Količina svjetlosti koja se rasprostire po uzorku trebala bi biti jednaka na svakom njegovom dijelu (Lukinac Čačić, 2012).

2.7.2. Fotoaparata

Digitalni fotoaparata pohranjuje fotografije na elektronskom svjetlosnom senzoru koji se sastoji od milijun malenih piksela. Rezolucija i kompresija snimljene fotografije karakteristike su kamere koje utječu na kvalitetu fotografije. Što je količina piksela veća, to je veća rezolucija, a kvaliteta snimljene fotografije ujedno je i bolja. Rezolucija kamere koja se preporuča iznosi od 1.2 do 1.6 MP, a format u kojem se fotografija pohranjuje TIFF (Lukinac Čačić, 2012).

2.7.3. Skener

Skener je uređaj koji služi za digitalizaciju fotografija, ali njegovom prenamjenom možemo skenirati pojedine uzorke čajnog peciva te na taj način dobiti slike. Princip rada skenera zasniva se na pretvorbi svjetlosti, koja se reflektira od površine objekta i putem optičkog sustava

(zrcala i leća) dolazi do fotosenzora koji stvaraju električni signal. Električni signal se posebnim sustavom pretvara u digitalnu informaciju i šalje u računalo. Slika se pri tome pikselizira, veća količina piksela čini sliku bolje kvalitete. Broj očitanih piksela naziva se rezolucija ili razlučivost.

2.7.4. Računalo

Računalo se koristi za obradu slika (dobivenih skeniranjem te pomoću fotoaparata) u raznim programima. Jedan takav program je i *ImageJ* 1.43u.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Zadatak

Zadatak rada bio je mjerenje boje i fizikalnih svojstava (promjer, visina i faktor širenja) čajnog peciva od pšeničnog brašna s dodatkom pljevice pira (u udjelima 5, 10, i 15%) u laboratorijskim uvjetima tijekom 15 minuta pečenja. Boja i fizikalna svojstva čajnog peciva određeni su računalnom analizom slike, a izmjerene vrijednosti boje prikazane su u CIEL a^*b^* sustavu boja.

3.2. Materijali

Sirovine korištene u proizvodnji čajnog peciva su:

- 64 g shortening-a (margarin),
- 130 g šećera (kristal),
- 2,1 g NaCl,
- 2,5 g NaHCO₃,
- 33 g otopine glukoze (8,9 g glukoze otopljeno u 150 ml destilirane vode),
- 16 g destilirane vode,
- 225 g brašna (oštro pšenično brašno T-550, 14% vlage) i
- Pljevica pira (zamjena za pšenično brašno u udjelu 5, 10 i 15%)

3.3. METODE

Izrada čajnog peciva provedena je prema standardnoj AACC 10-50.05 metodi (American Association of Cereal Chemists). Sirovine se važu odvojeno na poluautomatskoj laboratorijskoj vagi. Prvo se odvažu masnoća, šećer, sol i NaHCO₃ prema recepturi, dodaju u mikser i miješaju se brzinom 2 tijekom tri minute, a svake minute treba sastrugati sastojke sa stjenke posude. Koriste se „žičane” mutilice. Nakon tri minute važe se i dodaje u mikser otopina glukoze i destilirana voda. Miješa se jednu minutu brzinom 2 i jednu minutu brzinom 3. Nakon toga se važe, dodaje ukupna količina brašna ili smjesa brašna i pljevice pira i miješa dvije minute

brzinom 2. Svaki 30 sekundi treba skidati sastojke sa stjenke posude. Dobiveno tijesto sakupi se ručno, okruglo oblikuje, stavi u PVC vrećicu te u hladnjak (do 8 °C) tijekom 30 - 60 minuta. Nakon hlađenja tijesto se razvija valjkom za tijesto na debljinu 7 mm u dva poteza valjka (naprijed-nazad) te se izrežu okrugli oblici promjera 60 mm (~35 g). Oblikovane komade treba izvagati i peći tijekom 15 minuta pri 205 °C. Nakon pečenja čajno pecivo se hladi 30 minuta, potom važe i analizira.

3.3.1. Mjerenje boje čajnog peciva računalnom analizom slike

Boja uzoraka čajnog peciva mjerena je računalnom analizom slike na sirovom uzorku (tijestu), te uzorku čajnog peciva nakon 15 minuta pečenja.

Postupak mjerenja boje uzoraka čajnog peciva računalnom analizom slike proveden je u nekoliko koraka:

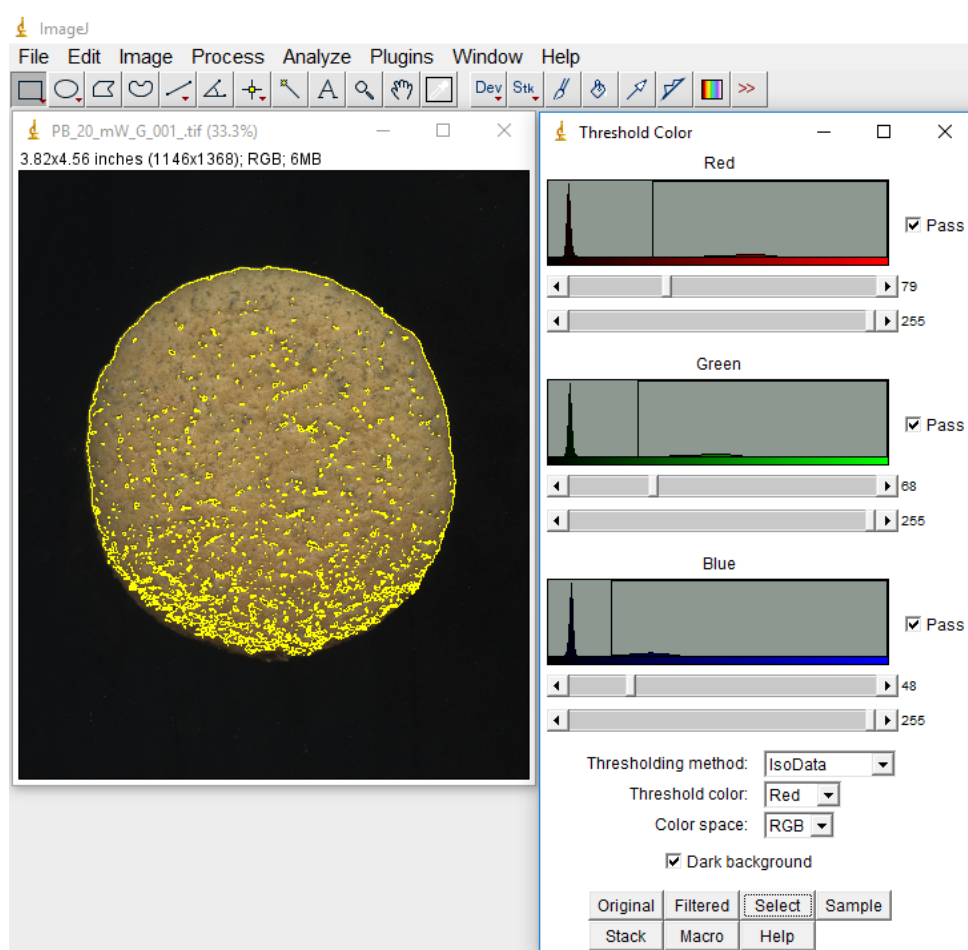
- prvi korak je digitalizacija uzoraka (skeniranje)
- spremanje skenirane slike čajnog peciva u TIFF formatu
- obrada i analiza slike računalnim programom *ImageJ*
- pretvorba rezultata mjerenja boje iz RGB u CIE $L^*a^*b^*$ model boja

Uzorci su digitalizirani pomoću stolnog skenera u boji EPSON Perfection® V500 Photo. Skener je smješten u tamnu komoru, u kontroliranim uvjetima rasvjete (komora ne dopušta osvjetljavanje uzoraka drugim izvorom svjetlosti). Na staklenu plohu skenera položeni su uzorci čajnog peciva te skenirani prema postavkama skenera prikazanim u Tablici 2.

Nakon prihvata i digitalizacije slijedi obrada i analiza digitalne slike primjenom računalnog programa *ImageJ* (ver.1.52a, Wayne Rasband, National Institute of Health, Maryland, USA). Prvi korak u obradi slike bio je segmentiranje uzoraka primjenom IsoData metode praga (uzorak čajnog peciva izdvojen je od pozadine) (Ridler, 1978., El-Zaart. 2010). Nakon segmentacije i uklanjanja pozadine slijedi analiza boje čajnog peciva (Slika 11).

Primjenom metode amplitudne segmentacije (*amplitude thresholding*) i histograma prvog reda (*color histogram*), dobiveni su rezultati relativne frekvencije svjetlina točaka u slici (RGB vrijednosti točaka u slici). Konačni rezultati mjerenja boje u eksperimentalnom dijelu ovog rada bazirani su na CIEL*a*b* sustavu boja. RGB signali generirani pri skeniranju uzoraka transponiraju se u CIEL*a*b* sustav boja.

Transponiranje vrijednosti boja između RGB i CIEL*a*b* sustava boja napravljeno je u nekoliko koraka. Prvi korak je prevođenje RGB vrijednosti u CIEXYZ, a potom se dobivene vrijednosti CIEXYZ prevode u CIEL*a*b* sustav boja (pretvorba iz jednog u drugi sustav boja dana je formulama 1-11).



Slika 11. Segmentacija uzorka primjenom IsoData metode praga i Colour Histograma

Tablica 2. Postavke skenera

Vrsta skenera	Stolni skeneri (<i>flatbed skener</i>)
Optički senzor	Color Epson MatrixCCD™
Izvor svjetla	Bijela LED lampa s ReadyScan™ LED tehnologijom
Optička rezolucija	300 dpi
Način skeniranja	Puna boja
Dubina boje	24 bit boja
Model boja	sRGB
Brzina skeniranja	16,98 msec/line
Tonska gustoća (dinamički raspon)	3,4 Dmaks.
Raspon skeniranja (maksimum)	216 x 297 mm
Način rada skenera	Reflektivan način skeniranja
Izlazni format slike	TIFF
Priključci	USB 2.0 tipa B
Programska podrška	Epson Scan

Transformacija (konverzija) boja iz jednog u drugi model boja

Ova metoda podrazumijeva pretvorbu iz RGB u CIE $L^*a^*b^*$ sustav boja u nekoliko koraka (Leon i sur., 2006; Mendoza, 2006; Larrain i sur., 2008).

Normalizacija *sRGB* vrijednosti pri čemu vrijedi $0 \leq R, G, B \leq 1$

$$R = \frac{sR}{255}, \quad G = \frac{sG}{255}, \quad B = \frac{sB}{255} \quad (1)$$

$$R' = \left[\frac{R + 0,055}{1,055} \right]^{2/4} \begin{cases} \text{ako je } R > 0,04045 \\ \text{u protivnom } R' = \frac{R}{12,92} \end{cases}$$

$$G' = \left[\frac{G + 0,055}{1,055} \right]^{2/4} \begin{cases} \text{ako je } G > 0,04045 \\ \text{u protivnom } G' = \frac{G}{12,92} \end{cases} \quad (2)$$

$$B' = \left[\frac{B + 0,055}{1,055} \right]^{2/4} \begin{cases} \text{ako je } B > 0,04045 \\ \text{u protivnom } B' = \frac{B}{12,92} \end{cases}$$

$$R_s = R' \cdot 100, \quad G_s = G' \cdot 100, \quad B_s = B' \cdot 100 \quad (3)$$

Pri standardnim vrijednostima D65 i 10° vrijedi:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4124 & 0,3576 & 0,1805 \\ 0,2126 & 0,7152 & 0,0722 \\ 0,0193 & 0,1192 & 0,9505 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_s \\ G_s \\ B_s \end{bmatrix} \quad (4)$$

Prema sljedećim formulama (5-7) moguće je izračunati L^* , a^* i b^* koordinate iz standardnih CIEXYZ vrijednosti:

Tisimulusne vrijednosti bijelog standarda CIE1964., D65, 10°

$$X_{ref} = 95,811, \quad Y_{ref} = 100,00, \quad Z_{ref} = 107,304 \quad (5)$$

$$X' = \frac{X}{X_{ref}}, \quad Y' = \frac{Y}{Y_{ref}}, \quad Z' = \frac{Z}{Z_{ref}}$$

$$X_s = 7,787 \cdot X' + \left(\frac{16}{116}\right) \begin{cases} \text{ako je } X' > 0,008856 \\ \text{u protivnom } X_s = (X')^{1/3} \end{cases} \quad (6)$$

$$Y_s = 7,787 \cdot Y' + \left(\frac{16}{116}\right) \begin{cases} \text{ako je } Y' > 0,008856 \\ \text{u protivnom } Y_s = (Y')^{1/3} \end{cases}$$

$$Z_s = 7,787 \cdot Z' + \left(\frac{16}{116}\right) \begin{cases} \text{ako je } Z' > 0,008856 \\ \text{u protivnom } Z_s = (Z')^{1/3} \end{cases}$$

$$L^* = (116 \cdot Y_s) - 16$$

$$a^* = 500 \cdot \left[\frac{X}{X_s}\right]^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_s}\right)^{1/3} \quad (7)$$

$$b^* = 200 \cdot \left[\frac{Y}{Y_s}\right]^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_s}\right)^{1/3}$$

Ukupna promjena boje (CIE76, 1976)

Ukupna razlika boja prema CIE 1976. (ΔE) izračunava se slijedećom formulama (8-11):

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (8)$$

$$\Delta L^* = L_1^* - L_2^* \quad (9)$$

$$\Delta a^* = a_1^* - a_2^* \quad (10)$$

$$\Delta b^* = b_1^* - b_2^* \quad (11)$$

gdje se veličine L_1^*, a_1^*, b_1^* odnose na boju kojoj se mjeri odstupanje (uzorak), a veličine L_2^*, a_2^*, b_2^* na referentnu boju (standard).

Prema konvenciji, pozitivne vrijednosti pojedinih razlika ΔL^* , Δa^* , Δb^* , znače da uzorak ima više te varijable nego standard. Na primjer, ako je razlika u svjetlini pozitivna vrijednost ($\Delta L^* > 0$) to znači da je uzorak svjetliji od standarda, i obrnuto [CIE 1976].

Koliko je to odstupanje u boji vidljivo/uočljivo za promatrača opisali su Mokrzycki i sur., (2012) kako slijedi

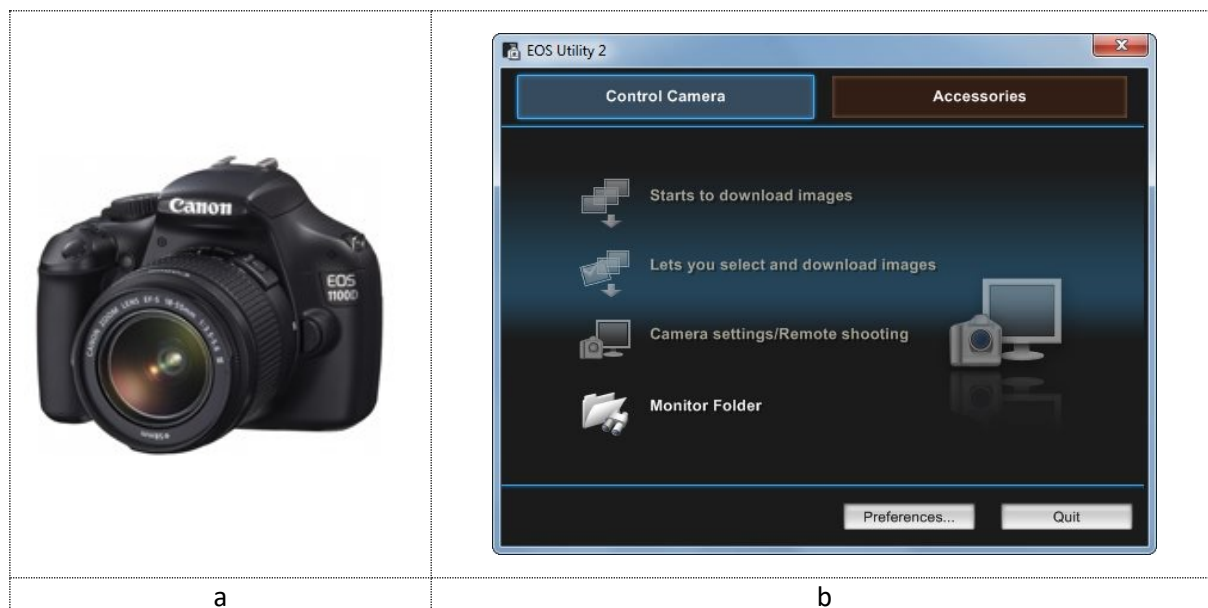
$0 < \Delta E < 1$	promatrač ne vidi razliku
$1 < \Delta E < 2$	razliku boja primjećuje iskusni promatrač
$2 < \Delta E < 3,5$	razliku boja primjećuje i neiskusni promatrač
$3,5 < \Delta E < 5$	jasno uočljiva razlika boja
$5 < \Delta E$	promatrač uočava dvije različite boje

3.3.2. Mjerenje fizikalnih svojstava čajnog peciva računalnom analizom slike

Uzorci čajnog peciva fotografirani u pećnici kontinuirano tijekom 15 minuta pečenja pomoću digitalnog fotoaparata (CanonEOS-1100D) u TIFF formatu i sRGB modelu boja. Prije fotografiranja fotoaparat je kalibriran pomoću Datacolor SpyderCHECKR™ kalibracijske pločice (Slika 12). Radom fotoaparata upravljano je putem EOS Utility programa (Slika 13). Detaljne postavke fotoaparata dane su u Tablici 3.



Slika 12. Kalibracijska pločica SpyderCHECKR™



Slika 13. Oprema za fotografiranje uzoraka: a) digitalni fotoaparat, b) sučelje EOS Utility programa

Tablica 3. Postavke digitalnog fotoaparata

Karakteristika fotoaparata	Vrijednost
Fotoaparat	Canon Power Shot EOS-1100D - digitalni, zrcalno-refleksni AF/AE fotoaparat s ugrađenom bljeskalicom
Senzor slike	CMOS (22,2 x 14,8mm), rezolucija 10,10MP
Objektiv	Canon EF-S18 – 55mm
Način rada	Ručno upravljanje
ISO brzina	ISO-1600
Otvor blende (F-stop)	f/20
Vrijeme ekspozicije	1/40 s
Žarišna duljina	36 mm
Način rada bljeskalice	Bez bljeska
Vodoravna i okomita razlučivost	72 dpi
Dubina boja	24 bit
Model boja	sRGB
Ravnoteža bjeline	<i>Custom white balans</i> – kalibracijska pločica SpydeCHECKR
Format slike	TIFF
Programska podrška	EOS Utility 2.3.0.2. (Canon Inc., USA), remote capture software

Nakon fotografiranja, primjenom računalne analize slike određeni su parametri fizikalnih svojstava čajnog peciva: promjer (d), visina (h).

Nakon određivanja vrijednosti promjera i visine čajnog peciva izračunati su sljedeći parametara:

- početni promjer tijesta, $d_{0\ MIN}$ [cm]
- promjer čajnog peciva nakon 10 minuta pečenja, $d_{10\ MIN}$ [cm]
- promjer čajnog peciva nakon 15 minuta pečenja, $d_{15\ MIN}$ [cm]
- maksimalni promjer čajnog peciva tijekom pečenja, d_{MAX} [cm]
- vrijeme do postizanja maksimalnog promjera čajnog peciva, $t_{d_{MAX}}$ [min]
- brzina promjene promjera čajnog peciva (širenje), v_{d_1} [cm/min]
- brzina promjene promjera čajnog peciva (skupljanje), v_{d_2} [cm/min]
- početna visina tijesta, $h_{0\ MIN}$ [cm]
- visina čajnog peciva nakon 10 minuta pečenja, $h_{10\ MIN}$ [cm]
- visina čajnog peciva nakon 15 minuta pečenja, $h_{15\ MIN}$ [cm]
- maksimalna visina čajnog peciva tijekom pečenja, h_{MAX} [cm]
- vrijeme do postizanja maksimalne visine čajnog peciva, $t_{d_{MAX}}$ [min]
- brzina promjene visine čajnog peciva (širenje), v_{h_1} [cm/min]
- brzina promjene visine čajnog peciva (skupljanje), v_{h_2} [cm/min]
- početna vrijednost faktora širenja tijesta, $SF_{0\ MIN}$
- faktor širenja čajnog peciva nakon 10 minuta pečenja, $SF_{10\ MIN}$
- faktor širenja čajnog peciva nakon 15 minuta pečenja, $SF_{15\ MIN}$
- maksimalna vrijednost faktora širenja čajnog peciva tijekom pečenja, SF_{MAX}
- vrijeme do postizanja maksimalnog faktora širenja čajnog peciva, $t_{SF_{MAX}}$ [min]

Vrijednost faktora širenja, SF izračunati su prema formuli:

$$SF = \frac{h}{d} \cdot 10$$

gdje je

h [cm] - visina uzoraka čajnog peciva

d [cm] - širina uzoraka čajnog peciva

3.3.3. Statistička obrada rezultata

Rezultati mjerenja boje prikazani su kao CIE $L^*a^*b^*$ parametri boje te kao ukupna promjena boje ili kolorimetrijska razlika (ΔE) između dvije boje u CIE sustavu (tijesta i čajnog peciva s različitim udjelom dodatka pljevice pira. Detaljan opis izračuna navedenih parametara boje dan formulama (8-11).

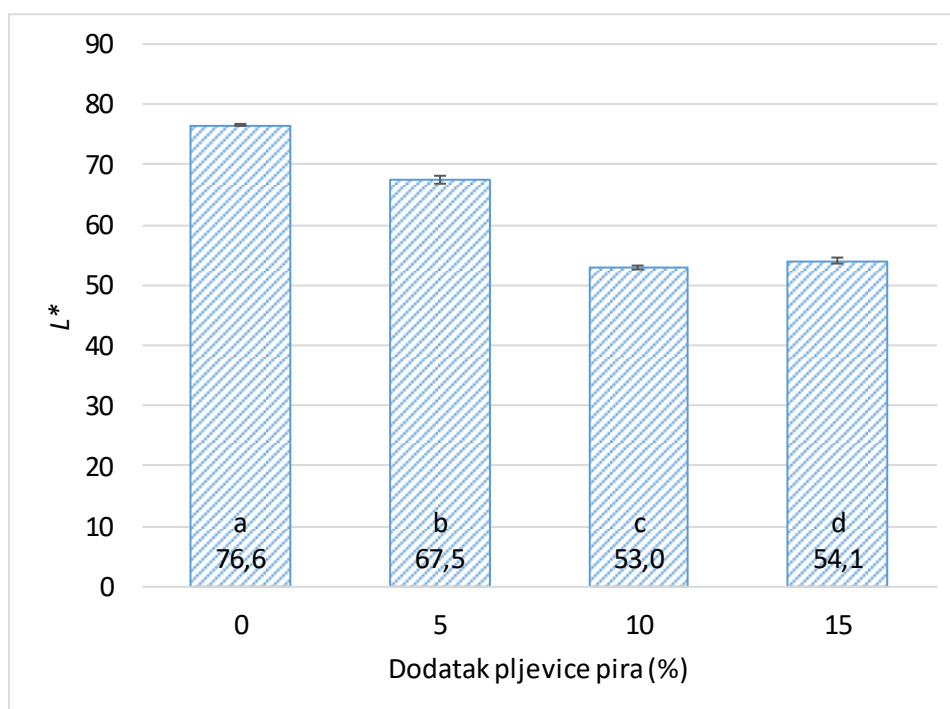
Dobiveni rezultati su prikazani kao srednja vrijednost \pm standardna devijacija. Analiza varijance (ANOVA) i Fisher-ov LSD test najmanje značajne razlike (engl. *Least significant difference*) provedeni su upotrebom dodatka XLSTAT unutar MS Excel programa (Addinsoft, NewYork, SAD).

4. REZULTATI I RASPRAVA

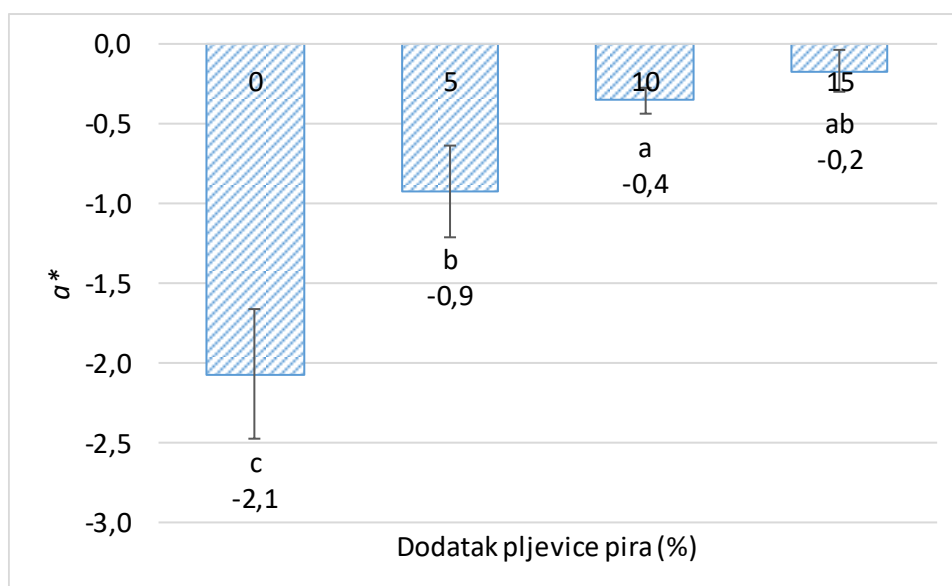
U ovom diplomskom radu prikazani su rezultati ispitivanja utjecaja zamjene dijela pšeničnog brašna pljevicom pira na parametre boje te fizikalna svojstva (promjera, visine i faktora širenja) čajnog peciva. Ispitivanje se provodilo s dodacima pljevice pira u udjelima 5, 10 i 15%, a navedene smjese su se koristile za izradu čajnog peciva prema standardnoj AACC metodi 10-50D. Boja te fizikalna svojstva čajnog peciva mjerena su računalnom analizom slike. Mjereni parametri boje (L^* , a^* , b^*) CIE $L^*a^*b^*$ modela boje poslužili su za određivanje ukupne promjene boje analiziranih uzoraka (ΔE).

4.1. Rezultati mjerenja promjene boje čajnog peciva

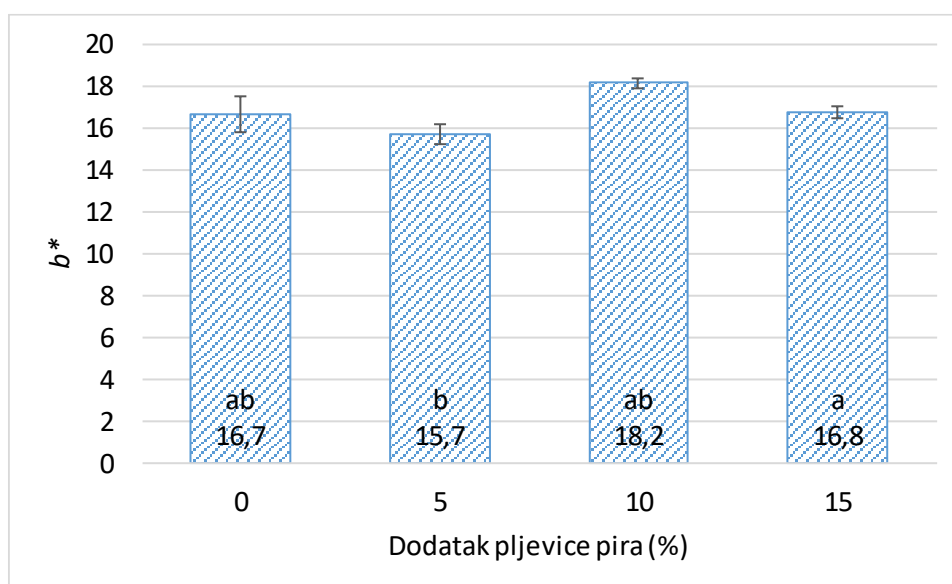
Eksperimentalni podaci mjerenja boje dobiveni računalnom analizom slike prikazani su grafički Slikama 14 - 20 kao parametri CIE $L^*a^*b^*$ modela boja i kao ukupna promjena boje (ΔE) između tijesta i uzoraka čajnog peciva s različitim udjelom dodatka pljevice pira. Prikazani podaci su srednja vrijednost \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Fisher-ovom LSD testu najmanje značajne razlike.



Slika 14. Vrijednosti svjetline tijesta od pšeničnog brašna (%) te s dodatkom pljevice pira u udjelima 5, 10 i 15%



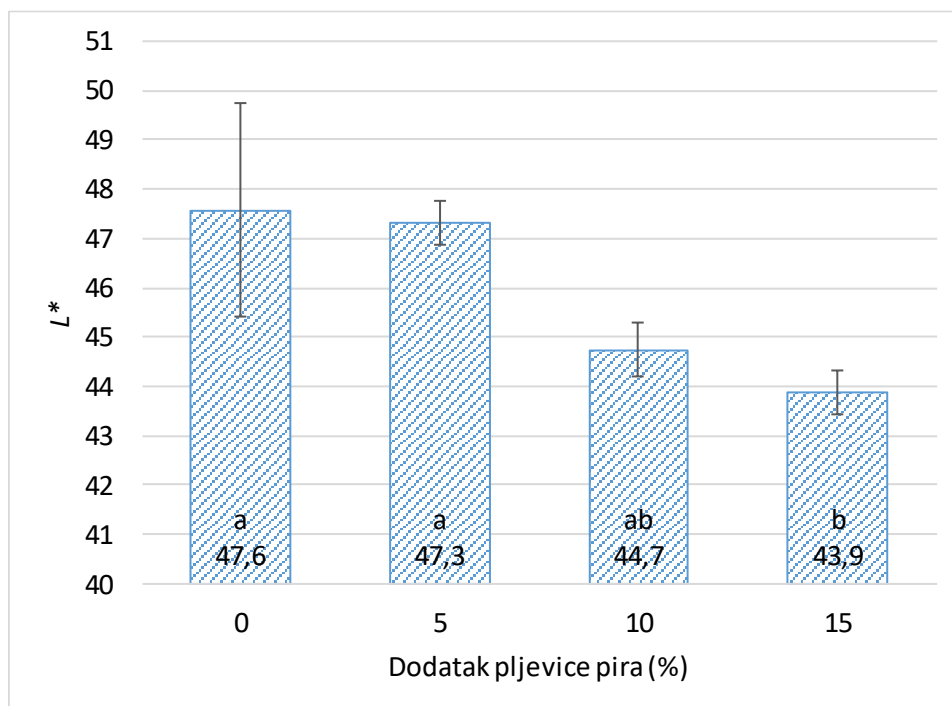
Slika 15. Vrijednosti kromatske komponente zeleno-crvene boje tijesta od pšeničnog brašna (%) te s dodatkom pljevice pira u udjelima 5, 10 i 15%



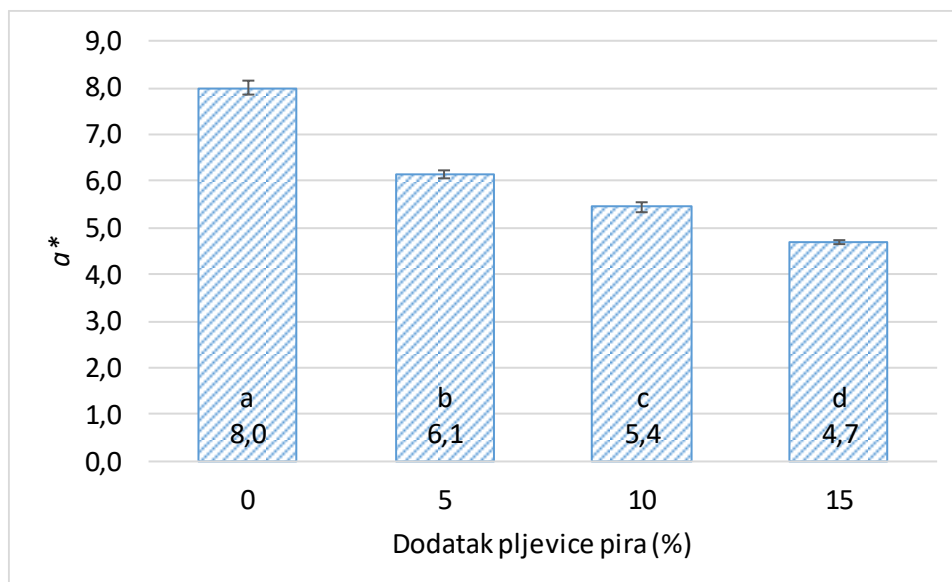
Slika 16. Vrijednosti kromatske komponente plavo-žute boje tijesta od pšeničnog brašna (%) te s dodatkom pljevice pira u udjelima 5, 10 i 15%

Iz rezultata analize varijance i Fisher-ovog LSD testa najmanje značajne razlike može se zaključiti da postoji statistički značajna razlika kod vrijednosti svjetline (**Slika 14**) i kromatske komponente a^* (**Slika 15**) između uzoraka tijesta od pšeničnog brašna te s dodatkom pljevice pira u različitim udjelima. S obzirom na vrijednosti kromatske komponente b^* , uzorci tijesta s dodatkom pljevice pira u udjelu od 5 i 15% su se statistički značajno razlikovali, dok među

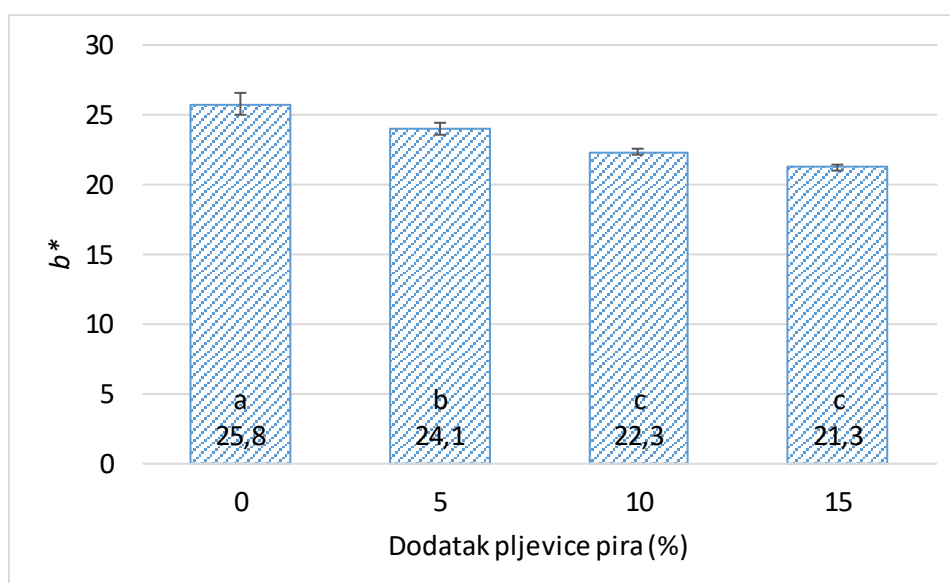
uzorcima tijesta od pšeničnog brašna i dodatka pljevice pira od 15% nije bilo statistički značajne razlike.



Slika 17. Vrijednosti svjetline uzoraka čajnog peciva od pšeničnog brašna (%) te s dodatkom pljevice pira u udjelima 5, 10 i 15%



Slika 18. Vrijednosti kromatske komponente zeleno-crvene boje uzoraka čajnog peciva od pšeničnog brašna (%) te s dodatkom pljevice pira u udjelima 5, 10 i 15%



Slika 19. Vrijednosti kromatske komponente plavo-žute boje uzoraka čajnog peciva od pšeničnog brašna (%) te s dodatkom pljevice pira u udjelima 5, 10 i 15%

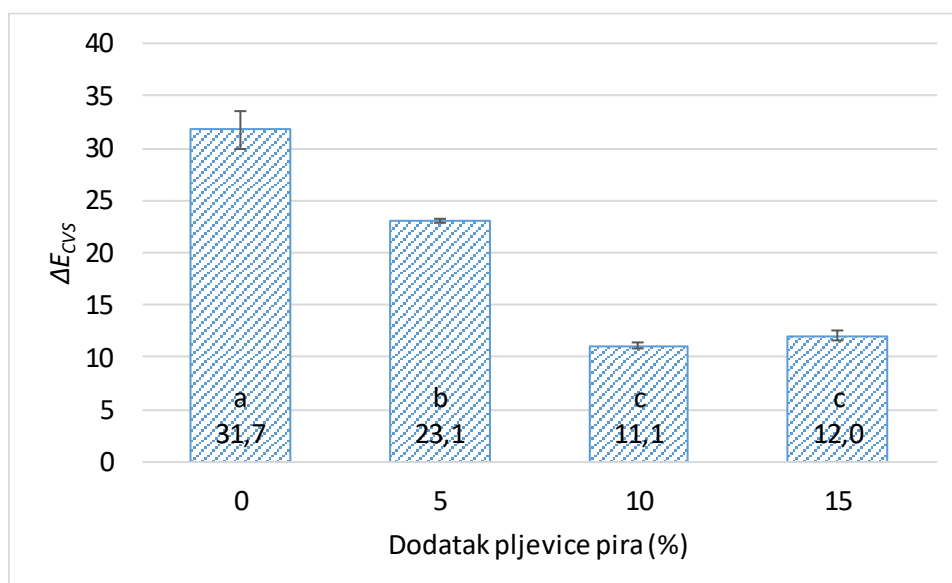
Iz rezultata analize varijance i Fisher-ovog LSD testa najmanje značajne razlike može se zaključiti da postoji statistički značajna razlika kod vrijednosti svjetline (**Slika 17**) između pečenih uzoraka čajnog peciva od pšeničnog brašna te s dodatkom pljevice pira od 10 i 15%, odnosno kod kromatske komponente a^* (**Slika 18**) između uzoraka od pšeničnog brašna te s dodatkom pljevice pira u različitim udjelima. S obzirom na vrijednosti kromatske komponente b^* , uzorci čajnog peciva s dodatkom pljevice pira u udjelu od 10 i 15% nisu se statistički značajno razlikovali, dok su se uzorci od pšeničnog brašna i dodatka pljevice pira od 5% statistički značajno razlikovali (**Slika19**).

Vrijednosti svjetline kretale su se u rasponu $L^* = 52,76 - 76,61$ za tijesto, odnosno $L^* = 43,58 - 49,10$ za čajno pecivo na kraju pečenja. Najveće vrijednosti svjetline tijesta i pečenog čajnog peciva imali su uzorci od pšeničnoga brašna. Također, vrijednosti svjetline opadale su proporcionalno porastom udjela pljevice pira što znači da su uzorci s većim udjelom pljevice pira bili tamniji.

Vrijednosti kromatske komponente a^* bile su negativne kod uzoraka tijesta i kretale su se u rasponu $a^* = -0,08 - -2,36$. Vrijednosti kromatske komponente a^* bile su pozitivne kod pečenih uzoraka čajnog peciva i kretale su se u rasponu $a^* = 4,71 - 8,09$. Uspoređujući boju uzoraka

pečenih uzoraka čajnog peciva s dodatkom pljevice pira, kromatska komponenta zeleno-crvene boje imala je pozitivne vrijednosti i opadala je porastom udjela dodatka, što znači da su uzorci s većim udjelom pljevice pira bili više u domeni zelene boje.

Vrijednosti kromatske komponente b^* bile su pozitivne (i kod tijesta i kod pečenih uzoraka čajnog peciva) i kretale su se u rasponu $b^*= 15,35 - 18,35$ kod tijesta, odnosno $b^*=21,12 - 26,32$ kod pečenih uzoraka čajnog peciva, a najveće vrijednosti zabilježene su kod pečenih uzoraka čajnog peciva od čistog pšeničnog brašna. Uspoređujući boju uzoraka s dodatkom pljevice pira, kromatska komponenta plavo-žute boje imala je pozitivne vrijednosti i opadala je porastom udjela dodatka, što znači da su uzorci s većim udjelom pljevice pira bili u domeni plave boje.



Slika 20. Vrijednosti ukupne promjene boje uzoraka čajnog peciva od pšeničnog brašna (%) te s dodatkom pljevice pira u udjelima 5, 10 i 15%

Prema Mokrzycki i Tatol (2011) ukupna promjena boje bila je jasno uočljiva za ljudsko oko $\Delta E > 5$, vrijednosti su se kretale u rasponu $\Delta E = 10,85 - 33,01$. Prema rezultatima ukupne promjene boje veće vrijednosti ukupne promjene boje izmjerene su kod uzoraka od pšeničnog brašna, u odnosu na ove s dodatkom pljevice pira. Među uzorcima čajnog peciva s dodatkom pljevice pira od 10 i 15% nema statistički značajne razlike (**Slika 20**).

4.2. Rezultati mjerenja fizikalnih svojstava čajnog peciva

Eksperimentalni podaci mjerenja promjene fizikalnih svojstava čajnog peciva dobiveni računalnom analizom slike prikazani su Tablicama 5 - 7 kao:

- parametri promjene **promjera** čajnog peciva (početni promjer tijesta, $d_{0\ MIN}$; promjer čajnog peciva nakon 10 minuta pečenja, $d_{10\ MIN}$; promjer čajnog peciva nakon 15 minuta pečenja, $d_{15\ MIN}$; maksimalni promjer čajnog peciva tijekom pečenja, d_{MAX} ; vrijeme do postizanja maksimalnog promjera čajnog peciva, $t_{d_{MAX}}$; brzina promjene promjera čajnog peciva (širenje), v_{d_1} ; brzina promjene promjera čajnog peciva (skupljanje), v_{d_2}),
- promjene **visine** čajnog peciva (početna visina tijesta, $h_{0\ MIN}$; visina čajnog peciva nakon 10 minuta pečenja, $h_{10\ MIN}$; visina čajnog peciva nakon 15 minuta pečenja, $h_{15\ MIN}$; maksimalna visina čajnog peciva tijekom pečenja, h_{MAX} ; vrijeme do postizanja maksimalne visine čajnog peciva, $t_{d_{MAX}}$; brzina promjene visine čajnog peciva (širenje), v_{h_1} ; brzina promjene visine čajnog peciva (skupljanje), v_{h_2}),
- promjene **faktora širenja** čajnog peciva (početna vrijednost faktora širenja tijesta, $SF_{0\ MIN}$; faktor širenja čajnog peciva nakon 10 minuta pečenja, $SF_{10\ MIN}$; faktor širenja čajnog peciva nakon 15 minuta pečenja, $SF_{15\ MIN}$; maksimalna vrijednost faktora širenja čajnog peciva tijekom pečenja, SF_{MAX} ; vrijeme do postizanja maksimalnog faktora širenja čajnog peciva, $t_{SF_{MAX}}$).

Prikazani podaci su srednja vrijednost \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Fisher-ovom LSD testu najmanje značajne razlike. S obzirom na izmjerene vrijednosti promjene promjera čajnog peciva (tj. promjene širine), nije zabilježena statistički značajna razlika između promatranih uzoraka. Vrijednosti maksimalnog promjera čajnog peciva bile su veće kod uzoraka bez dodatka pljevice pira. Obzirom na izmjerene vrijednosti brzine širenja, veće vrijednosti ukazuju na dinamičnije promjene dimenzija, što ne znači da će ti uzorci imati i najveći promjer.

Uzorci čajnog peciva s dodatkom pljevice pira 10 i 15% promjer smanjuju statistički značajno manjom brzinom nakon postizanja maksimuma, u odnosu na uzorke od pšeničnog brašna i s dodatkom pljevice pira od 5% (**Tablica 5**).

Tablica 5. Vrijednosti širine čajnog peciva od pšeničnog brašna i s dodatkom pljevice pira u različitim udjelima

Parametar	Dodatak pljevice pira (%)			
	0	5	10	15
$d_{0 \text{ min}}$ [cm]	$6,1 \pm 0,06^b$	$6,4 \pm 0,12^a$	$6,0 \pm 0,01^b$	$6,0 \pm 0,16^b$
$d_{10 \text{ min}}$ [cm]	$6,8 \pm 0,21^a$	$6,7 \pm 0,07^a$	$6,5 \pm 0,11^a$	$6,5 \pm 0,12^a$
$d_{15 \text{ min}}$ [cm]	$6,8 \pm 0,18^a$	$6,7 \pm 0,07^a$	$6,5 \pm 0,11^a$	$6,5 \pm 0,16^a$
d_{MAX} [cm]	$7,1 \pm 0,20^a$	$7,0 \pm 0,01^a$	$6,7 \pm 0,16^a$	$6,7 \pm 0,14^a$
$t_{d_{\text{MAX}}}$ [min]	$3,3 \pm 0,47^a$	$3,5 \pm 0,24^a$	$2,7 \pm 0,00^a$	$3,5 \pm 0,71^a$
v_{d1} [cm/min]	$0,320 \pm 0,090^a$	$0,183 \pm 0,031^a$	$0,344 \pm 0,077^a$	$0,222 \pm 0,066^a$
v_{d2} [cm/min]	$-0,024 \pm 0,000^a$	$-0,024 \pm 0,003^a$	$-0,022 \pm 0,003^b$	$-0,016 \pm 0,001^{ab}$

Tablica 6. Vrijednosti visine čajnog peciva od pšeničnog brašna i s dodatkom pljevice pira u različitim udjelima

Parametar	Dodatak pljevice pira (%)			
	0	5	10	15
$h_{0 \text{ min}}$ [cm]	$0,9 \pm 0,01^c$	$1,1 \pm 0,00^a$	$1,0 \pm 0,01^{ab}$	$1,0 \pm 0,04^b$
$h_{10 \text{ min}}$ [cm]	$1,5 \pm 0,09^{ab}$	$1,5 \pm 0,01^b$	$1,5 \pm 0,03^a$	$1,6 \pm 0,01^{ab}$
$h_{15 \text{ min}}$ [cm]	$1,4 \pm 0,10^b$	$1,4 \pm 0,02^b$	$1,5 \pm 0,01^a$	$1,6 \pm 0,01^b$
h_{MAX} [cm]	$1,9 \pm 0,08^a$	$1,9 \pm 0,00^a$	$1,8 \pm 0,07^a$	$1,9 \pm 0,03^a$
$t_{h_{\text{MAX}}}$ [min]	$4,7 \pm 0,94^a$	$3,7 \pm 0,47^a$	$3,8 \pm 0,71^a$	$4,2 \pm 0,23^a$
v_{h1} [cm/min]	$0,275 \pm 0,023^a$	$0,277 \pm 0,006^a$	$0,271 \pm 0,025^a$	$0,257 \pm 0,038^a$
v_{h2} [cm/min]	$-0,040 \pm 0,007^a$	$-0,039 \pm 0,008^a$	$-0,028 \pm 0,002^a$	$-0,030 \pm 0,002^a$

S obzirom na izmjerene vrijednosti promjene visine čajnog peciva (**Tablica 6**), zabilježena je statistički značajna za početne vrijednosti visine te vrijednosti visine nakon 10 minuta pečenja između većine promatranih uzoraka. Vrijednosti maksimalne visine čajnog peciva bile su veće kod uzoraka s dodatkom pljevice pira od 10 i 15%.

Tablica 7. Vrijednosti faktora širenja čajnog peciva od pšeničnog brašna i s dodatkom pljevice pira u različitim udjelima

Parametar	Dodatak pljevice pira (%)			
	0	5	10	15
SF _{0 min} [cm]	71,7 ± 1,46 ^a	61,3 ± 1,10 ^b	62,5 ± 0,88 ^b	59,7 ± 4,40 ^b
SF _{10 min} [cm]	44,8 ± 1,36 ^{ab}	46,3 ± 0,11 ^a	43,2 ± 0,03 ^c	39,7 ± 0,43 ^b
SF _{15 min} [cm]	49,4 ± 2,50 ^a	47,7 ± 0,30 ^{ab}	44,5 ± 1,07 ^b	40,0 ± 0,71 ^c
SF _{MAX} [cm]	73,1 ± 2,11 ^a	61,7 ± 1,77 ^b	62,5 ± 0,88 ^b	59,7 ± 4,40 ^b
t _{SF_{MAX}} [min]	0,7 ± 0,00 ^a	0,7 ± 0,47 ^a	0,3 ± 0,00 ^a	0,3 ± 0,00 ^a

Obzirom na vrijednosti faktora širenja nakon 10 i 15 minuta pečenja, zabilježena je statistički značajna razlika između većine uzoraka s i bez dodatka pljevice pira. Prema rezultatima početne vrijednosti faktora širenja tijesta te maksimalne vrijednosti faktora širenja, zabilježena je statistički značajna razlika između uzoraka s i bez dodatka pljevice pira. Najveće vrijednosti faktora širenja izmjeren su kod uzoraka od pšeničnog brašna, a povećanjem dodatka pljevice pira te vrijednosti se proporcionalno smanjuju.

5. ZAKLJUČCI

Zaključci

Nakon provedenog mjerenja moguće je zaključiti sljedeće:

- ✓ računalna analiza slike pokazala se kao objektivna, uspješna i primjenjiva metoda za određivanje promjene fizikalnih svojstava čajnog peciva kontinuirano tijekom procesa pečenja te za mjerenja boje
- ✓ vrijednosti svjetline, L^* opadale su proporcionalno porastom udjela dodatka pljevice pira (uzorci s većim udjelom pljevice pira bili su tamniji)
- ✓ kromatska komponenta zeleno-crvene boje, a^* imala je pozitivne vrijednosti kod pečenih uzoraka čajnog peciva i opadala je porastom udjela dodatka pljevice pira
- ✓ vrijednosti kromatske komponente plavo-žute boje, b^* bile su pozitivne, te su najveće vrijednosti zabilježene su kod pečenih uzoraka čajnog peciva od čistog pšeničnog brašna
- ✓ ukupna promjena boje bila je jasno uočljiva za ljudsko oko. Veće vrijednosti ukupne promjene boje izmjerene su kod uzoraka od pšeničnog brašna, u odnosu na one s dodatkom pljevice pira
- ✓ nisu zabilježene statistički značajne promjena fizikalnih svojstava (širine, visine i faktora širenja) analiziranih uzoraka čajnog peciva s dodatkom pljevice pira.

6.LITERATURA

Bojnanska T, Frančakova H : The use of spelt wheat (*Triticum spelta* L.) for baking applications. *Biljna proizvodnja* ,48: 141-147, 2012.

El-Zaart: Images thresholding using ISODATA technique with gamma distribution. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 20 (1): 29-41, 2010.

Eshtiaghi MN, Stute R, Knorr D : High-pressure and freezing pretreatment effect on drying, rehydration, texture and color of green beans, carrots and potatoes. *Journal of Food Science*. 59:1168-1170, 1994.

Filko D : Robusna lokalizacija mobilnog robota zasnovana na vizualnim obilježljima ravninskih segmenata. Doktorska disertacija. Elektrotehnički fakultet Osijek, 2013.

Gavrilović M : Tehnologija konditorskih proizvoda. Zavod za izdavanje udžbenika, Novi Sad, 2003.

Gavrilović M : Tehnologija konditorskih proizvoda. Zavod za izdavanje udžbenika, Novi Sad, 2011.

Hoseney RC : Principles of cereal science and technology, AACC, Inc. St. Paul Minnesota, USA, 1994.

Hrg D : Utjecaj granulacije šećera na temperaturni profil tijekom pečenja čajnog peciva. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2015.

Hsien-Che L : Introduction to Color Imaging Science. Cambridge University Press, New York, 2005.

Kent NL, Evers AD : Technology of cereals. Elsevier Science Ltd., UK, 1994.

Koceva Komlenić D, Jukić M : Materijali s predavanja na kolegiju „Tehnologija proizvodnje tjestenine i keksarskih proizvoda“. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2018.

Larrain RE, Schaefer DM, Ree JD : Use of digital images to estimate CIE color coordinates of beef. *Food Research International*. 41:380-385, 2008.

Leon K, Mery D, Pedreschi D, Leon D: Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39: 1084-1091, 2006.

Lukinac-Čačić J : Matematičko modeliranje i optimiranje kinetike promjene boje kruha tijekom pečenja. Doktorski rad. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2012.

Maskan M : Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*. 48:169-175, 2001.

Mendoza F, Dejmek P, Aguilera JM: Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3): 285-295, 2006.

Ministarstvo poljoprivrede. Pravilnik o žitaricama i proizvodima od žitarica, Narodne novine, broj 81/16

Mlinar R, Ikić I: Bc Vigor – novi kultivar ozimog pravog pira. *Sjemenarstvo*, 29: 1-2, 2012.

Mokrzycki WS, Tatol M: Color difference Delta E - A survey. *Machine Graphics and Vision*, 20(4): 383-411, 2011.

Palou E, Lopez-Malo A, Barbosa C, Welti-Chanes J, Swanson BG : Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. *Journal of Food Science*. 64:42-45, 1999.

Pomeranz Y, Meloan CE : Measurement of color. *U Food Analysis : Theory and Practice*. Y.M.C.E. Pomeranz. (ur.), New York. 87-98,1994.

Radat B : Alternativne žitarice i mogućnosti njihove primjene. Poljoprivredni fakultet Osijek, 2016.

Ridler TW, Calvard S: Picture thresholding using an iterative selection method. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 8(8): 630-632, 1978.

Russ JC : The image Processing Handbook, Taylor & Francis Group, New York, 2007.

Šubarić D, Babić J, Ačkar Đ : Proizvodnja šećera (interna skripta). Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2011.

Web (1): Čajno pecivo. URL: <https://www.goodtoknow.co.uk/food/30-afternoon-tea-ideas-49214> [datum pristupa: 9.9.2019.]

Web (5): Zasićenost boje. URL: <http://www.theartverve.com/2019/01/achromatic-monochromatic-and-chromatic.html> [datum pristupa: 9.9.2019.]

Web (6): RGB prostor boja. URL: <https://www.dynamsoft.com/blog/insights/image-processing-101-color-space-conversion/> [datum pristupa: 9.9.2019.]

Web (7): Prikaz CIE L*a*b* prostora boja. URL: https://www.researchgate.net/figure/The-three-dimensional-CIE-Lab-color-space_fig2_327237630 [datum pristupa: 9.9.2019.]

Web(2): Kromatske boje. URL: <https://www.sessions.edu/color-calculator/> [datum pristupa: 9.9.2019.]

Web(3): Akromatske boje. URL: <http://www.theartverve.com/2019/01/achromatic-monochromatic-and-chromatic.html> [datum pristupa: 9.9.2019.]

Web(4): Svjetlina boje. URL: <http://www.theartverve.com/2019/01/achromatic-monochromatic-and-chromatic.html> [datum pristupa: 9.9.2019.]

Yam KL, Papadakis SE : A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Engineering*, 61:137-142,2004.

Yost M, Abu-Ali JM, Barringer SA : Kinetics of potato color and texture development during baking, frying, and microwaving with the addition of liquid smoke. *Journal of Food Science*, 71, 2006.

Zang J, Datta AK : Mathematical modeling of bread baking process. *Journal of Food Engineering*, 75:78-89, 2006.