Primjena računalne analize slike u praćenju boje čajnog peciva od pšeničnog brašna

Bošnjaković, Nikolina

Master's thesis / Diplomski rad

2014

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:109:108578

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

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

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Food Technology Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STOSSMAYERA U OSIJEKU

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Nikolina Bošnjaković

PRIMJENA RAČUNALNE ANALIZE SLIKE U PRAĆENJU BOJE ČAJNOG PECIVA OD PŠENIČNOG BRAŠNA

DIPLOMSKI RAD

Osijek, srpanj, 2014.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za prehrambenu tehnologiju
Katedra za modeliranje, optimiranje i automatizaciju
Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

Znanstveno područje:	Biotehničke znanosti
Znanstveno polje:	Prehrambena tehnologija
Nastavni predmet:	Modeliranje i upravljanje u prehrambeno-tehnološkim procesima
Tema rada:	je prihavaćena na IX. sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek održanoj 18.06.2014.
Mentor:	doc. dr. sc. *Jasmina Lukinac Čačić*
Komentor:	izv. prof. dr. sc. *Daliborka Koceva Komlenić*

PRIMJENA RAČUNALNE ANALIZE SLIKE U PRAĆENJU BOJE ČAJNOG PECIVA OD PŠENIČNOG BRAŠNA

Nikolina Bošnjaković, 175/DI

Sažetak:
Cilj diplomskog rada bio je primjenom računalne analize slike pratiti boju čajnog peciva od pšeničnog brašna tijekom pečenja. Čajna peciva su proizvedena u laboratorijskim uvjetima pri čemu su pripremljeni uzorci različite recepture (različiti udjeli natrijevog hidrogenkarbonata: 0,65%, 1,11% i 1,56%, dodatak šećera različite granulacije: <800 μm, >1000 μm te šećer u prahu). Uzorcima je praćena dinamika promjene boje tijekom pečenja pri temperaturama od 180 ℃, 205 ℃ i 230 ℃. Dobiveni rezultati ukupne promjene boje (ΔE_{CVS}) prikazani su tablično i grafički te je određena varijabilnost boje obzirom na vrstu zamjesa. Uspoređujući ukupnu promjenu boje različitih zamjesa uzorci s dodatkom 0,65% $NaHCO_3$ imali su najmanju ukupnu promjenu boje. Ukupna promjena boje donjeg dijela uzoraka bila je veća u odnosu na površinu uzoraka (ΔE=4,49-15,83 površina tj. ΔE=12,18-29,80 donji dio uzoraka) pri svim temperaturama i vremenima pečenja. Prosječne vrijednosti ukupne promjene boje svih uzoraka čajnog peciva najmanje su kod granulacije šećera od 1000 μm pri svim temperaturama pečenja (ΔE=4,49-14,87 površina tj. ΔE=12,18-19,90 donji dio uzoraka).

Ključne riječi:	čajno pecivo, računalna analiza slike, boja, granulacija šećera, udio $NaHCO_3$
Rad sadrži:	36 stranica 19 slika 5 tablica 29 literaturnih referenci
Jezik izvornika:	Hrvatski

Sastav Povjerenstva za obranu:

1.	doc. dr. sc. *Frane Čačić Kenjerić*	predsjednik
2.	doc. dr. sc. *Jasmina Lukinac Čačić*	član-mentor
3.	izv. prof. dr. sc. *Daliborka Koceva Komlenić*	član
4.	Izv. prof. dr. sc. *Marko Jukić*	zamjena člana

Datum obrane: 22. srpnja 2014. godine

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
Department for modelling, optimization and automation
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

Scientific area: Biotechnical sciences
Scientific field: Food technology
Course title: Modelling and control of food-technological processes
Thesis subject was approved by the Faculty Council of the Faculty of Food Technology Osijek at its session no. IX held on June . 2014.
Mentor: *Jasmina Lukinac Čačić*, PhD, associate prof.
Comentor: *Daliborka Koceva Komlenić*, PhD, associate prof.

APPLICATION OF DIGITAL IMAGE ANALYSIS TO COLOURS CHANGES ON TEA BISCUITS MADE FROM WHEAT FLOUR

Nikolina Bošnjaković, 175/DI

Summary:
The aim of the work was to monitor the colour changes of tea biscuits during the baking with the application of digital image analysis. Tea biscuits were produced in the laboratory. The samples were prepared by different recipes (different shares of sodium bicarbonate: 0.65%, 1.11% and 1.56%, and different granulation of sugars: <800 microns, > 1000 microns and sugar powder). Changes of colour during baking were observed at three baking temperatures: 180, 205 and 230 °C. The results of total colour change (ΔE_{CVS}) are presented in tables and graphically. Comparing the overall colour change, samples supplemented with 0.65% $NaHCO_3$ had the lowest overall colour change. The total colour change of the bottom of the samples was higher than in samples surface (ΔE = 4.49-15.83 surface, ΔE = 12.18-29.80 bottom of the sample) at all temperatures and baking times. Average values of total colour change of samples (with granulation sugar 1000 microns) at all baking temperatures were lower (ΔE=4.49-4.87 surface, ΔE=12.18-19.90 bottom of the sample).

Key words: Tea biscuits, digital image analysis, colour, granulation of sugar, $NaHCO_3$ share
Thesis contains: 36 pages
19 figures
5 tables
29 references
Original in: Croatian

Defense committee:

1. *Frane Čačić Kenjerić*, PhD, assistant prof. — chair person
2. *Jasmina Lukinac Čačić*, PhD, assistant prof. — supervisor
3. *Daliborka Koceva Komlenić*, PhD, associate prof. — member
4. *Marko Jukić*, PhD, associate prof. — stand-in

Defense date: July 22nd, 2014.

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

Zahvaljujem se:

Doc. dr. sc. Jasmini Lukinac Čačić na velikoj pomoći prilikom izrade diplomskog rada, stručnim savjetima i strpljenju.

Ostalim profesorima, asistentima i radnicima PTF-a koji su mi na bilo koji način pomogli i pružali podršku tijekom studija.

Posebno se zahvaljujem svojim dragim roditeljima na podršci i razumijevanju tijekom studiranja.

Sadržaj

1. UVOD **1**
2. TEORIJSKI DIO **2**
2.1. ČAJNO PECIVO **2**
2.2. SIROVINE ZA PROIZVODNJU ČAJNOG PECIVA **3**
2.2.1. Pšenično brašno 3
2.2.1.1. Kemijski sastav pšenice i brašna 4
2.2.2. Voda 6
2.2.3. Masnoće 6
2.2.4. Šećer 6
2.2.5. Natrij-hidrogen-karbonat 7
2.3. PROCES PROIZVODNJE ČAJNOG PECIVA **7**
2.3.1. Skladištenje 7
2.3.2. Predpriprema sirovina 8
2.3.3. Vaganje sirovina 8
2.3.4. Izrada zamjesa 8
2.3.5. Oblikovanje tijesta 9
2.3.6. Pečenje 9
2.3.6.1. Promjene tijekom pečenja 10
2.3.7. Hlađenje 11
2.3.7. Pakiranje 12
2.4. ODREĐIVANJE BOJE **12**
2.5. RAČUNALNA ANALIZA SLIKE I PROSTOR BOJA **13**
2.5.1. RGB prostor boja 13
2.5.2. CIEL* a* b* prostor boja 14
3. EKSPERIMENTALNI DIO **15**
3.1. ZADATAK **15**
3.2. MATERIJAL **15**
3.3. METODE **15**
3.4. MJERENJE BOJE ČAJNOG PECIVA **16**
4. REZULTATI I RASPRAVA **20**
4.1. REZULTATI ODREĐIVANJA BOJE ČAJNOG PECIVA **20**
5. ZAKLJUČCI **33**
6. LITERATURA **35**

Popis oznaka, kratica i simbola

AA	akrilamid
AACC	*Approved methods of the American Association of Cereal Chemists*
a^*	parametar *CIEL***a***b** prostora boja
a_0^*	parametar boje tijesta *CIEL***a***b** prostora boja
b^*	parametar *CIEL***a***b** prostora boja
b_0^*	parametar boje tijesta *CIEL***a***b** prostora boja
DIA	računalna analiza slike
ΔE	ukupna promjena boje
HMF	hidroksimetilfurfural
L^*	parametar *CIEL***a***b** prostora boja – svjetlina boje (engl. *lightness*)
L_0^*	parametra svjetline tijesta
MPŠVG	Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnog gospodarstva
T	temperatura *[°C]*
t	vrijeme [min]
G	boja gornje površine čajnog peciva
D	boja donjeg dijela (donje površine) čajnog peciva
S800	šećer s veličinom kristala <800 μm
S1000	šećer s veličinom kristala <1000 μm
SP	šećer u prahu
1,5	čajno pecivo s 0,67% $NaHCO_3$
2,5	čajno pecivo s 1,11% $NaHCO_3$,
3,5	čajno pecivo s 1,56% $NaHCO_3$
MN	margarin

1.UVOD

Keks je izvorna britanska riječ koja uključuje male pekarske proizvode (obično ravnog oblika) od pšeničnog brašna s različitim udjelom masnoća, šećera i drugih sastojaka pa se pod tim pojmom podrazumijevaju i krekere te luksuzni proizvodi pod nazivom kolačići. Svi imaju nizak udjel vlage, pakirani su kako bi bili zaštićeni od utjecaja atmosferske vlage i imaju dug vijek trajanja. (Manley, 2000.)

Pravilnik o keksima i keksima srodnim proizvodima definira ove proizvode kao proizvodi određenih prehrambenih i senzorskih svojstava koji su dobiveni od mlinskih proizvoda, masnoća, šećera, škroba te drugih sirovina i aditiva, tehnološkim postupcima kao što su: miješenje, gnjetenje, tučenje, oblikovanje, pečenje.

Keksi i keksima srodni proizvodi mogu biti s dodacima, mogu se puniti, prelijevati, djelomično prelijevati, ukrašavati, posipavati. Prema tehnološkom procesu proizvodnje i sastavu sirovina, keks i keksima srodnim proizvodi stavljaju se na tržište pod nazivom: keks, kreker, trajno slano pecivo, čajno pecivo, vafel list, vafel proizvod, medenjak, paprenjak, makronen, biskvit, piškote, mekani biskvit, kolač i trajni kolač. (MPŠVG, 2005.)

Kvalitetna svojstva keksa i keksu srodnih proizvoda je svojstvena za svaku skupinu keksa. Prema ogranoleptici, kvalitetu keksarskih proizvoda definiraju vanjska i unutrašnja svojstva keksa. Vanjski faktori kvalitete keksarskih proizvoda su oblik, izgled i boja površine, a unutrašnji faktori su prijelom, struktura, tekstura, miris i okus. Boja keksarskih proizvoda je različitog intenziteta, ujednačena ili neujednačena s rubom jačeg intenziteta. (Gavrilović, 2011.)

Nastanak boje na površini čajnih peciva tijekom pečenja je rezultat reakcija neenzimskog posmeđivanja. (Hodge, 1953.) Kod čajnih peciva, smeđa boje potječe od netopivog smeđeg pigmenta melanoidina i karamela koji su produkti reakcija neenzimskog posmeđivanja (Maillardove rekcije i karamelizacija). (Wahlby i Skjoldebrand, 2002.)

U ovom diplomskom radu praćena je kinetika promjene boje čajnih peciva od pšeničnog brašna tijekom pečenja proizvedenih u laboratorijskim uvjetima. Ispitan je utjecaj udjela natrijevog bikarbonata (0,67%, 1,11% i 1,56%), granulacije šećera (veličina kristala <800 μm, <1000 μm i šećer u prahu) te temperature pečenja (180 C, 205 ℃ i 230 °C) na boju površine i donjeg dijela čajnog peciva. Za određivanje boje čajnog peciva tijekom 10 minuta pečenja korištena je računalna analiza slike.

2.TEORIJSKI DIO

2.1. ČAJNO PECIVO

Čajno pecivo se definira kao proizvod koji je dobiven pečenjem oblikovanog masnog i mekog tijesta uz sadržavanje najmanje 10% masnoća, računato na gotov proizvod s najviše 5% vode.

Prilikom izrade čajnih peciva upotrebljava se brašno, masnoće, šećer i drugi dozvoljeni dodaci. Prema udjelu masti koju sadrže, čajna peciva se dijele na kvalitetne grupe:

- desertna fina peciva s najmanje 20% masnoće,
- fina peciva prve kvalitete s najmanje 15% masnoće,
- fina peciva druge kvalitete s najmanje 10% masnoće. (Ugarčić-Hardi, 1999.)

Prema načinu obrade kao i prema konstrukciji i načinu rada strojeva za oblikovanje, čajna peciva se dijele na:

- prešano čajno pecivo
- rezano čajno pecivo
- oblikovano (formirano) čajno pecivo
- dresirano (istisnuto) čajno pecivo. (Gavrilović, 2011.)



Slika 1. Čajno poecivo

2.2. SIROVINE ZA PROIZVODNJU ČAJNOG PECIVA

U proizvodnji čajnog peciva glavne sirovine su pšenično brašno, masnoće i šećer. Pored glavnih sirovina u keksarstvu se koriste i dodatne sirovine:

- jaja (jaja u prahu, svježa jaja, jajni melanž);
- med;
- mlijeko, mlijeko u prahu;
- sredstva za aromatizaciju (eterična ulja, ekstrakti, koncentrirani voćni sokovi, vanilin šećer);
- boje;
- sredstva za narastanje tijesta:

a) biokemijska – kvasac,

b) kemijska – amonijev i natrijev bikarbonat (amonijev i natrijev hidrogenkarbonat).

Od dodatnih sirovina najvažniju ulogu imaju sredstva za narastanje tijesta. Primjenom sredstava za narastanje tijesta mijenja se pH sredine tijesta, a također ona imaju važnu ulogu u formiranju strukture proizvoda tijekom pečenja. (Gavrilović, 2011.)

2.2.1. Pšenično brašno

Pšenica je vrlo važan izvor hrane koju čovjek od davnina uzgaja. Botanički je svrstana u porodicu trava, rod *Triticum*, a ima dvadeset i sedam vrsta. Za proizvodnju brašna su značajne tri vrste:

- *Triticum aestivum* (meka pšenica),
- *Triticum compactum* (patuljasta pšenica),
- *Triticum durum* (tvrda pšenica).

Od ukupne proizvodnje pšenice u svijetu 90% otpada na sorte mekih vrsta. Brašno dobiveno mljevenjem mekih vrsta pšenice koristi se u proizvodnji kruha, a dijelom i u konditorskoj industriji, te za proizvodnju tjestenine. Patuljasta pšenica ima niži udjel

proteina i brašno od ove vrste pšenice se koristi za proizvodnju kolača, vafla i lisnatog tijesta. Pšenično brašno je proizvod dobiven meljavom mlinski očišćene i pripremljene pšenice određenim tehnološkim postupkom. (Kljusurić, 2000.)

Pri proizvodnji keksa većinom se koriste brašna slabih pšenica koja sadrže ispod 10% proteina. Vrlo je važna granulacija brašna, a izbor brašna ovisi o sirovinskom sastavu tijesta i načinu mehaničke obrade. (Gavrilović, 2011.)

2.2.1.1. Kemijski sastav pšenice i brašna

U tablici 1 prikazan je prosječni kemijski sastav pšeničnog zrna.

Tablica 1 Prosječni kemijski sastav pšeničnog zrna (Koehler i Wieser, 2013.)

Kemijski sastav	%
proteini	11,3
lipidi	1,8
ugljikohidrati	59,4
pepeo	1,7
prehrambena vlakna	13,2
vlaga	12,6

Ukupna količina šećera kao i zastupljenost pojedinog šećera u pšenici mijenja se ovisno o sorti pšenice kao i o uvjetima razvoja. Kada zbog povećane vlage pšenica počne klijati dolazi do hidrolize škroba pod utjecajem enzima.

Škrob je količinski glavna komponenta pšeničnog zrna. Tijekom sazrijevanja zrna pšenice, biljka stvara rezervu hrane u obliku škroba za novu sjemenku. Škrob nastaje u zrnu u obliku mikroskopskih granula, a granule su okruglog oblika različitih veličina. Promjer granula kreće se od 2 μm do 50 μm. Udjel škroba u brašnu ovisi o udjelu

škroba u pšenici i o stupnju izmeljavanja. Udjel škroba i proteina u brašnu je obrnuto proporcionalan, pa brašno bogato proteinima ima manje škroba, a brašno siromašno proteinima ima više škroba. Celuloza je strukturni polisaharid staničnih membrana viših biljaka. Ona nije od posebnog značaja u proizvodima dobivenim mljevenjem pšenice jer nije probavljiva u ljudskom organizmu, a u brašnu se ponaša inertno. Proteini su u pšeničnom zrnu osnovna komponenta za određivanje kvalitete brašna. U pojedinim dijelovima zrna pšenice proteini su različito zastupljeni. U omotaču zrna pšenice zajedno s aleuronskim slojem ima ih oko 15% od čega se najveći dio nalazi u aleuronskom sloju koji je najbogatiji s proteinima i sadrži 20 – 35% proteina zrna pšenice. U klici se nalazi 17 – 27% proteina, a u škrobnom endospermu se nalazi od 5 do 16% proteina. Udjel proteina unutar endosperma raste od središta prema aleuronskom sloju. U pšenici su od proteina prisutni: albumini, globulini, prolamini (gliadini) i glutelini (glutenini). Gliadin i glutenin zajedno s vodom stvaraju gluten. On se dobije ispiranjem tijesta sa vodom ili razrijeđenom otopinom kuhinjske soli dok se ne ispere sav škrob. Suha tvar glutena sadrži 75 – 85% proteina i oko 5 – 10% lipida.

Lipidi su tvari koje su po fizikalnim svojstvima slične mastima, a iz kojih se hidrolizom dobivaju masne kiseline ili derivati masnih kiselina, te proizvodi koji sadrže dušik ili fosfor. Brašno sadrži nizak udjel lipida, ali lipidi imaju funkcionalna svojstva od posebnog značaja za tehnološku kvalitetu brašna.

Lipidi su najnestabilniji spojevi u pšeničnom zrnu. Tijekom skladištenja povećava se udjel slobodnih masnih kiselina proporcionalno stupnju razgradnje lipida. Vrlo lako oksidiraju i u uvjetima lošeg skladištenja i prvo se pojavi tipičan miris na užeglost masti. Kisik iz zraka tijekom tehnološkog zrenja brašna i u procesu zamjesa brašna uzrokuje oksidaciju lipida u tijestu. Lipidi imaju povoljan utjecaj na kvalitetu brašna. Brašno iz kojeg se ekstrahiraju lipidi daje tijesto koje je manje rastezljivo, i ima veći otpor rastezanju. Ako je u brašnu veći udjel slobodnih masnih kiselina zbog starosti brašna, takvo brašno je slabije kvalitete i ima „kratak“ gluten. (Kljusurić, 2000., Đaković, 1997.)

2.2.2. Voda

Voda je u brašnu može biti u vezanom, kapilarnom i slobodnom obliku. Udjel slobodne vode u tijestu regulira visoko-elastična svojstva tijesta. Tijekom zamjesa proteini glutena bubre i oblikuju prostornu molekulsku rešetku ispunjenju suspenzijom hidratiziranog škroba. Udjel vode u brašnu je od 13 do 14%. (Gavrilović, 2011.)

2.2.3. Masnoće

Masnoće su u tijestu raspodijeljene u tankim slojevima i povezana preko svojih hidrofobnih veza s hidrofobnim vezama proteina brašna. Između prirodnih polarnih lipida brašna i prirodnih polarnih lipida masnoća dolazi do interakcije i, zajedničkim međusobnim djelovanjem, stvaraju lipoproteine. Lipoproteini imaju ulogu u formiranju plastično-elastičnih i elastično-plastičnih svojstava tijesta. Masnoće reguliraju kako će se tijesto ponšati preko svojih svojstava plastičnosti i sposobnosti apsorpcije mjehurića zraka. Tijekom mehaničke obrade tijesta, masnoće smanjuju skupljanje tijesta, jer smanjuju napone koji dovode do deformacije oblikovanog komada tijesta. Upotrebom masnoća dobiva se tijesto mekše konzistencija, kojem je potrebno uložiti manje energije tijekom zamjesa, a zbog smanjenih napona, tijesto se mehanički lakše obrađuje. (Gavrilović, 2011.)

2.2.4. Šećer

Konzumni rafinirani šećer sadrži 99,8% saharoze, a konzumni bijeli šećer sadrži najmanje 99,6% saharoze do 0,15% pepela i do 0,02% vode. Kod sirovog šećera udjel saharoze je nešto manji i on iznosi 95%. (Mičić, 1976.) Saharoza pri zamjesu tijesta utječe na smanjenje osmotske aktivnosti vode i proteini glutena sporije bubre, pa je ujedno i usporen proces oblikovanja tijesta. Dodatak 15 - 30% saharoze na brašno u tijestu utječe na dobivanje manje količine izdvojenog glutena. Povećanjem koncentracije saharoze dolazi do povećanja otopljenih dušičnih tvari u tijestu.

U tijestu gdje je udjel vlage ispod 25% za različite skupine keksa u prednosti je upotreba šećera u prahu, jer se on brže otapa tijekom zamjesa tijesta. Maksimalna veličina čestica šećera u prahu je 100 μm. (Gavrilović, 2011.)

2.2.5. Natrijev hidrogenkarbonat

Natrijev hidrogenkarbonat, natrijev bikarbonat ili soda-bikarbona ($NaHCO_3$) je kristalni prah bijele boje, slabog mirisa i slabog alkalno-slanog okusa. Lako se otapa u vodi. Na temperaturi od 90 ℃ razlaže se na natrijev karbonat, ugljikov-dioksid i vodu. Pri pečenju keksa nastali plinovi imaju utjecaj na formiranje strukture proizvoda. Natrijev hidrogenkarbonat se dodaje tijestu za keks u količini 2 - 6 g/1 kg brašna.

Natrijev hidrogenkarbonat ima višestruku ulogu kao sredstvo za narastanje prilikom zamjesa tijesta za keksarske proizvode, mijenja pH sredine tijesta, sprječava ljepljivost tijesta i zbog toga je moguće istanjivanje tijesta tijekom mehaničke obrade. Tijesta za keksarske proizvode imaju pH od 7 do 9. Kemijska sredstva za narastanje pod djelovanjem topline se razlažu i otapaju plinove koji sudjeluju u formiranju oblika, volumena i strukture proizvoda.

$$2\ NaHCO_3 \xrightarrow{\text{toplina}} Na_2CO_3 + H_2O + CO_2$$

2.3. PROCES PROIZVODNJE ČAJNOG PECIVA

2.3.1. Skladištenje sirovina

Skladište mora odgovarati zahtjevima za skladištenje svih sirovina. Da bi se osigurao kontinuitet rada u pogonu, u skladištu mora biti dovoljno kapaciteta za sve potrebne sirovine. U laboratoriju se provodi kontrola svih sirovina koje dolaze u skladište i na taj način provjerava njihova kvaliteta. (Ugarčić-Hardi, 1999.)

Optimalna temperatura za skladištenje brašna je od 18 do 20 ℃ uz relativnu vlažnost od 60%. Za skladištenje šećera je potrebna nešto veća relativna vlažnost oko 75% na temperaturi od 18 ℃. (Kaluđerski, 1986.)

2.3.2. Predpriprema sirovina

Kako bi se osigurao kontinuitet tehnološkog procesa proizvodnje provodi se predpriprema sirovina. Prije procesa proizvodnje brašno se prosijava, šećer u kristalu se prema potrebi melje u sitni prah, a masnoće se omekšavaju ili otapaju. Postupak prosijavanja brašna provodi se kako bi se uklonile eventualne nečistoće (insekti, papir od ambalaže, zrno pšenice). Pri proizvodnji keksarskih proizvoda najčešće se koristi konzumni rafinirani šećer u kristalu koji se prije upotrebe, ovisno o keksarskom proizvodu, melje u šećer u prahu. Šećer prahu je pogodniji u proizvodnji određenih proizvoda, jer se brže i potpunije otapa u tijestu, te se ne osjeti u gotovom proizvodu. Njegova veličina čestica bi trebala biti ispod 0,1 mm. Ovisno o vrsti proizvoda prije vaganja provodi se otapanje ili omekšavanje masnoća.

2.3.3. Vaganje sirovina

Vaganje sirovina provodi se prema određenoj recepturi za svaki pojedini proizvod, a svaku sirovinu potrebno je posebno izvagati. U pogonu se odvaga brašna obično radi na automatskim ili poluautomatskim vagama. Jednu šaržu čine odvagane sirovine koje su upotrijebljene za izradu jedne mase, a veličina tih šarži usklađena je s kapacitetom miješalice za izradu tijesta. (Ugarčić-Hardi, 1999., Gavrilović, 2011.)

2.3.4. Izrada zamjesa

Doziranje sirovina pri izradi zamjesa može biti jednofazno ili dvofazno. Razlika između ova dva postupka doziranja je u tome što se kod dvofaznog postupka dozira prvo određena količina šećera, vode, masti te ostalih sirovina osim brašna. Nakon doziranja ovih sastojaka slijedi miješanje i dodatak dijela brašna te otopine sredstava za rahljenje, a potom ostatak drugog dijela brašna. Nasuprot tome, jednofaznim postupkom sve sirovine se dodaju odjednom i treba voditi računa da se sredstvo za rahljenje doda brašnu. (Gavrilović, 2011.)

S obzirom da tijesto sadržava najveći udjel brašna (60 – 80%), kvaliteta izrađene mase ovisi o sastavu, veličini čestica, vrsti te drugim svojstvima brašna. Netopljivi proteini i škrob su najvažniji sastojak brašna, te o njihovom sastavu i odnosu ovisi kvaliteta i količina vlažnog lijepka. Dodatkom masnoća i šećera smanjuje se moć

upijanja vode i to dovodi do povećanja elastičnog svojstva tijesta, što otežava postizanje željene konzistencije tijesta i otežava njegovu daljnju obradu. Ako su veličine čestice brašna (granulacija) manje, onda se povećava moć upijanja vode. Dolazi do oštećenja škrobnih zrnaca i ubrzane razgradnje škroba, tijesto bolje zadržava plinove, te je i zbog toga volumen gotovog proizvoda veći.

Prilikom izrade tijesta za čajna peciva temperatura ne bi smjela biti veća od 25℃ jer bi se masa ožilavila, izgubila plastična svojstva postala elastična. Temperatura također ne bi smjela ni biti niža od 18℃ jer bi otežala izradu tijesta na strojevima. Vrijeme izrade tijesta ovisi o temperaturi brašna i drugih sirovina, granulaciji brašna, konzistenciji masnoća, veličini čestica šećera. Vrijeme izrade tijesta je od 5 do 15 minuta. (Ugarčić-Hardi, 1999., Gavrilović, 2011.)

2.3.5. Oblikovanje tijesta

Čajno pecivo ima prhku, rahlu i ne slojevitu strukturu. Rezana čajna peciva izrađuju se od oštrog brašna i, nakon oblikovanja propuštanjem kroz kalup slobodnim padom spuštaju se na transportnu traku, te režu pomoću zategnute. Kod prešanih čajnih peciva tjestene trake se poslije propuštanja kroz kalu određenog oblika, transportiraju transportnom trakom do noža koji ih zasijeca na određenu dužinu. Stroj za oblikovanje dresiranih (istisnutih) čajnih peciva je kompliciran i osjetljiv, posebno na čvrstoću tijesta. Masa ne smije biti tvrda kako ne bi došlo do otežanog oblikovanja, niti mekana zbog mogućnosti razlijevanja poslije oblikovanja. Tijesto se oblikuje tako što ga dva rebrasta valjka istiskuju kroz kalup u obliku pojedinačnih komada. Formirana (dresirana) čajna peciva se dobiju od rastresitog tijesta i oblikuju se pomoću valjaka u kojem su po cijelom omotaču urezani kalupi. (Gavrilović, 2011.)

2.3.6. Pečenje

Tri glavne promjene koje se događaju za vrijeme pečenja su: povećanje debljine proizvoda kroz proizvodnju plinova i isparavanja vode; smanjenje mase proizvoda zbog sušenja rezultira velikim smanjenjem gustoće proizvoda i razvoj porozne strukture i potamnjivanje površine proizvoda uslijed hidrolize škroba i karamelizacije šećera. (Chevallier sur. 2002.)

Pečenje je složena operacija tehnološkog procesa proizvodnje čajnog peciva u kojem dolazi do fizikalno-kemijskih promjena. Proces promjena sastojaka tijesta započinje u trenutku kad temperatura tijesta u površinskim slojevima dostigne 40℃ i završava na kraju pečenja.

U procesu pečenja oblikovano tijesto mijenja vanjski izgled, dimenzije čajnog peciva, formira struktura, boju, okus i aromatična svojstva. Škrob i proteini prelaze u supstance probavljive u organizmu. Sastav saharoze i masnoća mijenja se neznatno tijekom pečenja. Masnoća obavijena oko škrobnih zrnaca smanjuje krutost škroba, a s druge strane šećer utječe na staklavost proizvoda.

Proces pečenja se može opisati u tri faze. U prvoj fazi nastaje ekspanzija tijesta i smanjenje vlage. U drugoj fazi se nastavlja ekspanzija volumena tijesta, ali istovremeno dolazi do nastanka boje na površini oblikovanog tijesta – čajnog peciva. U trećoj fazi se regulira visina proizvoda i pojačava boja. (Gavrliović, 2011.)

2.3.6.1. Promjene tijekom pečenja

Prema kemijskom sastavu, najznačajnije promijene do kojih dolazi tijekom pečenja su: dehidratacija, koagulacija proteina, bubrenje i želatinizacija škroba te karamelizacija šećera. Djelovanjem povišene temperature tijesto tijekom pečenje pretvara se u proizvod s različitim svojstvima na površini i u sredini.

U sredini proizvoda je sporiji porast temperature, te se na površini stvara tanka kora koja sprječava brže prodiranje topline u unutrašnjost proizvoda. (Zang i Datta, 2006.)

Pri temperaturi 50 – 60℃ odvija se koagulacija proteina i pri tome dolazi do oslobađanja vode koju veže škrob, te on intenzivno bubri. Vlažni gluten (lijepak) najviše bubri pri temperaturi od 35℃, a pri višim temperaturama on otpušta vodu koju veže škrob. Škrob najviše bubri pri temperaturi 80℃. Vlažni gluten koagulacijom proteina gubi plastičnost i postaje čvrst. Od škroba nastaje škrobni gel (klajster) koji loše provodi toplinu i nije porozan. Tijesto s više vlažnog glutena i s više nastalog škrobnog gela teže će se peći. Nastali škrobni gel ima funkciju sprječavanja prijenosa topline u proizvod kao i izlazak plinova i para iz proizvoda. Škrob gubi vodu i puca pri temperatura višim od 100 ℃ te dolazi do stvaranja pukotina i sredina proizvoda se brže zagrijava. Do razgradnje kemijskih sredstava za narastanje dolazi pri

temperaturama od 60 do 90 ℃ pri čemu se stvaraju plinovi i voda (vodena para), a to ujedno utječe na povećanje volumena proizvoda. Zagrijavanjem, plinovi i para se šire i izlaze van, a ostaju šupljine koje daju proizvodu poroznu strukturu.

Na stvaranje žuto-smeđe boje kore čajnih peciva utječe nizak udjel vode i povišena temperatura. Daljnjim povišenjem temperature najprije nastaju produkti Maillardovih reakcija i karamelizacije (melanoidini i karamel), a zatim dolazi do izgaranja proizvoda i nastanka crne porozne mase. Melanoidini nastaju tek kada je temperatura na površini proizvoda viša od 120℃. Karamelizacija je proces degradacije šećer pri djelovanju povišene temperature uz promjenu boje i arome proizvoda. Važan parametar završetka pečenja pekarskih proizvoda je promjena boje površine proizvoda. (Broyart i sur. 1997.; Purlis i Salvadori, 2007.) S druge strane, razvoj produkata karamelizacije (karamela) nastaje kada je temperatura na površini proizvoda viša od 200℃ i pri niskom udjelu vode. (Yildiz, 2009.; Quintas i sur., 2002.)

Maillardove reakcije su reakcije koje nastaju između proteina i reducirajućih šećera. Osim razvoja poželjnih svojstva kao što su aroma i boja, mogu nastati i nepoželjni produkti poput hidroksimetilfurfurala (HMF) i akrilamida (AA). Na prirodu Maillard-ovih reakcija i prirodu produkata koji nastaju utječu svojstva okoline tj. svojstva samog medija odnosno namirnice kao što su: aktivitet vode, pH, kemijski sastav i temperatura. (Martins i sur., 2001.)

Brzina strujanja zraka značajno utječe na brzinu pečenja. Kod čajnih peciva potrebna je nešto veća brzina od 1,5 do 2 m/s. U procesu pečenja ispari 20 – 25% vode. Kako bi kod trajnog pečenog proizvoda kvaliteta bila zadovoljavajuća, on ne smije imati udio vode veći od 5%.

2.3.7. Hlađenje

Nakon završenog procesa pečenja, proizvodi se hlade na sobnoj temperaturi (18 – 22℃). Tri osnovna procesa hlađenju su: prirodno, umjetno i kombinirano. Prirodno hlađenje je najbolje jer se provodi na otvorenom prostoru uz prirodno strujanje zraka. Ono je postepeno pa nema naglih temperaturnih razlika koje bi prouzrokovale pucanje proizvoda. Dužina transportera pri kojoj proizvodi putuju transportnim trakama treba biti dva puta veća od dužine peći. Strujanje zraka pomoću ventilatora

kod umjetnog hlađenja se odvija uz brzinu kretanja zraka od 3 do 4 m/s. (Gavrliović, 2011.)

2.3.8. Pakiranje

Ohlađeni proizvodi se automatski ili ručno pakiraju u odgovarajuću ambalažu i nakon provedene analize se odvoze u skladišta u kojima se skladište pri točno određenim uvjetima.

2.4. ODREĐIVANJE BOJE

Boja namirnice prvi je doživljaj kod potrošača prilikom odabira. U tehnološkom smislu boja je svojevrsni indikator mogućih anomalija ili oštećenja proizvoda koja nastaju tijekom prerade, proizvodnje i skladištenja. (Pedreschi i sur., 2007.a, 2007.b) Brojni istraživači razvili su različite metode određivanja boje na površini pekarskih proizvoda. Direktne metode usmjerene su na kvantitativno praćenje produkata Maillardovih reakcija i karamelizacije (AA, HMF i furfurala) (Ramirez-Jimenez, 2000.), dok se indirektne metode zasnivaju na principu mjerenja reflektirane količine svjetlosti s površine analiziranog uzorka različitim mjernim uređajima. Na tržištu je dostupno mnogo različitih uređaja za indirektno određivanje boje. Većina njih dizajnirani su tako da se određivanje boje vrši direktnim kontaktom uređaja i uzorka. Ovi instrumenti uspješno se koriste za određivanje boje homogenih uzoraka. Međutim, glavni nedostatak ovih mjernih instrumenata je ograničenje u veličini i geometriji uzorka koji je podvrgnut mjerenju (mjere malo područje uzorka). To čini mjerenja prilično nereprezentativnim za heterogene materijale, kakvi su mnogi prehrambenih proizvoda. Stoga je za objektivnu analizu, određivanje boje istog uzorka potrebno provesti na više različitih mjesta na uzorku. U većini slučajeva, povećanje broja mjerenja istog uzorka nije prihvatljiv pristup pogotovo za uzorke nepravilnog oblika (odstupanja u mjerenjima su velika). Za dobivanje precizne i objektivne informacije o boji, potrebno je primijeniti određivanje boje metodom koja omogućava analizu sveukupne površine uzorka u istom koraku mjerenja. To je osobito važno za primjenu u industriji u kojoj je ujednačenost boje namirnice važna značajka. (Pletney, 2007.; Zeng i sur., 2007.; Magdić i sur., 2009.)

Uređaji za indirektno određivanje boje koji se često primjenjuju u praksi su: kolorimetar, kromametar, spektrofotometar, denziometar (Gokmen i sur., 2008.; Purlis i Salvadori, 2007.), a u novije vrijeme sustav za računalnu analizu slike. (Brosnan i Sun, 2002., 2004.; Zeng i sur., 2007.; Magdić i sur., 2006.) Računalna analiza slike može obuhvatiti cjelokupnu površinu uzorka, što ju čini objektivnijom i preciznijom metodom, za razliku od kolorimetara kod kojih je analizirana površina svega nekoliko centimetara (oko 2 cm^2). (Mendoza i sur., 2006.)

2.5. RAČUNALNA ANALIZA SLIKE I PROSTOR BOJA

Boja površine uzorka primjenom računalne analize slike (engl. *Digital image analysis,* DIA) 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. Prednost sustava za analizu slike, nad praćenjem boje ljudskim okom je objektivnost i kontinuiranost u procjeni boje.

Način na koji se definiraju, stvaraju i vizualiziraju boje naziva se prostor boja ili model boja, a njihova osnovna podjela boje je na:

aditivni prostori boja, oni su ovisni o uređaju i boja se dobiva zbrajanjem pojedinih komponenti (npr. RGB),

subtraktivni prostori boja koji su neovisni o uređaju i boja se dobiva oduzimanjem pojedinih komponenti (CIE prostori boja te izvedeni prostori CIE$L^*a^*b^*$).

Boja je definira pomoću tri parametri, a ti parametri određuju poziciju boje unutar prostora boja koja se koristi. (Russ, 2007.; Leon i sur., 2006.; Larrain i sur., 2008.)

2.5.1. RGB prostor boja

RGB prostor boja predstavlja tri aditivna primara: crvena, zelena i plava boja. Svaka od ovih boja nastaju zbrajanjem pojedinih komponenti crvene, zelene i plave boje. S

pomoću kocke je predstavljen RGB model pri čemu crvene boja označava x-os, zelena boja y-os, a plava boja z-os. (Puglia, 2000.)

2.5.2. CIE$L^*a^*b^*$ prostor boja

CIE$L^*a^*b^*$ prostor boja je baziran na percepciji boje standardnog promatrača, a označava trodimenzionalni prostor boja. U ovom sustava prednost je uvođene svjetline kao treće dimenzije. Sustav CIE$L^*a^*b^*$ je opisan pomoću tri osi od kojih su dvije kromatske, a^* komponenta označava odnos između crvene i zelene komponente (negativne vrijednosti predstavljaju zelenu boju, a pozitivne vrijednosti crvenu boju), a b^* komponenta označava odnos između žute i plave boje (plava je za negativne vrijednosti, a žuta za pozitivne). Svjetlinu određuje komponenta L^* pri čemu se akromatska os mjeri po vertikalnoj osi od 0 do 100. Crnu boju predstavlja 0, a bijelu boju predstavlja 100. (Hsien-Che, 2005.)

3.EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Zadatak rada bio je praćenje kinetike promjene boje uzoraka čajnog peciva od pšeničnog brašna tijekom pečenja proizvedenih u laboratorijskim uvjetima. Ispitan je utjecaj udjela natrijevog hidrogenkarbonata (0,67% $NaHCO_3$ = 1,5 g $NaHCO_3$ dodano na 225 g brašna; 1,11% $NaHCO_3$ = 2,5 g $NaHCO_3$ dodano na 225 g brašna; 1,56% $NaHCO_3$ = 3,5 g $NaHCO_3$ dodano na 225 g brašna), granulacije šećera (veličina kristala <800 μm, <1000 μm i šećer u prahu) te temperature pečenja (180 ℃, 205 ℃ i 230 °C) na boju površine i donjeg dijela čajnog peciva. Za određivanje boje čajnog peciva tijekom 10 minuta pečenja (tijekom svake minute pečenja) korištena je računalna analiza slike.

3.2. MATERIJAL

Proizvod: čajno pecivo

Receptura prema *AACC* metodi 10-50D:

64 g shortening-a (margarin)

130 g šećera (šećer kristal <800 μm, šećer kristal >1000 μm, šećer u prahu)

2,1 g NaCl

2,5 g $NaHCO_3$*

33 g otopine glukoze (otopina glukoze: 8,9 g glukoze otopiti u 150 cm^3 destilirane vode)

16 g destilirane vode

225 g pšeničnog brašna (Tena oštro T-550)

* primjenjeni različiti udjeli natrijevog hidrogenkarbonata: 0,67% (1,5 g $NaHCO_3$ u recepturi zamjesa), 1,11% (2,5 g $NaHCO_3$ u recepturi zamjesa) i 1,56% (3,5 g $NaHCO_3$ u recepturi zamjesa)

3.3. METODE

Prema *AACC* metodi 10-50D svaka sirovina se važe posebno na poluautomatskoj laboratorijskoj vagi. U posudu za miješanje prvo se dodaju odvagana masnoća, šećer, NaCl i $NaHCO_3$ i miješaju tri minute brzinom 1 (najsporijom). Pri miješanju se

koriste „žičane“ mutilice miksera. Sastojke sa stijenki posude je potrebno svake minute sastrugati. Nakon završetka miješanja prve tri minuta potrebno je dodati otopinu glukoze i destiliranu vodu te nastaviti miješati brzinom 1 (najsporijom) tijekom jedne minute, a potom još jednu minutu brzinom 2 (srednja brzina miksera).

Potom slijedi dodavanje ukupne količine brašna i miješanje dvije minuta brzinom 1 (najsporija brzina miksera), a svakih 30 sekundi potrebno je sastrugati sastojke sa stijenki posuda. Tijesto se sakupi ručno i okruglo oblikuje te stavi u PVC vrećicu u hladnjak (do 8 ℃) tijekom 30-60 minuta.

Tijesto razvaljati valjkom za tijesto na debljinu 7 mm u dva poteza valjka za tijesto (naprijed-nazad). Potrebno je izrezati okrugle oblike tijesta promjera 60 mm (35 g). Izvagati 6 oblikovanih komada tijesta. Oblikovano tijesto peći u pećnici 10 minuta pri 180 °C, 205 °C ili 230 °C. Drugih deset oblikovanih komada tijesta se peku jedan po jedan u pećnici od 1 minute do 10 minuta. Nakon pečenja, pečene kekse ohladiti 30 minuta pri sobnoj temperaturi.

3.4. MJERENJE BOJE ČAJNOG PECIVA

Mjerenje boje uzoraka računalnom analizom slike provedeno je u nekoliko koraka. Prvi korak je digitalizacija uzoraka (skeniranje) pomoću skenera EPSON PERFECTION V500 PHOTO. Skener je smješten u tamnu komoru kako bi se postigli kontroliranu uvjeti rasvjete (komora ne dopušta osvjetljavanje uzoraka drugim izvorom svjetlosti). Nakon digitalizacije, slike su spremljene u TIFF formatu. Sijedeći korak je obrada i analiza slike računalnim programima *Adobe Photoshop* i *ImageJ*. Prvi dio obrade slike je segmentacija uzorka na slici te brisanje podloge (pomoću programa *Adobe Photoshop*) kako bi se kvantitativno opisao fotografirani uzorak pomoću izdvojenih podataka (u ovom slučaju parametri boje) i potom slijedi njena daljnja obrada u *ImageJ* programu. Kao rezultat mjerenja boje uzoraka čajnog peciva dobivaju se vrijednosti R, G i B prostora boja u svakoj točci na slici koje su potom prevedene u CIE$L^*a^*b^*$ prostor boja (prema jednadžbama 3.1-3.9). Mjerenje boje provedeno je na površini te donjem dijelu uzoraka čajnog peciva.

Određena boja je definirana određenim mjestom u CIE$L^*a^*b^*$ prostoru boja. Trodimenzionalni prostor predstavljaju tri međusobno okomite osi koje su označene kao L^*, a^* i b^*, a pri čemu je:

- L^* koordinata svjetline s podjelom od 0 (crna) do 100 (bijela);
- a^* koordinata obojenja s pozitivnim i negativnim smjerom tj. vektorom crvene boje, $+a^*$ (engl. *redness*) i vektorom za komplementarnu zelenu boju, $-a^*$ (engl. *grenness*);
- b^* koordinata obojenja s pozitivnim i negativnim smjerom tj. vektorom žute boje, $+b^*$ (eng. *yellowness*) i vektorom komplementarne plave boje, $-b^*$ (engl. *blueness*).

Pretvorba iz RGB u CIE$L^*a^*b^*$ prostor boja napravljena je prema slijedećim jednadžbama (Leon i sur., 2006.; Mendoza, 2006.):

$$R' = \frac{R}{255}; \qquad R' \begin{cases} \text{ako je} \left(R' > 0{,}04045\right) \text{onda vrijedi } R' = \left[\frac{(R + 0{,}055)}{1{,}055}\right]^{2{,}4} \\ \text{u protivnom vrijedi } \mathrm{R}' = \left(\frac{R}{12{,}92}\right) \end{cases} \tag{3.1}$$

$$G' = \frac{G}{255}; \qquad G' \begin{cases} \text{ako je} \left(G' > 0{,}04045\right) \text{onda vrijedi } \mathrm{G}' = \left[\frac{(R + 0{,}055)}{1{,}055}\right]^{2{,}4} \\ \text{u protivnom vrijedi } \mathrm{G}' = \left(\frac{G}{12{,}92}\right) \end{cases} \tag{3.2}$$

$$B' = \frac{B}{255}; \qquad B' \begin{cases} \text{ako je} \left(B' > 0{,}04045\right) \text{onda vrijedi } \mathrm{B}' = \left[\frac{(B + 0{,}055)}{1{,}055}\right]^{2{,}4} \\ \text{u protivnom vrijedi } \mathrm{B}' = \left(\frac{B}{12{,}92}\right) \end{cases} \tag{3.3}$$

$$\begin{aligned} R' &= R' \cdot 100 \\ G' &= G' \cdot 100 \\ B' &= B' \cdot 100 \end{aligned} \tag{3.4}$$

$$\begin{aligned} X' &= R' \cdot 0{,}4124 + G' \cdot 0{,}3576 + B' \cdot 0{,}1805 \\ Y' &= R' \cdot 2126 + G' \cdot 0{,}7152 + B' \cdot 0{,}0722 \\ Z' &= R' \cdot 0{,}0193 + G' \cdot 0{,}1192 + B' \cdot 0{,}9505 \end{aligned} \tag{3.5}$$

$$X' = \frac{X}{X_n}; \qquad X' \begin{cases} \text{ako je} \left(X' > 0{,}008856\right) \text{onda vrijedi} \left(X'\right)^{1/3} \\ \text{u protivnom vrijedi } X' = \left(7{,}787 \cdot X'\right) + \left(\frac{16}{116}\right) \end{cases} \tag{3.6}$$

$$Y' = \frac{Y}{Y_n}; \qquad Y' \begin{cases} \text{ako je} \left(Y' > 0{,}008856\right) \text{onda vrijedi} \left(Y'\right)^{1/3} \\ \text{u protivnom vrijedi } Y' = \left(7{,}787 \cdot Y'\right) + \left(\frac{16}{116}\right) \end{cases} \tag{3.7}$$

$$Z' = \frac{Z}{Z_n}; \qquad Z' \begin{cases} \text{ako je} \left(Z' > 0{,}008856\right) \text{onda vrijedi} \left(Z'\right)^{1/3} \\ \text{u protivnom vrijedi } Z' = \left(7{,}787 \cdot Z'\right) + \left(\frac{16}{116}\right) \end{cases} \tag{3.8}$$

$$\begin{aligned} L^* &= \left(116 \cdot Y'\right) - 16 \\ a^* &= 500 \cdot \left(X' - Y'\right) \\ b^* &= 200 \cdot \left(Y' - Z'\right) \end{aligned} \tag{3.9}$$

Udaljenost između dvije točke u koordinatnom sustavu (razlika između dvije boje) izračunava se i definira kao fizikalna vrijednost tj. ukupna promjena boje, a odnos između izračunate vrijednosti ΔE i tolerancije ljudskog oka za uočavanje razlike između boja dana je u **Tablici 2** i ona je važan indikator promjene boje u procesima enzimskog i neenzimskog posmeđivanja. (Leon i sur., 2006.; Pedreschi i sur., 2007.; Wee i sur., 2006.)

Prema izmjerenim vrijednostima boje uzoraka (L^*, a^* i b^*) izračunata je ukupna promjena boje (ΔE) prema jednadžbi 3.10 (pri čemu L_0^*, a_0^* i b_0^* predstavljaju početne vrijednosti boje uzoraka).

$$\Delta E = \sqrt{\left(L_0^* - L^*\right)^2 + \left(a_0^* - a^*\right)^2 + \left(b_0^* - b^*\right)^2} \tag{3.10}$$

Tablica 2. Odnos između izračunate vrijednosti (ΔE) i tolerancije ljudskog oka za uočavanje razlike između boja (Grapho Metronic)

(ΔE)	**oznaka**
<0,2	nije uočljiva
0,2-1	vrlo slabo uočljiva
1-3	slabo uočljiva
3-6	uočljiva
>6	vrlo uočljiva

Kako bi se provela automatizirana analiza slike uzoraka napravljena je makro naredba u programa *ImageJ* (*macro*), a prikaz koda dan je u nastavku odlomka

Kod programa za provedbu računalne analize sredine kruha u ImageJ-u:

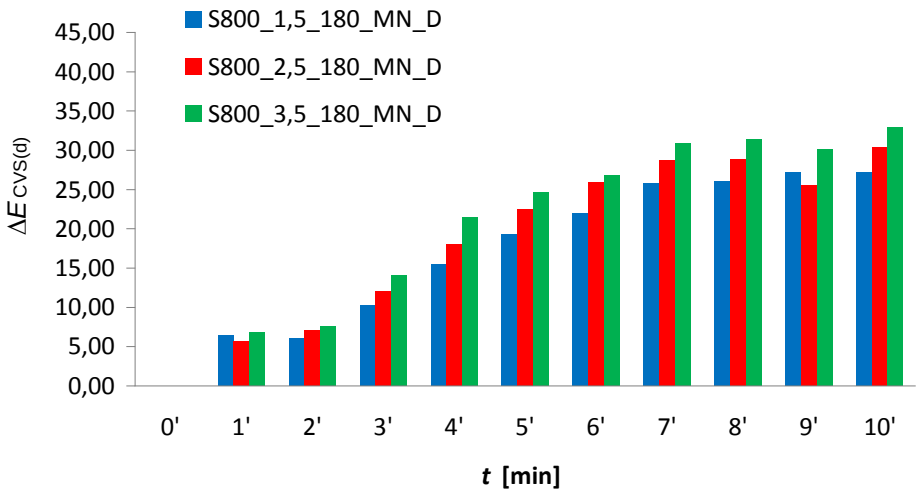
```
// This macro batch processes a folder of images,
// measuring the RGB values separately and with the
// option of specifying an ROI for all of the processed
// images. The optional ROIs should have the same name
// as the corresponding image and an ".roi" extension.
// Press Esc to abort.
  requires("1.33n");
  dir = getDirectory("Choose a Directory ");
  list = getFileList(dir);
  run("Set Measurements...",
     "  mean display redirect=None decimal=3");
  roi = "";
  start = getTime();
  titles = newArray(list.length);
  run("Clear Results");
  setBatchMode(true); // runs up to 20 times faster
  j = 0;
  for (i=0; i<list.length; i++) {
     path = dir+list[i];
     if (endsWith(path, ".roi"))
        roi = path;
     else {
        open(path);
        title = getTitle();
        titles[j++] = title;
        //print(i+"  "+title);
run("Duplicate...", "title=dno_000m-1.tif");
run("8-bit");
setThreshold(0, 254);
run("Create Selection");
close();
run("RGB Split");
        measure(""+title+" (red)", roi);
        measure(""+title+" (green)", roi);
        measure(""+title+" (blue)", roi);
     }
  }
  reformatResults(titles);
  //print((getTime()-start)/1000);
  function measure(title, roi) {
     selectImage(title);
     if (roi!="") open(roi);
run("Restore Selection");// !!! bitno !!!
run("Measure");
     close();
  }
  function reformatResults(titles) {
     n = nResults/3;
     reds = newArray(n);
     greens = newArray(n);
     blues = newArray(n);
     for (i=0; i<n; i++) {
        reds[i] = getResult("Mean", i*3);
        greens[i] = getResult("Mean", i*3+1);
        blues[i] = getResult("Mean", i*3+2);
     }
     run("Clear Results");
     for (i=0; i<n; i++) {
        setResult("Label", i, titles[i]);
        setResult("Red", i, reds[i]);
        setResult("Green", i, greens[i]);
        setResult("Blue", i, blues[i]);
     }
      updateResults()
  }
```

4.REZULTATI I RASPRAVA

4.1. REZULTATI ODREĐIVANJA BOJE ČAJNOG PECIVA

Eksperimentalni podaci dobiveni računalnom analizom slike prikazani su i interpretirani u obliku tablica i grafova. Grafički su prikazani rezultati ukupne promjene boje (ΔE) čajnog peciva od pšeničnog brašna T-550 tijekom vremena pečenja od 10 minuta. Uzorci se međusobno razlikuju obzirom na temperaturu pečenja (180, 205 i 230 °C), udio natrijevog hidrogenkarbonata, $NaHCO_3$ (0,67%, 1,11% i 1,56%) te granulaciju šećera (kristali veličine < 800 μm, kristali veličine >1000 μm i šećer u prahu).

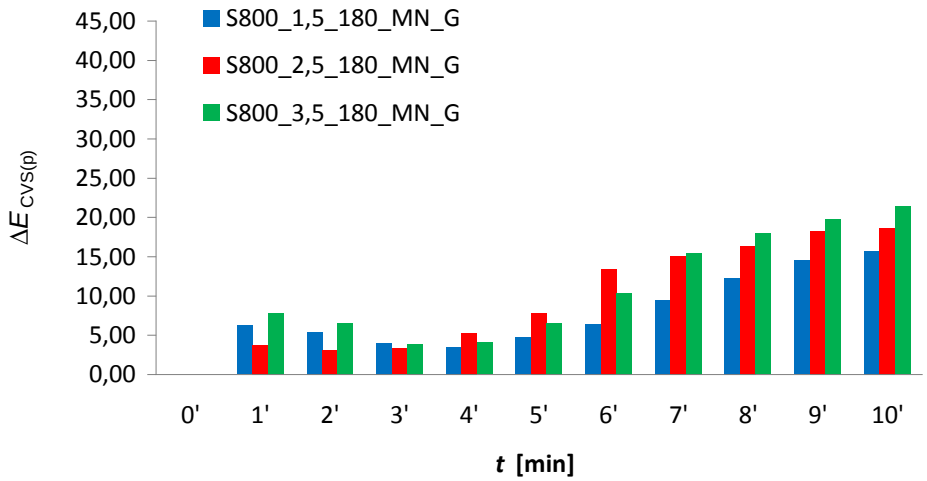
Na **Slici 2** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (ΔE) donjeg dijela čajnog peciva od pšeničnog brašna za uzorke s različitom koncentracijom $NaHCO_3$ i dodatkom šećera granulacije 800 μm pri temperaturi pečenja 180 ℃ s obzirom na vrijeme pečenja. Rezultati pokazuju da ukupna promjena boje raste tijekom pečenja te je najveća u 10. minuti pečenja za sve promatrane uzorke. Uspoređujući ukupnu promjenu boje različitih koncentracija $NaHCO_3$ uzorak s najmanjim udjelom $NaHCO_3$ (1,5 g tj. 0,67%) ima najmanju ukupnu promjenu boje.



Slika 2 Ukupna promjena boje donjeg dijela čajnog peciva pri temperaturi pečenja 180℃ i šećerom granulacije <800 μm

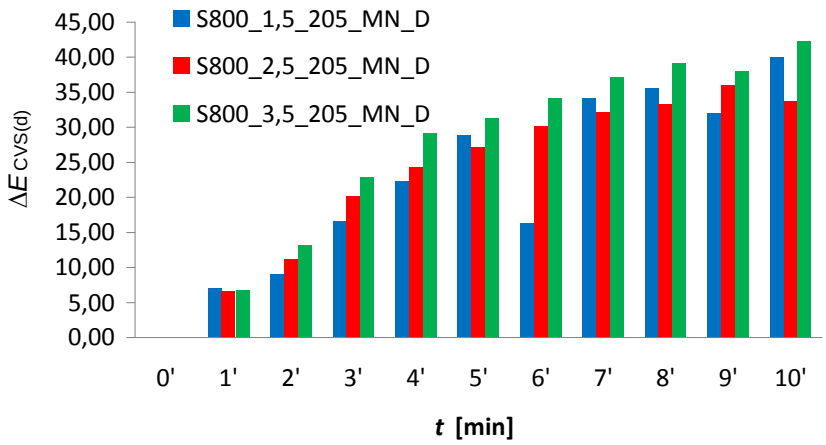
Na **Slici 3** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (ΔE) površine čajnog peciva od pšeničnog brašna za uzorke s različitim udjelom $NaHCO_3$ i dodatkom šećera granulacije <800 μm pri temperaturi pečenja 180 ℃ tijekom pečenja.

Rezultati pokazuju da ukupna promjena boje raste tijekom pečenja te je najveća u 10. minuti pečenja za sve promatrane uzorke. Uspoređujući ukupnu promjenu boje različitih udjela $NaHCO_3$ uzorak s najvećim udjelom $NaHCO_3$ (1,56% tj. 3,5 g), ima najveću ukupnu promjenu boje u 10. minuti pečenja.



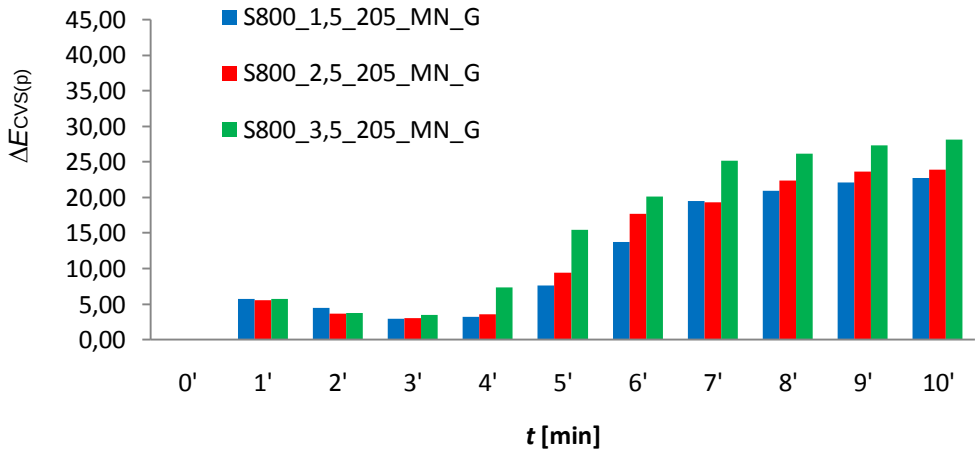
Slika 3 Ukupna promjena boje površine čajnog peciva pri temperaturi pečenja 180 ℃ i šećerom granulacije <800 μm

Na **Slici 4** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (ΔE) donjeg dijela čajnog peciva od pšeničnog brašna za uzorke s različitim udjelom $NaHCO_3$ i dodatkom šećera granulacije <800 μm pri temperaturi pečenja 205 ℃ tijekom pečenja. Rezultati pokazuju da ukupna promjena boje raste za većinu uzoraka tijekom pečenja, te je najveća u 10. minuti pečenja za sve promatrane uzorke. Uspoređujući ukupnu promjenu boje različitih udjela $NaHCO_3$ uzorak s najvećim udjelom $NaHCO_3$ (1,56% tj. 3,5 g), ima najveću ukupnu promjenu boje u 10. minuti pečenja.



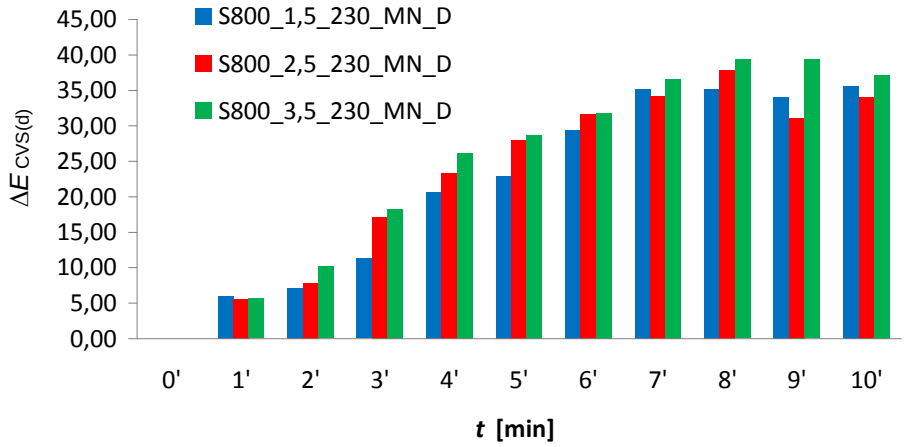
Slika 4 Ukupna promjena boje donjeg dijela čajnog peciva pri temperaturi pečenja 205 ℃ i šećerom granulacije <800 μm

Na **Slici 5** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (ΔE) površine čajnog peciva od pšeničnog brašna za uzorke s različitim udjelom $NaHCO_3$ i dodatkom šećera granulacije <800 μm pri temperaturi pečenja 205 ℃ tijekom pečenja. Rezultati pokazuju da ukupna promjena boje raste tijekom pečenja, te je najveća u 10. minuti pečenja za sve promatrane uzorke. Uspoređujući ukupnu promjenu boje različitih udjela $NaHCO_3$ uzorak s najvećim udjelom $NaHCO_3$ (1,56% tj. 3,5 g), ima najveću ukupnu promjenu boje u 10. minuti pečenja.



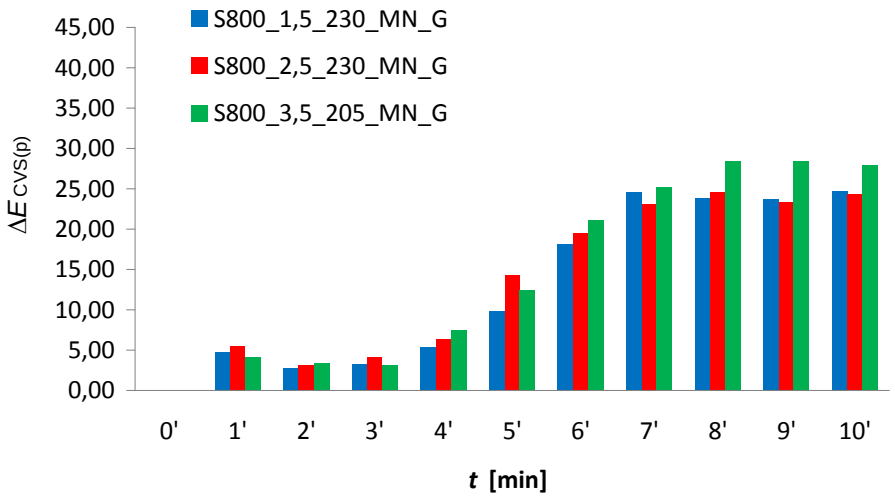
Slika 5 Ukupna promjena boje površine čajnog peciva pri temperaturi pečenja 205 ℃ i šećerom granulacije <800 μm

Na **Slici 6** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (ΔE) donjeg dijela čajnog peciva od pšeničnog brašna za uzorke s različitim udjelom $NaHCO_3$ i dodatkom šećera granulacije <800 μm pri temperaturi pečenja 230 ℃ tijekom pečenja. Uspoređujući ukupnu promjenu boje različitih udjela $NaHCO_3$ uzorak s najvećim udjelom $NaHCO_3$ (1,56% tj. 3,5 g), ima najveću ukupnu promjenu boje u 9. minuti pečenja.



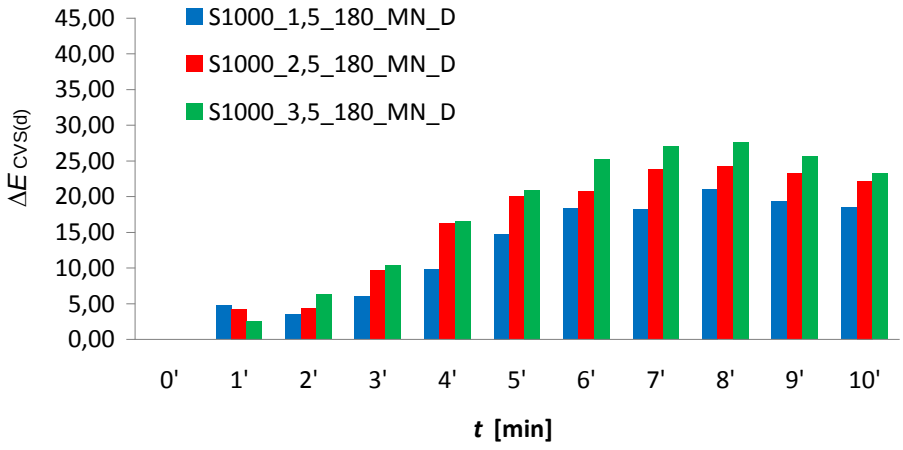
Slika 6 Ukupna promjena boje donjeg dijela čajnog peciva pri temperaturi pečenja 230 ℃ i šećerom granulacije <800 μm

Na **Slici 7** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (ΔE) površine čajnog peciva od pšeničnog brašna s obzirom na vrijeme pečenja. Rezultati pokazuju da ukupna promjena boje s obzirom na udio $NaHCO_3$ kod šećera granulacije <800 μm pri temperaturi 230 ℃ postepeno pada do 3. minute, a od 3. minute raste. Uspoređujući ukupnu promjenu boje različitih udjela $NaHCO_3$ uzorak s najvećim udjelom $NaHCO_3$ (1,56% tj. 3,5 g), ima najveće vrijednosti ukupne promjene boje.



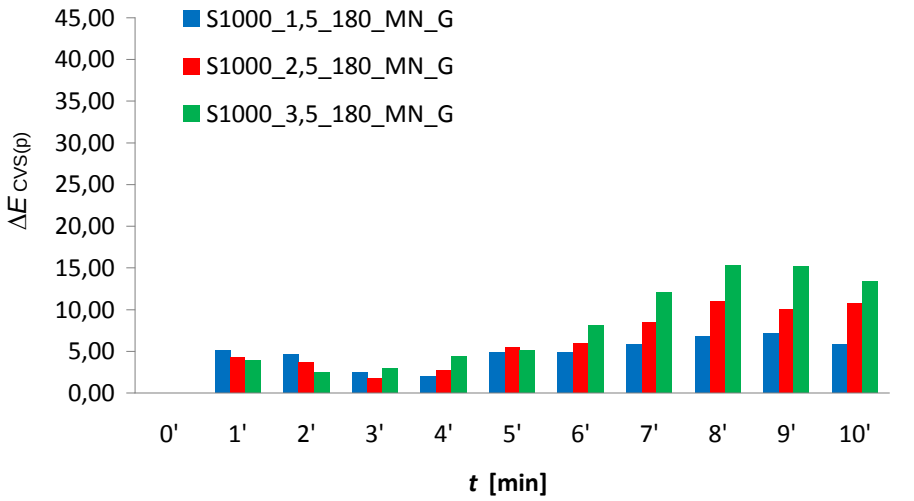
Slika 7 Ukupna promjena boje površine čajnog peciva pri temperaturi pečenja 230 °C i šećerom granulacije <800 μm

Na **Slici 8** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (ΔE) donjeg dijela čajnog peciva od pšeničnog brašna s obzirom na vrijeme pečenja. Rezultati pokazuju da je ukupna promjena boje s različitim udjelom $NaHCO_3$ kod šećera granulacije >1000 μm pri temperaturi 180 ℃ najveća u 8. minuti, a od 8. minute pada. Uspoređujući ukupnu promjenu boje različitih udjela $NaHCO_3$ uzorak s najvećim udjelom $NaHCO_3$ (1,56% tj. 3,5 g), ima najveće vrijednosti ukupne promjene boje.



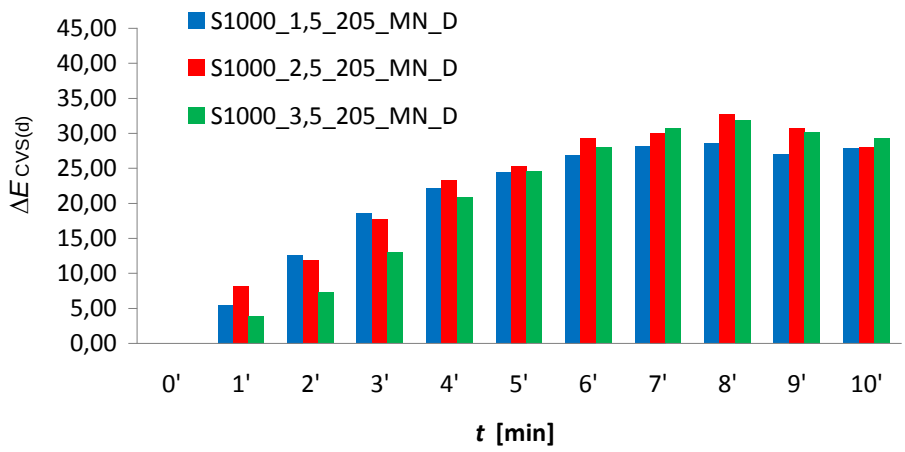
Slika 8 Ukupna promjena boje donjeg dijela čajnog peciva pri temperaturi pečenja 180 ℃ i šećerom granulacije >1000 μm

Na **Slici 9** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (ΔE) površine čajnog peciva od pšeničnog brašna s obzirom na vrijeme pečenja. Rezultati pokazuju da ukupna promjena boje, s obzirom na udio $NaHCO_{3,}$ kod šećera granulacije >1000 μm raste tijekom pečenja na temperaturi 180 ℃. Uspoređujući ukupnu promjenu boje različitih udjela $NaHCO_3$ uzorak s najvećim udjelom $NaHCO_3$ (1,56% tj. 3,5 g), ima najveće vrijednosti ukupne promjene boje.



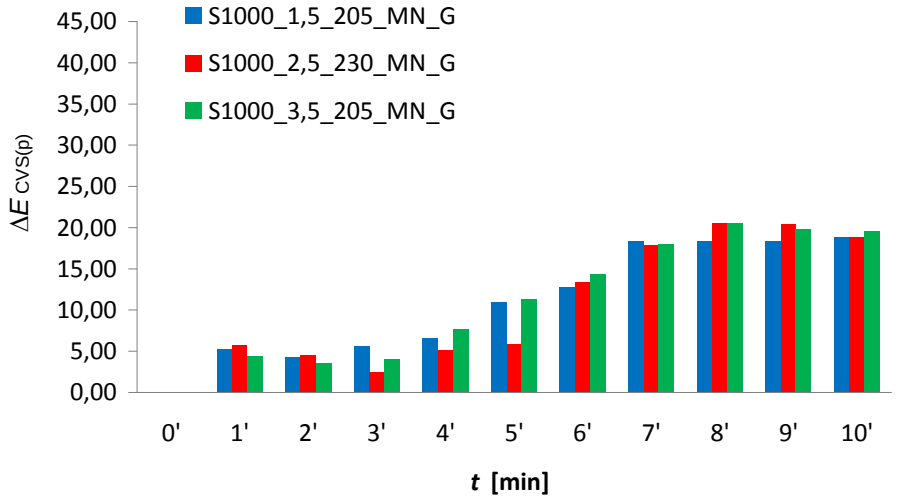
Slika 9 Ukupna promjena boje površine čajnog peciva pri temperaturi pečenja 180 ℃ i šećerom granulacije >1000 μm

Na **Slici 10** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (ΔE) donjeg dijela čajnog peciva od pšeničnog brašna s obzirom na vrijeme pečenja. Rezultati pokazuju najveće vrijednosti ukupne promjene boje u 8. minuti pečenja kod uzoraka s dodatkom šećera granulacije >1000 μm pri temperaturi pečenja 205 ℃. Uspoređujući ukupnu promjenu boje različitih udjela $NaHCO_3$ uzorak s udjelom $NaHCO_3$ (1,11% tj. 2,5 g), ima najveće vrijednosti ukupne promjene boje.



Slika 10 Ukupna promjena boje donjeg dijela čajnog peciva pri temperaturi pečenja 205 ℃ i šećerom granulacije >1000 μm

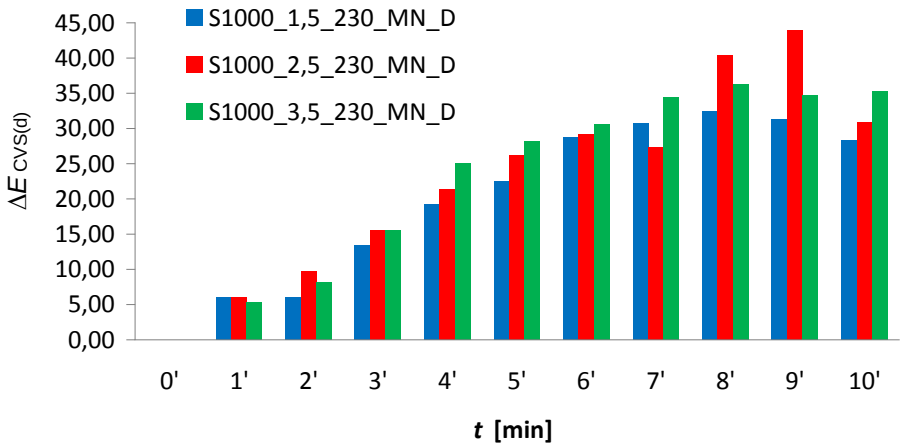
Na **Slici 11** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (Δ*E*) površine čajnog peciva od pšeničnog brašna (uzorci s dodatkom šećera granulacije >1000 μm pri i temperaturi pečenja 230 ℃). Rezultati pokazuju da je ukupna promjena boje s obzirom na udio $NaHCO_3$ opada u tijekom 1.-3. minute pečenja, a zatim raste.



Slika 11 Ukupna promjena boje površine čajnog peciva pri temperaturi pečenja 205 °C i šećerom granulacije >1000 μm

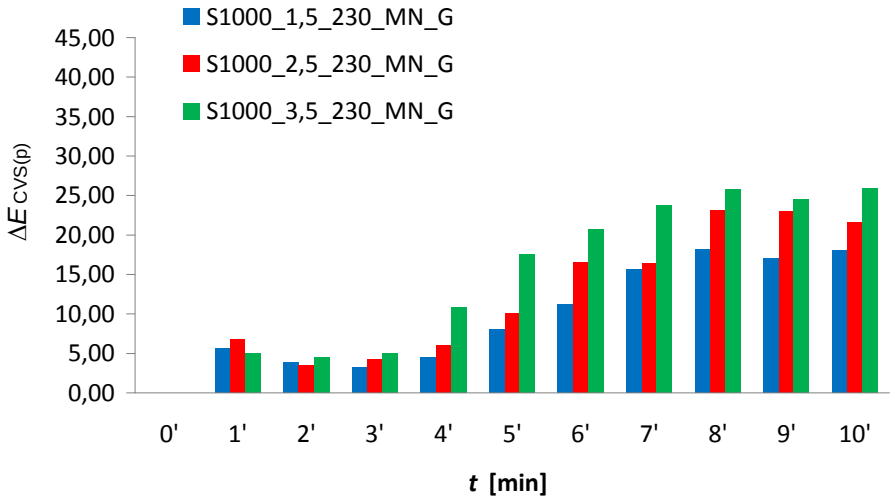
Na **Slici 12** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (Δ*E*) donjeg dijela čajnog peciva od pšeničnog brašna s obzirom na vrijeme pečenja. Rezultati pokazuju da je

ukupna promjena boje s obzirom na udio $NaHCO_3$ kod šećera granulacije >1000 μm pri temperaturi pečenja od 230 ℃ najveća od 8. do 9. minute kod uzorka s 2,5 g tj. 1,11% $NaHCO_3$.



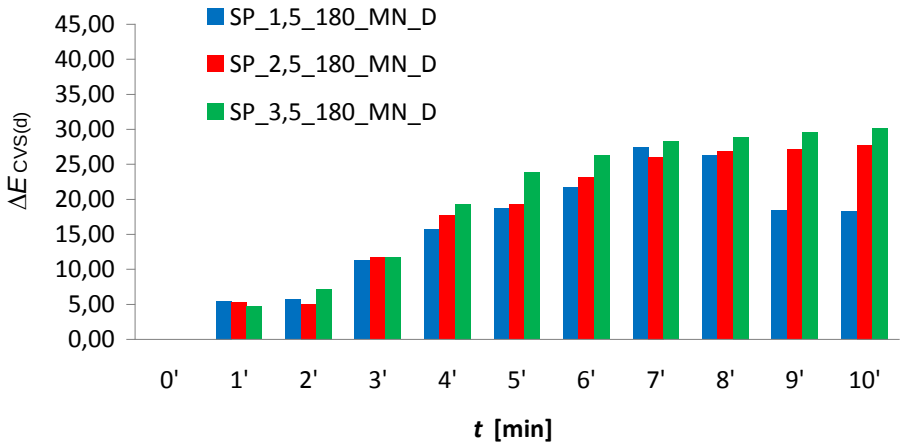
Slika 12 Ukupna promjena boje donjeg dijela čajnog peciva pri temperaturi pečenja 230 ℃ i šećerom granulacije >1000 μm

Na **Slici 13** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (ΔE) površine čajnog peciva od pšeničnog brašna s obzirom na vrijeme pečenja. Rezultati pokazuju da je promjena boje s obzirom na udio $NaHCO_3$ kod šećera granulacije >1000 μm pri temperaturi 230 ℃ najveća kod uzorka s 3,5 g $NaHCO_3$ i da raste tijekom pečenja.



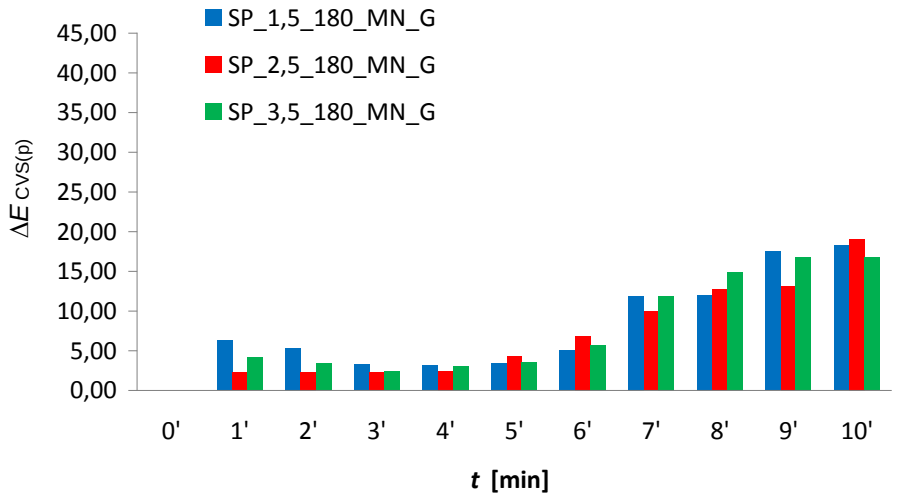
Slika 13 Ukupna promjena boje površine čajnog peciva pri temperaturi pečenja 230 °C i šećerom granulacije >1000 μm

Na **Slici 14** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (ΔE) donjeg dijela čajnog peciva od pšeničnog brašna s obzirom na vrijeme pečenja. Rezultati pokazuju da ukupna promjena boje s obzirom na udio $NaHCO_3$ kod šećera u prahu pri temperaturi 180 ℃ postepeno raste, osim uzorka s 1,5 g tj. 0,67% $NaHCO_3$ kod kojih nakon 8. minute pečenja dolazi do smanjivanja vrijednosti ukupne promjene boje.



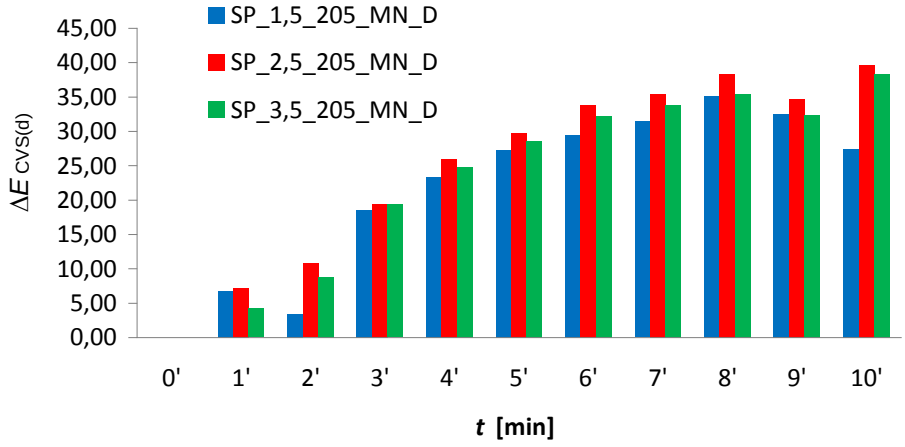
Slika 14 Ukupna promjena boje donjeg dijela čajnog peciva pri temperaturi pečenja 180 ℃ i dodatkom šećera u prahu

Na **Slici 15** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (ΔE) površine čajnog peciva od pšeničnog brašna s obzirom na vrijeme pečenja. Rezultati pokazuju da je promjena boje, s obzirom na udio $NaHCO_3$ kod uzoraka s dodatkom šećera u prahu pri temperaturi pečenja 180 ℃, najveća kod uzorka s 2,5 g tj. 1,11% $NaHCO_3$ i da raste tijekom pečenja.



Slika 15 Ukupna promjena boje površine čajnog peciva pri temperaturi pečenja 180 °C i dodatkom šećera u prahu

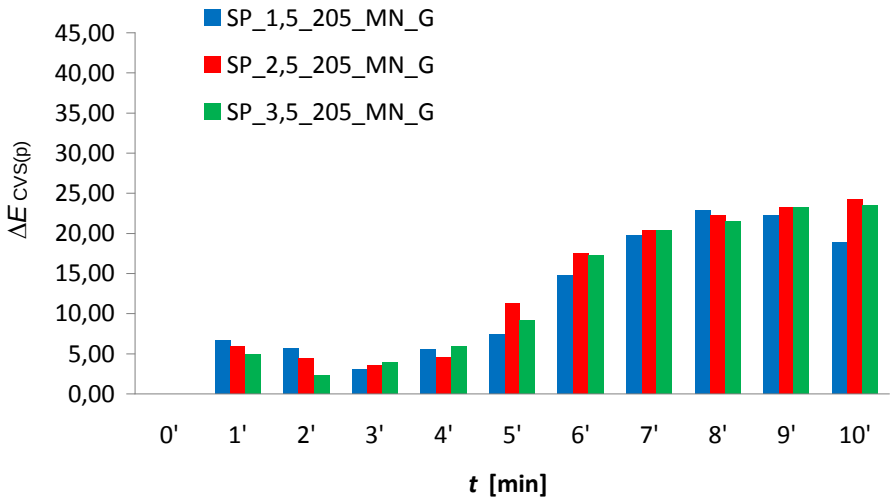
Na **Slici 16** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (ΔE) donjeg dijela čajnog peciva od pšeničnog brašna (dodatak šećera u prahu i temperatura pečenja od 205 °C) tijekom pečenja. Rezultati pokazuju da najveću ukupnu promjenu boje s obzirom na udio $NaHCO_3$ ima uzorak s 2,5 g tj. 1,11% $NaHCO_3$.



Slika 16 Ukupna promjena boje donjeg dijela čajnog peciva pri temperaturi pečenja 205 °C i dodatkom šećera u prahu

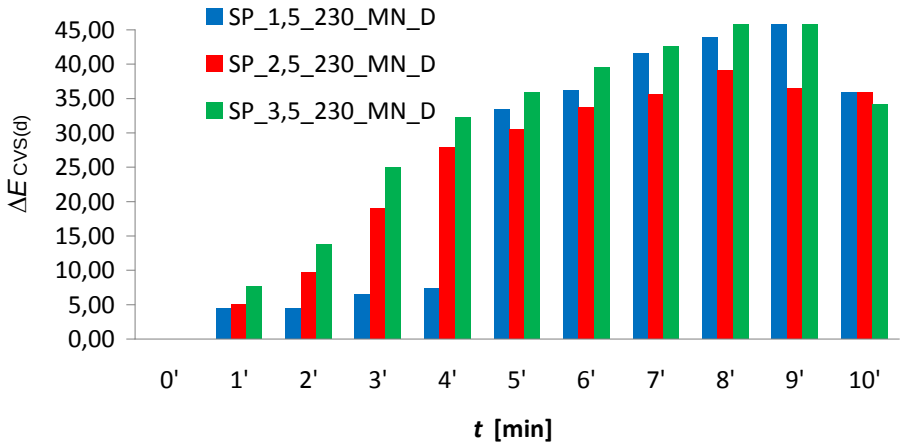
Na **Slici 17** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (ΔE) površine čajnog peciva od pšeničnog brašna s obzirom na vrijeme pečenja. Rezultati pokazuju da najveću

ukupnu promjenu boje s obzirom na udio $NaHCO_3$ kod šećera u prahu pri temperaturi pečenja od 205 ℃ u 10. minuti ima uzorak s 2,5 g tj. 1,11% $NaHCO_3$.



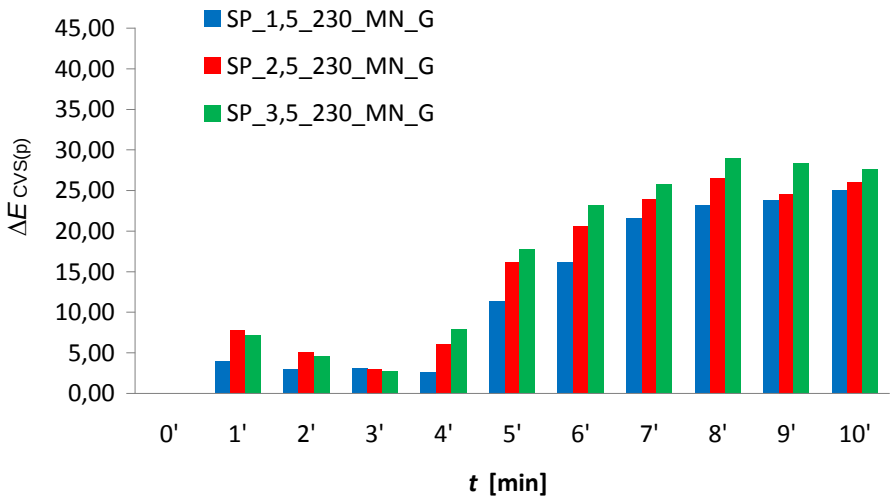
Slika 17 Ukupna promjena boje površine čajnog peciva pri temperaturi pečenja 205 °C i dodatkom šećera u prahu

Na **Slici 18** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (ΔE) donjeg dijela čajnog peciva od pšeničnog brašna s dodatkom šećera u prahu. Rezultati pokazuju da je ukupna promjena boje s obzirom na udio $NaHCO_3$ pri temperaturi 230 ℃ najveća u 8. minuti, a od 8. minute pada. Uspoređujući ukupnu promjenu boje različitih udjela $NaHCO_3$ uzorak s najvećim udjelom $NaHCO_3$ (1,56% tj. 3,5 g), ima najveće vrijednosti ukupne promjene boje.



Slika 18 Ukupna promjena boje donjeg dijela čajnog peciva pri temperaturi pečenja 230 °C i dodatkom šećera u prahu

Na **Slici 19** su prikazani rezultati ukupne promjene boje (Δ*E*) površine čajnog peciva od pšeničnog brašna s obzirom na vrijeme pečenja. Rezultati pokazuju da najmanju ukupnu promjenu boje s obzirom na udio $NaHCO_3$ kod šećera u prahu pri temperaturi 230 ℃ ima uzorak s najvećim udjelom $NaHCO_3$. (1,56% tj. 3,5 g).



Slika 19 Ukupna promjena boje površine čajnog peciva pri temperaturi pečenja 230 °C i dodatkom šećera u prahu

Tablica 3 Prosječne vrijednosti ukupne promjene boje uzorka s dodatkom margarina i 1,5 g $NaHCO_3$

Granulacija šećera	$\Delta E_{CVS\,p}$			$\Delta E_{CVS\,d}$		
	Temperatura [°C]			Temperatura [°C]		
	180	205	230	180	205	230
S800	7,46	11,18	12,79	16,88	21,98	21,60
S1000	4,49	10,83	9,58	12,18	20,12	19,90
SP	7,81	11,53	12,14	15,33	21,40	23,65

Rezultati iz **Tablice 3** pokazuju da su prosječne vrijednosti ukupne promjene boje svih uzoraka čajnog peciva najmanje kod granulacije šećera od 1000 μm pri svim temperaturama pečenja (ΔE=4,49-10,83 površina tj. (ΔE=12,18-20,12 donji dio uzoraka) za uzorke s najmanjim udjelom $NaHCO_3$ (0,67% tj. 1,5 g). Vrijednosti

prosječne ukupne promjene boje manje su na površini uzoraka (ΔE=4,49-12,79) u odnosu na donji dio (ΔE=12,18-23,65) uzoraka.

Tablica 4 Prosječne vrijednosti ukupne promjene boje uzorka s dodatkom margarina i 2,5 g $NaHCO_3$

Granulacija šećera	$\Delta E_{CVS\,p}$			$\Delta E_{CVS\,d}$		
	Temperatura [°C]			Temperatura [°C]		
	180	205	230	180	205	230
S800	9,54	12,01	13,47	18,59	23,19	22,78
S1000	5,80	10,41	11,92	15,32	21,53	22,78
SP	6,84	12,47	14,47	17,23	25,01	24,79

Rezultati iz **Tablice 4** pokazuju da je pri temperaturi pečenja 180 ℃ i s dodatkom 2,5 g $NaHCO_3$ izmjerena najveća ukupna promjena boje površine i donjeg dijela kod uzorka s granulacijom šećera od 800 μm. Pri temperaturi 205 °C i 230 °C najveća ukupna promjena boje izmjerena je kod uzoraka s dodatkom šećera u prahu. Prosječne vrijednosti ukupne promjene boje svih uzoraka čajnog peciva najmanje su kod granulacije šećera od 1000 μm pri svim temperaturama pečenja

Tablica 5 Prosječne vrijednosti ukupne promjene boje uzorka s dodatkom margarina i 3,5 g $NaHCO_3$

Granulacija šećera	$\Delta E_{CVS\,p}$			$\Delta E_{CVS\,d}$		
	Temperatura [°C]			Temperatura [°C]		
	180	205	230	180	205	230
S800	10,33	14,07	14,67	20,62	26,72	24,84
S1000	7,53	11,20	14,87	16,84	19,96	23,07
SP	7,48	12,01	15,83	19,07	23,44	29,80

Rezultati iz **Tablice 5** pokazuju da su prosječne vrijednosti ukupne promjene boje površine uzoraka čajnog peciva manje kod u odnosu na donji dio uzoraka pri svim granulacijama šećera i svim temperaturama pečenja. Porastom temperature pečenja raste i prosječna vrijednost ukupne promjene boje većine uzoraka.

5.ZAKLJUČCI

Na osnovi rezultata praćenja boje uzoraka čajnog peciva od pšeničnog brašna T-550 primjenom računalne analize slike mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- *Vrijeme pečenja*: vrijednosti ukupne promjene boje rastu tijekom vremena pečenja za većinu uzoraka čajnog peciva te su najveće u 10. minuti pečenja

- *Površina/donji dio uzorka:* Vrijednosti ukupne promjene boje donjeg dijela uzoraka čajnog peciva bile su veće u odnosu na površinu uzoraka (ΔE=4,49-15,83 površina tj. ΔE=12,18-29,80 donji dio uzoraka)

- *Granulacija šećera*: Prosječne vrijednosti ukupne promjene boje svih uzoraka čajnog peciva najmanje su kod granulacije šećera od 1000 μm pri svim temperaturama pečenja (ΔE=4,49-14,87 površina tj. ΔE=12,18-19,90 donji dio uzoraka)

- *Udio natrij hidrogenkarbonata:* Porastom udjela $NaHCO_3$ (od 0,67% do 1,56%) rastu i vrijednosti ukupnu promjenu boje površine i donjeg dijela uzoraka pri svim temperaturama pečenja. Tako su vrijednosti prosječne promjene boje pri udjelu $NaHCO_3$ od 0,67% bile u rasponu ΔE=4,49-23,65; pri udjelu $NaHCO_3$ od 1,11% u rasponu ΔE=5,80-25,01; pri udjelu $NaHCO_3$ od 1,56% u rasponu ΔE=7,48-29,80.

6.LITERATURA

Brosnan, T., Sun, D.W. *Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision system-a review*. Computers and electronics in Agriculture, 2002.

Brosnan, T., Sun, D.W. *Improving quality inspection of food products by computer vision-a review.* Journal of Food Engineering, 2004.

Chevallier, S. Della Valle, G. Colonna, P. Broyart, B. Trystram: *Structural and chemical modification of short dough during baking,* Journal of Cereal Science, 2002.

Đaković Lj: *Pšenično brašno*. Tehnološki fakultet, Zavod za izdavanje udžbenika, Novi Sad, 1997.

Gavrilovć M: *Tehnologija konditorskih proizvoda*, Novi Sad, 2011.

Gokmen, V., Acar, O.C., Arribas-Lorenzo, G., Morales, F.J. *Investigating the correlation between acrylamide content and browning ratio of model cookies.* Journal of Food Engineering, 2008.

Hodge, J.E. *Chemistry of Browning Reactions in Model Systems.* Agricultural and Food Chemistry, 1953.

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

Kaluđerski G: *Sirovine za proizvode pekarstva, testeničarstva i konditorstva*. Novi Sad, 1986.

Kljusurić S: *Uvod u tehnologiju mljevenja pšenice*. Prehrambeno-tehnološki fakultet Sveučilišta J.J. Strossmayer, Osijek, 2000.

Koehler P., Wieser, H.: *Chemistry of Cereal Grains*. u *Handbook of Sourdough Biotechnology*, Gobbetti, M., Gänzle M. (ur.), Springer, New York, 2013.

Larrain, R.E, Schaefer, D.M., Reed, J.D. *Use of digital images to estimate CIE color coordinates of beef.* Food Research International*,* 2008.

Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., Leon, J. *Color measurement in $L^*a^*b^*$ units from RGB digital images.* Food Research International, 2006.

Magdić, D., Lukinac, J., Jokić, S., Čačić Kenjerić, F., Bilić, M., Velić, D. *Impact analysis of different chemical pre-treatments on colour of apple discs during drying process.* Croatian Journal of Food Science and Technology, 2009.

Magdić, D., Horvat, D., Drezner, G., Jurković, Z., Šimić, G. *Image analysis of bread crumb structure in relation to gluten strength of wheat.* Poljoprivreda, 2006.

Manley, D J R: Technology of Biscuits, Crackers and Cookies, 3rd edition. Woodhead Publishing, Cambridge 2000.

Martins, S.I.F.S., Jongen, W.M.F., van Boekel, M.A.J.S. *A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modeling.* Trends in Food Science & Technology, 2001.

Mendoza, F., Dejmek, P., Aguilera, J.M. *Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis.* Postharvest Biology and Technology, 2006.

Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnog gospodarstva RH: Pravilnik o žitaricama mlinskim i pekarskim proizvodima, tjestenini i proizvodima od tijesta, NN br. 117/03, 130/03, 48/08.

Pedreschi, F., Leon, J., Mery, D., Moyano, P., Pedreschi, R., Kaack, K., Grandby, K. *Color development and acrylamide content of pre-dried potato chips.* Journal of Food Engineering, 2007a.

Pedreschi, F., Bustos, O., Mery, D., Moyano, P., Kaack, K., Granby, K. *Color kinetics and acrylamide formation in NaCl soaked potato chips.* Journal of Food Engineering, 2007b.

Pletney V.N.: *Focus on Food Engineering Research and Developments*. Nova Science Publishers, Inc., New York, 2007.

Purlis, E., Salvadori, V.O. *Bread browning kinetics during baking.* Journal of Food Engineering, 2007.

Ramírez-Jiménez, A., Guerra-Hernández, E., García-Villanova, B. *Browning indicators in bread.* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000.

Russ J.C.: *The image Processing Handbook*, Taylor & Francis Group, New York, 2007.

Puglia S.: Technical Primer U *Handbook for Digital Projects: A Management Tool for Preservation and Access* Maxine K. Sitts.(ur.) Northeast Document Conservation Center, 2000.

Ugarčić-Hardi Ž: *Tehnologija tjestenine i keksa (interna skripta).* Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 1999.

Yildiz F.: *Advances in Food Biochemistry*, CRC Press Inc, New York, 2009.

Wahlby, U., Skjöldebrand, C. *Reheating characteristics of crust formed on buns, and crust formation.* Journal of Food Engineering, 2002.

Zang, J., Datta, A.K. *Mathematical modeling of bread baking process.* Journal of Food Engineering, 2006.

Zhang ,L., Lucas, T., Doursat, C., Flick, D., Wagner, M. *Effects of crust constraints on bread expansion and CO_2 release.* Journal of Food Engineering, 2007.