Modeliranje promjene boje čajnog peciva tijekom pečenja

Ivić, Ivana

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:109:583305

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Food Technology Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Ivana Ivić

MODELIRANJE PROMJENE BOJE ČAJNOG PECIVA TIJEKOM PEČENJA

DIPLOMSKI RAD

Osijek, srpanj, 2014.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za procesno inženjerstvo
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 prihvaćena na IX. sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek održanoj 18.06.2014.
Mentor: *dr. sc. Jasmina Lukinac Čačić, doc.*
Komentor: *dr. sc. Daliborka Koceva Komlenić, izv. prof.*

MODELIRANJE PROMJENE BOJE ČAJNOG PECIVA TIJEKOM PEČENJA

Ivana Ivić, 178-DI

Sažetak:
Cilj diplomskog rada bio je modeliranje promjene boje čajnog peciva tijekom 10 minuta pečenja na 205 °C. Uzorci su proizvedeni u laboratorijskim uvjetima od različitih tipova pšeničnog brašna. Od svakog tipa brašna napravljene su tri vrste zamjesa (standardni, suhi i vlažni) koji se razlikuju po udjelu vode. Svaki uzorak je skeniran, slike obrađene računalnom analizom slike pomoću programa *ImageJ*. Dobiveni rezultati ukupne promjene boje čajnog peciva prikazani su grafički, rezultati svjetline tablično te su korišteni za određivanje kinetičkih parametara kod modela reakcija nultog, prvog i drugog reda.
Iz rezultata je vidljivo da tijekom pečenja dolazi do tamnjenja čajnog peciva (uslijed Maillardovih reakcija i karamelizacije), što vrijedi za sve tri vrste zamjesa (vrijednosti ukupne promjene boje u 10. minuti pečenja iznosile su: referentno brašno: 23,56; cjelovito: 6,99; T-400: 23,29; T-550: 17,49; T-850: 12,34; T-1100: 12,97). Iznimka je čajno pecivo od cjelovitog brašna kod kojeg je očitano smanjenje ukupne promjene boje pri kraju procesa pečenja (vrijednost ukupne promjene boje u 0. minuti bila je 3,05, u 5. minuti 7,54, a u 10. minuti 6,99). Uspoređujući sve rezultate ukupne promjene boje, uzorci s manjim udjelom vode (suhi zamjes) imali su najmanju ukupnu promjenu boje. Nakon provedenog modeliranja, promjena boje čajnog peciva od cjelovitog brašna, te brašna tipa T-1100 i T-850 najbolje je opisana matematičkim modelom drugog reda linearnog oblika, a od brašna tipa T-400 i referentnog brašna matematičkim modelom nultog reda. Kod uzoraka čajnog peciva od brašna tipa T-550 promjenu boje najbolje opisuje model dugog reda linearnog oblika, odnosno, nultog reda.

Ključne riječi: pšenično brašno, čajno pecivo, boja, računalna analiza slike, kinetički modeli

Rad sadrži: 43 stranica
19 slika
12 tablica
14 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za obranu:

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

Datum obrane: 22. srpanj, 2014.

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 Process Engineering
Subdepartment of modeling,optimatization and automation
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

Scientific area: Biotechnical sciences
Scientific field: Food technology
Course title: Modeling and management in food technology processes
Thesis subject was approved by the Faculty Council of the Faculty of Food Technology at its session no. IX held on June 18, 2014.
Mentor: *Jasmina Lukinac Čačić*, PhD, assistant prof.
Co-supervisor: *Daliborka Koceva Komlenić*, PhD, associate prof.

MODELING OF COOKIES BROWNING KINETICS DURING BAKING

Ivana Ivić, 178-DI

Summary:
The aim of this thesis was modeling the change of color of tea cookies during 10 minutes of baking at 205 °C. Samples were made in laboratory conditions, from different types of wheat flour. Each type of flour was used to make three types of mixing (standard, dry and wet) that differ in amount of water. Each sample was scaned, the images were analysed with digital image analysis using program called *ImageJ*. Obtained results of total color change were displayed graphically, results of lightness in a table and they were used to determine kinetics parameters for models of reactions of zero, first and second order. According to the results, the cookies were started to darken during baking (due to Maillard's reactions and caramelization) and it could be applied for all types of mixing (the value of total color change at the 10. minute of baking were: standard flour: 23.56; integral: 6.99; T-400: 23.29; T-550: 17.49; T-850: 12.34; T-1100: 12.97). The cookies from integral flour were an exception, where the total color change was decreasing at the end of baking process (value of total color change at zero minute was 3.05, at 5. minute 7.54, and at 10. minute 6.99). Comparing all the results of total color change, the samples with the lowest amount of water (the dry mixing) had the lowest value of total color change. After performed modelling, the change of color of cookies made from integral flour and flour T-1100 and T-850 were best described with mathematical models of second order linear form, and cookies from flour T-400 and standard with mathematical models of zero order. The color change of samples of cookies made from flour T-550 was best described with the model of second order linear form or with model of zero order.

Key words: wheat flour, tea cookies, color, digital image analysis, kinetics models

Thesis contains: 43 pages
19 figures
12 tables
14 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. — Co-supervisor
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.

SADRŽAJ

1. Uvod 1
2. Teorijski dio 3
2.1. Boja 4
2.2. Prostor boja 6
2.2.1. RGB prostor boja 6
2.2.2. CIE*L*a*b** prostor boja 7
2.3. Razvoj boje na površini čajnog peciva 8
2.4. Određivanje boje proizvoda 8
2.5. Sustav za računalnu analizu slike 9
2.5.1. Rasvjeta 9
2.5.2. Skener 9
2.5.3. Računalo 9
2.6. *ImageJ* 10
3. EKSPERIMENTALNI DIO 13
3.1. ZADATAK 14
3.2. Materijali i metode 14
3.2.1. Materijali 14
3.2.2. Proces proizvodnje čajnog peciva 15
3.2.3. Mjerenje temperature unutar keksa i pećnice 16
3.2.4. Ispitivanje boje čajnog peciva 16
3.2.5. Modeliranje kinetike promjene boje čajnog peciva tijekom pečenja 17
4. REZULTATI I RASPRAVA 18
4.1. REZULTATI ODREĐIVANJA BOJE ČAJNOG PECIVA (površina čajnog peciva) 19
4.2. REZULTATI ODREĐIVANJA BOJE ČAJNOG PECIVA (donji dio čajnog peciva) 26
4.3. Modeliranje kinetike promjene boje čajnog peciva tijekom pečenja 33
5. ZAKLJUČCI 39
6. LITERATURA 42

POPIS OZNAKA, KRATICA I SIMBOLA

AACC	Approved methods of the American Association of Cereal Chemists
D	Suhi zamjes (12 g vode na 225 g brašna)
S	Standardni zamjes (16 g vode na 225 g brašna)
W	Vlažni zamjes (20 g vode na 225 g brašna)
ΔE	Ukupna promjena boje
CVS	računalni vid (eng. *Computer Vision System*)
L*	Parametar CIE$L^*a^*b^*$ prostora boje - svjetlina (eng. *lightness*)
R	Koeficijent korelacije, statistički parametar
RMSE	Srednje kvadratno odstupanje, statistički parametar
0L	Reakcija promjene boje nultog reda
1NL	Reakcija promjene boje prvog reda; nelinearni oblik
1L	Reakcija promjene boje prvog reda; linearni oblik
2NL	Reakcija promjene boje drugog reda; nelinearni oblik
2L	Reakcija promjene boje drugog reda; linearni oblik
k	Konstanta brzine reakcije

1. UVOD

1. UVOD

Vanjski izgled najuočljivije je svojstvo kvalitete čajnog peciva. Što je boja čajnog peciva ujednačenija, a oblik pravilniji, to će proizvod biti bolje prihvaćen od strane potrošača. Tijekom pečenja čajnog peciva dolazi do stvaranja boje na površini te je potrebno podesiti parametre procesa kako bi se postigla poželjna smeđa boja.

Smeđa boja čajnog peciva potječe od melanoidina (netopivog smeđeg pigmenta) i karamela koji su produkti reakcija neenzimskog posmeđivanja (Maillardovih reakcija i karamelizacije). U ovim reakcijama mogu nastati i nepoželjni produkti s potencijalnim mutagenim djelovanjem (akrilamid, AA; hidroksimetilfurfural, HMF; furfural), a dolazi i do gubitka nutritivne vrijednosti proizvoda. Tijekom pečenja čajnog peciva, prvo dolazi do promjene boje od svijetlo žute (nastanak dekstrina) do smeđe (produkti Maillardovih reakcija i karamelizacija), a daljnim povećanjem temperature dolazi do izgaranja i nastanka crne porozne mase (Lukinac Čačić, 2012.).

Prema Pravilniku o keksima i keksima srodnim proizvodima (NN br. 73, 2005.), ovi proizvodi se definiraju kao proizvodi određenih prehrambenih i senzorskih svojstava, dobiveni od mlinskih proizvoda, vode, masnoća, šećera, škroba te drugih sirovina i aditiva, tehnološkim postupcima miješenja, gnjetenja, tučenja, oblikovanja, pečenja i drugim postupcima. Razvoj boje keksa i keksu srodnih proizvoda, pa tako i čajnog peciva ovisit će, s jedne strane, o sastavu tijesta, odnosno tipu upotrebljenog brašna, udjelu i aktivitetu vode, udjelu šećera, pH vrijdenosti i dr. Različiti tipovi brašna imaju različitu boju (od bijele do žute ili čak svijetlo smeđe) te različitu kvalitetu glutena, što utječe na narastanje tijesta, oblik i površinu gotovog proizvoda. S druge strane, brzina razvoja boje čajnog peciva varira ovisno o procesnim uvjetima tijekom pečenja (temperatura, vrijeme pečenja) koje je potrebno optimirati kako bi se postigla odgovarajuća boja proizvoda.

Iz tog razloga razvile su se različite metode određivanja i kontroliranja razvoja boje čajnog peciva tijekom pečenja. U početku (u nekim industrijama i danas) senzorske analize provodili su za to obučeni stručnjaci, ali rezultati dobiveni takvom metodom većinom su subjektivni i nepouzdani. U novije vrijeme, u želji da se dobiju što objektivniji i točniji podaci, dolazi do razvoja metoda koje se baziraju na računalnim analizama slike (Du i Sun, 2004.).

U ovom radu prikazana je metoda određivanja promjene boje čajnog peciva računalnom analizom slike te modeliranje promjene boje čajnog peciva tijekom pečenja. Uzorci su pripravljeni s različitim udjelima vode (tri vrste zamjesa: standardni, suhi, vlažni) te različitim tipom brašna (T-400, T-550, cjelovito, T-850 i T-1100).

2. TEORIJSKI DIO

2.1. BOJA

Osjet boje predstavlja psihofizički doživljaj koji ovisi o izvoru svjetla, psihološkim i fiziološkim uvjetima promatrača i karakteristikama objekta koji se promatra. Često je boja 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 i
- ✓ čovjekovim osjetom boje, kroz oči i mozak (Lukinac Čačić, 2012.).

Boja može i ne mora biti direktno povezana sa nutritivnom vrijednošću i zdravstvenom ispravnošću proizvoda, no u nekim slučajevima promjena boje označava pojavu kvarenja, nastanak poželjnih ili nepoželjnih promjena tijekom procesiranja ili skladištenja. Kod voća se promjena boje može pojaviti kao posljedica zrenja.

Osvijetljeni objekt može ukupnu svjetlost ili dio ukupne svjetlosti koja je pala na njegovu površinu, reflektirati, apsorbirati ili propustiti, ovisno o njegovoj prirodi, geometriji i površini. U praksi je ta svjetlost ograničena na dio spektra koji je vidljiv ljudskom oku, tj. na elektromagnetne valove duljine vala 380 - 770 nm (Hsien-Che, 2005.; Pomeranz i Meloan, 1994.).

Boje se mogu definirati svojim uobičajenim imenima, no postoje tri atributa koji uže definiraju svaku boju:

- ✓ ton boje ili tonalnost boje (engl. *hue*),
- ✓ zasićenost ili saturacija (engl. *saturation*),
- ✓ svjetlina ili luminancija (engl. *lightness*).

Ton boje označava vrstu boje. Definira se kao kromatska kvaliteta boje, odnosno kvaliteta kojom se jedna boja razlikuje od druge. Ton može poprimiti vrijednosti od 0 ° do 360 ° koji određuju položaj boje na kružnoj paleti boja. Crvena boja se nalazi na 0 ° (ili 360 °), zelena na 120 °, a plava na 240 °. Da bi se objasnili pojmovi zasićenost i svjetlina, najprije je potrebno boje podijeliti u dvije osnovne skupine. U prvoj skupini nalaze se prave boje, odnosno kromatske boje kao što su crvena, narančasta, žuta, zelena, plava itd., a prikazane su na **slici 2.1.**

Slika 2.1 *Kromatske boje*

U drugoj skupini nalaze se crna, siva i bijela, koje se nazivaju akromatskim bojama (nebojama) i čine skalu koja seže od crne, preko sive, do bijele (**slika 2.2**).

Slika 2.2 *Akromatske boje*

Svjetlina je osobina kromatske boje koja je usporediva sa svjetlinom sive akromatske boje. Svjetlina se također izražava u postocima, pa tako vrijednost 0% će dati crnu, a 100% bijelu boju. **Slika 2.3** prikazuje svjetlinu boje.

Slika 2.3 *Svjetlina boje*

Zasićenost boje (engl. *saturation*) je stupanj čistoće boje, određen udjelom akromatskih boja (crna, siva, bijela) u kromatskim bojama (crvena, narančasta, žuta, zelena, itd.). Zasićenost se izražava u postocima. Na **slici 2.4** može se vidjeti da vrijednost 0% daje sivu boju, a 100% čistu boju (Lukinac Čačić, 2012.).

Slika 2.4 *Zasićenost boje*

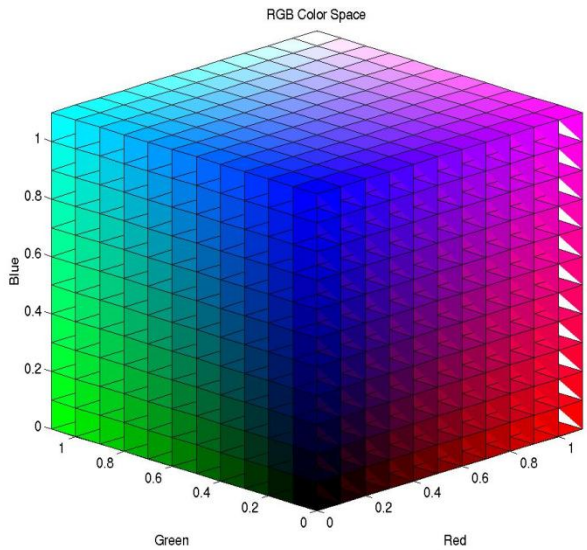
2.2. PROSTOR BOJA

Prostor boja ili model boja je način pomoću kojeg se definiraju, stvaraju i vizualiziraju boje. Osnovna podjela prostora boja 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**).

2.2.1. RGB PROSTOR BOJA

RGB prostor boja definiran je pomoću tri aditivna primara: crvene, zelene i plave boje. Svaka boja u tom prostoru nastaje zbrajanjem pojedinih komponenti te tri boje. RGB model predstavljen je pomoću kocke, gdje crvena boja predstavlja x-os, zelena boja y-os, a plava boja z-os (Puglia, 2000.).

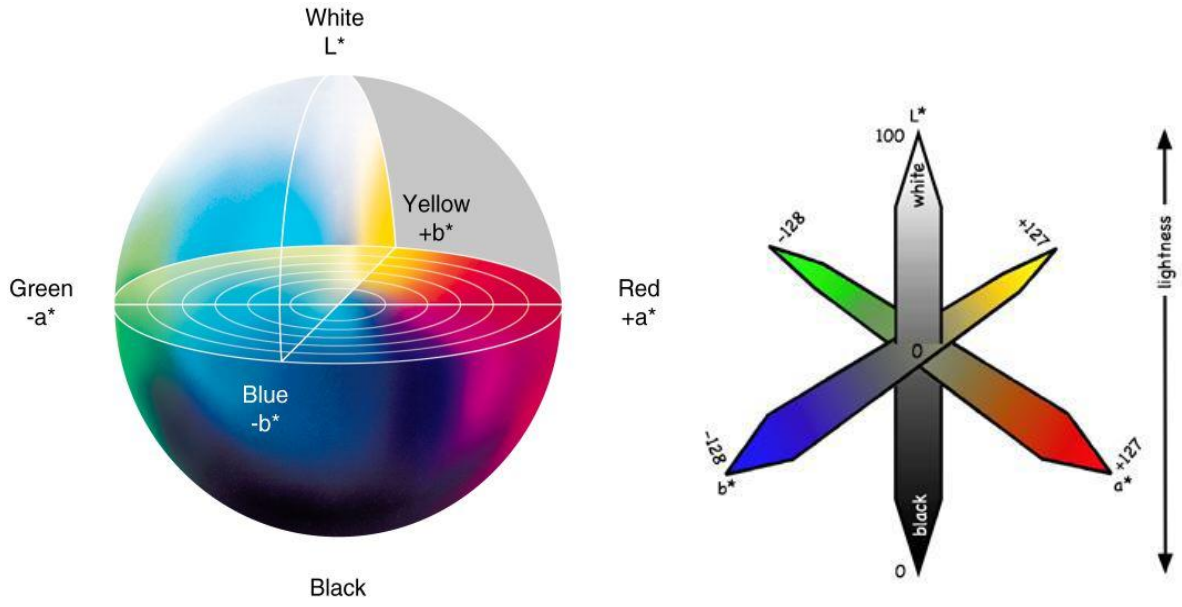


R=255	R=240	R=100	R=170	R=255	R=0
G=0	G=20	G=100	G=170	G=255	G=0
B=0	B=50	B=100	B=170	B=255	B=0

Slika 2.5 *RGB prostor boja*

2.2.2. CIE*L*a*b** PROSTOR BOJA

CIE$L^*a^*b^*$ prostor boja je trodimenzionalni prostor boja baziran na percepciji boje standardnog promatrača. Prednost ovog sustava je i uvođenje svjetline kao treće dimenzije. Numeričke vrijednosti u CIE$L^*a^*b^*$ sustavu opisuju sve boje koje može razlikovati ljudsko oko. CIE$L^*a^*b^*$ sustavu boje su opisane pomoću tri osi: dvije kromatske, a^* komponenta odnos između crvene i zelene boje (negativne vrijednosti označavaju zelenu, a pozitivne crvenu), a b^* komponenta odnos između žute i plave boje (negativne vrijednosti za plavu, a pozitivne za žutu). L^* komponenta određuje svjetlinu, akromatska os mjeri se od 0 do 100 po vertikalnoj osi, gdje je 0 vrijednost za crnu, a 100 za bijelu, što je prikazano na **slici 2.6.** (Yam i Papadakis, 2004.; Hsien-Che, 2005.).



Slika 2.6 *Prikaz CIE$L^*a^*b^*$ prostora boja*

2.3. RAZVOJ BOJE NA POVRŠINI ČAJNOG PECIVA

Tijekom pečenja na površini čajnog peciva dolazi do nastanka poželjne smeđe boje koja je rezultat toplinskih procesa u tijestu kao što su neenzimsko posmeđivanje (Maillardove reakcije između šećera i proteina te karamelizacija, proces degradacije šećera uslijed djelovanja povišene temperature), želatinizacija škroba, denaturacija proteina itd. Smeđa boja potječe i od netopivog smeđeg pigmenta melanoidina.

U procesu pečenja, temperatura na površini neprekidno raste i prvo dolazi do stvaranja tanke i elastične kore koja sprječava brže prodiranje topline do sredine tijesta. Kada temperatura dostigne 100 °C počinje isparavanje vode. Povišena temperatura i nizak udio vode utječu na stvaranje najprije svijetlih, žutih dekstrina, a zatim dolazi do stvaranja smeđe boje kao rezultat karamelizacije i Maillardovih reakcija. Daljnjim povećanjem temperature doći će do nastanka nepoželjne crne porozne mase. Maksimalna brzina razvoja boje na površini proizvoda događa se pri vrijednostima aktiviteta vode 0,7 – 0,8 i temperaturi iznad 120 °C (Purlis i Salvadori, 2009.c; Capuano i sur., 2008.).

Maillardove reakcije su reakcije između reducirajućih šećera i proteina u kojoj osim razvoja arome i boje (poželjna svojstva), mogu nastati i nepoželjni produkti poput hidroksimetilfurfurala, HMF i akrilamida, AA, sa potencijalnim mutagenim djelovanjem (Martins i sur., 2001.).

2.4. ODREĐIVANJE BOJE PROIZVODA

Boja čajnog peciva prvo je što potrošač primijeti prilikom odabira te je glavni cilj proizvođača dobiti proizvod koji će imati odgovarajuću i što ujednačeniju boju. Iz tog razloga razvile su se brojne metode određivanja boje na osnovu kojih bi se mogao kontrolirati proces pečenja kako bi se taj cilj postigao. Razlikuju se direktne metode, usmjerene na kvantitativno praćenje produkata Maillardovih reakcija i karamelizacije, i indirektne, zasnovane na principu mjerenja reflektirane količine svjetlosti s površine analiziranog uzorka različitim mjernim uređajima. Glavni nedostatak mjernih uređaja je ograničenje u veličini i geometriji uzorka koji se ispituje, što je dosta neprikladno kod heterogenih uzoraka. Međutim, u novije vrijeme razvio se sustav za računalnu analizu slike koja može obuhvatiti cjelokupnu površinu uzorka dajući tako objektivnije i točnije rezultate (Pletney, 2007.; Zhang i sur., 2007.; Magdić i sur., 2009.).

2.5. SUSTAV ZA RAČUNALNU ANALIZU SLIKE

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. Sustav za analizu slike boju uzorka registrira s tri senzora boje, a sastoji se od tri najvažnija elementa: rasvjete, skenera i računala (Lukinac Čačić, 2012.).

2.5.1. RASVJETA

Izvor svjetlosti je fizički realizirano zračenje (svijeća, lampa, sunce) kojeg karakteriziraju svojstva poput spektralnog zračenja i temperature boje svjetlosti. Različiti izvori svjetla imaju i različitu raspodjelu relativne energije zračenja. Osvijetljeni objekti prenose primljenu svjetlost apsorpcijom, refleksijom i propuštanjem, te se razlika boja pojedinih uzoraka prati određivanjem razlike u količini reflektirane svjetlosti s njegove površine. Kut između osi objektiva i izvora svjetlosti koji obasjava uzorak trebao bi biti oko 45° (Yam i sur., 2004.).

2.5.2. SKENER

Slike uzoraka čajnog peciva mogu se dobiti skeniranjem svakog pojedinog uzorka pomoću skenera. Princip rada skenera zasniva se na pretvorbi svjetlosti, koja se odbije od predmeta skeniranja u električne impulse. Slika koja se želi unijeti u računalo osvjetljava se ugrađenim izvorom svjetlosti. Zrake svjetlosti koje se odbiju o predmet usmjeravaju se sustavom leća i ogledala prema senzorima svjetlosti za pretvorbu u električnu struju. Slika se pri tom postupku dijeli u točke i što je više tih točaka, to će slika biti veće kvalitete. Broj očitanih točaka naziva se razlučivost ili rezolucija.

2.5.3. RAČUNALO

Slike dobivene skeniranjem uzoraka čajnog peciva mogu se obraditi u raznim programima. Jedan od njih je i *ImageJ* 1.43u (Wayne Rasband, National Institute of Health, USA).

2.6. *ImageJ*

ImageJ je program za analizu slike u kojem je moguće prikazati, urediti, analizirati, spremiti i printati slike od 8, 16 i 32 bita. U programu je moguće izračunati područje i vrijednost piksela, izmjeriti udaljenosti i kutove, a sadrži i opcije za podešavanje kontrasta, izoštravanje, poravnavanje i dr. Naredba za analiziranje šupljina (*„Analyze Particles“)* mjeri objekte u binarnim ili *„threshold“* slikama, a radi na principu skeniranja slike sve dok se ne pronađe rub objekta. *„Threshold“* odnosno primjena razdjelne vrijednosti je najjednostavnija metoda podjele slike u segmente, koja se bazira na pretvorbi slike sa različitim nijansama boja u binarnu sliku. Nakon toga, u izborniku se može odabrati raspon za veličinu i okruglost šupljina koja će se uzeti u obzir, pri čemu će sve izvan tog raspona biti zanemareno. Formula za okruglost je:

— (raspon: 0 – 1; vrijednost 1 predstavlja savršen krug)

A – površina označenog objekta na slici (eng. *area*)

P – promjer (eng. *perimeter*)

Kada se odabere opcija za prikaz rezultata, moguće je očitati sljedeće vrijednosti:

1. broj šupljina (eng. *particle count*)
2. ukupnu površinu koju čine šupljine (eng. *total particle area*)
3. prosječnu veličinu šupljina (eng. *average particle size*)
4. udio selektiranih šupljina na slici (eng. *area fraction*).

Kod programa za provedbu računalne analize boje čajnog peciva u *ImageJ-u:*

```
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()}
```

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Zadatak je bio praćenje promjene boje čajnog peciva tijekom 10 minuta pečenja (praćenje promjena boje tijekom svake minute). Svaki uzorak je skeniran, a slika obrađena računalnom analizom u programu *ImageJ*. Za pripravu čajnog peciva upotrebljene su različiti tipovi pšeničnog brašna te zamjesi s različitim udjelom vode:

- ✓ standardni (16 g vode) **[S]**
- ✓ suhi (12 g vode) **[D]**
- ✓ vlažni (20 g vode) **[W]**

3.2. MATERIJALI I METODE

3.2.1. MATERIJALI

- ✓ Proizvod: čajno pecivo
- ✓ Receptura prema AACC metode 10-50D:
- ✓ 225 g pšeničnog brašna (referentno, cjelovitno, T-1100, T-850, T-550, T-400)
- ✓ 64 g shortening-a (margarin)
- ✓ 130 g šećera
- ✓ 2,1 g NaCl
- ✓ 2,5 g $NaHCO_3$
- ✓ 33 g otopine glukoze (8,9 g glukoze otopljeno u 150 cm^3 destilirane vode)
- ✓ Destilirana voda – dodatak vode ovisi o vrsti zamjesa.

Tablica3.1 *Tipovi brašna prema Pravilniku o žitaricama, mlinskim i pekarskim proizvodima, tjestenini, tijestu i proizvodima od tijesta* (NN br. 78/05.)

Tip	Udio pepela (%)
tip 400	do 0,45
tip 550	od 0,50 do 0,60
tip 850	od 0,80 do 0,90
tip 1100	od 1,05 do 1,15

3.2.2. PROCES PROIZVODNJE ČAJNOG PECIVA

Sva čajna peciva koja su analizirana prilikom izrade ovog diplomskog rada su oblikovana čajna peciva, proizvedena u laboratorijskim uvjetima. Sirovine za proizvodnju ovih peciva, nabavljene su iz lokalnih trgovina. Vaganje se vrši prema recepturi AACC metode 10-50D, a svaka sirovina se posebno važe. Vaganje se vrši na poluautomatskoj laboratorijskoj vagi. Odvagano brašno, šećer, NaCl, $NaHCO_3$, otopina glukoze, te odmjerena količina destilirane vode se dodaju u posudu za miješanje. Miješanje se vrši pomoću ručnog miksera. Sirovine koje se odvaguju za izradu jedne mase predstavljaju jednu šaržu čija veličina ovisi o ukupnoj masi sirovina koje su propisane AACC metodom.

Nakon što su izvagane, sirovine se dodaju u posudu, u kojoj se miješaju ručnom miješalicom (mikserom). Prvo se dodaju mast, šećer, sol i $NaHCO_3$ te se miješaju brzinom 1 (najsporijom) miksera tijekom 3 minute. Svake minute je potrebno sastrugati sastojke sa stijenki posude u kojoj se vrši miješanje.

Nakon završetka miješanja spomenutih sirovina potrebno je dodati otopinu glukoze i destiliranu vodu, te nastaviti miješati brzinom 1 (najsporijom) tijekom 1 minute, a potom još 1 minutu brzinom 2 (srednja brzina miksera). Nakon što su sve sirovine sjedinjenje, dodati ukupnu količinu brašna i miješati 2 minute brzinom 1. Dobiveno tijesto sakupiti ručno i okruglo oblikovati, staviti u PVC vrećicu te u hladnjak (do 8 °C) tijekom 30 do 60 minuta.

Nakon što se tijesto ohladi, razvaljati ga valjkom za tijesto na debljinu 7 mm u dva poteza valjka (naprijed-nazad). Za svaki uzorak brašna potrebno je izraditi 10 komada keksa. Kekse peći u pećnici pri temperaturi 205 °C. Vrijeme pečenja: prvi uzorak peče se 1 minutu, drugi 2 minute itd. Nakon pečenja, kekse ohladiti 30 minuta pri sobnoj temperaturi.

3.2.3. MJERENJE TEMPERATURE UNUTAR KEKSA I PEĆNICE

Najvažniji korak pri provedbi mjerenja i konstrukciji uređaja je odabir mjernih osjetila. Za mjerenje temperature uzorka odabrani su termoparovi u skladu sa svojstvima materijala (tijesta) za mjerenje i prirodni proces pečenja. Radna temperatura uređaja kreće se u rasponu od 200 °C do 230 °C što odgovara temperaturnom rasponu termopara T (bakar-konstantan) od –250 do + 404 °C. Budući da su temperature mjerenja vrlo visoke, a promjene u materijalu brze, odabran je termopar s otkrivenim krajem, vremenskom konstantom od 0,1 sekunde i vremenom odaziva od 0,5 sekundi. Termopar tipa T (bakar-konstantan) odgovara svim navedenim zahtjevima i uz to preporuča se za prehrambene materijale koji imaju blago oksidirajuća i reducirajuća svojstva, te povišen udio vode. Termopar tipa T ima otkriven vrh promjera 0,010" (vanjski s izolacijom 0,052") ili 0,0254 cm. Mali promjer termopara omogućuje postavljanje točno u sredinu uzorka čajnog peciva. Temperature su praćene paralelno u četiri uzorka čajnog peciva.

3.2.4. ISPITIVANJE BOJE ČAJNOG PECIVA

Za skeniranje uzoraka čajnog peciva upotrijebljen je skener *EPSON PERFECTION V500 photo*. Skeniranje je odrađeno u kontroliranim uvjetima, odnosno u prostoru koji ne propušta nikakav vanjski izvor svjetlosti.

Slika 3.1 *Skener EPSON PERFECTION V500 photo*

3.2.5. MODELIRANJE KINETIKE PROMJENE BOJE ČAJNOG PECIVA TIJEKOM PEČENJA

Pri odabiru kinetičkih modela uzeti su u obzir slijedeći kriteriji:

- ✓ da je model jednostavan
- ✓ da sadrži mali broj parametara
- ✓ da zadovoljava kriterij točnosti.

Tablica 3.2 *Pregled kinetičkih modela rabljenih u kinetičkoj analizi*

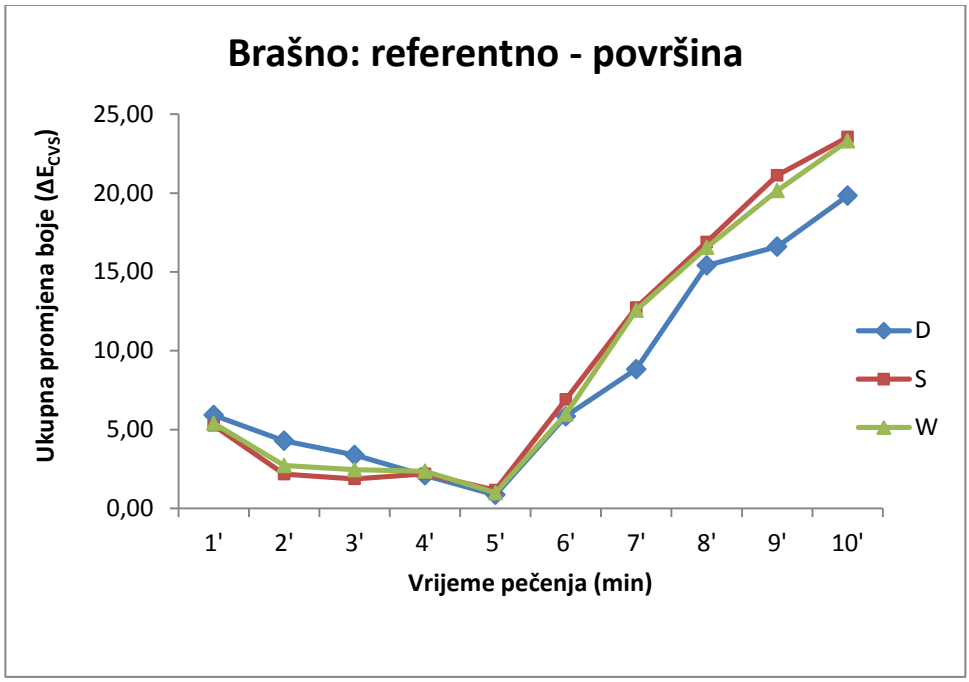
Model	Kinetički model	Parametri modela	Broj jednadžbe
Nulti red	$L^* = L_0^* - k_{0NL} \cdot t$	k_{0L}	(3.1)
Prvi red nelinearna	$L^* = L_0^* \exp\ -k_{1NL} \cdot t$	k_{1NL}	(3.2)
Prvi red linearna	$\ln L^* = \ln L_0^* - k_{1L} \cdot t$	k_{1L}	(3.3)
Drugi red nelinearna	$L^* = \dfrac{L_0^*}{1 + L_0^* \cdot k_{2NL} \cdot t}$	k_{2NL}	(3.4)
Drugi red linearna	$\dfrac{1}{L^*} = \dfrac{1}{L_0^*} + k_{2L} \cdot t$	k_{2L}	(3.5)

Regresijskom analizom eksperimentalnih rezultata procijenjeni su parametri kinetičkih matematičkih modela (**tablica 3.2**), a slaganje eksperimentalnih i (prema modelima) izračunatih vrijednosti određeno je pomoću statističkih parametara (R, RMSE). Modeliranje kinetike promjene boje čajnog peciva tijekom pečenja napravljeno je na eksperimentalnim podacima uzoraka čajnih peciva pečenim na temperaturi 205 °C. Parametri modela su red reakcije i konstanta brzine reakcije, s obzirom da je red reakcije definiran odabirom modela; reakcija nultog reda - red reakcije je nula, reakcija prvog reda - red reakcije je jedan, reakcija drugog reda - red reakcije je dva; regresijom je procjenjivana konstanta brzine kemijske reakcije (Lukinac-Čačić, 2012.).

4. REZULTATI I RASPRAVA

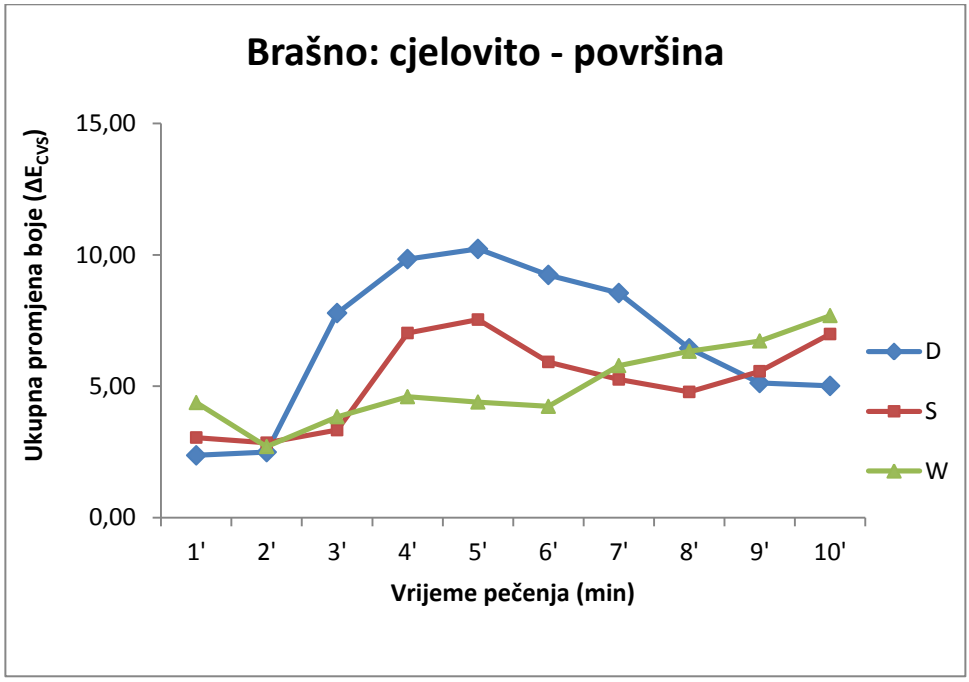
4.1. REZULTATI ODREĐIVANJA BOJE ČAJNOG PECIVA (POVRŠINA ČAJNOG PECIVA)

Slika 4.1 prikazuje rezultate ukupne promjene boje čajnog peciva od referentnog brašna tijekom 10 minuta pečenja, gdje se može vidjeti da vrijednost ukupne promjene boje od 1. do 5. minute neznatno opada (5,27 do 1,16), ali dolazi do njenog značajnog rasta od 5. do 10. minute (1,16 do 23,56), što vrijedi i za standardni, suhi i vlažni zamjes. Međutim, uspoređujući te tri vrste zamjesa, ukupna promjena boje najmanja je kod suhog zamjesa.



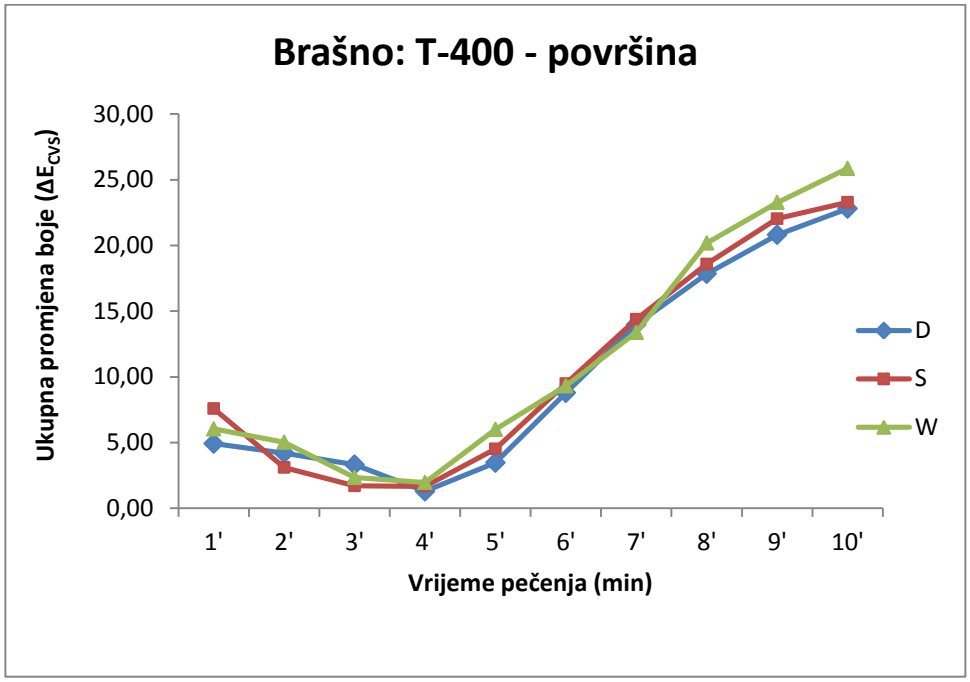
Slika 4.1 *Ukupna promjena boje čajnog peciva od referentnog brašna s obzirom na vrijeme pečenja*

Slika 4.2 prikazuje rezultate ukupne promjene boje čajnog peciva od cjelovitog brašna tijekom 10 minuta pečenja, gdje se može vidjeti da nema značajnije promjene boje od 1. do 2. minute (3,05 do 2,85), ali od 2. do 5. minute dolazi povećanja ukupne promjene boje (2,85 do 7,54) s tim da do 10. minute dolazi i do odrađenog pada (do 6,99), što vrijedi za standardni i suhi zamjes. Kod vlažnog zamjesa je očitana najmanja promjena boje, a najveća kod suhog zamjesa.



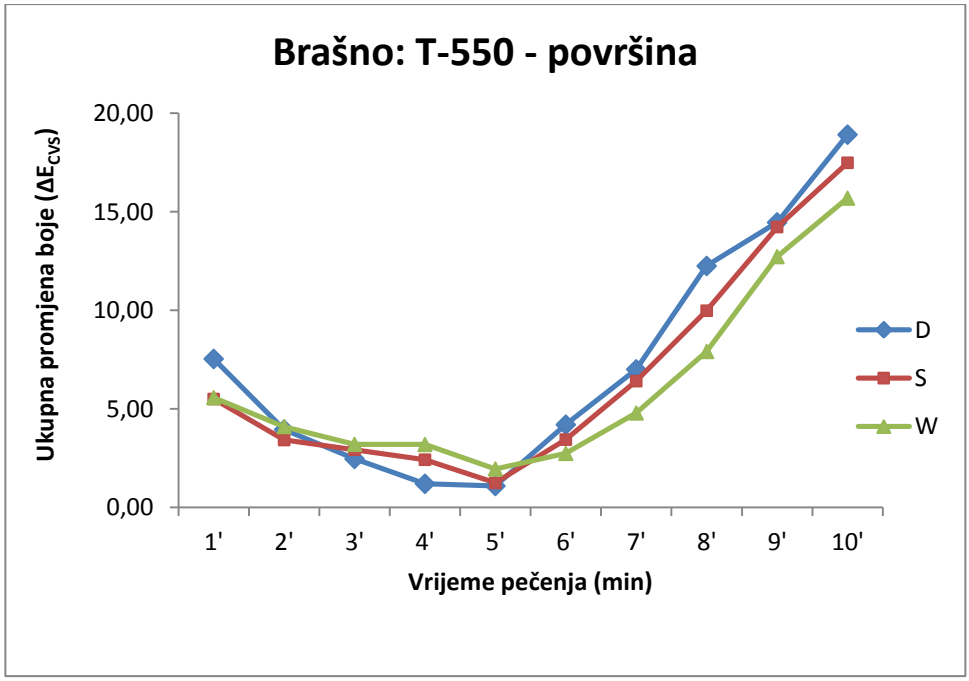
Slika 4.2 *Ukupna promjena boje čajnog peciva od cjelovitog brašna s obzirom na vrijeme pečenja*

Slika 4.3 prikazuje rezultate ukupne promjene boje čajnog peciva od brašna tipa T-400 tijekom 10 minuta pečenja, gdje se može vidjeti da vrijednost ukupne promjene boje od 1. do 4. minute blago opada (7,58 do 1,67), ali dolazi do njenog značajnog rasta od 4. do 10. minute (1,16 do 23,29), što vrijedi i za standardni, suhi i vlažni zamjes. Međutim, uspoređujući te tri vrste zamjesa, ukupna promjena boje najmanja je kod suhog zamjesa.



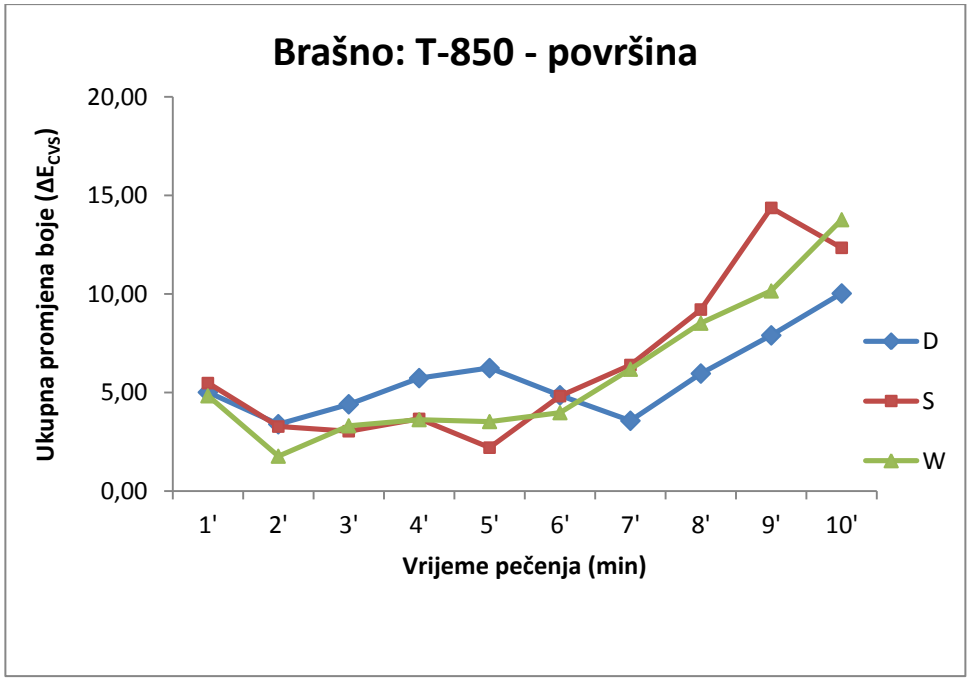
Slika 4.3 *Ukupna promjena boje čajnog peciva od brašna tipa T-400 s obzirom na vrijeme pečenja*

Slika 4.4 prikazuje rezultate ukupne promjene boje čajnog peciva od brašna tipa T-550 tijekom 10 minuta pečenja, gdje se može vidjeti da vrijednost ukupne promjene boje od 1. do 5. minute blago opada (5,51 do 1,25), ali dolazi do njenog značajnog rasta od 5. do 10. minute (1,25 do 17,49), što vrijedi i za standardni, suhi i vlažni zamjes. Međutim, uspoređujući te tri vrste zamjesa, ukupna promjena boje najmanja je kod vlažnog zamjesa.



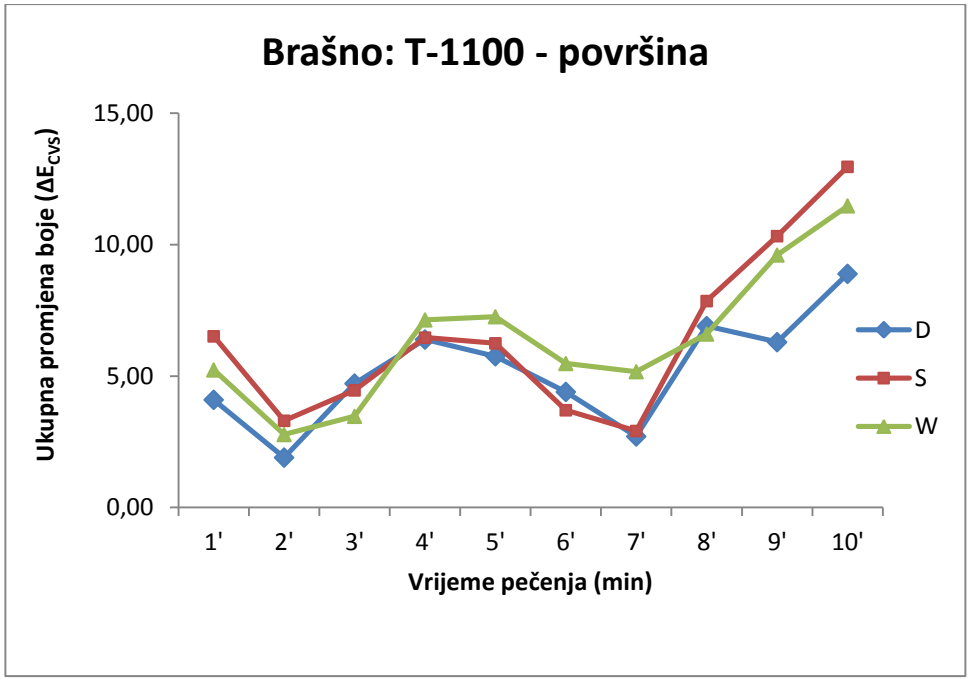
Slika 4.4 *Ukupna promjena boje čajnog peciva od brašna tipa T-550 s obzirom na vrijeme pečenja*

Slika 4.5 prikazuje rezultate ukupne promjene boje čajnog peciva od brašna tipa T-850 tijekom 10 minuta pečenja, gdje se može vidjeti da se vrijednost ukupne promjene boje od 1. do 5. minute, odnosno do 7. minute za suhi i vlažni zamjes, ne mijenja značajnije (5,48 do 2,20), a do naglog rasta dolazi od 5., odnosno 7. do 10. minute (2,20 do 12,34). Uspoređujući sve tri vrste zamjesa, ukupna promjena boje najmanja je kod suhog zamjesa.



Slika 4.5 *Ukupna promjena boje čajnog peciva od brašna tipa T-850 s obzirom na vrijeme pečenja*

Slika 4.6 prikazuje rezultate ukupne promjene boje čajnog peciva od brašna tipa T-1100 tijekom 10 minuta pečenja, gdje se može vidjeti da vrijednost ukupne promjene boje od 1. do 2. minute blago opada (6,51 do 3,30), zatim se od 2. do 7. minute očitava blagi rast i pad, dok do značajnijeg rasta dolazi između 7. i 10. minute (2,91 do 12,97). Međutim, uspoređujući te tri vrste zamjesa, ukupna promjena boje najmanja je kod suhog zamjesa.



Slika 4.6 *Ukupna promjena boje čajnog peciva od brašna tipa T-1100 s obzirom na vrijeme pečenja*

Tablica 4.1 *Promjena vrijednosti svjetline (L*) boje* ***površine*** *čajnog peciva tijekom pečenja*

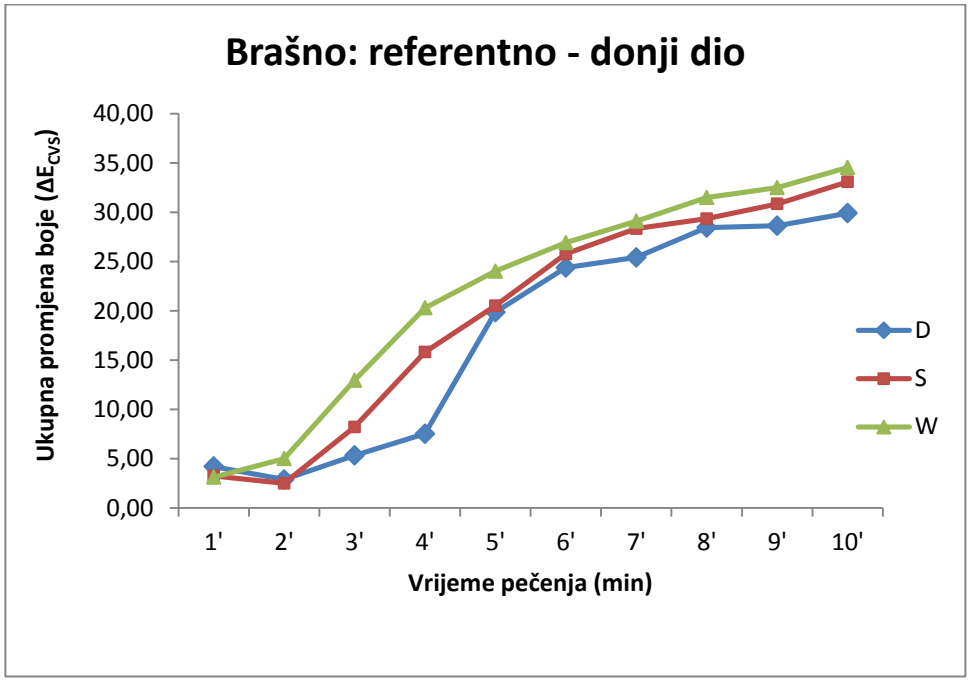
*L**	Referentno			Cjelovito			T-400		
Vrijeme pečenja (min)	S	D	W	S	D	W	S	D	W
0	77,0632	78,2803	78,1167	55,0506	51,3047	57,8081	79,3823	79,7471	80,3650
1	71,8589	72,3865	72,7418	52,1405	49,1562	53,4340	72,4053	74,8845	74,3934
2	75,2598	74,0316	75,4558	54,9836	51,8443	55,7326	76,5562	75,8969	75,5709
3	76,7727	75,7915	77,5731	57,1365	58,4058	60,5853	77,8309	77,0610	78,2660
4	78,1921	76,8837	78,9325	61,6286	60,7686	61,7628	77,8535	78,7563	78,8261
5	77,8319	78,0232	77,9361	62,1310	61,1592	61,3602	76,6609	77,4394	76,1453
6	72,9572	74,2671	73,7980	59,9400	60,0198	60,0753	72,7189	74,0538	74,0599
7	68,0142	71,8581	68,9596	58,2174	58,8390	56,7898	68,6436	69,5979	70,7582
8	63,8324	65,9314	65,2058	55,4890	55,5630	54,2146	64,3585	65,3167	64,0489
9	59,1115	64,5522	61,0491	53,3923	53,8974	53,3903	60,7761	62,1759	60,5707
10	56,3711	61,3856	57,9937	50,6691	52,0620	52,4042	59,1972	59,9127	57,7047

Tablica 4.2 *Promjena vrijednosti svjetline (L*) boje* ***površine*** *čajnog peciva tijekom pečenja*

*L**	T-550			T-850			T-1100		
Vrijeme pečenja (min)	S	D	W	S	D	W	S	D	W
0	76,4397	75,7362	75,2018	73,5872	70,2772	72,1712	67,4690	67,0861	66,2370
1	70,9788	68,5914	69,6799	68,1700	65,4183	67,4649	60,9924	63,0462	61,2667
2	73,0764	71,8552	71,3861	70,7085	67,7119	71,0387	64,8836	66,0049	63,8580
3	74,5103	73,7448	74,7212	73,8137	72,5039	73,9796	70,1015	70,5727	68,2818
4	76,3278	76,1546	76,3118	75,4420	74,3523	75,5959	72,9328	72,7102	72,7684
5	76,9193	76,5374	76,9185	75,5045	75,5045	75,3813	73,3614	72,7278	73,3871
6	74,9672	74,3850	74,8174	72,1742	75,0956	73,0137	71,1669	71,4100	71,6665
7	72,2101	71,6086	72,2658	69,6274	73,3629	69,3323	68,6905	69,1629	66,2321
8	69,4015	66,9715	69,7467	67,2104	67,6674	67,2312	63,0079	63,2020	64,1280
9	64,8278	64,5372	65,4632	61,2510	65,4736	64,5980	60,0154	63,5239	60,1741
10	61,7530	59,8076	62,6329	63,7695	62,7464	60,8869	57,4860	61,3769	58,3683

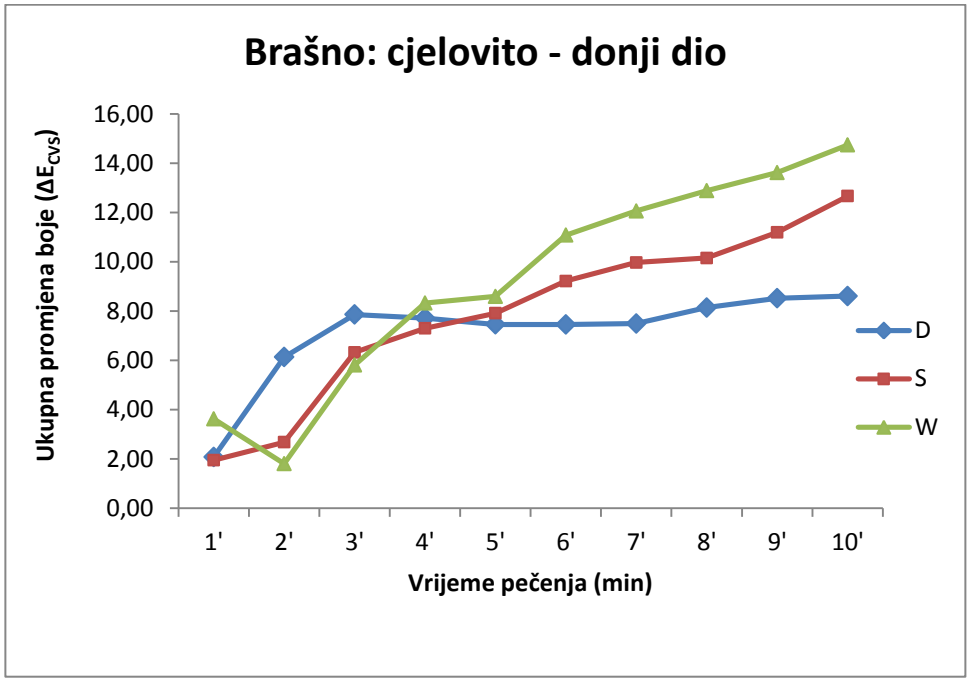
4.2. REZULTATI ODREĐIVANJA BOJE ČAJNOG PECIVA (DONJI DIO ČAJNOG PECIVA)

Slika 4.7 prikazuje rezultate ukupne promjene boje donjeg dijela čajnog peciva od referentnog brašna tijekom 10 minuta pečenja. Od 1. do 2. minute nema značajnije promjene boje (3,25 do 2,50), ali dolazi do njenog značajnog rasta od 2. do 10. minute (2,50 do 33,10), što vrijedi i za standardni, suhi i vlažni zamjes. Međutim, uspoređujući te tri vrste zamjesa, ukupna promjena boje najmanja je kod suhog zamjesa.



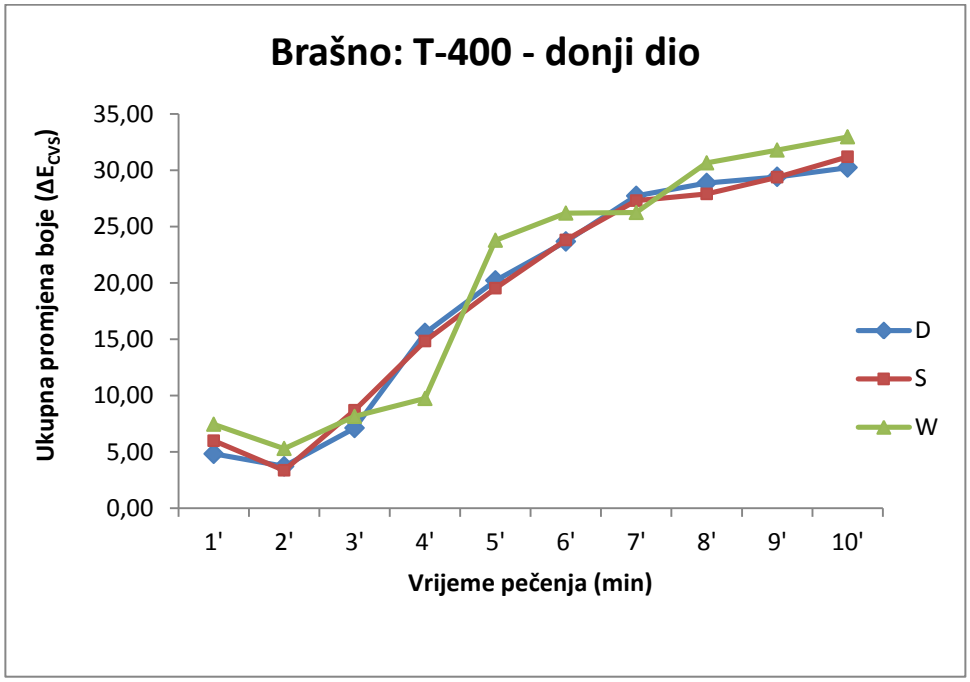
Slika 4.7 *Ukupna promjena boje donjeg dijela čajnog peciva od referentnog brašna s obzirom na vrijeme pečenja*

Slika 4.8 prikazuje rezultate ukupne promjene boje donjeg dijela čajnog peciva od cjelovitog brašna tijekom 10 minuta pečenja. U ovom slučaju, vrijednost ukupne promjene boje počinje rasti već u 1. minuti i raste sve do 10. minute (1,95 do 12,67). Iznimka je vlažni zamjes kod kojeg dolazi do pada između 1. i 2. minute. Uspoređujući te tri vrste zamjesa, ukupna promjena boje najmanja je kod suhog zamjesa.



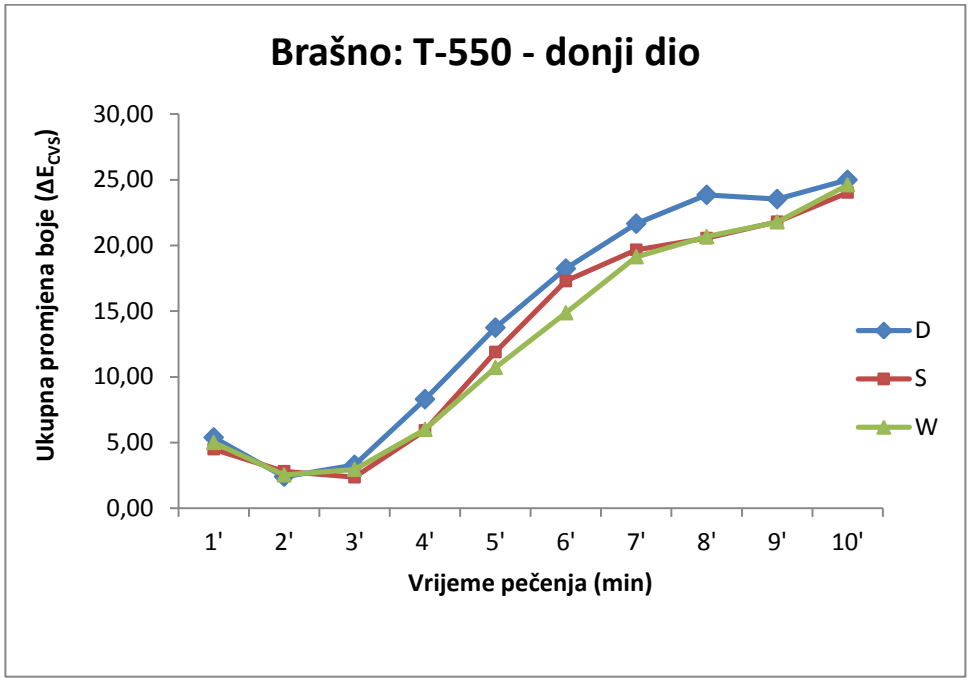
Slika 4.8 *Ukupna promjena boje donjeg dijela čajnog peciva od cjelovitog brašna s obzirom na vrijeme pečenja*

Slika 4.9 prikazuje rezultate ukupne promjene boje donjeg dijela čajnog peciva od brašna tipa T-400 tijekom 10 minuta pečenja. Od 1. do 2. minute nema značajnije promjene boje (5,99 do 3,36), ali dolazi do njenog značajnog rasta od 2. do 10. minute (3,36 do 31,20), što vrijedi i za standardni, suhi i vlažni zamjes, s tim da je kod vlažnog zamjesa na kraju očitana najveća vrijednost ukupne promjene boje.



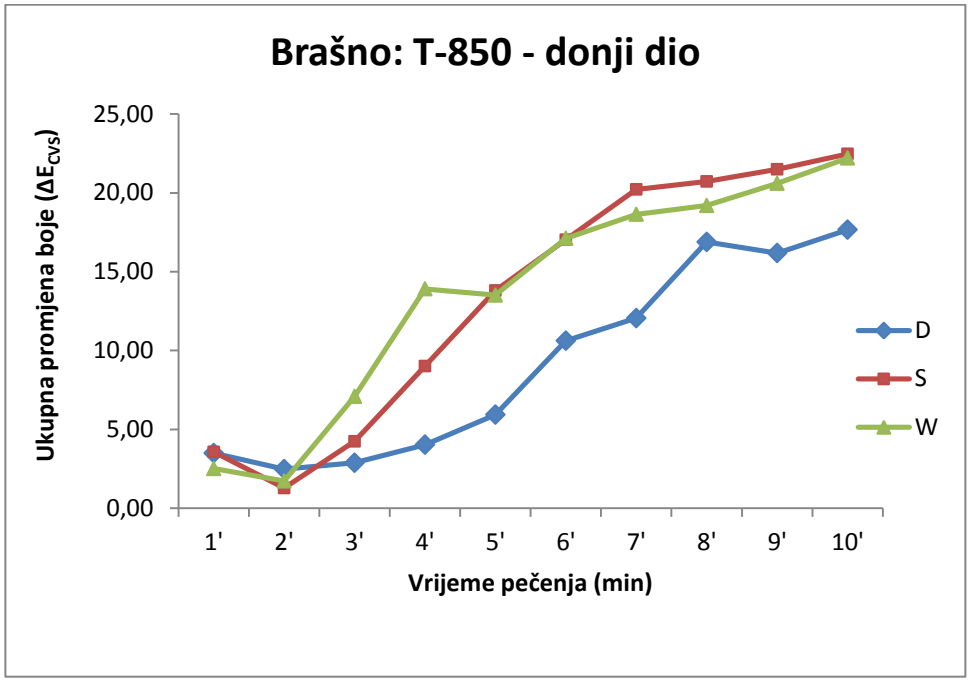
Slika 4.9 *Ukupna promjena boje donjeg dijela čajnog peciva od brašna tipa T-400 s obzirom na vrijeme pečenja*

Slika 4.10 prikazuje rezultate ukupne promjene boje donjeg dijela čajnog peciva od brašna tipa T-550 tijekom 10 minuta pečenja. Od 1. do 3. minute vrijednost ukupne promjene boje blago opada (4,49 do 2,35), ali dolazi do njenog značajnog rasta od 3. do 10. minute (2,35 do 24,03), što vrijedi i za standardni, suhi i vlažni zamjes, s tim da je kod vlažnog zamjesa na kraju očitana najmanja vrijednost ukupne promjene boje.



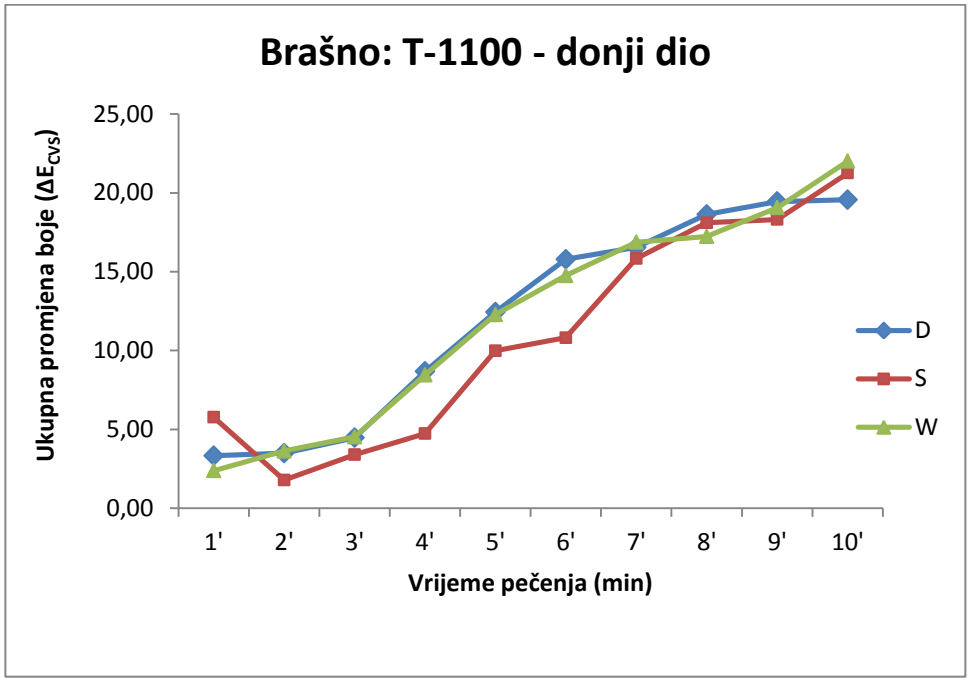
Slika 4.10 *Ukupna promjena boje donjeg dijela čajnog peciva od brašna tipa T-550 s obzirom na vrijeme pečenja*

Slika 4.11 prikazuje rezultate ukupne promjene boje donjeg dijela čajnog peciva od brašna tipa T-850 tijekom 10 minuta pečenja. Od 1. do 2. minute vrijednost ukupne promjene boje blago opada (3,57 do 1,28), nakon čega od 2. do 10. minute značajno raste (1,28 do 22,47), što vrijedi i za standardni, suhi i vlažni zamjes, s tim da je kod suhog zamjesa na kraju očitana najmanja promjene boje.



Slika 4.11 *Ukupna promjena boje donjeg dijela čajnog peciva od brašna tipa T-850 s obzirom na vrijeme pečenja*

Slika 4.12 prikazuje rezultate ukupne promjene boje donjeg dijela čajnog peciva od brašna tipa T-1100 tijekom 10 minuta pečenja. Od 1. do 2. minute vrijednost ukupne promjene boje opada od 5,77 do 1,79, nakon čega od 2. do 10. minute značajno raste od 1,79 do 21,26 i kod standardnog, suhog i vlažnog zamjesa. Najveća vrijednost promjene boje očitana je kod vlažnog zamjesa.



Slika 4.12 *Ukupna promjena boje donjeg dijela čajnog peciva od brašna tipa T-1100 s obzirom na vrijeme pečenja*

Tablica 4.3 *Promjena vrijednosti svjetline (L*) boje* ***donjeg dijela*** *čajnog peciva tijekom pečenja*

*L**	Referentno			Cjelovito			T-400		
Vrijeme pečenja (min)	S	D	W	S	D	W	S	D	W
0	77,577	76,709	79,327	55,050	50,8272	52,4042	79,3497	79,9936	80,3650
1	73,874	74,240	75,059	52,140	49,3558	56,3354	73,7175	75,0870	74,3934
2	76,307	75,924	75,613	54,983	57,1282	54,1957	76,4007	76,3000	75,5709
3	73,180	75,360	70,063	57,136	57,5289	58,4062	74,2769	74,7893	78,2660
4	67,031	74,116	62,710	61,628	55,0944	58,2047	69,8308	68,9765	78,8261
5	61,370	63,089	58,312	62,131	52,4839	56,0055	65,3880	64,9651	76,1453
6	55,699	58,117	55,517	59,940	50,8169	54,8372	60,8677	61,1077	74,0599
7	52,959	56,781	52,858	58,217	49,3927	50,7462	56,6500	56,5992	70,7582
8	51,571	53,450	50,154	55,489	47,6174	49,5074	55,2998	54,5248	64,0489
9	49,565	52,994	48,710	53,392	46,2363	47,9768	53,5954	53,7634	60,5707
10	47,098	51,351	46,608	50,669	45,3048	46,4945	51,5281	52,8188	57,7047

Tablica 4.4 *Promjena vrijednosti svjetline (L*) boje* ***donjeg dijela*** *čajnog peciva tijekom pečenja*

*L**	T-550			T-850			T-1100		
Vrijeme pečenja (min)	S	D	W	S	D	W	S	D	W
0	75,322	75,466	74,674	71,275	70,8418	72,1712	66,4241	67,1239	66,2647
1	72,150	70,500	70,374	70,236	67,2203	71,7392	61,8862	64,0477	64,2385
2	73,805	74,282	73,056	73,223	71,5776	70,0681	68,5630	70,4288	69,7388
3	75,020	72,073	73,565	72,275	72,7129	73,1512	70,3785	68,9898	68,0034
4	73,722	67,645	71,917	68,698	71,2857	70,8248	68,5135	63,2159	62,8202
5	68,601	63,272	68,689	64,218	69,0510	62,9025	62,1092	58,8963	58,4351
6	63,330	59,133	64,717	60,686	64,4282	63,2228	60,9111	55,1530	55,6284
7	60,940	56,276	60,464	57,107	62,6359	59,4477	55,8696	54,3404	53,3218
8	59,844	56,141	58,716	56,157	57,2485	57,5149	53,2693	52,0129	52,9144
9	58,224	54,409	57,113	54,875	57,3682	56,5111	52,8010	51,0508	50,5299
10	55,953	75,466	54,172	53,933	55,9488	54,5619	49,7457	50,9028	47,4181

4.3. MODELIRANJE KINETIKE PROMJENE BOJE ČAJNOG PECIVA TIJEKOM PEČENJA

Uspješnost primjene odabranih matematičkih modela analizirana je na osnovi više statističkih kriterija. U ovom radu prikazani su koeficijent korelacije (R), koji bi idealnom slučaju imao vrijednost 1, te srednje kvadratno odstupanje (RMSE).

Tablica 4.5 *Rezultati kinetičkih parametara (uzorak: čajno pecivo od referentnog brašna)*

Uzorak	Boja površina			Boja donji dio		
Vrsta zamjesa	D	S	W	D	S	W
Parametar	***Nulti red***					
k_{CVS}	1,2045	1,5723	1,4072	2,5863	3,1462	3,5726
R	**0,7809**	**0,8045**	**0,7925**	**0,9357**	**0,9725**	0,9824
RMSE	3,3827	4,4443	4,2477	3,5537	2,5730	2,1155
	Prvi red, linearni					
k_{CVS}	1,6900E-02	2,2800E-02	2,0200E-02	3,9700E-02	4,9300E-02	5,5500E-02
R	0,7804	0,8007	0,7898	0,9350	0,9707	0,9883
RMSE	0,0485	0,0665	0,0623	0,0559	0,0430	0,0280
	Prvi red, nelinearni					
k_{CVS}	1,6300E-02	2,1600E-02	1,9100E-02	3,8500E-02	4,8200E-02	5,5400E-02
R	0,7689	0,7879	0,7774	0,9240	0,9642	0,9863
RMSE	3,4624	4,6073	4,3808	3,8512	2,9302	1,8651
	Drugi red, linearni					
k_{CVS}	2,3799E-04	3,3341E-04	2,9182E-04	6,1681E-04	7,8401E-04	8,7832E-04
R	0,7795	0,7960	0,7867	0,9330	0,9652	**0,9878**
RMSE	6,9994E-04	1,0054E-03	9,2318E-04	8,9769E-04	7,7273E-04	4,7201E-04
	Drugi red, nelinearni					
k_{CVS}	2,2054E-04	2,9533E-04	2,5987E-04	5,7058E-04	7,3291E-04	8,5052E-04
R	0,7573	0,7721	0,7630	0,9094	0,9503	0,9800
RMSE	3,5365	4,7547	4,5021	4,1892	3,4432	2,2515

Kod uzoraka čajnog peciva od referentnog brašna, rezultati kinetičkih modela pokazali su da je koeficijent korelacije (R) najveći, odnosno najbliži idealnoj vrijednosti 1, kod reakcija nultog reda, i za površinu i za donji dio čajnog peciva, kod svih vrsta zamjesa, sa iznimkom vlažnog zamjesa kod donjeg dijela čajnog peciva gdje je najveća vrijednost R očitana kod reakcija drugog reda linearnog oblika.

Tablica 4.6 *Rezultati kinetičkih parametara (uzorak: čajno pecivo od cjelovitog brašna)*

Uzorak	Boja površina			Boja donji dio		
Vrsta zamjesa	D	S	W	D	S	W
Parametar	***Nulti red***					
k_{CVS}	0,0654	-0,1591	0,1544	0,1972	0,6749	0,9136
R	0,0728	0,0728	0,1829	0,2894	0,7256	0,8393
RMSE	3,9863	3,9863	4,7848	3,7740	3,0079	2,4786
	Prvi red, linearni					
k_{CVS}	1,2741E-03	-2,5334E-03	2,8300E-03	4,3404E-03	1,3400E-02	1,7700E-02
R	0,1219	0,1219	0,2128	0,3342	0,7393	0,8426
RMSE	0,0590	0,0590	0,0720	0,0722	0,0569	0,0475
	Prvi red, nelinearni					
k_{CVS}	9,6388E-04	-2,8063E-03	2,3094E-03	3,8552E-03	1,2700E-02	1,7100E-02
R	0,0718	0,0718	0,1811	0,2863	0,7163	0,8283
RMSE	3,9866	3,9866	4,7863	3,7777	3,0502	2,5539
	Drugi red, linearni					
k_{CVS}	2,3643E-05	-3,9540E-05	5,0422E-05	9,4637E-05	2,6700E-04	3,4537E-04
R	**0,1576**	**0,1576**	**0,2395**	**0,3736**	**0,7501**	**0,8447**
RMSE	8,7606E-04	8,7606E-04	1,0895E-03	1,3888E-03	1,0885E-03	9,1886E-04
	Drugi red, nelinearni					
k_{CVS}	1,4202E-05	-4,9522E-05	3,4555E-05	7,5379E-05	2,4063E-04	3,1928E-04
R	0,0708	0,0708	0,1794	0,2832	0,7072	0,8174
RMSE	3,9869	3,9869	4,7878	3,7813	3,0903	2,6259

Kod uzoraka čajnog peciva od cjelovitog brašna, rezultati kinetičkih modela pokazali su da je koeficijent korelacije (R) najveći, odnosno najbliži idealnoj vrijednosti 1, kod reakcija drugog reda, linearnog oblika, i za površinu i za donji dio čajnog peciva, kod svih vrsta zamjesa.

Tablica 4.7 *Rezultati kinetičkih parametara (uzorak: čajno pecivo od brašna tipa T-400)*

Uzorak	Boja površina			Boja donji dio		
Vrsta zamjesa	D	S	W	D	S	W
Parametar	***Nulti red***					
k_{CVS}	1,6046	1,7305	1,7141	2,9506	2,8747	2,9461
R	**0,8665**	**0,8638**	**0,8544**	**0,9802**	**0,9789**	**0,9602**
RMSE	3,3048	3,4957	3,7940	1,9199	1,9607	2,8122
	Prvi red, linearni					
k_{CVS}	2,2400E-02	2,4300E-02	2,4200E-02	4,3700E-02	4,2900E-02	4,4000E-02
R	0,8603	0,8595	0,8455	0,9791	0,9766	0,9590
RMSE	0,0485	0,0514	0,0570	0,0304	0,0320	0,0443
	Prvi red, nelinearni					
k_{CVS}	2,1600E-02	2,3400E-01	2,3100E-02	4,3300E-02	4,2300E-02	4,3100E-02
R	0,8525	0,8494	0,8385	0,9773	0,9727	0,9518
RMSE	3,4604	3,6624	3,9793	2,0546	2,2269	3,0883
	Drugi red, linearni					
k_{CVS}	3,1366E-04	3,4261E-04	3,4386E-04	6,5551E-04	6,4810E-04	6,6613E-04
R	0,8527	0,8533	0,8350	0,9744	0,9706	0,9540
RMSE	7,1928E-04	7,6416E-04	8,6567E-04	5,2337E-04	5,6444E-04	7,4037E-04
	Drugi red, nelinearni					
k_{CVS}	2,8969E-04	3,1691E-04	3,1150E-04	6,3123E-04	6,1809E-04	6,2772E-04
R	0,8388	0,8351	0,8231	0,9687	0,9619	0,9392
RMSE	3,6039	3,8173	4,1472	2,4069	2,6253	3,4589

Kod uzoraka čajnog peciva od brašna tipa T-400, rezultati kinetičkih modela pokazali su da je koeficijent korelacije (R) najveći, odnosno najbliži idealnoj vrijednosti 1, kod reakcija nultog reda, i za površinu i za donji dio čajnog peciva, kod svih vrsta zamjesa.

Tablica 4.8 *Rezultati kinetičkih parametara (uzorak: čajno pecivo od brašna tipa T-550)*

Uzorak	Boja površina			Boja donji dio		
Vrsta zamjesa	D	S	W	D	S	W
Parametar	***Nulti red***					
k_{CVS}	1,7150	1,5621	1,5292	2,0525	1,7949	1,7950
R	0,6553	0,7182	0,5953	**0,9366**	**0,9278**	**0,9299**
RMSE	4,3261	3,6309	4,0260	2,7122	2,6495	2,5889
	Prvi red, linearni					
k_{CVS}	2,3500E-02	2,1200E-02	2,0700E-02	3,1000E-02	2,6800E-02	2,7200E-02
R	0,6778	0,7330	0,6222	0,9330	0,9255	0,9238
RMSE	0,0604	0,0503	0,0551	0,0432	0,0408	0,0418
	Prvi red, nelinearni					
k_{CVS}	2,3100E-02	2,0900E-02	2,0600E-02	3,0200E-02	2,6100E-02	2,6400E-02
R	0,6477	0,7105	0,5907	0,9252	0,9168	0,9170
RMSE	4,3632	3,6719	4,0429	2,9373	2,8362	2,8068
	Drugi red, linearni					
k_{CVS}	3,2383E-04	2,8925E-04	2,8068E-04	4,7214E-04	4,0121E-04	4,1361E-04
R	**0,6943**	**0,7430**	**0,6439**	0,9279	0,9222	0,9163
RMSE	8,5375E-04	7,0611E-04	7,6120E-04	6,9962E-04	6,3680E-04	6,8449E-04
	Drugi red, nelinearni					
k_{CVS}	3,1187E-04	2,7905E-04	2,7340E-04	4,4374E-04	3,7778E-04	3,8621E-04
R	0,6407	0,7032	0,5866	0,9123	0,9048	0,9035
RMSE	4,3971	3,7101	4,4886	3,1698	3,0236	3,0151

Kod uzoraka čajnog peciva od brašna tipa T-550, rezultati kinetičkih modela pokazali su da je koeficijent korelacije (R) najveći, odnosno najbliži idealnoj vrijednosti 1, kod reakcija drugog reda, linearni oblik, za površinu čajnog peciva kod svih vrsta zamjesa, odnosno kod reakcija nultog reda za donji dio čajnog peciva kod svih vrsta zamjesa.

Tablica 4.9 *Rezultati kinetičkih parametara (uzorak: čajno pecivo od brašna tipa T-850)*

Uzorak	Boja površina			Boja donji dio		
Vrsta zamjesa	D	S	W	D	S	W
Parametar	***Nulti red***					
k_{CVS}	0,1298	0,7534	0,5378	1,2426	1,6742	1,8592
R	0,1695	0,6253	0,5361	0,8338	0,9134	0,9494
RMSE	4,1773	3,4825	3,7548	3,3343	2,9347	2,2108
	Prvi red, linearni					
k_{CVS}	2,1978E-03	1,1000E-02	8,0406E-03	1,9300E-02	2,6400E-02	2,9200E-02
R	0,1912	0,6306	0,5469	**0,8344**	**0,9141**	0,9516
RMSE	0,0599	0,0505	0,0543	0,0521	0,0463	0,0343
	Prvi red, nelinearni					
k_{CVS}	1,8330E-03	1,0600E-02	7,5624E-03	1,8600E-02	2,5600E-02	2,8800E-02
R	0,1681	0,6167	0,5292	0,8216	0,9027	0,9428
RMSE	4,1783	3,5129	3,7742	3,4429	3,1033	2,3463
	Drugi red, linearni					
k_{CVS}	3,6390E-05	1,6079E-04	1,2044E-04	3,0239E-04	4,1776E-04	4,6103E-04
R	**0,2110**	**0,6350**	**0,5568**	0,8340	0,9137	**0,9521**
RMSE	8,6175E-04	7,3601E-04	7,8992E-04	8,1930E-04	7,3895E-04	5,4646E-04
	Drugi red, nelinearni					
k_{CVS}	2,5896E-05	1,4771E-04	1,0633E-04	2,7726E-04	3,9077E-04	4,4336E-04
R	0,1667	0,6085	0,5225	0,8095	0,8909	0,9343
RMSE	4,1793	3,5416	3,7926	3,5461	3,2754	2,5098

Kod uzoraka čajnog peciva od brašna tipa T-850, rezultati kinetičkih modela pokazali su da je koeficijent korelacije (R) najveći, odnosno najbliži idealnoj vrijednosti 1, kod reakcija drugog reda, linearnog oblika, i za površinu i za donji dio čajnog peciva, kod svih vrsta zamjesa, sa iznimkom standardnog i suhog zmjesa kod donjeg dijela čajnog peciva gdje je najveća vrijednost R očitana kod reakcija prvog reda linearnog oblika.

Tablica 4.10 *Rezultati kinetičkih parametara (uzorak: čajno pecivo od brašna tipa T-1100)*

Uzorak	Boja površina			Boja donji dio		
Vrsta zamjesa	D	S	W	D	S	W
Parametar	***Nulti red***					
k_{CVS}	0,3228	0,3228	0,0130	1,6533	1,3064	1,6466
R	0,3009	0,3009	0,0742i	0,8937	0,7999	0,9000
RMSE	4,9560	4,9560	4,2964	3,1697	4,0973	3,1596
	Prvi red, linearni					
k_{CVS}	5,4307E-03	5,4307E-03	5,1880E-04	2,7800E-02	2,2100E-02	2,8200E-02
R	0,3217	0,3217	0,0175	0,9012	0,8085	0,9038
RMSE	0,0751	0,0751	0,0640	0,0512	0,0672	0,0532
	Prvi red, nelinearni					
k_{CVS}	4,7847E-03	4,7847E-03	1,9329E-04	2,7100E-02	2,0900E-02	2,7200E-02
R	0,2967	0,2967	0,0743	0,8843	0,7859	0,8875
RMSE	4,9627	4,9627	4,2964	3,2995	4,2219	3,3403
	Drugi red, linearni					
k_{CVS}	9,0688E-05	9,0688E-05	1,2615E-05	4,6862E-04	3,7458E-04	4,8547E-04
R	**0,3412**	**0,3412**	**0,0767**	**0,9067**	**0,8146**	**0,9044**
RMSE	1,1437E-03	1,1437E-03	9,5605E-04	8,4151E-04	1,1168E-03	9,1828E-04
	Drugi red, nelinearni					
k_{CVS}	7,0942E-05	7,0942E-05	2,8773E-06	4,4114E-04	3,3463E-04	4,4800E-04
R	0,2928	0,2928	0,0743i	0,8734	0,7721	0,8743
RMSE	4,9690	4,9690	4,2964	3,4413	4,3392	3,5197

Kod uzoraka čajnog peciva od brašna tipa T-1100, rezultati kinetičkih modela pokazali su da je koeficijent korelacije (R) najveći, odnosno najbliži idealnoj vrijednosti 1, kod reakcija drugog reda, linearni oblik, i za površinu i za donji dio čajnog peciva kod svih vrsta zamjesa.

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu rezultata dobivenih računalnom analizom slike uzoraka čajnog peciva pečenih 10 minuta na 205 °C, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. Usporedbom ukupne promjene boje kod standardnog, suhog i vlažnog zamjesa, najmanja ukupna promjena boje očitana je kod suhog zamjesa.
2. Kod svih vrsta zamjesa, ukupna promjena boje u početku ili se neznatno mijenja ili blago opada.
3. Kod sva tri zamjesa, nakon početnog pada ukupne promjene boje dolazi do njenog značajnog rasta, odnosno dolazi do tamnjenja. Povećanjem temperature, započinju reakcije stvaranja dekstrina, odnosno žutih pigmenata, a zatim dolazi i do karamelizacije i Maillardovih reakcija i nastanka smeđe boje.
4. Usporedbom ukupne promjene boje površine i donjeg dijela čajnog peciva, kod sve tri vrste zamjesa, rezultati su pokazali da vrijednost ukupne promjene boje raste brže i više na donjem dijelu uzorka.
5. Usporedbom tipova brašna koji su korišteni u ovom radu, brašna s većim udjelom pepela (cjelovito, T-850 i T-1100) imaju manju ukupnu promjenu boje u odnosu na brašna sa manjim udjelom pepela (referentno, T-400 i T-550).

Na osnovu rezultata dobivenih računalnom analizom slike uzoraka čajnog peciva od šest tipova brašna i sa tri tipa zamjesa, s obzirom na promjenu svjetline (L^*), mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. Kod sve tri vrste zamjesa, u početku pečenja, nakon što voda ispari, a netom prije početka reakcija tamnjenja, svjetlina se blago povećava (npr. za referetno brašno: od 77,06 do 78,19).
2. Povećanjem temperature, započinju reakcije karamelizacije i Maillardove reakcije, dolazi do nastanka smeđe boje, pa se svjetlina smanjuje (npr. za referentno brašno: od 78,19 do 56,37).

Na osnovu rezultata (R, RMSE) dobivenih pomoću kinetičkih modela reakcija nultog, prvog i drugog reda, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. Ukupna promjena boje kod čajnog peciva od **referentnog** brašna najbolje je opisana kinetičkim modelom reakcija nultog reda (iznimka kod donjeg dijela čajnog peciva vlažnog zamjesa gdje je vrijednost koeficijenta korelacije najveća kod reakcija drugog reda linearnog oblika). Vrijednost R za površinu čajnog peciva, standardnog zamjesa, iznosila je 0,8045, a za donji dio uzorka 0,9725.
2. Vrijednost koeficijenta korelacije kod čajnog peciva od **cjelovitog** brašna je bila najveća kod reakcija drugog reda linearnog oblika, zbog čega se ukupna promjena boje kod ovog uzorka može najbolje opisati sa spomenutim modelom. Vrijednost R za površinu čajnog peciva, standardnog zamjesa, iznosila je 0,1576, a za donji dio uzorka 0,7501.
3. Vrijednost koeficijenta korelacije kod čajnog peciva od brašna tipa **T-400** je bila najveća kod reakcija nultog reda, zbog čega se ukupna promjena boje kod ovog uzorka može najbolje opisati sa ovim redom reakcija. Vrijednost R za površinu čajnog peciva, standardnog zamjesa, iznosila je 0,8638, a za donji dio uzorka 0,9789.
4. Ukupna promjena boje kod čajnog peciva od brašna tipa **T-550** najbolje je opisana kinetičkim modelom reakcija drugog reda linearnog oblika za površinu čajnog peciva, dok je za donji dio prikladniji kinetički model reakcija nultog reda. Vrijednost R za površinu čajnog peciva, standardnog zamjesa, iznosila je 0,7430, a za donji dio uzorka 0,9278.
5. Ukupna promjena boje kod čajnog peciva od brašna tipa **T-850** najbolje je opisana kinetičkim modelom reakcija drugog reda linearnog oblika, sa iznimkom za donji dio čajnog peciva standardnog i suhog zamjesa gdje je najveća vrijednost R očitana kod reakcija prvog reda linearnog oblika. Vrijednost R za površinu čajnog peciva, standardnog zamjesa, iznosila je 0,6350, a za donji dio uzorka 0,9141.
6. Vrijednost koeficijenta korelacije kod čajnog peciva od brašna tipa **T-1100** je bila najveća kod reakcija drugog reda linearnog oblika, zbog čega se ukupna promjena boje kod ovog uzorka može najbolje opisati sa ovim redom reakcija. Vrijednost R za površinu čajnog peciva, standardnog zamjesa, iznosila je 0,3412, a za donji dio uzorka 0,8146.
7. Usporedbom svih tipova brašna, za brašno sa većim udjelom pepela (cjelovito, T-850, T-1100) najčešće odgovara kinetički model reakcija drugog reda linearnog oblika, dok zabrašno sa manjim udjelom pepela (referentno, T-400, T-550) najčešće odgovaraju kinetički modeli reakcija nultog reda.

6. LITERATURA

1. **Capuano, E., Ferrigno, A., Acampa, I., Ait-Ameur, L., Fogliano, V.:** Characterization of the Maillard reaction in bread crisps. *European Food Research Technology*. 228: 311–319, 2008.
2. **Du, C.-J., Sun, D.-W.:**Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology.* 15:230–249, 2004.
3. **Hsien-Che, L:***Introduction to Color Imaging Science.* Cambridge University Press, New York, 2005.
4. **Lukinac-Čačić, J.:** Matematičko modeliranje i optimiranje kinetike promjene boje kruha tijekom pečenja. *Doktorski rad.* Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2012.
5. **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. *CroatianJournal of Food Science and Technology.* 1:31–35, 2009.
6. **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.* 11:364–373, 2001.
7. **Pletney, V.N.:***Focus on Food Engineering Research and Developments*. Nova Science Publishers, Inc., New York, 2007.
8. **Pomeranz, Y., Meloan C.E.:** Measurement of color. *U Food Analysis: Theory and Practice.* Y.M.C.E. Pomeranz. (ur.), New York. 87–98, 1994.
9. **Pravilniku o keksima i keksima srodnim proizvodima,** *NN br. 73*, 2005.
10. **Pravilnik o žitaricama, mlinskim i pekarskim proizvodima, tjestenini, tijestu i proizvodima od tijesta***, NN br. 78.*, 2005.
11. **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.
12. **Purlis, E., Salvadori, V.O.:**Modelling the browning of bread during baking. *Food Research International.* 42:865–870, 2009c.
13. **Yam, K.L., Papadakis, S.E.** A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*. 61:137–142, 2004.
14. **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*. 80:1302–1311, 2007.