

Gubici topline te promjena mase i boje dva tipa čajnog peciva tijekom procesa industrijskog pečenja

Lulić, Iva

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:109:098935>

Rights / Prava: [Attribution-ShareAlike 4.0 International / Imenovanje-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-06**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK**

Iva Lulić

**GUBICI TOPLINE TE PROMJENE MASE I BOJE DVA TIP
ČAJNOG PECIVA TIJEKOM PROCESA
INDUSTRIJSKOG PEČENJA**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan 2022.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za procesno inženjerstvo
Katedra za mehaničke, toplinske i separacijske procese
Franje Kuhača 18, 31000 Osijek, Hrvatska

Diplomski sveučilišni studij Procesno inženjerstvo

Znanstveno područje: Biotehnološke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija
Nastavni predmet: Jedinične operacije u procesnom inženjerstvu
Tema rada prihvaćena je na X. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2021./2022., održanoj 18. srpnja 2022.
Mentor: prof. dr. sc. Mirela Planinić

Gubici topline te promjena mase i boje dva tipa čajnog peciva tijekom procesa industrijskog pečenja

Iva Lulić, 0113145098

Sažetak: Racionalna potrošnja energenata predstavlja značajan doprinos povećanju održivosti života na Zemlji pri čemu su od posebnog interesa veliki potrošači energije. Stoga je cilj ovog diplomskog rada bio određivanje koeficijenta prijelaza topline i gubitka topline u okolinu tijekom procesa pečenja čajnog peciva u industrijskom mjerilu. Tijekom šest dana praćen je proces pečenja dva, po sastavu različita čajna peciva, pri čemu su periodički mjereni/određivani: masa i vlažnost oblikovanog tijesta / čajnog peciva, CIELab parametri boje uzoraka te temperature: pečenja, vanjskih površina stijenki peći i okolnog zraka. Temeljem izmjerenih vrijednosti temperatura izračunati su koeficijenti prijelaza topline i gubici topline u okolinu na različitim pozicijama peći. Rezultati su pokazali da je praćeni industrijskog proces pečenja čajnog peciva zadovoljavajuće dobro optimiran s obzirom na gubitke topline u okolinu s obzirom da su vrijednost koeficijent prijelaza topline s vanjskih stijenki peći relativno niske ($< 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$), kao i gubici topline u okolinu ($< 16 \text{ W/m}^2$).

Ključne riječi: čajno pecivo, gubici topline, industrijski proces, pečenje

Rad sadrži: 55 stranica
25 slika
4 tablice
19 literaturnih referenci
2 priloga

Jezik izvornika: Hrvatski

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

- | | |
|--|---------------|
| 1. prof. dr. sc. Daliborka Koceva Komlenić | predsjednik |
| 2. prof. dr. sc. Mirela Planinić | član - mentor |
| 3. prof. dr. sc. Ana Bucić-Kojić | član |
| 4. prof. dr. sc. Marko Jukić | zamjena člana |

Datum obrane: 27. rujna 2022.

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 18, Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

University Josip Juraj Strossmayer in Osijek
Faculty of Food Technology Osijek
Department of Process Engineering
Subdepartment of Mechanical, Thermal and Separation Process
Franje Kuhača 18, HR-31000 Osijek, Croatia

Graduate program Food Engineering

Scientific area: Biotechnical sciences

Scientific field: Food technology

Course title: Unit Operations in Process Engineering

Thesis subject was approved by the Faculty Council of the Faculty of Food Technology at its session no. X. (2021/2022) July 18, 2022

Mentor: Mirela Planinić, PhD, full prof.

Heat Loss and Weight and Color Changes of Two Type of Biscuits During the Industrial Baking Process

Iva Lulić, 0113145098

Summary: The rational consumption of energy represents a significant contribution to increasing the sustainability of life on Earth, and large energy consumers are of particular interest. Therefore, the aim of this work was to determine the heat transfer coefficient and the heat loss to the environment during the baking of biscuits on an industrial scale. During six days, the baking process of two types of biscuits with different compositions was monitored, measuring/determining at regular intervals: the mass and moisture of the formed dough/biscuit, the CIELab parameters of the colour of the samples and the temperature of the baking process, the external surfaces of the oven walls and the ambient air. Based on the measured temperature values, the heat transfer coefficients and heat losses to the environment at different points of the oven were calculated. The results show that the monitored industrial process of baking biscuits is satisfactorily optimized in terms of heat losses to the environment, since the value of the heat transfer coefficient of the outer walls of the oven is relatively low ($< 2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$), as are the heat losses to the environment ($< 16 \text{ W/m}^2$).

Key words: biscuit, heat loss, industrial process, baking

Thesis contains: 55 pages
25 figures
4 tables
19 references
2 enclosures

Original in: Croatian

Defense committee:

- | | |
|---|--------------|
| 1. Daliborka Koceva Komlenić, PhD, associate full prof. | chair person |
| 2. Mirela Planinić, PhD, full prof. | supervisor |
| 3. Ana Bucić-Kojić, PhD, full prof. | member |
| 4. Marko Jukić, PhD, full prof. | stand-in |

Defense date: September 27, 2022

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 18, Osijek.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	3
2.1. ČAJNO PECIVO.....	4
2.2. SIROVINE.....	4
2.2.1. Pšenično brašno.....	5
2.2.2. Voda.....	6
2.2.3. Masnoće.....	7
2.2.4. Šećeri.....	7
2.2.5. Sredstva za narastanje tijesta.....	8
2.3. PROCES PROIZVODNJE ČAJNOG PECIVA.....	9
2.3.1. Priprema sirovina.....	9
2.3.2. Izrada zamjesa.....	10
2.3.3. Oblikovanje tijesta.....	10
2.3.4. Pečenje.....	12
2.3.5. Hlađenje čajnog peciva.....	18
2.3.6. Pakiranje i skladištenje.....	18
2.4. Boja.....	19
3. EKSPEIMENTALNI DIO.....	21
3.1. Zadatak.....	22
3.2. Materijali.....	22
3.3. Metode.....	23
3.3.1. Mjerenje mase uzorka prije pečenja i nakon pečenja.....	23
3.3.2. Mjerenje temperature vanjskih stijenki peći i čajnog peciva.....	25
3.3.3. Određivanje udjela vlage u čajnom pecivu nakon pečenja.....	28
3.3.4. Određivanje boje čajnog peciva.....	29
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	31
4.1. Promjena masa uzoraka čajnog peciva tijekom pečenja.....	32
4.2. Temperature vanjskih stijenki peći i okolnog zraka.....	35
4.3. Koeficijent prijelaza topline i gubici topline tijekom pečenja.....	39
4.4. Boja oblikovanog tijesta i čajnog peciva.....	45
5. ZAKLJUČCI.....	51
6. LITERATURA.....	53
PRILOG I.	
PRILOG II.	

Popis oznaka, kratica i simbola

a^*	parametar boje pečenog uzorka CIEL a^*b^* prostora boja
a_0^*	parametar boje tijesta CIEL a^*b^* prostora boja
b^*	parametar boje pečenog uzorka CIEL a^*b^* prostora boja
b_0^*	parametar boje tijesta CIEL a^*b^* prostora boja
L^*	parametar CIEL a^*b^* prostora boja – svjetlina boje (engl. lightness)
L_0^*	parametar svjetline tijesta CIEL a^*b^* prostora boja
ΔE	ukupna promjena boje
T	temperatura [$^{\circ}\text{C}$]
t	vrijeme [min]
m_0	masa tijesta [g]
m	masa pečenog uzorka [g]
w_v	udio vlage [%]
q	količina gubitka energije [W/m^2]
α	koeficijent prijalaza topline [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
λ	toplinska vodljivost zraka [W/mK]
L	linearna dimenzija površine [L]
Nu	Nusseltov broj
Pr	Prandtllov broj
Gr	Grashofov broj
c_p	specifični toplinski kapacitet [kJ/kgK]
ρ	gustoće [kg/m^3]
β	koeficijent toplinskog širenja [K^{-1}]
μ	dinamički viskozitet zraka [Pas]

1.UVOD

Čajno pecivo je proizvod dobiven pečenjem oblikovanog masnog tijesta, a sadrži najmanje 10 % masnoće računato na gotov proizvod s najviše 5 % vode (Pravilnik NN 73/05).

Čajno pecivo karakterizira meko tijesto s visokim udjelom masti i šećera. Proizvodnja visokokvalitetnog čajnog peciva zahtjevan je postupak osobito ukoliko se želi postići najniža cijena po kilogramu pečenog čajnog peciva.

Smatra se da su prvi fini pekarski proizvodi (u koje se ubrajaju i čajna peciva) nastali u 7. stoljeću na području današnjeg Irana s kojeg su se kasnije proširili na daljnja geografska područja. Prvi finih pekarskih proizvoda nisu služili kao poslastice ljudima već su korišteni kao mali dijelovi biskvita torti kako bi se vidjelo je li temperatura tadašnjih pećnica optimalna za pečenje biskvita (Davidson, 2006.). S vremenom je potražnja za finim pekarskim proizvodima rasla te se danas fini pekarski proizvodi proizvode u industrijskom mjerilu.

Proizvodnja u industrijskom mjerilu sa sobom donosi i velike proizvodne troškove. Velik dio troškova čine energentski troškovi dok najveći dio energije troše uređaji za zagrijavanje i pečenje (Davidson, 2016.). Sve više se nastoji smanjiti potrošnju energenata, ne samo zbog njihovog negativnog utjecaja na okoliš već zbog vrlo visokih cijena energenata. Do sada je bilo bitno proizvoditi što više i što kvalitetniji proizvod, ali s odmakom vremena je sve bitnije smanjiti uporabu energije (Khair i sur., 2013.).

Cilj ovog diplomskog rada je izračunati gubitke topline tijekom industrijskog pečenja dva tipa čajnog peciva. Višednevno praćenje temperature pečenja, temperature vanjskih stijenki peći i temperature okolnog zraka omogućiti će izračun gubitka topline. Uz sve navedeno određivati će se masa čajnog peciva i udio vlage u čajnom pecivu te promjena boje čajnog peciva prije i nakon pečenja.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. ČAJNO PECIVO

Za proizvodnju čajnog peciva upotrebljavaju se tvrdo tijesto i meko tijesto. Tvrdo tijesto proizvodi se miješanjem u jednom koraku. Tvrdo tijesto sadrži manji udio masti i veći udio vode u odnosu na meko tijesto. Kod proizvodnje tvrdog tijesta cilj je potaknuti vodu da što prije dosegne molekule proteina kako bi nastao gluten. Svi sastojci su dodani u jednom koraku te se miješaju duže i većom brzinom nego meko tijesto. Energija unesena u sustav miješanjem poboljšava formiranje glutena te je iz istog razloga dopušteno i povišenje temperature tijekom miješanja kako bi nastalo fleksibilnije tijesto. Proizvođači, najčešće, žele rastezljivo tijesto s malo elastičnosti kako nakon formiranja oblika ne bi došlo do skupljanja tijesta ili promjene oblika.

Naspram tvrdog tijesta, meko tijesto sadrži veći udio masti, manji udio vode te veći udio šećera. Ukupni šećer u mekom tijestu nije u potpunosti otopljen zbog nedovoljne količine vode. Količina šećera koja se otopi kontrolirana je miješanjem sastojaka u 2 koraka (faze). U prvoj fazi dodaju se svi sastojci osim brašna. Na ovaj način, šećer se dovodi u kontakt s vodom i otapa se bez kompeticije sa škrobom i proteinima iz brašna. Mast se također dodaje u prvoj fazi te stvara pjenastu konzistenciju. Otopljeni šećer i voda najčešće završavaju kao emulzija malih kapljica u masti. U drugoj fazi se dodaje brašno i formira se meko tijesto. Ranije zarobljena voda u mastima, ne dolazi u kontakt s proteinima u brašna te se gluten ne formira.

Vrsta tijesta koja će nastati ne ovisi samo o količini dodanih sirovina već i o brzini miješanja. Pri brzom miješanju dolazi do većeg utroška energije, što dovodi do povišenja temperature te nastanka visoko-elastičnog tijesta (Dendy i Dobraszczyk, 2001.).

Nakon proizvodnje tijesta dolazi do oblikovanja tijesta. Oblikovanje je korak u kojemu se tijesto razdvaja i formira u oblike koji će se peći (Manley, 2000.).

2.2. SIROVINE

Osnovne sirovine za proizvodnju čajnog peciva su pšenično brašno, masnoće i šećer. Uz osnovne sirovine koriste se i dodatne sirovine kao što su: jaja, med, mlijeko u prahu, arome boje, sredstva za narastanje i voda.

2.2.1. Pšenično brašno

Kvaliteta proizvedenog čajnog peciva uvelike ovisi o kvaliteti uporabljenog pšeničnog brašna. Brašno značajno utječe na teksturu čajnog peciva, strukturu i oblik dok na okus čajnog peciva nema velik utjecaj.

Čajna peciva proizvode se od brašna u kojemu je udio proteina manji od 9 %. Pšenično brašno je osnovi sastojak u proizvodnji čajnog peciva, a najčešće korištena brašna su T-400 i T-550. Ukoliko je udio pepela u brašnu previsok funkcija glutena u brašnu neće biti potpuna te čajno pecivo može poprimiti sivu boju.

Osim kemijskog sastava, za proizvodnju čajnog peciva vrlo je važan i granulometrijski sastav brašna. Poželjan granulometrijski sastav brašna za proizvodnju čajno peciva uključuje srednju veličinu čestica oko 50 μm pri čemu bi udio čestica većih od 130 μm trebao biti manji od 10 % (Manley, 2000.).

SASTAV BRAŠNA

Sastav brašna pri različitim stupnjevima izmeljavanja prikazan u Tablici 1 (Đaković, 1997.).

Tablica 1 Prosječni kemijski sastav brašna kod različitih stupnjeva izmeljavanja

Sastojak	% IZMELJAVANJA			
	50	70	80	94 – 100
Minerali (%)	0,46	0,62	0,80	1,7
Proteini (%)	10,7	12,2	12,0	13,5
Lipidi (%)	1,1	1,5	1,8	2,3
Vlakna (%)	0,1	0,2	0,3	2,1
Škrob i šećeri (%)	84	81	81	73

Mineralne tvari

Mineralne tvari imaju bitnu ulogu u prehrani jer omogućuju mnogobrojne vitalne funkcije u organizmu. Minerali prisutni u brašnu su: fosfor, kalij, magnezij i kalcij. Tamnija brašna su bogatija mineralnim tvarima (Anglani, 1998.). Tip brašna ovisno o udjelu mineralnih tvari prikazan je u Tablici 2.

Tablica 2 Tip brašna ovisno o udjelu mineralnih tvari

TIP BRAŠNA	UDIO PEPELA (%)
TIP 400	do 0,45
TIP 550	0,50 – 0,60
TIP 850	0,80 – 0,90
TIP 1100	1,05 - 1,15

Proteini

Proteini brašna sastoje se od albumina, globulina, prolamina (gliadin) i glutenina (glutenin). Gliadin i glutenin nazivaju se proteini glutena i čine 80 % – 85 % ukupnih proteina pšenice, dok preostalih 15 % – 20 % čine albumini i globulini (Gavrilović, 2003.).

Lipidi

Trigliceridi, fosfolipidi i glikolipidi su lipidi brašna. Fosfolipidi imaju povoljan utjecaj na gluten koji u njihovoj prisutnosti zadržava više plinova u tijestu što rezultira proizvodom većeg volumena i bolje strukture. Glikolipidi i fosfolipidi se vežu s proteinima i škrobom brašna te utječu na njihovu pokretljivost (Gavrilović, 2003.).

Škrob i šećeri

Škrob je prema masenom udjelu glavna komponenta pšeničnog brašna. Uz škrob u brašnu su prisutni i drugi ugljikohidrati, kao što su monosaharidi, disaharidi, oligosaharidi i polisaharidi. Udio šećera u brašnu ovisi o udjelu šećera u pšenici kao sirovini (Đaković 1997.).

2.2.2. Voda

Voda korištena pri proizvodnji čajnog peciva je voda za piće. Voda za piće prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće je sva voda koja je u svom izvornom stanju ili nakon obrade namijenjena za piće, kuhanje ili pripremu krane kao i voda koja se koristi u proizvodnji, preradi te konzerviraju proizvoda ili tvari namijenjenih konzumaciji ljudi (MPŠVG, NN 47/08).

Voda se dodaje u fazi miješanja tijesta u gotovo svim receptima za proizvodnju čajnog peciva. Voda funkcionira kao katalizator te se gotovo potpuno uklanja procesom pečenja. Voda hidratizira

proteine brašna te pri optimalnim uvjetima miješanja, dolazi do prelaska proteina brašna u visoko-elastični gluten. Ovaj korak je vrlo važan pri određivanju prirode tijesta i za strukturu pečenog čajnog peciva. Svojstva upotrebljavane vode određuju svojstva proizvedenog čajnog peciva. Tijesta nastala miješanjem meke vode i ostalih sastojaka su mekša i slabija u odnosu na tijesta zamiješana s tvrdom vodom. Voda može biti u slobodnom i vezanom obliku. Vezana voda nalazi se u sastavu glutena, vezana je s polarnim grupama proteina brašna te je prisutna u kapilarama kao kapilarna voda (Manley, 2000). Elastična svojstva tijesta regulirana su količinom slobodne vode (Gavrilović, 2003.).

2.2.3. Masnoće

Masti i ulja su esteri zasićenih i nezasićenih viših masnih kiselina i glicerola. Masti se prema kemijskom sastavu dijele na masti i ulja dok prema porijeklu mogu biti životinjske i biljne. U mastima prevladavaju zasićene masne kiseline, kao što su stearinska i palmitinska, dok u uljima nezasićene masne kiseline, npr. oleinska.

U proizvodnji čajnog peciva masti imaju važnu ulogu, a po zastupljenosti kao sirovine nalaze se na trećem mjestu. Masti utječu na teksturu i okus čajnog peciva. Na plastično-elastična i elastično-plastična svojstva utječe nastanak lipoproteina. Lipoproteini su produkti interakcije polarnih lipida brašna i polarnih lipida masti. Masti se u tijestu nalaze u obliku tankih slojeva te se svojim hidrofobnim dijelovima vežu na hidrofobne dijelove brašna. Vrlo je važno istovremeno dodavanje masti i vode tijekom proizvodnje tijesta. Tijekom miješanja dolazi do kompeticije vode i masti za brašno. Voda reagira s brašnom i tvori glutensku mrežu. Nepravilnim ili prekomjernim dodavanjem masti nastaje mekša tekstura čajnog peciva zbog nedostatka formiranja glutena. Ukoliko dođe do prevelikog razvoja topline tijekom miješanja, tekuća faza masti zauzima površinu čestica brašna te onemogućuju kontakt vode s brašnom i usporava bubrenje glutena (Gavrilović, 2003.).

2.2.4. Šećeri

Glavni izvori šećera su šećerna trska, *Sahharum officinarum*, i šećerna repa, *Beta vulgaris*. Pod pojmom šećer se smatra saharoza dobivena iz šećerne repe ili šećerne trske. Saharozu je disaharid kemijske formule $C_{12}H_{22}O_{11}$. Osim slatkoće, saharoza utječe na teksturu i strukturu keksa (unošenjem zraka u mast tijekom proizvodnje tijesta čajnog peciva) te na viskoznost. Šećer se

može otopiti potpuno ili djelomično, a ukoliko je koncentracija šećera velika dolazi do proizvodnje tvrdog čajnog peciva (Manley, 2000.).

Dodavanjem saharoze pri zamjesu tijesta smanjuje se osmotska aktivnost vode te proteini glutena sporije bubre što dovodi do sporijeg procesa. Ukoliko je udio vlage manje od 25 % upotrebljava se šećer u prahu radi bržeg otapanja u tijestu. Maksimalna veličina čestica šećera u prahu je 100 µm (Gavrilović, 2011.).

2.2.5. Sredstva za narastanje tijesta

Sredstva za narastanje tijesta mogu biti kemijska i biokemijska. Pri proizvodnji čajnog peciva najčešće se upotrebljavaju kemijska sredstva za narastanje kao što su amonijev bikarbonat i natrijev hidrogenkarbonat. Sredstva za narastanje imaju višestruku ulogu: mijenjaju pH tijesta, sprječavanje ljepljivosti tijesta, promjena reološki svojstava što omogućuje stanjivanje tijesta tijekom obrade. Prilikom djelovanja topline kemijska sredstva za narastanje se razlažu i stvaraju plinove koji formiraju oblik, volumen i strukturu čajnog peciva.

Natrijev hidrogenkarbonat je kristalni prah bijele boje koji se razlaže na natrijev karbonat, ugljikov-dioksid i vodu, kako slijedi:

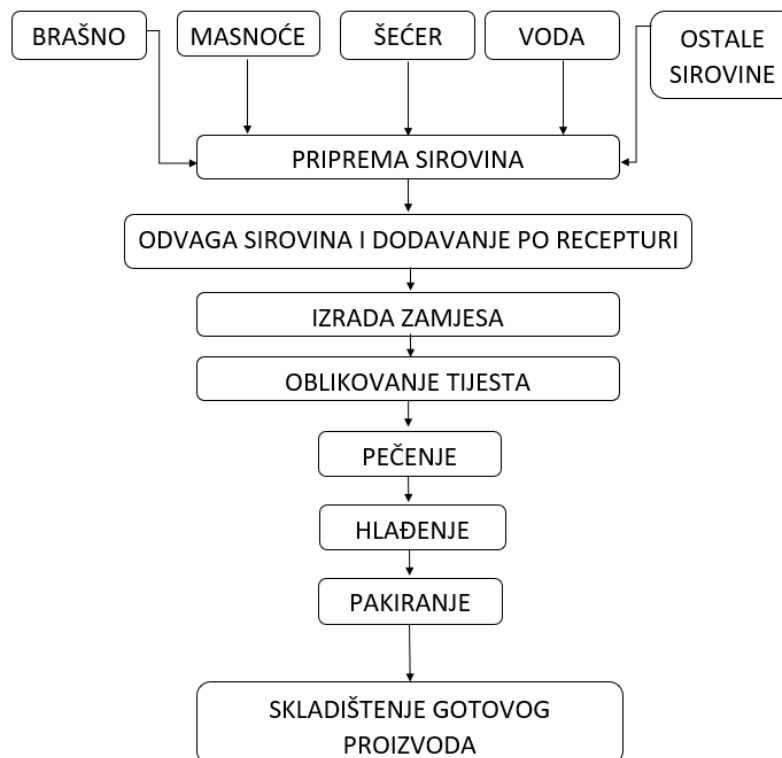


Natrijev hidrogenkarbonat dodaje se tijestu u količini 2 – 6 g/kg brašna.

Amonijev bikarbonat se upotpunosti razlaže na ugljikov dioksid, amonijak i vodu. Dobro je topiv u vodi, vrlo lužnat i koristan kao sredstvo za narastanje (Gavrilović, 2011.; Manley, 2000.).

2.3. PROCES PROIZVODNJE ČAJNOG PECIVA

Shema procesa proizvodnje čajnog peciva prikazana je na Slici 1.



Slika 1 Shema procesa proizvodnje čajnog peciva

2.3.1. Priprema sirovina

Kod skladištenja sirovina važna je kontrola temperature od vremena dolaska sirovina do vremena uporabe sirovina. Tako recimo, kada se šećerni sirup iz skladišnog spremnika prepumpava u proizvodnju njegova tražena temperatura iznosi 45 °C (Manley, 2000.). Temperatura sirupa ne smije varirati više od nekoliko stupnjeva jer ukoliko je prehladna dolazi do otežanog pumpanja zbog velike gustoće. Ukoliko je temperatura sirupa previsoka dolazi do povišenja temperature ukupnog tijesta i ona nije optimalna. Sirovine kao što su jaja i mlijeko skladište se u hladnjacima kako bi se spriječilo kvarenje uzrokovano bakterijama. Općenito se tekući sastojci iz spremnika pumpama dovode do miješala dok se kruti sastojci fluidiziraju miješanjem sa zrakom pomoću ciklona i cjevovodom se transportiraju do miješala. Brašno se skladišti u silosima na temperaturi 18 °C – 20 °C i relativne vlažnosti zraka od 60 %, šećer se skladišti na temperaturi od 18 °C i

relativne vlažnosti zraka od 75 %, za mast je važno da nema direktan kontakt sa svjetlošću (Ugarčić-Hardi, 1999.). Brašno za proizvodnju čajnog peciva potrebno je, prije uporabe, prevući preko magneta te kroz cilindrična, centrifugalna ili vibracijska sita kako bi se uklonile moguće nečistoće. Za šećer je bitno da se ne aglomerira, što su sitnije čestice šećera to su sklonije aglomeraciji. Masnoće je potrebno skladištiti na temperaturi 5 °C višoj od temperature taljenja kako bi bilo omogućeno dodavanje u polukrutom stanju (Manley, 2000.).

2.3.2. Izrada zamjesa

Vaganje sastojaka provodi se prema određenoj recepturi (Ugarčić-Hardi, 1999.). Vrlo je važna točna odvaga jer pogreške pri vaganju imaju utjecaj na cijeli proces. Procesi odvage i dodavanja sirovina su djelomično automatizirani te je omogućeno programiranje redosljeda dodavanja sastojaka u mješalicu (Manley, 2000.).

Nakon odvage sirovina dolazi do izrade tijesta koje se može odvijati u jednoj ili dvije faze. Nakon doziranja sirovina slijedi miješanje. Kod jednofaznog postupka sve se sirovine dodaju u jednom koraku dok se kod dvofaznog postupka prvo dodaju sve sirovine osim brašna, miješaju se te se dodaje sredstvo za narastanje i brašno. Da bi se odredila potrebna količina vode, potrebno je znati udio vlage u svakoj sirovini i potrebnu vlažnost tijesta. Uz sastojke, vrlo je važna i temperatura miješanja. Temperatura miješanja je 18 °C – 25 °C. Prvi višim temperaturama dolazi do povećanja elastičnosti i gubitna plastičnosti, a pri nižim temperaturama se tijesto teže obrađuje. Vrlo je važno da su sirovine dodane na način da brašno istovremeno stupi u dodir sa svim sirovinama. Dodatkom masnoća smanjuje se upijanje vode i također dovodi do povećanja elastičnosti tijesta. Manja granulacija brašna poboljšava moć upijanja vode. Zamjes tijesta je gotov kada je formiran glutenski kompleks (Ugarčić-Hardi 1999.; Gavrilović, 2011.).

2.3.3. Oblikovanje tijesta

Tijesta za čajna peciva mogu se formirati u oblike koji će se peći s četiri glavne metode:

- istanjivanje i rezanjem
- oblikovanje rotacijskim kalupom
- oblikovanje ekstruderom
- oblikovanje depozitorom (Manley, 2000.).

Istanjivanje uključuje kontinuirano pritiskanje mase tijesta u sloj više ili manje jednolike debljine. Debljina istanjenog tijesta za čajno pecivo obično iznosi 800 mm – 1600 mm. Nakon toga se istanjeno tijesto propušta kroz seriju valjaka kojima se smanjuje debljina tijesta. Kada je tijesto dovoljno tanko ono se propušta kroz rezače gdje se formira oblik svakog pojedinog čajnog peciva. Oblikovani dijelovi odvajaju se od otpada nastalog rezanjem i prebacuje se na podlogu za pečenje. Obično se otpad nastao rezanjem vraća u proces, miješa se sa svježim tijestom i ponovno ide na valjanje i rezanje. Istanjivanje i rezanje najčešće se koriste kod tvrdih tijesta. Ovakvo oblikovanje može koristiti i kod mekih tijesta, ali nedostatak rastezljivosti mekog tijesta otežalo bi postupak oblikovanja.

Laminirano tijesto je varijacija istanjivanja i rezanja. Nakon što se tijesto istanji u tanki sloj posebni uređaji oblikuju tijesto na način da tanke slojeve slože jedne na druge te se ponovno tako složeno tijesto prevodi kroz valjke kako bi mi se smanjila debljina i odlaze na rezanje. Laminiranjem tijesta postiže se poboljšana struktura tijesta osobito ukoliko se između slojeva tijesta tijekom laminiranja dodaju masnoće, brašno ili kombinacija masnoća i brašna.

Oblikovanje rotacijskim kalupom tj. rotacijsko kalupljenje je metoda oblikovanja koja se koristi za meka tijesta. U odnosu na druge metode oblikovanja, ovoj metodi je potreban samo jedan uređaj pri prevođenju mase tijesta u oblikovano tijesto spremno za pečenje. Rotacijskim kalupljenjem ne nastaje otpad rezanjem koji je potrebno reciklirati u sustav. Glavni nedostatak ove metode je znatno limitirana konzistencija tijesta koja se na ovaj način može oblikovati. Oblikovanje rotacijskim kalupom nije adekvatno za tijesto koje sadrži velike komade kao što su lješnjaci, komadići čokolade ili sušeno voće.

Za mekša tijesta s većim komadima koriste se ekstruderi. Za ekstruziju je također potreban samo jedan uređaj. Oblik čajnog peciva određen je oblikom i veličinom otvora na krajnjoj ploči (matičnoj ploči). Takvo čajno pecivo može, ali i ne mora biti rezano klipnom žicom. Ekstruzijom se mogu formirati vrpce tijesta koje će se rezati prije ili nakon pečenja. Koekstruzija je vrsta ekstruzije koja je moguća kod ekstruzije najviše 2 materijala istovremeno. Primjer koekstruzije je tijesto koje okružuje voćnu pastu ili neko drugo tijesto, moguće su i druge kombinacije.

Depozitiranje je posebna vrsta ekstruzije i koristi se kod vrlo mekih tijesta s visokim udjelom masti ili ukoliko je tijesto od jaja. Ekstruzija se odvija prolaskom kroz niz mlaznica u glavi depozitora. Glava depozitora se spušta i podiže s obzirom na površinu gdje se nalazi tijesto nakon izlaska iz depozitora, nastaje tijesto različitih oblika spremno za pečenje (Manley, 2000.).

2.3.4. Pečenje

Pečenje je složena operacija tijekom koje nastaju značajne fizikalno-kemijske promjene te promjene u strukturi. Djelovanjem topline, kod većine proizvoda, voda u potpunosti ispari. Mijenjaju se boja, dimenzija, struktura, okus te aromatična svojstva. Pečenje se može podijeliti u tri faze:

1. ekspanzija tijesta i smanjenje vlage
2. nastavak ekspanzije i dobivanje boje
3. regulacija visine proizvoda i razvoj intenzivnije boje.

Tijekom pečenja dolazi do izmjene topline s površinskim slojem i svim unutrašnjim slojevima oblikovanog tijesta. Načini prijenosa topline su kondukcija, konvekcija i radijacija.

Kondukcija ili vođenje je prijenos topline u kojemu je tijelo koje prima toplinu u direktnom kontaktu s tijelom koje predaje toplinu. Do kondukcije tijekom pečenja čajnog peciva dolazi pri prelasku oblikovanog tijesta na čeličnu traku koja ulazi u tunelsku peć gdje se odvija pečenje čajnog peciva. Količina topline koju će primiti oblikovano tijesto ovisi o samoj čeličnoj traci (puna čelična traka omogućuje bolji prijenos topline nego traka načinjena od čelične žice), obliku tijesta, visini i vrsti oblikovanog tijesta. Uz ranije navedene, bitni faktori su i toplinska vodljivost trake i oblikovanog tijesta.

Konvekcija je prijenos topline u tvarima koje mogu strujati: plinovima ili tekućinama. Zagrijane cijevi zagrijavaju zrak u peći koji struji oko oblikovanog tijesta, zrak je određene relativne vlažnosti, strujanje zraka potpomognuto je kretanjem same trake s oblikovanim tijestom. Strujanjem zraka oko oblikovanog tijesta prenosi se najveći dio topline, zrak struji prema izlaznim odvodima i sa sobom nosi isparene tvari.

Radijacija je manje prodoran način prijenosa topline od kondukcije i konvekcije.

Vrlo je važno tijekom pečenja održavati vlažnost u peći. Održavanjem vlažnosti osigurava se ujednačeno pečenje, boja i sjaj čajnog peciva. Vlažnost zraka može se regulirati pomoću okvira s mokrim pijeskom na traci za pečenje iz kojih isparava voda te nakon toga slijedi oblikovano tijesto ili unošenjem vodene pare u peć. Isparavanje vode tijekom pečenja je najintenzivnije nakon samog ulaska u peć, a na kraju pečenja isparavanja gotovo nema. Isparavanjem se gubi slobodna i vezana voda oblikovanog tijesta. Ukoliko ukupna voda nije isparena dolazi do stvaranja meke sredine. Kao i samo pečenje, isparavanje vode dijeli se u tri faze. U prvoj fazi dolazi do kondenziranja vode na površini oblikovanog tijesta. Nakon što se površina oblikovanog tijesta zagrije dolazi do isparavanja vode koje je s odmakom vremena sve intenzivnije. Kondenziranje

vode na površini omogućuje pravilno isparavanje jer ne dolazi do stvaranje korice i tamnjenja površine te se isparavanje može nastaviti. Tijekom druge faze dolazi do povišenja temperature unutrašnjosti oblikovanog tijesta, povećano je isparavanje vode iz unutrašnjosti, a smanjeno je na površini. Dolazi do smanjenja debljine kondenziranog sloja na površini i formira se struktura čajnog peciva. U trećoj fazi ispara voda iz unutrašnjih slojeva, ali je brzina isparavanja smanjena. Isparavanje se odvija sve dok se ne uspostavi ravnotežno stanje između suhog zraka peći i površine čajnog peciva. Da bi proizveli kvalitetno čajno pecivo važna je regulacija brzine čelične trake koja prolazi kroz peć. Brzina trake se regulira od primanja oblikovanog tijesta do uklanjanja pečenog čajnog peciva. Osim brzine kretanja trake regulira se temperatura, vlažnost i brzina kretanja zraka u peći. Temperatura pečenja na ulasku u peć je veća od temperature pri izlasku iz peći. Vrijeme pečenja iznosi između 4 minute i 12 minuta. Tijesta manje gustoće se kraće peku od tijesta veće gustoće. Tijesta veće gustoće peku se pri nižim temperaturama (Gavrilović, 2003.).

2.3.4.1. Peći

Peći za pečenje čajnog peciva znane su kao tunelske peći s dugim pokretnim trakama na kojima se nalazi oblikovano tijesto kojima se vodi kroz grijanu komoru za pečenje. Tipična peć dužine je između 25 metara i 100 metara. Pokretna traka načinjena je od žičane mreže ili nehrđajućeg čelika u obliku lima. Pokretna traka okreće se oko bubnja na krajevima peći, a njezina brzina regulira se sustavom za upravljanje. Regulacijom brzine pokretne trake regulira se vrijeme pečenja čajnog peciva.

S obzirom na prijenos topline u pećima, mogu biti dizajnirane da prenose toplinu kondukcijom, konvekcijom i radijacijom. Peći se mogu zagrijavati direktno pomoću plamenika i električnih grijača ili indirektno pomoću izmjenjivača topline. Direktno zagrijavanje kao izvor energije koristi plinove ili električnu energiju dok indirektno zagrijavanje može koristiti i gorivo ukoliko produkti izgaranja ne dolaze u kontakt s oblikovanim tijestom.

Komora za pečenje je duž svoje dužine podijeljena u različite zone. Obično je dužina pojedine zone 8 – 20 metara. Svaka zona ima vlastiti sustav za regulaciju temperature i vlažnosti što omogućuje postizanje traženih uvjeta kako bi se postigla željena struktura, vlaga i boja čajnog peciva. Svaka zona sadrži vodove koji prevode zrak iz komora za pečenje kroz ventilatore i tjeraju zrak u vertikalne dimnjake te iz dimnjaka u atmosferu. Ovim načinom regulira se vlaga zraka u peći i uklanja se višak vlage otpušen iz oblikovanog tijesta tijekom pečenja.

Radijacijsko pečenje

Energija infracrvenog zračenja prodire kroz tijesto te mu raste volumen i formira se struktura, esencijalna je za prvu trećinu procesa pečenja. Prodiranje infracrvenog zračenja ovisi o valnoj duljini zračenja. Maksimalna apsorpcija energije zračenja kod tijesta postiže se je pri valnim duljinama između 2,7 μm i 5,9 μm .

Peći s direktnim grijanjem na plin

Peć s direktnim grijanjem na plin ima jednostavnu komoru za pečenje koja ima presjek kutije čijom sredinom prolazi pokretna traka. Plamenici su postavljeni ispod i iznad pokretne trake. Mješavina plina i zraka dostavlja se plamenicima, pali se pomoću iskre i gori po širini pokretne trake. Prijenos topline primarno je radijacijski. Plinovi koji se koriste su prirodni plin, plin dobiven iz ugljena i tekući naftni plin. Ova vrsta peći može koristiti bilo koju traku za pečenje, brza je i laka kontrola temperature te se koristi za široki raspon proizvoda.

Električne peći

Električne peći proizvode energiju infracrvenog zračenja pomoću električnih elemenata u komori za pečenje koji se nalaze ispod i iznad pokretne trake. Ne proizvode se produkti izgaranja, uklanja se jedino vlažni zrak, kratko je vrijeme zagrijavanja, laka kontrola temperature i lako održavanje u usporedbi s peć s direktnim grijanjem na plin. Konstruirane su na isti način kao i peć s direktnim grijanjem na plin, ali umjesto plamenika imaju električne elemente. Koriste se kod zemalja koje su siromašne plinom. U ovim pećima se postiže vrlo suha atmosfera te je ponekad potrebno unošenje vlage u prvim zonama. Nije široko upotrebljavana, ali zbog štetnih produkata izgaranja raste interes za električnim pećima.

Kondukcijsko pečenje

Peći s žičanim mrežama i čeličnim trakama vode toplinu u bazu oblikovanog tijesta te se nakon toga toplina vodi kroz tijesto.

Čelične trake brzo vode toplinu u bazu tijesta. Čelične trake načinjene su od ugljičnog nehrđajućeg čelika debljine 1,2 mm. Koriste se za pečenje tijesta s visokim udjelom šećera i masti. Žičane trake se prethodno zagriju na temperaturu 120 °C – 150 °C, na njih se prenosi oblikovano tijesto te toplina odmah prelazi na bazu oblikovanog tijesta. Ovaj način pečenja koristi se kod krekerja i slanih proizvoda te proizvoda oblikovanih rotacijskim kalupljenjem.

Konvekcijsko pečenje

Konvekcijski prijenos u pećima postiže se upuhivanjem vrućeg zraka. Postoje i recirkulacijske peći s kombinacijom konvekcije i radijacije. Konvekcijsko strujanje zraka efektivno uklanja vlagu s površine oblikovanog tijesta.

Konvekcijske peći podijeljene su u zone. Svaka zona ima zaseban plamenik i ventilator. Ventilator tjera zrak oko plamenika ili izmjenjivača topline gdje se zagrijava i tako zagrijan prolazi kroz vodove duž cijene zone. Vodovi su pozicionirani ispod i iznad trake za pečenje, sadrže proreze ili mlaznice kroz koje se vrući zrak ispuše na proizvode ili na traku za pečenje. Vrući zrak se iz komore za pečenje vodi natrag na ventilator i vraća se ponovno u proces.

Direktne konvekcijske peći

Vrući zrak iz plamenika se miješa s recirkuliranim zrakom iz peći i ispuhuje se kroz razreze u komori za pečenje direktno na proizvode. Iz tog razloga što se proizvodi izgaranja direktno puštaju na proizvod, dizelska goriva se ne koriste u ovoj vrsti peći. Jeftine su za izradu i održavanje.

Indirektne konvekcijske peći

U ovim pećima plamenik je spojen na višeprolazni izmjenjivač topline. Produkti izgaranja cirkuliraju unutar izmjenjivača topline i ne ulaze u komoru za pečenje. Zrak se iz komore za pečenje propušta kroz ventilatore nakon čega prolazi kroz izmjenjivač topline, veže toplinu na sebe te kroz otvore prolazi u komoru za pečenje. Ovakve peći mogu koristiti plinove i dizelska goriva.

Ove peći peku na način da se vrući zrak puše na površinu oblikovanog tijesta stoga ne dolazi do razvoja volumena i strukture čajnog peciva. Priklane su za proizvodnju čajnog peciva kod kojih se ne zahtjeva promjena debljine tijekom pečenja, učinkovito pečenje čajnog peciva niskog sadržaja vlage, omogućuju pečenje čajnog peciva jednolike boje (Davidson, 2016.).

2.3.4.2. Promjene tijekom pečenja

Tijekom pečenja razvijaju se karakterističan izgled, boja, struktura i aroma čajnog peciva. Dolazi do povećanja volumena čajnog peciva zbog toplinskog širenja vodene pare i plinova koji napuštaju oblikovano tijesto. Pri povišenju temperature do 50 °C pri pečenju dolazi do povećanja volumena. Gluten otpušta vodu, a na sebe veže djelomično hidratizirani škrob. Djelovanjem topline, glutenu se mijenja struktura, miclele glutena postaju membrane ta prolaz za tvari koje isparavaju. Na temperaturi 50 °C – 70 °C dolazi do promjene proteina i škroba. Koagulacijom proteina gluten

postaje čvrst. Škrob postaje gel koji loše provodi toplinu i nije porozan stoga se tijesto sa škrobnim gelom i vlažnim glutenom teže peče. Škrobni gel sprječava izlazak plinova i para iz tijesta, škrob puca na 90 °C i gubi vodu. Formiraju se pukotine te se sredina tijesta brže zagrijava (Gavrilović, 2000.).

Porozna struktura čajnog peciva nastala na temperaturi 60 °C – 90 °C rezultat je razlaganja tvari za narastanje na plinove i vodu, nastajanjem porozne strukture dolazi do povećanja volumena tijesta. Žuto-smeđa boja čajnog peciva rezultat je niskog udjela vode i povišene temperature. Daljnjim djelovanjem povišene temperature dolazi do Maillardovih reakcija. Maillardove reakcije su reakcije između proteina i reducirajućih šećera. Osim razvoja boje i arome dolazi i do razvoja štetnih produkata kao što su hidroksimetilfurfurala i akrilamida (Purlis i Salvadori 2007.).

Na početku pečenja raste visina i širina oblikovanog tijesta, a pred kraj pečenja visina se smanjuje zbog omekšavanja tijesta, oslobađa se napon nakon isparavanja i šupljine zauzimaju svoj oblik (Gavrilović, 2000.).

2.3.4.3. Gubitci topline tijekom pečenja čajnog peciva

Pri svakom prijenosu topline dolazi i do gubitaka topline u okolinu. Mehanizmi kojima dolazi do gubitaka topline su kondukcija, konvekcija i radijacija. Tek nešto više od polovine utrošene energije prilikom pečenja čajnog peciva utroši se na proizvodnju finalnog proizvoda dok se preostala energija izgubi pri odvođenju vrućih ispusnih plinova, odvođenjem vlažnog zraka iz preći, konvekcijskim prijelazom energije s vanjske stijene peći u okolinu te vrućim zrakom koji izlazi iz otvora peći (Davidson, 2016.).

Gubici topline uzrokovani konvekcijom, bila ona prirodna ili prisilna, teško se određuju i modeliraju. Određivanja gubitaka topline konvekcijom otežano je zbog istovremenih gubitaka topline kondukcijom i radijacijom (Lovegrove, 2020.).

Za izračunavanje količine gubitaka energije prirodnom konvekcijom (q , W/m²) upotrebljava se izraz [1], kako slijedi:

$$q = \alpha \cdot \Delta T \quad [1]$$

gdje je α koeficijent prijelaza topline (W/m²K), a ΔT razlika temperature fluida i čvrste stijenke (°C).

Da bi se izračunao α potrebno je znati vrijednosti za: Nusseltov broj (Nu), toplinsku vodljivost zraka (λ , W/mK) te linearnu dimenziju površine (L , m). Kod prirodne konvekcije Nu je opisan odnosnom Grashofovog (Gr) i Prandtlovog (Pr) broja izrazom [2]:

$$Nu = a(Gr \cdot Pr)^b \quad [2]$$

gdje su a i b parametri čiji se iznos određuje prema Tablici 3 (Ibraz i Barbosa-Canovas, 2003.).

Tablica 3 Vrijednosti parametara a i b ovisno o vrijednosti umnoška Gr i Pr te ovisno o plohi

		a	b
Vertikalne površine visine $L > 1\text{ m}$	$(Gr \cdot Pr) < 10^4$	1,36	1/5
	$10^4 < (Gr \cdot Pr) < 10^9$	0,59	1/4
	$(Gr \cdot Pr) > 10^9$	0,13	1/3
Horizontalni cilindar promjera $D < 200\text{ mm}$	$(Gr \cdot Pr) < 10^{-5}$	0,49	0
	$10^{-5} < (Gr \cdot Pr) < 10^{-3}$	0,71	1/25
	$10^{-3} < (Gr \cdot Pr) < 1$	1,09	1/10
	$1 < (Gr \cdot Pr) < 10^4$	1,09	1/5
	$10^4 < (Gr \cdot Pr) < 10^9$	0,53	1/4
	$(Gr \cdot Pr) > 10^9$	0,13	1/3
Horizontalne površine okrenute prema dolje	$10^5 < (Gr \cdot Pr) < 2 \cdot 10^7$	0,54	1/4
	$2 \cdot 10^7 < (Gr \cdot Pr) < 3 \cdot 10^{10}$	0,14	1/3
Horizontalne površine okrenute prema gore	$3 \cdot 10^5 < (Gr \cdot Pr) < 3 \cdot 10^{10}$	0,27	1/4

Grashofov broj opisan je izrazom [3]:

$$Gr = \frac{g \cdot L^3 \cdot \rho \cdot \beta}{\mu^2 \cdot \Delta T} \quad [3]$$

gdje je: g – akceleracija sile teže (m/s^2), ρ – gustoća zraka (kg/m^3), β – koeficijent toplinskog širenja (K^{-1}), μ – dinamički viskozitet zraka na temperaturi filma ($\text{Pa}\cdot\text{s}$).

Prandtllov broj opisan je izrazom [4]:

$$Pr = \frac{c_p \cdot \lambda}{L} \quad [4]$$

gdje je: c_p - specifični toplinski kapacitet zraka na temperaturi filma (kJ/kgK).

Iz svega dobivenog, α (W/m²K) se računa pomoću izraza [5]:

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{L} \quad [5]$$

2.3.5. Hlađenje čajnog peciva

Nakon pečenja slijedi hlađenje čajnog peciva. Hlađenjem se smanjuje temperatura čajnog peciva, a povećava se čvrstoća. Hlađenje se odvija sve dok se temperatura čajnog peciva ne izjednači s temperaturom prostorije. Pri izlasku čajnog peciva iz peći nastaje kondenzirani sloj vode koji djelomično isparava, a dio se difundira u unutrašnjost čajnog peciva. Razlika u brzini hlađenja unutrašnjih i vanjskih dijelova čajnog peciva uzrokuje stvaranje napona što dovodi do oštećenja čajnog peciva. Napon se stvara zbog prijenosa topline i migracije vlage između slojeva čajnog peciva. Cilj je omogućiti jednoliko hlađenje kako bi se izbjeglo stvaranje napona.

Čajno pecivo može se hladiti na temperaturu proizvodne prostorije prirodnim putem ili prisilno. Prisilno se hladi pomoću ventilatora ili u tunelima za hlađenje. Vrijeme hlađenja čajnog peciva prirodnim putem je duže od vremena pečenja čajnog peciva, dužina puta koju čajno pecivo mora prijeći da bi se prirodno ohladilo je do dva puta duže od puta pečenja. Hlađenje ventilatorima omogućuje uporabu kraćih traka nego kod prirodnog hlađenja. Brzina strujanja zraka pri hlađenju ventilatorima iznosi 3 m/s – 4 m/s.

Tuneli za hlađenje ugrađuju se u kontinuiranu liniju za proizvodnju čajnog peciva. Kroz sredinu uređaja prolazi žičana transportna traka koja nosi proizvode koji se hlade. Hlađenje se odvija cirkuliranjem zraka kroz tunel te kroz ventilatore rashladnog agregata. Zrak cirkulira s gornje, bočne i donje strane čajnog peciva te ponovno odlazi na hlađenje u rashladni agregat (Gavrilović 2000.).

2.3.6. Pakiranje i skladištenje

Pakiranje je posljednja faza proizvodnje čajnog peciva. Pakirati se može automatski ili ručno. Osim očuvanja čajnog peciva, pakiranje daje informacije kupcu o vrsti čajnog peciva, roku uporabe, težini, o proizvođaču itd. Pakiranje treba zaštititi proizvod od vlage, svjetlosti, mehaničkih oštećenja te mikroorganizama. Osim zdravstvene ispravnosti proizvoda vrlo je bitno da čajno pecivo zadrži

i privlačan izgled. Zbog lomljivosti čajnog peciva, pakiranja trebaju imati dobru otpornost na mehanička oštećenja (Manley, 2000.).

2.4. Boja

Prilikom proizvodnje čajnog peciva važno je osigurati da proizvedeno čajno pecivo privlačno izgleda jer izgled prodaje proizvod. Boja je dio vanjskog izgleda čajnog peciva stoga je bitno kontrolirati razvoj boje na način da boja bude privlačna potrošaču. Razvoj boje čajnog peciva ovisi o brojnim uvjetima: tipu brašna, udjelu šećera, udjelu masti, udjelu vode i pH vrijednosti. Proces je potrebno optimirati jer brzina razvoja boje ovisi o temperaturi i vremenu pečenja (Lukinac Čačić, 2012.). Razvoj boje tokom pečenja ranije je opisan u podnaslovu „2.3.5.2. Promjene tijekom pečenja“.

Razvoj boje mjeri se direktnim i indirektnim metodama. Direktnim metodama kvantitativno se prate produkti Maillardovih reakcija i reakcija karamelizacije dok se indirektno metode zasnivaju na količini reflektirane svjetlosti (Lukinac Čačić 2012.). Uređaji za indirektno određivanje boje dolaze u direktni kontakt s uzorkom pri mjerenju. Najčešći uređaji za indirektno određivanje boje su: kolorimetar, kromametar, spektrofotometar i denziometar (Purlis i Salvadori, 2007.).

Prostor boja ili model boja je način na koji se boje definiraju, vizualiziraju i stvaraju. Prostor boja dijeli se na aditivni prostor boja i subtraktivni prostor boja. Primjer aditivnog boja je RGB prostor boja. Svaka boja u tom prostoru nastaje zbrajanjem tri aditivna primara: crvene, zelene i plave boje.

Subtraktivni prostor boja je CIE $L^*a^*b^*$ prostor boja. CIE $L^*a^*b^*$ sustav opisuje sve boje koje može ljudsko oko razlikovati. Boje ovog sustava opisane su pomoću tri osi: a^* i b^* komponente su kromatske osi, a L^* komponenta je akromatska os. Komponenta a^* prikazuje odnos između crvene i zelene boje (negativna vrijednost označava zelenu boju, a pozitivna vrijednost označava crvenu boju). Komponenta b^* prikazuje odnos žute i plave boje (negativna vrijednost označava plavu boju, a pozitivna vrijednost označava žutu boju). L^* komponenta određuje svjetlinu gdje je 0 vrijednost za crnu boju, a 100 vrijednost za bijelu boju.

Pomoću vrijednosti L^* , a^* i b^* moguće je izračunavanje tona boje (h^*), kromatičnosti (C^*) i ukupne promjene boje ΔE^* . ΔE^*_{ab} je mjera tolerancije ljudskog oka za razlikovanje boja.

Ton boje (h^*) izračunava se prema jednadžbi [6]:

$$h^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad [6]$$

Kromatičnost boje (C^*) izračunava se prema jednadžbi [7]:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad [7]$$

Mjera tolerancije ljudskog oka za razlikovanje boja ΔE^*_{ab} izračunava se prema jednadžbi [8], kako slijedi:

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

Odnos između fizikalne vrijednosti ΔE^*_{ab} i tolerancije ljudskog oka prikazana je u Tablici 4 (Planinić 2008.).

Tablica 4 Odnos fizikalne vrijednosti ΔE^*_{ab} i tolerancije ljudskog oka

ΔE^*_{ab}	OZNAKA
< 0,2	nije uočljiva
0,2 – 1	vrlo slabo uočljiva
1 – 3	slabo uočljiva
3 – 6	uočljiva
> 6	vrlo uočljiva

3. EKSPEIMENTALNI DIO

3.1. Zadatak

Zadatak ovog diplomskog rada je višednevno pratiti proces pečenja, dva po sastavu različita čajna peciva, te na više odabranih pozicija mjeriti/određivati: temperaturu pečenja, temperaturu vanjske stijenke peći, temperaturu okolnog zraka te masu, udio vlage i CIEL *a*b* parametre boje tijesta, odnosno čajnog peciva. Nakon mjerenja/određivanja odabranih parametara potrebno je izračunati koeficijente prijelaza topline i ukupne gubitke topline u okolinu te promjenu boje čajnog peciva tijekom pečenja (ΔE , h^* , C^*). Temeljem izmjerenih vrijednosti temperature okolnog zraka i vanjskih površina peći potrebno je bilo izračunati koeficijente prijelaza topline i gubitke topline u okolinu s vanjskih površina peći.

3.2. Materijali

Sastojci uzorak I.:

- amonijev hidrogenkarbonat
- arome
- brašno T550 i T850
- biljna mast
- enzim
- mlijeko u prahu
- natrijev hidrogenkarbonat
- sol
- šećerni sirup
- mljeveni šećer
- voda

Sastojci uzorak II.:

- amonijev hidrogenkarbonat
- aroma
- bojilo karamel
- brašno T550 i T850
- biljna mast

- enzim
- sol
- natrijev hidrogenkarbonat
- kakao u prahu
- šećerni sirup
- mljeveni šećer
- suhe mrvice keksa
- voda

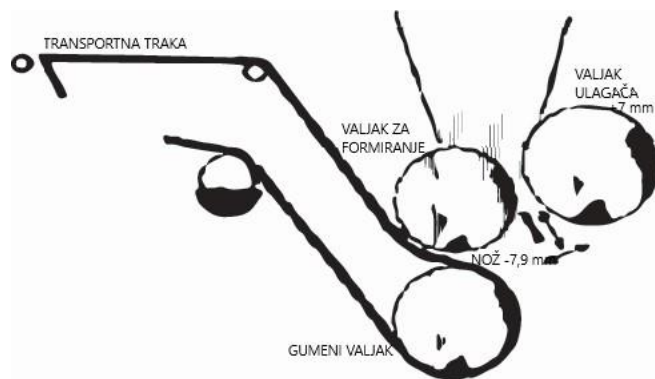
Miješanje sastojaka odvija se u tri dijela:

1. miješanje svih sastojaka osim brašna i kemikalija
vrijeme miješanja: 2 minute
2. dodavanje kemikalija (natrijev hidrogenkarbonat i amonijev hidrogenkarbonat otopljeni u vodi)
vrijeme miješanja: 2 minute
3. dodavanje brašna
vrijeme miješanja: 8 minuta

3.3. Metode

3.3.1. Mjerenje mase uzorka prije pečenja i nakon pečenja

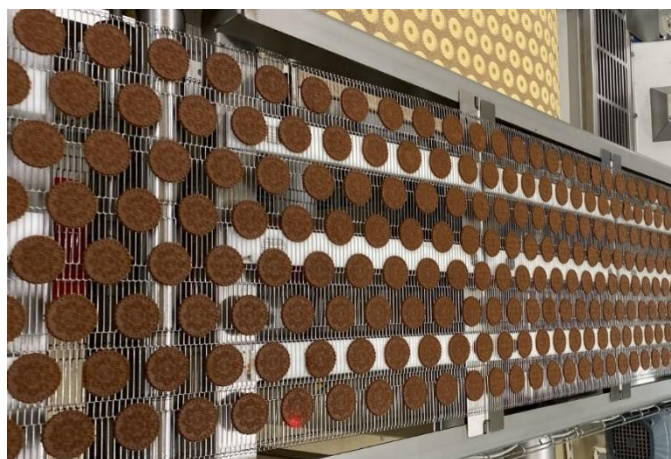
Nakon oblikovanja tijesta (Slika 2), u vremenskim razmacima od 30 minuta izdvajano je po 10 komada oblikovanog tijesta iz svakog reda na pokretnoj traci. Uređaj sadržava pokretnu traku za uzorak I. te pokretnu traku za uzorak II. Na obje pokretne trake nalazi se po osam redova oblikovanog tijesta (r.1 – r.8). Slika 3 i Slika 4 prikazuju raspored oblikovanog tijesta na trakama. Oblikovana tijesta vagana su tehničkom vagom ($\pm 0,01$ g) te je bilježena ukupna masa po 10 izdvojenih komada iz svakog reda uzorka I. oblikovanog tijesta i uzorka II. oblikovanog tijesta.



Slika 2 Formiranje oblika tijesta



Slika 3 Raspored oblikovanog tijesta uzorka I. na traci



Slika 4 Raspored oblikovanog tijesta uzorka II. na traci

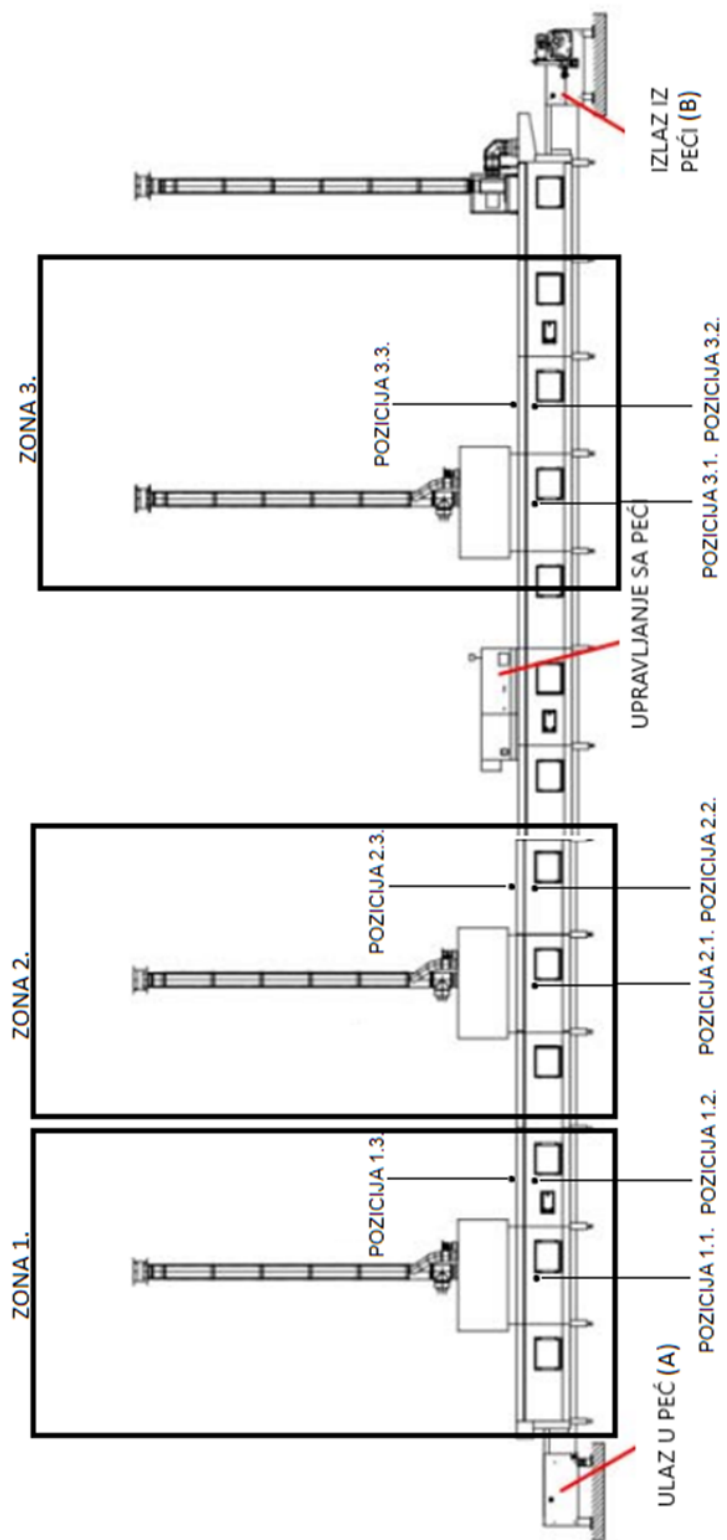
Nakon pečenja, idućih 10 komada pečenog uzorka I. i pečenog uzorka II. iz svakog reda su na prethodno opisan način izdvajani i vagani pomoću iste tehničke vage. Bilježene su mase 10 komada pečenog čajnog peciva iz svakog reda pečenog uzorka I. i pečenog uzorka II. Postupak se ponavljao 7 puta za svaki dan izvođenja u razmaku vremena od 30 minuta (t.1 – t.7), u vremenu od 8:30 sati do 13:00 sati.

Mjerenja su vršena tijekom šest radnih dana, u razdoblju 21. 2. 2022. – 1. 3. 2022., pri čemu je prva tri dana proizvodnje čajnog peciva faza pečenja provedena sa 60 %-tnim kapacitetom peći, dok je druga tri dana pečenje provedeno sa 100 %-tnim kapacitetom peći.

3.3.2. Mjerenje temperature vanjskih stijenki peći i čajnog peciva

Na Slici 5 prikazana je shema peći za pečenje oblikovanog tijesta. Na shemi su označene određene pozicije na kojima je vršeno uzorkovanje formiranog tijesta, odnosno čajnog peciva te tri zone i pozicije mjerenja temperature vanjskih stijenki peći, kako slijedi:

- A - ulaz oblikovanog tijesta u peć
- B - izlaz pečenog čajnog peciva uz peći
- ZONA 1. - prva zona peći / pečenja
 - POZICIJA 1.1. - prva pozicija mjerenja temperature vanjske bočne stijenke peći u zoni 1.
 - POZICIJA 1.2. - druga pozicija mjerenja temperature vanjske bočne stijenke peći u zoni 1.
 - POZICIJA 1.3. - treća pozicija mjerenja temperature vanjske gornje stijenke peći u zoni 1.
- ZONA 2. - druga zona peći / pečenja
 - POZICIJA 2.1. - prva pozicija mjerenja temperature vanjske bočne stijenke peći u zoni 2.
 - POZICIJA 2.2. - druga pozicija mjerenja temperature vanjske bočne stijenke peći u zoni 2.
 - POZICIJA 2.3. - treća pozicija mjerenja temperature vanjske gornje stijenke peći u zoni 2.
- ZONA 3. - treća zona peći / pečenja
 - POZICIJA 3.1. - prva pozicija mjerenja temperature vanjske bočne stijenke peći u zoni 3.
 - POZICIJA 3.2. - druga pozicija mjerenja temperature vanjske bočne stijenke peći u zoni 3.
 - POZICIJA 3.3. - treća pozicija mjerenja temperature vanjske gornje stijenke peći u zoni 3.



Slika 5 Shema peći za pečenje oblikovanog tijesta

Temperatura pečenih uzoraka I. i II. mjerena je pri samom izlasku iz peći (B) prikazanom na Slici 5. Temperatura je mjerena uređajem Raytech Raynger ST koji se nalazi na Slici 6.



Slika 6 Raytech Raynger ST

Raytech Raynger ST je beskontaktni termometar koji je jednostavan za korištenje; nacilja se laserom objekt kojemu se želi izmjeriti temperatura, stisne se prekidač te se temperatura očitava na zaslonu uređaja. Raytech Raynger ST uređaji mjere temperaturu lica objekta. Optički senzor termometra osjeti emitiranu, refleksiranu i transmitiranu energiju koja se prikuplja i fokusirana na detektoru. Pretvornici prevode signal u informaciju koja se očitava na zaslonu uređaja. Laser se koristi za određivanje točke na objektu kojoj će se odrediti temperatura. Raytech Raynger ST mjeri temperaturu između $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pri samom izlasku čajnog peciva iz peći laserom se odredilo mjesto na čajnom pecivu kojemu se odredila temperatura, stisnuo se okidač i očitava se temperatura na zaslonu. Važno je da se temperatura odredila na samom izlasku jer malim udaljavanjem od same točke B prikazane na Slici 5 dolazi do velikog pada temperature.

Temperatura vanjske stijenke peći mjerena je uređajem Fluke 51 II prikazanim na Slici 7. Fluke 51 II je mikroprocesorski, digitalni termometar koji koristi vanjske termoparove kao temperaturne senzore. Fluke 51 II mjeri temperaturu između $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ s točnošću od $\pm 1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mjerenje je provedeno na način da se termoelement spojio na ulazne priključke te se nakon toga doveo u kontakt s objektom kojemu je mjerena temperatura. Temperatura se očitava na zaslonu uređaja nakon što su se vrijednosti ustalile.



Slika 7 Fluke 51 II

Peć za pečenje oblikovanog tijesta sastoji se od 3 zone. Svakoj zoni temperatura je mjerena na 3 pozicije. Zone i pozicije prikazane su na Slici 5. Temperatura svih 9 točaka je izmjerena i bilježena nakon svakog mjerenje mase tamnog i svijetlog pečenog čajnog peciva.

3.3.3. Određivanje udjela vlage u čajnom pecivu nakon pečenja

Vlaga čajnog peciva određena je uređajem Mettler Toledo HB43. Uređaj se koristi za brza i efikasna mjerenja. Uređaj mjeri na termogravitacijskom principu, vlaga se određuje na temelju gubitka mase uzorka. Mettler Toledo HB43 sastoji se od dva instrumenta; instrumenta za zagrijavanje uzorka i instrumenta za precizno određivanje mase uzorka. Uređaj je prikazan na Slici 8.



Slika 8 Mettler Toledo HB 43

Uzorak se fino usitnio prije stavljanja u uređaj za određivanje vlage. Za fino usitnjavanje korištena je električna sjeckalica. Uzorak je stavljen u pliticu predviđenu za tu namjenu, zatvorio se i pokrenuo uređaj. Nakon nekoliko minuta očitala se vlažnost uzorka na digitalnom ekranu te je zabilježena.

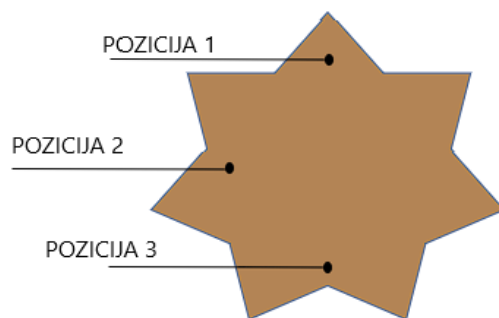
3.3.4. Određivanje boje čajnog peciva

Konica Minolta Chroma Meter CR-400 je uređaj za mjerenje parametara boje. Uređaj prikazan na Slici 9 je ručni, prijenosni mjerni instrument kojim se procjenjuje boja glatkih predmeta ili s minimalnim varijacijama boje. Standardnim ili prilagođenim formulama dobivaju se pouzdani podaci kojima se kontrolira kvaliteta boje. Osim za kontrolu kvalitete boje hrane, ovaj uređaj se koristi i za kontrolu boje građevinskog materijala i plastike. Uređaj sadrži mjerni otvor promjera 8 milimetara unutar kojega se nalazi pulsirajuća ksenonska lampa koja baca difuzno svjetlo okomito na površinu uzorka. Kolorimetar mjeri reflektiranu svjetlost s površine uzorka.



Slika 9 Konica Minolta Chroma Meter CR-400

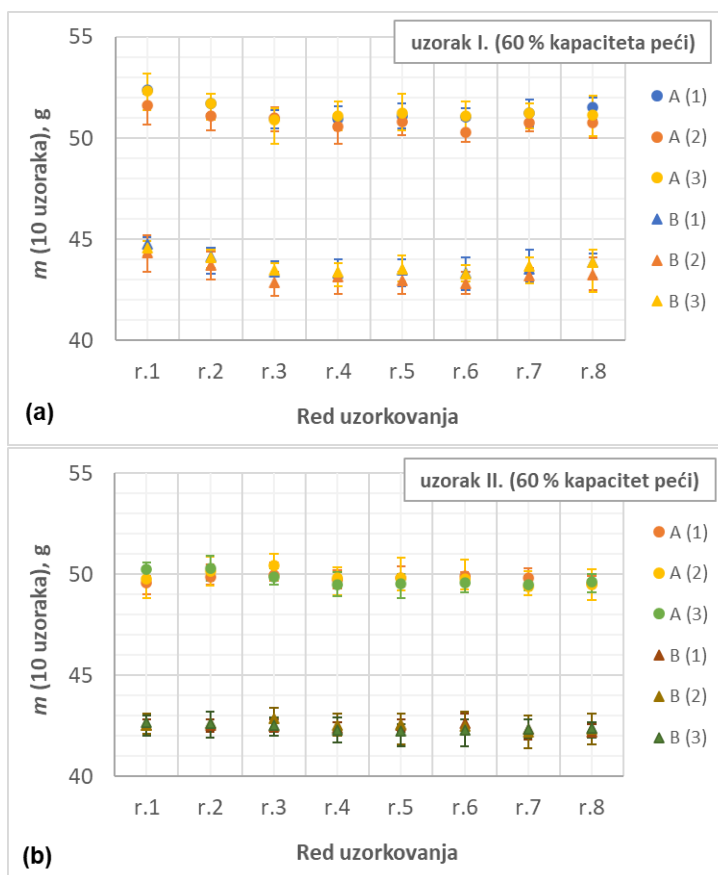
Uređaj je kalibriran prije svake uporabe bijelom keramičkom pločicom. Nakon kalibracije, uređaj je spreman za mjerenje. Nakon što je određena točka kojoj se želi izmjeriti boja, pritisnuo se okidač uređaja, uređaj je zabljesnuo te su očitane vrijednost na zaslonu uređaja. Vrijednosti su se zabilježile. Mjerenje se vršilo na 3 pozicije na svakom komadu oblikovanog tijesta i pečenog čajnog peciva. Pozicije na kojima je izvedeno mjerenje prikazane su na Slici 10.



Slika 10 Pozicije za ispitivanje boje čajnog peciva

4. REZULTATI I RASPRAVA

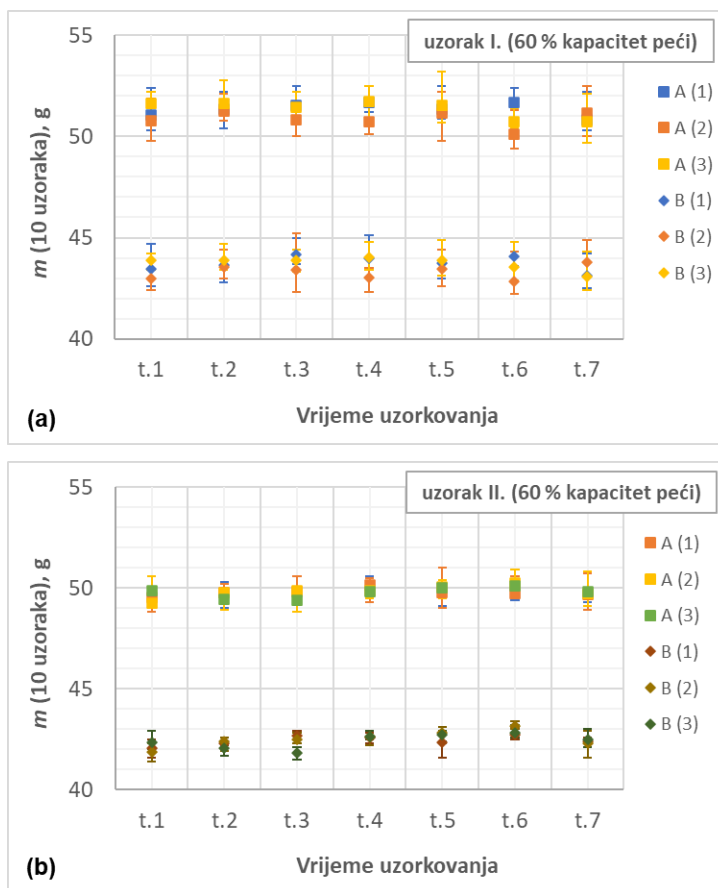
4.1. Promjena masa uzoraka čajnog peciva tijekom pečenja



Slika 11 Srednje vrijednosti mase 10 uzoraka (s prikazanim minimalnim i maksimalnim vrijednostima) s obzirom na red u peći (r.1 – r.8) na ulasku u peć (A) i izlasku iz peći (B) pri 60 %-tnom proizvodnom kapacitetu pečenja za uzorak I. **(a)** i uzorak II. **(b)**

Na Slici 11 prikazane vrijednosti mase po 10 uzoraka oblikovanog tijesta na ulasku u peć (pozicija (A)) i pečenog čajnog peciva na izlasku iz peći (pozicija (B)) iz svakog reda peći, pri čemu su simbolima prikazane srednje vrijednosti te raspon minimalne i maksimalne srednje vrijednosti mase 10 uzoraka svih mjerenja za određeni red peći (r.1 – r.8) tijekom prvih tri dana uzorkovanja pri čemu je peć radila s 60 %-tnim kapacitetom. Rezultati prikazuju da se masa 10 komada oblikovanog tijesta uzorka I. (Slika 11 (a)) kretala u rasponu 49,4 g – 53,2 g te je tijekom pečenja došlo do smanjivanja mase pečenog čajnog peciva (na izlasku iz peći), pri čemu se srednja vrijednost mase 10 uzoraka kretala u rasponu 42,2 g – 45,2 g. Ova promjena mase je posljedica gubitka vlage tijekom pečenja, što je vidljivo i u promjeni sadržaja vlage s početne srednje vrijednosti od 16,18 % na 1,55 %.

Srednja vrijednost mase 10 komada oblikovanog tijesta uzorka II. (Slika 11 (b)) bila je nešto niža nego za uzorak I. te se kretala u rasponu 48,8 g – 51,0 g pri istim uvjetima pečenja, kao i izlazna masa 10 komada čajnog peciva koja se kretala u rasponu 41,5 g – 43,4 g. Srednja vrijednost sadržaja vlage uzorka II. od ulaza do izlaza iz peći kretala se od ulaznih 16,3 % do izlaznih 1,86 %.

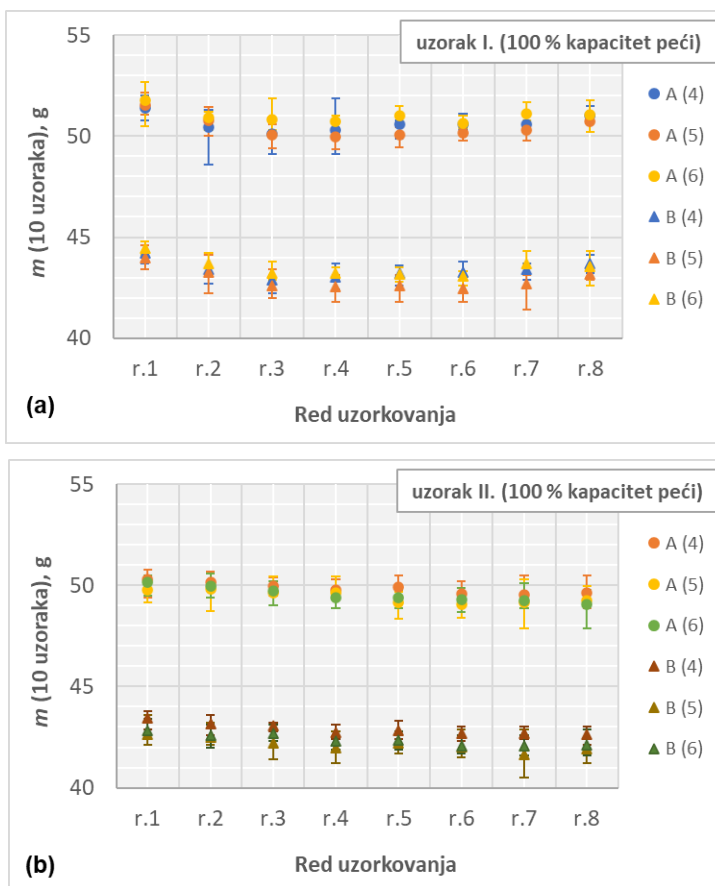


Slika 12 Srednje vrijednosti mase 10 uzoraka (s prikazanim minimalnim i maksimalnim vrijednostima) u ovisnosti o vremenu uzorkovanja (t.1 – t.7), na ulasku u peć (A) i izlasku iz peći (B) pri 60 %-tnom proizvodnom kapacitetu pečenja (1., 2. i 3. dan uzorkovanja) za uzorak I. **(a)** i uzorak II. **(b)**

Na Slici 12 prikazane su srednje vrijednosti masa 10 uzorkovanih komada oblikovanog tijesta, odnosno čajnog peciva uzorka I. (Slika 12 (a)) i uzorka II. (Slika 12 (b)) s obzirom na vrijeme uzorkovanja (t.1 – t.7) na ulasku u peć i na izlasku iz peći pri 60 %-tnom proizvodnom kapacitetu za prvi, drugi i treći dan mjerenja. Kao i na Slici 11, i na ovoj slici je vidljivo da su mase oblikovanog tijesta i čajnog peciva ujednačene bez obzira na red u peći iz kojeg su izdvojeni uzorci te vrijeme

uzorkovanja što upućuje na zaključaj da su faze oblikovanja tijesta i pečenja čajnog peciva dobro postavljene i izbalansirane.

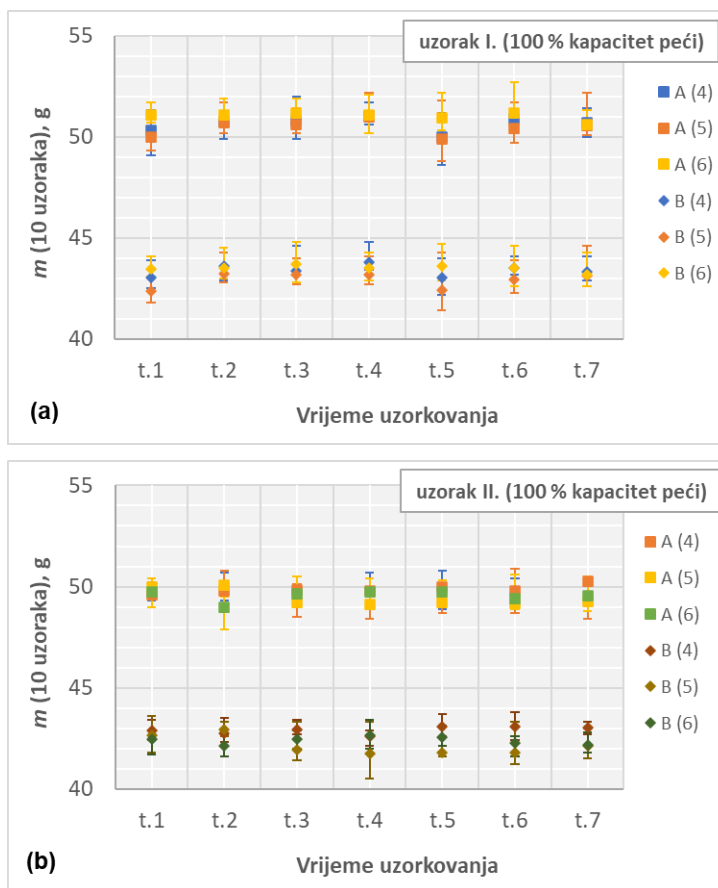
Ovakav zaključak može se izvesti i u slučaju rada peći sa 100 %-tnim kapacitetom što je vidljivo na Slikama 13 i 14.



Slika 13 Srednje vrijednosti mase 10 uzoraka (s prikazanim minimalnim i maksimalnim vrijednostima) s obzirom na red u peći (r.1 – r.8) na ulasku u peć (A) i izlasku iz peći (B) pri 100 %-tnom proizvodnom kapacitetu pečenja za uzorak I. (a) i uzorak II. (b)

Na Slici 13 (a) prikazane su mase 10 uzoraka I. po redovima peći za četvrti, peti i šesti dan na ulasku u peć i pri izlasku iz peći pri 100 %-tnom proizvodnom kapacitetu. Rezultati prikazuju da masa uzorka I. na poziciji A iznosi između 48,6 g i 52,7 g. Mase uzorka I. na poziciji A mjerene tijekom prvog i trećeg dana poklapaju se gotovo za sve redove. Rezultati prikazuju da masa uzorka I. na poziciji B iznosi između 41,4 g i 44,8 g.

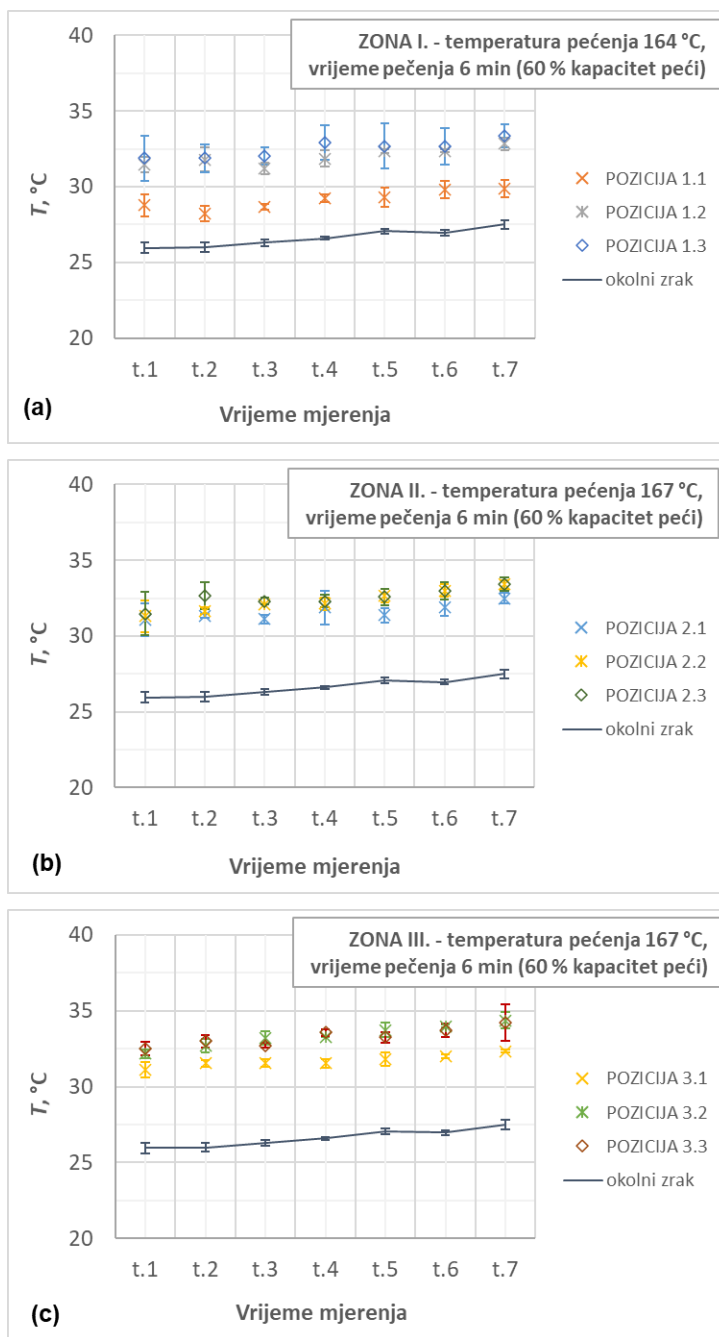
Na Slici 13 (b) prikazane su mase 10 uzorka II. po redovima peći za četvrti, peti i šesti dan na ulasku u peć i pri izlasku iz peći pri 100 %-tnom proizvodnom kapacitetu. Rezultati prikazuju da masa uzorka II. na poziciji A iznosi između 47,9 g i 50,9 g za dane 4., 5. i 6., dok se ona pečenjem smanjuje te na poziciji B iznosi između 40,5 g i 43,8 g. Prosječni sadržaj vlage oblikovanog tijesta uzorka II. iznosio je 16,15 % te se pečenjem smanjio na 2,05 %.



Slika 14 Srednje vrijednosti mase 10 uzoraka (s prikazanim minimalnim i maksimalnim vrijednostima) u ovisnosti o vremenu uzorkovanja (t.1 – t.7), na ulasku u peć (A) i izlasku iz peći (B) pri 100 %-tnom proizvodnom kapacitetu pečenja (4., 5. i 6. dan uzorkovanja) za uzorak I. (a) i uzorak II. (b)

4.2. Temperature vanjskih stjenki peći i okolnog zraka

Slike 15 i 16 prikazuju srednje vrijednosti (\pm standardna devijacija) temperature vanjskih površina stijenki peći (bočne strane i gornje horizontalne površine) mjerenih tijekom tri dana proizvodnje na ukupno devet pozicija u tri zone peći, kako je to prikazano sa Slici 5.



Slika 15 Temperature vanjske stijenke peći na različitim pozicija u zoni I. (a), zoni II. (b) i zoni III. (c) te srednja temperatura okolnog zraka u ovisnosti o vremenu mjerenja pri proizvodnom kapacitetu od 60 %

Slika 15 (a) prikazuje temperaturu vanjske stijene peći u zoni I. pri temperaturi pečenja od 164 °C i 60%-tnom proizvodnom kapacitetu na poziciji 1.1., 1.2. i 1.3. Temperature zone I. se na pozicijama 1.1. i 1.2. gotovo u potpunosti podudaraju i iznose između 30 °C i 34 °C dok je

temperatura pozicije 1.3. između 27 °C i 31 °C. Temperatura okolnog zraka je između 26 °C i 28 °C. Sve navedene temperature rastu od t.1 do t.7.

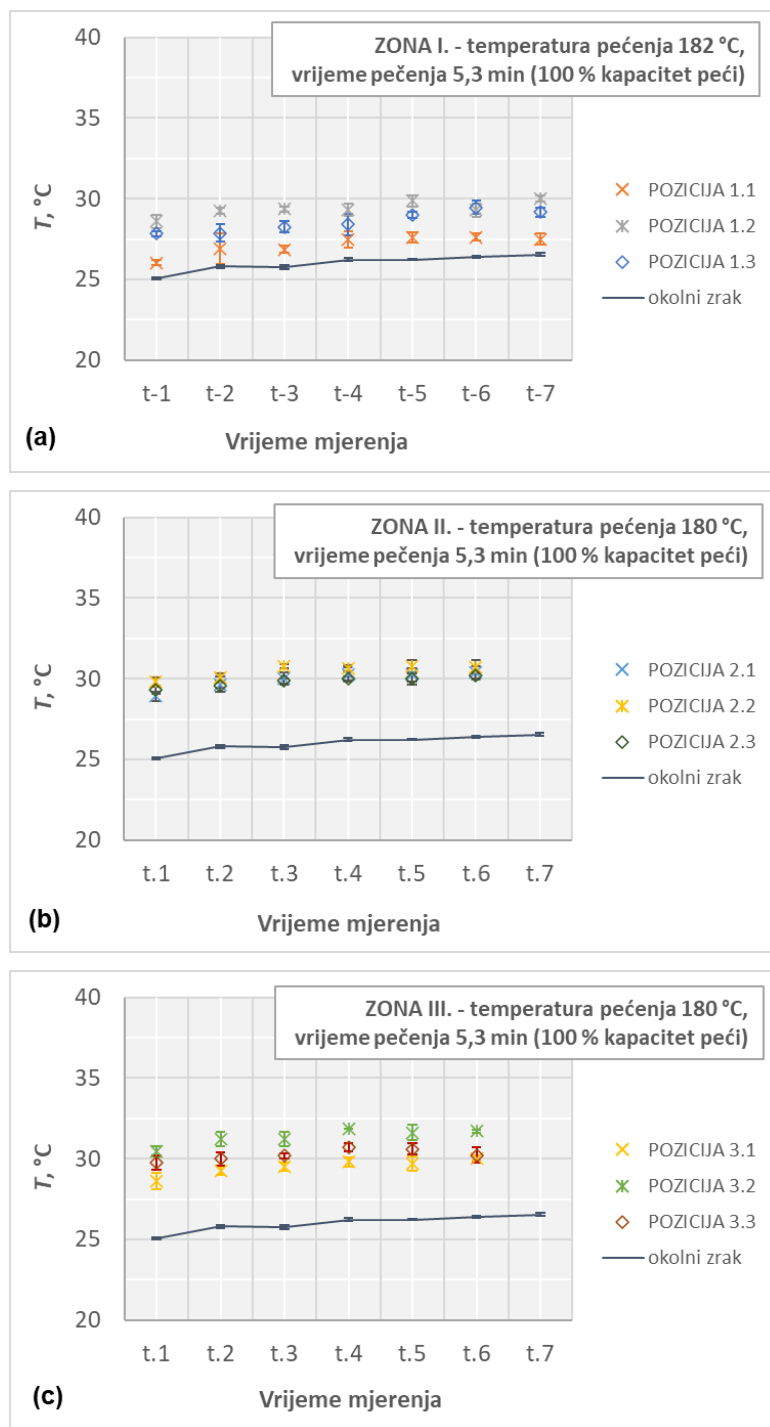
Slika 15 (b) prikazuje temperaturu vanjske stijene peći u zoni II. pri temperaturi pečenja od 167 °C i 60%-tnom proizvodnom kapacitetu na poziciji 2.1., 2.2. i 2.3. Temperature vanjske stjenke peći zone II. se pozicijama 2.2 i 2.3. gotovo u potpunosti podudaraju, dok je temperatura vanjske stjenke peći pozicije 2.1. skoro u svim vremenima niža za 1 °C od temperatura pozicije 2.2. i pozicije 2.3. Temperature zone II. nalaze su između 30 °C i 34 °C. Temperatura okolnog zraka je između 26 °C i 28 °C. Sve navedene temperature rastu od t.1 do t.7.

Slika 15 (c) prikazuje temperaturu vanjske stijene peći u zoni III. pri temperaturi pečenja od 167 °C i 60 %-tnom proizvodnom kapacitetu na poziciji 3.1., 3.2. i 3.3. Temperature vanjske stijene peći zone III. se pozicijama 3.2 i 3.3. gotovo u potpunosti podudaraju, dok je temperatura pozicije 3.1. skoro u svim vremenima niža za 1 °C od temperatura vanjske stijene peći pozicije 3.2. i pozicije 3.3. Temperature vanjske stijene peći zone III. nalaze su između 31 °C i 36 °C. Temperatura okolnog zraka je između 26 °C i 28 °C. Sve navedene temperature rastu od t.1 do t.7.

Pečenje čajnog peciva pri 60 %-tnom kapacitetu provodilo se pri temperaturama pečenja od 164 °C do 167 °C u trajanju od 6 min., dok je pečenje čajnog peciva uz 100 %-tni kapacitet peći provedeno pri višim temperaturama pečenja (od 180 °C do 182 °C) u nešto kraćem trajanju (5,3 min) (Slika 16)..

Slika 16 (a) prikazuje temperaturu vanjske stijene peći u zoni I. pri temperaturi pečenja od 182 °C i 100 %-tnom proizvodnom kapacitetu na poziciji 1.1., 1.2. i 1.3. Temperatura vanjske stijene peći zone I. na poziciji 1.1. iznosi između 25 °C i 27 °C, temperatura vanjske stijene peći na poziciji 1.2. iznosi između 28 °C i 31 °C, temperatura vanjske stijene peći na poziciji 1.3. iznosi između 27 °C i 30 °C. Temperatura okolnog zraka je između 25 °C i 27 °C. Sve navedene temperature rastu od t.1 do t.7.

Slika 16 (b) prikazuje temperaturu vanjske stijene peći u zoni II. pri temperaturi pečenja od 180 °C i 100 %-tnom proizvodnom kapacitetu na poziciji 2.1., 2.2. i 2.3. Temperature svih pozicija vanjske stijene peći zone II. Iznose između 28 °C i 32 °C. Dolazi do poklapanja vrijednosti temperatura za sve tri pozicije. Temperatura okolnog zraka je između 25 °C i 27 °C. Sve navedene temperature rastu od t.1 do t.7.



Slika 16 Temperature vanjske stijenke peći na različitim pozicija u zoni I. (a), zoni II. (b) i zoni III. (c) te srednja temperatura okolnog zraka u ovisnosti o vremenu mjerenja pri proizvodnom kapacitetu od 100 %

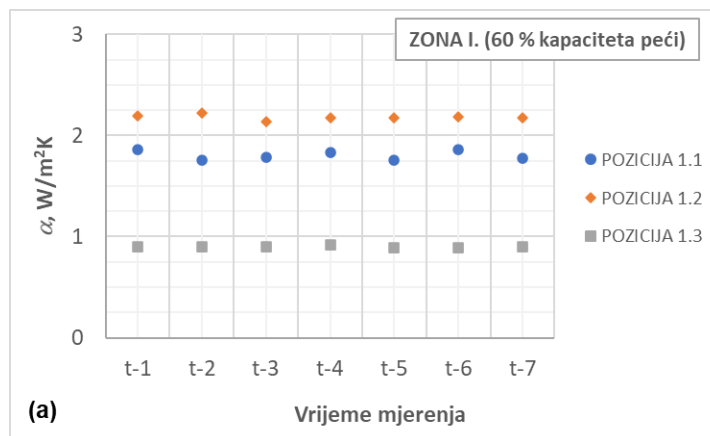
Slika 16 (c) prikazuje temperaturu vanjske stijenke peći u zoni II. pri temperaturi pečenja od 180 °C i 100%-tnom proizvodnom kapacitetu na poziciji 3.1., 3.2. i 3.3. Temperatura vanjske stijenke peći zone II. na poziciji 3.1. iznosi između 28 °C i 31 °C, temperatura vanjske stijenke peći na poziciji 3.2. iznosi između 30 °C i 32°C, temperatura vanjske stijenke peći na poziciji 3.3. iznosi između 29 °C i 31°C. Temperatura okolnog zraka je između 25 °C i 27 °C. Sve navedene temperature rastu od t.1 do t.7.

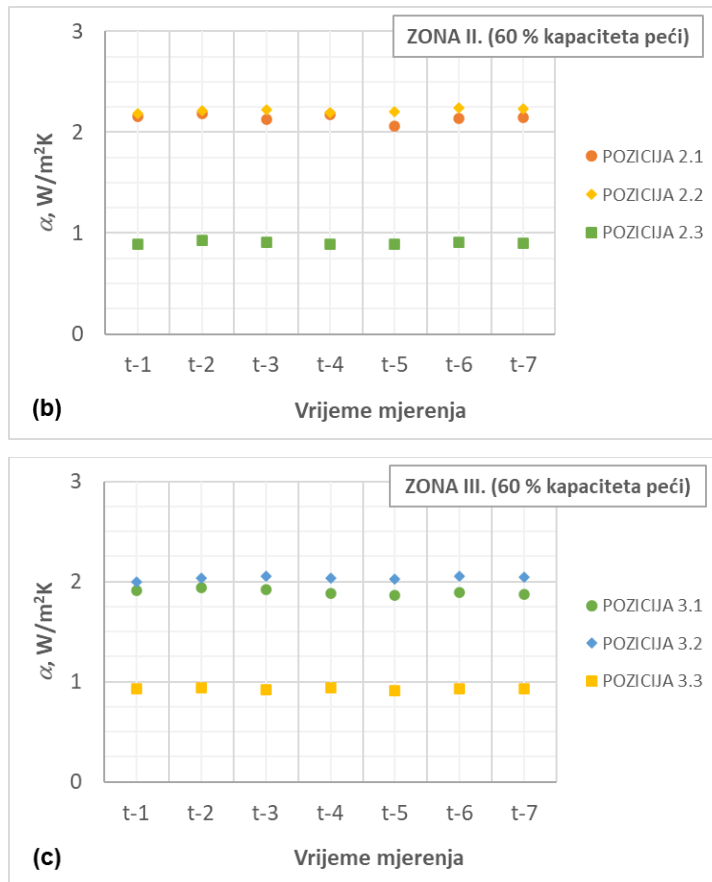
Iz prikazanih rezultata vidljivo je da je u svakoj zoni mjerenja najviša temperatura stjenki izmjerena na pozicijama 2, dok je temperatura vanjske stijenke peći bila najniža na pozicijama mjerenja označenim s brojem 1.

4.3. Koeficijent prijelaza topline i gubici topline tijekom pečenja

Temeljem rezultata mjerenja temperature vanjskih površina peći i temperature zraka izračunate su vrijednosti srednje temperature filma (T_f) te su za te vrijednosti temperature zraka izračunate vrijednosti termodinamičkih svojstava zraka: gustoće, koeficijenta dinamičke viskoznosti, koeficijenta toplinske vodljivosti, specifičnog toplinskog kapaciteta (Ražnjević, 1975.). Bezdimenzijske značajke Nu , Gr i Pr izračunate su prema formulama [2] – [4] i Tablici 3. Sve gore naveden vrijednosti prikazane su u Prilogu I. (za 60 %-tni kapacitet peći) i Prilogu II. (za 100 %-tni kapacitet peći).

Koeficijenti prijelaza topline (α) i gubici topline s peći u okolinu (q) izračunati su prema formulama [5] i [1] te su izračunate vrijednosti prikazane grafički na Slikama 17 – 20.





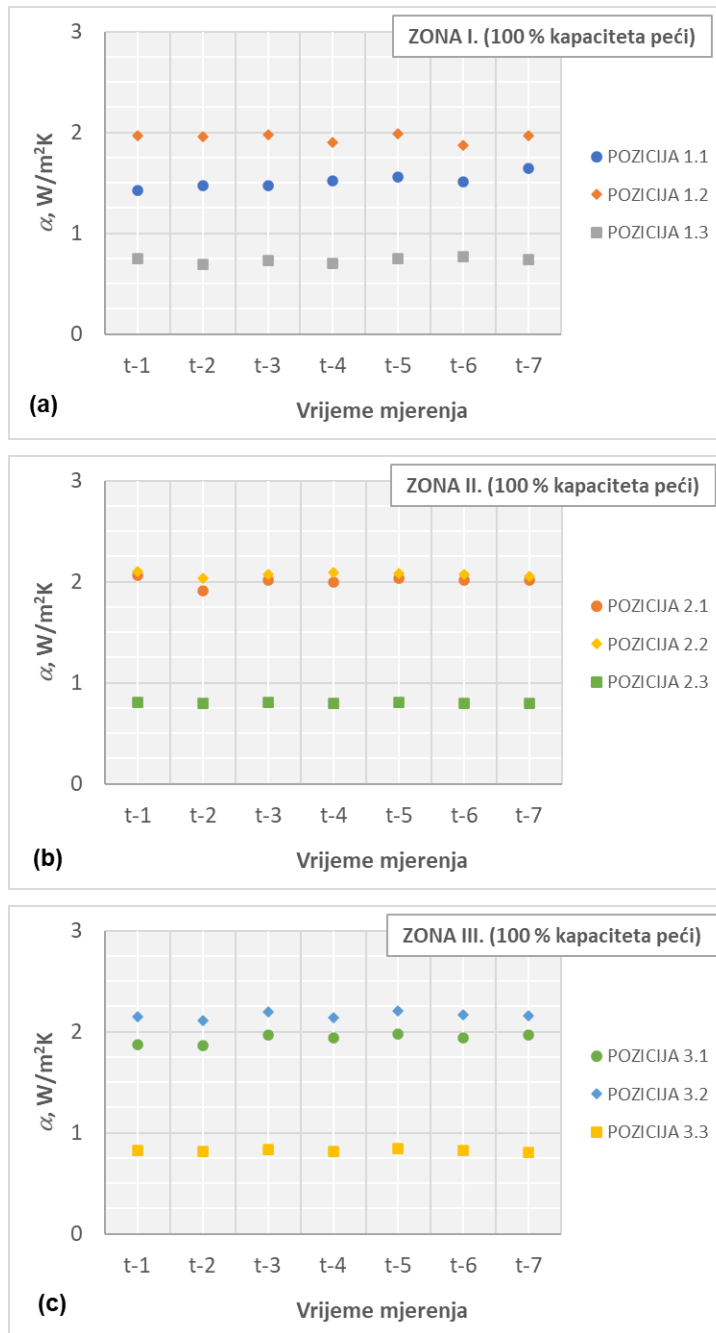
Slika 17 Koeficijenta prijelaza topline (α , W/m^2K) na različitim pozicijama u zoni I. (a), zoni II. (b) i zoni III. (c) tijekom vremena od t.1 do t.7 pri proizvodnom kapacitetu od 60 %

Slika 17 (a) prikazuje vrijednosti koeficijenta prijelaza topline (α) u zoni I. na poziciji 1.1. iznosi oko $1,8 W/m^2K$. Na poziciji 1.2. α iznosi $2,2 W/m^2K$ te na poziciji 1.3. iznosi oko $0,9 W/m^2K$. Vrijednosti su gotovo konstantne tijekom vremena mjerenja t.1 – t.7.

Slika 17 (b) prikazuje vrijednosti gdje α u zoni II. na poziciji 2.1. iznosi oko $2,1 W/m^2K$. Na poziciji 2.2. α iznosi $2,2 W/m^2K$ te na poziciji 2.3. α iznosi oko $0,9 W/m^2K$. Vrijednosti su gotovo konstantne tijekom vremena t.1 – t.7.

Slika 17 (c) prikazuje vrijednosti gdje α u zoni III. na poziciji 3.1. iznosi oko $1,9 W/m^2K$. Na poziciji 3.2. α iznosi $2,1 W/m^2K$ te na poziciji 2.3. α iznosi oko $0,9 W/m^2K$. Vrijednosti su gotovo konstantne tijekom vremena t-1 – t-7.

Iz prikazani podataka može se uočiti da je α u svim zonama na poziciji 3 jednak te da su vrijednosti ostalih pozicija približne.

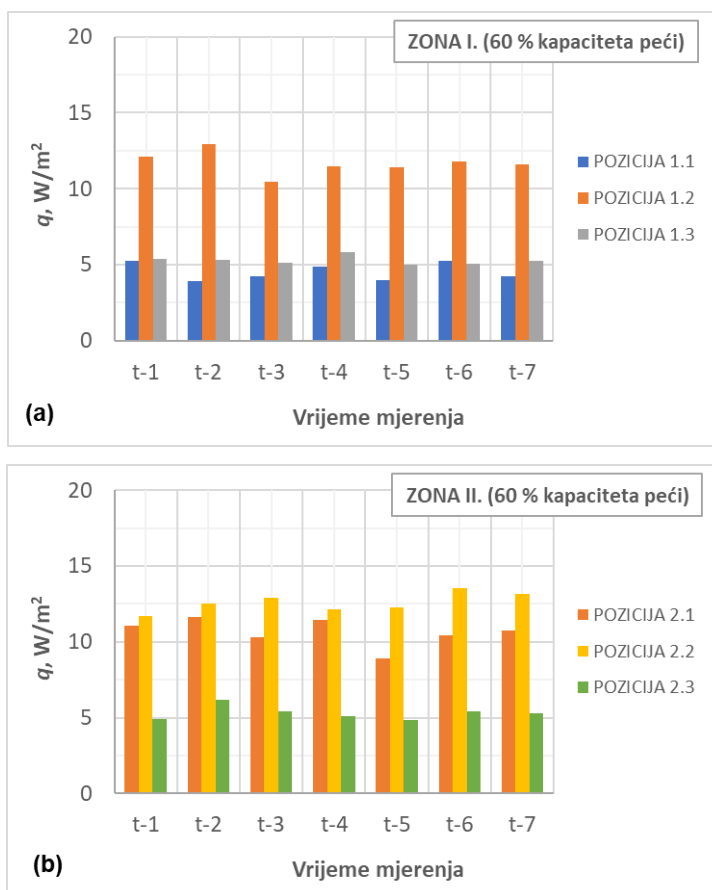


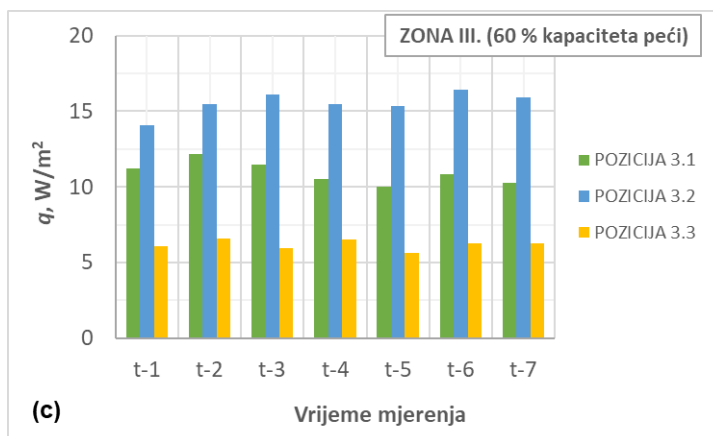
Slika 18 Koeficijenta prijelaza topline (α , W/m^2K) na različitim pozicijama u zoni I. (a), zoni II. (b) i zoni III. (c) tijekom vremena od t.1 do t.7 pri proizvodnom kapacitetu od 100 %

Slika 18 (a) prikazuje vrijednosti koeficijenta prijelaza topline (α) u zoni I. pri proizvodnom kapacitetu od 100 %. Na poziciji 1.1. iznosi $1,4 W/m^2K - 1,6 W/m^2K$. Na poziciji 1.2. α iznosi $1,8 W/m^2K - 2,0 W/m^2K$ te na poziciji 1.3. iznosi oko 0,8. Tijekom vremena t.1 – t.7 dolazi do manjih promjena u vrijednostima koeficijenta prijelaza topline.

Slika 18 (b) prikazuje vrijednosti gdje α u zoni II. na poziciji 2.1. pri proizvodnom kapacitetu od 100% iznosi $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Na poziciji 2.2. α iznosi $2,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ te na poziciji 2.3. α iznosi oko $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tijekom vremena t.1 – t.7 dolazi do manjih promjena u vrijednostima koeficijenta prijelaza topline.

Slika 18 (c) prikazuje vrijednosti gdje a u zoni III. na poziciji 3.1. pri proizvodnom kapacitetu od 100% iznosi $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ - $1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Na poziciji 3.2. α iznosi oko $2,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ te na poziciji 3.3. a iznosi oko $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vrijednosti su gotovo konstantne tijekom vremena t.1 – t.7.





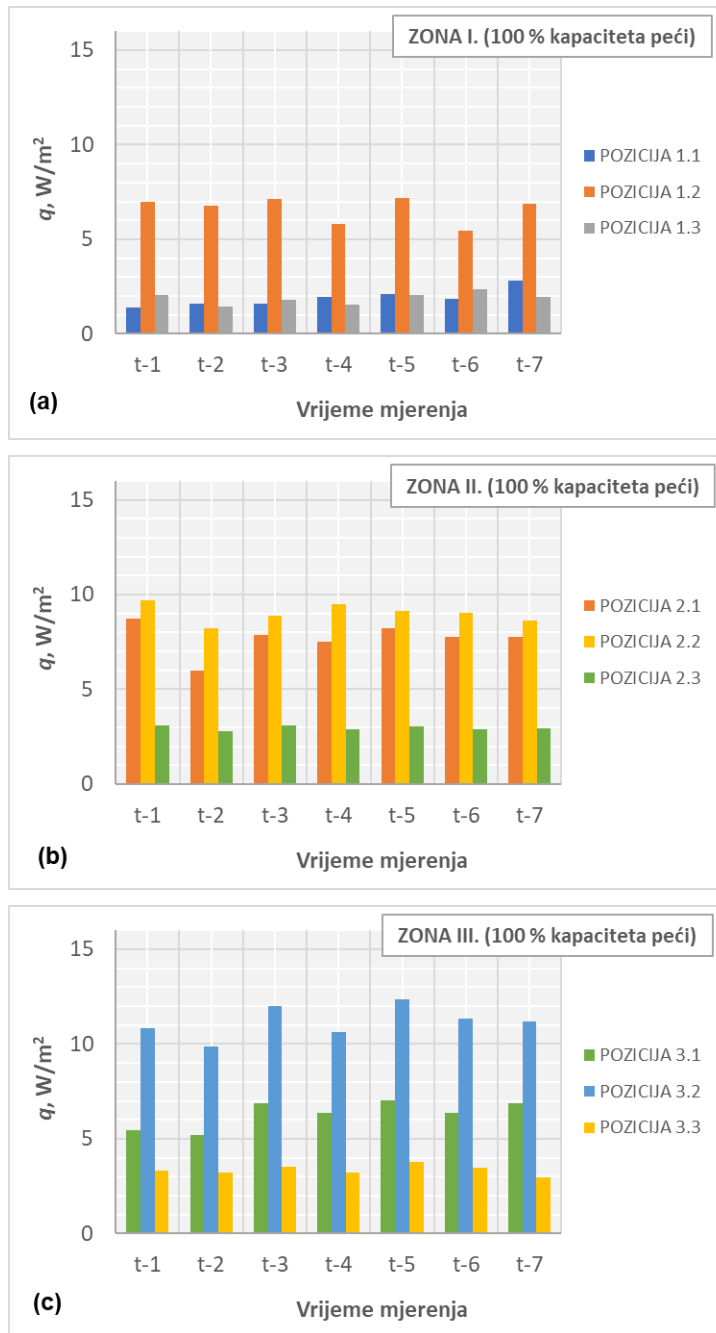
Slika 19 Gubici topline (q , W/m^2) u okolinu na različitim pozicijama u zoni I. (a), zoni II. (b) i zoni III. (c) tijekom vremena od t.1 do t.7 pri proizvodnom kapacitetu od 60 %

Slike 19 (a) je prikaz količine gubitak topline u zoni I. pri proizvodnom kapacitetu od 60 % i u vremenskom intervalu od t.1 do t.7. Na poziciji 1.1. q iznosi $4 W/m^2 - 5 W/m^2$, na poziciji 1.2. q iznosi $10 W/m^2 - 13 W/m^2$, na poziciji 1.3. q iznosi $5 W/m^2 - 6 W/m^2$. Dobivene vrijednosti odnose se na vrijeme mjerenja t.1 – t.7.

Slike 19 (b) je prikaz količine gubitak topline u zoni II. pri proizvodnom kapacitetu od 60 % i u vremenskom intervalu od t.1 do t.7. Na poziciji 2.1. q iznosi $8 W/m^2 - 11 W/m^2$, na poziciji 2.2. q iznosi $11 W/m^2 - 14 W/m^2$, na poziciji 2.3. q iznosi $5 W/m^2 - 6 W/m^2$. Dobivene vrijednosti odnose se na vrijeme mjerenja t.1 – t.7.

Slike 19 (c) je prikaz količine gubitak topline u zoni III. pri proizvodnom kapacitetu od 60 % i u vremenskom intervalu od t.1 do t.7. Na poziciji 3.1. q iznosi $10 W/m^2 - 12 W/m^2$, na poziciji 3.2. q iznosi $14 W/m^2 - 16 W/m^2$, na poziciji 3.3. q iznosi $6 W/m^2 - 7 W/m^2$. Dobivene vrijednosti odnose se na vrijeme mjerenja t.1 – t.7.

Iz dobivenih podataka vidljivo je da su najveći gubici topline na pozicijama 2, a najmanji gubici topline su na pozicijama 3.



Slika 20 Gubici topline (q , W/m^2) u okolinu na različitim pozicijama u zoni I. (a), zoni II. (b) i zoni III. (c) tijekom vremena od t.1 do t.7 pri proizvodnom kapacitetu od 100 %

Slike 20 (a) je prikaz količine gubitak topline u zoni I. pri proizvodnom kapacitetu od 100 % i u vremenskom intervalu od t.1 do t.7. Na poziciji 1.1. q iznosi $1 W/m^2 - 3 W/m^2$, na poziciji 1.2. q iznosi $5 W/m^2 - 7 W/m^2$, na poziciji 1.3. q iznosi $2 W/m^2 - 3 W/m^2$. Dobivene vrijednosti odnose se na vrijeme mjerenja t.1 – t.7.

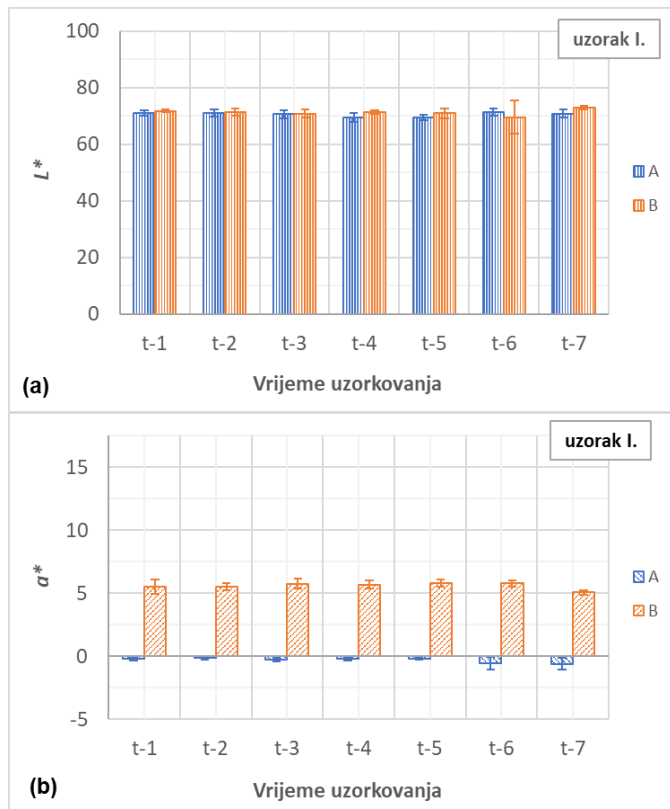
Slike 20 (b) je prikaz količine gubitak topline u zoni II. pri proizvodnom kapacitetu od 100 % i u vremenskom intervalu od t-1 do t-7. Na poziciji 2.1. q iznosi $6 \text{ W/m}^2 - 9 \text{ W/m}^2$, na poziciji 2.2. q iznosi $8 \text{ W/m}^2 - 10 \text{ W/m}^2$, na poziciji 2.3. q iznosi 3 W/m^2 . Dobivene vrijednosti odnose se na vrijeme mjerenja t.1 – t.7.

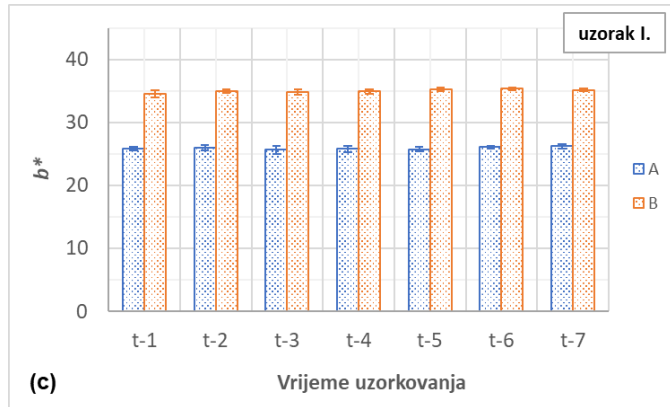
Slike 20 (c) je prikaz količine gubitak topline u zoni III. pri proizvodnom kapacitetu od 100 % i u vremenskom intervalu od t.1 do t.7. Na poziciji 3.1. q iznosi $5 \text{ W/m}^2 - 7 \text{ W/m}^2$, na poziciji 3.2. q iznosi $10 \text{ W/m}^2 - 12 \text{ W/m}^2$, na poziciji 3.3. q iznosi $3 \text{ W/m}^2 - 4 \text{ W/m}^2$. Dobivene vrijednosti odnose se na vrijeme mjerenja t.1 – t.7.

Iz dobivenih podataka vidljivo je da su najveći gubici topline na pozicijama 2, a najmanji gubici topline su na pozicijama 3.

4.4. Boja oblikovanog tijesta i čajnog peciva

Na Slikama 21 – 25 prikazani su izmjerene vrijednosti parametra boje L^* , a^* , b^* te izračunate vrijednosti parametara C^* i h^* , kao i ukupne razlike boje ΔE^*_{ab} između oblikovanog tijesta i gotovog čajnog peciva. Vrijednosti C^* , h^* i ΔE^*_{ab} izračunate su prema izrazima [6] – [8].



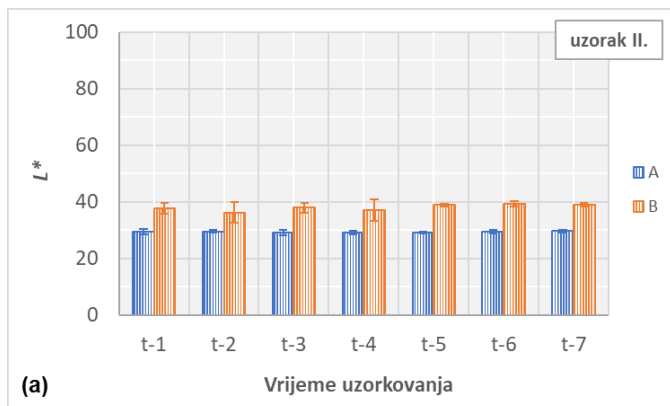


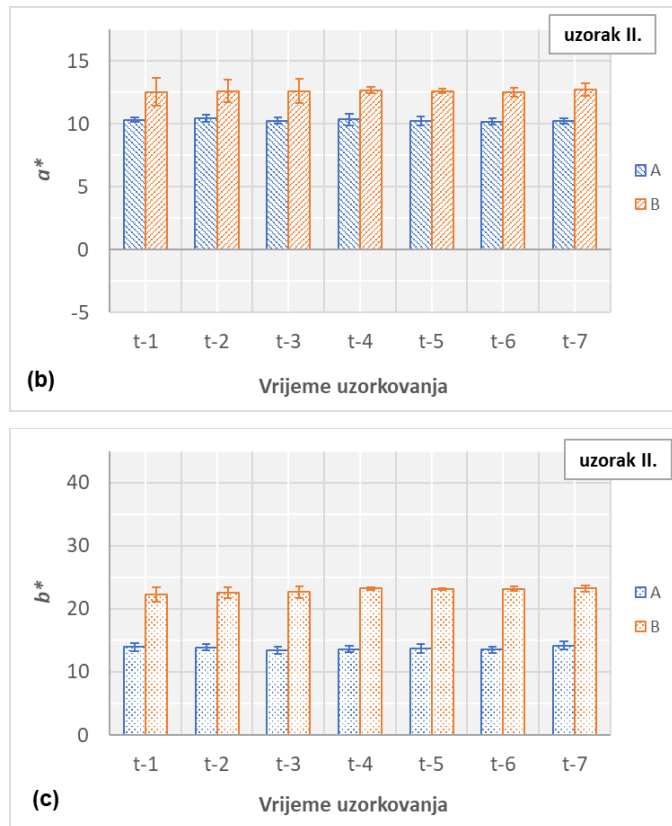
Slika 21 Vrijednosti parametara poje L^* (a), a^* (b) i b^* (c) za uzorka I. na poziciji A i poziciji B za vremena t.1 – t.7

Slika 21 (a) prikazuje rezultate određivanja koordinate svjetline (L^*) uzorka I. u vremenu t-1 – t-7 na pozicijama A i B. Vrijednosti L^* na poziciji A iznose 69 – 72, a na poziciji B vrijednosti L^* su 69 – 73.

Slika 21 (b) prikazuje rezultate određivanja koordinate obojenja (a^*) uzorka I. u vremenu t-1 – t-7 na pozicijama A i B. Vrijednosti a^* na poziciji A iznose – 1 - 0, a na poziciji B vrijednosti a^* su 5 – 6.

Slika 21 (c) prikazuje rezultate određivanja koordinate obojenja (b^*) uzorka I. u vremenu t-1 – t-7 na pozicijama A i B. Vrijednosti b^* na poziciji A iznose 25 – 26, a na poziciji B vrijednosti b^* su 34 - 36. Temeljem dobivenih rezultata vidljivo je da prilikom pečenja dolazi do tamnjenja uzorka I. i razvitka intenzivnije žute boje te blagog razvoja crvene boje.





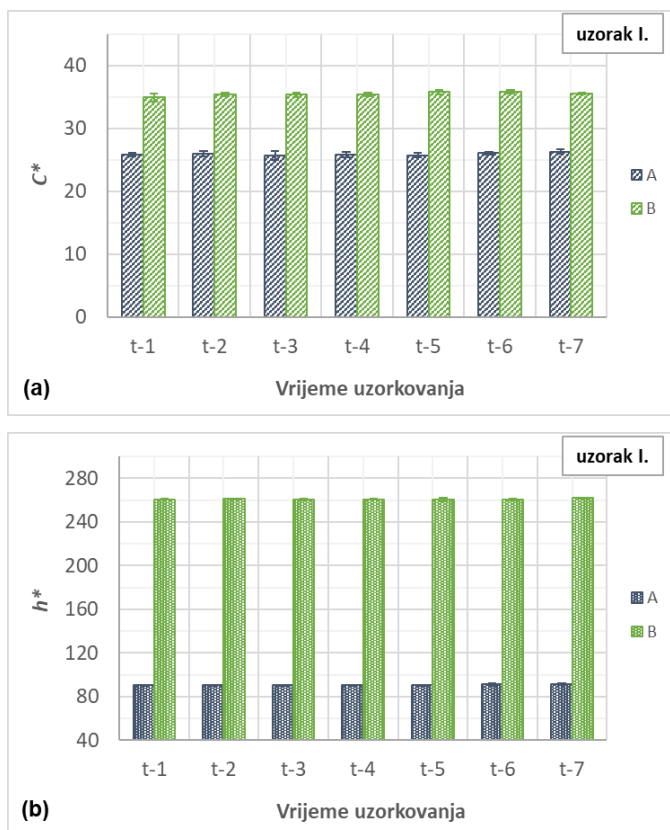
Slika 22 Vrijednosti parametara poje L^* (a), a^* (b) i b^* (c) za uzorka II. na poziciji A i poziciji B za vremena t.1 – t.7

Slika 22 (a) prikazuje rezultate određivanja koordinate svjetline (L^*) uzorka II. u vremenu t.1 – t.7 na pozicijama A i B. Vrijednosti L^* na poziciji A iznose 29 – 30, a na poziciji B vrijednosti L^* su 37 – 40.

Slika 22 (b) prikazuje rezultate određivanja koordinate obojenja (a^*) uzorka II. u vremenu t.1 – t.7 na pozicijama A i B. Vrijednosti a^* na poziciji A iznose 10 – 11, a na poziciji B vrijednosti a^* su 12 – 13.

Slika 22 (c) prikazuje rezultate određivanja koordinate obojenja (b^*) uzorka II. u vremenu t.1 – t.7 na pozicijama A i B. Vrijednosti b^* na poziciji A iznose 13 – 15, a na poziciji B vrijednosti b^* su 22 – 24.

U usporedbi s dobivenim rezultatima na Slici 21 vidljivo je da je uzorak II. tamniji te da dolazi do intenzivnijeg razvoja žute boje te manjeg razvoja crvene boje.

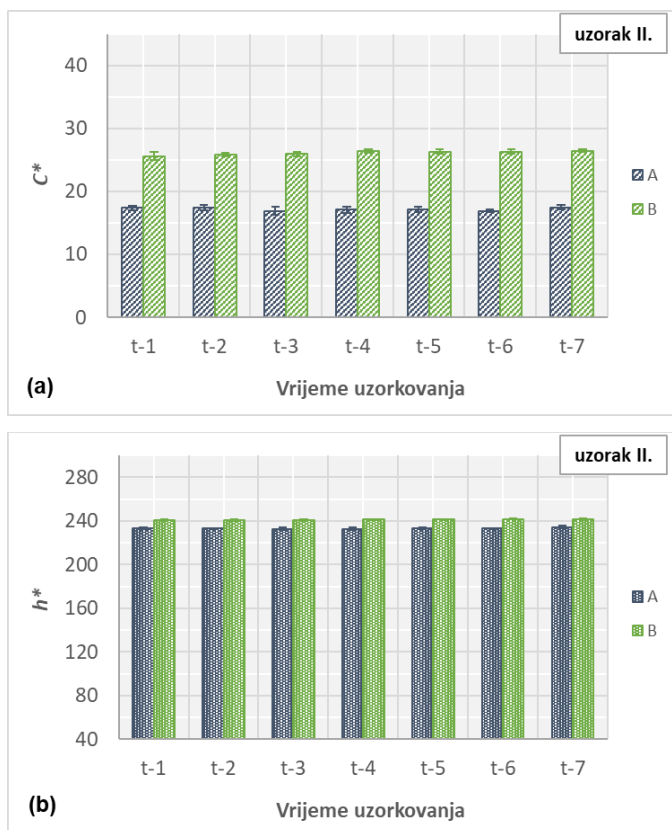


Slika 23 Prikaz vrijednosti kromatičnosti, C^* (a) i tona boje, h^* (b) uzorka I. na pozicijama A i B za vremena uzorkovanja t.1 – t.7

Slika 23 (a) prikazuje vrijednosti kromatičnosti (C^*) uzorka I. na pozicijama A i B u vremenskom intervalu t.1 – t.7. Na poziciji A u svim vremenima uzorkovanja vrijednost C^* iznosi 26, dok je u svim vremenskim intervalima na poziciji B vrijednost C^* iznosi između 35 i 36.

Slika 23 (b) prikazuje vrijednost tona boje (h^*) uzorka I. na pozicijama A i B u vremenskom intervalu t.1 – t.7. Na poziciji A u svim vremenima uzorkovanja h^* iznosi 90, a na poziciji B h^* iznosi 260.

Dobivene vrijednosti ukazuju nam da tijekom pečenja uzorka I. dolazi do razvoja živosti i tona boje.

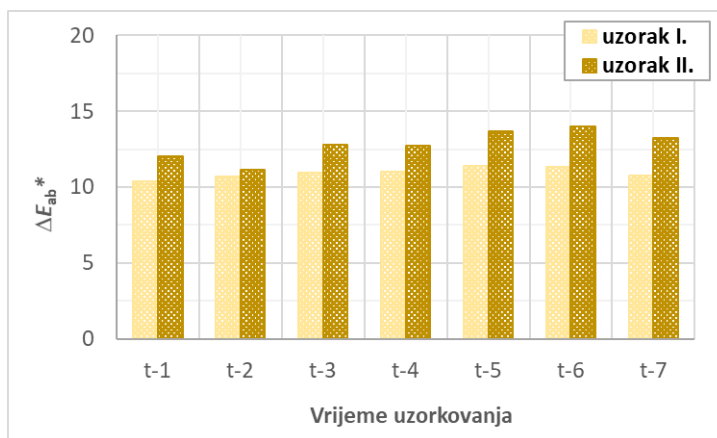


Slika 24 Prikaz vrijednosti kromatičnosti, C^* (a) i tona boje, h^* (b) uzorka II. na pozicijama A i B za vremena uzorkovanja t.1 – t.7

Slika 24 (a) prikazuje vrijednosti kromatičnosti (C^*) uzorka II. na pozicijama A i B u vremenskom intervalu t.1 – t.7. Na poziciji A u svim vremenima uzorkovanja vrijednost C^* iznosi između 17 - 18, dok je u svim vremenskim intervalima na poziciji B vrijednost C^* iznosi između 26 i 27.

Slika 24 (b) prikazuje vrijednost tona boje (h^*) uzorka II. na pozicijama A i B u vremenskom intervalu t.1 – t.7. Na poziciji A u svim vremenima uzorkovanja h^* iznosi 235, a na poziciji B h^* iznosi 240.

Usporedbom rezultata prikazanih na Slici 23 i Slici 24 vidljivo je da kod uzorka I. dolazi do veće promjene tona boje i razvoja življih boja nego kod uzorka II. Ton boje uzorka II. je blago promijenjen.



Slika 25 Ukupna promjena boje (ΔE_{ab}^*) za uzorak I. i uzorak II. za vremena uzorkovanja t.1 – t.7

Na Slici 25 je vidljivo da ukupna promjena boje uzorka I. za vremena uzorkovanja t.1 – t.7 je 10 – 12. Ukupna promjena boje uzorka II. za vremena uzorkovanja t.1 – t.7 je 11 – 14.

5. ZAKLJUČCI

Na osnovi rezultata dobivenih obradom podataka dobivenih mjerenjem mase uzorka I. i uzorka II. prije pečenja i mjerenje mase pečenog uzorka I. i uzorka II., mjerenjem temperature uzorka I. i uzorka II. pri izlasku iz peći, mjerenjem temperature vanjskih stijenki peći na različitim pozicijama, određivanjem udjela vlage u uzorku I. i uzorku II. nakon pečenja te određivanjem boje uzorka I. i uzorka II. doneseni su sljedeći zaključci:

- mase uzoraka I. i uzoraka II. su ujednačene neovisno radi li se o različitim redovima uzorkovanja ili različitim vremenima uzorkovanja te radi li se o 60 %-tnom proizvodnom kapacitetu ili 100 %-tnom proizvodnom kapacitetu. Ujednačene mase uzoraka su karakteristika dobrog industrijskog proizvodnog procesa, odnosno proizvodni proces je dobro postavljen
- prilikom mjerenja temperatura vanjskih stijenki peći, očekivano je da će temperatura vanjskih stijenki peći biti viša pri 100 %-tnom proizvodnom kapacitetu zbog više temperature pečenja, međutim u tom slučaju temperatura je nešto niža. Uzrok ove nepravilnosti objašnjava činjenica da je prilikom 60 %-tnog proizvodnog kapaciteta tik uz peć za pečenje čajnog peciva radila peć za pečenje krekerja. Također, tijekom 60 %-tnog proizvodnog kapaciteta temperatura vanjskog (atmosferskog) zraka je bila viša
- najviše temperature vanjskih stijenki peći u svim zonama zabilježene su na poziciji 2., a to su bile pozicije vanjskih stijenki u neposrednoj blizini otvora za plamenike koji su smješteni unutar peći što objašnjava i najvišu temperaturu vanjskih stijenki
- najviše temperature zabilježene su za pozicije zone III. razlog tome je što je zona III. najbliža otvor za izlaz gotovog proizvoda i zagrijanog zraka iz peći
- gubici topline s vanjske stijenke peći u okolinu bili su veći kod 60 %-tnog proizvodnog kapaciteta, niski ukupni gubici topline s vanjskih stijenki peći u okolinu ukazuju da je peć dobro konstruirana i izolirana te nisu prisutni visoki gubici topline u okolinu kroz vanjske stijenke peći
- vrijednost ukupne promjene boje tijekom pečenja uzorka I. i uzorka II. (ΔE^*_{ab}) ukazuje je da su promjene boje vrlo uočljive ljudskom oku.

6. LITERATURA

- Anglani C: Wheat minerals. *Plant Foods for Human Nutrition* 52:177-186, 1998.
- Davidson A: *The Oxford Companion to Food*. Oxford University Press, Oxford, 2006.
- Davidson I: *Biscuit Baking Technology – Processing and Engineering Manual*. Academic Press, London, 2016.
- Dendy D, Dobraszczyk B: *Cereals and Cereal Products – Chemistry and Technology*. Aspen Publishers, Gainthersburg, 2000.
- Đaković Lj: *Pšenično brašno*. Tehnološki fakultet, Zavod za izdavanje udžbenika, Novi sad, 1997.
- Gavrilović M: *Tehnologija konditorskih proizvoda*. Zavod za izdavanje udžbenika Novi Sad, Novi Sad, 2003.
- Gavrilović M: *Tehnologija konditorskih proizvoda*. Zavod za izdavanje udžbenika Novi Sad, Novi Sad, 2011.
- Hsien-Che L: *Introduction to Color Imaging Science*. Cambridge University Press, New York, 2005.
- Ibraz A, Barbosa-Canovas: *Unit Operations in Food Technology*. CRC Press LLC, Washington D.C., 2003.
- Khair Z, Paton J, Thompson H, Kapur N, Tropov N: Optimisation of the energy efficiency of bread-baking ovens using a combine experimental and computation approach. *Applied Energy* 112: 918- 927, 2013.
- Lovegrove K, Pye J: *Concentrating Solar Power Technology – Principles, Developments and Applications*. Woodhead Publishnig, 2020.
- Manley D: *Biscuit, cracker and cookie recipes for the food industry*. Woodhead publishing Limited, Cambridge, 2000.
- MPŠVG. Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnog gospodarstva RH: *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće*. Narodne novine br. 47/2008.
- MPŠVG. Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnog gospodarstva RH: *Pravilnik o proizvodima sličnim čokoladi, krem-proizvodima i bombonskim proizvodima*. Narodne novine br.73/2005.

Planinić M: Modeliranje procesa i određivanje efektivnog koeficijenta difuzivnosti vlage tijekom sušenja mrkve i krumpira. *Doktorski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2008.

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

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

Ražnjević K: *Termodinamičke tablice i dijagrami*. Školska knjiga, Zagreb, 1975.

Ugarčić-Hardi Ž: *Tehnologija tjestenine i keksa (interna skripta)*. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2000.

PRILOG I.

POZICIJA 3.1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
POZICIJA 3.2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
POZICIJA 3.3	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82

Razlika temperature (sitjenka - zrak)

$\Delta t, ^\circ\text{C}$	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
POZICIJA 1.1	2,8	2,2	2,4	2,7	2,3	2,8	2,4
POZICIJA 1.2	5,5	5,8	4,9	5,3	5,3	5,4	5,3
POZICIJA 1.3	5,9	5,9	5,7	6,3	5,6	5,7	5,9
POZICIJA 2.1	5,1	5,3	4,8	5,3	4,3	4,9	5,0
POZICIJA 2.2	5,4	5,7	5,8	5,5	5,6	6,0	5,9
POZICIJA 2.3	5,5	6,7	6,0	5,7	5,5	6,0	5,9
POZICIJA 3.1	5,2	5,5	5,3	4,9	4,7	5,0	4,8
POZICIJA 3.2	6,2	6,7	6,9	6,7	6,7	7,0	6,9
POZICIJA 3.3	6,6	7,0	6,4	7,0	6,2	6,7	6,7

Prandtllov broj

Pr	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
POZICIJA 1.1	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
POZICIJA 1.2	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
POZICIJA 1.3	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
POZICIJA 2.1	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
POZICIJA 2.2	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
POZICIJA 2.3	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
POZICIJA 3.1	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
POZICIJA 3.2	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
POZICIJA 3.3	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73

Grashofov broj

Gr	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
POZICIJA 1.1	4,59E+08	3,65E+08	3,85E+08	4,31E+08	3,65E+08	4,55E+08	3,78E+08
POZICIJA 1.2	8,81E+08	9,24E+08	7,82E+08	8,35E+08	8,29E+08	8,51E+08	8,34E+08
POZICIJA 1.3	4,29E+09	4,25E+09	4,12E+09	4,51E+09	4,01E+09	4,06E+09	4,14E+09
POZICIJA 2.1	8,20E+08	8,52E+08	7,72E+08	8,35E+08	6,82E+08	7,75E+08	7,84E+08
POZICIJA 2.2	8,56E+08	9,03E+08	9,20E+08	8,75E+08	8,74E+08	9,46E+08	9,19E+08
POZICIJA 2.3	3,99E+09	4,78E+09	4,30E+09	4,08E+09	3,92E+09	4,26E+09	4,16E+09
POZICIJA 3.1	8,30E+08	8,83E+08	8,38E+08	7,84E+08	7,48E+08	7,95E+08	7,59E+08
POZICIJA 3.2	9,88E+08	1,06E+09	1,09E+09	1,05E+09	1,04E+09	1,09E+09	1,06E+09
POZICIJA 3.3	4,73E+09	5,01E+09	4,60E+09	4,94E+09	4,39E+09	4,76E+09	4,72E+09

Umnožak Prandtlovog i Grashofovog broja

(Pr · Gr)	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
POZICIJA 1.1	3,37E+08	2,68E+08	2,82E+08	3,16E+08	2,68E+08	3,34E+08	2,77E+08
POZICIJA 1.2	6,47E+08	6,78E+08	5,74E+08	6,12E+08	6,08E+08	6,24E+08	6,12E+08
POZICIJA 1.3	3,15E+09	3,12E+09	3,02E+09	3,31E+09	2,94E+09	2,98E+09	3,04E+09
POZICIJA 2.1	6,01E+08	6,25E+08	5,66E+08	6,12E+08	5,00E+08	5,68E+08	5,75E+08
POZICIJA 2.2	6,28E+08	6,63E+08	6,75E+08	6,42E+08	6,41E+08	6,94E+08	6,74E+08
POZICIJA 2.3	2,93E+09	3,51E+09	3,16E+09	2,99E+09	2,87E+09	3,13E+09	3,05E+09
POZICIJA 3.1	6,09E+08	6,48E+08	6,15E+08	5,75E+08	5,49E+08	5,83E+08	5,56E+08
POZICIJA 3.2	7,25E+08	7,78E+08	8,00E+08	7,71E+08	7,62E+08	8,03E+08	7,79E+08
POZICIJA 3.3	3,47E+09	3,67E+09	3,37E+09	3,62E+09	3,22E+09	3,49E+09	3,46E+09

Nuseltov broj

Nu	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
POZICIJA 1.1	79,93	75,49	76,49	78,67	75,47	79,74	76,15
POZICIJA 1.2	94,08	95,20	91,32	92,82	92,66	93,25	92,79
POZICIJA 1.3	63,96	63,82	63,31	64,76	62,86	63,06	63,38
POZICIJA 2.1	92,40	93,30	91,02	92,82	88,23	91,09	91,36
POZICIJA 2.2	93,39	94,67	95,09	93,92	93,90	95,76	95,06
POZICIJA 2.3	62,81	65,70	64,00	63,15	62,50	63,84	63,46
POZICIJA 3.1	92,68	94,13	92,92	91,37	90,30	91,69	90,61
POZICIJA 3.2	96,81	98,53	99,22	98,31	98,03	99,32	98,56
POZICIJA 3.3	65,52	66,47	65,07	66,24	64,32	65,62	65,50

PRILOG II.

Srednja temperatura filma (100 % kapaciteta)

$T_f, ^\circ\text{C}$	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
POZICIJA 1.1	25,6	26,4	26,3	26,9	26,9	27,0	27,0
POZICIJA 1.2	26,8	27,5	27,6	27,8	28,1	27,9	28,3
POZICIJA 1.3	26,5	26,8	27,0	27,3	27,6	27,9	27,9
POZICIJA 2.1	27,2	27,4	27,7	28,1	28,3	28,3	28,5
POZICIJA 2.2	27,4	27,8	27,9	28,5	28,4	28,6	28,6
POZICIJA 2.3	27,0	27,6	27,7	28,1	28,1	28,2	28,4
POZICIJA 3.1	26,5	27,2	27,5	27,9	28,0	28,1	28,3
POZICIJA 3.2	27,6	28,1	28,5	28,7	29,0	29,0	29,1
POZICIJA 3.3	27,1	27,8	27,9	28,2	28,5	28,5	28,4

Gustoća zraka na temperaturi filma (100 % kapaciteta)

$\rho, \text{kg/m}^3$	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
POZICIJA 1.1	1,143	1,141	1,141	1,139	1,138	1,138	1,138
POZICIJA 1.2	1,139	1,136	1,136	1,135	1,134	1,135	1,133
POZICIJA 1.3	1,140	1,139	1,138	1,137	1,136	1,135	1,135
POZICIJA 2.1	1,137	1,137	1,135	1,134	1,133	1,133	1,133
POZICIJA 2.2	1,137	1,135	1,135	1,133	1,133	1,132	1,132
POZICIJA 2.3	1,138	1,136	1,136	1,134	1,134	1,134	1,133
POZICIJA 3.1	1,140	1,137	1,136	1,135	1,134	1,134	1,133
POZICIJA 3.2	1,136	1,134	1,133	1,132	1,131	1,131	1,130
POZICIJA 3.3	1,138	1,135	1,135	1,134	1,133	1,133	1,133

Specifični toplinski kapacitet zraka na temperaturi filma (100 % kapaciteta)

$\rho, \text{kg/m}^3$	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
POZICIJA 1.1	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013
POZICIJA 1.2	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013
POZICIJA 1.3	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013
POZICIJA 2.1	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013
POZICIJA 2.2	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013
POZICIJA 2.3	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013
POZICIJA 3.1	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013
POZICIJA 3.2	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013
POZICIJA 3.3	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013

Toplinska vodljivost zraka na temperaturi filma (100 % kapaciteta)

$\lambda, \text{W/mK}$	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
POZICIJA 1.1	0,0255	0,0255	0,0255	0,0256	0,0256	0,0256	0,0256
POZICIJA 1.2	0,0256	0,0256	0,0256	0,0256	0,0257	0,0256	0,0257
POZICIJA 1.3	0,0256	0,0256	0,0256	0,0256	0,0256	0,0257	0,0256
POZICIJA 2.1	0,0256	0,0256	0,0256	0,0257	0,0257	0,0257	0,0257

Razlika temperature (stjenka - zrak)

$\Delta t, ^\circ\text{C}$	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
POZICIJA 1.1	1,0	1,1	1,1	1,3	1,4	1,2	1,7
POZICIJA 1.2	3,5	3,5	3,6	3,1	3,6	2,9	3,5
POZICIJA 1.3	2,8	2,1	2,5	2,2	2,8	3,1	2,6
POZICIJA 2.1	4,2	3,1	3,9	3,8	4,0	3,9	3,9
POZICIJA 2.2	4,6	4,0	4,3	4,5	4,4	4,4	4,2
POZICIJA 2.3	3,8	3,5	3,8	3,6	3,8	3,6	3,7
POZICIJA 3.1	2,9	2,8	3,5	3,3	3,6	3,3	3,5
POZICIJA 3.2	5,0	4,7	5,5	5,0	5,6	5,2	5,2
POZICIJA 3.3	4,0	4,0	4,2	4,0	4,5	4,2	3,7

Prandtllov broj

Pr	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
POZICIJA 1.1	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
POZICIJA 1.2	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
POZICIJA 1.3	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
POZICIJA 2.1	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
POZICIJA 2.2	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
POZICIJA 2.3	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
POZICIJA 3.1	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
POZICIJA 3.2	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
POZICIJA 3.3	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73

Grashofov broj

Gr	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
POZICIJA 1.1	1,62E+08	1,82E+08	1,82E+08	2,08E+08	2,24E+08	2,02E+08	2,78E+08
POZICIJA 1.2	5,80E+08	5,63E+08	5,85E+08	4,97E+08	5,86E+08	4,69E+08	5,63E+08
POZICIJA 1.3	2,07E+09	1,54E+09	1,85E+09	1,60E+09	2,03E+09	2,24E+09	1,93E+09
POZICIJA 2.1	6,91E+08	5,10E+08	6,32E+08	6,07E+08	6,49E+08	6,21E+08	6,20E+08
POZICIJA 2.2	7,49E+08	6,53E+08	6,95E+08	7,26E+08	7,06E+08	6,99E+08	6,72E+08
POZICIJA 2.3	2,82E+09	2,58E+09	2,82E+09	2,65E+09	2,75E+09	2,62E+09	2,67E+09
POZICIJA 3.1	4,78E+08	4,57E+08	5,69E+08	5,33E+08	5,75E+08	5,32E+08	5,63E+08
POZICIJA 3.2	8,17E+08	7,52E+08	8,76E+08	7,93E+08	8,90E+08	8,32E+08	8,20E+08
POZICIJA 3.3	2,99E+09	2,91E+09	3,10E+09	2,89E+09	3,24E+09	3,05E+09	2,69E+09

Umnožak Prandtlvog i Grashofovog broja

(Pr · Gr)	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
POZICIJA 1.1	1,19E+08	1,34E+08	1,34E+08	1,53E+08	1,64E+08	1,48E+08	2,04E+08
POZICIJA 1.2	4,26E+08	4,13E+08	4,29E+08	3,64E+08	4,30E+08	3,44E+08	4,13E+08
POZICIJA 1.3	1,52E+09	1,13E+09	1,36E+09	1,17E+09	1,49E+09	1,65E+09	1,42E+09
POZICIJA 2.1	5,08E+08	3,75E+08	4,64E+08	4,45E+08	4,76E+08	4,56E+08	4,55E+08
POZICIJA 2.2	5,50E+08	4,79E+08	5,10E+08	5,33E+08	5,18E+08	5,13E+08	4,93E+08

POZICIJA 2.3	2,07E+09	1,89E+09	2,07E+09	1,95E+09	2,02E+09	1,93E+09	1,96E+09
POZICIJA 3.1	3,51E+08	3,36E+08	4,18E+08	3,92E+08	4,22E+08	3,91E+08	4,13E+08
POZICIJA 3.2	6,00E+08	5,52E+08	6,43E+08	5,82E+08	6,53E+08	6,11E+08	6,02E+08
POZICIJA 3.3	2,19E+09	2,13E+09	2,27E+09	2,12E+09	2,38E+09	2,24E+09	1,97E+09

Nuselltov broj

Nu	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
POZICIJA 1.1	61,59	63,42	63,43	65,57	66,82	65,10	70,54
POZICIJA 1.2	84,75	84,13	84,92	81,52	84,96	80,37	84,10
POZICIJA 1.3	53,30	49,48	51,86	49,98	53,07	54,39	52,37
POZICIJA 2.1	88,56	82,08	86,59	85,71	87,14	86,20	86,16
POZICIJA 2.2	90,35	87,28	88,66	89,64	89,00	88,78	87,91
POZICIJA 2.3	57,59	56,30	57,56	56,72	57,22	56,56	56,78
POZICIJA 3.1	80,76	79,86	84,34	82,99	84,58	82,94	84,10
POZICIJA 3.2	92,33	90,42	93,94	91,64	94,32	92,74	92,41
POZICIJA 3.3	58,43	58,04	58,97	57,94	59,63	58,72	56,91