

Utjecaj vremena miješanja na svojstva tamnih i mliječnih čokolada proizvedenih u kugličnom mlinu

Jurkić, Marijana

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:109:189403>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-22**

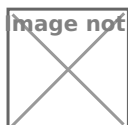


image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

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



image not found or type unknown

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

Marijana Jurkić

**UTJECAJ VREMENA MIJEŠANJA NA SVOJSTVA TAMNIH I MLIJEČNIH
ČOKOLADA PROIZVEDENIH U KUGLIČNOM MLINU**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan, 2020.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za prehrambene tehnologije
Katedra za tehnologiju ugljikohidrata
Franje Kuhača 18, 31000 Osijek, Hrvatska

Diplomski sveučilišni studij prehrambeno inženjerstvo

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Nastavni predmet: Tehnologija konditorskih i srodnih proizvoda

Tema rada je prihvaćena na VIII. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2018./2019. održanoj 30. svibnja 2019.

Mentor: izv. prof. dr. sc. *Đurđica Ačkar*

Pomoć pri izradi: *Veronika Barišić*, mag. ing. techn. aliment.

Utjecaj vremena miješanja na svojstva tamnih i mliječnih čokolada proizvedenih u kugličnom mlinu

Marijana Jurkić, 0113137970

Sažetak: Cilj ovog diplomskog rada bio je ispitati utjecaj vremena miješanja na svojstva tamnih i mliječnih čokolada. Za proizvodnju čokolada korišten je laboratorijski kuglični mlin uz primjenu sljedećih uvjeta: temperatura kupelji 55 °C; 2,5 kg kuglica za tamnu čokoladu, 3 kg kuglica za mliječnu čokoladu; brzina miješanja 60 o/min. Čokolade su proizvedene u kugličnom mlinu s vremenima miješanja od 3, 4 i 5 h te nakon temperiranja, upločavanja i hlađenja na 8 °C određeni su sljedeći parametri: boja (odmah nakon hlađenja, nakon 24 h, nakon 48 h i nakon tjedan dana), tekstura, veličina čestica i viskoznost. Rezultati su pokazali da je ukupna promjena boje veća kod tamnih čokolada u odnosu na mliječne čokolade. Tvrdća kod tamnih čokolada je najmanja u uzorku koji se miješao 4 h, dok uzorak s istim vremenom miješanja kod mliječnih čokolada ima najveću tvrdoću. Najveće smanjenje čestica kod tamnih i mliječnih čokolada primijećeno je kod uzoraka koji su se najduže miješali. Povećanjem vremena miješanja došlo je i do povećanja vrijednosti Casson – ove plastične viskoznosti, a u usporedbi s tamnim čokoladama veću granicu tečenja imaju uzorci mliječnih čokolada.

Ključne riječi: čokolada, kuglični mlin, vrijeme miješanja, tvrdoća, viskoznost

Rad sadrži: 40 stranica
18 slika
7 tablica
0 priloga
33 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

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

- | | |
|--|---------------|
| 1. prof. dr. sc. <i>Drago Šubarić</i> | predsjednik |
| 2. izv. prof. dr. sc. <i>Đurđica Ačkar</i> | član-mentor |
| 3. prof. dr. sc. <i>Jurislav Babić</i> | član |
| 4. doc. dr. sc. <i>Antun Jozinović</i> | zamjena člana |

Datum obrane: 28. rujna 2020.

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 Food Technologies
Subdepartment of Carbohydrates Technology
Franje Kuhača 18, HR-31000 Osijek, Croatia

Graduate program: Food engineering

Scientific area: Biotechnical sciences

Scientific field: Food technology

Course title: Technology of Confectionery and Related Products

Thesis subject was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. VIII. 2018/2019.held on May30, 2019.

Mentor: *Đurđica Ačkar*, associate prof.

Technical assistance: *Veronika Barišić*, mag. ing. techn. aliment.

Effect of Mixing Time on the Properties of Dark and Milk Chocolate Produced in a Ball Mill

Marijana Jurkić, 0113137970

Summary: The aim of this study was to investigate the effect of mixing time on the properties of dark and milk chocolates. For production of chocolate laboratory ball mill was used under the following conditions: bath temperature 55 °C, 2.5 kilograms of balls for dark chocolate, 3 kilograms of balls for milk chocolate; speed of mixing 60 rpm. Chocolates were produced with mixing times of 3, 4 and 5 hours and after tempering, moulding and cooling at 8 °C the following parameters were determined: colour (after cooling, after 24 hours, after 48 hours and after one week), texture, particle size and viscosity. The results showed that the total colour change was greater for dark chocolates compared to milk chocolates. Hardness for dark chocolates was lowest in the sample that was mixed for 4 hours, while milk chocolate with the same mixing time had the highest hardness. The largest decrease of particles in both dark and milk chocolates was observed in the samples that were mixed the longest time. Increasing the mixing time also led to an increase in the value for Casson plastic viscosity and, compared to dark chocolates, milk chocolate samples had a higher yield stress.

Key words: chocolate, ball mill, mixing time, hardness, viscosity

Thesis contains: 40 pages
18 figures
7 tables
0 supplements
33 references

Original in: Croatian

Defense committee:

- | | |
|--|--------------|
| 1. <i>Drago Šubarić</i> , PhD, prof. | chair person |
| 2. <i>Đurđica Ačkar</i> , PhD, associate prof. | supervisor |
| 3. <i>Jurislav Babić</i> , PhD, prof. | member |
| 4. <i>Antun Jozinović</i> , PhD, assistant prof. | stand-in |

Defense date: September 28, 2020

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

Hvala mentorici izv. prof. dr. sc. Đurđici Ačkar i veliko hvala suradnici Veroniki Barišić na uloženom trudu i pomoći tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Hvala svim prijateljima na podršci i na tome što su učinili moj studentski život jednim od nezaboravnih, a ujedno i najljepših iskustava.

Hvala mom ocu, bez kojeg ne bih bila to što jesam.

Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom UIP-2017-05-8709.

Sadržaj

| | |
|--|-----------|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. TEORIJSKI DIO | 3 |
| 2.1. ČOKOLADA | 4 |
| 2.2. SIROVINE ZA PROIZVODNJU ČOKOLADE | 4 |
| 2.2.1. Kakaovo zrno i proizvodnja kakaovog zrna | 4 |
| 2.2.2. Šećeri | 6 |
| 2.2.3. Mlijeko i mliječni proizvodi | 7 |
| 2.2.4. Zamjenske masti..... | 9 |
| 2.2.5. Emulgatori..... | 11 |
| 2.2.6. Arome | 13 |
| 2.3. TEHNOLOŠKI POSTUPAK PROIZVODNJE ČOKOLADE | 14 |
| 2.4. REOLOŠKA SVOJSTVA ČOKOLADE | 20 |
| 2.4.1. Reologija i podjela tekućina | 20 |
| 2.4.2. Reološka svojstva čokolade..... | 21 |
| 3. EKSPERIMENTALNI DIO | 23 |
| 3.1. ZADATAK | 24 |
| 3.2. MATERIJALI | 24 |
| 3.3. METODE | 24 |
| 3.3.1. Izrada čokolade..... | 24 |
| 3.3.2. Određivanje boje uzoraka čokolade | 25 |
| 3.3.3. Određivanje teksture | 26 |
| 3.3.4. Određivanje veličine čestica..... | 27 |
| 3.3.5. Mjerenje viskoznosti..... | 28 |
| 4. REZULTATI I RASPRAVA | 29 |
| 4.1. BOJA TAMNE I MLIJEČNE ČOKOLADE | 30 |
| 4.2. TEKSTURA TAMNE I MLIJEČNE ČOKOLADE | 31 |
| 4.3. VELIČINA ČESTICA TAMNIH I MLIJEČNIH ČOKOLADA | 32 |
| 4.4. VISKOZNOST ČOKOLADA | 33 |
| 5. ZAKLJUČCI | 36 |
| 6. LITERATURA | 38 |

Popis oznaka, kratica i simbola

| | |
|------------|---|
| CBE's | kakao maslac ekvivalenti (engl. <i>cocoa butter equivalents</i>) |
| CBI's | kakao maslac poboljšivači (engl. <i>cocoa butter improvers</i>) |
| CBR's | zamjene za kakaov maslac (engl. <i>cocoa butter replacers</i>) |
| CBS's | kakao maslac nadomjesci (engl. <i>cocoa butter substitutes</i>) |
| WI | indeks bjeline (engl. <i>whiteness index</i>) |
| ΔE | ukupna promjena boje |
| PGPR | poliglicerol poliricinoleat |

1. UVOD

Čokolada je složen reološki sustav s čvrstim česticama (kakaove čestice, mlijeko u prahu i šećer) dispergiranim u masnoj fazi (kakaovu maslacu). Kruta faza je neujednačena zbog različitih raspodjela čestica prema veličini, obliku i svojstvima površine (Beckett, 2008).

Kvalitetna čokolada privlačna za potrošače finalni je proizvod kojem teži svaka konditorska industrija, a uvođenjem novih tehnologija u samu proizvodnju pokušavaju se sve više optimirati proizvodni procesi.

Svoju sve veću primjenu u čokoladnoj industriji pronalaze i kuglični mlinovi koji imaju mogućnost odvijanja procesa valcanja i končiranja u isto vrijeme. Za dobivanje stabilne čokoladne mase od iznimne važnosti je vrijeme miješanja u kugličnom mlinu, a optimalnim vremenom miješanja se istovremeno postiže optimalna raspodjela veličine čestica.

Stabilna suspenzija čvrstih čestica u kakaovom maslacu se dobiva mehanički. Takvu stabilnu suspenziju moguće je dobiti operacijama koje uključuju dugotrajno miješanje i mljevenje, kao i stalnu recirkulaciju čokoladne mase na određenoj temperaturi (Prawira i Barringer, 2009).

Utjecaj vremena miješanja na svojstva tamnih i mliječnih čokolada proizvedenih u kugličnom mlinu bio je glavni cilj ovog istraživanja.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. ČOKOLADA

Za donošenje prvih kakaovih zrna u Europu zaslužan je Kristofor Kolumbo. Čokolada je suspenzija šećera, kakaovih zrna, kakaovog maslaca i dodanih masti. Temeljni zahtjevi kakvoće čokolade su: najmanje 18 % kakaovog maslaca, 14 % bezmasne suhe tvari kakaovih dijelova, 35 % ukupne suhe tvari kakaovih dijelova i najviše 65 % ukupnih šećera, računato na suhu tvar proizvoda (MPŠVG, 2005).

Emulgatori se također dodaju u čokoladu u malim koncentracijama za poboljšanje procesiranja i skladištenja proizvoda. Šećeri imaju velik udio u sastavu čokolade. Saharoza, a potom glukoza su šećeri koji se najviše koriste (Škrabal, 2009). Kakaov maslac se može zamijeniti zamjenskim mastima koje su jeftinije i pristupačnije i zbog toga imaju sve veću primjenu u čokoladnoj industriji (udio do maksimalno 5 %). Vanilin je danas najkorištenija aroma, koji služi poboljšanju okusa čokolade. Sva važna svojstva čokolade ovise o pravilnom vođenju procesa proizvodnje (Gutiérrez, 2017).

Svi dodani sastojci čokolade moraju se obavezno naznačiti na pakiranju, a dodavati se može različito voće (sušeno), riža koja je ekspandirana, orašaste plodove i sl. Čokolade se mogu i puniti raznoraznim punjenjima poput marcipana, želea ili ledenih punjenja. Pored tamne i mliječne čokolade, punjene čokolade i čokolade s dodacima postoje još i bijele čokolade, čokolade u prahu i čokoladni preljevi (MPŠVG, 2005).

2.2. SIROVINE ZA PROIZVODNJU ČOKOLADE

2.2.1. Kakaovo zrno i proizvodnja kakaovog zrna

Za izradu svih kakaovih proizvoda tj. čokolade potrebne su sjemenke ploda kakaovac zvane kakaova zrna. Botanički naziv biljke kakaovac je *Theobroma cacao*, što u prijevodu znači „hrana bogova“, a samo stablo kakaovca može doživjeti starosni vijek do čak 150 godina (Jozinović, 2012).

Oko 60 000 tona kakaovih zrna proizvodi se na godišnjoj razini. Najviše plodova biljka kakaovac (**Slika 1**) daje nakon deset godina. Obala Bjelokosti, Gana, Indonezija, Nigerija i Brazil smatraju se najvećim svjetskim proizvođačima, dok se na prostorima Zapadne Afrike, Jugoistočne Azije i Južne Amerike danas najviše uzgaja kakaovac (Jozinović, 2012). Kemijski sastav kakaovih zrna prikazan je u **Tablici 1**.



Slika 1 Zreli plodovi kakaovca (Beckett i sur., 2017)

Kakaovo zrno se može podijeliti na 3 osnovne vrste i to:

- Criollo – vrsta koja je izrazito osjetljiva na bolesti i od koje se u konačnici dobiju najmanji prinosi;
- Forastero – sve čokolade su uglavnom proizvedene korištenjem ove vrste kakaovog zrna;
- Trinitario – hibrid između prve dvije vrste (Jozinović, 2012).

Tablica 1 Kemijski sastav kakaovog zrna (Jozinović, 2012)

| | Endosperm (%) | Ljuska (%) |
|--|---------------|------------|
| Kakaov maslac | 48 - 61 | 2 - 6 |
| Proteini | 11- 24 | 13 - 16 |
| Taninske tvari | 6 | - |
| Teobromin | 0,8 - 1,4 | 0,2 - 1,3 |
| Kofein | 0,1 - 0,7 | 0,05 - 0,3 |
| Voda | 2 - 5 | 4 - 11 |
| Škrob | 6 - 9 | 3 |
| Celuloza | 9 | 27 |
| Šećeri | 1 | - |
| Pektini | - | 8 |
| Mineralne tvari | 2,6 - 4 | 5,5 -12,4 |
| Kiseline | 2,6 | - |
| 12 - 18 % polifenola (računato na suhu tvar) | | |
| pH zrna 5,3 - 5,5 | | |

Zrna se pakiraju uglavnom u jutene vreće (50 – 80 kg). Skladištenje se obavlja u silosima ili podnim skladištima, a nehrđajući čelik je materijal koji se u posljednje vrijeme obično koristi za izradu silosa. Kakaova zrna ne bi trebala sadržavati bilo kakve nesvojstvene mirise. Do

pojave plijesni može doći ukoliko zrna imaju više od 8 % vode, stoga se moraju što prije osušiti do vlažnosti ispod 7,5 %. Postoje materijali koji nisu poželjni za korištenje prilikom izrade silosa, jer uzrokuju određene nedostatke, npr. uvlačenje kakaovih moljaca u pukotine ukoliko se koristi drvo kao materijal. Kakaova zrna koja su zaražena kakaovim moljcem moraju biti odvojena od ostalih zrna i potrebno je osigurati privremeno skladištenje takvih zrna. Vreće koje se slažu na palete od poda moraju biti odvojene minimalno 7 cm, a prostor između paleta i zidova mora biti oko 1 m. Nastanak plijesni i napad moljca sprječava se prozračivanjem, koje se provodi za suhog vremena trostrukom izmjenom zraka u 1 sat. Vlažnost mora biti regulirana i iznositi do 75 %, a temperatura do 18 °C. Dezinfekcija se vrši jednom godišnje i tada je potrebno isprazniti skladište (Jozinović, 2012).

2.2.2. Šećeri

Šećer nosi kemijski naziv saharoza, a ekstrahiran je iz šećerne repe ili šećerne trske. Disaharid je kristalnog oblika i slatkog okusa. Pored saharoze u proizvodnji čokolade se mogu koristiti glukoza, fruktoza, šećerni alkoholi i sl. Saharozu kao najvažniji šećer u proizvodnji čokolade sastoji se od monosaharida glukoze i fruktoze. Međutim, zbog sve veće potražnje za niskokaloričnim proizvodima koriste se i drugi zaslađivači (Krüger, 2017). Šećeri koji se dodaju čokoladi doprinose okusu i slatkoći kao i povećanju mase čokolade (Gutiérrez, 2017).

Konzumni šećer, koji je najviše korišten u izradi čokolade može biti kristal ili u prahu, a saharozu kao njegov najzastupljeniji sastojak može apsorbirati vlagu iz zraka i stvarati šećerne aglomerate (Škrabal, 2009).

Tablica 2 Relativni stupanj slatkoće različitih šećera i šećernih alkohola (Krüger, 2017)

| Šećeri | Relativna slatkoća |
|----------|--------------------|
| Saharozu | 1 |
| Fruktoza | 1,1 |
| Glukoza | 0,6 |
| Ksilitol | 1 |
| Maltitol | 0,65 |
| Sorbitol | 0,6 |

Čokolada proizvedena s glukozom se razlikuje od čokolade koja je proizvedena sa saharozom zbog drugačijeg okusa i manjeg intenziteta slatkoće glukoze, a utječe i na temperaturu tališta čokolade i povišenje viskoznosti (Škrabal, 2009).

Fruktoza je voćni šećer (voćni plodovi i med), a također je monosaharid kao i glukoza. Ima veći intenzitet slatkoće od saharoze, što je i vidljivo u **Tablici 2**. Fruktoza se polako apsorbira i pogodna je za proizvodnju čokolade za dijabetičare jer je nakon njenog konzumiranja manji udio šećera u krvi (Krüger, 2017).

Laktoza je disaharid, naziva se još i mliječni šećer, a građena je od molekula glukoze i galaktoze. Proizvodi se izolacijom iz sirutke nakon čega kristalizira u α -laktozu i β -laktozu. Korištenjem laktoze kao šećera u čokoladi utječe se na slatkoću čokolade, a sudionik je i u Maillardovim reakcijama pa ima utjecaj i na aromu čokolade (Krüger, 2017). Saharoza je pet puta slađa od laktoze, a za razliku od fruktoze koja je higroskopna laktoza je nehigroskopna tvar (Škrabal, 2009).

2.2.3. Mlijeko i mliječni proizvodi

Mlijeko u prahu je sirovina koja se najčešće koristi za proizvodnju čokolade, kao i kondenzirano zaslađeno mlijeko, a mlijeko i mliječni proizvodi kao takvi utječu na fizikalna i senzorska svojstva čokolade, te povećavaju nutritivnu vrijednost čokolade (Škrabal, 2009).

Mliječna mast sprječava tzv. cvjetanje masti (izlazak kristala kakaovog maslaca na površinu čokolade), te čokoladi daje jedinstven miris i okus u ustima. Njezinim dodavanjem smanjuju se troškovi, jer se istovremeno smanjuje i potreba za kakaovim maslacem. Mliječna mast u kombinaciji s kakaovim maslacem čini čokoladu mekšom. U sastavu mliječne masti najzastupljeniji su triacilgliceroli kojih ima 98 %, a 2% čine fosfogliceridi, diacilgliceridi te steroli (Gutiérrez, 2017).

Na teksturu čokolade mogu utjecati i mliječni proteini. Kazein u mlijeku ima sposobnost vezanja vode, a djeluje i kao emulgator (Gutiérrez, 2017). Maillardove reakcije su jedan od mehanizama kroz koje mliječni proteini doprinose okusu, a u njima sudjeluju reducirajući šećer i aminokiselina. Tijekom proizvodnje se mora paziti da ne dođe do denaturacije proteina, koja može dovesti do nastanka topline i stvaranja nepoželjne arome po „kuhanom“ (Skytte i Kaylegian, 2017).

Mlijeko u prahu se proizvodi na dva načina i to: sušenjem na valjcima i raspršivanjem, a njihov sastav i svojstva prikazan je u **Tablici 3**.

Tablica 3 Svojstva i sastav mlijeka u prahu (Škrabal, 2009)

| | Obrano mlijeko u prahu-sušeno raspršivanjem | Punomasno mlijeko u prahu | |
|--|---|---------------------------|--------------------|
| | | Sušeno raspršivanjem | Sušeno na valjcima |
| Mliječna mast (%) | 1,0 ± 0,1 | 28,8 ± 0,4 | 29,4 ± 0,4 |
| Slobodna mliječna mast (%) | 0,0 ± 0,1 | 1,6 ± 0,1 | 29,4 ± 0,2 |
| Prividna gustoća (g/cm ³) ¹ | 1,25 ± 0,03 | 1,13 ± 0,05 | 1,16 ± 0,03 |
| Specifična gustoća (g/cm ³) ² | 1,36 ± 0,01 | 1,24 ± 0,01 | 1,26 ± 0,01 |
| Volumen vakuola (mL/100g) ³ | 6,69 | 7,31 | 6,54 |
| Prosječna veličina (μm) ⁴ | 24,0 | 48,2 | 104,7 |
| Laktoza kristalna (%) | 0,0 | 2,3 | 0,5 |

¹zasnovano na raspodjeli u tekućem stanju; ²zasnovano na raspodjeli u plinovitom stanju; ³zasnovano kao razlika između prividne i specifične gustoće; ⁴varijanca distribucije po veličini čestica.

U industriji čokolade koristi se:

- mlijeko u prahu (punomasno) koje ima minimalno 26 % i maksimalno 42 % mliječne masti,
- mlijeko u prahu (djelomično obrano) koje u svom sastavu ima između 1,5 % i 26 % mliječne masti i
- mlijeko u prahu (obrano) s maksimalno 1,5 % mliječne masti (Jozinović, 2012).

Mlijeko koje je podložno mikrobiološkom kvarenju i kod kojeg je otežano miješanje s vodom je mlijeko u prahu proizvedeno sušenjem na valjcima. Također, mlijeko u prahu proizvedeno na ovaj način sadrži velik postotak slobodne mliječne masti. Slobodna mliječna mast snižava viskoznost čokolade. Postupkom raspršivanja dobiva se mlijeko u prahu koje se bolje otapa u vodi, ima bolju sposobnost homogenizacije i stabilnije je prema procesima kvarenja. Ovaj

način dobivanja je puno jeftiniji u odnosu na proizvodnju mlijeka u prahu sušenjem na valjcima (Jozinović, 2012).

Uparavanje je proces uklanjanja dijela vode kojim se uz dodatak šećera proizvodi kondenzirano zaslađeno mlijeko, koje se može koristiti u proizvodnji čokolade. Trajnost kondenziranog mlijeka može se produžiti dodatkom šećera, a time će se povećati i ukupna suha tvar kao i usporiti kristalizaciju slabo topljive laktoze. U zaslađenom kondenziranom mlijeku nalazi se 43 % saharoze i do 85 % mliječne masti, a pored njega u izradi čokoladne mase dozvoljeno je koristiti i nezaslađeno kondenzirano mlijeko (Jozinović, 2012).

Sirutka je proizvod koji se zbog svoje cijene koristi u proizvodnji čokolade i za razliku od kazeina ima manji učinak na okus samog proizvoda. Kazein u usporedbi sa sirutkom koja je ostala prilikom proizvodnje sira ima veći udio mineralnih tvari (Skytte i Kaylegian 2017).

2.2.4. Zamjenske masti

Kao izvor masti u industriji čokolade učestalo se koriste i zamjenske masti u udjelu do 5 %. U usporedbi s kakaovim maslacem imaju nižu cijenu te smanjuju troškove proizvodnje (Ačkar, 2013).

Razlikuju se:

- temperirajuće i
- netemperirajuće masti.

Temperirajuće masti u proizvodnji čokolade podliježu istom režimu temperiranja kao kakaov maslac, jer sadrže sličan sastav triglicerida. U ovu skupinu zamjenskih masti ubrajaju se kakaov maslac ekvivalenti (*Cocoa Butter Equivalents*, CBE's) i kakaov maslac poboljšivači (*Cocoa Butter Improvers*, CBI's). U ovu skupinu se ubrajaju nelaurinske biljne masti sa sličnim svojstvima kao kakaov maslac i s njim se miješaju ne mijenjajući njegov sastav (Škrabal, 2009).

Netemperirajuće masti uključuju kakaov maslac zamjene (*Cocoa Butter Replacers*, CBR's) i kakaov maslac nadomjestke (*Cocoa Butter Substitutes*, CBS's). U čokoladi se slično ponašaju kao kakaov maslac, iako imaju različit sastav triglicerida (Minifie, 1989). Tijekom kristalizacije nastaje željeni stabilni oblik kristala, stoga ne moraju ići na postupak temperiranja. Hidrogenacijom ulja (npr. iz soje) se najčešće dobivaju ove masti (Norberg, 2006).

Palmino ulje zbog svoje jarke narančasto-crvene boje naziva se još i uljem crvene palme. Bogat je izvor sterola, flavonoida i antioksidanasa, a pronalazi ga se i u sastavu dobro poznatog čokoladnog namaza zvanog Nutella. Kako bi se produljio rok trajanja ovakvom ulju podvrgava ga se procesu hidrogenacije (web izvor 1).

Glavne masne kiseline supalmitinska, oleinska i linolna. Palm-olein i palm-stearin su najvažniji derivati palminog ulja, a daljnjim frakcioniranjem iz ova dva derivata mogu nastati različiti derivati koji mogu u proizvodnji poslužiti kao CBE's (Talbot, 2017).

Kokosovo ulje ima široku primjenu, a na tržištu se može pronaći ulje s mirisom kokosa, ulje bez mirisa te ekstra djevičansko kokosovo ulje koje je najviše kvalitete (**Slika 2**). Dobiva se iz kokosovog oraha tako što se meso kokosovog oraha suši te se prerađuje kroz razne procese dok se na kraju ne dobije čisto, visoko kvalitetno kokosovo ulje (web izvor 2).



Slika 2 Ekstra djevičansko kokosovo ulje (web izvor 3)

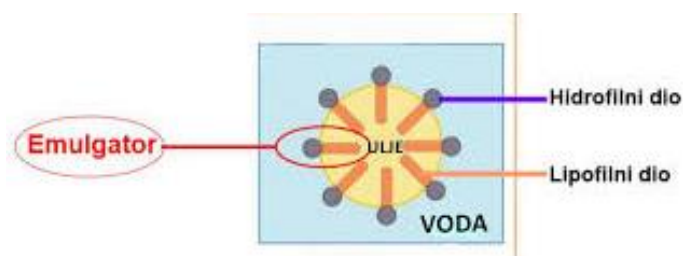
Kokosova mast je na nižim temperaturama u čvrstom stanju, a ima je u raznovrsnim proizvodima konditorske industrije zbog svoje niske temperature tališta koja je ispod 30 °C. Zbog laurinske kiseline koja joj je glavni sastojak (**Tablica 4**) spada u skupinu laurinskih ulja i ima velik udio zasićenih masnih kiselina (preko 90 %) (O'Brien, 2004).

Tablica 4 Sastav palmine i kokosove masti (O'Brien, 2004)

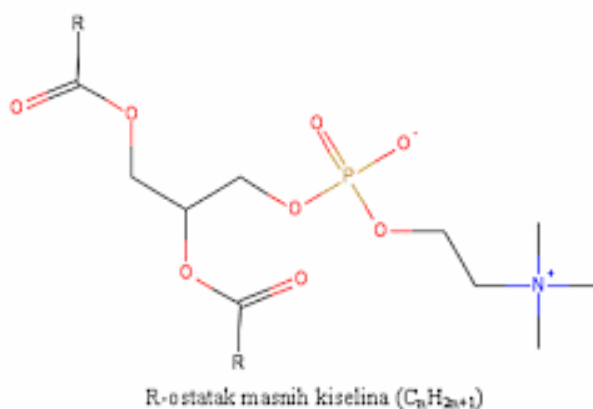
| | Palmina mast (%) | Kokosova mast (%) |
|----------------------------|------------------|-------------------|
| Masna kiselina | | |
| Kaprilna | - | 7,8 |
| Dekanska | - | 6,7 |
| Laurinska | 0,2 | 47,5 |
| Miristinska | 1,1 | 18,1 |
| Palmitinska | 44,0 | 8,8 |
| Stearinska | 4,5 | 2,6 |
| Oleinska | 39,2 | 6,2 |
| Linolna | 10,1 | 1,6 |
| Sastav triglicerida | | |
| Trizasićeni | 10,2 | 84,0 |
| Dizasićeni | 48,0 | 12,0 |
| Monozasićeni | 34,6 | 4,0 |
| Trinezasićeni | 6,8 | 0 |

2.2.5. Emulgatori

Površinski aktivne tvari koje imaju mogućnost tvorbe stabilnih emulzija u sustavima ulje/voda ili voda/ulje i snižavanje napetosti površina između dvije faze koje nemaju isti kemijski sastav nazivaju se emulgatori. Takve tvari djeluju u smjeru postizanja stabilnih homogenih sustava i reguliranja njihovih reoloških svojstava. Njihova upotreba se kreće u koncentracijama od 0,1 do 1 %. Emulgatori se dijele na: prirodne (lecitin) i sintetske, koji uključuju PGPR i citrem (Jozinović, 2012). Emulgatori imaju utjecaj na viskoznost čokolade kao i na kristalizaciju masti, a mogu biti i inhibitori sivljenja čokolade (Weyland i Hartel, 2008). Sastoje se od hidrofilnog i lipofilnog dijela (**Slika 3**). Osim podjele na prirodne i sintetske dijele se još i na: neionske, anionske, kao i na amfoterne i kationske. Jedan od amfoternih emulgatora je lecitin koji se najviše koristi u proizvodnji čokolade (Škrabal, 2009).

**Slika 3** Položaj emulgatora u emulziji ulja u vodi (Jozinović, 2012)

Komercijalna proizvodnja lecitina prikazanog na **Slici 4** je iz soje, suncokreta ili žumanjka jajeta. Svojim hidrofilnim dijelom se priljubljuje na vodu koja se nalazi na površini čestica, a lipofilnim dijelom se orijentira prema disperznoj „masnoj“ sredini. Ovaj emulgator svoje najjače djelovanje pokazuje kada je jedan dio dodan nakon suhog končiranja, a drugi dio pri kraju mokrog končiranja. Koristi se i kao sredstvo za produženje trajnosti pekarskih proizvoda, jer ima mogućnost sa škrobom tvoriti kompleks koji je pogodan za takvu vrstu proizvoda. Lecitin koji je iznimno higroskopan i podložan oksidativnom kvarenju je tekući lecitin, pa se iz tog razloga sirovom lecitinu dodaje sojino ulje. Čokoladama se dodaje od 0,3 do 0,5 % lecitina. Jedna od prednosti lecitina u prahu u odnosu na tekući lecitin je bolja disperzija u vodi, kao i veći postotak aktivne tvari (Jozinović, 2012).



Slika 4 Strukturalna formula lecitina (Jozinović, 2012)

Poliglicerol poliricinoleat (PGPR) je emulgator koji se također može koristiti u proizvodnji čokolade. Pri 25 °C se nalazi u tekućem stanju i viskozno je karaktera. Odlikuje ga netopljivost u hladnoj vodi i topljivost u mastima i uljima. Ukoliko se želi sniziti vrijednosti granice tečenja, čokoladnoj masi se dodaje PGPR, a najčešće se koristi u kombinaciji s lecitinom (Jozinović, 2012).

Citrem je emulgator koji se proizvodi esterifikacijom glicerola limunskom kiselinom i jestivim masnim kiselinama. Suncokretovo ulje je osnovna polazna sirovina koja se koristi za proizvodnju ovog emulgatora. Njegove glavne karakteristike su učinkovito snižavanje vrijednosti plastične viskoznosti i granice tečenja čokoladnih masa. Pri temperaturama iznad 20 °C pokazuje sličnost sojinom lecitinu i može se koristiti kao njegova zamjena (Jozinović, 2012).

Vrlo je važno voditi računa o tome u kojem trenutku tijekom proizvodnje se dodaje emulgator. Ukoliko se lecitin dodaje na kraju procesa on smanjuje viskoznost mnogo više nego ako se doda na početku procesa. Međutim, lecitin nije poželjno ni prerano dodati u masu, a isto tako nije poželjno izlagati ga povišenim temperaturama jer one negativno djeluju na učinkovitost lecitina (Beckett i sur., 2017).

2.2.6. Arome

U svrhu postizanja ili dopune mirisa i/ili okusa čokolade kao i ostalih prehrambenih proizvoda, dodaju se aromatične tvari ili arome koje imaju vrlo koncentriran miris i okus te doprinose poboljšanju istih.

Podjela aromatičnih tvari prema podrijetlu je na:

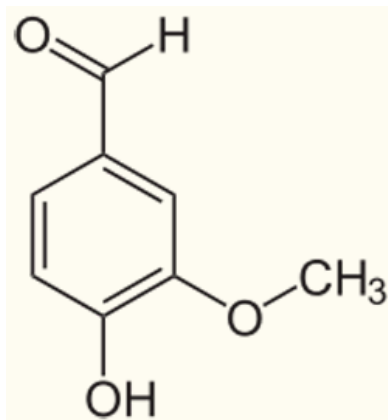
- prirodne aromatične tvari,
- prirodno-identične aromatične tvari i
- umjetne aromatične tvari (Jozinović, 2012).

U skupinu prirodnih aromatičnih tvari spadaju eterska ulja i prirodne arome. Eterska ulja pronalaze se u sastavu aromatičnih biljaka, a mogu se naći i u voću, začinima i mirisnim travama, npr. ulje metvice, limunovo i eukaliptusovo ulje. Destilacija vodenom parom, ekstrakcija odgovarajućim otapalom ili prešanje samo su neki od postupaka kojim se dobivaju, kao i otapanje eterskog ulja ili sastojka eterskog ulja u etanolu. Imaju baktericidno i ljekovito djelovanje, a terpeni su njihov glavni sastojak (Jozinović, 2012).

Aromatične tvari su osjetljive na atmosferilije poput svjetlosti, topline, kisika i utjecaja metala, a vrlo lako podliježu autooksidaciji i kvarenju. Skladište se u tamnim staklenim bocama s brušenim čepom, na tamnom, suhom i hladnom mjestu, dok se sam transport odvija u aluminijskoj ambalaži (Jozinović, 2012)

Slika 5 prikazuje vanilin, spoj koji se dobiva sintezom iz eugelona i gvajakola i prirodno je identična aromatična tvar. Eugelon je sastojak eteričnog ulja karanfilčića, a gvajakol je sastojak smole tropskog drveta. Može se dobiti i iz lignina. Koristi se za aromatiziranje u prehrambenoj industriji pića, te u kozmetičkoj industriji, a prepoznatljiv je po svom karakterističnom mirisu, kao i po svojstvu topljivosti u etanolu (Jozinović, 2012).

Spoj kojemu je miris za 2 do 4 puta intenzivniji od vanilina je etil-vanilin koji je umjetna aromatična tvar. Isto kao i vanilin topljiv je u etanolu te u eteru i glicerolu, ali je slabo topljiv u vodi (Jozinović, 2012).



Slika 5 Strukturna formula vanilina (web izvor 4)

2.3. TEHNOLOŠKI POSTUPAK PROIZVODNJE ČOKOLADE

Kvaliteta kakaovih zrna koja se koriste u preradi čokolade je presudna za prihvatljivost i stavljanje gotovih proizvoda na tržište, stoga proizvođači čokolade moraju strogo slijediti skup smjernica i kriterija proizvodnje kako bi održali lojalnost potrošača i kupaca prema svojim proizvodima (Afoakwa, 2016). Da bi se napravila kvalitetna čokolada, kakaova zrna ne smiju sadržavati neuobičajene okuse poput pljesnivog okusa, zrna ne smiju biti kisela ili gorka, trebaju biti ujednačene veličine i prosječne težine oko 1 g, te se moraju dobro fermentirati i pravilno osušiti (Afoakwa, 2016).

Kakaova masa, kakaov maslac, kakaov prah, kakaov lom, šećer, mliječne prerađevine, emulgatori, arome i drugi dodaci su osnovne sirovine za izradu čokoladne mase, te sama priprema zamjesa uključuje dodavanje i miješanje navedenih sirovina. Prvo se dodaje kakaova masa, zatim kakaov maslac (3/4 ili 2/3, a preostala količina tijekom končiranja), šećer u prahu i mlijeko u prahu (koje se dodaje samo za mliječne čokolade). Ako nije dodano dovoljno kakaovog maslaca, doći će do lijepljenja mase na valjke i masa se neće pravilno razvlačiti tijekom valcanja (Ačkar, 2013).

Miješanje sastojaka tijekom proizvodnje čokolade je temeljna operacija i provodi se primjenom određenih temperaturnih kombinacija u kontinuiranim ili šaržnim miješalicama kako bi se dobila konstantna konzistencija formulacije (Afoakwa, 2016).

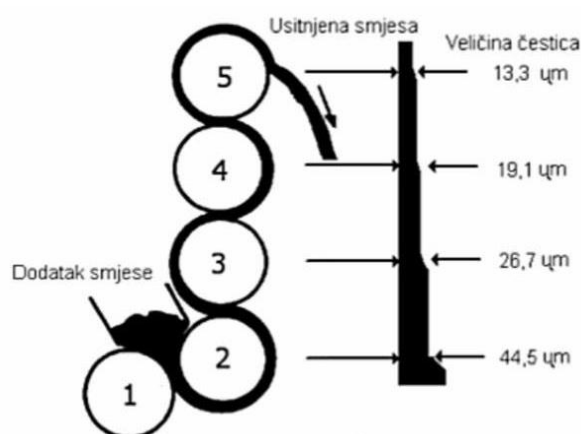
Nakon miješanja slijedi postupak valcanja tj. usitnjavanja krutih čestica. Taj proces je važan za postizanje glatke strukture samog proizvoda i osim utjecaja na veličinu čestica i raspadanje aglomerata utječe i na distribuciju istih kroz neprekidnu fazu (Afoakwa, 2016).

Čokoladna masa poslije miješanja ima grubu pjeskovitu strukturu, ali nakon valcanja takva struktura se više ne osjeti. Proizvod je glatke teksture odnosno potpune topljivosti i punoće okusa. Prije samog postupka valcanja koji se odvija na petovaljcima moguće je provesti i predvalcanje na dvovaljcima za dobivanje finije strukture (Ačkar, 2013).

Petovaljci su mlinovi okomitog niza s četiri šuplja cilindra, a temperature su kontrolirane unutarnjim protokom vode, a zajedno se drže hidrauličkim tlakom (Afoakwa, 2016). Donji valjak se kreće najmanjom brzinom, dok svaki sljedeći valjak ima veću brzinu okretaja (Babić, 2016).

Jedan od važnijih faktora je temperatura valjka, jer ukoliko nije dobra tijekom procesa proizvodnje čokolade može doći do različitih nedostataka poput lijepljenja i otežanog skidanja mase. Temperatura prvog i petog valjka treba biti 25 °C, drugog i trećeg 35 °C, a četvrtog do 40 °C (**Slika 6**) (Ačkar, 2013).

Usitnjavanjem čestica i dugotrajnijim miješanjem smanjuje se površina pojedinih čestica, ali se povećava ukupna površina čestica (Babić, 2016).



Slika 6 Prikaz petovaljka (Ačkar, 2013)

Postupak koji ima bitan utjecaj na viskoznost čokolade naziva se končiranje. Tijekom tog procesa proizvodnje razvija se željena i prepoznatljiva aroma čokolade, a tekstura izvalcane mase prelazi iz praškaste u tekuću, kao što je prikazano na **Slici 7** (Beckett, 2008).

Končiranje se provodi miješanjem čokolade na temperaturama iznad 50 °C. U ranoj fazi dolazi do smanjenja udjela vlage i nestanka nepoželjnih okusa, hlapljivih tvari poput octene kiseline i pospješuju se međusobne interakcije između disperzne i kontinuirane faze. Končiranje čokoladi daje djelomično karamelizirani okus (Afoakwa, 2016).

Fizikalni i kemijski procesi koji se javljaju tijekom procesa končiranja su:

- Razvijanje karakteristične čokoladne arome;
- Snižavanje vrijednosti viskoznosti;
- Dobiva se masa koja je više homogena;
- Utječe se na veličinu čestica, tj. dolazi do smanjenja veličine krutih čestica;
- Snižavaju se vrijednosti nepoželjnih karakteristika čokolade (vlažnost, kiselost i trpkost).

Sve navedene fizikalne i kemijske promjene posljedica su istodobnog djelovanja topline, miješanja i kontakta sa zrakom (Babić, 2016).



Slika 7 Tekuća homogena čokoladna masa (web izvor 5)

Za razliku od tamnih čokolada, mliječne čokolade se končiraju na temperaturi do 60 °C i kraće vrijeme. Razlog tome je mogućnost degradacije tvari iz mlijeka, naročito proteina. Preostala količina kakaovog maslaca dodaje se u ovoj fazi proizvodnje čokolade, a pri samom kraju končiranja, kada je čokoladna masa dostigla temperaturu od 50 °C dodaju se i emulgatori, arome i drugi dodaci po želji (Babić, 2016).

Proces končiranja sastoji se od sljedećih faza:

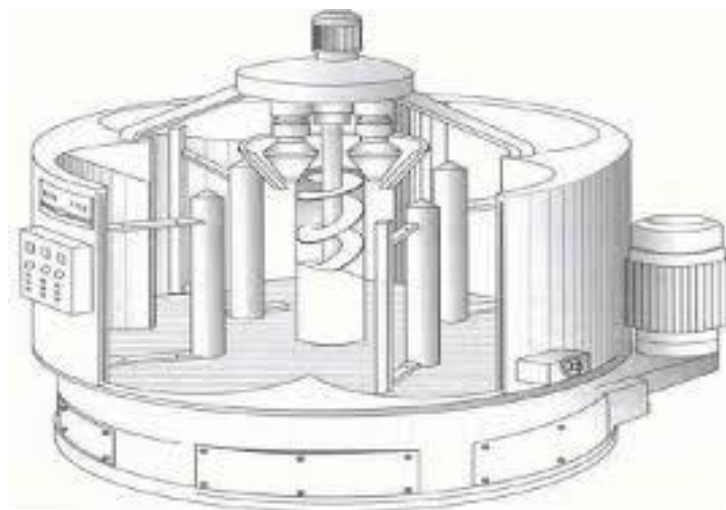
1. faza suhog končiranja,
2. pastozna faza i
3. faza mokrog končiranja.

Za prvu fazu karakteristično je da masa još uvijek ima praškastu konzistenciju te sadrži višak vode. U ovoj fazi končiranja treba doći do otparavanja navedenog viška vlažnosti (vode) i razvijanja topline trenjem. Vrijeme trajanja suhog končiranja je i do 4 h, a masa poprima pastozni oblik. Viskoznost čokolade se smanjuje (Škrabal, 2009).

Promjene koje se događaju tijekom druge faze končiranja – pastozne faze su: homogenizacija smjese i stvaranje stabilnog sloja masti na česticama bezmasne suhe tvari, jer još uvijek dolazi do smanjenja količine vode kao i u fazi suhog končiranja. Temperatura je konstantna (Ačkar, 2013).

Temperatura od 50 °C, kao i radne operacije poput dodatka preostale količine kakaovog maslaca, aroma i emulgatora, osobine su koje odlikuju posljednju fazu končiranja zvanu mokro končiranje (Beckett, 2008).

Konče su uređaji koji se koriste tijekom procesa končiranja. **Slika 8** prikazuje Clover konču. Njen kapacitet je 3 – 6 t, a sastoji se od vanjske posude sa dvostrukim stjenkama i četiri odjeljka s miješalicom i elementima za skidanje mase sa stjenki. Unutarnja ljevjkasta posuda ima tri rotirajuća stošca (Ačkar, 2012).



Slika 8 Clover konča (Goldoni, 2004)

Za usitnjavanje tvrdih materijala koriste se kuglični mlinovi (**Slika 9**) sa čeličnim ili keramičkim valjkom u kojem se nalaze spomenute kuglice. On se sporo rotira i kuglice padaju i drobe materijal, a u isto vrijeme ga i miješaju. Ako se materijal želi brzo usitniti do koloidne finoće od 1 μm i manje koriste se upravo kuglični mlinovi u proizvodnji čokolade. Visoka energija mljevenja ovakvih mlinova uzrokovana je centrifugalnim djelovanjem (web izvor 6).

Unutar dvostrukih stjenki spremnika nalazi se vruća voda. Vruća voda služi za zagrijavanje materijala u mlinu. Razlog sve veće upotrebe kugličnih mlinova u industriji čokolade leži u tome da u odnosu na ostale uređaje ovakav tip mlina smanjuje troškove energije koji su potrebni za sam proces proizvodnje. Vrijeme trajanja procesa također je dosta kraće. Na viskoznost proizvoda direktno utječu brzina i vrijeme okretanja lopatica koje se nalaze u kugličnom mlinu. Mogućnost manipuliranja veličinom i distribucijom čestica samo su neke od prednosti kugličnog mlina. Tu se ubrajaju još i kontrola brzine rotacije miješalice, temperatura, kao i broj kuglica. Temperatura se kontrolira uz pomoć termoregulatora, da ne bi došlo do oštećenja proizvoda toplinom. Otežano uklanjanje vlage i neželjenih hlapljivih tvari ubrajaju se u nedostatke kugličnog mlina (Jurašinović, 2019).



Slika 9 Prikaz kugličnog mlina korištenog pri eksperimentalnoj izradi ovog diplomskog rada. Kristalizacija kakaovog maslaca ogleda se kroz šest kristalografskih oblika – od I do VI ili od γ do β . Temperature taljenja se povećavaju prema višem broju kristalnog oblika, a svaki od oblika ima svoju određenu temperaturu taljenja, pa tako oblik I ima najnižu, a oblik VI najvišu temperaturu taljenja i ona iznosi 34– 36 °C (Babić, 2016).

Temperiranjem se nastoji stvoriti stabilne β -oblike kristala, a ukoliko se želi proizvesti kvalitetna čokoladu kakva je prikazana na **Slici 10**, temperiranje treba biti jedan od ključnih koraka o kojem će se voditi briga. Kako bi se uspio dobiti takav kvalitetan i poželjan proizvod

čokoladnu masu je potrebno čuvati u posebnim spremnicima i neprestano miješati (Beckett, 2008).

Ciljevi temperiranja uključuju:

- olakšano oblikovanje čokolade,
- što stabilniju čokoladu,
- ujednačenu sitno – zrnatu strukturu čokolade i
- poželjne karakteristike čokolade poput dobrog loma, tvrdoće i sjaja čokolade.

Svi ovi navedeni ciljevi se postižu nastankom stabilnih β -oblika kristala kakaovog maslaca. Stabilna čokolada je netopljiva na temperaturi skladištenja tj. na sobnoj temperaturi (Babić, 2016).

Tablica 5 Kristalografski oblici kakaovog maslaca (Babić, 2016)

| Oblik | Tip | Latentna toplina (kJ/g) | Točka taljenja (°C) |
|----------|-----|-------------------------|---------------------|
| γ | I | - | 17,3 |
| α | II | 86 | 23,3 |
| β' | III | 113 | 25,5 |
| β' | IV | 118 | 27,3 |
| β | V | 137 | 33,8 |
| β | VI | 148 | 36,3 |

Na temperiranje dolazi čokoladna masa temperature oko 45 °C. Slijedi hlađenje uz miješanje na 27– 29 °C jer na toj temperaturi nastaju stabilni oblici kristala poput V i VI oblika. Stabilni oblici nastaju i pri 32 °C, ali znatno sporije. Masa se mora nakon faze hlađenja zagrijati na temperaturu od 32 °C kako bi se otopili nestabilni oblici. Stabilni oblici se otapaju tek iznad 33 °C. Tijekom temperiranja nastaju centri kristalizacije stabilnih oblika. Preostali dio kakaovog maslaca kristalizira nakon lijevanja u kalupe i hlađenja. Udio stabilnih kristalnih centara kakaovog maslaca kreće se od 1 do 4 % (Babić, 2016).

Nepravilno temperiranje uzrokuje nastanak nestabilnih kristalnih oblika, čokolada nema sjaj, mekana je, neprimjerene je boje i moguć je nastanak sivog sloja masti na površini koji se naziva cvjetanje masti. Optimalno vrijeme temperiranja za mase koje se koriste za proizvodnju

čokolade trebalo bi biti između 10 i 12 min. Nešto više vremena (20 – 360 min) utroši se za mase koje se koriste za prevlačenje korpusa tj. kod pripreme različitih deserata. Kako bi se postigla homogena raspodjela kristala u masi izuzetno je važno miješanje tijekom procesa temperiranja, jer nedovoljnim miješanjem dolazi do nepoželjnih reakcija (Babić, 2016).



Slika 10 Pravilno temperirana čokolada

Za izlivanje čokoladne mase nakon procesa temperiranja koriste se kalupi od plastike. Temperatura takvih kalupa trebala bi biti između 27 – 29 °C, tj. nešto niža od temperature temperirane čokolade.

Do pojave „sivljenja“ površine čokolade, odnosno kristalizacije manje stabilnih kristala doći će ukoliko je temperatura kalupa niža za više od 5 °C od čokoladne mase. Kalupi se poslije punjenja podvrgavaju mehaničkim procesima trešnje ili vibracije kako bi se što ravnomjernije ispunili i istisnuli eventualno prisutni mjehurići zraka. Tunelski hladnjaci temperature 6 do 12 °C su jednostavne konstrukcije i služe za hlađenje čokoladne mase. Čokolada se u takvim hladnjacima zadržava od 15 do 30 min. Temperatura skladištenja čokolada i proizvoda sličnih čokoladi je 18– 20 °C pri vlažnosti manjoj od 50 % (Babić, 2016).

2.4. REOLOŠKA SVOJSTVA ČOKOLADE

2.4.1. Reologija i podjela tekućina

Reologija kao znanstvena disciplina svoju primjenu je pronašla u raznim proizvodnjama, a za prehrambenu industriju predstavlja poseban značaj zbog specifičnih svojstava koje imaju prehrambeni proizvodi i polupreradevine (Moslavac, 2019).

Plastičnost, elastičnost i viskoznost su bitna reološka svojstva. Prve dvije se ubrajaju u svojstva krutih materijala, dok je viskoznost odlika tekućih materijala i na osnovu nje postoji podjela na newtonovske i nenevtonovske tekućine (Škrabal, 2009).

Viskoznost nastaje strujanjem fluida uslijed kojeg se razvija trenje zbog neujednačenih brzina gibanja slojeva fluida (Pichler, 2017). Viskoznost čokolade kontrolira se dodatkom kakaovog maslaca i modifikatora viskoznosti tj. emulgatora (površinski aktivne tvari poput sojinog lecitina) (Afoakwa, 2016).

Stacionarne, nestacionarne i maxwellove tekućine se ubrajaju u skupinu nenevtonovskih tekućina, a njihovo gibanje može se nazvati još i plastično strujanje.

Viskoznost se izražava Newtonovim zakonom uz pomoć matematičkog izraza (1):

$$\tau = \mu \cdot \left(\frac{du}{dy}\right) = \mu \cdot D \quad (1)$$

gdje je: τ = smično naprezanje (Pa); μ = koeficijent viskoznosti (Pas); D = brzina smicanja (s^{-1}) (Škrabal, 2009).

2.4.2. Reološka svojstva čokolade

Reološka svojstva čokolade su jedna od najvažnijih svojstava. Dobre čokolade imaju relativno nisku viskoznost. Konzumiranjem takvih čokolada u ustima dolazi do osjećaja finog otapanja i lagane konzistencije čokolade. Relativno visoke vrijednosti viskoznosti imaju „manje“ dobre čokolade. One se teško otapaju, a može doći i do lijepljenja u ustima tijekom konzumacije (Babić, 2012).

Čokolada pokazuje nenevtonovska svojstva tečenja i ne ponaša se kao prava tekućina, zbog prisutnosti čvrstih čestica u rastaljenom stanju. Pripada binghamovskim tekućinama, a kod takvih tekućina da bi došlo do tečenja mora se primijeniti određena sila (Chevalley, 1994).

Tek kada se postigne tzv. prag naprezanja dolazi do tečenja tekućine. Do pada viskoznosti dolazi kako raste brzina smicanja. Već je spomenuto da se kod nenevtonovskih tekućina viskoznost mijenja kako se mijenja brzina smicanja što znači da je riječ o prividnoj viskoznosti (Pichler, 2017).

Bingham je definirao plastično ponašanje izrazom (2):

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma} + \tau_0 \quad (2)$$

gdje je: τ = smično naprezanje (Pa); K = koeficijent konzistencije ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$); $\dot{\gamma}$ = gradijent brzine smicanja između dvije plohe ili brzina smicanja (s^{-1}) i τ_0 = prag naprezanja (Pa).

Mliječni proteini u čokoladi doprinose njenoj kremastoj teksturi, kazein ima svojstvo surfaktanta i utječe na smanjenje viskoznosti čokolade (Afoakwa, 2016).

Iako imaju isti udio čvrstih tvari, suspenzija šećer-kakaov maslac ima značajno višu viskoznost od viskoznosti suspenzije kakaove čestice-kakaov maslac. Do porasta viskoznosti dolazi ako kakaov maslac ne može obaviti sve čestice šećera, odnosno ukoliko je njihov udio velik (Škrabal, 2009).

Kakaov maslac tvori kontinuiranu fazu suspenzije smanjujući njezinu viskoznost (Chevalley, 1994). Udaljenost između krutih čestica se povećava smanjenjem udjela masti. Takva pojava je zaslužna za pad viskoznosti čokolade (Beckett i sur., 2017).

Utjecaj veličine čestica na reološka svojstva čokolade

Tijekom proizvodnje postoje određene osobine čokolade koje je potrebno izbjeći kako bi se na kraju dobio kvalitetan proizvod zvan „dobra“ čokolada. Jedno od tih nepoželjnih svojstava je zrnatost čokolade koja se osjeti u ustima prilikom konzumacije, a uzrokuju je čvrste čestice koje je potrebno usitniti. Usitnjavanjem šećera, tj. njegovim razbijanjem (više puta) stvara se veća ukupna površina čestica koja mora biti obložena mastima (Beckett i sur., 2017).

Operacijom mljevenja u industriji može se proizvesti previše finih čestica te čokolada može imati visoku granicu tečenja, a istovremeno neznatno povišenu plastičnu viskoznost. Tada je potrebno istražiti veličinu čestica, a upotrebom emulgatora suzbiti visoku granicu tečenja (Beckett i sur., 2017).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Cilj ovog diplomskog rada bio je ispitati utjecaj vremena miješanja u kugličnom mlinu na svojstva tamne i mliječne čokolade određivanjem sljedećih parametara: boje, tvrdoće, veličine čestica i viskoznosti.

3.2. MATERIJALI

Za potrebe provođenja istraživanja korišteni su sljedeći materijali:

- kakaova masa, tvrtka DGF, Francuska; na tržište stavlja tvrtka Gourmandise, Hrvatska;
- kakaov maslac, tvrtka DGF, Francuska; na tržište stavlja tvrtka Gourmandise, Hrvatska;
- šećer u prahu, tvrtka Gourmandise;
- mlijeko u prahu, tvrtka Dukat, Hrvatska;
- tekući sojin lecitin, tvrtka Azelis Croatia d.o.o., Hrvatska;
- vanilin, tvrtka Acros organics, Belgija.

3.3. METODE

3.3.1. Izrada čokolade

Za izradu svih čokolada korišten je kuglični mlin (**Slika 9**), koji je proizveden u suradnji Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek i D&D metal Osijek. Uvjeti u kugličnom mlinu pod kojima se odvijala proizvodnja čokolada su:

- temperatura vodene kupelji: 55 °C,
- brzina okretaja: 60 o/min,
- količina kuglica: za tamnu čokoladu 2,5 kg kuglica, a za mliječnu čokoladu 3 kg kuglica.

Tablica 6 Recepture tamnih i mliječnih čokolada

| Uzorak | Kakaova masa (%) | Kakaov maslac (%) | Šećer u prahu (%) | Mlijeko u prahu (%) | Vrijeme miješanja (h) |
|--------|------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|
| 1 | 36 | 21,47 | 42 | - | 3 |
| 2 | 36 | 21,47 | 42 | - | 4 |
| 3 | 36 | 21,47 | 42 | - | 5 |
| 4 | 12 | 22 | 45 | 20,47 | 3 |
| 5 | 12 | 22 | 45 | 20,47 | 4 |
| 6 | 12 | 22 | 45 | 20,47 | 5 |

*sve čokolade su pripravljene na bazi 500 g smjese i kod svih čokoladnih masa korišteno je 0,5 % lecitina i 0,03 % vanilina.

Nakon miješanja u kugličnom mlinu provedeno je temperiranje, kalupljenje i hlađenje (8 °C) čokolada. Uzorci su čuvani na sobnoj temperaturi do provedbe analiza. Proces temperiranja je proveden ručno te je mjeren temperindeks (Solich Tempermetar E3). Vrijednosti mjerenog temperindeksa bile su u rasponu 4 – 7. Protresanje na vibracijskom stolu je provedeno nakon temperiranja radi ravnomjerne raspodjele čokoladne mase u plastičnim kalupima.

3.3.2. Određivanje boje uzoraka čokolade

Svim izrađenim čokoladama određivana je boja korištenjem uređaja kromametar Konica Minolta CR-400 prikazanog na **Slici 11** koji je kalibriran pomoću bijele kalibracijske pločice. Mjerenje se odvijalo u sustavu L*Ch i CIEL*a*b*. Mjerenje se obavljalo u pet paralela na svakom od uzoraka čokolade, te su određene standardna devijacija i srednja vrijednost. Sva mjerenja boje vršila su se odmah nakon hlađenja čokolade te nakon 24 h, 48 h i tjedan dana nakon što su čokolade izrađene.



Slika 11 Kromametar Konica Minolta CR-400 (Jozinović, 2015)

Ukupna promjena boje (ΔE) računata je prema izrazu (3):

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (b - b_0)^2 + (a - a_0)^2} \quad (3)$$

Oznake L_0 , a_0 i b_0 predstavljaju vrijednosti boje za mjerenja uzoraka čokolade odmah nakon hlađenja. Nakon mjerenja kromametrom dobiveni su sljedeći parametri:

- L^* - svjetlina; ako je 0 radi se o crnoj boji; ako je 100 radi se o bijeloj boji;
- a^* - u domeni crvene boje su pozitivne vrijednosti, a u domeni zelene boje su negativne vrijednosti;
- b^* - u domeni žute boje su pozitivne vrijednosti, a u domeni plave boje su negativne vrijednosti;
- h° - ton boje;
- C - zasićenje boje.

Određen je i indeks bjeline (*whiteness index*, WI) prema izrazu (4):

$$WI = 100 - [(100 - L)^2 + a^2 + b^2]^{0,5} \quad (4)$$

3.3.3. Određivanje teksture

Na **Slici 12** je prikazan uređaj koji je korišten za određivanje tvrdoće čokolada koje su izrađene u svrhu izrade ovog diplomskog rada. Analizator se sastoji od radne platforme i sonde, a mjerenjem sile (g), koja je potrebna za prelamanje uzorka uz pomoć noža, određivala se tvrdoća. Uzorci su se podvrgavali kompresiji na radnoj platformi, a mjerenje je provedeno u pet ponavljanja iz čega je izračunata srednja vrijednost i standardna devijacija. Uvjeti kojima

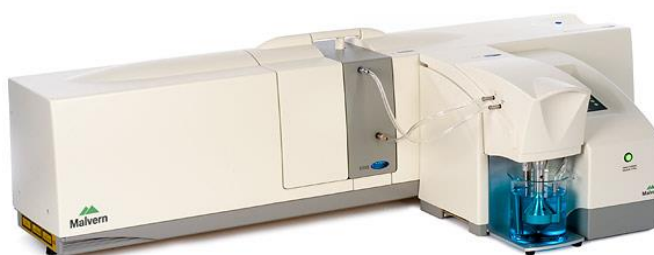
su uzorci podvrgnuti tijekom kompresije su: put noža (5,0 mm) i brzina noža tijekom mjerenja (3,0 mm/s).



Slika 12 Određivanje tvrdoće čokolade na analizatoru TA.XT Texture Analyser

3.3.4. Određivanje veličine čestica

Veličina čestica je određena metodom laserske detekcije uz pomoć uređaja Mastersizer 2000 (Malvern Instruments, Ujedinjeno Kraljevstvo) (**Slika 13**). Čestice čokolade dispergirane su u suncokretovom ulju. Prolazeći kroz snop svjetlosti u takvom uzorku dolazi do raspršenja svjetlosti. Rezultati su prikazani kao volumna raspodjela čestica (%), a veličina čestica je izražena u mikrometrima.



Slika 13 Uređaj za određivanje veličine čestica Mastersizer 2000 (web izvor 7)

3.3.5. Mjerenje viskoznosti

Slika 14 prikazuje uređaj koji je korišten za mjerenje viskoznosti čokolada RheoStress 600 (Haake, Njemačka), pri temperaturi 40 °C i s ukupnim trajanjem analize 7 minuta. Brzina smicanja u početnoj fazi se povećavala od 0 s⁻¹ do 60 s⁻¹, a u četvrtoj minuti je bila konstantna 60 s⁻¹. Do smanjenja od 60 s⁻¹ do 0 s⁻¹ došlo je u posljednje tri minute. Dobiveni su izrazi za Casson-ovu granicu tečenja (Pa) i Casson-ovu plastičnu viskoznost (Pas).



Slika 14 Uređaj za mjerenje viskoznosti RheoStress 600 (web izvor 8)

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. BOJA TAMNE I MLIJEČNE ČOKOLADE

Mjerenjem boje čokolada određene su promjene koje su nastale na površini čokolada u periodu od tjedan dana. Svi rezultati prikazani su u **Tablici 7**. Iz izraza **3** i **4** izračunati su podaci za ukupnu promjenu boje (ΔE), odnosno indeks bjeline (WI).

Tablica 7 Utjecaj vremena miješanja na boju tamne i mliječne čokolade

| Uzorak | L* | a* | b* | C | h° | ΔE | WI |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| 1, 0 h | 30,65 ± 0,27 | 7,86 ± 0,09 | 7,56 ± 0,23 | 10,91 ± 0,19 | 43,89 ± 0,74 | | 29,80 ± 0,23 |
| 1, 24 h | 28,95 ± 1,09 | 7,33 ± 0,34 | 6,75 ± 0,63 | 9,97 ± 0,66 | 42,57 ± 1,61 | 1,98 ± 1,12 | 28,25 ± 0,89 |
| 1, 48 h | 29,15 ± 0,29 | 7,32 ± 0,16 | 6,67 ± 0,32 | 9,90 ± 0,33 | 42,36 ± 0,78 | 1,83 ± 0,38 | 28,46 ± 0,23 |
| 1, tjedan | 28,89 ± 0,18 | 7,17 ± 0,12 | 6,57 ± 0,30 | 9,73 ± 0,28 | 42,48 ± 0,94 | 2,15 ± 0,19 | 28,22 ± 0,17 |
| 2, 0 h | 29,22 ± 0,47 | 7,57 ± 0,10 | 6,74 ± 0,23 | 10,13 ± 0,21 | 41,65 ± 0,80 | | 28,50 ± 0,42 |
| 2, 24 h | 28,81 ± 0,32 | 7,38 ± 0,19 | 6,59 ± 0,19 | 9,89 ± 0,26 | 41,87 ± 0,51 | 0,58 ± 0,17 | 28,12 ± 0,31 |
| 2, 48 h | 28,71 ± 0,36 | 7,33 ± 0,13 | 6,58 ± 0,24 | 9,84 ± 0,23 | 41,90 ± 0,92 | 0,64 ± 0,31 | 28,03 ± 0,30 |
| 2, tjedan | 28,23 ± 0,30 | 7,12 ± 0,14 | 6,33 ± 0,21 | 9,52 ± 0,23 | 41,61 ± 0,53 | 1,18 ± 0,29 | 27,60 ± 0,25 |
| 3, 0 h | 30,60 ± 0,55 | 7,83 ± 0,35 | 7,59 ± 0,63 | 10,90 ± 0,68 | 44,05 ± 1,27 | | 29,75 ± 0,42 |
| 3, 24 h | 29,31 ± 0,52 | 7,42 ± 0,21 | 6,79 ± 0,33 | 10,05 ± 0,37 | 42,46 ± 0,86 | 1,59 ± 0,55 | 28,59 ± 0,42 |
| 3, 48 h | 29,20 ± 0,34 | 7,17 ± 0,27 | 6,58 ± 0,36 | 9,73 ± 0,43 | 42,51 ± 0,68 | 1,85 ± 0,47 | 28,54 ± 0,25 |
| 3, tjedan | 28,51 ± 0,33 | 7,32 ± 0,28 | 6,89 ± 0,34 | 10,06 ± 0,44 | 43,23 ± 0,56 | 2,28 ± 0,40 | 27,81 ± 0,25 |
| 4, 0 h | 39,13 ± 0,32 | 9,91 ± 0,09 | 13,62 ± 0,13 | 16,88 ± 0,15 | 53,96 ± 0,17 | | 36,84 ± 0,26 |
| 4, 24 h | 38,50 ± 0,17 | 9,76 ± 0,06 | 13,27 ± 0,13 | 16,45 ± 0,13 | 53,77 ± 0,24 | 0,74 ± 0,13 | 36,33 ± 0,15 |
| 4, 48 h | 38,30 ± 0,23 | 9,77 ± 0,04 | 13,24 ± 0,08 | 16,45 ± 0,08 | 53,56 ± 0,13 | 0,92 ± 0,21 | 36,21 ± 0,18 |
| 4, tjedan | 37,92 ± 0,29 | 9,81 ± 0,09 | 12,99 ± 0,12 | 16,28 ± 0,13 | 53,13 ± 0,48 | 1,37 ± 0,24 | 35,82 ± 0,25 |
| 5, 0 h | 39,15 ± 2,79 | 10,42 ± 1,11 | 14,18 ± 2,49 | 18,85 ± 0,36 | 54,57 ± 0,61 | | 36,58 ± 1,84 |
| 5, 24 h | 39,60 ± 0,62 | 10,85 ± 0,09 | 14,88 ± 0,28 | 18,42 ± 0,23 | 53,91 ± 0,54 | 1,07 ± 0,35 | 36,85 ± 0,49 |
| 5, 48 h | 39,10 ± 0,32 | 10,76 ± 0,03 | 14,55 ± 0,21 | 18,10 ± 0,18 | 53,50 ± 0,39 | 0,59 ± 0,15 | 36,47 ± 0,24 |
| 5, tjedan | 37,48 ± 2,50 | 10,61 ± 0,08 | 14,29 ± 0,16 | 17,80 ± 0,14 | 53,44 ± 0,38 | 1,74 ± 2,20 | 34,99 ± 2,15 |
| 6, 0 h | 40,58 ± 0,50 | 10,62 ± 0,16 | 14,99 ± 0,24 | 18,33 ± 0,25 | 54,67 ± 0,29 | | 37,80 ± 0,36 |
| 6, 24 h | 39,80 ± 0,36 | 10,67 ± 0,08 | 14,69 ± 0,24 | 18,16 ± 0,17 | 54,00 ± 0,60 | 0,86 ± 0,35 | 37,12 ± 0,28 |
| 6, 48 h | 39,66 ± 0,16 | 10,65 ± 0,04 | 14,66 ± 0,03 | 18,11 ± 0,04 | 54,01 ± 0,10 | 0,98 ± 0,14 | 37,00 ± 0,13 |
| 6, tjedan | 39,20 ± 0,39 | 10,70 ± 0,14 | 14,67 ± 0,49 | 18,16 ± 0,47 | 53,88 ± 0,62 | 1,49 ± 0,34 | 36,55 ± 0,37 |

*1 – tamna čokolada miješana 3 h; 2 – tamna čokolada miješana 4 h; 3 – tamna čokolada miješana 5 h;
4 – mliječna čokolada miješana 3 h; 5 – mliječna čokolada miješana 4 h; 6 – mliječna čokolada miješana 5 h

Uzorci 1, 2 i 3 su tamne čokolade. Kod sva tri uzorka je nakon tjedan dana došlo do smanjenja vrijednosti parametara L*, a* i b*. Iz takvog trenda se može zaključiti da je u svim uzorcima tamne čokolade nakon tjedan dana došlo do potamnivanja. Kroz cijeli period praćenja uzorci su bili u domeni crvene (parametar a*) i žute (parametar b*) boje. Vrijednosti parametara C, h° i WI su se smanjile, a to znači da je došlo do smanjenja zasićenosti i tona boje te potamnivanja uzoraka. ΔE (ukupna promjena boje) se povećala za sva tri uzorka u periodu od tjedan dana.

Vrijednost parametra L* nakon tjedan dana je najveća u uzorku 1 u odnosu na uzorke 2 i 3, što znači da je uzorak 1 najsvjetliji od tamnih čokolada. Vrijednost parametra C nakon tjedan dana u uzorku 3 je najveća u usporedbi s uzorcima 1 i 2 te je s obzirom na to boja uzorka 3 najmanje

zasićena. S obzirom na rezultate može se zaključiti da je povećanjem vremena miješanja došlo do najveće promjene boje (uzorak 3 miješan 5 h), te se može zaključiti da povećanje vremena miješanja utječe na boju čokolade.

Uzorci 4, 5 i 6 su mliječne čokolade. Kod sva tri uzorka mliječnih čokolada došlo je do pada vrijednosti parametra L^* u periodu od tjedan dana, što znači da su uzorci potamnili. Kod uzorka 4 došlo je do pada vrijednosti parametara a^* i b^* , a smanjuju se i zasićenje i ton boje, dok se ukupna promjena boje povećala u periodu od tjedan dana. U uzorku 5 vremenom vrijednosti parametara a^* i b^* su se povećale. Kod uzorka 6 vrijednost parametra a^* je blago porasla, a vrijednost parametra b^* se smanjila u periodu od tjedan dana.

Kod uzorka 5 uočena je najveća promjena boje, dok je iz dobivenih rezultata vidljivo da je najvećim vremenom miješanja (uzorak 6, 5 h) došlo do najvećeg posvjetljenja čokolade u odnosu na ostala dva uzorka mliječnih čokolada. Vrijednost parametra WI bila je najveća kod uzorka 6. Kod mliječnih čokolada vidljiv je isti trend kao i kod tamnih čokolada, što znači da vrijeme miješanja utječe na boju čokolade.

Kod svih mliječnih čokolada došlo je do smanjenja parametra WI , a takve rezultate potvrđuje Afoakwa (2016) koji navodi da u mliječnim čokoladama kao inhibitor sivljenja djeluje mliječna mast. Pastor i sur. (2007) navode dva parametra koja utječu na boju. Prvi je temperatura koja ima bitan utjecaj na sjaj čokolade tijekom skladištenja, tj. povećanjem temperature dolazi do smanjenja sjaja više nego do značajnog utjecaja na boju čokolada. Drugi parametar je količina kakaa. Ukoliko je veći udio kakaa čokolada je stabilnija prema procesima sivljenja.

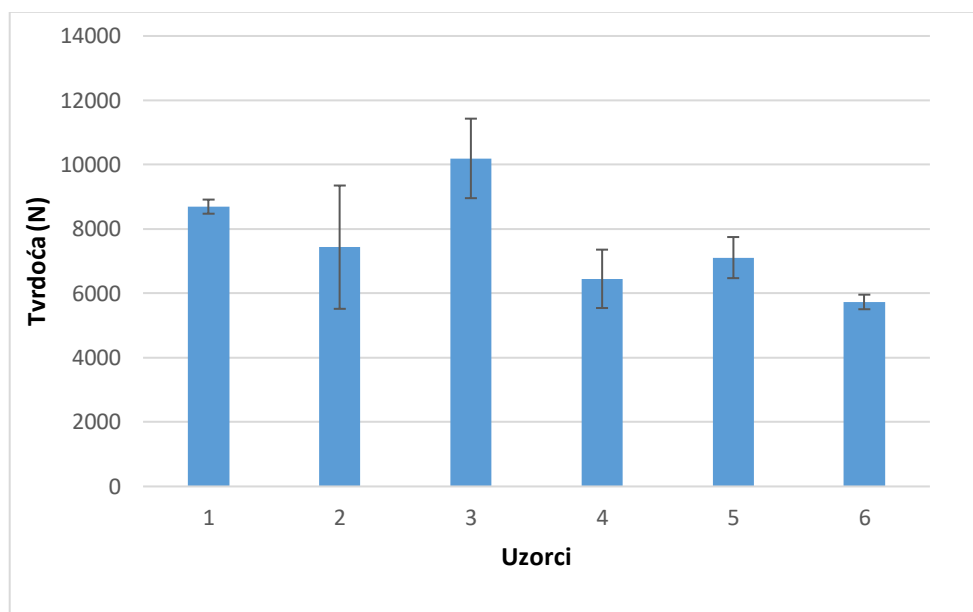
4.2. TEKSTURA TAMNE I MLIJEČNE ČOKOLADE

Da bi čokolada bila prihvatljiva potrošačima ona mora zadovoljavati određene parametre, a jedan od tih parametara je tekstura čokolade. Prilikom konzumacije čokolade u ustima bi se trebala osjetiti dobra topljivost čokolade, kao i dobar lom tijekom lomljenja čokolade.

Na **Slici 15** prikazani su rezultati koji su dobiveni mjerenjem tvrdoće svih čokolada. Iz rezultata je vidljivo da je najveću tvrdoću imala tamna čokolada koja se miješala 5 h. Kod uzoraka mliječnih čokolada najveću tvrdoću imala je čokolada koja se miješala 4 h. Uspoređujući rezultate vidljivo je da za razliku od uzorka 3 kod tamnih čokolada, koja je imala najveću

tvrdoću, a miješala se 5 h, mliječna čokolada koja se također miješala 5 h (uzorak 6) imala najmanju tvrdoću.

Također, vidljivo je i da uzorci mliječnih čokolada imaju značajno manju tvrdoću u usporedbi s tamnim čokoladama. Beckett (2008) navodi da je zbog povećanog udjela nezasićenih masti, odnosno zbog mliječne masti koja je prisutna u mliječnim čokoladama tvrdoća bitno manja kada se mliječne čokolade uspoređi s tamnim čokoladama.



*1 – tamna čokolada miješana 3 h; 2 – tamna čokolada miješana 4 h; 3 – tamna čokolada miješana 5 h;
4 – mliječna čokolada miješana 3 h; 5 – mliječna čokolada miješana 4 h; 6 – mliječna čokolada miješana 5 h

Slika 15 Utjecaj vremena miješanja na tvrdoću čokolade

4.3. VELIČINA ČESTICA TAMNIH I MLIJEČNIH ČOKOLADA

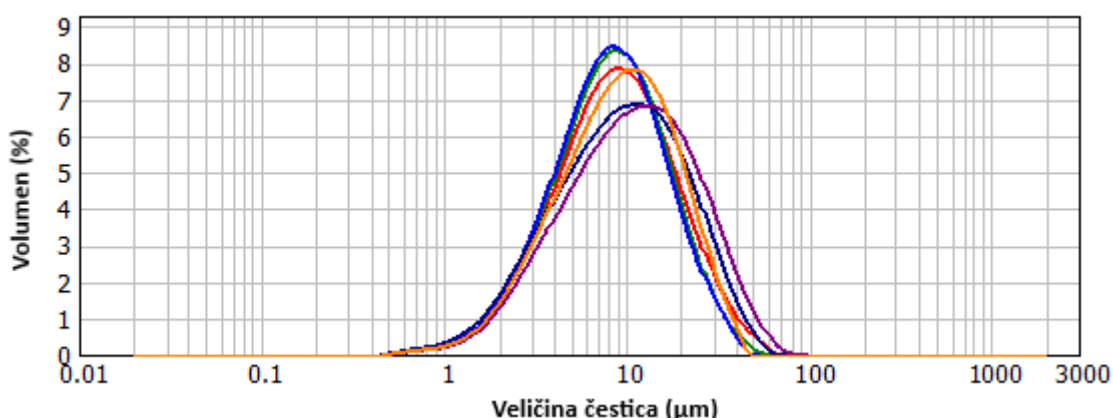
Prilikom konzumacije čokolade u ustima se može javiti osjećaj pjeskovitosti i muljevitosti ukoliko veličina čestica nije prikladna. Također može doći i do smanjenja topljivosti, jer veličina čestica izravno utječe na osjećaj prilikom konzumacije čokolade.

Slika 16 prikazuje rezultate mjerenja veličine čestica, a oni su prikazani u obliku volumne distribucije čestica za svaki uzorak (u %). Beckett i sur. (2017) navode da je sve čvrste čestice u čokoladnoj masi potrebno usitniti radi izbjegavanja zrnatosti čokolade. Šećer je stoga potrebno razbijati više puta, a to se postiže dugotrajnijim miješanjem. Na **Slici 17** može se uočiti da je povećanjem vremena miješanja došlo do smanjenja veličine čestica.

Tamna čokolada (uzorak 3) i mliječna čokolada (uzorak 6) koje su miješane 5 h imaju najuže krivulje i pokazuju veći postotak čestica koje imaju istu veličinu čestica. Tamne i mliječne čokolade koje su miješane kraće vrijeme imaju šire i niže krivulje.

Iz dobivenih rezultata može se vidjeti da je uzorak 4 imao najširu krivulju. Taj uzorak je miješan (3 h) kraće od drugih mliječnih čokolada. Također u usporedbi s tamnom čokoladom miješanom isto vrijeme (uzorak 4), mliječna čokolada ima širu krivulju što pokazuje da je mlijeko u prahu dodano tijekom procesa proizvodnje moglo utjecati na povećanje veličine čestica.

Poželjna veličina čestica bi trebala biti između 15 i 30 μm , kako bi čokolada imala dobra senzorska svojstva (Beckett, 2008). U slučaju tamnih čokolada veličina čestica je nešto manja od poželjne, što je vidljivo iz dobivenih rezultata. Nasuprot tome kod mliječnih čokolada rezultat je bio bliže poželjnoj vrijednosti.



*1 – tamna čokolada miješana 3 h; 2 – tamna čokolada miješana 4 h; 3 – tamna čokolada miješana 5 h;
4 – mliječna čokolada miješana 3 h; 5 – mliječna čokolada miješana 4 h; 6 – mliječna čokolada miješana 5 h

Slika 16 Volumna raspodjela veličine čestica u analiziranim uzorcima tamnih i mliječnih čokolada

4.4. VISKOZNOST ČOKOLADA

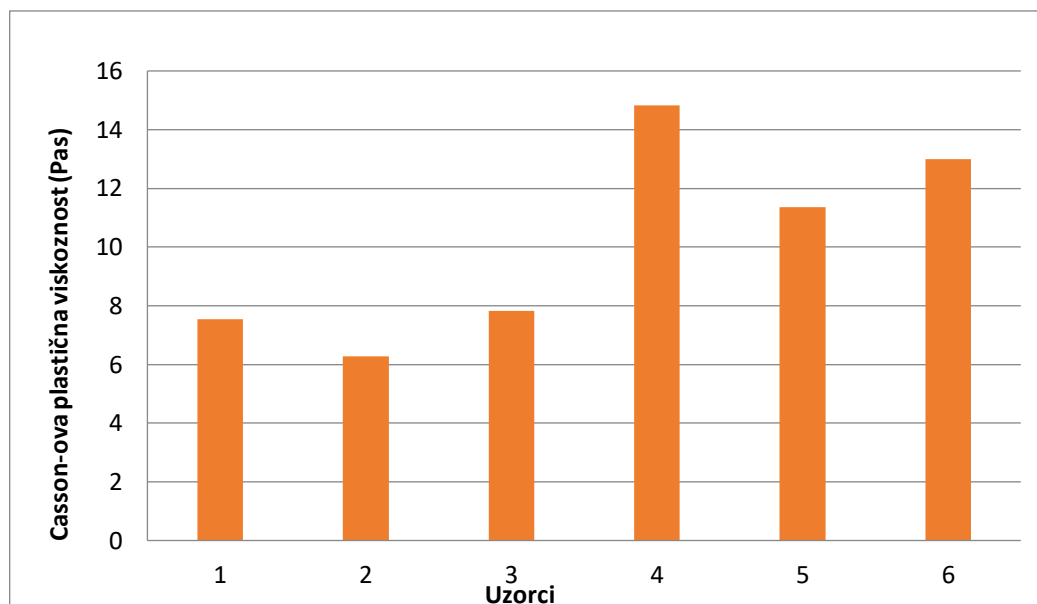
Čokolada je nenenewtonovska tekućina, a gibanje čokolade opisano je uz pomoć Casson-ovog izraza. Definirani su Casson-ova plastična viskoznost i Casson-ova granica tečenja, a **Slika 17** i **Slika 18** prikazuju rezultate koji su dobiveni istraživanjem.

Iz rezultata dobivenih za Casson-ovu plastičnu viskoznost tamnih čokolada može se vidjeti da je uzorak miješan 4 h (uzorak 2) imao najmanju vrijednost ovog parametra. Dužim miješanjem

je došlo do povećanja ove vrijednosti. To je moguće zbog povećanja ukupne površine čestica, zbog koje dolazi do povećanja viskoznosti čokolada kao što je već spomenuto.

Više vrijednosti viskoznosti prema **Slici 17** imali su uzorci mliječnih čokolada u usporedbi s uzorcima tamnih čokolada i to zbog toga što mliječne čokolade u svom sastavu imaju krute čestice mlijeka u prahu koje mogu utjecati na veći udio vode. Samim time ako je došlo do povećanja količine vode u čokoladi dolazi i do povećanja viskoznosti (Lucisano i sur., 2006). Također, Škrabal (2009) u svom istraživanju navodi da kakaov maslac ne može obaviti sve čestice šećera ukoliko je velik udio krutih čestica i zbog toga dolazi do porasta viskoznosti.

Kod mliječnih čokolada također je vidljiv isti trend kao i kod uzoraka tamnih čokolada, te je stoga najmanju vrijednost Casson-ove plastične viskoznosti imao uzorak 5 koji se miješao 4 h, dok je uzorak 6 koji se miješao 5 h imao veću plastičnu viskoznost.



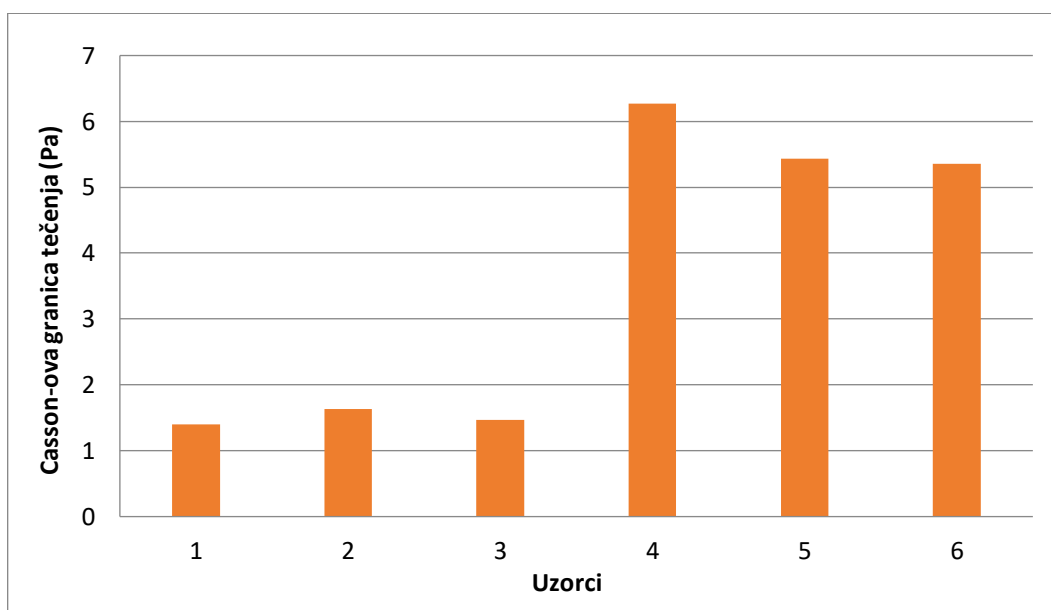
*1 – tamna čokolada miješana 3 h; 2 – tamna čokolada miješana 4 h; 3 – tamna čokolada miješana 5 h;
4 – mliječna čokolada miješana 3 h; 5 – mliječna čokolada miješana 4 h; 6 – mliječna čokolada miješana 5 h

Slika 17 Utjecaj vremena miješanja na vrijednosti Casson-ove plastične viskoznosti

Slika 18 prikazuje rezultate za Casson-ovu granicu tečenja. Iz toga je vidljivo da u uzorcima tamnih čokolada nije došlo do značajnih promjena Casson-ove granice tečenja s povećanjem vremena miješanja iako su vrijednosti nešto više za uzorke koji su miješani 4 i 5 h.

U uzorcima mliječnih čokolada najveću vrijednost Casson-ove granice tečenja imao je uzorak 4, koji se miješao najkraće u odnosu na ostala dva uzorka mliječnih čokolada.

Iz rezultata prikazanih na **Slici 18** vidljivo je da najznačajnija razlika postoji usporedbom uzoraka mliječnih i tamnih čokolada. Također, povećanjem vremena miješanja kod mliječnih čokolada je došlo do smanjenja Casson-ove granice tečenja. Lovrić (2017) u svom istraživanju navodi da uzorci koji sadrže veće količine šećera imaju i veće vrijednosti granice tečenja. Također, prisutnost mlijeka u prahu mogla je utjecati na povećanje viskoznosti zbog toga što voda u mlijeku veže čestice šećera. Iz **Tablice 6** je vidljivo da mliječne čokolade sadrže veće količine šećera u prahu nego tamne čokolade, dok mlijeko u prahu tamne čokolade niti ne sadrže.



*1 – tamna čokolada miješana 3 h; 2 – tamna čokolada miješana 4 h; 3 – tamna čokolada miješana 5 h;
4 – mliječna čokolada miješana 3 h; 5 – mliječna čokolada miješana 4 h; 6 – mliječna čokolada miješana 5 h

Slika 18 Utjecaj vremena miješanja na vrijednosti Casson-ove granice tečenja

5. ZAKLJUČCI

Zaključci koji se mogu donijeti na osnovu rezultata iz ovog istraživanja:

1. Kod uzoraka tamnih čokolada veća je ukupna promjena boje u odnosu na mliječne čokolade. Uzorak 3 tamne čokolade miješan 5 h, kao i uzorak 5 mliječne čokolade miješan 4 h su uzorci s najvećom ukupnom promjenom boje. Indeks bjeline vremenom se smanjio kod svih čokolada. Najveću vrijednost ovog parametara imao je uzorak 6 mliječne čokolade koji se miješao 5 h.
2. Najveću tvrdoću kod tamnih čokolada imao je uzorak 3 koji se miješao 5 h. Za razliku od tamnih čokolada kod mliječnih čokolada uzorak koji je označen brojem 6 i miješao se jednako dugo tj. 5 h imao je najmanju tvrdoću. Uzorak koji je imao najmanju tvrdoću kod tamnih čokolada miješao se 4 h, dok je uzorak mliječne čokolade koji se također miješao 4 h imao najveću tvrdoću u usporedbi s ostalim mliječnim čokoladama.
3. Povećanjem vremena miješanja došlo je do suženja krivulje volumne raspodjele veličine čestica. Uzorci mliječnih i tamnih čokolada koji su se miješali najduže imali su najuže krivulje i najveći postotak čestica iste veličine. Najširu krivulju od svih čokolada imao je uzorak 4 mliječne čokolade.
4. Povećanjem vremena miješanja došlo je do povećanja vrijednosti za Casson-ovu plastičnu viskoznost kod svih čokolada. Međutim ako se uspoređuju tamne i mliječne čokolade iz rezultata je vidljivo da veću viskoznost imaju mliječne čokolade. Najveću vrijednost granice tečenja što se tiče tamnih čokolada imao je uzorak 2 koji se miješao 4 h, a kod mliječnih čokolada uzorak 4 koji je miješan 3 h. Također, u usporedbi s tamnim čokoladama, mliječne čokolade imale su i veću granicu tečenja.

6. LITERATURA

- Ačkar Đ: Materijali s predavanja na kolegiju „*Tehnologija konditorskih i srodnih proizvoda*“. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2013.
- Afoakwa EO: *Chocolate Science and Technology, 2nd edition*, Willey Blackwell, York, UK, 2016.
- Babić J: Materijali s predavanja na kolegiju „*Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda*“. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2016.
- Beckett S: *The science of chocolate*. RSC Publishing, Cambridge, UK, 2008.
- Beckett S, Paggios K, Roberts I: Conching. U *Beckett's Industrial chocolate manufacture and use*, str. 241 – 273. Wiley Blackwell, Chichester, UK, 2017.
- Chevalley J: Chocolate flow properties. U *Industrial chocolate manufacture and use*, str. 139 – 155. Springer, Boston, MA, 1994.
- Goldoni L: *Tehnologija konditorskih proizvoda – kakao i čokolada*. Kugler, Zagreb, RH, 2004.
- Gutiérrez T: State of the art chocolate manufacture: A review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 16:1313 – 1344, 2017.
- Jozinović A: Materijali s predavanja na kolegiju „*Tehnologija konditorskih i srodnih proizvoda*“. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2012.
- Jozinović A: Svojstva kukuruznih snack proizvoda obogaćenih s nusproizvodima prehrambene industrije. *Doktorska disertacija*. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2015.
- Jurašinović M: Utjecaj različitih emulgatora na svojstva tamne i mliječne čokolade. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2019.
- Krüger C: Sugar and bulk sweeteners. U *Beckett's Industrial chocolate manufacture and use*, str. 72 – 101. Wiley Blackwell, Chichester, 2017.
- Lovrić K, Proučavanje granice tečenja i viskoznosti mliječnih čokolada. *Završni rad*. Veleučilište u Požegi, Požega, 2017.
- Lucisano M, Casiraghi E, Mariotti M: Influence of formulation and processing variables on ball mill refining of milk chocolate. *European food research and technology*, 223:797-802, 2006.
- Minifie WB: Chocolate, Cocoa and Confectionery. U *Science and technology 3rd edition*, str. 85 – 90. Van Nostrand Reinhold, New York, 1989.
- MPŠVG, Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnog gospodarstva RH: *Pravilnik o kakau i čokoladnim proizvodima*. Narodne novine 73/05, 2005.
- Moslavac T: Materijali s predavanja na kolegiju „*Prehrambeno inženjerstvo*“, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2019.

- Norberg S: Chocolate and confectionery fats. U *Modifying lipids for use in food*, str. 488 – 516. Woodhead publishing, Cambridge, UK, 2006.
- O'Brien R: Fats and oils. U *Formulating and processing for applications*. CRC Press LLC, Boca Raton, SAD, 2004.
- Pastor C, Santamaria J, Chiralt A, Aquilera JM: Gloss and colour of dark chocolate during storage. *Food science and technology International*, 13(1):27 – 34, 2007.
- Pichler A: Materijali s predavanja na kolegiju „Procesi u prehrambenoj industriji“. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2017.
- Prawira M, Barringer S.A: Effects of conching time and ingredients on preference of milk chocolate. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33(5):571 – 589,2009.
- Skytte U, Kaylegian K: Ingredients from milk. U *Beckett's Industrial chocolate manufacture and use*, str. 102 – 134. Wiley Blackwell, Chichester, UK, 2017.
- Škrabal S: Utjecaj sastojaka na reološko ponašanje čokoladnih masa i stabilnost čokolada. *Doktorski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2009.
- Talbot G: Properties of cocoa butter and vegetable fats. U *Beckett's Industrial chocolate manufacture and use*, str. 153 – 184. Wiley Blackwell, Chichester, UK, 2017.
- Weyland M, Hartel R: Emulsifiers in confectionery. U *Food emulsifiers and their applications*, str. 253 – 306. Springer, New York, SAD, 2008.
- Web izvor 1: <https://www.krenizdravo.hr/prehrana/palmino-ulje-nutritivno-blago-ili-stetnost-za-zdravlje>
- Web izvor 2: <https://alternativa-za-vas.com/index.php/clanak/article/kokosovo-ulje>
- Web izvor 3: <https://prirodaidrustvo.hr/novosti/zdravlje/kokosovo-ulje-na-akciji>
- Web izvor 4: http://www.lamba.hr/lmb/wp-content/uploads/2011/05/vanilin_prah.png
- Web izvor 5: <https://kare18.ru/hr/testo-presnoe/rastopit-poristy-i-shokolad-vodyanoi-bane-kak-pravilno/>
- Web izvor 6: <https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=kugli%C4%8Dni+mlyn>
- Web izvor 7: <https://malvern.ssl.cdn.sdlmedia.com/636216726422062137XQ.jpg>
- Web izvor 8: http://www.rheologysolutions.com/wp-content/uploads/2011/05/ts_rheostress_6000.jpg