

Reološka i fizikalna svojstva mliječnih i tamnih čokolada s hrvatskog tržišta

El Habbab, Patrik

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:109:977181>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-04**

REPOZITORIJ

PTF

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**

Patrik El Habbab

**REOLOŠKA I FIZIKALNA SVOJSTVA MLIJEČNIH I TAMNIH ČOKOLADA
S HRVATSKOG TRŽIŠTA**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, srpanj, 2024.

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

Sveučilišni diplomski studij Prehrambeno inženjerstvo

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija
Nastavni predmet: Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda
Tema rada je prihvaćena na VIII. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2022./2023. održanoj 22. svibnja 2023.
Mentor: prof. dr. sc. *Đurđica Ačkar*
Pomoć pri izradi: izv. prof. dr. sc. *Antun Jozinović*

Reološka i fizikalna svojstva mliječnih i tamnih čokolada s hrvatskog tržišta

Patrik El Habbab, 0113144657

Sažetak:

Cilj ovog diplomskog rada bio je ispitati reološka i fizikalna svojstva različitih mliječnih i tamnih čokolada dostupnih na hrvatskom tržištu. Odabrane mliječne i tamne čokolade na kojima je provedeno istraživanje su sljedeće: Kandit: Kandi Milk Choco Fairy (80 g), No Guilt Dark Protein Chocolate (80 g), Kandit Dessert Chef čokolada za kuhanje (100 g); Zvečevo: Seka mliječna čokolada (75 g), Braco mliječna čokolada (75 g), Mikado Exclusive 72 % Kakao (100 g); Kraš: Dorina Mlijeko (80 g), Kraš Selection 60 % Kakao (100 g), Kraš & Polleo mliječna čokolada (80 g), Kraš & Polleo tamna čokolada (80 g), Dorina za jelo i kuhanje (100 g); Atlantic grupa: Jimmy Fantastic mliječna čokolada (100 g); Milka: Milka Alpine Milk (80 g), Milka Dark Milk Alpine Milk (85 g). Na navedenim čokoladama su određena sljedeća svojstva: boja, tekstura i reologija. Utvrđeno je da boja čokolade ovisi o vrsti i količini sastojaka dodanih prilikom proizvodnje. Tekstura čokolade pokazatelj je kvalitete te na nju znatno utječe količina kakao dijelova i dodataka koji čokoladu čine jedinstvenom. Postizanjem praga naprezanja, dolazi do tečenja čokolade, nakon prestanka djelovanja smicanja čokolada poprima svoj prvobitni oblik. Kao i na ostalim ispitivanjima, sastav čokolade bitno utječe i na njezina reološka svojstva.

Ključne riječi: reološka svojstva, čokolada, tekstura, boja

Rad sadrži: 45 stranica
18 slika
3 tablice
0 priloga
24 literaturne reference

Jezik izvornika: hrvatski

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

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

Datum obrane: 3. srpnja 2024.

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

Josip Juraj Strossmayer University of 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: Carbohydrate and confectionery technology

Thesis subject: was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. VIII. held on May 22, 2023.

Mentor: *Đurđica Ačkar*, PhD, prof.

Technical assistance: *Antun Jozinović*, PhD, associate prof.

Rheological and Physical Properties of Milk and Dark Chocolates from the Croatian Market

Patrik El Habbab, 0113144657

Summary:

The aim of this thesis was to examine the rheological and physical properties of various milk and dark chocolates available on the Croatian market. The selected milk and dark chocolates used in the research are as follows: Kandit: Kandi Milk Choco Fairy (80 g), No Guilt Dark Protein Chocolate (80 g), Kandit Dessert Chef Cooking Chocolate (100 g); Zvečevo: Seka Milk Chocolate (75 g), Braco Milk Chocolate (75 g), Mikado Exclusive 72% Cocoa (100 g); Kraš: Dorina Milk (80 g), Kraš Selection 60% Cocoa (100 g), Kraš & Polleo Milk Chocolate (80 g), Kraš & Polleo Dark Chocolate (80 g), Dorina Cooking Chocolate (100 g); Atlantic Grupa: Jimmy Fantastic Milk Chocolate (100 g); Milka: Milka Alpine Milk (80 g), Milka Dark Milk Alpine Milk (85 g). The following properties were determined for these chocolates: color, texture, and rheology. It was found that the color of the chocolate depends on the type and amount of ingredients added during production. The texture of the chocolate is an indicator of quality and is significantly influenced by the amount of cocoa components and additives that make the chocolate unique. Upon reaching the yield stress, the chocolate begins to flow, and after the shearing force is removed, the chocolate returns to its original shape. As with other tests, the composition of the chocolate significantly affects its rheological properties.

Key words: rheological properties, chocolate, texture, color

Thesis contains: 45 pages
18 figures
3 tables
0 supplements
24 references

Original in: Croatian

Defense committee:

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

Defense date: July 3rd, 2024

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

Želim izraziti iskrenu zahvalnost svima koji su doprinijeli realizaciji ovog diplomskog rada. Prvo, veliko hvala mentorici prof. dr. sc. Đurđici Ačkar. Posebnu zahvalnost dugujem izv. prof. dr. sc. Antunu Jozinoviću na korisnim komentarima i sugestijama koje su značajno unaprijedile kvalitetu rada, na neizmjerne podršci, stručnim savjetima i strpljenju tijekom cijelog procesa izrade ovog rada. Vaša stručnost i upute bile su ključne za uspješan završetak ovog istraživanja. Zahvaljujem se obitelji i prijateljima na njihovoj ljubavi, razumijevanju i moralnoj podršci.

Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom „Oleogelovi kao nutritivno poboljšanje čokolade i krem-proizvoda“ (IP-2022-10-1960).

Sadržaj

| | |
|--|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. TEORIJSKI DIO..... | 3 |
| 2.1. Reologija..... | 4 |
| 2.2. Rotacijski viskozimetar..... | 5 |
| 2.3. Proizvodnja čokolade..... | 7 |
| 2.3.1. Vrste čokolada..... | 8 |
| 2.3.2. Sastojci i kemijski sastav čokolade..... | 9 |
| 2.3.3. Zdravstveni učinci..... | 10 |
| 2.3.4. Postupak proizvodnje čokolade..... | 11 |
| 2.3.5. Zakonska regulativa o čokoladama..... | 15 |
| 2.4. Reološka svojstva čokolade..... | 15 |
| Utjecaj na reološka svojstva čokolade..... | 16 |
| 2.5. Fizikalna svojstva čokolade..... | 17 |
| 3. EKSPERIMENTALNI DIO..... | 18 |
| 3.1. Zadatak..... | 19 |
| 3.2. Materijali..... | 19 |
| 3.3. Metode..... | 20 |
| 3.3.1. Određivanje krivulje tečenja..... | 20 |
| 3.3.2. Određivanje vrijednosti granica tečenja različitih vrsta čokolada prema Casson-u..... | 21 |
| 3.3.3. Vrijednosti plastične viskoznosti različitih vrsta čokolada prema Casson-u..... | 22 |
| 3.3.4. Određivanje boje..... | 23 |
| 3.3.5. Određivanje čvrstoće metodom lomljenja..... | 24 |
| 3.3.6. Određivanje čvrstoće metodom penetracije..... | 25 |
| 3.3.7. Određivanje lomljivosti metodom lomljenja..... | 26 |
| 4. REZULTATI I RASPRAVA..... | 27 |
| 4.1. Rezultati analize boje različitih vrsta čokolada..... | 28 |
| 4.2. Čvrstoća različitih vrsta čokolade određena metodom lomljenja..... | 29 |
| 4.3. Lomljivost različitih vrsta čokolade određena metodom lomljenja..... | 30 |
| 4.4. Čvrstoća različitih vrsta čokolade određena metodom penetracije..... | 32 |
| 4.5. Krivulja tečenja različitih vrsta čokolada..... | 33 |
| 4.6. Vrijednosti granice tečenja različitih vrsta čokolada prema Casson-u..... | 34 |
| 4.7. Vrijednosti plastične viskoznosti različitih vrsta čokolada prema Casson-u..... | 36 |
| 5. ZAKLJUČAK..... | 39 |
| 6. LITERATURA..... | 43 |

1. UVOD

Reološka svojstva čokolade ukazuju na njeno ponašanje tijekom deformacije i tečenja djelovanjem sile. Reologija je ključna pri procesu proizvodnje i utječe na konačnu kvalitetu čokoladnih proizvoda.

Čokolada je jedna od omiljenih delicija na svijetu. Bogati okus, kremasta tekstura i slatkasta aroma mnogima su neodoljivi. Čokolada se proizvodi od zrna kakaovca koja se samelju i pomiješaju s dodacima kao što su šećer, mlijeko i kakao maslac kako bi se dobile različite vrste čokolade. Među mnogim vrstama, ističu se mliječna čokolada, tamna čokolada i bijela čokolada. Mliječna čokolada obično se sastoji od manjeg udjela kaka, mlijeka i šećera. Slatkastog je i kremastog okusa koji mnogi vole. Tamna čokolada ima veći udio kaka i manje šećera, pa je obično bogatijeg i gorčeg okusa. Bijela čokolada, s druge strane, ne sadrži kakao masu ili prah, već je napravljena od kakao maslaca, mlijeka i šećera, pa ima sladak i kremast okus bez gorčine kakaovca. Reološka svojstva razlikuju se između vrsta čokolada. Najveće razlike vidljive su upravo iz razloga što se u čokoladama nalaze različiti omjeri sastojaka. Sastojci poput šećera, masti, kakao dijelova čine najveću razliku. Čokolada se koristi u raznim slasticama kao što su torte, kolači, sladoledi i mnogi drugi. Može se jesti sama u obliku pločica, bombona ili se koristiti kao sastojak mnogih slatkih recepata. Mnogi proizvođači čokolade nude različite okuse i kombinacije, poput čokolade s orasima, voćem, karamelom ili raznim sjemenkama poput bučinih, nudeći ljubiteljima čokolade bogat izbor (Wong i sur., 2024).

Cilj ovog rada bio je ispitati reološka i fizikalna svojstva mliječnih i tamnih čokolada s hrvatskog tržišta. Parametri koji su se određivali kod različitih vrsta čokolada su: krivulja tečenja, granica tečenja, plastična viskoznost, boja, čvrstoća i lomljivost.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Reologija

Reologija je znanstvena disciplina koja prati ponašanje materijala tijekom djelovanja sile i deformacije. Riječ reologija dolazi od grčkih riječi „*rheos*“, što znači „tok“ i „*logos*“, što znači „znanost“. Ključni pojam u reologiji je viskoznost, koja opisuje otpornost materijala na tečenje pod pritiskom. Reologija se primjenjuje u raznim područjima kao što su prehrambena industrija, kemijska i farmaceutska industrija, geologija i mnoga druga gdje je važno razumijevanje i kontrola svojstava tekućina (Mishra i sur., 2021).

Ovisno o tome je li kod tekućina viskoznost konstantna ili se mijenja prema primijenjenom naprezanju, one mogu biti:

- Newtonovske tekućine;
- Nenevtonovske tekućine.

Newtonovske tekućine su one kod kojih se prilikom deformacije ili brzine smicanja i naprezanja javlja linearno svojstvo. Navedeno svojstvo je poznatije kao Newtonov zakon viskoznosti. Zakon kaže da sila koja se po jedinici površine primjenjuje na tekućinu je proporcionalna brzini smicanja ili samoj deformaciji tekućine. Najpoznatije Newtonovske tekućine su voda i benzin, njihova viskoznost je stalna neovisno o primijenjenoj sili (Liu i sur., 2024).

Newtonov zakon viskoznosti matematički se izračunava prema izrazu (1):

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (1)$$

τ - napon smicanja

η - viskoznost tekućine (konstanta koja određuje koliko se tekućina opire deformaciji)

$\dot{\gamma}$ - brzina smicanja ili deformacije.

Nenevtonovske tekućine ili ireverzibilni materijali poput paste, krvi, polimernih gelova imaju drugačije rezultate viskoznosti prilikom djelovanja sile. Kod takve vrste tekućina ne postoji svojstvo linearnosti, što znači da njihova viskoznost nije konstantna i mijenja se prilikom različitih uvjeta (Liu i sur., 2024).

Reologija također proučava druge aspekte ponašanja materijala, kao što su elastičnost, plastičnost, viskoelastičnost i viskoplastičnost.

Elastičnost je sposobnost materijala da se nakon primjene sile privremeno deformira, ali nakon određenog vremena vrati u prvobitni oblik. Tijekom djelovanja sile dolazi do deformacije materijala, što znači da mijenja svoj oblik. Ako je materijal elastičan, nakon djelovanja sile vratit će se u primarni oblik. Elastičnost se često ispituje metodama istezanja i rastezanja u raznim područjima poput medicine, kemije, prehrambene tehnologije te mnogim drugim (Mishra i sur., 2021).

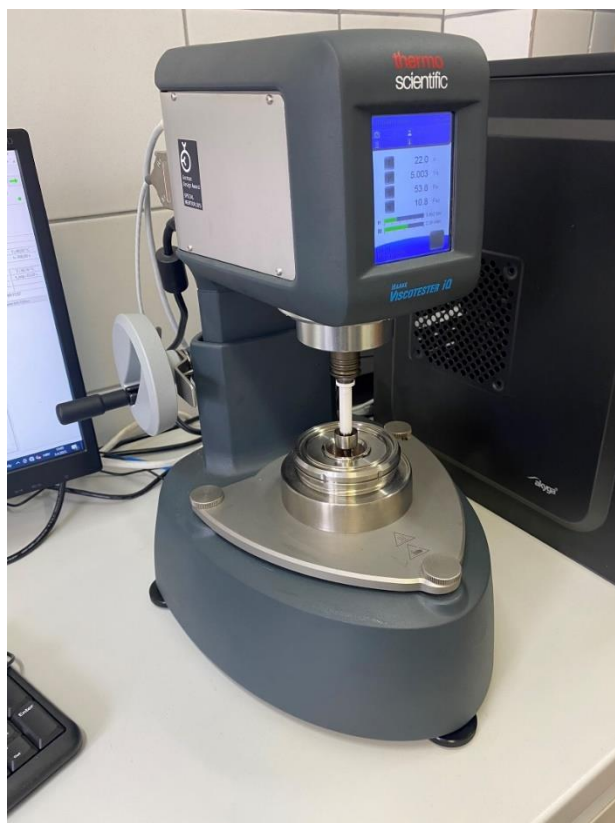
Plastičnost se odnosi na trajnu deformaciju materijala nakon naprezanja, što znači da za razliku od elastičnosti, materijal plastičnih svojstava se ne vraća u početno stanje već ostaje trajno deformirano, tj. prevede se u novi oblik navode Glicerina i sur. (2013; 2016). Takvo svojstvo vrlo je bitno u metalnim industrijama gdje se iz metalnih sirovina dobiju razni proizvodi potrebni za daljnju preradu ili kao finalni proizvodi. Testovi deformacije i oblikovanja dva su testa koja se koriste pri testiranju plastičnih svojstava.

Viskoelastičnost svojstvo je koje se veže za kombinaciju viskoznosti i elastičnosti. Materijali takvih svojstava ponašaju se kao viskozne tekućine prilikom dužeg djelovanja sile, dok kratkotrajnim djelovanjem one pokazuju svojstva elastičnih materijala. Također viskoplastičnost se može tumačiti kao svojstvo kada je materijal u početku čvrst, ali postaje plastičan pod djelovanjem dugotrajnih sila. Ispitivanje viskoplastičnosti provodi se rotacijskim ili oscilacijskim reometrom. Takva ispitivanja ključna su pri razvoju novih materijala i dizajna (Glicerina i sur., 2013; 2016).

2.2. Rotacijski viskozimetar

Rotacijski viskozimetar (**Slika 1**) je instrument koji se upotrebljava u industrijama za mjerenje viskoznosti tekućina. Ovaj uređaj se obično koristi u industriji, laboratorijima i istraživanjima za određivanje reoloških svojstava materijala, uključujući čokoladu. Rotacijski viskozimetri rade okretanjem cilindričnog ili konusnog tijela unutar uzorka tekućine. Viskoznost tekućine mjeri se otporom na koji nailazi rotirajući rotor dok se kreće kroz tekućinu. Ovaj otpor se pretvara u mjerenje koje se naziva viskoznost. Prikupljene vrijednosti reometra daju podatke o viskoznosti ispitivane tekućine. Postoji nekoliko vrsta rotacijskih

viskozimetara, uključujući viskozimetre s rotirajućim rotorom i kuglastim viskozimetrima te viskozimetre s koncentričnim cilindrom. Rotacijski viskozimetri dostupni su s različitim brzinama i postavkama kako bi odgovarali specifičnim zahtjevima materijala koji se ispituje. U kontekstu čokolade, rotacijski viskozimetri mogu se koristiti za mjerenje viskoznosti čokoladne mase u različitim fazama proizvodnje. To može uključivati mjerenje viskoznosti tijekom miješanja, temperiranja ili punjenja. Točne informacije o viskoznosti čokolade omogućuju proizvođačima optimizaciju procesa i postizanje željene teksture i kvalitete proizvoda. Wong i sur. (2024) navode kako su rotacijski viskozimetri korisni alati za kontrolu kvalitete i proučavanje reoloških svojstava čokolade, omogućujući proizvođačima i istraživačima da razumiju reološko ponašanje čokolade i prilagode ga svojim potrebama i željenim karakteristikama proizvoda.



Slika 1 HAAKE Viscotester iQ

2.3. Proizvodnja čokolade

Čokolada je jedan od najpoznatijih prehrambenih proizvoda u cijelom svijetu. Slastica kod koje je za proizvodnju potreban kakao maslac, kakao prah, šećeri te razni aditivi koji se mogu dodavati prilikom tehnološkog procesa proizvodnje. Glavna sastavnica čokolade je kakaov maslac, koji nastaje iz plodova biljke kakaovac. Kakaovac (**Slika 2**) spada pod zimzelene biljke koje rastu oko područja ekvatora, najviše je rasprostranjena u tropskim područjima. Zanimljiva činjenica je kako su Havaji jedino područje na svijetu gdje kakaovac uspijeva imati plodove čak dva puta godišnje, ali zbog premalih površina za sadnju, količine za uzgoj su ograničene (Beckett, 2018). Da bi se proizvela čokolada, potrebno je iskombinirati dobar omjer kakaovog praha s kakaovim maslacem nakon čega se stavlja šećer te razni dodaci kako bi se postigla željena aroma i slatkoća. Aditivi koji se mogu dodavati u čokoladu su sastojci poput mlijeka, voća, orašastih plodova, bučinih sjemenki ili začina kako bi stvorili različite vrste čokolada. Takav trend miješanja raznih dodataka sve više dolazi do izražaja zbog zasićenosti tržišta s raznim čokoladama. Tako danas u raznim trgovinama postoje razne vrste čokolada s bezbroj dodataka. Generalno postoji puno tipova čokolade, tako su jedne od najzastupljenijih tamna, bijela te mliječna čokolada. Današnja tehnologija omogućava proizvodnju različitih oblika čokolade, s različitim vrstama punjenja koja su nekad bila nezamisliva. Neki od mogućih oblika čokolade su bomboni, praline, pločice raznih debljina i slično. Osim čvrstih oblika, često se čokolada na tržište plasira i u obliku namaza (Medina-Mendoza i sur., 2023).



Slika 2 Stablo kakaovca

2.3.1. Vrste čokolada

Postoji nekoliko različitih vrsta čokolade, svaka sa svojim jedinstvenim sastavom i svojstvima. Ovdje su neke od najčešćih vrsta čokolade:

1) Mliječna čokolada: Mliječna čokolada je najpopularnija vrsta čokolade i između ostalih sastojaka sadrži kakao, šećer, mlijeko u prahu ili kondenzirano mlijeko i vaniliju. Ima pikantnu slatkoću i kremastu teksturu. Mliječna čokolada ima manji udio kakaovca u usporedbi s tamnom čokoladom.

2) Tamna čokolada: Tamna čokolada ima veći postotak kaka a i manje šećera od mliječne čokolade. Obično ima udio kaka a od najmanje 50 % pa sve do 90 % i više. Tamna čokolada može imati drugačiju aromu i intenzivniji okus kaka a. Neki ljudi preferiraju tamnu čokoladu zbog njezinih potencijalnih zdravstvenih dobrobiti, poput antioksidativnih svojstava.

3) Bijela čokolada: Bijela čokolada se razlikuje od drugih čokolada jer ne sadrži bezmasnu suhu tvar kakaovih dijelova. Umjesto toga, bijela čokolada je

napravljena od kakaovog maslaca, šećera, mliječnih proizvoda i vanilije. Ima slatkast okus i kremastu teksturu, ali ne sadrži kakao okus karakterističan za tamnu čokoladu.

Osim ovih osnovnih tipova čokolade, postoje i mnoge varijacije te kombinacije, kao što su čokolade s dodacima poput orašastih plodova, sušenog voća, karamela ili raznih začina. „Svaki tip čokolade ima svoje jedinstvene karakteristike i pronalazi svog konzumenta ovisno o osobnom ukusu i preferencijama“ (Wong i sur., 2024).

2.3.2. Sastojci i kemijski sastav čokolade

Kemijski sastav čokolade ovisi o sastojcima koji su u nju dodani. Tijekom proizvodnje potrebno je poznavati tehnologiju upravo iz razloga što se razni dodaci ne mogu umiješati nesmotreno, već postoje razna pravila koja govore u kojem trenutku dodati neki sastojak. Visoka temperatura, topljivost nekih spojeva, neželjeni nusproizvodi koji mogu nastati tijekom prerade čokolade, sve su čimbenici koji mogu utjecati na kakvoću i okus čokolade. Glavni sastojci čokolade su kakaov maslac, kakaov prah te šećer. Kakaov maslac dobije se iz plodova kakaovca. Ključan je sastojak za različite proizvode, u prehrambenoj industriji ponajviše za čokoladu, pa sve do kozmetičke industrije gdje se koristi kao dodatak različitim kremama. Svojstva i tekstura, koji se smatraju njegovom najvećom prednošću, čine ga najpopularnijom te najtraženijom biljnom masti diljem cijelog svijeta. Proizvodnja kakaovog maslaca uključuje nekoliko faza. Nakon što je plod sazrio do određenog stupnja, kakaovo zrno izdvoji se iz ploda, zatim se fermentira, suši da bi se uklonilo višak vlage i prži da bi se razvila karakteristična aroma. Potom pržena zrna podliježu mljevenju kako bi dobili svojstvenu kakao pastu iz koje se zatim prešanjem izdvaja masna tvar poznatija kao kakaov maslac. Tijekom procesa proizvodnje, ključno je kontrolirati temperaturu te postepeno hladiti masu kako bi kvaliteta proizvoda ostala sačuvana, a proizvod stabilan. Specifična, bogata aroma kakaa i njegova glatka tekstura upravo prezentiraju osobitost kvalitetnog kakaovog maslaca (Verde i sur., 2021). Kemijski gledano (**Tablica 1**), sastav kakaovog maslaca načinjen je od zasićenih i nezasićenih masnih kiselina. Među najzastupljenijim masnim kiselinama su stearinska kiselina, oleinska kiselina i palmitinska kiselina. Njegova točka topljivosti, koja je iznad sobne temperature, čini ga savršenim sastojkom za oblaganje raznih slastica. Kao što je već ranije spomenuto, kakao maslac je neizostavan sastojak u kozmetičkoj industriji. Izrazito je

popularan sastojak kozmetičkih proizvoda zbog svoje hidratantne djelotvornosti i sposobnosti da zadrži vlagu u koži. Također se koristi pri proizvodnji krema za tijelo, balzama, losiona, sapuna i drugih proizvoda za njegovanje kože u svome radu navode Wollgast i Anklam (2000). Uz navedene masne kiseline, kao i kakaov maslac, čokolada sadrži polifenole i fitosterole te su upravo oni zaslužni za antioksidativna svojstva čokolade.

Tablica 1 Sastav kakao zrna (Ramos-Escudero i sur., 2021)

| <i>Sastav</i> | <i>Udio (%)</i> |
|---|-------------------|
| <i>Masti</i> <i>(oleinska, stearinska, palmitinska i ostale)</i> | 54 |
| <i>Ugljikohidrati</i> <i>(šećeri i vlakna)</i> | 31 |
| <i>Bjelančevine</i> <i>(arginin, lecitin, glutamin)</i> | 11 |
| <i>Polifenoli</i> <i>(flavonoidi, proantocijani)</i> | 3 |
| <i>Minerali</i> <i>(Fe, Mg, P, K, Cu)</i> | <1 |

2.3.3. Zdravstveni učinci

Čokolade znanstveno dokazano imaju pozitivno djelovanje na ljudski organizam. Tamna čokolada ističe se kao izrazito zdrava u malim količinama upravo zbog visokog udjela kaka. Neke od glavnih zdravstvenih pogodnosti koje se nameću kada je u pitanju umjeren unos su:

- **Antioksidativno djelovanje:** Čokolada s velikim udjelom kaka bogata je antioksidansima kao što su flavonoidi, oni pomažu u zaštiti tijela na način da hvataju slobodne radikale te samim time smanjuju mogućnost od nastanka raka, smanjuju rizik oksidativnog stresa te smanjuju upalne procese (Wollgast i Anklam, 2000).
- **Kardiovaskularni sustav:** Kontinuiran unos tamne čokolade doprinosi boljem zdravlju srca. Antioksidansi prisutni u čokoladi pomažu u smanjenju srčanih bolesti na način da smanjuju upalu i poboljšavaju cirkulaciju (Svanberg i sur., 2011).
- **Kognitivno zdravlje:** Studije pokazuju da upravo flavonoidi tamne čokolade imaju bitnu ulogu u poboljšanju kognitivnih funkcija te zaštititi mozga od starenja (Svanberg i sur., 2011).

- Poboljšanje raspoloženja: Konzumiranje čokolade može imati pozitivan učinak na samo raspoloženje zbog stimulativnih sastojaka poput feniletilamina i teobromina u svome radu navode Wollgast i Anklam (2000).
- Minerali: Čokolada uz navedene komponente, sadrži i minerale kao što su željezo, magnezij i cink koji su vrlo važni za koštano zdravlje, krv i kompletni imunološki sustava (Wollgast i Anklam, 2000).

Tijekom konzumacije čokolade vrlo je bitno obratiti pozornost na količine. Sva mjerenja i studije rađene su na malim količinama, koliko se i preporuča za dnevni unos. Preveliki dnevni unos može imati vrlo štetne i opasne učinke na ljudsko zdravlje, ponajviše se ističe povećani rizik od pretilosti i bolesti srca. Kakaov maslac, višenamjenski sastojak u prehrambenoj, kozmetičkoj i farmaceutskoj industriji, često se koristi upravo zbog svojih jedinstvenih svojstava (Wollgast i Anklam 2000).

2.3.4. Postupak proizvodnje čokolade

Tehnološki postupak proizvodnje čokolade obuhvaća nekoliko koraka. Tijekom proizvodnje čokolade izrazito je bitno pridržavati se propisanih temperatura i postupaka proizvodnje. Cjelokupni proces proizvodnje mora biti po pravilima HACCP-a kako bi se izbjegle moguće neželjene posljedice, a da bi proizvod odgovarao propisima i uvjetima za plasiranje čokolade na tržište (Beckett, 2018).

Postupak kreće na plantaži kakaovca. Mahune (**Slika 3**) koje rastu na kakaovcu sazrijevaju te prolaze kroz nekoliko faza zrenja. Zelena boja na početku postupno prelazi u žutu, narančastu ili crvenu, ovisno o fazi te količini sunca kroz dan. Kada mahune u potpunosti sazriju, one postaju žuto-narančaste ili crvenkaste boje, a sjemenke se u unutrašnjosti vrlo lako mogu odvojiti od pulpe (Beckett, 2018).



Slika 3 Plod kakaovca

Idući korak je berba koja se odvija ručno uz pomoć škara, noževa ili mačeta kako bi se pomno odabrale samo zrele mahune. Sezona berbe kreće 6 mjeseci nakon cvatnje i traje desetak dana. Upravo je taj vremenski period vrlo bitan kako bi čokolada kasnije imala željena svojstva i kvalitetu.

Odmah nakon obavljene berbe, kreće otvaranje i vađenje kakao zrna. Mahuna se otvori nožem ili nekim tupim predmetom kako bi se iz nje lakše izvadila zrna. Nakon odvajanja pulpe i zrna, zrna kreću u postupak fermentacije.

Ključni korak u proizvodnji čokolade upravo je fermentacija prilikom koje dolazi do razvoja kompleksnih i aromatičnih svojstava kaka. Sama fermentacija može trajati nekoliko dana pa sve do dva tjedna, ali sve ovisi o recepturi proizvođača te vrsti čokolade koja se želi proizvesti (Beckett, 2018).

Tradicionalno, sljedeći korak je sušenje koje se industrijski odvija u umjetnim sušnicama dok domaći proizvođači suše na suncu. Svrha sušenja je smanjiti vlažnost te minimizirati mogućnost kvarenja. Sušenje se provodi sve dok parametri vlage ne postignu željenu vrijednost od 6 do 8 %.

Prije početka prženja bitno je u potpunosti ukloniti nečistoće i provjeriti razinu vlage u zrnu. Temperatura prženja najčešće se kreće u rasponu 110 °C i 150 °C u vremenu od 30 do 50 minuta. Tijekom prženja, zrna se moraju kontinuirano miješati kako bi se jednoliko pržila. Karakteristike koje zrno dobije tijekom prženja su boja, hrskavost te najvažnije arome. Bitno je izbjeći prekomjerno ili preslabo prženje, jer se po završetku procesa neće dobiti željena svojstva. Nakon prženja, zrna se u posebnim komorama hlade (Balcázar-Zumaeta i sur., 2023).

Zrna se prije meljave kontroliraju radi mogućih prisutnosti nečistoća te se osigurava ujednačenost procesa. Predmljevenje ili grubo mljevenje postupak je kojim se ljuska odvoji od kakao zrna te se pripremi za postupak sitnog usitnjavanja. Industrijski mlinovi koji se koriste za meljavu, usitne zrno do praha. Mlinovi mogu biti konvencionalni, zračni ili kuglični. Trajanje procesa ovisi o željenoj veličini praha koja se kontrolira podešavanjem postavki i vrsti mlina (Do i sur., 2011).

Nakon što su svi sastojci pripremljeni, slijede završne, vrlo bitne faze u proizvodnji čokolade. Valcanje je postupak pri kojem se čokoladna masa homogenizira i usitnjava. Valjcima koji su u mogućnosti udaljavanja te približavanja, proizvodi se čokoladna masa raznih granulacija. Postupak valcanja kreće s donja dva valjka. Prvi valjak s donje strane najsporije se okreće te je upravo to mjesto prihvata čokoladne mase. Do zadnjeg gornjeg valjka brzina se povećava te se na njemu odvija zadnje valjanje nakon čega se masa skida te kreće u daljnju fazu obrade. Pri tom mehaničkom postupku vrlo je bitno dobiti glatku teksturu čokoladne mase za daljnju proizvodnju. Tijekom prolaska kroz valjke, svi sastojci praškaste teksture homogeno se rasporede unutar mase. Proces valcanja dijeli se u dvije glavne faze. Prva faza je predvalcanje koje se odvija na dvovaljku te druga i završna faza je valcanje uz upotrebu petovaljka. Unutrašnju građu valjaka čini šupljina koja se ispuni s temperiranom vodom kako bi se čokoladna masa mogla bolje valcati. Dvovaljak koji u fazi predvacanja usitnjava sastojke, čini to velikom mehaničkom silom na veličinu čestica u rasponu od 100 do 150 µm. Petovaljci završno usitne čestice do veličine u rasponu od 15 do 35 µm (Beckett, 2018). Dvovaljci i petovaljci mjere se po principu kapaciteta vode koje mogu zaprimiti u svom spremniku, tako su neki u mogućnosti primiti 100, 200, 500 ili više litara. Voda unutar valjaka ima vrlo bitnu ulogu zbog svoje temperature koja omogućuje valjcima da stvore jednoličnu čokoladnu masu. Temperatura prvog i petog valjka je jednaka te iznosi 25 °C, drugi i treći su grijani na 35 °C, dok je kod četvrtog temperatura vode 40 °C (Medina-Mendoza i sur., 2023).

Končiranje (**Slika 4**) kao završna faza u proizvodnji čokoladne mase ima ključnu ulogu u razvoju fizikalnih i kemijskih osobina. To je faza u kojoj se uklanjaju neželjene arome te razna fizikalna svojstva poput praškastih sastojaka koji konačno prelaze u tekuću homogenu masu. U uređaju za končiranje dolazi do smanjenja vode s 1,6 % na udio od 0,6 do 0,8 %. Postupak je podijeljen na 2 faze, suho končiranje sa suhom i pastoznom fazom te tekuće končiranje. Faze su međusobno povezane te svaka od njih pridonosi konačnom formiranju mase (Medina-Mendoza i sur., 2023).

- Suha faza – predstavlja prvi korak končiranja čokoladne mase. Cilj ove faze je uklanjanje viška vlage i tvari hlapljivih i nepoželjnih svojstava iz čokoladne mase. Nadalje, sudjeluje u pripremi mase za sljedeću obradu i razvoj željene arome i teksture.
- Pastozna faza – čokoladna masa u toj fazi prolazi kroz ključni proces koji doprinosi razvoju željenih aroma, tekstura i homogenizaciji mase. Ključni korak u ovoj fazi je održavati temperaturu konstantnom.
- Tekuća faza – konačni je korak u procesu končiranja čokoladne mase. Ova faza čokoladnoj masi daje svojstvo tekućine te ujedno i participira u homogenizaciji same mase. Masa je spremna za daljnju obradu i oblikovanje u konačni proizvod. Ovo je faza končiranja gdje se stavljaju dodatni sastojci kao što je ostatak kakaovog maslaca, arome ili emulgatori poput lecitina (Svanberg i sur., 2011).



Slika 4 Končiranje (web izvor 1)

Temperiranje je postupak koji u čokoladi preoblikuje centre kristala krutih masti poput kakaovog maslaca da bi se dobio željeni kristalni oblik veće stabilnosti. To je postupak koji je ključan da bi se proizvela čokoladna masa za proizvodnju čvrstih proizvoda.

Pri samom kraju procesa proizvodnje čokolade, temperirana čokoladna masa se lijeva u kalupe raznih oblika te se hladi na sobnu temperaturu nakon čega dolazi do pakiranja i konačnog plasiranja na tržište (Beckett, 2018).

2.3.5. Zakonska regulativa o čokoladama

Ulaskom u Europsku uniju prestaje važiti Pravilnik o kakau i čokoladnim proizvodima (NN 73/05), već važeća postaje Direktiva 2000/36/EZ Europskog parlamenta i Vijeća. Ona govori o standardima i zahtjevima potrebnim za proizvodnju, deklariranje te prometovanje kaka i čokolade na tržištu Hrvatske i cijele Europske unije. Pravilnik propisuje minimalni standard kvalitativne vrijednosti za kakao i čokoladne proizvode. Također uključuje sastav, dodatke, maksimalne razine nečistoća i mikrobiološke kriterije. Njime se određuju informacije koje moraju biti navedene na deklaraciji proizvoda. Osim naziva proizvoda moraju se prikazati sastojci, rok trajanja, uvjete skladištenja i upute za upotrebu.

2.4. Reološka svojstva čokolade

Reološka svojstva čokolade vrlo su važna u prehrambenoj industriji i igraju ključnu ulogu u procesu proizvodnje, dizajnu i kvaliteti samih čokoladnih proizvoda. Ta svojstva omogućuju prilagodbu čokolade različitim tehničkim zahtjevima i utječu na njezinu teksturu, stabilnost i organoleptička svojstva. Čokoladu se može promatrati kao složeni heterogeni materijal koji se sastoji od čvrstih čestica, poput krutine kakaovca, šećera, čestica mlijeka raspoređenih u jednolikoj masi kakaovog maslaca (Shimada i sur., 2002). Glavna reološka svojstva čokolade su viskoznost, plastičnost, elastičnost i osjetljivost na toplinu. Viskoznost čokolade ključni je parametar koji opisuje njezinu sposobnost tečenja pod silom. Viskoznost čokolade varira u ovisnosti o sastojcima smjese, temperaturi i vremenu. Veća viskoznost otežava tečenje čokolade tijekom procesa proizvodnje, kao što je punjenje kalupa ili oblikovanje (Wong i sur., 2024). Ključnim se pokazuje proučavanje mehaničkih osobina čokolade. Promatranje ponašanja pod različitim uvjetima deformacija poput djelovanja sile, pokazalo se izuzetno značajnim. Reološka svojstva daju rezultate o protoku materijala i deformacije istih pod utjecajem stresa ili sile. Kod čokolada, reološka svojstva imaju ulogu u procesu proizvodnje, kvaliteti proizvoda i konačnom iskustvu potrošača. Analiziranje

reoloških podataka čokolade proizvođaču daju uvid u optimizaciju procesa proizvodnje, prilagodbe recepture te osiguranje kvalitete proizvoda. Nadalje, vrlo bitnim se pokazuje razumijevanje interakcija između različitih sastojaka čokolade i utjecaja procesnih parametara na konačni proizvod. Poznavanje reoloških svojstava postaje ključno za proizvodnju visokokvalitetnih čokoladnih pripravaka koji zadovoljavaju standarde potrošača navode, Bae i sur. (2024).

Čimbenici koji utječu na reološka svojstva čokolade

Reologija čokolade je kompleksna i ovisi o mnogobrojnim faktorima. Čimbenici koji ponajviše utječu na reologiju čokolade su sastojci, proces proizvodnje te skladištenje. Kada je riječ o sastojcima, kakaova masa čiji sastav čine kakaov maslac i bezmasna suha tvar kakao dijelova imaju značajan utjecaj na viskoznost, plastičnost čokolade, ali i teksturu. Polimorfna struktura kakaovog maslaca i temperaturna ovisnost djeluju na topljenje čokolade i njenu krutost. Veća količina šećera u čokoladi povećava njenu viskoznost, ali i gustoću. Osim što direktno utječe na reologiju, utječe i na slatkoću i tiksotropiju čokolade. Lecitin, čija je uloga emulgatora, pomaže pri stabilizaciji emulzije koja nastaje između kakaovog maslaca i čvrste tvari. Takav tip emulzije utječe na viskoznost i plastičnost čokolade. Razne vrste dodataka poput mlijeka, bučinih sjemenki, voća ili začina mogu djelovati na reološka svojstva čokolade. Kao što je navedeno u procesu proizvodnje čokolade, gdje dolazi do stvaranja jednolične mase i završnog miješanja sastojaka, sam intenzitet miješanja i raspodjele čvrstih sastojaka emulzije također djeluje na reološka svojstva. Procesom oblikovanja i hlađenja čokoladne mase utječe se na stvaranje kristalne strukture i mikrostrukture čokolade, što se uvelike može odraziti na njenu elastičnost, plastičnost i teksturu. Zadnja točka gdje može doći do promjene reoloških svojstava je skladištenje. Važno je postaviti idealne temperaturne uvjete. Temperatura može posebno utjecati na krutost i topljenje kakaovog maslaca. Vremenski period skladištenja može doprinijeti promjenama u kristalnoj strukturi kakaovog maslaca i reologiji čokolade. Navedeni faktori ključni su za razumijevanje faza proizvodnje i skladištenja kako bi čokolada imala gotovo savršena reološka svojstva s malim oscilacijama (Efraim i sur., 2011).

2.5. Fizikalna svojstva čokolade

Čokolada ima različita fizikalna svojstva koja utječu na njezinu teksturu, oblik, toplinsku vodljivost i druga svojstva. Slijede neka od fizičkih svojstava čokolade:

- **Točka topljenja:** Točka topljenja čokolade je temperatura na kojoj se čvrsta čokolada pretvara u tekućinu. Za mliječnu čokoladu ta temperaturna točka je obično oko 30 – 32 °C, dok je za tamnu čokoladu nešto viša, oko 32 – 34 °C. Točka topljenja igra važnu ulogu u temperiranju čokolade i održavanju njezine teksture i sjaja.
- **Viskoznost:** Viskoznost čokolade opisuje njenu otpornost na tečenje. Viskoznost čokolade ovisi o sastojcima, temperaturi i vremenu. Veća viskoznost može otežati tečenje čokolade tijekom proizvodnje. Kontrola viskoznosti čokolade nužna je za postizanje željene konzistencije i teksture.
- **Toplinska vodljivost:** Čokolada je dobar vodič topline, što znači da brzo prenosi toplinu. Zbog toga se čokolada brzo otapa kada je izložena toplini, poput temperature ljudskog tijela.
- **Elastičnost:** Elastičnost čokolade opisuje njezinu sposobnost da se privremeno deformira i vrati u svoj izvorni oblik nakon uklanjanja vanjske sile. Elastičnost utječe na teksturu čokolade i na njezin okus pri konzumaciji.
- **Tvrdoća:** Tvrdoća čokolade odnosi se na njenu otpornost na deformacije pod vanjskim utjecajima. Tvrdoća čokolade može se mjeriti pomoću uređaja kao što je analizator teksture, koji primjenjuje kontroliranu silu na čokoladu i mjeri njen odgovor (Do i sur., 2011).

Ovo su samo neka od fizičkih svojstava koja utječu na konzistenciju, oblik i kvalitetu čokolade. Poznavanje ovih svojstava pomaže proizvođačima optimizirati proizvodni proces i postizanje željenih obilježja čokolade (Bloquet-Maurras i sur., 2023).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Zadatak

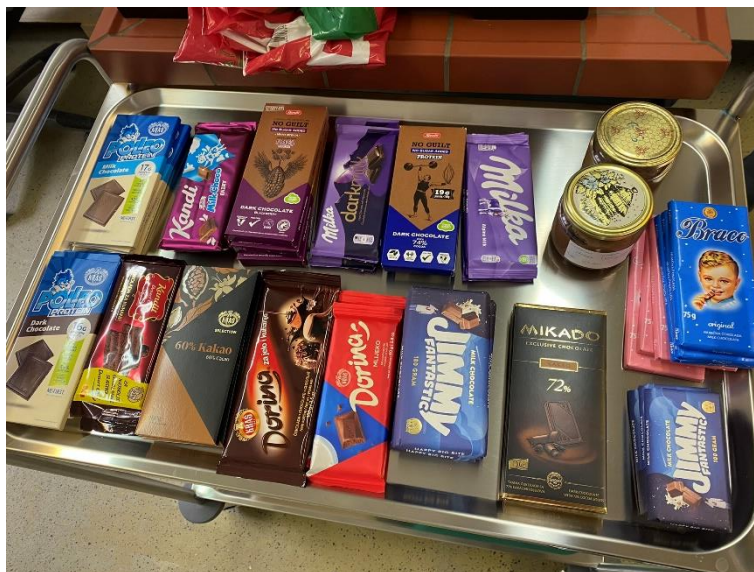
Zadatak ovog rada bio je odrediti reološka i fizikalna svojstva mliječnih i tamnih čokolada s hrvatskog tržišta. Za potrebe ovog rada korišten je rotacijski reometar HAAKE Viscotester iQ.

3.2. Materijali

Za postupak određivanja reoloških svojstava čokolade korištene su različite čokolade dostupne na hrvatskom tržištu (**Tablica 2**).

Tablica 2 Popis čokolada

| Br. | Čokolada | Masa |
|-----|---|-------|
| 1. | Kraš & Polleo mliječna (16 grama proteina) | 80 g |
| 2. | Kraš & Polleo mliječna (17 grama proteina) | 80 g |
| 3. | Kandit „Desert Chef“ čokolada za kuhanje | 100 g |
| 4. | Kandi Milk Choco Fairy | 80 g |
| 5. | Kraš Selection 60 % Kakao | 100 g |
| 6. | Milka Dark Milk Alpine Milk | 85 g |
| 7. | Dorina za jelo i kuhanje | 100 g |
| 8. | Kandit No Guilt Milk Protein Chocolate (19 grama proteina) | 80 g |
| 9. | Kraš Dorina mlijeko | 80 g |
| 10. | Milka Alpine Milk | 80 g |
| 11. | Mikado Exclusive 72 % Kakao | 100 g |
| 12. | Jimmy Fantastic mliječna čokolada | 100 g |
| 13. | Seka mliječna čokolada | 75 g |
| 14. | Braco mliječna čokolada | 75 g |



Slika 5 Uzorci čokolada

3.3. Metode

3.3.1. Određivanje krivulje tečenja

Krivulja tečenja određuje se postupkom mjerenja i analize rotacijskim viskozimetrom HAAKE Viscotester iQ (Thermo Fisher Scientific, SAD), IOCCC metodom na temperaturi $40 \pm 0,1$ °C te se mjeri napon smicanja u ovisnosti od brzine smicanja. Prati se ponašanje tečenja uzorka čokolade pod određenim uvjetima. Takav postupak se koristi u prehrambenoj industriji kako bi se dobila čokolada što boljih svojstava (Medina-Mendoza i sur., 2021). Krivulja tečenja (Slika 7) opisuje se kao odnos između napona smicanja i brzine tečenja uzorka. Krivulja koja nastaje analizom pruža značajne informacije o reološkim svojstvima čokolade. Krivulja tečenja kod nenewtonovskih tekućina ne kreće iz ishodišta već je potreban određen prag naprezanja kako bi čokolada počela teći pa se tako kod binghamovskih tekućina na grafu pojavljuje pravac koji ne kreće iz ishodišta kao što je slučaj kod Newtonovskih fluida. Razlog tomu je viskoznost takvih fluida koja nije konstantna već ovisi o temperaturi i tlaku. Početak tečenja čokolada kreće tek kada se postigne odgovarajući prag naprezanja (Engmann i Mackley, 2006).

Postupak pripreme uzorka (Slika 5) za provedbu analize na rotacijskom viskozimetru započinje otapanjem i termostatiranjem čokolade u vodenoj kupelji (Slika 6) na oko 50 °C te se u tekućem obliku premješta u mjernu posudu viskozimetra. Temperatura u reometru iznosi 40 °C, a vrijeme analize uključuje najprije homogenizaciju uzorka kroz 5 minuta pri brzini okretaja 5 s^{-1} . Nakon navedenog, provodi se mjerenje te se tada brzina smicanja povećava od

2 s^{-1} do 50 s^{-1} u trajanju od 180 sekundi, zatim se održava 60 sekundi na brzini od 50 s^{-1} , a zatim smanjuje od 50 s^{-1} do 2 s^{-1} također u trajanju od 180 sekundi.

Reološka svojstva čokolade najčešće su definiraju Casson-ovim modelom, pri čemu se određuju:

τ_0 – granica tečenja prema Casson-u [Pa];

η_p – plastični viskozitet prema Casson-u [Pas].

Izraz (2) prikazuje Casson-ov model:

$$\tau^{0,5} = \tau_{0C}^{0,5} + (\eta_C \dot{\gamma})^{0,5} \quad (2)$$

Cassonov model prihvaćen je kao službeni model od strane International Office of Cocoa, Chocolate and Confectionary – IOCCC (2000).

3.3.2. Određivanje vrijednosti granica tečenja različitih vrsta čokolada prema Casson-u

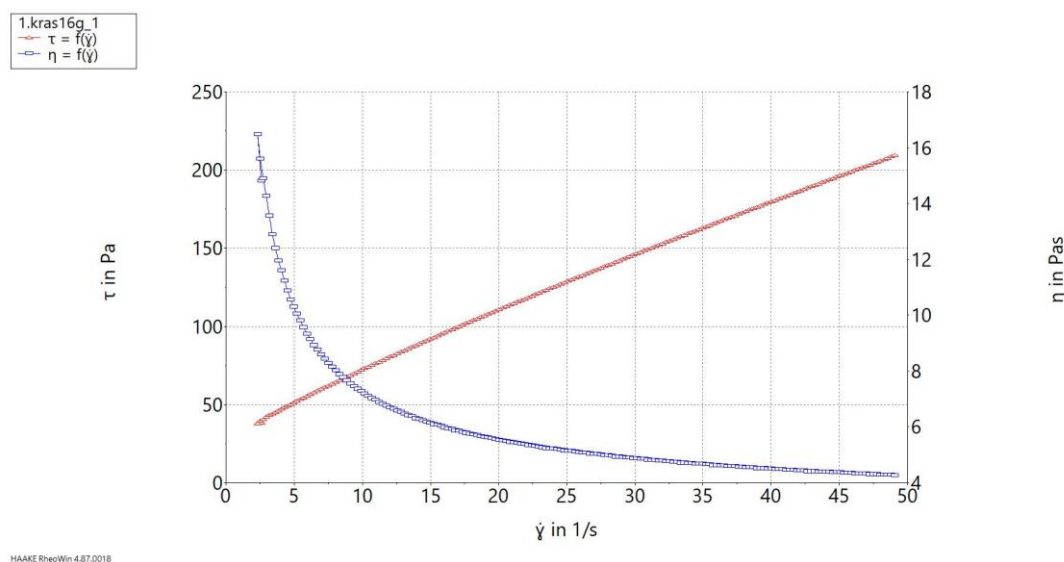
Određivanje vrijednosti granica tečenja, postupak je od velike važnosti u prehrambenom inženjerstvu. Granica tečenja opisuje se kao naprezanje ili opterećenje koje određeni materijal može podnijeti prije nego li počne nekontrolirano teći ili se plastično deformirati. Dobiveni podatci daju uvid u informacije o čvrstoći, ali i o otpornosti materijala na deformaciju prilikom vanjskih opterećenja. Casson-ov model opisuje tečenje čokolade pod utjecajem sile ili stresa. Model se koristi pri opisivanju viskoelastičnog svojstava fluida pa tako i čokolade. Prema Casson-u, granica tečenja opisuje stanje u kojem čokolada prelazi u tekuće stanje. Granica tečenja ovisi o faktorima kao što su vrsta čokolade, udio kakaa i dodanih tvari te o samom procesu proizvodnje. Svaka čokolada ima drugačije vrijednosti granice tečenja po Casson-u (Fernandes i sur., 2013).



Slika 6 Otapanje čokolade u vodenoj kupelji

3.3.3. Vrijednosti plastične viskoznosti različitih vrsta čokolada prema Casson-u

Određivanje vrijednosti plastične viskoznosti bitan je postupak koji se provodi s ciljem dobivanja podataka o otporu tekućine ili materijala. Viskoznost se opisuje kao unutarnje trenje koje u materijalu uzrokuje otpor protoku. Određivanje vrijednosti viskoznosti čokolade omogućuje lakši razvoj novih čokolada, kontrolu procesa proizvodnje i novih oblika. Casson-ov model plastične viskoznosti predstavlja bitnu reološku osobinu različitih vrsta čokolade. Analiza ovih vrijednosti pruža uvid u sposobnost tečenja čokolade, ali i omogućuje kvalitetnije razumijevanje utjecaja stresa na čokoladu. Ključne vrijednosti koje se iščitavaju iz rezultata su reološke razlike između čokolada. Na razlike utječe sastav čokoladne mase, dodatci i proces proizvodnje. Analiziranjem dobivenih rezultata dobiva se uvid u djelovanje faktora različite prirode na reologiju čokolade. Nakon obrade dobivenih podataka, rezultati se mogu upotrijebiti kao smjer korekcije u proizvodnji (Fernandes i sur., 2013).



Slika 7 Primjer krivulje tečenja

3.3.4. Određivanje boje

Određivanje boje uzoraka čokolade provelo se uređajem Chroma Meter C-400 proizvođača Konica Minolta (**Slika 8**). Sustav koji se koristio pri analizi je L^*Ch i $CIEL^*a^*b^*$. Princip rada kromatometra temelji se na svjetlosti koja proizlazi iz donjeg dijela uređaja te se prislanja na uzorak. Potom se dobiveni podatci analiziraju, kako bi se odredila spektralna distribucija i parametri boje. Uzorci se pripremaju prema odgovarajućim zahtjevima mjerenja. Čokoladna pločica kao uzorak analizira se s donje strane, na dijelu gdje je čokolada potpuno ravna. Kromatometar se, kada je u pitanju uzorak čokolade u pločici, drži u rukama te prisloni na uzorak, nakon čega se aktivira svjetlo pritiskom na gumb. Prije nego se krene s mjerenjem, potrebno je kalibrirati uređaj skeniranjem pločica sa standardnim vrijednostima, te na taj način možemo provjeriti ispravnost uređaja te pouzdanost rezultata. Mjerenjem uređaj daje na uvid podatke kao što su vrijednosti spektralne distribucije boje, apsorpciju svjetlosti te ostali parametri boje (Soares i Alves, 2018).

Parametri nakon dovršene analize su:

- L^* - predstavlja svjetlinu, kada je vrijednost 0 radi se o crnoj, a kada je 100 radi se o bijeloj boji

- a^* - predstavlja koordinate crvene i zelene boje, vrijednosti koordinata crvene boje iskazuju pozitivnu vrijednost, a koordinata zelene boje negativnu vrijednost
- b^* - predstavlja koordinate žute i plave boje, vrijednosti koordinata žute boje iskazuju pozitivnu vrijednost, a koordinata plave boje negativnu vrijednost
- C - intenzitet boje
- h° - tonalitet boje



Slika 8 Chroma Meter C-400

3.3.5. Određivanje čvrstoće metodom lomljenja

Za određivanje čvrstoće metodom lomljenja korišten je uređaj TA.XT Texture Analyser (Stable Micro Systems, Velika Britanija) (Slika 9). Metoda lomljenja jedna je od dvije metode za određivanja čvrstoće materijala. Također se koristi i naziv test loma ili test čvrstoće na lom. Određivanje se vrši radi karakterizacije mehaničkih svojstava čokolade. Postupak metode

temelji se na primjeni opterećenja elementa uređaja na uzorak čokolade dok ne dođe do loma. Temeljem navedene analize, izvedu se informacije koje opisuju mehaničku karakteristiku materijala, a ono uključuje čvrstoću, elastičnost, napon loma i ostale parametre.



Slika 9 Uređaj za određivanje čvrstoće metodom lomljenja TA.XT Texture Analyser

3.3.6. Određivanje čvrstoće metodom penetracije

Određivanje čvrstoće čokolade metodom penetracije vrši se analizatorom TA.XT Texture Analyser (Stable Micro Systems, Velika Britanija) (**Slika 10**). Uzorak čokolade postavlja se na podlogu uređaja („heavy-duty“ platformu), tijekom čega se mjeri težina penetracije mjernog tijela. Kao mjerno tijelo koristio se nastavak cilindričnog oblika, promjera 2 mm, izrađen od nehrđajućeg čelika. Dobiveni rezultati mjerenja obrađeni su u Texture Exponent 32 softveru. Također su izračunate srednja vrijednost i standardna devijacija, a rezultati su prikazani grafički u gramima.

Parametri testa:

- brzina tijekom mjerenja: 0,5 mm/s,
- dubina prodiranja: 2 mm.



Slika 10 Uređaj za određivanje čvrstoće metodom penetracije TA.XT Texture Analyser

3.3.7. Određivanje lomljivosti metodom lomljenja

Metoda lomljenja prilikom određivanja lomljivosti materijala podrazumijeva postupak kojim se utvrđuje sklonost uzorka čokolade prema lomu uz kontrolirane uvjete opterećenja. Postupak obuhvaća spuštanje pokretnog djela uređaja na uzorak te kada dođe do loma uzorka zabilježi se težina koja je bila potrebna za lom. Mjerna jedinica težine potrebne za lom koja se koristi u ovoj metodi je gram. Metoda koristi tehnolozima pri razvoju novih proizvoda tako što daje informacije o ponašanju materijala pri različitim uvjetima, a sve u svrhu proizvodnje čokolade koja ima željeno svojstvo loma.

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Rezultati analize boje različitih vrsta čokolada

U **Tablici 3** prikazane su vrijednosti L^* , a^* , b^* , C , h^* . Svaki od tih podataka svojim vrijednostima definira boju čokolade. Nakon kolorimetrijske analize čokolade, parametri koji opisuju boju u trodimenzionalnom prostoru dali su navedene rezultate. Parametar L^* označava svjetlinu boje te je vidljivo da je čokolada pod rednim brojem 8 najtamnija. Vrijednost, što je bliža nuli, označava da se radi o uzorku tamnije boje, suprotno tome, uzorak pod rednim brojem 5 najviše je vrijednosti te se radi o najsvjetlijoj čokoladi iz testiranih uzoraka. Razni faktori tijekom procesa proizvodnje čokolade utječu na svjetlinu čokolade. Glavni faktor koji utječe na vrijednost L^* je postotak kakaa (Verde i sur., 2021). Čokolade s višim udjelom kakaa rezultiraju tamnijom bojom, upravo je to uzrok nižih vrijednosti parametra L^* tamnih čokolada. Vidljivo je kako uzorci 7., 8., 9., 10., 11., i 14. imaju daleko niže vrijednosti od ostalih čokolada upravo zbog većeg udjela kakaa. Osim količine, na svjetlost čokolade utječe i vrsta kakaa. Različite sorte nakon prženja rezultiraju različitim nijansama boje. Dakako, i različita duljina prženja zrna kakaa ima utjecaj na boju. Čokolade u kojima se nalazi kakao pržen dulje vrijeme tamnije su, dok kraće vrijeme prženja rezultira višim vrijednostima L^* . Nadalje, dodaci čokoladi poput mlijeka ili zamjenskih masti mogu imati utjecaj na boju čokolade. Mliječne čokolade zbog dodatka mlijeka imaju više vrijednosti L^* . Vrijednosti a^* i b^* kod uzoraka tamnijih čokolada imaju niže vrijednosti od mliječnih čokolada. Uzorak 8. kao najtamnija čokolada po parametru L^* , ima i najniže vrijednosti a^* i b^* . Parametar a^* prikazuje vrijednosti nijanse od zelene ($-a^*$) do crvene ($+a^*$). Vrijednost parametra a^* kod uzorka 8. je pozitivna i iznosi $5,33 \pm 0,05$ te ukazuje na veću prisutnost nijansi crvene boje. b^* se odnosi na nijanse od plave ($-b^*$) do žute ($+b^*$). Vrijednost $1,66 \pm 0,07$ kod parametra b^* je pozitivnog predznaka te ona predstavlja žute nijanse u boji čokolade. Rezultati pokazuju kako boja uzorka 8. ima nijanse koje su blago crvene i blago žute. Ove informacije koriste se u industriji čokolade da bi se osigurala jednaka boja svih proizvoda. Promjenom recepture došlo bi i do promjene tih parametara. Parametar C^* u kolorimetrijskoj analizi označava zasićenost i intenzitet boje u odnosu na sivu boju koja predstavlja neutralnost. Uzorak 8. čija vrijednost iznosi $5,59 \pm 0,03$, ukazuje na manju zasićenost, međutim zato kod uzorka 13. vrijednost iznosi $50,60 \pm 0,51$, te ukazuje na veću zasićenost boje. Vrijednost h° označava ton boje u sustavu HSL (nijansa, zasićenje, svjetlina). h° mjeri kut u kružnom prostoru boja i označava dominantnu boju i ton. Vrijednosti parametra h° kreću se od 0° do 360° , gdje

0° predstavlja crvenu, 120° zelenu, a 240° plavu boju. Ostale boje spektra nalaze se između tih točaka. Najniža vrijednost h° pojavljuje se kod uzorka 8. te iznosi $17,57 \pm 0,49$, a vrijednost uzorka 5. je najviša te iznosi $50,95 \pm 0,21$.

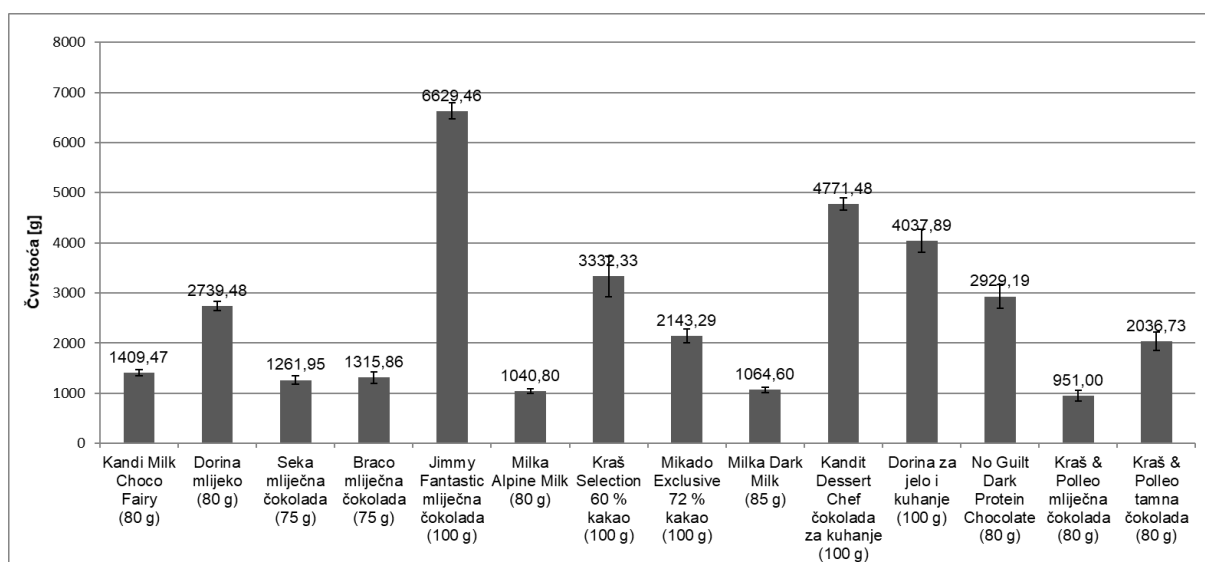
Tablica 3 Vrijednosti kolorimetrijskih parametara

| Br. | Čokolada | L^* | a^* | b^* | C | h° |
|-----|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1. | Kandi Milk Choco Fairy (80 g) | $37,66 \pm 0,34$ | $10,55 \pm 0,14$ | $10,76 \pm 0,24$ | $15,23 \pm 0,13$ | $45,94 \pm 0,30$ |
| 2. | Dorina mlijeko (80 g) | $39,68 \pm 0,07$ | $10,40 \pm 0,15$ | $11,51 \pm 0,13$ | $15,59 \pm 0,17$ | $47,63 \pm 0,20$ |
| 3. | Seka mliječna čokolada (75 g) | $39,37 \pm 0,21$ | $9,34 \pm 0,11$ | $10,50 \pm 0,05$ | $14,04 \pm 0,07$ | $48,38 \pm 0,23$ |
| 4. | Braco mliječna čokolada (75 g) | $39,47 \pm 0,32$ | $9,29 \pm 0,88$ | $10,77 \pm 0,16$ | $14,48 \pm 0,19$ | $48,34 \pm 0,09$ |
| 5. | Jimmy Fantastic mliječna čokolada (100 g) | $41,43 \pm 0,07$ | $9,71 \pm 0,16$ | $11,78 \pm 0,34$ | $15,31 \pm 0,20$ | $50,95 \pm 0,21$ |
| 6. | Milka Alpine Milk (80 g) | $40,69 \pm 0,26$ | $9,79 \pm 0,06$ | $9,28 \pm 0,10$ | $12,69 \pm 0,31$ | $44,54 \pm 0,48$ |
| 7. | Kraš Selection 60 % kakao (100 g) | $29,29 \pm 0,06$ | $6,39 \pm 0,17$ | $2,86 \pm 0,08$ | $6,86 \pm 0,03$ | $24,50 \pm 0,45$ |
| 8. | Mikado Exclusive 72% kakao (100 g) | $29,31 \pm 0,30$ | $5,33 \pm 0,05$ | $1,66 \pm 0,07$ | $5,59 \pm 0,03$ | $17,57 \pm 0,49$ |
| 9. | Milka Dark Milk (85 g) | $33,82 \pm 0,28$ | $8,52 \pm 0,15$ | $6,21 \pm 0,11$ | $10,56 \pm 0,17$ | $35,91 \pm 0,45$ |
| 10. | Kandit Dessert Chef čokolada za kuhanje(100 g) | $30,39 \pm 0,20$ | $7,56 \pm 0,08$ | $4,67 \pm 0,07$ | $8,91 \pm 0,05$ | $31,48 \pm 0,24$ |
| 11. | Dorina za jelo i kuhanje (100 g) | $30,65 \pm 0,20$ | $7,95 \pm 0,10$ | $4,73 \pm 0,24$ | $9,33 \pm 0,19$ | $31,41 \pm 0,38$ |
| 12. | No Guilt Dark Protein chocolate (80 g) | $30,98 \pm 0,49$ | $8,31 \pm 0,05$ | $5,60 \pm 0,16$ | $10,02 \pm 0,17$ | $32,48 \pm 0,45$ |
| 13. | Kraš & Polleo mliječna čokolada (80 g) | $41,52 \pm 0,33$ | $10,26 \pm 0,01$ | $12,64 \pm 0,18$ | $16,22 \pm 0,13$ | $50,60 \pm 0,51$ |
| 14. | Kraš & Polleo tamna čokolada (80 g) | $30,19 \pm 0,21$ | $6,83 \pm 0,08$ | $4,55 \pm 0,10$ | $8,21 \pm 0,11$ | $33,68 \pm 0,38$ |

4.2. Čvrstoća različitih vrsta čokolade određena metodom lomljenja

Metoda u ovom testiranju provodi se primjenom sile na uzorak čokolade na način da se pokretni element uređaja određenom težinom spušta na čokoladu sve dok ne dođe do loma. Na **Slici 11** vidljivo je da čokolada „Jimmy Fantastic mliječna čokolada (100 g)” ima najveću čvrstoću. Rezultat iznosi 6629,46 grama te je glavni razlog visoke vrijednosti čvrstoće debljina same pločice čokolade za razliku od ostalih. Uzorci mliječnih čokolada „Kandi Milk Choco Fairy (80 g)”, „Seka mliječna čokolada (75 g)”, „Braco mliječna čokolada (75 g)” i „Milka Alpine Milk (80 g)” imaju približno iste vrijednosti, što potvrđuje da im je sastav približno jednak te da male razlike u udjelima pojedinih sastojaka ne čine veliku razliku po pitanju

čvrstoće. „Dorina mlijeko (80 g)” zbog razlike u debljini čokoladne pločice ima nešto viši rezultat čvrstoće. Dvije čokolade s visokim udjelom kakaa pokazuju različite rezultate čvrstoće, čokolada „Kraš Selection 60 % kakao (100 g)” ima niži udio kakaa, ali je čvrstoća veća nego kod čokolade „Mikado Exclusive 72 % kakao (100 g)”. Veća čvrstoća čokolade s manjim udjelom kakaa je očekivana radi veće debljine čokolade. Čokolade za kuhanje pokazuju najviše vrijednosti čvrstoće zbog svoje stabilnosti, visokog udjela kakaa i manjeg udjela dodanih sastojaka. Od iduća tri uzorka koje čine čokolade s dodatkom proteina, najmanju vrijednost pokazuje mliječna čokolada, dok od dvije tamne čokolade veću čvrstoću ima „No Guilt Dark Protein Chocolate (80 g)”, koja iznosi 2929,19 grama, te zbog višeg udjela kakaa dijelova (74 %) ima veću čvrstoću od „Kraš & Polleo tamna čokolada (80 g)” gdje je udio kakaa dijelova manji (55 %).

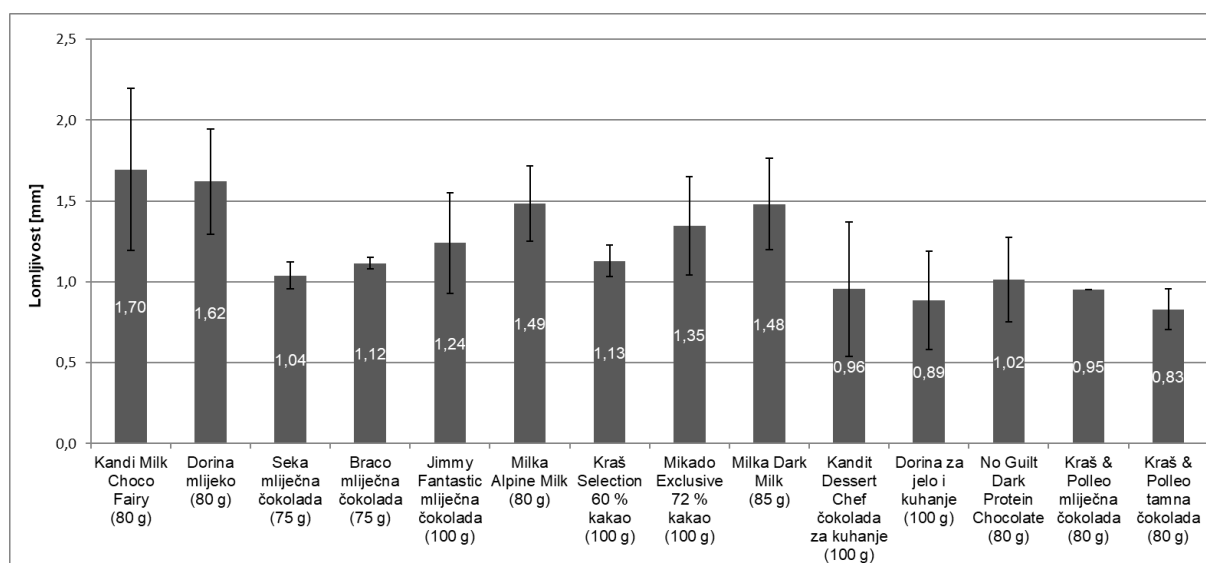


Slika 11 Čvrstoća različitih vrsta čokolade određena metodom lomljenja

4.3. Lomljivost različitih vrsta čokolade određena metodom lomljenja

Lomljivost čokolade jedno je od svojstava koje pokazuje kvalitetu. Rezultati o lomljivosti mnogo govore o vrsti, ali i količini sastojaka u čokoladi. Tijekom testiranja uzorci mliječnih čokolada dali su različite rezultate, ali možemo ih grupirati. Uzorci „Kandi Milk Choco Fairy (80 g)”, „Dorina mlijeko (80 g)”, „Milka Alpine Milk (80 g)”, i „Jimmy Fantastic mliječna čokolada (100 g)” redom su nabrojani počevši od čokolade s najvećom lomljivošću prema najmanjoj. Kada su u pitanju mliječne čokolade, razlika među pojedinačnim čokoladama može

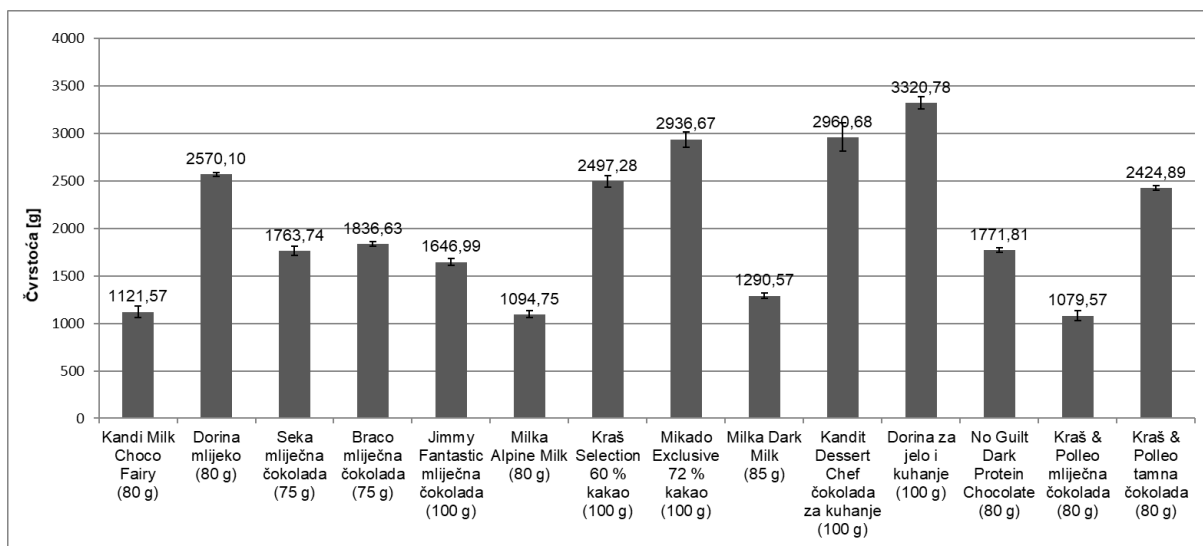
se mjeriti u mikrometrima te ukoliko se gleda samo lomljivost kao parametar kvalitete, one spadaju u visok rang. Minimalne razlike u mjerenjima mogu se pripisati različitom sastavu čokolada i drugačijim recepturama. Kod mliječnih čokolada, najveći učinak na lomljivost ima udio suhe mliječne tvari, te ukupni udio masne tvari i postotak kakaa. Uzorci „Seka mliječna čokolada (75 g)“ i „Braco mliječna čokolada (75 g)“ približno su jednake lomljivosti, ali znatno manje od prethodno navedenih mliječnih čokolada, prema tome one bi se mogle svrstati u niži razred po kvaliteti. Analizirajući tamne čokolade, lomljivost uzorka „Kraš Selection 60 % kakao (100 g)“ je manja što i potvrđuje tezu da se tamne čokolade s manjim udjelom kakaa manje lome od tamnih čokolada s višim udjelom kakaa kao što je uzorak „Mikado Exclusive 72 % kakao (100 g)“ te se rezultati ovog istraživanja slažu sa radom Wollgast i Anklam (2000). Osim razlike u postotku kakaa, razlika u rezultatima može se pripisati i različitim proizvođačima tih dviju čokolada. Lomljivost mliječne čokolade s dodatkom bjelančevina „Kraš & Polleo mliječna čokolada (80 g)“ i tamne čokolade s dodatkom bjelančevina „Kraš & Polleo tamna čokolada (80 g)“ istog proizvođača minimalno se razlikuje. Manje razlike u sastavu poput udjela kakao dijelova, suhe tvari mlijeka, ali i različitog udjela bjelančevina rezultirale su navedenom razlikom. Iz **Slike 12** vidljivo je da neke mliječne čokolade imaju veću lomljivost od tamnih što je pokazatelj da uzorci nisu od istog proizvođača te da treba uzeti u obzir debljinu same čokoladne pločice.



Slika 12 Lomljivost različitih vrsta čokolade određena metodom lomljenja

4.4. Čvrstoća različitih vrsta čokolade određena metodom penetracije

Metoda penetracije provodi se primjenom težine na uzorak čokolade vrhom penetracijskog elementa uređaja. Usporedbom rezultata (**Slika 13**) čokolada „Kraš Selection 60 % kakao (100 g)“ i „Mikado Exclusive 72 % kakao (100 g)“, čokolada sa 72 % kaka čvršća je od čokolade s manjim udjelom kaka. Čokolade za kuhanje pokazuju najveću čvrstoću od svih analiziranih uzoraka. Općenito takva vrsta čokolade ima manji udio šećera, dodanog mlijeka i aditiva za razliku od mliječnih čokolada i čokolada s punjenjima koje se koriste za svakodnevnu konzumaciju. Svanberg i sur., (2011) u svom radu tvrde da manji udio dodataka čokoladi daje kompaktniju teksturu te je ona čvršća, što se ovom metodom i potvrđuje. Uzorak čokolade „Kraš & Polleo tamna čokolada (80 g)“ ima višu vrijednost čvrstoće zbog većeg udjela kaka od „Kraš & Polleo mliječna čokolada (80 g)“ i „No Guilt Dark Protein Chocolate (80 g)“ koje su također čokolade s dodatkom bjelančevina. Mliječne čokolade manje su čvrste od tamnih zbog većeg udjela dodanih sastojaka u recepturi. „Dorina mlijeko (80 g)“ čvršća je od čokolade „Jimmy Fantastic Mliječna čokolada (100 g)“ iz razloga što sadrži manji udio masti koja utječe na čvrstoću čokolade. Uzorci „Seka mliječna čokolada (75 g)“ i „Braco mliječna čokolada (75 g)“ niže su masnoće te tanja i kompaktnija pločica rezultira većom čvrstoćom od čokolada „Milka Alpine Milk (80 g)“, „Kandi Milk Choco Fairy (80 g)“ koje su po sastavu gotovo identične. Metoda penetracije daje drugačije rezultate negoli metoda lomljenja, jer se pri penetraciji ističe tekstura čokolade te vanjšina iste dok je kod druge metode važnija debljina pločice i punjenje čokolade.

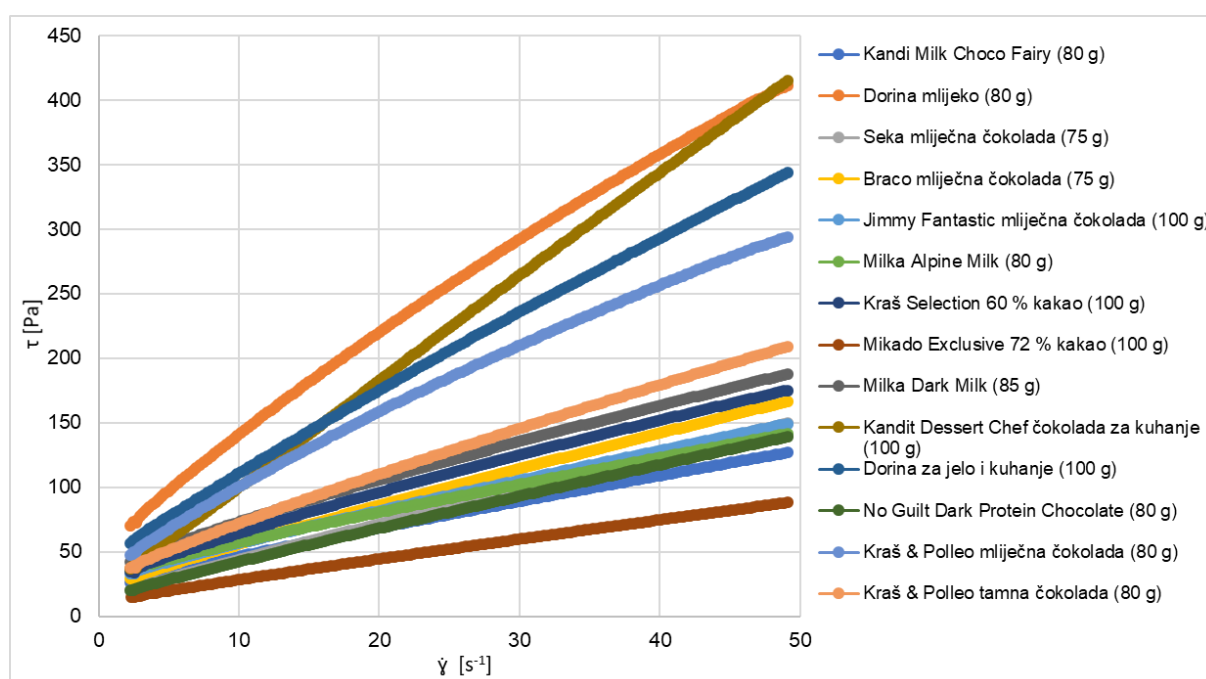


Slika 13 Čvrstoća različitih vrsta čokolade određena metodom penetracije

4.5. Krivulja tečenja različitih vrsta čokolada

Provođenjem mjerenja radi određivanja krivulje tečenja čokolada (Slika 14), vidljivo je da se radi o nenevtonovskim fluidima. Kao rezultat tečenja vidljiva je krivulja koja ne kreće iz ishodišta. Uspoređujući granice tečenja uzoraka čokolade, bitno je prepoznati njihove reološke osobine jer se radi o fluidima kod kojih je potrebna određena sila kako bi se postigla granična vrijednost napona smicanja. Uzorak „Kandit Dessert Chef čokolada za kuhanje (100 g)“ sadrži 43 % kakao dijelova i 27,7 % masti što utječe na granicu tečenja i izgled krivulje. Uzorak te čokolade ima manju vrijednost napona smicanja koji je potreban da čokolada počne teći u usporedbi s uzorkom čokolade „Dorina za jelo i kuhanje (100 g)“ koja u sastavu ima veći udio masti. Na rezultat napona smicanja velik utjecaj ima postotak masti, u svom radu Bloquet-Maurras i sur. (2023) navode kako veći udio masnoće povećava viskoznost čokolade. Uzorak s većim udjelom masnih dijelova ima veći otpor tečenju čokolade, ali isto tako ima drugačije kretanje krivulje zbog promjena u brzini protoka. Dva uzorka tamnih čokolada s dodatkom proteina imaju minimalne razlike u naponu smicanja, ali tijekom povećanja iste vrijednosti dolazi do različitog rezultata odnosa brzine i napona. Uzorak „Kraš & Polleo tamna čokolada (80 g)“ sadrži 16 grama proteina i potreban je znatno veći napon smicanja nego kod uzorka čokolade „No Guilt Dark Protein Chocolate (80 g)“ koja sadrži veći udio proteina (19 g). Viskoznost nije direktno proporcionalna brzini smicanja pa tako prilikom povećanja brzine smicanja kod uzorka s 19 grama proteina dolazi do smanjenja viskoznosti. Takvo svojstvo

pojavljuje se kod pseudoplastičnih materijala. Mliječne čokolade zbog svog sastava imaju niže vrijednosti krivulje tečenja. Niži napon smicanja posljedica je prisutnosti mlijeka u prahu u čokoladi. Uspoređujući mliječne čokolade s tamnima, vrijednosti krivulje su puno niže kod mliječnih čokolada. Razlike između mliječnih čokolada prikazuju uzorci „Braco mliječna čokolada (75 g)“ i „Seka mliječna čokolada (75 g)“ koji pokazuju više vrijednosti krivulje u odnosu na čokoladu „Kandi Milk Choco Fairy (80 g)“ koja nakon identičnog napona smicanja kao kod prve dvije čokolade mijenja smjer krivulje te je potreban manji napon smicanja za istu brzinu.

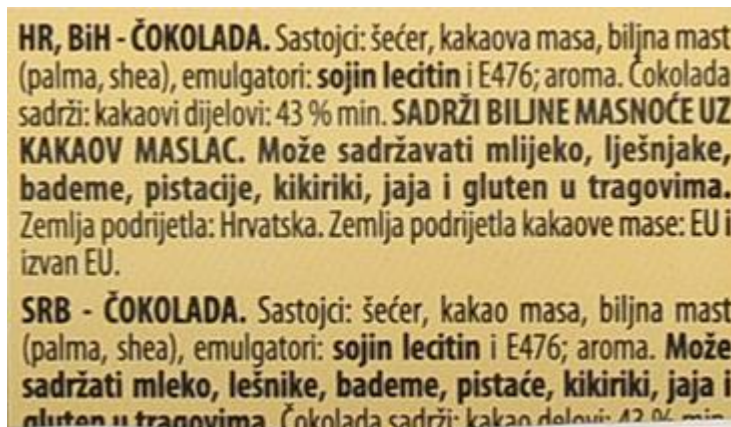


Slika 14 Krivulje tečenja različitih vrsta čokolade

4.6. Vrijednosti granice tečenja različitih vrsta čokolada prema Casson-u

Casson-ov model granice tečenja nakon mjerenja daje različite rezultate (Slika 16) za tamne i mliječne čokolade. Tamne čokolade imaju niže vrijednosti granice tečenja od mliječnih. Razlog tomu je dodavanje mlijeka u prahu koji je izvor većih količina mliječne masti prilikom proizvodnje mliječnih čokolada navode Engmann i Mackley (2006). Uspoređujući „Milka Dark Milk (85 g)“ čokoladu, „Dorina za jelo i kuhanje (100 g)“ i „Kandit Dessert Chef čokolada za kuhanje (100 g)“, vidljivo je kako čokolada za kuhanje proizvođača „Kandit“ ima nižu vrijednost granice tečenja, svega 2,39 Pa. Na takav rezultat utječe količina kakao dijelova

u čokoladi. Upravo mast iz kakaovog maslaca u čokoladi povećava viskoznost i time snižava granicu tečenja. Najveću razliku u granici tečenja čokolade „Kandit Dessert Chef čokolada za kuhanje (100 g)“ čini emulgator E476, poznatiji kao poliglicerolpoliricenoat (**Slika 15**). Rezultat prvog spomenutog uzorka od 18,85 Pa prezentira se logičnim jer se u sastavu te čokolade nalazi čak 40 % kakao dijelova koji povećavaju granicu tečenja.

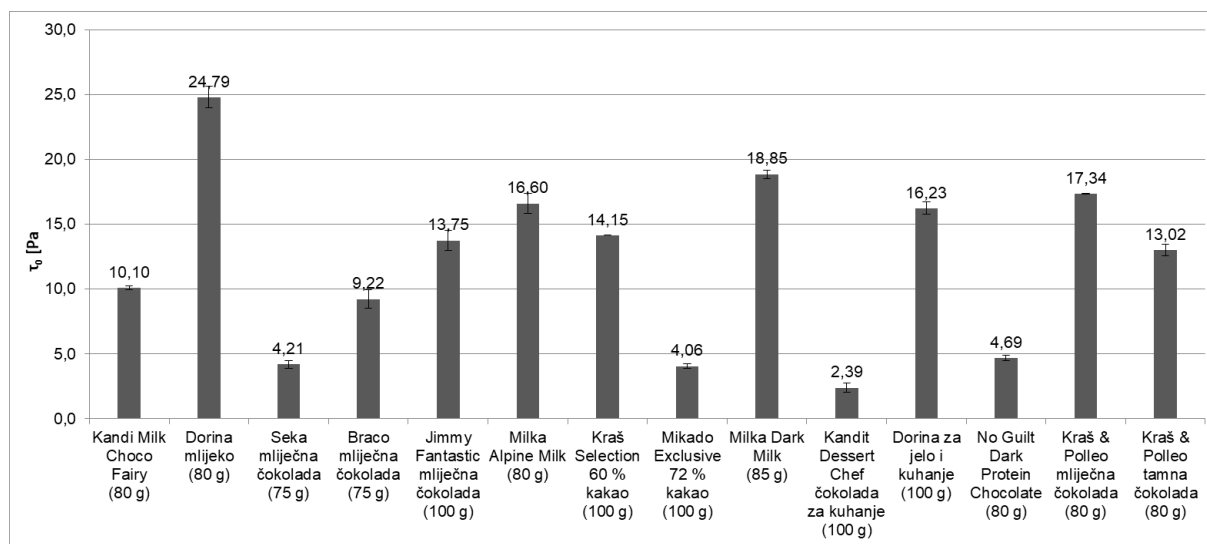


Slika 15 Sastav „Kandit Dessert Chef čokolade za kuhanje (100 g)“

Uzorci „Kraš & Polleo mliječna čokolada (80 g)“ i „Kraš & Polleo tamna čokolada (80g)“ imaju vidljivu razliku granice tečenja. Mliječna čokolada ima veći udio dodane suhe tvari mlijeka (19 %) i minimalni udio kakao dijelova (32 %) dok tamna čokolada sadrži povišen minimalni udio kakao dijelova (55 %). Veći udio kakao dijelova i manji udio mliječne masti rezultira većom vrijednošću granice tečenja tamne čokolade.

„Dorina mlijeko (80 g)“ ima visoku vrijednost granice tečenja od 24,79 Pa, te odstupa od ostalih mliječnih čokolada. Minimalni udio kakao dijelova (31 %) i veći minimalni udio suhe tvari mlijeka (18 %) čine najveću razliku navedenog uzorka s uzorkom „Kandi Milk Choco Fairy (80 g)“ gdje je minimalni udio kakao dijelova manji (25 %).

Prilikom provedbe mjerenja, na uzorcima čokolada „Seka mliječna čokolada (75 g)“ i „Braco mliječna čokolada (75 g)“ došlo je do zapažanja razlike u reološkim svojstvima deklarirano istih čokolada u više analiza. Tako se razlika vrijednosti granice tečenja od 4,21 Pa i 9,22 Pa može pripisati razlici u datumima izrade čokolade, nepravilnom skladištenju ili slučajnom greškom prilikom proizvodnje specifične šarže.



Slika 16 Vrijednosti granice tečenja prema Casson-u različitih vrsta čokolade

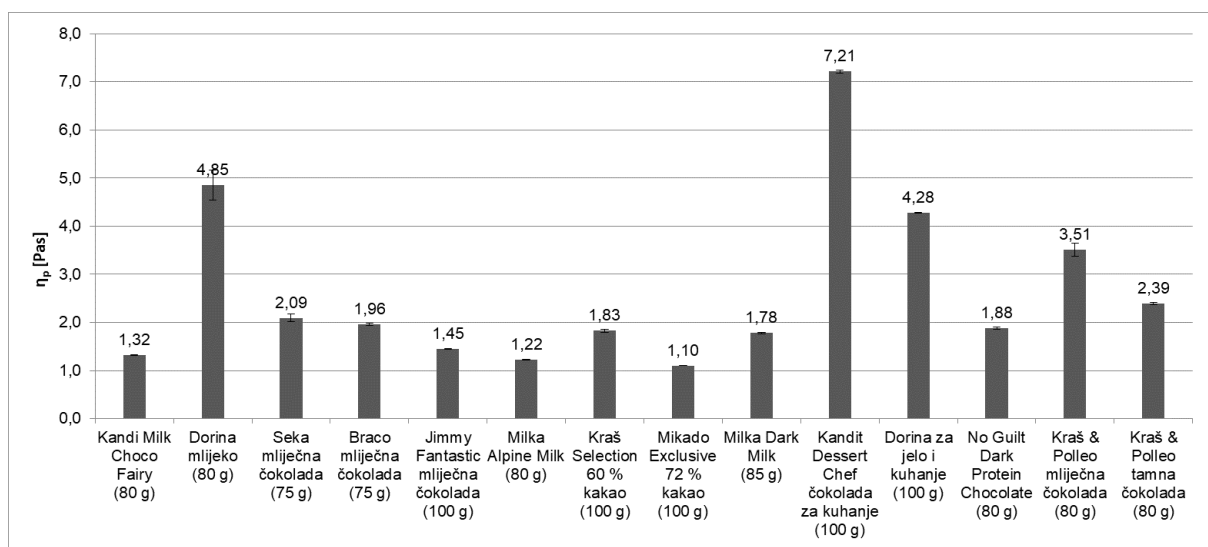
4.7. Vrijednosti plastične viskoznosti različitih vrsta čokolada prema Casson-u

Analiziranjem dobivenih rezultata, vidljivo na **Slici 18**, svojstvo plastične viskoznosti najveće je kod čokolade „Kandit Dessert Chef čokolada (100 g)“ što odgovara definiciji. Generalno, tamnije čokolade imaju veću plastičnu viskoznost kada se uspoređuju s mliječnim čokoladama. Čokolada „Kandi Milk Choco Fairy (80 g)“ klasificira se kao mliječna čokolada te je njena vrijednost plastične viskoznosti najniža. Razlog za dobiveni rezultat leži u postotku kakaa u navedene dvije čokolade. Tamnija čokolada sadrži minimalno 43 % kakao dijelova dok mliječna sadrži minimalno 26,2 %, kako je i deklarirano na ambalaži proizvođača. Beckett (2018) navodi kako se kakao dijelovima u čokoladi smatra i kakaov maslac iz kakaa, a on doprinosi većoj viskoznosti čokolade. Veći udio kakaa rezultira većim udjelom kakaovog maslaca što za posljedicu može imati veću vrijednost plastične viskoznosti. Usporedbom tamnije čokolade „Dorina za jelo i kuhanje (100 g)“ i mliječne čokolade „Dorina mlijeko (80 g)“ postignut je rezultat koji ukazuje na veću plastičnu viskoznost mliječne čokolade naspram tamne čokolade čemu je zaslužan veći udio masti. Masti kao i emulgatori doprinose kremastijoj teksturi čokolade i samim time povećavaju plastičnu viskoznost. Ostatak

analiziranih mliječnih čokolada potvrđuje da je plastična viskoznost manja negoli u tamnih čokolada. Usporedbom čokolada „Kraš & Polleo tamna čokolada (80 g)“ i „Kraš & Polleo mliječna čokolada (80 g)“ (Slika 17), vidljivo je da tamna čokolada ima nešto nižu vrijednost viskoznosti, što se može pridodati manjem udjelu ugljikohidrata (33 g / 100 g) nego kod mliječne čokolade gdje je udio ugljikohidrata veći (41 g / 100 g). Mliječne čokolade sadrže mlijeko kao dodatak, često u obliku mlijeka u prahu ili nekih drugih mliječnih proizvoda, a upravo mlijeko zbog svojstva razrjeđivanja smanjuje viskoznost tako da smanjuje gustoću. Osim navedenih razloga koji čine razliku plastične viskoznosti između tamnih i mliječnih čokolada, postoji i mogućnost grešaka u proizvodnji gdje može doći do slučajne promjene u sastavu. Takve greške su minimalne i odnose se samo na određene šarže.



Slika 17 „Kraš & Polleo tamna čokolada (80 g)“ i „Kraš & Polleo mliječna čokolada (80 g)“



Slika 18 Vrijednosti plastične viskoznosti prema Casson-u različitih vrsta čokolade

5. ZAKLJUČCI

Sukladno provedenom istraživanju mogu se iznijeti sljedeći zaključci:

1. Tamne čokolade imaju više vrijednosti L^* , a^* , b^* , C , h° zbog povećanog udjela kakaa. Na tamnu boju čokolade također utječe i proces prženja, vrsta kakao zrna, te različite recepture određenih proizvođača. Tamnija boja rezultat je i smanjenog udjela mliječnih sastojaka čokolade. Uzorak „Mikado Exclusive 72 % kakao (100 g)“ najtamnija je čokolada među svim analiziranim čokoladama, uzimajući u obzir svih 5 parametara za boju. Mliječne čokolade svjetlije su boje jer sadrže veći udio dodanog mlijeka i manji udio kakaa. Navedene čokolade imaju svjetliju smeđu boju koja potječe od dodanog mlijeka ili drugih mliječnih proizvoda. „Jimmy Fantastic mliječna čokolada (100 g)“ uzorak je s najsvjetlijom bojom prema rezultatima. Boja čokolade važno je vizualno svojstvo koje ima značajan utjecaj na ljudsku percepciju okusa.
2. Određivanjem čvrstoće metodom lomljenja, uzorak „Jimmy Fantastic mliječna čokolada (100 g)“ pokazuje najveću čvrstoću. Razlog visokog rezultata je debljina pločice čokolade. Tijekom usporedbe čokolada, vidljivo je da su mliječne čokolade manje čvrstoće od tamnih. Tamne čokolade u svom sastavu imaju veći udio kakaa i manji udio mliječnih tvari koje imaju značajan utjecaj na čvrstoću. Čokolada „Kraš & Polleo mliječna čokolada (80 g)“ najmanje je čvrstoće, ona uz nizak udio kakaa sadrži povećan udio bjelančevina što rezultira niskom otpornošću na lom.
3. Lomljivost određena metodom loma nastupa prije kod tamnih negoli kod mliječnih. Rezultat je posljedica sastava čokolada, gdje na lomljivost uzoraka utječe minimalni udio kakao dijelova, minimalni udio mliječnih tvari, ali i djelotvornost emulgatora. „Kraš & Polleo tamna čokolada (80 g)“ tamna je čokolada s dodatkom bjelančevina te pokazuje najmanju otpornost na lom. Usporedno s „Kandi Milk Choco Fairy (80 g)“ koja pokazuje vrlo visoku otpornost na lom, gdje njen veći udio mliječnih dijelova utječe na sposobnost lomljenja.
4. Rezultati čvrstoće čokolade dobiveni pomoću metode penetracije, pokazuju da je „Dorina za jelo i kuhanje (100 g)“ najčvršća čokolada. Veliki utjecaj na ovo svojstvo ima

njezin sastav, gdje je povećan udio kakao dijelova, te smanjen udio dodanog mlijeka. Manje dodanih šećera i aditiva čokoladi, uz ujednačen sastav, rezultiraju visokom čvrstoćom. „Dorina mlijeko (80 g)“ prema rezultatima ima visoku vrijednost čvrstoće te se kao razlog tomu može pridodati smanjeni udio masnoće.

5. Grafički prikaz krivulje koja označava tečnost čokolade daje do znanja da se radi od nenevtonovskom fluidu. Svim čokoladama na grafičkom prikazu pravac ne kreće iz ishodišta jer je potreban određen napon smicanja kako bi čokolada počela teći. Granica tečenja, koja je kod svake čokolade drugačija, označava potrebnu silu smicanja da čokolada poteče. Najviše vrijednosti zabilježene su kod čokolade „Kandit Dessert Chef čokolada za kuhanje (100 g)“ koja sadrži veći udio kakao dijelova od mliječnih čokolada, kao što je „Kandi Milk Choco Fairy (80 g)“ kod koje je zabilježen povišeni udio mliječnih dijelova. Neke krivulje pokazuju da je za početak tečenja potreban veći napon smicanja, ali kasnije tijekom mjerenja sila se smanji kako bi se postigla konačna brzina. U drugu ruku, kod nekih čokolada u početku imamo manji napon smicanja koji se s vremenom smanjuje kako bi se postigla konačna brzina. Kada čokolada ima takve osobine, može se zaključiti da sastav u cijeloj čokoladi nije jednako raspoređen, može ukazivati na problem sa emulgatorom, te disproporcionalnost viskoznosti i brzine smicanja.
6. Granica tečenja različitih je vrijednosti kod analiziranih čokolada. Najveća vrijednost je kod uzorka „Dorina mlijeko (80 g)“ te ona iznosi 24,79 Pa, dok najniža vrijednost pripada uzorku „Kandit Dessert Chef čokolada za kuhanje (100 g)“ te iznosi 2,39 Pa. Takav rezultat ukazuje na prisutnost E476 emulgatora i arome koji dokazano smanjuje granicu tečenja čokolade. Povećan udio kakao dijelova i smanjen udio mliječnih dijelova povećava granicu tečenja. Zaključno s tim, tamne čokolade imaju višu granicu tečenja od mliječnih.
7. Čokolada „Kandit Dessert Cheff čokolada za kuhanje (100 g)“ ima najveću vrijednost plastične viskoznosti. Plastična viskoznost čokolade raste porastom njenih kakao

dijelova. Zaključujemo da tamne čokolade imaju veće vrijednosti plastične viskoznosti od mliječnih. Utjecaj ostalih sastojaka čokolade poput masti, emulgatora ili dodanog mlijeka također mogu utjecati na viskoznost čokolade. Mlijeko u prahu koje se dodaje u sastav mliječnih čokolada zbog svojstva razrjeđivanja smanjuje gustoću, a samim time smanjuje i plastičnu viskoznost istih.

6. LITERATURA

- Bae, Jeong-Hyun, Soo-Hyun Lee, i Jae-Hee Hong. 2024. „Changes in the Choice Motive and Emotional Perception of Chocolates in Response to Stress.” *Food Research International*, 2024.
- Balcázar-Zumaeta, César R., Efraín M. Castro-Alayo, Lucas D. Muñoz-Astecker, Ilse S. Cayo-Colca, i Fredy Velayarce-Vallejos. „Food Technology Forecasting: A Based Bibliometric Update in Functional Chocolates.”, 2023.
- Beckett, Stephen: *The Science of Chocolate*. The Royal Society of Chemistry. UK, 2018.
- Bloquet-Maurras, Julie, Ahmed Bentaleb, Eric Laurichesse, Mathilde Bayard, i Véronique Schmitt. “Impact of Aging on the Phase Behavior of Cocoa Butter and Copra Oil Blends.” *Food Chemistry Advances* 3, 2023
- Do, T. -A. L., J. Vieira, J. M. Hargreaves, J. R. Mitchell i B. Wolf. “Structural Characteristics of Cocoa Particles and Their Effect on the Viscosity of Reduced Fat Chocolate.” *LWT - Food Science and Technology* 44 (4), 2011.
- Efraim, Priscilla, Gabriela C. Marson, Denise C. P. Jardim, Aline O. Garcia, i Katumi Yotsuynagi. “Influence of Phytosterols Addition in the Rheology and Sensory Attributes of Dark Chocolate.” *Procedia Food Science*, 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF11), 2011.
- Engmann, J., i M. R. Mackley. “Semi-Solid Processing of Chocolate and Cocoa Butter: The Experimental Correlation of Process Rheology with Microstructure.” *Food and Bioproducts Processing* 84 (2): 95–101., 2006.
- Europski parlament i Vijeće: Direktiva 2000/36/EZ o kakau i čokoladnim proizvodima namijenjenim prehrani ljudi, 2000.
- Fernandes, Vanessa A., Alejandro J. Müller, i Aleida J. Sandoval. “Thermal, Structural and Rheological Characteristics of Dark Chocolate with Different Compositions.” *Journal of Food Engineering* 116 (1): 97–108., 2013.
- Fernando Ramos-Escudero, Sandra Casimiro-Gonzales, África Fernández-Prior, Keidy Cancino Chávez, José Gómez-Mendoza, Luciana de la Fuente-Carmelino, Ana María Muñoz, Colour, fatty acids, bioactive compounds, and total antioxidant capacity in commercial cocoa beans, 2021.
- Glicerina, Virginia, Federica Balestra, Marco Dalla Rosa, Santina Romani. “Microstructural and Rheological Characteristics of Dark, Milk and White Chocolate: A Comparative Study. *Journal of Food Engineering*, 169: 165-171, 2016.
- Glicerina, Virginia, Federica Balestra, Marco Dalla Rosa, Santina Romani. “Rheological, Textural and Calorimetric Modifications of Dark Chocolate during Process.” *Journal of Food Engineering* 119 (1): 173–79., 2013.

- Liu, Jun, Yili Chen, Shuang Liang, Mengqi Cai, i Yasin Md. "Influence of Non-Newton Rheological Parameters of Drilling Fluid on Axial-Lateral-Torsional Coupling Vibration of Rotating Drill String." *Geoenergy Science and Engineering*, 2024.
- Medina-Mendoza, Marleni, Efrain M. Castro-Alayo, Cesar R. Balcazar-Zumaeta, Miguelina Z. Silva-Zuta, Jorge L. Maicelo-Quintana i Ilse S. Cayo-Colca. "Conching Process Time, Saucó by-Product Concentration, and Sacha Inchi Oil Levels Identification for the Enrichment of Dark Chocolate.", 2023.
- Medina-Mendoza, Marleni, Roxana J. Rodriguez-Pérez, Elizabeth Rojas-Ocampo, Llisela Torrejón-Valqui, Armstrong B. Fernández-Jeri, Guillermo Idrogo-Vásquez, Ilse S. Cayo-Colca, i Efraín M. Castro-Alayo. "Rheological, Bioactive Properties and Sensory Preferences of Dark Chocolates with Partial Incorporation of Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis* L.) Oil.", 2021.
- Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnog gospodarstva RH: *Pravilnik o kakau i čokoladnim proizvodima*. NN 73/05, 2005.
- Mishra, Kim, Lucas Kohler, Nico Kummer, Simon Zimmermann, Silas Ehrenguber, Fabian Kämpf, Damien Dufour, Gustav Nyström, Peter Fischer, i Erich J. Windhab. "Rheology of Cocoa Butter." *Journal of Food Engineering*, 2021.
- Shimada, K, Y Akagami, T Fujita, T Miyazaki, S Kamiyama i A Shibayama. "Characteristics of Magnetic Compound Fluid (MCF) in a Rotating Rheometer." *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Proceedings of the 9th International Conference on Magnetic Fluids, 2002.
- Soares, Luana, i Annelise Alves. "Analysis of Colorimetry Using the CIE-L*a*b* System and the Photocatalytic Activity of Photochromic Films." *Materials Research Bulletin*, 2018.
- Svanberg, L., L. Ahrné, N. Lorén, i E. Windhab. "Effect of Sugar, Cocoa Particles and Lecithin on Cocoa Butter Crystallisation in Seeded and Non-Seeded Chocolate Model Systems." *Journal of Food Engineering*, 2011.
- Verde, Alessandra Barros, Izabela Dutra Alvim, Valdecir Luccas, i Rosa Maria Vercelino Alves. "Stability of Milk Chocolate with Hygroscopic Fibers during Storage.", 2021.
- Wollgast, Jan, i Elke Anklam. "Polyphenols in Chocolate: Is There a Contribution to Human Health?" *Food Research International*, 2000.
- Wong, Keat Yi, Yin Yin Thoo, Chin Ping Tan i Lee Fong Siow. "Effect of Alternative Sweetener and Carbohydrate Polymer Mixtures on the Physical Properties, Melting and Crystallization Behaviour of Dark Compound Chocolate." *Food Chemistry*, 2024.
- WEB 1. <https://www.cocoterra.com/what-is-a-chocolate-melanger> [14.4.2024]