

Vliv typu emulgátoru na fyzikálně-chemické vlastnosti čokoládových výrobků

Bc. Aneta Machalová

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Aneta Machalová
Osobní číslo:	T23267
Studijní program:	N0721A210004 Technologie potravin
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Vliv typu emulgátoru na fyzikálně-chemické vlastnosti čokoládových výrobků.

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část:

Kakao jako surovina na výrobu čokolády a čokoládových produktů.

Emulgátory používané v čokoládových výrobcích.

Vliv přípravy a složení na reologické a texturní vlastnosti, teplota tání.

II. Praktická část:

Metodika práce a charakterizace výrobků.

Použité měřicí techniky.

Vyhodnocení a diskuze výsledků.

Formulace závěrů.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] BECKETT, Stephen T. *The science of chocolate*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2000. ISBN 0-85404-600-3.
- [2] AFOAKWA, Emmanuel Ohene. *Chocolate Science and Technology* [online]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2016. ISBN 9781118913758.
- [3] McCLEMENTS, D. J. *Food emulsions: principles, practices, and techniques*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2005. ISBN 0849320232.
- [4] BELITZ, H.-D., GROSCH, W., & SCHIEBERLE, P. *Food Chemistry*. Springer, 2009.
- [5] TOKER, O. S., PALABIYIK, I., & KONAR, N. Chocolate quality and conching. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 446–453, 2019.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Mgr. Barbora Lapčíková, Ph.D.**
Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce: **1. ledna 2025**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 14. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce bylo posoudit vliv typu emulgátorů při různých koncentracích (PGPR, E471, sójový a slunečnicový lecitin) na fyzikálně-chemické vlastnosti čokolád. V připravených vzorcích čokolád byla stanovena velikost částic, barevnost, profil tání, texturní a reologické vlastnosti, obsah vody, obsah tuku a senzorické vlastnosti. Přídavek emulgátorů ve vyšších koncentracích výrazně změnil vlastnosti čokolády. Tvrdost klesala se zvyšující se koncentrací emulgátoru. U vzorků PGPR a E471 pozorujeme nárůst tvrdosti, zatímco u vzorků obsahujících lecitin došlo k jejímu snížení. Z reologických údajů je patrné, že emulgátory hrály zásadní roli při určování tokových vlastností čokolád. V případě PGPR a E471 se hodnota Cassonovy plastické viskozity zvyšovala se zvyšující se koncentrací emulgátorů. U vzorků obsahujících lecitin došlo nejdříve ke snížení Cassonovy plastické viskozity se zvyšující se koncentrací emulgátoru při koncentraci 0,2 až 0,5 hm.%, kdežto při koncentraci 1,0 hm.% jsme pozorovali nárůst viskozity. Emulgátor PGPR měl výrazný vliv na hodnotu meze kluzu. Při vyšších koncentracích 0,25 a 0,5 hm.% došlo ke snížení meze kluzu téměř na nulu, zatímco aplikace E471 vedla k nárůstu meze kluzu. DSC analýza neodhalila žádné významné rozdíly v teplotách tání, což naznačuje, že nedošlo k ovlivnění krystalizace kakaového másla. Barevné profily čokolád vykazovaly nevýznamné rozdíly v parametrech CIE L^* a^* b^* , s výjimkou E471. U tohoto vzorku byl pozorován mírný posun ke žlutým odstínům. Ostatní vzorky vykazovaly červený odstín jako dominantní spektrální složku. Na základě senzorické analýzy byl vzorek E471_2 vyhodnocen, jako nejméně preferovaný.

Klíčová slova: čokoláda, emulgátory, texturní vlastnosti, reologické vlastnosti, tixotropie, DSC, senzorická analýza

ABSTRACT

The aim of the thesis was to assess the influence of the type of emulsifiers (PGPR, E471, soy and sunflower lecithin) on the physico-chemical properties of chocolate. The emulsifiers were added in different concentrations. Both lecithins were added to the raw material mix in 0.2; 0.5 and 1 % w/w concentrations. PGPR was added to the raw material mix in 0.1; 0.25 and 0.5 % w/w concentrations. E471 was added to the raw material mix in 0.5; 0.75 and 1 % w/w concentrations. Particle size, colour, melting profile, texture and rheological properties, water content, fat content and sensory properties were determined in the model samples. The addition of emulsifiers in higher concentrations had significantly altered the properties of chocolate. Hardness decreased with increasing concentration of emulsifier. We saw an increase in hardness in PGPR and E471 samples, while a decrease in lecithin-containing samples. Rheological data show that emulsifiers played a crucial role in determining the flow properties of chocolates. For the PGPR and E471 samples, Casson's plastic viscosity increased with increasing emulsifiers concentration. For lecithin-containing samples, Casson's plastic viscosity was first reduced with increasing emulsifier concentration of 0.2 to 0.5 % w/w, whereas at a concentration of 1.0 % w/w, we observed an increase in viscosity. The PGPR emulsifier had a significant impact on the value of yield stress. At higher concentrations of 0.25 and 0.5 % w/w, the yield stress was reduced to almost zero, while the application of E471 increased the yield stress. The DSC analysis did not reveal any significant differences in melting temperatures, suggesting that the crystallization of cocoa butter was not affected. Chocolate colour profiles showed insignificant differences in CIE L* a* b* parameters, with the exception of E471. For this sample, a slight shift to yellow shades was observed. The other samples showed a red hue as the dominant spectral component. Based on sensory analysis, sample E471_2 has been assessed as the least preferred.

Keywords: chocolate, emulsifiers, texture properties, rheological properties, tixotropy, DSC, sensory analysis

Ráda bych poděkovala všem, kteří se podíleli na vzniku této diplomové práce. Ze srdce děkuji mé vedoucí diplomové práce paní doc. Mgr. Barboře Lapčíkové, Ph.D., za její odborné vedení, cenné rady a čas, který mi věnovala. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Vojtěchovi Neuwirthovi a panu Ing. Tomáši Valentovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a trpělivost. Moc si vážím také podpory své rodiny, která mi byla oporou během celého studia.

„Chcete na světě vyniknout? Musíte pracovat, zatímco ostatní se baví“ – Winston Churchill

OBSAH

ÚVOD.....	13
I TEORETICKÁ ČÁST.....	14
1 ČOKOLÁDOVÁ HISTORIE.....	15
2 PĚSTOVÁNÍ KAKAOVNÍKU	16
2.1 SVĚTOVÁ PRODUKCE KAKAA.....	17
2.2 FAIRTRADE.....	17
3 ZPRACOVÁNÍ KAKAOVÝCH PLODŮ	18
3.1 SKLIZEŇ	19
3.2 FERMENTACE	20
3.3 SUŠENÍ	22
3.4 BALENÍ A SKLADOVÁNÍ	24
3.5 ČIŠTĚNÍ A LEŠTĚNÍ	24
3.6 PROSÉVÁNÍ (WINNOWING).....	25
3.7 STERILIZACE	25
3.8 ALKALIZACE	26
3.9 PRAŽENÍ.....	27
3.10 MLETÍ KAKAOVÉ DRTI A ZPRACOVÁNÍ LIKÉRU	27
4 PROCESY VÝROBY ČOKOLÁDY	29
4.1 MÍCHÁNÍ ČOKOLÁDOVÉ HMOTY	29
4.2 ZJEMŇOVÁNÍ.....	30
4.3 KONŠOVÁNÍ	31
4.4 KRYSTALIZACE A TEMPERACE.....	32
4.5 TVAROVÁNÍ A CHLAZENÍ.....	33
4.6 BALENÍ.....	34
4.7 SKLADOVÁNÍ.....	35
5 CHARAKTERISTIKA ČOKOLÁDY A JEJÍ DRUHY.....	36
6 EMULGÁTORY	40
6.1 LECITINY.....	40
6.2 PGPR.....	41
6.3 MONO– A DIGLYCERIDY MASTNÝCH KYSELIN	42
7 ZDRAVOTNÍ BENEFITY ČOKOLÁDY	44
8 BEZPEČNOST POTRAVIN.....	45
9 ANALÝZA ČOKOLÁDY.....	46

9.1	MĚŘENÍ VELIKOSTI ČÁSTIC	46
9.2	DSC – DIFERENCIÁLNÍ SKENOVACÍ KALORIMETRIE	47
9.3	BAREVNOST.....	48
9.4	TEXTURNÍ ANALÝZA.....	48
9.5	TIXOTROPIE.....	49
9.6	SENZORICKÁ ANALÝZA	49
II	PRAKTICKÁ ČÁST	51
10	CÍL PRÁCE	52
11	METODIKA PRÁCE.....	53
11.1	VÝROBA MODELOVÝCH VZORKŮ ČOKOLÁDY	55
11.2	STANOVENÍ VELIKOSTI ČÁSTIC	56
11.3	DSC – DIFERENCIÁLNÍ SKENOVACÍ KALORIMETRIE	57
11.4	BAREVNOST ČOKOLÁD	57
11.5	TEXTURNÍ ANALÝZA.....	58
11.6	TIXOTROPIE.....	58
11.7	STANOVENÍ TUKŮ	59
11.8	OBSAH VLHKOSTI	60
11.9	SENZORICKÁ ANALÝZA	60
12	VÝSLEDKY A DISKUZE	61
12.1	TOKOVÉ VLASTNOSTI ČOKOLÁD	61
12.2	TIXOTROPIE	65
12.3	STANOVENÍ VELIKOSTI ČÁSTIC	66
12.4	BAREVNOST ČOKOLÁD	69
12.5	TEXTURNÍ ANALÝZA.....	72
12.6	DSC – DIFERENCIÁLNÍ SKENOVACÍ KALORIMETRIE	74
12.7	STANOVENÍ TUKU	77
12.8	OBSAH VLHKOSTI	78
12.9	SENZORICKÁ ANALÝZA	79
	ZÁVĚR.....	83
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	86
	SEZNAM OBRÁZKŮ	101
	SEZNAM TABULEK.....	102
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	103

ÚVOD

Čokoláda je oblíbená sladkost, která se hojně konzumuje mezi všemi věkovými skupinami, často ve velkém množství. To je způsobeno její jedinečnou vůní a chutí, vlastnostmi, které ji činí objektem pokušení. Dále díky svým nutričním a zdravotním přínosům se čokoláda stala zajímavým produktem pro spotřebitele (Pombal et al., 2024; Kissiedu et al., 2020). Existují tři hlavní druhy čokolády, a to hořká, mléčná a bílá, mezi nimiž jsou patrné rozdíly. Hořká čokoláda se skládá zejména z kakaového likéru, cukru a kakaového másla. Mléčná čokoláda se navíc skládá z mléčné sušiny a bílá čokoláda postrádá kakaový likér. Čokoláda může obsahovat také emulgátory, jako je lecitin a polyglycerol polyricinoleate (PGPR), stejně jako sůl, aroma nebo koření (Glicerina et al., 2016).

Stabilita čokolády závisí na parametrech, jako je teplota skladování, vlhkost a dostupnost kyslíku. Během skladování a distribuce může dojít k migraci oleje, což způsobí defekt nazývaný jako tukový výkvět (Kissiedu et al., 2020).

Potravinářské emulgátory jsou povrchově aktivní látky, které mohou účinně snižovat mezifázové napětí systému. Mohou tedy stabilizovat dvoufázové nebo vícefázové systémy, včetně kapalin a plynů, které jsou obvykle nemísitelné. Mezi nejdůležitější funkce potravinářských emulgátorů patří emulgace, stabilita, dispergovatelnost a pění. Dále kontrolují zachování nebo uvolňování aroma během zpracování a skladování potravin, čímž zajišťují chuť a vůni potravin (Li et al., 2016). Emulgátor se přidává tedy za účelem snížení viskozity a hodnot výtěžnosti, což umožňuje výrobcům řídit vlastnosti čokolády (např. tloušťku, snížení vzduchových bublin a teplotu tání) (Malmos et al., 2018). Dnes se celosvětově vyrábí 150 000-200 000 tun emulgátorů. Z tohoto množství tvoří největší část, tj. asi 75 %, mono- a diglyceridy a jejich deriváty. Použití některých emulgátorů je v některých zemích legislativně regulováno (Belitz et al., 2009).

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ČOKOLÁDOVÁ HISTORIE

Čokoláda je dobře známá pro svou jemnou chuť a její historie začala již v dávných dobách. Nedávné archeologické důkazy nalezené v jižním Ekvádoru, potvrdily, že kakaové boby se používaly již před více než 5 300 lety. Mayové (obývající současné Mexiko, Guatemala a Honduras) považovali čokoládu za „jídlo bohů“. Historie čokolády začala tedy u Mayů, kteří pravděpodobně, jako první začali pěstovat kakaovou rostlinu. Kakaové boby se používaly jako složka do nápojů (smíchaných s kukuřičnou moukou a kořením) nebo jako platidlo (Montagna et al., 2019; ICCO, ©2016–2023a).

První Evropané, kteří se s kakaem setkali, byl Kryštof Kolumbus a jeho posádka v roce 1502, když zajali kánoe, která obsahovala záhadné „mandle“, které byly později definovány jako měna v Mezoamerice. Tyto „mandle“ byly kakaové boby. (Dillinger et al., 2000). Po dobytí Střední Ameriky ve 20. letech 16. století Hernandos Cortez a jeho expedice odvezli malý náklad kakaových bobů do Španělska spolu s aztéckým receptem na chocolatl (čokoládový nápoj). Nápoj byl zpočátku přijímán bez nadšení a teprve po přidání cukru se stal oblíbeným nápojem na španělských dvorech. Byla to velmi vzácná látka, a proto byla vyhrazena kněžím a nejvyšším vládním úředníkům. Poté se obliba čokolády jako nápoje rychle rozšířila po celé Evropě (Afoakwa, 2016, s. 3; Lippi, 2013; ICCO, ©2016–2023a).

Průmyslová revoluce přinesla zásadní změny pro čokoládový průmysl, který čokoládu velmi ovlivnil. Koncem 18. století Joseph Fry z Anglie použil k mletí kakaových bobů parní stroj. Důležitější však byla aplikace průmyslových metod až k výrobě čokolády. V roce 1828 vynalezl holandský chemik van Houten hydraulický lis, který dokázal oddělit tučné kakaové máslo od kakaové sušiny, která mohla být pak rozemleta na kakaový prášek. Touto technologií se zlepšila kvalita konzumní čokolády. V roce 1880 následoval vynález konšovačského stroje Rudolphem Lindtem. Čokoláda získala lepší vlastnosti jako je jemná chuť a krémová textura, kterou nyní spojujeme s kvalitní čokoládou (Cidell a Alberts, 2006; Afoakwa, 2016, s. 4).

2 PĚSTOVÁNÍ KAKAOVNÍKU

V roce 1737 zařadil Carolus Linnaeu kakao jako *Theobroma fructus*, ale v roce 1753 ho překlasifikoval na *Theobroma cacao*. Ve starověké řečtině znamená „theos“ bůh a „broma“ znamená jídlo, takže kakao se označuje jako „jídlo bohů“ (Lopes a Pires, 2014).

Kakaovník je vytrvalý strom původně z deštných pralesů Jižní a Střední Ameriky. Dnes se vysazuje asi v 50 zemích. Většinu kakaových bobů ve světě produkují malé farmy zemi jako je Pobřeží slonoviny, Ghana nebo Indonésie. Samotný africký kontinent je zodpovědný za asi 72 % všech vyprodukovaných kakaových bobů na světě (Lopes a Pires, 2014).

Kakaovník se běžně vysazuje ve stínu jiných stromů (kokosovníků, gumovníků), ale může být vysazen i na slunci. Je to obvykle malý strom, který dosahuje výšky 4–8 m, má přímý kmen a dělí se ve vzdálenosti 1–1,5 m od půdy na tři až čtyři větve, které tvoří korunu. Kakaové plody (lusky) jsou produkovány, jak na kmeni, tak na větvích stromu. Tyto plody dosahují délky 15–25 cm. Jeden plod obsahuje 30–60 semen (bobů), které jsou uloženy v husté slizovité dužině. Obvykle zrání trvá 4 až 7 měsíců v závislosti na odrůdě (Lopes a Pires, 2014; Afoakwa, 2016, s. 6). Lusky se běžně sklízají každé 2–4 týdny po dobu několika měsíců, protože všechny lusky nedozrávají ve stejnou dobu (Beckett, 2008, s. 14).

Kakaové boby jsou hlavní surovinou pro čokoládový průmysl s roční produkcí přibližně 4,6 milionů tun. Kromě toho, že není možné vyrobit čokoládu bez kakaových bobů, je těmto bobům připisována výrazná chuť čokolády. Obchodníci často rozdělují kakaové boby na běžné a jemné. Jemné druhy se vyznačují speciálními květinovými a ovocnými aromatickými tóny (Qin et al., 2017).

Hlavní odrůdy kakaa jsou Forastero, Criollo a jejich kříženec Trinitario. Odrůda Forastero pochází z Amazonské oblasti a tvoří většinu trhu s kakaem. Představuje 95 % světové produkce kakaa. Tato odrůda je odolnější vůči chorobám a pěstuje se snadněji než Criollo. Zralé lusky jsou žluté, hladké, mají kulatější tvar a obsahují tmavě fialová semena. Čokoláda z těchto bobů je bohatá na čokoládovou příchut', ale má málo ovocných tónů (Afoakwa, 2016, s. 7–9). Criollo pochází ze Střední Ameriky a severu Jižní Ameriky (Lopes a Pires, 2014). Tato odrůda je nyní velmi vzácná a nachází se pouze na starých plantážích ve Venezuele, Střední Americe, Madagaskaru nebo Srí Lance. Plody mají měkkou tenkou slupku a semena jsou bílé nebo slabě fialové. Odrůda Criollo je méně hořká, aromatictější a má jemnou kakaově-ořechovou chuť. Trinitario je hybridem

mezi odrůdami Criollo a Forastero. Tato odrůda má tvrdé lusky proměnlivé barvy, které mohou být dlouhé nebo krátké (Afoakwa, 2016, s. 9).



Obrázek 1 Odrůdy kakaových bobů

(zdroj: Kus kaka, 2024)

2.1 Světová produkce kakaa

Kakao se pěstuje především v západní Africe, Střední a Jižní Americe a Jihovýchodní Asii. Mezi osmi největšími producenty kakaa jsou Pobřeží Slonoviny, Ghana, Indonésie, Nigérie, Ekvádor, Kamerun, Brazílie a Malajsie. Tyto země produkují asi 4,23 milionů tun, což představuje 95 % světové produkce (Afoakwa, 2016, s. 17).

2.2 Fairtrade

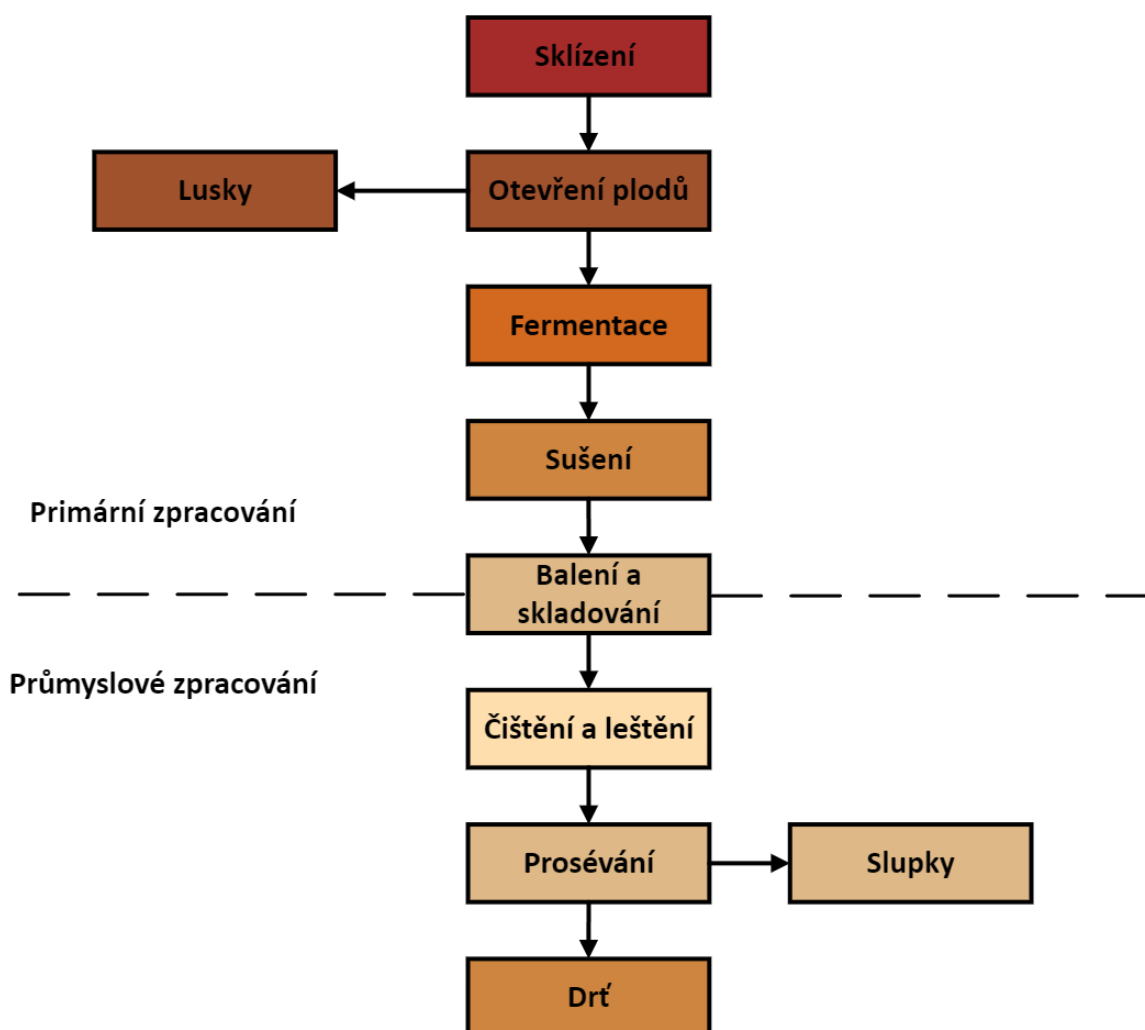
Certifikace Fairtrade se snaží zajistit globální blaho a řešit odpovědnost spotřebitelů za životní prostředí. Produkty s touto certifikací se na mezinárodním trhu objevily na konci 60. let. Ačkoliv Fairtrade nestanovuje konkrétní minimální mzdy pracovníků, prosazuje životní minimum, což znamená, že pracovníci musí vydělávat dostatek peněz, aby si mohli dovolit slušnou životní úroveň (López del Amo a Akizu-Gardoki, 2024).

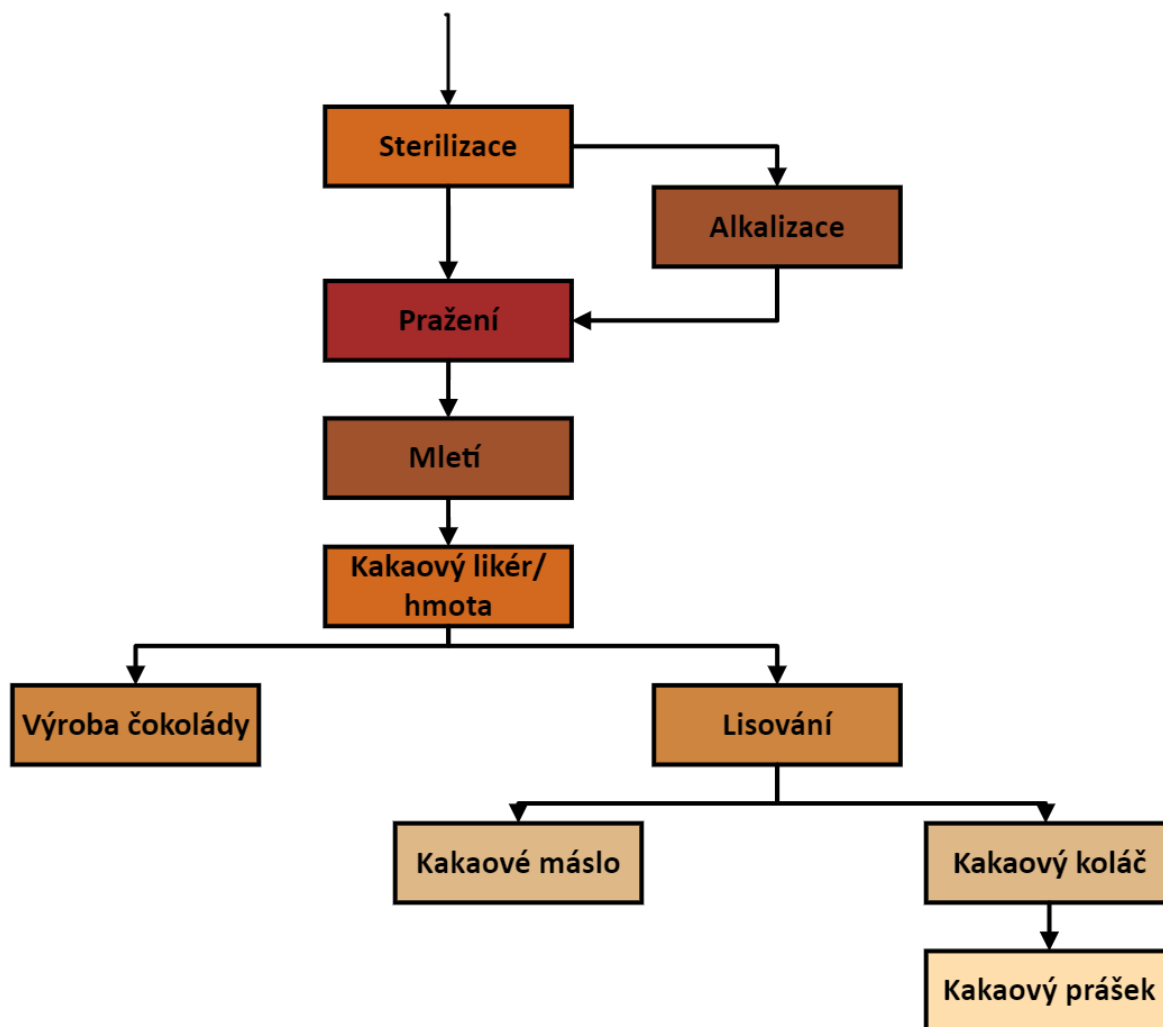
Produkce kakaa je navíc považována za jednu z oblastí s nejhoršími formami dětské práce (López del Amo a Akizu-Gardoki, 2024). Fairtrade tedy zakazuje dětskou práci a podporuje kolektivní akce s cílem zlepšit přístup zemědělců k agronomickému školení a technologiím, které mohou vést k větším výnosům plodin. Fairtrade zahrnuje tržní plodiny jako je kakao a káva, jejichž výdělek je sezónní (Knösslsdorfer et al., 2021).

3 ZPRACOVÁNÍ KAKAOVÝCH PLODŮ

Zpracování kakaových bobů lze rozdělit na primární a průmyslové zpracování. Primární zpracování zahrnuje všechny procesy, kterými kakaové plody procházejí od sklizně až po získání konečných sušených bobů. Kvalita kakaových bobů je důležitým obchodním parametrem, jelikož je rozhodující pro přijatelnost a prodejnost čokolády. Závisejí do značné míry na kvalitě kakaových bobů použitých při jejich výrobě. Ačkoliv je kvalita kakaových bobů ovlivněna genetickou výbavou a původem kakaa, nedostatečné nebo špatné primární zpracování může mít za následek boby se špatnou kvalitou (Goya et al., 2022; Afoakwa, 2016, s. 102).

Průmyslové zpracování zahrnuje všechny procesy, kterými se ze sušených fermentovaných bobů získává kakaový likér (kakaová hmota), kakaové máslo, kakaový prášek. Zahrnuje čištění a leštění, pražení, sterilizaci, alkalizaci, mletí kakaové drti a zpracování likéru (Goya et al., 2022).





Obrázek 2 Schéma zpracování kakaových bobů

(zdroj: upraveno podle Goya et al., 2022; Afoakwa, 2016, s.113)

3.1 Sklizeň

Kakaové plody se sklízí ručně pomocí mačety. Pokud však rostou na stromě vysoko použije se speciální nůž připevněný k dlouhé tyči (Beckett, 2008, s. 14). Hlavní sklizeň kakaava probíhá v Ghaně od září do ledna a vedlejší sezóna probíhá od května do srpna. Kakaové plody se běžně sklízí každé 2–4 týdny po dobu několika měsíců, protože všechny plody nedozrávají současně (Afoakwa, 2016, s. 64).

Nedozrálé plody obsahují velmi málo cukru a jsou nevhodné k fermentaci. Přezrálé plody naopak mají větší pravděpodobnost napadení houbovými chorobami, a proto by se neměly využívat. Plody s těmito chorobami by měly být vybírány a odstraněny, aby se infekce nerozšiřovala na další plody (Afoakwa, 2016, s. 65; Amoa-Awua, 2014).

Na malých farmách se sklizené plody obvykle nosí v koších a jsou skládány na vhodné místa na farmě nebo poblíž místa fermentace. Na velkých plantážích se plody přepravují do místa fermentace. Tato přeprava může trvat několik dní, což může mít vliv na kvalitu v důsledku předčasné fermentace (Amoa-Awua, 2014).

Sklizené kakaové plody se otevrou, aby se vyjmulý kakaové boby. Nejlepší způsob, jak otevřít lusky je použít dřevěnou palici, která pokud zasáhne centrální oblast, způsobí jeho rozdělení na dvě poloviny. Lze použít i mačetu, která může ale při špatném použití poškodit kakaové boby. Kakaové boby jsou poté s dužinou nabírány pomocí špičky nástroje (Afoakwa, 2016, s. 67; ICCO, ©2016–2023b). Jakmile jsou kakaové boby vyjmuty jsou vizuálně kontrolovány, zda nejsou poškozené nebo naklíčené (Amoa-Awua, 2014).



Obrázek 3 Vyjmutí kakaových bobů a uložení do beden pro následnou fermentaci

(zdroj: Svět plodů, 2024)

3.2 Fermentace

Po sklizni jsou kakaové boby s dužinou přemístěny buď na hromady, nebo mohou být umístěny do krabic (Afoakwa, 2016, s. 87). Fermentace na hromadě je levná metoda. Hromada je pokryta jitrocelovými nebo banánovými listy. Krytí pomáhá šířit teplo a vlhkost uvnitř hromady a také chrání kakaové boby před deštěm. Kolem hromady je vytvořen malý odtok, který odvádí pocení nebo případně déšť. Vnější vrstva kakaových bobů fermentuje rychleji než boby ve středu hromady, a proto se boby můžou otáčet ručně nebo pomocí lopaty nebo se nechávají spontánně fermentovat po dobu 6 dnů (Amoa-Awua, 2014).

Metoda fermentace v krabici je nejběžnější metodou používanou k fermentaci kakaových bobů. Krabice jsou obvykle vyrobeny z odolného dřeva a dno krabic je perforované, aby umožnilo odvod potu a zároveň průchod vzduchu. Krabice by měla být s dvojitými stěnami, ve kterých je prostor mezi vnitřní a vnější stěnou vyplněn pilinami nebo bagasou z cukrové třtiny pro zlepšení izolace. Tato metoda má lepší výsledky než metoda fermentace na hromadě, ale je fyzicky náročnější a nákladnější (Amoa-Awua, 2014).

Na začátku fermentace, ke které dochází bezprostředně po rozbití plodu, jsou přilnuté dužiny spontánně naočkovány všudypřítomnou mikroflórou (Haruna et al., 2024). V počáteční fázi fermentace, která je anaerobní, kvasinky rychle přeměňují cukry na alkohol a oxid uhličitý. Kvasinky dominují prvních 24–36 hodin fermentačního procesu. Díky kvasinkám dochází k uvolnění tekutého obsahu buněk dužiny čemuž se říká „pocení“. Nepřetržitý rozklad dužiny má za následek tvorbu dutin mezi buňkami ve dřeni. Tyto dutiny se zvětšují a začíná pronikat vzduch. První den fermentace přilnutá dužina zkapalní a odteče. Druhá fáze je aerobní (oxidační). Teplota vzrůstá na 45 °C (tato teplota zůstane až do konce fermentace), jelikož při této teplotě jsou příznivější podmínky pro růst bakterií produkující kyselinu octovou. Tyto bakterie jsou zodpovědné za inhibici klíčení, okyselení kakaových bobů a hydrolýzu bílkovin. Tím pádem hrají klíčovou roli při tvorbě prekurzorů čokoládové příchutě (Afoakwa, 2016, s. 90–92).

Fermentace je fáze, která je zodpovědná za produkci aromatických prekurzorových sloučenin, které regulují svíravost. Dále je zodpovědná za vytvoření profilu volných aminokyselin v důsledku štěpení bílkovin v kakaových bobech. Na tomto profilu aminokyselin závisí kvalita kakaa a vnímání čokoládové chuti a vůně. Stanovení profilu aminokyselin nám proto může pomoci pochopit chování těchto sloučenin během fermentace, protože fermentace je v dnešní době nestandardizovaný (spontánní) proces, který způsobuje rozdíly v kvalitě kakaových bobů. Vliv fermentačního procesu na aminokyseliny má za následek vývoj klíčových těkavých frakcí (hlavně alkoholů a esterů), což má za následek změnu prekurzorů a aroma. Dobře fermentované kakaové boby navíc představují vyšší obsah aminokyselin, kromě toho jsou zodpovědné za různé fyziologické funkce člověka, jako je mimo jiné syntéza bílkovin nebo vstřebávání živin. Koncentrace aminokyselin se však liší mimo jiné podle původu kakaa, podmínek prostředí a zemědělských postupů (Balcázar-Zumaeta et al., 2024).



Obrázek 4 Fermentace kakaových bobů v krabici s banánovými listy

(zdroj: *The chocolate journalist*, 2016)



Obrázek 5 Fermentace kakaových bobů na hromadě

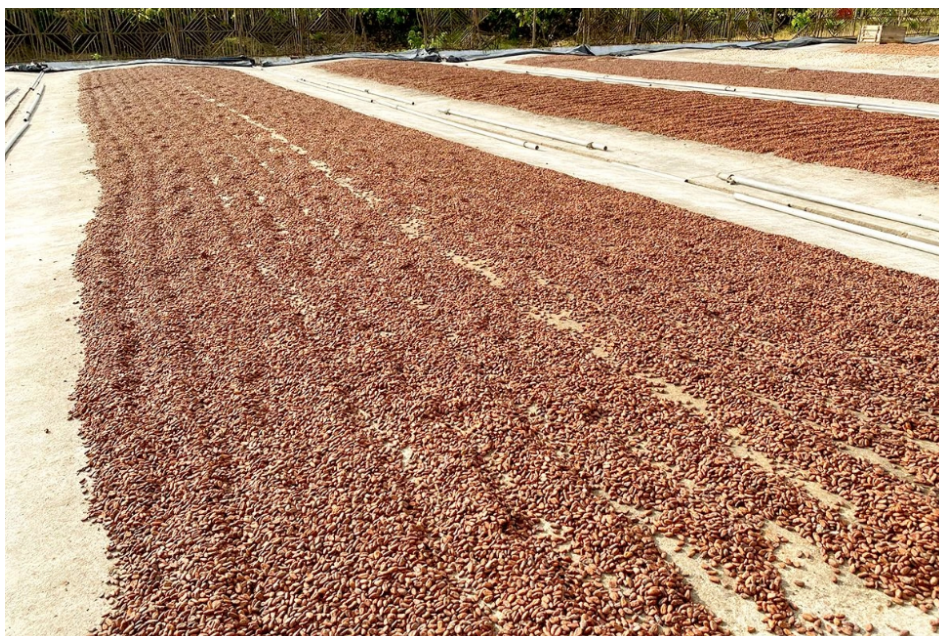
(zdroj: *Afoakwa*, 2016, s. 88)

3.3 Sušení

Fermentované kakaové boby se následně suší ze dvou hlavních důvodů. Za prvé, aby se snížil obsah vlhkosti z přibližně 40–55 % na úroveň bezpečnou pro skladování několik měsíců, tedy na 7,5 %. Při vlhkosti nad 8 % může docházet ke vzniku plísní a boby

s vlhkostí pod 5 % jsou velmi křehké. Za druhé dokončit oxidační fázi fermentace a tím snížit svíravost, hořkost a kyselost. Sušení zároveň zvýrazňuje chuť a hnědou barvu. Proces sušení závisí na cirkulaci vzduchu (Amoa-Awua, 2014; Afoakwa, 2016, s. 94).

Existují dva typy sušení kakaových bobů. Sušení na slunci a umělé sušení. Sušení na slunci je nejčastěji používaná metoda. Zahrnuje přímé vystavení fermentovaných bobů slunečnímu záření. Boby se rozloží na betonové podlahy nebo rohože a pravidelně se míchají, což podporuje rovnoměrné sušení. Za těchto podmínek je sušení dokončeno asi za týden. V oblastech, kde sušení na slunci není možné kvůli častým deštům nebo špatným povětrnostním podmínkám se používá umělé sušení. Sušení na slunci je jednodušší, levnější metoda, avšak je více pracná než umělé sušení (Amoa-Awua, 2014). Hlavním problémem sušení na slunci je riziko kontaminace z okolí (Beckett, 2008, s. 21). Umělé sušení kakaových bobů zahrnuje umístění fermentovaných bobů do speciálního zařízení, které je navrženo tak, aby poskytovalo teplo a cirkulaci vzduchu. Obvykle se provádí za účelem urychlení sušení. Použité tepoty jsou mnohem větší a tím pádem může vzniknout produkt horší kvality se silnou kyselou chutí. Také mohou být boby znehodnoceny kouřem z použitého paliva, a proto se většinou využívají výměníky tepla k nepřímému ohřevu bobů, aby se zabránilo kouřovým pachům (Amoa-Awua, 2014).



Obrázek 6 Sušení kakaových bobů na slunci

(zdroj: Čokoládovna Troubelice, 2024)

3.4 Balení a skladování

K uchování kakaových bobů musí být použity pytle „bezpečné pro potraviny“, jejichž vlákna byla ošetřena rostlinným olejem. Tyto pytle mohou být použity jen jednou a musí být zdravotně nezávadné, čisté a dostatečně pevné (Afoakwa, 2016, s. 98). Tradičně jsou baleny do 60–65 kg jutových pytlů, které umožňují cirkulaci vlhkosti a jsou také biologicky rozložitelné (Beckett, 2008, s. 22).

Kakaové boby musí být skladovány tak, aby nenavlhly a nezískaly pachy z okolního prostředí. Správné skladování je důležitým faktorem z hlediska kvality a ekonomické hodnoty, jelikož pokud by byly kakaové boby napadeny hmyzem nebo plísní, byly by nepoužitelné a muselo by dojít k jejich zničení (Amoa-Awua, 2014). Protože čokoláda má velmi jemnou chuť, musí být také skladovány v dostatečné vzdálenosti od ostatního zboží (např. koření), které by mohlo mít za následek nežádoucí příchutě v čokoládě. Kakaové boby jsou často přepravovány v nákladních prostorech lodí s dobrou ventilací (Beckett, 2008, s. 22–23).

Poté co boby dorazí do továrny na čokoládu, jsou buď uskladněny v suché a dobře větratelné místnosti nebo jsou okamžitě vysypány do sil (Amoa-Awua, 2014).

3.5 Čištění a leštění

Protože se mnoho kakaových bobů suší na zemi, tak mohou obsahovat písek, kameny, železo nebo rostlinný materiál. Tyto nečistoty musí být odstraněny z důvodu, že mohou poškodit strojní zařízení, které se používá k mletí. Nebo také mohou během procesu pražení uvolnit plyny, které by mohly narušit kakaovou chuť (Beckett, 2008, s. 39).

V některých zemích se kakaové boby po vysušení leští, aby se zlepšil jejich vzhled. Tradičně se boby navlhčí a poté na nich pracovníci tančí, často bosýma nohama, dokud nejsou vyleštěné do vysokého lesku. Leštění kakaových bobů nohama je známé jako „tančení kaka“¹. Pracovníci si však musí dávat pozor, aby boby nerozdrtily. Je to velice pracná operace, která dodává konečnému produktu hladký vzhled a chrání boby před napadením plísněmi (Amoa-Awua, 2014).



Obrázek 7 Leštění kakaových bobů „tančení kaka“

(zdroj: Lazar, 2024)

3.6 Prosévání (Winnowing)

Zahrnuje použití tlaku na kakaové boby z důvodu uvolnění slupek a následného oddělení slupek od kakaové drtě. Důkladné oddělení slupek je nezbytné k zajištění kvalitního produktu, který je díky tomu zbaven hořké a nepříjemné chuti. Lze ho provádět po pražení bobů (tradiční proces) nebo před pražením (Goya et al, 2022).

3.7 Sterilizace

Sterilizace je proces, při kterém jsou kakaové boby nebo kakaová drť vystaveny dostatečně vysoké teplotě po dostatečně dlouhou dobu, aby se zničily všechny mikroorganismy (Afoakwa, 2016, s. 109). Tento proces lze provádět buď před nebo po procesu pražení. V případě, že se sterilace provede po pražení, zajistí se zničení tepelně odolných bakterií včetně spor, které by mohly přežít vysoké teploty procesu pražení (Goya et al., 2022). Ošetření může být provedeno jako vsádkový nebo kontinuální proces, a to smáčením nebo nahříváním parou, aby byly odstraněny všechny mikroorganismy, které by mohly kontaminovat kakaovou drť nebo kakaové boby během posklizňových procesů, fermentace nebo sušení. Po sterilizaci může být drť pražena nebo může být nejprve alkalizována před pražením (Afoakwa, 2016, s. 109).

3.8 Alkalizace

Alkalizační proces byl vyvinut v Nizozemí v 19. století pod pojmem známým jako „holandský proces“ (Beckett, 2008, s. 54). Tento proces snižuje kyselost, hořkost i svíravost, a tím zlepšuje aromatické vlastnosti kakaového prášku. Také umožňuje vývoj barvy přeměnou typických světle hnědých odstínů přírodního kakaového prášku na načervenalé. Tyto barevné změny pocházejí ze sledu chemických reakcí mezi alkalizačními činidly a pigmenty. Tyto reakce probíhají za přítomnosti kyslíku při vysokých teplotách ve vodném prostředí (Quelal-Vásquez et al., 2020). Využívá se i z důvodu, že snižuje pravděpodobnost shlukování při přidání do mléka nebo nápojů na bázi vody (Beckett, 2008, s. 54).

Proces spočívá ve smíchání kakaového materiálu (kakaový koláč, drť nebo likér) s vodným roztokem alkalické sloučeniny, která zvyšuje hodnotu pH z 5,1–5,6 na hodnotu 6,8–7,5. Většinou se roztok rozstříkuje do bubnu s kakaovou drtí a poté se pomalu suší při teplotě pod 100 °C. Běžné alkalické sloučeniny, které se používají jsou uhličitán draselný, uhličitán vápenatý nebo hydroxid sodný (ICCO, ©2016–2023b; Afoakwa, 2016, s. 109). Často se používají i kombinace těchto solí. Při použití hydroxidu sodného vznikají tmavší barvy kakaového prášku (Demirici et al., 2024).



Obrázek 8 Různé barvy kakaového prášku z procesu alkalizace

(zdroj: Afoakwa, 2016, s. 110)

3.9 Pražení

Pražení je jedním z důležitých kroků, které ovlivňují jakost kakaových bobů při následném zpracování. Při pražení dochází k odpařování těkavých kyselin z bobů, což snižuje kyselost a hořkost. Dále dochází k Maillardovým reakcím, kterým podléhají volné aminokyseliny a redukující cukry vytvořené během fermentace a sušení (Kongor et al., 2016). Maillardovy reakce se též nazývají reakce neenzymového hnědnutí a při pražení dávají kakaovým bobům barvu a chuť (Beckett, 2008, s. 47).

Je to velmi důležitý krok, jehož cílem je přeměnit suchá fermentovaná zrna na mikrobiologicky čistou surovinu s charakteristickou vůní a chutí. Nejčastěji se využívá metoda konvekčního pražení (Żyżelewicz et al., 2016). Proces pražení kakaových bobů se provádí rovnoměrným zahříváním bobů na teplotu mezi 120–150 °C po dobu až 40 min. Pražení kakaových bobů je důležité pro rozvoj čokoládových chutí, snížení vlhkosti, ukončení mikrobiálních aktivit a pro lepší zpracování (Yang et al., 2022).

Můžou se pražit celé boby, kakaová drť nebo kakaový likér. Tradičním způsobem je pražení celých kakaových bobů. Hlavním důvodem je jednodušší odstranění slupky. Nevýhodou je, že se kakaové máslo může při procesu roztápnout a také rozdílné velikosti kakaových bobů a energetická náročnost. Pražení drcených kakaových bobů se provádí tak, že se nejprve odstraní slupky a poté se boby praží. Během pražení se mohou ošetřit zásaditým nebo cukrovým roztokem, který zlepšuje chuť. Likér se připraví tak, že se před pražením kakaová drť jemně rozemele na kapalinu. To vyžaduje opatrnost a kontrolu vlhkosti (Afoakwa 2016, s. 111; Beckett, 2008, s. 44–45).

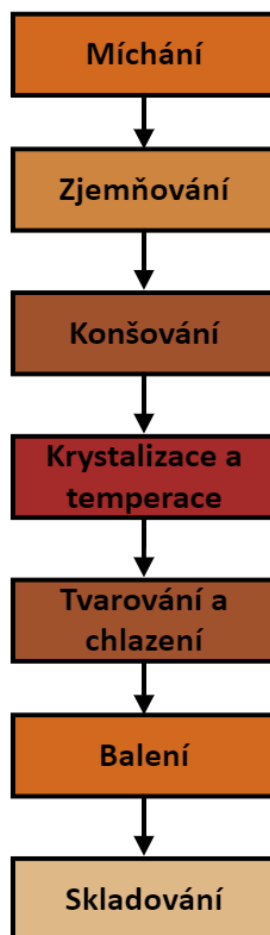
3.10 Mletí kakaové drti a zpracování likéru

Kakaové boby se melou na nízkoviskózní hmotu označovanou jako kakaový likér (kakaová hmota). Viskozita vyrobené kakaové hmoty může být do značné míry ovlivněna stupněm pražení a obsahem vlhkosti v kakaové drti. Kakaový likér se skládá z pevných částic kakaového suspenzovaného v kakaovém másle. Kakaová drť se mele ve dvoustupňovém procesu. Hrubé broušení neboli předemletí zahrnuje přeměnu pevné kakaové drti na hustou pastu, čehož lze dosáhnout pomocí kladivových, kotoučových nebo kolíkových mlýnů. Jemné mletí se provádí v kulových mlýnech nebo melanžérech za účelem přeměny husté pasty na hladkou nízkoviskózní hmotu a určuje konečnou jakost kakaového likéru (Goya et al., 2022).

Kakaový likér lze použít přímo k výrobě čokolády nebo se může zpracovat pomocí procesu lisování, kde se získají dvě hlavní suroviny, a to kakaové máslo a kakaový koláč. Kakaové máslo se může využít při výrobě čokolády, farmaceutických nebo kosmetických výrobků, zatímco získaný kakaový koláč se rozemele na kakaový prášek. Rozemletý kakaový prášek se poté prosévá z důvodu získání prášku se standardizovanou velikostí částic. Používá se jako hlavní přísada do kakaových nápojů (Goya et al., 2022).

4 PROCESY VÝROBY ČOKOLÁDY

Výrobní procesy čokolády mají několik společných kroků jako jsou: míchání, zjemňování, konšování, temperování, odlévání do forem, vyjímání z formy, chlazení a balení. Výsledkem je hladká textura, která je u produktů považována za žádoucí (Afoakwa, 2016, s. 120).



Obrázek 9 Schéma výroby čokolády

(zdroj: Upraveno dle Goya et al.)

4.1 Míchání čokoládové hmoty

Míchání ingrediencí je základní operace při výrobě čokolády. Spočívá ve smíchání ingrediencí jako jsou kakaový likér (hmota), cukr, kakaové máslo a další přísady např. mléčné složky v závislosti na druhu čokolády. Tato operace často kombinuje čas a teplotu. Může probíhat buď v kontinuálních nebo vsádkových mixérech. Při vsádkovém míchání se ingredience důkladně promíchají při 40–50 °C obvykle 12–15 min. Kontinuální míchání je využíváno většinou u velkých výrobců, jako je Nestlé a jsou zde také využívány automatické hnětače (Goya et al., 2022; Afoakwa, 2016, s. 120–121).

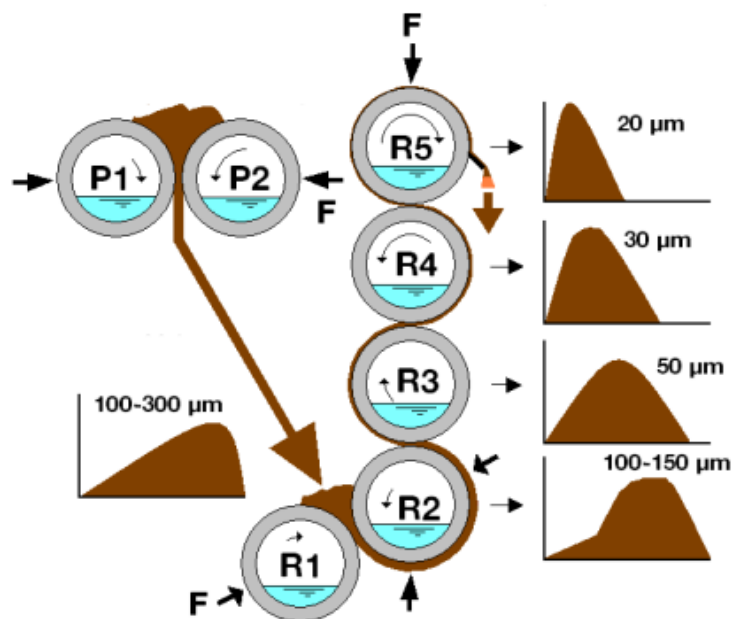
4.2 Zjemňování

Kvalita čokolády je připisována především jejímu reologickému chování, které je ovlivněno složením čokolády, distribucí velikosti částic a technikami zpracování. Výrobci čokolády věnují zvláštní pozornost distribuci velikosti částic, jelikož tento faktor má kritický vliv na pocit z výrobku v ústech. Často se uvádí, že nadměrná část částic s průměrem větším než 30 μm způsobuje pocit drsné chuti v ústech. Proto se během výroby čokolády částice melou, aby se dosáhlo jejich optimální distribuce (Khajehesamedini et al., 2021)

Zjemňování čokolády je důležité pro hladkou texturu v moderních čokoládových cukrovinkách (Afoakwa, 2016, s. 121). Velikost částic ovlivňuje texturu, chuť a vlastnosti čokolády. Většina čokolády má částice mezi 15 a 35 μm . Během zjemňování dochází k počátečnímu vývoji chuti, jelikož jsou složky nuceny vzájemně interagovat a uvolňovat těkavé látky. Rafinér se nastavuje úpravou rychlosti otáčení a tlaku mezi válci. Kombinace nastavení určuje konečnou jemnost částic (Laughter et al., 2012).

Válce rafinéra jsou duté a lze je chladit nebo ohřívat vodou, která nimi může protékat. Takže důležitou roli v provozu hraje i teplota válců, jelikož mění viskozitu a tokové vlastnosti přítomného tuku. Válce se otáčejí relativně vysokou rychlostí, a tak na částice působí odstředivá síla, která se je snaží odhodit pryč od stroje. Samotný film je však táhne dál, dokud jsou jeho součástí. Pokud se však něco pokazí s texturou filmu např. některé tuky ztuhnou díky nízké teplotě, částice se uvolní a čokoláda je odhozena pryč od stroje. Proto je nutná kontrola teploty (Beckett, 2008, s. 66–68).

Při rafinaci se hmota přivádí nejprve do dvou nebo tří válců rafinéra, kde probíhá proces předrafinace. Hmota může být poté posílána zpět přes tříválcový rafinér nebo dále do pětiválcového rafinéra (Laughter et al., 2012). Pětiválcový rafinér se skládá z pěti vodorovných válců, přičemž čtyři jsou umístěny nad sebou. První válec je umístěn na straně pod ostatními, tak aby mezi ním a druhým válcem vzniklo koryto (**viz obrázek 10**). První válec roztírá hmotu do tenkého filmu, který poté prochází přes zbývající válce. Tloušťka filmu závisí na mezeře, která je mezi nimi. Každý válec je rychlejší než ten před ním. Nakonec čepel nože, umístěna na zadní straně pátého válce, seškrábne čokoládu. (Laughter et al., 2012; Beckett, 2008, s. 67)



Obrázek 10 Schéma zjemňování pomocí dvouvalcového melanžeru a pětivalcového melanžeru

(zdroj: Upraveno dle Legarreta)

4.3 Konšování

Proces konšování čokolády byl poprvé použit Rudolfem Lindtem ve Švýcarsku v roce 1878 (Beckett, 2008, s. 68). Tento proces je zásadním krokem pro vývoj jedinečných vlastností čokolády, jako je vůně, chuť a textura. Zahrnuje neustálé míchání, hnětení a provzdušňování čokoládové hmoty při zvýšených teplotách (Guckenbiehl et al., 2022). Je také posledním z procesů, pomocí kterého může výrobce získat chuť a aroma požadované pro konkrétní produkt. Tento proces však nemůže napravit předchozí chyby, jako je nepříjemná kouřová nebo plesnivá chuť způsobená špatným sušením. Výrobci čokolády často používají různé teploty a doby konšování v závislosti na odrůdách kakaových bobů (Quelal et al., 2023). Švýcarská čokoláda se podle zákona musí konšovat minimálně 72 h, zatímco čokoláda vyrobená v USA se obvykle konšuje 18 h nebo méně. Délku konšování lze tedy vidět jako jeden z ukazatelů kvalitní čokolády (Cidell a Alberts, 2006).

Obvykle probíhá v konšovacím stroji, který míchá čokoládovou hmotu při 40–60 °C po dlouhou dobu (González et al., 2021). Proces zahrnuje suchou, plastickou (pastovou) a kapalnou fázi. Během suché fáze je čokoládová hmota ve formě vloček, které se zahřívají, míchají a provzdušňují. V této fázi se značně snižuje podíl vody a těkavých látek,

jako je např. kyselina octová. Změny textury během konšování jsou pravděpodobně způsobeny deaglomerací částic obklopujících kakaové máslo. Intenzivní míchání a stoupající teplota mají za následek uvolňování kakaového másla, které migruje na povrch pevných částic. Hmota se mění z práškové do polotuhé konzistence. Během plastické fáze je hmota vystavena řezání. Tato fáze zahrnuje důležité změny v reologii. Tuk pokračuje v migraci na povrch pevných látek, což způsobuje další snížení viskozity. V kapalně fázi se hmota mění na kapalinu, díky přidání kakaového másla nebo emulgátoru. Pevné částice jsou dostatečně obaleny a výsledný produkt má nízkou viskozitu (Toker et al., 2019; González et al., 2021; Guckenbiehl et al., 2022).

Proces konšování je vysoce nákladný kvůli vysokým teplotám a dlouhé době zpracování. Doba konšování je závislá především na množství materiálu a na nastavení konšovacího zařízení (Toker et al., 2019).

4.4 Krystalizace a temperace

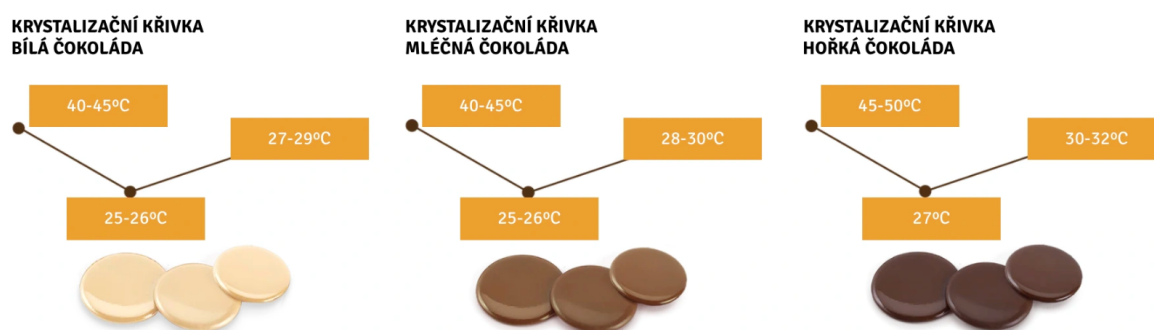
Kakaové máslo může krystalizovat do šesti různých polymorfních forem označovaných římskými číslicemi I až V a řeckými písmeny α , β a β' . Z nichž každá má jinou termodynamickou stabilitu a teplotu tání (Pirouzian et al., 2020; Svanberg et al., 2013). Nejžádanější forma u dobře temperované čokolády je forma V, která dává čokoládě lesklý vzhled a odolnost proti tukovému výkvětu (Afoakwa, 2016, s. 126). Tato forma má stabilní mikrostrukturu, zpomaluje migraci tuku a je schopna zachycovat kapalný olej ve své krystalové síti, a tím brání migraci kapalných TAG na povrch. Navíc má i příznivý bod tání 32–34 °C (Svanberg et al., 2011; Svanberg et al., 2013).

Temperování je tepelný proces, který zahrnuje míchání a chlazení čokolády. Účelem je vytvoření dostatečného počtu zárodečných krystalů, což umožní ztuhnutí do více stabilní polymorfní formy β_2 (V). V první fázi temperování by měla být čokoláda zahřátá na 45–50 °C, aby bylo zajištěno kompletní tání krystalů. Ve druhé fázi se rozpuštěná čokoláda míchá a chladí na 27–29 °C, aby se vyvolala krystalizace. V poslední fázi následuje krok zahřívání nad bod tání nestabilních krystalů α a β' . Při použití správného temperování je podíl krystalu získaného temperováním 1–3 % a podíl vzniklý ochlazením asi 45–60 %. Krystalizace je dokončena během skladování, kdy hladina krystalů modifikace β (V) se zvyšuje na 60–80 % (Pirouzian et al., 2020).

Alternativní proces temperace může být proveden inokulací rozpuštěné čokolády pomocí tuhé čokolády nebo kakaového másla. Tento proces poskytuje několik výhod

např. zlepšení skladovatelnosti, rychlejší krystalizaci a nižší spotřebu energie. Má také schopnost zlepšit termodynamickou stabilitu, profil tání, ale i další kvalitativní vlastnosti, jako je lesklý povrch a dobré tvarovací vlastnosti (Pirouzian et al., 2020).

Proces temperace ovlivňuje nejen čas a teplota, ale také i druh čokolády. Např. hořká čokoláda se chladí na 27–28 °C a mléčná na 26–27 °C. Důvodem je, že mléčný tuk zpomaluje krystalizaci kakaového másla. Proto se teplota sníží, aby se rychlost krystalizace urychlila (Pirouzian et al., 2020).



Obrázek 11 Krystalizace různých druhů čokolád

(zdroj: Chocolate pictures, 2022)

4.5 Tvarování a chlazení

Jednou z konečných fází zpracování čokolády je fáze formování, kdy se temperovaná čokoláda dávkuje do forem a následně se chladí. Během chlazení kakaové máslo krystalizuje a čokoláda tuhne (Keijbets et al., 2009). Je důležité, aby se zabránilo tvorbě kondenzace (vlhkosti) na povrchu čokolády, která by mohla vyvolat tukový výkvět. Doporučuje se udržovat teplotu chlazení nad rosným bodem (Keijbets et al., 2010).

Nejjednodušším způsobem tvarování čokolády je odlévání do forem. Důležité je, aby prázdné formy byly předehřáté na teplotu blízkou teplotě temperované čokolády. Dříve byly používány kovové formy, které byly těžké a poměrně drahé. Aktuálně se nejvíce používají formy vyrobené z plastu, které jsou lehčí. Výhodou je, že se s nimi dá kroutit, což napomáhá k vyjímání čokolády, která se přilepí (Beckett, 2008, s. 132–133).

Temperovaná čokoláda se dávkuje do předem připravených forem, které se následně vedou přes vibrátor. Díky němu se čokoláda rovnoměrně rozprostře po celé formě a zabrání

se vzniku vzduchových bublin (Keijbets et al., 2010). Pokud nejsou vzduchové bubliny správně odstraněny, konečný výrobek může mít na povrchu patrné otvory (Laughter, 2012).

Komerční čokoláda běžně tuhne v chladičích tunelech, do kterých je vháněn studený vzduch. Některé chladičí tunely jsou rozděleny tak, aby umožňovaly regulovat teplotu v jednotlivých sekcích (Tewkesbury et al., 2000).

4.6 Balení

Balení produktů je důležitou formou marketingové komunikace, jelikož spotřebitelé při každodenním nákupu zakládají své rozhodnutí na vnějších vlastnostech a vzhledu produktu (Gunaratne et al., 2019).

Obaly jsou nezbytné z hlediska bezpečnosti potravin během distribuce, prodeje a spotřeby s cílem prodloužit trvanlivost. Vhodné obaly musí poskytovat ochranu proti hmyzu, zápachu, špíně a migraci vlhkosti. Také jsou důležité k zabránění zhoršování kvality výrobku. Kromě ochranných opatření poskytují i užitečné informace pro spotřebitele, které se týkají např. názvu produktu, složení, nutričních informací a podmínek skladování (Arfelli et al., 2024; Laughter et al., 2012).

Tradičními obaly pro čokolády jsou hliníková fólie a papír (Beckett, 2008, s. 189). Hliníková fólie poskytuje nejlepší bariéru pro prostup vodních par a plynů, udržuje aroma a chladnou teplotu čokolády. Čokoláda se v balírnách dopravuje k balicímu stroji, který ustříhne hliníkovou fólii v závislosti na velikosti čokolády nebo hmotnosti. Hliníková fólie nejdříve pokryje čokoládu a následně se na ni připevní papírový obal. Papírový obal je zvolen, jelikož je levný a snadno se na něj tikne. Stroj poté čokoládu označí číslem šarže, datumem výroby a expirace (Afoakwa, 2016, s. 132, s. 429).

V poslední době nahradily tradiční obaly tzv. flow-wrap obaly, které snižují náklady na obalový materiál a umožňují kontinuální výrobu (Laughter et al., 2012). Balicí materiál je dodáván ve formě dlouhých potištěných rolí, které mohou být z různých materiálů, jako je např. polypropylen. Je však třeba věnovat velkou pozornost typu a aplikaci inkoustu, jelikož může dodat čokoládě nepříjemnou chuť. Obal se nejprve odvine z role a vytvoří trubici do které se vloží hotový výrobek. Poté se obal nastříhne do požadované délky a otevřené konce se utěsní pomocí tlaku a tepla (Beckett, 2008, s. 191–192).



Obrázek 12 Příklad balení do hliníkové fólie a papíru

(zdroj: vlastní)

4.7 Skladování

Čokoláda má trvanlivost přibližně 12–24 měsíců. Skladování je tedy rozhodující pro kvalitu konečného produktu. Při nevhodném skladování, zejména při kolísání teplot, může docházet ke změnám krystalové struktury a tvorbě tukového výkvětu, který snižuje texturní i vizuální kvalitu čokolády (Nightingale et al., 2012).

Čokoláda by se měla skladovat na suchých, tmavých, chladných místech a neměla by být skladována s jinými potravinami, aby nedocházelo k absorpci cizích aromat. Dále musí být chráněna před světlem a vzduchem, jelikož by mohlo dojít k oxidaci tuků (Laughter et al., 2012). Důležitá je i teplota skladování. Čokoláda by se měla skladovat při teplotě 18–20 °C, jelikož je vysoce citlivá na teplotní výkyvy. Pokud je vysoká vlhkost ve skladovacím prostoru, může se vyvinout tukový výkvět (Afoakwa, 2016, s. 132; De Pelsmaecker et al., 2019).

5 CHARAKTERISTIKA ČOKOLÁDY A JEJÍ DRUHY

Čokoládové a kakaové výrobky určené k lidské spotřebě musí splňovat směrnici Evropského parlamentu a Rady (ES) 2000/36/ES a zároveň musí splňovat požadavky, pro čokoládu, čokoládové bonbóny, kakaový prášek a směsi kakaa s cukrem ve vyhlášce č. 76/2003 Sb., která určuje i požadavky na med, přírodní sladidla a cukrovinky (EU, 2000; Česko, 2003).

Dle vyhlášky č. 76/2003 je čokoláda členěna na druhy a skupiny. Čokolády se dělí na 6 druhů, a to na hořkou čokoládu, mléčnou čokoládu, family mléčnou čokoládu a bílou čokoládu, které se následně dělí na skupiny. Do těchto skupin jsou zařazeny v závislosti, co čokolády obsahují či na co jsou určeny. Dělí se na čokoládu bez přísad, s přísadami, na vaření a plněnou. Dalšími dvěma druhy čokolád je Chocolate a la taza a Chocolate familiar a la taza, které se odlišují, jelikož obsahují mouku nebo granulované či práškové škroby (Česko, 2003).

Tabulka 1 Členění čokolád na druhy a skupiny

Druh	Skupina
čokoláda (hořká čokoláda) mléčná čokoláda family mléčná čokoláda bílá čokoláda	bez přísad s přísadami na vaření plněná
Chocolate a la taza Chocolate familiar a la taza	

(zdroj: upraveno dle Česko, 2003)

Hořká čokoláda je definována jako potravinu vyrobená z kakaových součástí, sladidel a dalších složek, které splňují požadavky uvedené ve vyhlášce. Obsahuje min. 35 % celkové kakaové sušiny s obsahem min. 18 % kakaového másla a min. nejméně 14 % tukuprosté kakaové sušiny (Česko, 2003).

Mléčná čokoláda je definována jako potravinu vyrobená z kakaových součástí, sladidel, mléka nebo mléčných výrobků, popřípadě dalších složek, které splňují požadavky uvedené ve vyhlášce. Obsahuje min. 25 % celkové kakaové sušiny, min. 2,5 % tukuprosté kakaové sušiny, min. 14 % mléčné sušiny, min. 3,5 % mléčného tuku a min. 25 % celkového tuku (tj. součet obsahu kakaového másla a mléčného tuku) (Česko, 2003).

Family mléčná čokoláda je definována jako potravina vyrobená z nižšího podílu kakaových součástí, sladidel a vyššího podílu mléka nebo mléčných výrobků s obsahem min. 20 % celkové kakaové sušiny min. 2,5 % tukuprosté kakaové sušiny, min. 20 % mléčné sušiny, min. 5 % mléčného tuku a min. 25 % celkového tuku (Česko, 2003).

Bílá čokoláda je definována jako potravina, která je vyrobena z kakaového másla, mléka nebo mléčných výrobků a sladidel, popřípadě dalších složek, které splňují požadavky uvedené ve vyhlášce. Obsahuje min. 20 % kakaového másla, min. 14 % mléčné sušiny a min. 3,5 % mléčného tuku (Česko, 2003).

Chocolate a la taza je definována jako čokoláda vyrobená z kakaových součástí, mouky nebo pšeničného, rýžového či kukuřičného škrobu a sladidel, přičemž obsah škrobu nebo mouky může být nejvýše 8 % z celkové hmotnosti. Dále musí obsahovat min. 35 % celkové kakaové sušiny, min. 14 % tukuprosté kakaové sušiny a min. 18 % kakaového másla (Česko, 2003).

Chocolate familiar a la taza je definována jako čokoláda vyrobená z kakaových součástí, mouky nebo pšeničného, rýžového či kukuřičného škrobu a sladidel, přičemž obsah škrobu nebo mouky může být nejvýše 18 % z celkové hmotnosti. Dále musí obsahovat min. 30 % celkové kakaové sušiny, min. 12 % tukuprosté kakaové sušiny a min. 18 % kakaového másla (Česko, 2003).

Kakaovými součástmi se rozumí základní suroviny jako je kakaová drť, kakaová hmota, kakaové máslo, kakaový prášek, kakaové výlisky a kakaový tuk (Česko, 2003). V **tabulce 2** níže jsou výše popsány druhy čokolád s jejich % zastoupením jednotlivých složek.

Tabulka 2 Fyzikální a chemické požadavky na jakost jednotlivých druhů čokolád

Druh čokolády	Složky čokolád (% hm. vztažených na sušinu)						
	Obsah kakaového másla	Obsah tukuprosté kakaové sušiny	Obsah celkové kakaové sušiny	Obsah mléčného tuku	Obsah celkového tuku *	Obsah mléčné sušiny	Obsah mouky nebo škrobu
Hořká čokoláda	18	14	35	-	-	-	-
Mléčná čokoláda	-	2,5	25	3,5	25	14	-
Family mléčná čokoláda	-	2,5	20	5	25	20	-
Bílá čokoláda	20	-	-	3,5	-	14	-
Chocolate a la taza	18	14	35	-	-	-	< 8
Chocolate familiar a la taza	18	12	30	-	-	-	< 18

(zdroj: upraveno dle Česko, 2003)

Obsah celkového tuku * = součet obsahu kakaového másla a mléčného tuku. Hodnoty uvedené v **tabulce 2** znamenají nejnižší množství s výjimkou hodnot označených jako nejvyšší možné množství (Česko, 2003).

Alternativní tuky, které se nejčastěji používají pro čokoládu a čokoládové polevy, jsou kompatibilní s kakaovým máslem a jsou známé jako ekvivalenty kakaového másla. Složení TAG a polymorfismus u těchto tuků je velmi podobný kakaovému máslu. Pouze některé země však povolují úplné nebo částečné nahrazení kakaového másla alternativními tuky (De Silva et al., 2017). Dle vyhlášky č. 76/2003 Sb. jejich podíl nesmí být vyšší jak 5 % ve výrobku, u kterého po odečtení jedlých složek nesmí být snížen obsah kakaového másla nebo celkové kakaové sušiny. Nicméně je zakázáno přidávat živočišné tuky, které výhradně nepocházejí z mléka (Česko, 2003).

Tabulka 3 Rostlinné tuky, které jsou povoleny jako náhrady kakaového másla

Název rostlinného tuku	Botanický název rostlin, ze kterých mohou být tuky získány
1. Ilipe, bornejský tuk, Tengkawang	Shorea spp.
2. Palmový olej	Elaeis guineensis Elaeis olifera
3. Sal	Shorea robusta
4. Shea (bambucký tuk, olej z máslovníku)	Butyrospermum parkii
5. Kokum gurgi	Garcinia indica
6. Olej z jader manga	Mangifera indica

(zdroj: upraveno dle Česko, 2003)

Rostlinné tuky, které jsou uvedené v **tabulce 3** musí splňovat dle vyhlášky č. 76/2003 Sb. několik kritérií:

- nesmí obsahovat kyselinu laurovou,
- musí být mísitelné v jakémkoliv poměru s kakaovým máslem,
- jejich fyzikální vlastnosti musí být kompatibilní s fyzikálními vlastnostmi kakaového másla (bod tání, teplota krystalizace a rychlost tání),
- musí být získány výhradně rafinací nebo frakcionací (Česko, 2003).

6 EMULGÁTORY

Hlavní úlohou emulgátorů používaných při výrobě čokolády je zachování tekutosti čokolády díky potažení povrchů částic cukru a kakaá (Toker et al., 2024). Emulgátory jsou funkční přísady, které se v potravinářství využívají k propojení dvou nemísitelných kapalin olej a voda. Důsledkem je zlepšení stability, textury, objemu a homogenity. Struktura emulgátorů se skládá z hydrofilní části a lipofilní části. Hydrofilní část interaguje s vodnou fází a lipofilní část interaguje s olejovou fází. Tato struktura umožňuje emulgátoru působit na rozhraní dvou nemísitelných látek (Santos et al., 2014).

Emulgátory se dělí na přírodní a syntetické na základě jejich hodnot HLB. Hodnota HLB se nazývá hodnota hydrofilně-lipofilní rovnováhy. Indikuje rovnovážný vztah mezi hydrofilními skupinami a lipofilními skupinami v molekulách povrchově aktivní látky. Čím vyšší je hodnota HLB, tím silnější je hydrofilita a čím nižší je hodnota HLB, tím silnější je lipofilita (Li et al., 2016).

Emulgátory snižují mezičásticové interakce, které jsou odpovědné za agregaci částic a díky tomu snižují viskozitu čokoládové hmoty. Úprava tokových vlastností je velmi zásadní pro kvalitu výsledných produktů a pro předcházení výrobních problémů. Tokové vlastnosti se upravují buď přidáním tuku nebo použitím emulgátoru. Při správném výběru emulgátoru, anebo jejich kombinací lze dosáhnout optimálních tokových vlastností a současně ušetřit značné množství kakaového másla (Toker et al., 2024).

V čokoládových výrobcích se emulgátory používají k následujícím účelům:

- pro úpravu tokového chování roztavené čokolády,
- pro získání vynikajícího pocitu v ústech a uvolnění aroma,
- pro snížení nákladů a kalorií snížením tuku,
- pro zlepšení trvanlivosti a lesklého vzhledu (Toker et al., 2024).

6.1 Lecitiny

Lecitin objevil Théodore Nicolas Gobley, který ho izoloval z vaječných žloutků a identifikoval ho jako látku, která umožnila smíchat olej a vodu. Jeho název byl odvozen z řeckého slova „lekithos“, což znamená vaječný žloutek (Garti a Aserin, 2012). Je to nejstarší s nejznámější emulgátor v čokoládovém průmyslu (Toker et al., 2024).

Dle směrnice 2000/36/ES se mohou lecitiny přidávat do kakaových a čokoládových výrobků v neomezeném množství (EU, 2008).

Lecitin (E322) je směs lipidů složená především z fosfolipidů živočišného nebo rostlinného původu. Komerční lecitin lze získat z různých zdrojů, z nichž nejčastějšími jsou vejce, mléko, ryby nebo semena rostlin. Rostlinné lecitiny jsou díky své nízké toxicitě nejrozšířenějšími emulgátory v potravinářském průmyslu. V čokoládovém průmyslu je nejvýznamnější sójový lecitin (Toker et al., 2024).

Sójový lecitin je přírodní emulgátor, který se získává jako vedlejší produkt při výrobě a zpracování sójového oleje (Li et al., 2016). Je to přírodní iontová povrchově aktivní látka, která se skládá především z fosfatidylcholinu, fosfatidylethanolaminu, fosfatidylinositolu a kyseliny fosfatidové. Vykazuje dobrou emulgační kapacitu díky přítomnosti hydrofobních alkylových postranních řetězců, tak i hydrofilních fosfolipidových skupin hlavy. Molekuly sójového lecitinu stabilizují emulze tím, že kolem každé kapky vytvoří multilamelární obal, který působí jako mechanická bariéra. Ačkoliv má lecitin své výhody, má i své nevýhody (Xia et al., 2024). Lecitin ze sójových bobů je relativně levný a snadno se získává, avšak je těžké ho koupit z geneticky nemodifikovaných sójových bobů. Kromě toho vyžaduje i deklaraci na obalu z důvodu jeho alergenů. Alternativně lze použít lecitin extrahovaný ze slunečnicových semen. Sice je dražší a složitější na extrakci, ale má srovnatelné emulgační vlastnosti a je bez negativních aspektů (Krüger et al., 2015).

Lecitin migruje na rozhraní cukr/tuk a potahuje krystalky cukru, čímž ovlivňuje tokové vlastnosti roztavené čokolády (Toker et al., 2024). Přidání 1–3 g/kg sójového lecitinu má stejný účinek na viskozitu, jako přibližně 10násobek kakaového másla. To umožňuje snížit výrobní náklady úsporou kakaového másla (Schantz a Rohm, 2005). Předpokládá se, že když se přidá přebytek lecitinu, tak jsou krystaly cukru dostatečně pokryty lecitem. Přebytečný lecitin se pak nemůže v olejové fázi rozložit, a tak se na povrchu potažených krystalů vytvoří druhá vrstva. Vnější část celé struktury se opět stává hydrofilnější, jelikož se řetězce masných kyselin zarovnávají kolem sebe a díky tomu je pozorován pokles viskozity (Toker et al., 2024).

6.2 PGPR

PGPR (E476) je polosyntetický emulgátor získaný esterifikací kondenzované kyseliny ricinolejové s polyglycerolem. V dnešní době se PGPR vyrábí chemickými metodami, ale lze jej vyrábět i v menším měřítku enzymaticky. Je to čirá vysoce viskózní kapalina

nerozpustná v ethanolu ale rozpustná v tucích a olejích. Jeho schválený denní příjem bez nepříznivých účinků byl stanoven na 25 mg/kg. Obecně se v čokoládě nepoužívá samostatně ale spíše v kombinaci s ostatními emulgátory (Toker et al., 2024). Dle směrnice 2000/36/ES se může PGPR přidávat do kakaových a čokoládových výrobků v omezeném množství a to nejvíce 5 000 mg/kg (EU, 2008). PGPR je mezi potravinářskými emulgátory jedinečný, protože má významný vliv na mez toku (Toker et al., 2024). Poskytuje technologické výhody jako je potahování, tvarování a prevence tvorby vzduchových bublin (Atik et al., 2020).

PGPR se využívá v čokoládovém průmyslu na čokoládové polevy, kde je důležité, aby při potahování správně tekly. PGPR zlepšuje tokové vlastnosti roztavené čokolády snížením „Cassonovy meze kluzu“, která představuje viskozitu při nízké smykové rychlosti. Naopak lecitin se používá ke snížení „plastické viskozity“, což je viskozita při vysoké smykové rychlosti. Jelikož PGPR a lecitin mají komplementární reologické vlastnosti, často se pro optimální hodnotu reologie čokolády používají společně. Umožňují rovnoměrnější potahování cukrovinek a zároveň snižují spotřebu drahého kakaového másla v receptuře. Snížení meze kluzu také zlepšuje uvolňování vzduchu, který je zachycený v čokoládě, což vede k lepšímu formování (Bastida-Rodríguez, 2013).

6.3 Mono– a diglyceridy mastných kyselin

Uplatnění mono– a diglyceridů začalo ve 30. letech 20. století v margarínovém průmyslu. Následně v roce 1936 bylo patentováno použití mono– a diglyceridů pro zmrzlinářské použití (Moonen a Bas, 2014).

V potravinářském průmyslu patří mono– a diglyceridy a jejich deriváty k nejvýznamnějším potravinářským emulgátorům (Saffold a Acevedo, 2022). Tvoří asi 70 % světové produkce potravinářských emulgátorů. Hlavními aplikacemi jsou chléb, piškotové koláče, margaríny, zmrzlina a žvýkačky (Moonen a Bas, 2014). Jsou známé díky svým povrchově aktivním vlastnostem a slouží k úpravě vlastností jako je viskozita, krémovitost a stabilita pěny (Oellig et al., 2020). Vykazují lipofilnější charakter a jsou proto účinnější při stabilizaci emulzí voda v oleji (V/O) (Saffold a Acevedo, 2022).

Emulgátory E471 jsou směsí mono–, di– a triesterů mastných kyselin z jedlých olejů s glycerolem. Průmyslově se syntetizují buď acylací glycerolu s mastnými kyselinami nebo transesterifikací triacylglycerolů (TAG) s glycerolem. Výrobní proces vede ke směsi obsahující MAG a DAG v různém složení a množství. Výrobu je obtížné kontrolovat,

a proto jsou emulgátory E471 obecně směsi s variabilním složením a nejsou k dispozici žádné standardizované produkty (Oellig et al., 2020). Vzhled produktů je od světle žluté přes hnědou olejovitou tekutinu až po bílou pevnou látku. Pevná látka může být ve formě prášku, vloček nebo malých kuliček (Moonen a Bas, 2014).

Dle směrnice 2000/36/ES mono– a diglyceridy mastných kyselin mohou být přidávány do kakaových a čokoládových výrobků v neomezeném množství (EU, 2008).

7 ZDRAVOTNÍ BENEFITY ČOKOLÁDY

Čokoládu mnoho lidí považuje za lahodnou z důvodu její charakteristické textury, příjemné vůně a hořkosladké chuti. Z nutričního hlediska je čokoláda energeticky vydatná, jelikož má vysoký obsah tuků a cukrů. Obsahuje i několik zdravích prospěšných složek, jako jsou polyfenoly, flavonoidy, theobrominy a také vitamíny a minerály, které pozitivně regulují imunitní systém člověka. Poskytuje ochranu proti kardiovaskulárním chorobám, některým typům rakoviny a dalším poruchám mozku jako jsou Alzheimerova choroba či Parkinsonova choroba (Balboa-Castillo et al., 2015; Samanta et al., 2022).

Hořká čokoláda je považována za funkční potravinu díky svým antidiabetickým, protizánětlivým a antimikrobním vlastnostem. Udržuje správný metabolismus lipidů, stimuluje mozkové funkce a také chrání před obezitou a oxidativním stresem. Mírná konzumace hořké čokolády vede k udržení hladiny cholesterolu v krvi zdravějším směrem, jelikož snižuje množství LDL a celkového cholesterolu, zatímco na hladinu HDL nemá významný vliv. Další významnou funkcí hořké čokolády je zlepšení funkce mozku, neboť zlepšuje průtok krve v srdci a mozku. Chemické sloučeniny vyskytující se v hořké čokoládě stimulují také kognitivní funkce a pozitivně ovlivňují změny nálad (Samanta et al., 2022).

Kromě příznivých zdravotních účinků existuje i několik zdravotních problémů spojených s konzumací čokolády. Patří mezi ně přibývání na váze, problémy se zuby a diabetes. Tyto problémy obvykle vznikají z nadměrné konzumace čokolády s vysokým obsahem tuku a cukru. Dále může vést konzumace velkého množství čokolády k nespavosti a zvýšené srdeční frekvenci kvůli obsahu kofeinu a theobrominu (Satitaş et al., 2024).

8 BEZPEČNOST POTRAVIN

Bezpečnost potravin souvisí s riziky, která mohou být přítomna v potravinách v místě konzumace. K těmto rizikům může docházet v kterékoli fázi potravinového řetězce a je nezbytné, aby byla během zpracování zavedena odpovídající kontrolní opatření, aby byla zajištěna bezpečnost konečného produktu a následné konzumace. Kontrol bezpečnosti v potravinářském zařízení lze dosáhnout aplikací normy ISO 22000 a analýzy rizik a kritických kontrolních bodů (HACCP). Mezinárodní norma ISO 22000 specifikuje požadavky na systém řízení bezpečnosti potravin, zatímco systém HACCP identifikuje konkrétní nebezpečí a opatření k jejich omezování, aby byla zajištěna konečná bezpečnost potravin (Afoakwa, 2016, s. 399).

Při výrobě čokolády se používá mnoho zařízení, nástrojů a surovin. Tyto materiály by mohly představovat různé druhy potenciálního nebezpečí. Vnášet do potravin rizika ve formě biologických, chemických nebo fyzikálních činitelů, které mohou mít nepříznivé účinky na zdraví lidí (Afoakwa, 2016, s. 408).

Fyzikální nebezpečí mohou představovat cizí tělesa, která se do čokolády mohla dostat během zpracování. Mohou to být měkké, tvrdé nebo ostré předměty, které by mohly způsobit fyzické zranění nebo udušení. Chemická rizika představují vnitřní kontaminace surovin a kontaminace, ke kterým může docházet v průběhu procesu zpracování např. kontaminace těžkými kovy nebo mykotoxiny. Hlavním mikrobiologickým rizikem při výrobě čokolády je *Salmonella*, která může přežít v čokoládových výrobcích delší dobu. I když se jedná o produkt s relativně nízkou aktivitou vody. Předpokládá se, že tuková matrice čokolády chrání buňky před kyselým prostředím žaludku, což jim umožňuje kolonizovat gastrointestinální trakt. Další mikrobiologická rizika mohou představovat např. *Staphylococcus aureus*, koliformní bakterie nebo plísně, jako jsou *Aspergillus* nebo *Penicillium* (Afoakwa, 2016, s. 408–413).

9 ANALÝZA ČOKOLÁDY

V průmyslu výroby čokolády se uplatňuje široká škála analytických technik. Tato kapitola shrnuje některé z nejpoužívanějších technik, jako je měření velikosti částic, diferenciální skenovací kalorimetrie, barevnost, texturní analýza, thixotropie a senzorická analýza (Beckett, 2008, s. 153).

Distribuce velikosti částic ovlivňuje reologii a texturu, což má vliv na mez kluzu, plastickou viskozitu, tvrdost a další parametry produktu. DSC se široce používá k charakterizaci změn v profilu tání čokolády a měří relativní množství každé krystalické fáze (Lapčíková et al., 2021). Barva produktu je jedním z nejvýraznějších vizuálních podnětů, kterým spotřebitel čelí, než k němu přičichne nebo ho ochutná. Ovlivňuje a podporuje předpoklad ohledně očekávané vůně a chuti (Nyitrai et al., 2022). Textura je kombinací struktury materiálu a jeho mechanických a povrchových vlastností. Texturní vlastnosti čokolády vyplývají ze složení lipidové fáze (především kakaového másla), které ovlivňuje tání a pocit v ústech (Zarić et al., 2024). Reologické chování může poskytnout informace o senzorických vlastnostech čokolády. Kromě toho reologické chování také určuje vlastnosti manipulace potřebné během výrobního procesu čokolády. Proto je kontrola reologické povahy čokolády nezbytná. Nejčastěji používaný model pro popis reologického chování je Cassonův model. Z tohoto modelu jsou odvozeny Cassonova hodnota kluzu, která popisuje napětí potřebné k zahájení toku, a Cassonovu viskozitu popisující vnitřní tření během proudění. Další parametr tokového chování, který lze získat z měření, je thixotropie. Tento parametr lze využít ke zlepšení výrobního procesu čokolády (Cahyani et al., 2019). Senzorická kvalita je konečným měřítkem úspěchu produktu (Drake, 2007).

9.1 Měření velikosti částic

Distribuce velikosti částic je klíčovým faktorem tokových (reologických) vlastností čokolád s přímým vlivem na smyslové vnímání (Afoakwa, 2016, s. 132). Velikost částic musí být menší než 25 μm , aby částice nebyly postřehnutelné v ústech a umožnily také dobré rozpouštění čokolády během konzumace (Pombal et al., 2024).

Přístroje jako mikrometry a optické mikroskopy mohou měřit průměr největších částic. Žádný z nich však nemůže zaznamenat povrch menších částic. Optické mikroskopy mohou měřit částice o velikosti pouhých 5 mikronů, ale pod touto úrovní způsobuje difrakce světla nejisté měření. K měření menších částic lze použít dva typy přístrojů. Ty jsou založeny

na elektrické vodivosti a rozptylu laserového světla. Obě metody spoléhají na rozptýlení netukových pevných částic v kapalině před provedením měření, aby se jednotlivé částice oddělily. V čokoládě jsou tyto částice tak těsně zabaleny, že by tyto systémy nebyly schopny rozlišovat mezi různými částicemi. Dispergační kapalina nesmí mít žádný vliv na samotné částice. To znamená, že nesmí obsahovat žádnou vodu. Velmi často se používá olej nebo organická rozpouštědla (Beckett, 2008, s. 153–154).

V současnosti je nejběžnější používanou komplexní metodou měření čokoládových výrobků použití laserového rozptylového analyzátoru velikosti částic, který je poměrně drahý a pro malé výrobce nedostupný (Tan a Balasubramanian, 2017). Principem měření laserových difrakčních přístrojů je monochromatický laserový paprsek procházející měřicí celou se suspendovanými částicemi, které způsobují difrakci světla s úhlem rozptylu, který závisí na velikosti částic za předpokladu, že částice jsou sférické (Callesen et al., 2018).

9.2 DSC – Diferenciální skenovací kalorimetrie

Jednou z nejběžnějších metod používaných pro identifikaci polymorfního stavu kakaového másla, potažmo čokolády je diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC). Je to tepelná analýza, která poskytuje informace o teplotě tání během zahřívání hmoty. Bod, ve kterém dosáhne teplo tání svého maxima, představuje maximální teplo, které bylo absorbováno hmotou. Tento bod je také definován jako „bod tání čokolády“. Tato teplota tání se využívá k vyhodnocení hlavního typu polymorfismu, který je přítomen v čokoládovém systému, protože každá krystalická forma je charakterizována specifickými body tání nebo rozmezím podle jejich termodynamické stability (Ioannidi et al., 2021).

DSC porovnává tok tepla mezi vzorkem a prázdnou referenční miskou během neustále se měnící teploty. Velké změny tepelného toku svědčí o zvýšení měrného tepla souvisejícího s fázovými přechody. Tání tuku lze charakterizovat počáteční teplotou (T_{on}), teplotou píku (T_p), konečnou teplotou (T_{end}) a entalpií tání (ΔH) (Tan a Kerr, 2018).

Jedná se o instrumentální metodu, která nevyžaduje rozsáhlou přípravu vzorku a zároveň poskytuje rychlé výsledky. Množství materiálu, které je testováno je však velmi malé 5–10 mg, což může být výhoda. Navíc DSC lze použít pro zkoumání pevných i kapalných vzorků (Ioannidi et al., 2021).

9.3 Barevnost

Barva produktu je nejvýraznějším vizuálním podnětem, který spotřebitel vnímá ještě před ochutnáním, jelikož spotřebitelé nakupují „očima“ a tak barva ovlivňuje očekávání spotřebitelů ohledně předpokládané chuti a vůně (Nyitrai et al., 2022). Barva je přirozenou vlastností jídla, charakterizující jeho kvalitu. Je to pocit vnímaný lidmi, který se u jednotlivců poněkud liší. Analyzuje se buď přímou kontrolou (senzorickou) nebo pomocí instrumentálních metod. Přímá kontrola určuje barvu obvykle v kombinaci s vůní a chutí, zatímco přístrojové měření barev je lépe reprodukovatelné a eliminuje interindividuální chyby. Používají se dva základní typy přístrojů pro měření barev (spektrofotometry a kolorimetry) založené buď na absorpci nebo na odrazivosti (Socaciu a Diehl, 2008).

Kolorimetrie je založená na měření odrazu. Snaží se simulovat lidské vnímání barev. Lidské oko však nedokáže rozlišit následující charakteristiky barvy její odstín h^* , barevnost nebo sytost C^* a světlost L^* . Odstín je kvalita, která obvykle identifikuje barvu. Sytost je jasnost barvy, vyjádřená jako intenzita odstínu ve srovnání s jejím vlastním jasnem (Socaciu a Diehl, 2008).

Systémy měření barev se používají k široké škále potravinářských produktů. V potravinářském průmyslu je nejpoužívanějším systémem barevný prostor $L^* a^* b^*$, který je také označován jako systém CIELAB. Hodnoty L^* , a^* , b^* používané v systému jsou vypočteny z trichromatických hodnot (X , Y a Z), které jsou základem všech matematických barevných modelů. Umístění v barevném prostoru CIE je definováno kartézským (pravoúhlým) systémem souřadnic. Hodnota světlosti (L^*) udává, jak je barva světlá nebo tmavá a pohybuje se od 0 (černá) do 100 (bílá). Hodnota (a^*) udává polohu na ose zelená – červená a (b^*) udává polohu na ose modrá – žlutá. Výpočty barevných rozdílů jsou poté odvozeny z hodnot L^* , a^* , b^* . Míra rozdílu mezi dvěma barevnými podněty je dána barevným rozdílem ΔE , který se dá vypočítat dle vztahu viz rovnice (1) (Socaciu a Diehl, 2008; Hernández Salueña et al., 2019; Milićević et al., 2020).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

9.4 Texturní analýza

Textura zahrnuje všechny hmatové vjemy, které lidské tělo pociťuje od okamžiku nakoupení jídla v obchodě až po dokončení žvýkání a spolknutí sousta. Žvýkání je dynamický proces,

při kterém se potrava drtí do jemného stavu a míchá se se slinami při teplotě blízké tělesné teplotě. Tento proces přináší příjemné pocity, které naplňují základní lidskou potřebu. Je to smyslové potěšení, které si užíváme po celý život (Bourne, 2002).

Senzorické vnímání textury probíhá po celou dobu žvýkacího cyklu, od prvního sousta, až po poslední polknutí. Některé vlastnosti textury jsou detekovány již při počátečním kousnutí, jiné během žvýkání a některé až během závěrečného polykání (Bourne, 2002).

Při senzorickém vnímání čokolády mají velký význam tři texturní vlastnosti, a to hladkost, rozplývavost a tvrdost (Afoakwa, 2016, s. 209). Tvrdost je důležitou vlastností čokolády, jelikož souvisí s její senzorickou kvalitou (Lapčíková et al., 2022). Jedná se o míru síly potřebné k prokousnutí kousku čokolády na polovinu pomocí řezáků (Afoakwa, 2016, s. 208). Může být ovlivněna výrobním procesem, použitými surovinami nebo délkou skladování. Tvrdost mléčné čokolády je obecně vyšší ve srovnání s bílou čokoládou a nižší ve srovnání s hořkou čokoládou. Mléčný tuk čokoládu změkčuje, snižuje její bod tání a tím usnadňuje rozpouštění v ústech. Tvrdost tedy klesá v důsledku přidání mléčné složky (Lapčíková et al., 2022).

9.5 Tixotropie

Čokoláda vykazuje časově závislé reologické chování, jinými slovy dochází ke změně smykového napětí a viskozity při dané smykové rychlosti. Nastává s časem, což může souviset se změnou struktury materiálu. Toto snížení viskozity v čase smykového namáhání, následované obnovením struktury při odstranění napětí, se nazývá tixotropie. Dobře konšovaná čokoláda by neměla být tixotropní (Afoakwa, 2016, s.148; Servais et al., 2003).

Tixotropie je definována jako rozdíl plochy mezi zvýšením a poklesem na křivce toku. V praxi může být tixotropie získána pomocí přímého výpočtu rozdílu v ploše mezi oběma křivkami (Servais et al., 2003).

9.6 Senzorická analýza

Senzorické hodnocení je definováno jako vědecká a praktická metoda, která vypočítává, analyzuje a interpretuje reakce na produkty prostřednictvím zraku, čichu, hmatu, chuti a zvuku. Pro přesné senzorické hodnocení musí být zajištěn vhodný způsob přípravy vzorku, náležitý výběr testu a také správná analýza dat (Mousazadeh, 2023).

Při pohledu na čokoládový výrobek vizuální podněty nastavují očekávání, což nám dává první dojem, zda jídlo ochutnáme nebo odmítneme. Chuť je pro spotřebitele kritériem při nákupu čokolády. Je to dokonce nejpodstatnější smyslový atribut. Pomocí základních chuťových receptorů na našem jazyku detekujeme různé chuťové znaky v čokoládě, a to chuť sladkou, kyselou, hořkou a umami. Složitější chuťové vjemy zahrnují i účinky tepla nebo chlazení a jsou vnímány pomocí trojklanného nervu nebo volnými nervovými zakončeními (Lemarcq et al., 2021; Afoakwa, 2016, s. 210).

Aroma má zvláštní význam při prosazování spotřebitelských preferencí a jeho senzorické hodnocení je často doplněno analytickými postupy, jejichž cílem je izolovat a určit koncentraci těkavých látek v potravinách. Následně pochopit vliv složek potravin na celkovou intenzitu aroma anebo na vnímání celkového produktu (Starowicz et al., 2017). Aroma je vnímáno kombinací čichání nosem (orthonasální) a těkavých látek přiváděných ústy (retranasální). Typické čokoládové aroma se skládá z mnoha různých aromatických sloučenin. Kromě primárních kakaových aromat mohou být přítomny některé jemné aromatické tóny například: ovocné, květinové nebo ořechové (Lemarcq et al., 2021).

II. PRAKTICKÁ ČÁST

10 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo vyrobit vzorky hořké čokolády s různým zastoupením emulgátorů v různé koncentraci a porovnat jejich fyzikálně chemické vlastnosti a senzorické vlastnosti.

Pro naplnění cílů bylo zapotřebí:

- zpracovat teoretickou část diplomové práce, která se týkala historie, získávání kakaových bobů a jejich zpracování, výrobou čokolády, legislativních požadavků na čokolády, popisu emulgátorů, vlivu čokolády na zdraví, bezpečnosti potravin a analýz čokolády,
- vyrobit vzorky čokolády s různým zastoupením emulgátorů o různých koncentracích (lecitiny, PGPR, E471),
- u vyrobených vzorků čokolády stanovit velikost částic, barevnost, diferenciální skenovací kalorimetrii (profil tání), texturní a reologické vlastnosti, obsah vody, obsah tuku a senzorické vlastnosti,
- zpracovat výsledky analýz, vyhodnotit vliv typu emulgátoru na fyzikálně-chemické vlastnosti čokolád a zformulovat závěry.

11 METODIKA PRÁCE

Na začátku praktické části diplomové práce byly vyrobeny modelové vzorky hořké čokolády s různým zastoupením emulgátorů. Hlavními surovinami pro výrobu byly suroviny jako kakaová hmota, kakaové máslo, pudrový cukr a emulgátory. Jako emulgátory byly použity slunečnicový lecitin, sójový lecitin, PGPR (polyglycerol polyricinoleát) a E471 (mono– a diglyceridy mastných kyselin). Tyto suroviny byly použity v recepturním množství, které je uvedené v **tabulce 4**.

Tabulka 4 Surovinová skladba pro výrobu modelových vzorků čokolád

Surovina	Navážka (g)
Kakaová hmota	1298
Kakaové máslo	79,5
Pudrový cukr	1039

(zdroj: vlastní)

Surovinová skladba byla navážena do melanžéru, kde byla podrobena konšovacímu procesu (**obrázek 13**), který probíhal do doby, než měly částice velikost menší než $<30\ \mu\text{m}$. Takto připravená čokoládová hmota byla smíchána s emulgátory a dále homogenizována 30 min v Thermomixu při $50\ ^\circ\text{C}$ a poté byla provedena temperace. Následně byly vzorky dávkovány do forem, chlazeny a baleny do hliníkové fólie.



Obrázek 13 Melanžér s čokoládovou hmotou

(zdroj: vlastní)

Tabulka 5 Složení vzorků hořké čokolády

Standardní složení čokolády (hm.% v čokoládové hmotě)				
Kakaová hmota	Cukr	Kakaové máslo	Celkový tuk	Obsah vlhkosti
53,4	43,6	3,0	32,43 ± 0,5	1,11 ± 0,03
Emulgátor, obsah vlhkosti a označení vzorků čokolád				
Typ emulgátoru	Obsah emulgátoru (hm.%)	Obsah vlhkosti (hm.%)	Označení vzorku	
Polyglycerol polyricinoleate (PGPR)	0,10	1,38 ± 0,08	PGPR_1	
	0,25	1,32 ± 0,03	PGPR_2	
	0,50	1,48 ± 0,01	PGPR_3	
Mono – a diglyceridy mastných kyselin (E471)	0,50	1,41 ± 0,01	E471_1	
	0,75	1,38 ± 0,07	E471_2	
	1,00	1,37 ± 0,10	E471_3	
Sójový lecitin (LSO)	0,20	1,19 ± 0,02	LSO_1	
	0,50	1,14 ± 0,01	LSO_2	
	1,00	1,22 ± 0,01	LSO_3	
Slunečnicový lecitin (LSL)	0,20	1,19 ± 0,01	LSL_1	
	0,50	1,26 ± 0,05	LSL_2	
	1,00	1,25 ± 0,01	LSL_3	
-	0	1,11 ± 0,03	STAN (standard)	
-	0	1,36 ± 0,02	MIX (mixovaný standard)	

Poznámka: Referenční vzorek označený jako „MIX“ byl připraven pomocí procesu míchání pro emulgované čokolády.

(zdroj: vlastní)

Vyrobené modelové vzorky byly skladovány při teplotě 20 °C a podrobeny analýzám po týdnu skladování. Byla provedena analýza velikosti částic, analýza barevnosti (CIEL*a*b* model), diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC), analýza textury k určení tvrdosti čokolády, analýza obsahu tuku, akustických vlastností a lomu čokolády.

11.1 Výroba modelových vzorků čokolády

Základní použité suroviny pro výrobu hořké čokolády:

- Kakaová hmota Trinitario Costa Rica ve formě pecek, odrůda kakaových bobů Trinitario, obsah kakaového másla 53,5 %, země původu Kostarika, sklizeň 2022, produkce 2023, distributor Vital Country s.r.o, certifikáty: vegan/vegetarian, fairtrade, Rain Forest Alliance, Kosher, gluten free, GMO free
- Kakaové máslo BIO (dezodorizované, 100 % kakaové máslo lisované za studena) ve formě pecek, země původu Peru, distributor Vital Country s.r.o
- Pudrový cukr s obchodním názvem „Korunní cukr“, distributor AGRANA Sales & Marketing, země původu Rakousko
- PGPR – Neocare P3R 50 g, dávkování 3–5 %, Nature-store.cz
- E471 – Emulgátor E471 (MAG, DAG), distributor J. K. Food s.r.o
- Sójový lecitin – Lecithin powder, distributor Green Medical s.r.o.
- Slunečnicový lecitin – Sunflower lecithin powder, distributor Green Medical s.r.o.

Navážené recepturní množství kakaové hmoty a kakaového másla bylo předem rozpuštěno v termostatu při 45 °C. Další den byla kakaová hmota a kakaové máslo nadávkováno do melanžeru a následně byl přidán po lžičkách předem navážený a prosetý pudrový cukr. Po konšování byla hmota navážena po 500 g a zahřáta na teplotu 50 °C pomocí Vorwerk thermomix TM6 (Vorwerk GmbH&Co, Wuppertal, Německo) po dobu 30 min při 500 otáčkách/min. Část hmoty byla poté odebrána a uschována do termostatu 45 °C. Zbylá hmota byla chlazená na 28 °C pomocí ledové vody. Poté se přidala hmota z termostatu a vše bylo zahříváno na vodní lázni na 32 °C. Takto temperovaná hmota byla dávkována do příslušných forem – tabulky po 80 g, tyčinky po 30 g a kelímky po 15 g. Následně byly vzorky chlazeny. Správně vychlazené vzorky byly poté vyklopeny z forem a baleny do hliníkové fólie.

Seznam použitých přístrojů a vybavení:

- Robot kuchyňský Vorwerk Thermomix TM6 (Vorwerk GmbH&Co, Wuppertal, Německo)
- Váha Boeco Germany BPS 52 plus (Boeco GmbH, Germany)
- Melanžér Spectra 11 objem 8l, (New York, NY, USA)
- Diferenciální skenovací kalorimetr, DSC 250 (TA Instruments, USA)
- Váha Mettler AE 240 laboratorní
- HunterLab UltraScan VIS (Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, VA, USA)
- Analyzátor textury TA.XT plus (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, UK)
- Reometr Malvern Kinexus Pro (Malvern Panalytical Ltd., Malvern, UK)
- Infračervený teploměr 830 – T2 (Testo Ltd., Great Britain)
- Soxtherm SOX 406 (Gerhardt GmbH&Co. KG, Wiesbaden, Germany)
- Mastersizer 3000 (Malvern Panalytical Ltd., Malvern, UK)

11.2 Stanovení velikosti částic

Distribuce velikosti částic (PSD) byla měřena přístrojem Mastersizer 3000 (Malvern Panalytical Ltd., Malvern, UK). Vzorky strouhané čokolády byly zředěny v rozpouštědle propan-2-ol (isopropanol) (PENTA Chemical Unlimited s.r.o., Praha, Česká republika) v koncentraci 0,5 g/10 ml a zahřívány při 55 °C po dobu 1 hodiny. Parametry měření byly stanoveny takto: index lomu částic 1,6100, adsorpční index 0,1000 a index lomu disperzantu 1,3770, obkurze 9–10 %. Před měřením byly vzorky vloženy do ultrazvukové lázně po dobu 10 min, aby se případné aglomeráty rozbily na měřitelné částice (Sapurto et al., 2017). PSD byla kvantifikována jako relativní objem částic ve velikostních pásmech distribučních křivek; parametry zahrnovaly efektivní objemový průměr $D_v(10)$ reprezentující nejmenší velikost částic (do 10 percentilů), střední objemový průměr $D_v(50)$ reprezentující střední velikost částic (do 50 percentilů) a objemový průměr $D_v(90)$ odpovídající největší velikosti částic (do 90 percentilů) (Afoakwa, 2016, s. 292). Zaznamenána byla taktéž (volume-surface diameter) objemově – povrchová velikost částic ($D_{3,2}$) (Sauterův průměr).

11.3 DSC – Diferenciální skenovací kalorimetrie

Měření profilu tání čokolád probíhalo na diferenciálním skenovacím kalorimetru DSC 250, Discovery (TA Instruments, USA) (**obrázek 14**). Vzorky čokolád byly nastrohány a naváženy po $(5,0 \pm 0,5)$ mg do hliníkových pánviček, které byly poté hermeticky uzavřeny pomocí lisu. Měření vzorků probíhalo v dusíkové atmosféře s průtokem 50 ml/min. Vzorky čokolád byly zahřívány rychlostí $5\text{ }^{\circ}\text{C/min}$ v rozmezí teplot $5\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Výsledkem byl profil tání s teplotami T_{on} (onset), T_p (teplota píku) a ΔH (entalpie) (Afoakwa, 2016, s. 248).



Obrázek 14 Diferenciální skenovací kalorimetr

(zdroj: vlastní)

11.4 Barevnost čokolád

Měření barevnosti bylo měřeno pomocí přístroje HunterLab UltraScan VIS (Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, VA, USA) (**obrázek 15**). Před vlastním měřením byl nejdříve přístroj kalibrován dle manuálu k přístroji. Po kalibraci byly měřeny vzorky, které byly vyjmuty kelímku a měřeny hladkou stranou pomocí RSIN módu s leskem. Přístroj nám vyhodnotil následující parametry L^* (světlost barvy), a^* (udávající hodnotu na ose zelená $\rightarrow$ červená) a hodnotu b^* (udávající hodnotu na ose modrá $\rightarrow$ žlutá) (Ertural et al., 2023). Z těchto parametrů byla následně vypočítána barevná difference mezi vzorky a MIX.



Obrázek 15 Přístroj Hunter-Lab pro měření barevnosti

(zdroj: vlastní)

11.5 Texturní analýza

Pro měření textury byl použit analyzátor textury TA.XT plus (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, UK) s válcovou nerezovou sondou SMS P/2 s průměrem sondy 2 mm. Před měřením byly vzorky temperovány v klimatizované laboratoři 24 h při 20 °C, poté byly vzorky vyjmuty z polypropylenových kelímků a měřeny penetrací sondy do spodní plochy. Teplota povrchu vzorku při analýze byla odečtena infračerveným teploměrem ($20 \pm 0,5$) °C a vlhkost místnosti při měření byla ($63 \pm 0,5$) %. Každý vzorek byl měřen 3x kompresním testem s rychlostí penetrace 2 mm/s a s hloubkou penetrace 5.0 mm. Tvrdost (N) byla zaznamenána jako maximální síla během průniku sondy (Saputro et al., 2017).

11.6 Tixotropie

Pro měření reologických vlastností vyrobených vzorků čokolády byl použit přístroj reometr Malvern Kinexus Pro (Malvern Panalytical Ltd., Malvern, UK) (**obrázek 16**). Vzorky čokolády byly před měřením temperovány 24 h při 45 °C. Měření probíhalo při ($40 \pm 0,5$) °C pomocí geometrie válec – válec v rozsahu smykových rychlostí 2–50 s⁻¹. Před každým měřením byl vzorek namáhán tzv. pre-shear (předmícháním) po dobu 5 min při otáčkách 5 s⁻¹. Natavené parametry měření tixotropie byly shodné s parametry uvedenými v literatuře (Servais et al., 2003). Z údajů získaných experimentálně v reometru se pomocí softwaru vypočítal tixotropní index tak, že se vyhodnotila plocha mezi vzestupnou a sestupnou tokovou křivkou.



Obrázek 16 Reometr Kinexus

(zdroj: vlastní)

11.7 Stanovení tuku

Pro stanovení tuku byl použit přístroj Soxtherm SOX 406 (Gerhardt GmbH&Co. KG, Wiesbaden, Germany) (**obrázek 17**). Předsušené extrakční nádoby s varnými kamínky se zvážily s přesností na čtyři desetinná místa. Do připravených patron se navážily 2 g rozemletého vzorku. Patrona byla umístěna do drátěného držáku a ten byl vložen do předem zvážené extrakční nádoby. Poté se patrona přikryla vatou a do extrakční nádoby bylo nalito 100 ml hexanu. Extrakční nádoby byly poté vloženy do přístroje a byla spuštěna extrakce. Teplota extrakce byla 160 °C, doba celkové extrakce byla 2 h a 22 min. Po skončení byly extrakční nádoby vyjmuty z přístroje. Odstranily se extrakční patrony a z nádobek byl opatrně na topném hnízdě odpařen viditelný zbytek hexanu. Následně se nádoby nechaly sušit v sušárně při 65 °C po dobu 30 min. Po zchlazení v exsikátoru byly nádoby zváženy a množství tuku bylo vypočteno dle vztahu:

$$\omega_{tuk} = 100 \cdot \frac{(b-a)}{m_{vz}} \quad (2)$$

Průměrná hodnota obsahu tuku byla vypočtena ze tří stanovení. Pracovní postup byl adaptován dle normy ČSN EN ISO 659.



Obrázek 17 Soxtherm Gerhardt

(zdroj: vlastní)

11.8 Obsah vlhkosti

Předsušené hliníkové kelímky s mořským pískem a tyčinkou se zvážily s přesností na čtyři desetinná místa. Následně se do předsušených hliníkových kelímků navážil 1 g nakrájeného vzorku, který se rozmíchal v mořském písku. Poté se sušící hliníkové kelímky vložily do termostatu na 12 h při 98 °C. Nastavené parametry byly shodné s parametry uvedenými v literatuře. (Beckett, 2008, s. 157). Další den byly zváženy sušící hliníkové kelímky s kousky čokolády a byla vypočítána průměrná vlhkost vzorků čokolády ze tří stanovení.

11.9 Senzorická analýza

Vyrobené modelové vzorky čokolády byly zhodnoceny i pomocí senzorické analýzy. Hodnotitelé měli k dispozici 5 vzorků čokolád a to vzorky: E471_2, PGPR_2, LSL_2, LSO_2 a STAN. U vzorků byla hodnocena barva, povrch, tvrdost, rozplývání, chuť a vůně a celkový dojem. Tyto vzorky byly hodnoceny 11 hodnotiteli a to 7 ženami a 4 muži. Dále byla provedena pořadová zkouška, která zahrnovala texturní a celkovou preferenci jednotlivých vzorků. Tuto zkoušku hodnotilo 8 hodnotitelů a to 5 žen a 3 muži. K neutralizaci chuti byly nachystány jako neutralizátory neochucená voda a rohlík. Alespoň hodinu před senzorickým hodnocením nebylo dovoleno kouřit a jíst silně kořeněné pokrmy.

Senzorická místnost, ve které probíhalo senzorické hodnocení byla v souladu s normami ISO 6658 a EN ISO 8586:2023.

12 VÝSLEDKY A DISKUZE

V následující kapitole budou vyhodnoceny a diskutovány fyzikálně-chemické vlastnosti modelových vzorků vyrobených čokolád. V závislosti na jejich druhu emulgátoru a jeho množství.

Dle Pombal et al. (2024) kontrola vlastností čokolády, jako je distribuce velikosti částic, vlhkost, obsah tuku, a přidání emulgátorů, umožňuje řídit reologické chování produktu, a to jak pro zajištění vysoké kvality produktu, tak pro snížení nákladů na zpracování. Dle Ashkezary et al. (2018) lecitin, fosfatidy amonné (AMP) a méně často glycerolmonopalmitát (GMP) se typicky používají jako emulgátory k dosažení požadované viskozity v čokoládě. Kromě těchto emulgátorů se jako doplněk k regulaci hodnoty výtěžnosti v čokoládě používá polyglycerol polyricinoleate (PGPR). Dle Toker et al. (2024) v tomto ohledu správný výběr typu emulgátoru použitých při výrobě čokolády nebo jejich kombinace zajistí, že budou splněny požadavky výrobců i spotřebitelů (Pombal et al., 2024; Ashkezary et al., 2018; Toker et al., 2024).

12.1 Tokové vlastnosti čokolád

Reologické chování tekuté čokolády není ovlivněno pouze zpracováním (konšování, temperování), ale také typem a poměrem tuku, distribucí velikosti částic, složením, koncentrací emulgátorů a obsahem vlhkosti (Pombal et al. 2024). Úprava tokového chování roztavené čokolády je předpokladem pro úspěšné zpracování (potahování, formování, formování) meziproduktů a senzorický pocit v ústech finálních produktů. Reologické parametry čokolády jsou obecně charakterizovány Cassonovým modelem, kde se jako modelové parametry používají Cassonova mez kluzu (síla potřebná k zahájení toku rozpuštěné čokolády) a Cassonova plastická viskozita (síla potřebná k tečení rozpuštěné čokolády konstantní rychlostí). Tyto dva parametry se mění v závislosti na správné aplikaci. Volné prostory a vzduchové bubliny a nežádoucí tvar souvisí s nekompatibilními reologickými vlastnostmi čokolád. Pro odstranění všech těchto problémů je důležitá modifikace chování toku roztavené čokolády (Toker et al., 2024; De Graef et al, 2011).

Hlavní úlohou emulgátorů je regulovat vlastnosti toku adsorpcí na povrchu cukerných a kakaových částic, které jsou dispergovány v tukové fázi. V důsledku toho se mění tokové vlastnosti rozpuštěné čokolády se snížením interakce mezi částicemi, které jsou příčinou aglomerace částic (Atik et al., 2020). Lecitin podporuje snížení viskozity, zatímco PGPR snižuje mez kluzu, aniž by významně ovlivnil viskozitu. Proto se tyto dvě povrchově aktivní

látky často kombinují, aby se získala požadovaná reologie produktu (Mohamad et al., 2020). Další emulgátory jako například estery sorbitanu atd. jsou obvykle méně účinné při snižování hodnoty meze kluzu nebo viskozity než lecitin nebo PGPR. Často však mění rychlost tuhnutí nebo lesk. (Beckett, 2008, s.99). V **tabulce 6** jsou zobrazeny reologické hodnoty jednotlivých vzorků.

Tabulka 6 Reologické parametry jednotlivých vzorků

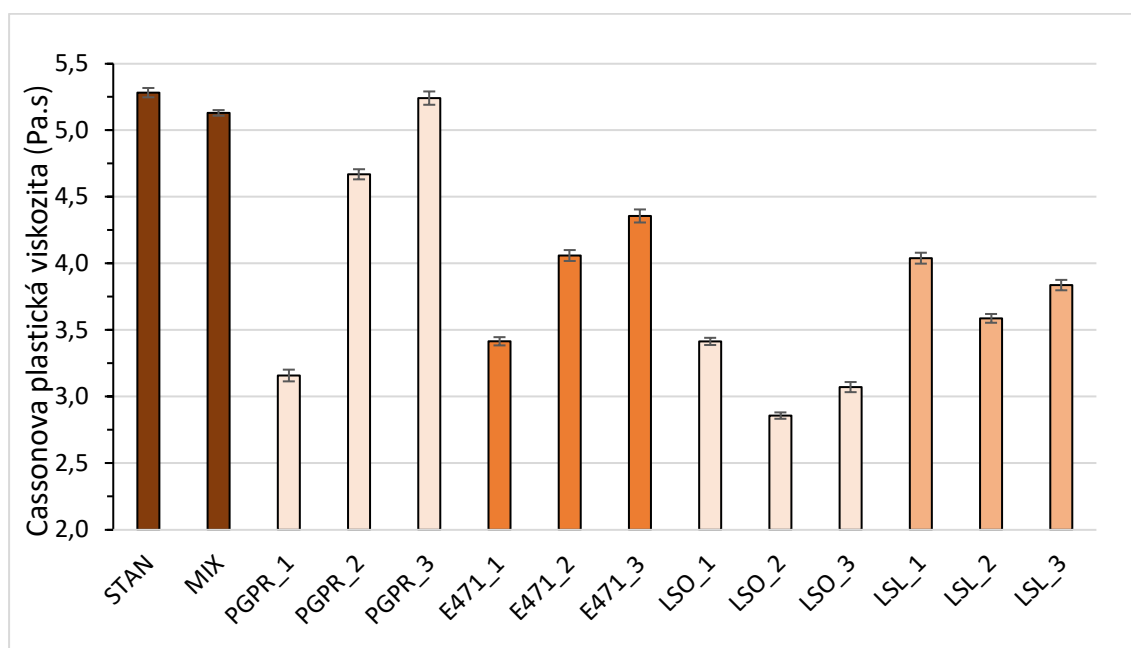
Vzorek	η_c (Pa.s)	τ_{0C} (Pa)	PCC (-)
STAN	$5,283 \pm 0,035$	$17,92 \pm 0,31$	1,0
MIX	$5,131 \pm 0,021$	$20,74 \pm 0,26$	0,9999
PGPR_1	$3,159 \pm 0,044$	$11,56 \pm 0,38$	0,9997
PGPR_2	$4,670 \pm 0,038$	$0,27 \pm 0,04$	0,9999
PGPR_3	$5,242 \pm 0,050$	$0,15 \pm 0,03$	0,9997
E471_1	$3,416 \pm 0,031$	$24,16 \pm 0,40$	0,9999
E471_2	$4,060 \pm 0,041$	$37,73 \pm 0,59$	0,9976
E471_3	$4,357 \pm 0,049$	$44,89 \pm 0,55$	0,9976
LSO_1	$3,415 \pm 0,027$	$10,80 \pm 0,29$	0,9999
LSO_2	$2,858 \pm 0,024$	$28,27 \pm 0,37$	0,9997
LSO_3	$3,072 \pm 0,038$	$54,84 \pm 0,60$	0,9999
LSL_1	$4,040 \pm 0,041$	$10,14 \pm 0,22$	0,9999
LSL_2	$3,588 \pm 0,033$	$15,97 \pm 0,19$	0,9997
LSL_3	$3,838 \pm 0,039$	$37,65 \pm 0,44$	0,9999

Poznámka: η_c – Cassonova plastická (smyková) viskozita (Pa.s), τ_{0C} – Cassonova mez kluzu (Pa), PCC – Pearsonův korelační koeficient (pro Casson model fit).

(zdroj: vlastní)

Proces mixování snížil hodnotu viskozity STAN ($5,283 \pm 0,035$) Pa.s na hodnotu pro vzorek MIX ($5,131 \pm 0,021$) Pa.s. Všechny studované emulgátory jsou lipofilní a dobře se dispergují do roztavené čokolády. Snižují mezipovrchové napětí mezi dispergovanou a kontinuální fází tím, že obalují částice cukru a kaka, čímž umožňují minimální tření a vysokou pohyblivost

částic. To vede k jednodušším podmínkám při výrobě. Z **tabulky 6** je patrné, že Cassonova plastická viskozita se pohybovala v rozmezí od hodnot $(2,858 \pm 0,024)$ Pa.s až do hodnot $(5,283 \pm 0,035)$ Pa.s. Hodnota Cassonovy plastické viskozity byla nejvíce redukována u vzorku LSO_2. Cassonova mez kluzu se pohybovala od hodnot $(0,15 \pm 0,03)$ Pa až do hodnot $(54,84 \pm 0,60)$ Pa, přičemž nejmenší Cassonovu mez kluzu měl vzorek PGPR_3, zatímco největší měl vzorek LSO_3. U všech vzorků byly pozorovány vysoké korelační koeficienty, což dokazuje, že plastická viskozita a mez kluzu spolu úzce souvisí.

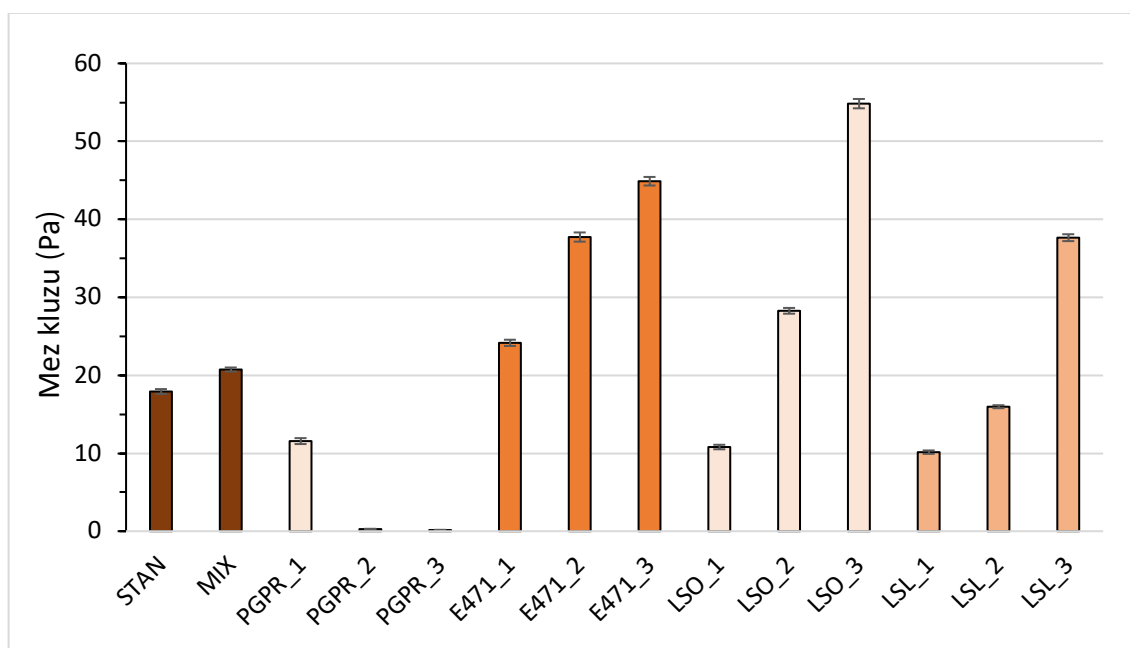


Obrázek 18 Graf Cassonovy plastické viskozity

(zdroj: vlastní)

Z **obrázku 18** lze konstatovat, že všechny studované vzorky vykazovaly nižší hodnotu Cassonovy plastické viskozity ve srovnání se STAN a MIX. U vzorků PGPR a E471 se hodnota Cassonovy plastické viskozity zvyšovala se zvyšující se koncentrací emulgátoru, což je dáno lipofilním charakterem těchto emulgátorů. PGPR při koncentraci 0,1 a 0,25 hm.% výrazně snižoval viskozitu ve srovnání s MIX, při koncentraci 0,5 hm.% byla hodnota viskozity porovnatelná s MIX. Vzorky s E471 vykazovaly nižší hodnoty viskozity vzhledem k MIX. Jako optimální se jeví koncentrace 0,5 hm.% nicméně i nejvyšší aplikovaná koncentrace 1,0 hm.% měla nižší hodnotu než MIX. Lecitiny Cassonovu plastickou viskozitu při koncentraci 0,2 až 0,5 hm.% snížily, kdežto při koncentraci 1,0 hm.% jsme pozorovali nárůst viskozity. Při vyšší koncentraci lecitinu byl disperzní podíl cukru obalen lecitinem, jehož přebytek interagoval mezi sebou svými hydrofilními a lipofilními částmi, což způsobilo nárůst viskozity (Garti a Aserin, 2012). Výsledky naší

studie se shodují s výsledky jiných autorů Pombal et al. (2024). Dle studie Caparosa (2020) přidání 0,5 % lecitinu může poskytnout podobné snížení viskozity jako přidání zhruba 5 % kakaového másla. Z hlediska výroby je velmi důležité udržovat množství lecitinu na „optimálně účinné úrovni“, protože přidání lecitinu po určité koncentraci může způsobit, jak zvýšené výrobní náklady, tak zhoršení požadovaného tokového chování (Ertural et al., 2023). Koncentrace lecitinu 0,2 hm.% vedla ke snížení meze kluzu oproti MIX. Se zvyšující se koncentrací lecitinu bylo pozorováno, že mez kluzu vzrůstá. Zvýšená koncentrace lecitinu nad 0,5 hm.% však vedla ke zvýšení hodnot meze kluzu Beckett (2008) až na trojnásobek hodnot pro MIX. U vzorků LSO_2 a LSO_3 byl pozorován výraznější nárůst meze kluzu ve srovnání se vzorky LSL_2 a LSL_3. Zvýšení hodnoty meze kluzu u lecitinu je spojeno s tvorbou reverzních micel v kontinuální fázi, pravděpodobně ve formě vícestupňových vrstev kolem cukru, což mění tokové vlastnosti čokolády (Afoakwa, 2016, s.145). Naše výsledky poukazují na optimální koncentraci 0,2 až 0,5 hm.% pro slunečnicový a sójový lecitin.



Obrázek 19 Graf meze kluzu

(zdroj: vlastní)

Emulgátor PGPR měl výrazný vliv na hodnotu meze kluzu při koncentraci 0,1 hm.%. Při vyšších koncentracích 0,25 a 0,5 hm.% došlo ke snížení meze kluzu téměř na nulovou hodnotu (Afoakwa, 2016, s. 145). To koresponduje s výsledky, které prezentuje Pombal et al. (2024), že při nárůstu koncentrace PGPR mez kluzu výrazně klesá, jelikož PGPR obaluje pevné částice a vytlačuje kakaové máslo do kontinuální fáze. To potvrzuje

aplikovatelnost PGPR při výrobě čokoládových polev (Schantz a Rohm, 2005). Aplikace emulgátoru E471 vedla k nárůstu hodnot meze kluzu při všech koncentracích ve srovnání s MIX, což značí, že aplikace E471 není při zvolených koncentracích z hlediska iniciace toku optimální.

12.2 Tixotropie

Dalším parametrem získaným z reologických měření je tixotropie. V případě čokolády je důležité sledovat tixotropii, protože ovlivňuje její texturu, konzistenci a schopnost rovnoměrně pokrýt povrch při výrobě čokoládových výrobků. Tixotropie je unikátní vlastnost, která slouží k popisu účinnosti zpracovatelského zařízení nebo techniky při pokrývání povrchů suspendovaných částic v systému kontinuální tukové fáze (Hinne et al., 2019). Je to nepřetržitý pokles zdánlivé viskozity s časem ve smyku a následné obnovení viskozity, kdy je tok přerušen (Servais et al., 2003). Vysoká tixotropie může znamenat, že čokoláda bude při míchání tekutější, což usnadňuje její zpracování, ale po zastavení míchání se rychle vrátí do původního stavu. Efektem tohoto chování je kontinuální pokles viskozity při aplikaci konstantní smykové rychlosti (Pombal et al., 2024). V **tabulce 7** jsou uvedeny výsledky tixotropního chování jednotlivých vzorků.

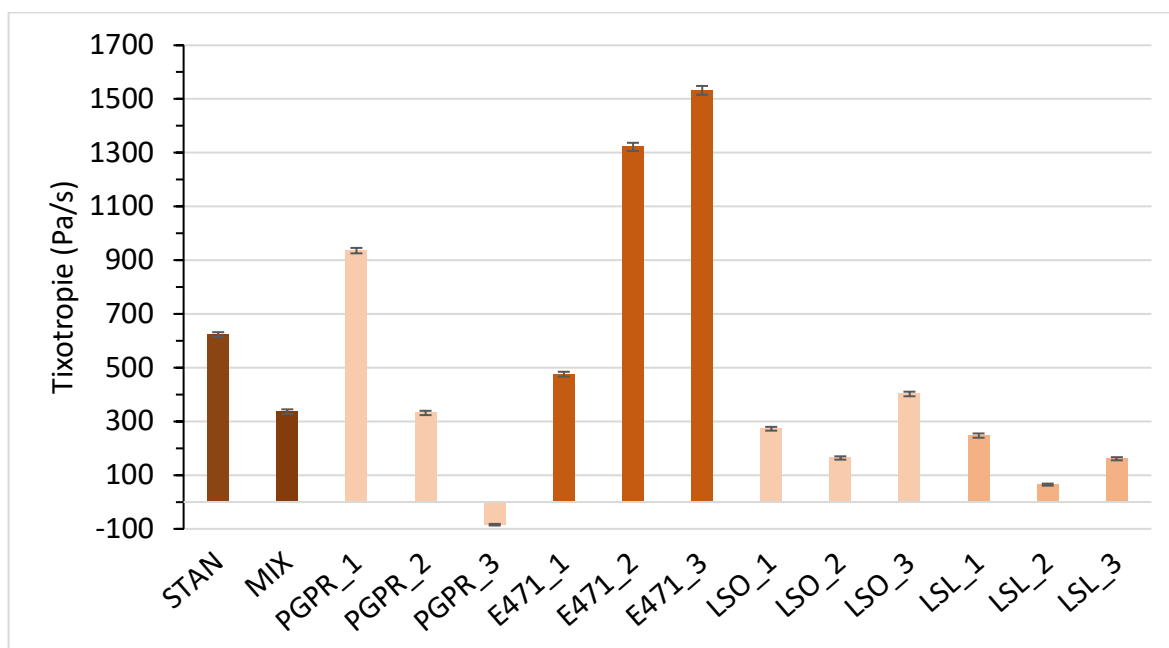
Tabulka 7 Výsledné hodnoty tixotropie jednotlivých vzorků čokolád

Vzorek	Tixotropie (Pa/s)	Vzorek	Tixotropie (Pa/s)
STAN	623,01 ± 9,08	E471_3	1532,24 ± 16,41
MIX	336,20 ± 8,73	LSO_1	272,60 ± 7,05
PGPR_1	935,70 ± 10,11	LSO_2	163,87 ± 6,14
PGPR_2	331,45 ± 8,02	LSO_3	402,08 ± 8,55
PGPR_3	-84,52 ± 3,03	LSL_1	247,19 ± 7,98
E471_1	475,79 ± 8,92	LSL_2	64,66 ± 3,84
E471_2	1321,86 ± 15,17	LSL_3	160,99 ± 5,86

(zdroj: vlastní)

Hodnoty tixotropie u vyrobených vzorků čokolád jsou uvedeny v **tabulce 7** a pohybovaly se v rozmezí od (64,66 ± 3,84) Pa/s do (1532,24 ± 16,41) Pa/s. Pouze u jednoho vzorku,

a to vzorku PGPR_3 byla tixotropie záporná ($-84,52 \pm 3,03$) Pa/s, což by mohlo znamenat projev tzv. antitixotropie u této čokolády. Antitixotropie je speciální forma tixotropie, která působí v opačném směru než tixotropie (Wang a Ewoldt, 2023). Vzorky PGPR_1 a E471 při všech koncentracích vykazovaly vyšší hodnoty tixotropie, a proto se jeví vhodné pro potahování a plnění cukrářských výrobků (dortů, oplatků apod.) vrstvou čokolády. Vzorky obsahují lecitiny vykazovaly srovnatelné a nižší hodnoty tixotropie ve srovnání s MIX.



Obrázek 20 Graf tixotropie jednotlivých modelových vzorků

(zdroj: vlastní)

12.3 Stanovení velikosti částic

Velikost částic spolu s PSD (distribuce velikosti částic) je zodpovědná hlavně za tokové chování, protože existují specifické interakce mezi molekulami emulgátoru a velikostí a tvarem dispergovaných částic (Toker et al., 2024).

Velikost největší částice je klíčovým parametrem a hraje rozhodující roli v tvrdosti, senzorických vlastnostech a dalších vlastnostech čokolád (Ashkezary et al., 2018). Velikost částic $>30 \mu\text{m}$ zhoršuje vlastnosti čokolády, což má za následek drsný pocit v ústech. K popisu velikosti částic se používají hodnoty $D_v(90)$, které specifikují, že 90 % částic je menších než tato velikost (Selvasekaran a Chidambaram, 2024). Čokolády s menší hodnotou $D_v(90)$ obsahují částice poskytující čokoládě vyšší pevnost než čokolády s větší hodnotou $D_v(90)$ (Toker et al., 2024).

V **tabulce 8** jsou uvedeny získané parametry velikosti částic, které zahrnovaly největší velikost částice $D_v(90)$, střední objem částice $D_v(50)$, nejmenší velikost částic $D_v(10)$ a Sauterův střední průměr $D_{3,2}$.

Tabulka 8 Naměřené hodnoty velikosti částic

Vzorek	objemově – povrchová velikost částic [$D_{3,2}$] (μm)	Objemové průměry částic		
		$D_v(10)$ (μm)	$D_v(50)$ (μm)	$D_v(90)$ (μm)
STAN	$4,29 \pm 0,72$	$1,90 \pm 0,03$	$7,04 \pm 1,02$	$17,10 \pm 1,28$
MIX	$4,68 \pm 0,61$	$2,10 \pm 0,06$	$7,83 \pm 1,06$	$20,10 \pm 1,41$
PGPR_1	$4,38 \pm 0,56$	$1,84 \pm 0,05$	$7,43 \pm 1,03$	$22,10 \pm 1,29$
PGPR_2	$4,33 \pm 0,52$	$1,80 \pm 0,04$	$7,52 \pm 1,10$	$22,40 \pm 1,27$
PGPR_3	$4,53 \pm 0,79$	$2,01 \pm 0,05$	$7,51 \pm 1,10$	$18,60 \pm 1,26$
E471_1	$4,51 \pm 0,58$	$1,90 \pm 0,02$	$7,70 \pm 1,04$	$23,30 \pm 1,38$
E471_2	$4,37 \pm 0,83$	$1,86 \pm 0,04$	$7,33 \pm 1,02$	$20,50 \pm 1,23$
E471_3	$4,51 \pm 0,90$	$1,89 \pm 0,03$	$7,77 \pm 1,04$	$23,60 \pm 1,33$
LSO_1	$3,75 \pm 0,75$	$1,53 \pm 0,02$	$6,35 \pm 1,04$	$18,40 \pm 1,19$
LSO_2	$4,01 \pm 0,74$	$1,86 \pm 0,03$	$7,51 \pm 1,01$	$18,50 \pm 1,25$
LSO_3	$4,10 \pm 0,63$	$1,73 \pm 0,04$	$6,86 \pm 1,00$	$18,40 \pm 1,21$
LSL_1	$4,07 \pm 0,80$	$1,72 \pm 0,03$	$6,84 \pm 1,03$	$18,30 \pm 1,30$
LSL_2	$4,22 \pm 0,66$	$1,82 \pm 0,05$	$6,99 \pm 1,01$	$17,80 \pm 1,27$
LSL_3	$4,38 \pm 0,59$	$1,89 \pm 0,03$	$7,24 \pm 1,03$	$18,60 \pm 1,22$

(zdroj: vlastní)

Hodnoty $D_v(90)$ byly nižší než maximální mezní hodnota $30 \mu\text{m}$. Nepředpokládá se tedy, že by spotřebitelé po konzumaci pocíťovali drsný pocit v ústech. Dle Selvasekaran a Chidambaram (2024) velikost částic v hořké čokoládě je výrazně ovlivněna částicemi

cukru a kakaovou sušinou ve srovnání s emulgátory používanými v malém množství. Hodnoty $Dv(90)$ se pohybovaly v rozmezí od $(17,10 \pm 1,28) \mu\text{m}$ až do $(23,60 \pm 1,33) \mu\text{m}$, přičemž nejmenší částice vykazoval vzorek STAN, zatímco největší částice vykazoval vzorek E471_3. Lecitiny vykazují nižší hodnoty $Dv(90)$ ve srovnání s PGPR a E471 až na PGPR_3, jelikož hodnoty $Dv(90)$ jsou srovnatelné se STAN i v jiných parametrech jako je např. viskozita a v souvislosti s dalšími měřeními parametry se ukázala tato koncentrace emulgátoru jako méně vhodná. Dle Pombal et al. (2024) je u malých částic větší kontaktní plocha, a proto je zde méně volného tuku a vzdálenost mezi částicemi je menší, takže čokoláda bude méně tekutá, než když jsou částice větší. U Atik et al. (2020) byly hodnoty $Dv(90)$ stanoveny na $23 \mu\text{m}$. Lze tedy konstatovat, že $Dv(90)$ nezávisí na koncentraci emulgátorů, výsledné rozdíly jsou v rámci chyby měření (Afoakwa et al., 2008). Sauterův střední průměr částic se pohyboval v rozmezí hodnot od $(3,75 \pm 0,75) \mu\text{m}$ až do $(4,68 \pm 0,61) \mu\text{m}$. Největší velikost částic a specifický povrch jsou dva klíčové parametry pro výrobu čokolády. První z nich určuje hrubost a texturní vlastnosti čokolády, druhý je spojený s požadavkem na tuk pro žádoucí tokové vlastnosti (Afoakwa et al., 2008, s.249).

Tabulka 9 Specifický povrch jednotlivých vzorků

Vzorek	Specifický povrch (m^2/g)	Vzorek	Specifický povrch (m^2/g)
STAN	$1,056 \pm 0,18$	MIX	$0,968 \pm 0,19$
PGPR_1	$1,038 \pm 0,13$	LSO_1	$1,107 \pm 0,22$
PGPR_2	$1,049 \pm 0,16$	LSO_2	$1,127 \pm 0,16$
PGPR_3	$1,000 \pm 0,17$	LSO_3	$1,104 \pm 0,21$
E471_1	$1,004 \pm 0,15$	LSL_1	$1,117 \pm 0,17$
E471_2	$1,035 \pm 0,21$	LSL_2	$1,173 \pm 0,14$
E471_3	$1,007 \pm 0,18$	LSL_3	$1,115 \pm 0,15$

(zdroj: vlastní)

V tabulce 9 jsou uvedeny hodnoty specifické povrchu jednotlivých vzorků čokolád. Specifický povrch jednotlivých modelových vzorků čokolád se pohyboval v rozmezí hodnot od $(0,968 \pm 0,19) \text{m}^2/\text{g}$ až do $(1,173 \pm 0,22) \text{m}^2/\text{g}$, přičemž nejmenší hodnotu specifického

povrchu vykazoval vzorek MIX, zatímco největší specifický povrch vykazoval vzorek LSO_2. U vzorků PGPR jsme pozorovali zvyšující se hodnotu specifického povrchu s rostoucí koncentrací emulgátoru, až na PGPR_3. Pokles hodnot specifického povrchu s narůstající koncentrací emulgátoru byl také pozorován u vzorků E471. U lecitinu při koncentracích 0,2 a 0,5 hm.% pozorujeme zvýšení hodnot specifického povrchu a u koncentrace 1,0 hm.% dochází k poklesu hodnot specifického povrchu, díky vzájemným interakcím lecitinu (Garti a Aserin, 2012). Obecně emulgátory zvyšují specifický povrch částic. U Afoakwa et al. (2008) byla hodnota specifického povrchu při obsahu 0,5 % sójového lecitinu stanovena na $(1,93 \pm 0,01) \text{ m}^2/\text{g}$. Naše naměřená hodnota při 0,5 % lecitinu byla $(1,127 \pm 0,16) \text{ m}^2/\text{g}$, což je mírně nižší, než je hodnota uvedená v literatuře, pravděpodobně díky procesu mixování.

12.4 Barevnost čokolád

Vizuální vlastnosti čokolády jsou důležitými parametry z hlediska vnímání kvality spotřebitelem (Atik et al., 2020). Barva je jedním z hlavních atributů pro přijetí spotřebitelem. K popisu vzhledu čokolády lze použít mnoho vizuálních atributů, včetně lesku, tvaru, hladkosti, drsnosti povrchu a barvy. Barevné změny u čokolády jsou často způsobeny rozdílem ve složení a parametrech zpracování během celé výroby (Afoakwa, 2016, s. 395). Hodnoty a^* b^* představují souřadnice, které definují úhel odstínu barvy týkající se červeno-zelené a žluto-modré osy v prostoru CIELAB (Santos et al., 2025). Hodnota L^* informuje o stupni svítivosti nebo jasů barvy a může nabývat hodnot mezi 0 (černá) až 100 (bílá). Tato souřadnice souvisí s celkovým obsahem pigmentu v potravinářském výrobku. Vyšší obsah pigmentu znamená silnější absorpci světla a následně nižší odrazivost nebo propustnost, což činí produkt tmavším nebo neprůhlednějším. Místo studování vývoje každé barevné souřadnice zvlášť je možné hodnotit změny barev pomocí rozdílu barev ΔE^* , což je veličina, která je dobře spojená s lidskou schopností odlišovat barvy (Hernández Salueña et al., 2019).

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (3)$$

V následující **tabulce 10** jsou uvedeny jednotlivé parametry měření, kde L^* představuje světlost barvy (jas), a^* představuje hodnotu na ose (zelená $\rightarrow$ červená) a hodnota b^* představuje hodnotu na ose (modrá $\rightarrow$ žlutá).

Tabulka 10 Světlost jednotlivých vzorků vyrobených čokolád

Vzorek	L*(-)	a* (-)	b* (-)
MIX	26,09 ± 0,10	6,17 ± 0,01	2,72 ± 0,08
PGPR_1	26,03 ± 0,08	6,76 ± 0,10	3,24 ± 0,12
PGPR_2	26,03 ± 0,06	6,24 ± 0,06	2,73 ± 0,09
PGPR_3	26,16 ± 0,06	6,68 ± 0,02	3,29 ± 0,05
E471_1	27,64 ± 0,36	7,45 ± 0,10	5,82 ± 0,26
E471_2	24,73 ± 0,16	7,17 ± 0,05	6,18 ± 0,25
E471_3	24,81 ± 0,04	7,11 ± 0,04	6,28 ± 0,06
LSO_1	25,51 ± 0,11	5,78 ± 0,12	3,43 ± 0,14
LSO_2	25,92 ± 0,06	6,00 ± 0,05	3,80 ± 0,03
LSO_3	25,96 ± 0,14	6,33 ± 0,04	4,28 ± 0,17
LSL_1	25,93 ± 0,04	6,58 ± 0,02	5,02 ± 0,16
LSL_2	25,87 ± 0,08	6,28 ± 0,02	4,37 ± 0,09
LSL_3	25,96 ± 0,02	6,33 ± 0,04	4,28 ± 0,10
STAN	25,50 ± 0,03	5,73 ± 0,06	3,54 ± 0,05

(zdroj: vlastní)

Barva emulgátoru se může lišit v závislosti na typu a výrobní technice. Například surový lecitin je viskózní kapalina s barvou od světle žluté po hnědou, zatímco PGPR je vysoce viskózní kapalina světle hnědé barvy (Toker et al., 2023). Světlost jednotlivých vzorků byla měřena vůči bílé kachličce a pohybovala se dle **tabulky 10** od ($25,50 \pm 0,03$) až do hodnot ($27,64 \pm 0,36$), přičemž nejmenší světlost byla pozorována u vzorku STAN a největší světlost byla pozorována u vzorku E471_1. U vzorků sójového lecitinu se světlost vzorků zvyšovala se zvyšující se koncentrací emulgátoru. Tomuto výsledku odpovídá měření Afoakwa (2016), kde se světlost (L^*) vzorku zvyšovala se zvyšující se koncentrací lecitinu. To samé platí u vzorků PGPR. U vzorků E471 a slunečnicového lecitinu hodnota světlosti kolísala. Nižší světlost standardu zjevně souvisí s nepřítomností emulgátoru

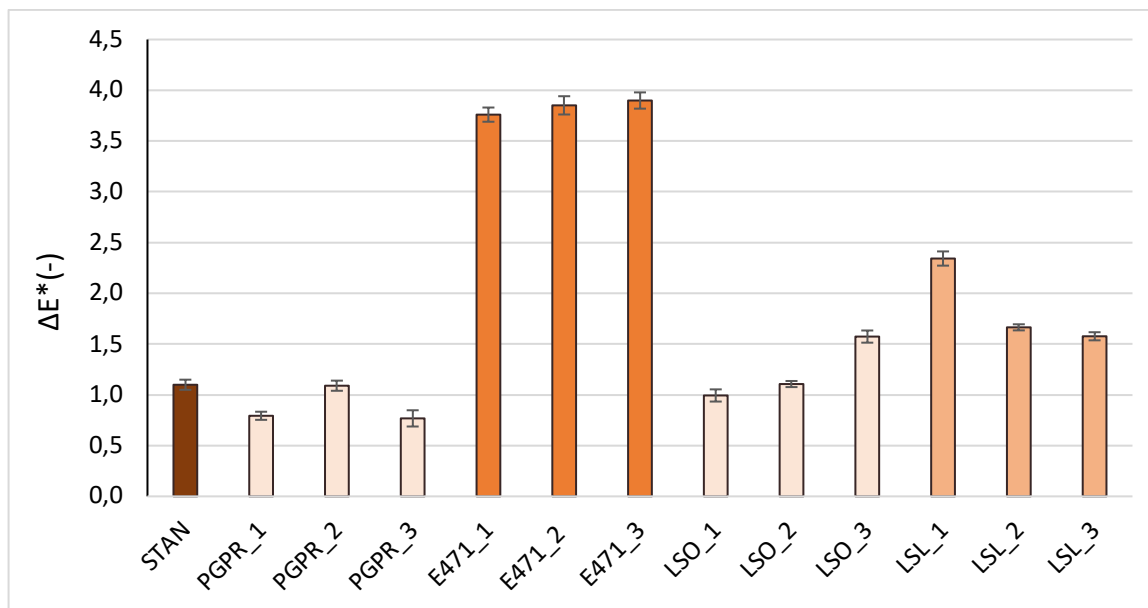
ve složení standardní směsi čokolády. Podle studie Toker et al. (2023) u bílých čokolád docházelo k rozdíům v hodnotách L^* v důsledku odlišného obsahu barviv použitých při výrobě komerčních lecitinů. Přídavek lecitinu, tedy může ovlivnit vnímání barvy u čokoládových výrobků, zejména tedy u bílé čokolády. Dále hodnota a^* se pohybovala podle **tabulky 10** od $(5,73 \pm 0,06)$ až do hodnot $(7,45 \pm 0,10)$, přičemž nejmenší hodnotu vykazoval vzorek STAN, zatímco nejvyšší hodnotu vzorek E471_1. U vzorků E471 se hodnota a^* zvyšovala se zvyšující se koncentrací emulgátorů. U ostatních vzorků hodnota a^* kolísala. Všechny vzorky vykazovaly červený odstín jako dominantní spektrální složku. Hodnota b^* se pohybovala dle **tabulky 10** v rozmezí od $(2,72 \pm 0,08)$ až do hodnot $(6,28 \pm 0,06)$, přičemž nejmenší hodnotu vykazoval vzorek MIX a nejvyšší hodnotu vzorek E471_3. Se zvyšující se koncentrací emulgátorů se zvyšovala hodnota b^* u vzorků E471 a LSL. To se shoduje se studií Ertural et al. (2023), kde se také zvýšila hodnota b^* se zvyšující se koncentrací přidaného slunečnicového lecitinu. U ostatních vzorků tato hodnota kolísala. U vzorků E471 byl pozorován mírný posun ke žlutým tónům. V **tabulce 11** jsou uvedeny rozdíly barevnosti vzorků čokolád.

Tabulka 11 Rozdíl barevnosti vzorků čokolád vůči MIX

Vzorek	dE*(-)	Vzorek	dE*(-)
STAN	$1,10 \pm 0,05$	LSO_1	$0,99 \pm 0,06$
PGPR_1	$0,79 \pm 0,04$	LSO_2	$1,11 \pm 0,03$
PGPR_2	$1,09 \pm 0,05$	LSO_3	$1,57 \pm 0,06$
PGPR_3	$0,77 \pm 0,08$	LSL_1	$2,34 \pm 0,07$
E471_1	$3,76 \pm 0,07$	LSL_2	$1,66 \pm 0,03$
E471_2	$3,85 \pm 0,09$	LSL_3	$1,58 \pm 0,04$
E471_3	$3,90 \pm 0,08$		

(zdroj: vlastní)

Rozdíly barev jednotlivých vzorků se pohybovaly v rozmezí hodnot od $(0,77 \pm 0,08)$ až do hodnot $(3,90 \pm 0,07)$ vůči MIX, přičemž nejmenší rozdíly v barevnosti měl vzorek PGPR_3, zatímco největší rozdíl v barevnosti měl vzorek E471_3.



Obrázek 21 Graf barevné difference modelových vzorků čokolád

(zdroj: vlastní)

Nejvyšší rozdíly byly v barvě u vzorků s emulgátorem E471, zatímco nejmenší rozdíly byly u vzorků PGPR. ΔE^* značí míru rozdílu barvy mezi dvěma vzorky. Tyto rozdíly byly vztaheny vůči MIX jako výchozímu referenčnímu vzorku. Mezi MIX a vzorky se sójovým lecitinem jsou rozdíly slabé, jelikož ΔE^* se pohybuje v rozmezí 0,5–1,5. Toto chování popisuje i studie Toker et al., (2024), kde vliv přídavku lecitinu na barvu byl zjištěn jako zanedbatelný u mléčné čokolády. U vzorků PGPR se rozdíly taktéž pohybují v rozmezí 0,5–1,5. Vzorky slunečnicového lecitinu mají rozdíly jasně postřehnutelné, jelikož ΔE^* se pohybuje v rozmezí 1,5–3,0. E471 má rozdíly střední, jelikož ΔE^* se pohybuje v rozmezí 3,0–6,0.

12.5 Texturní analýza

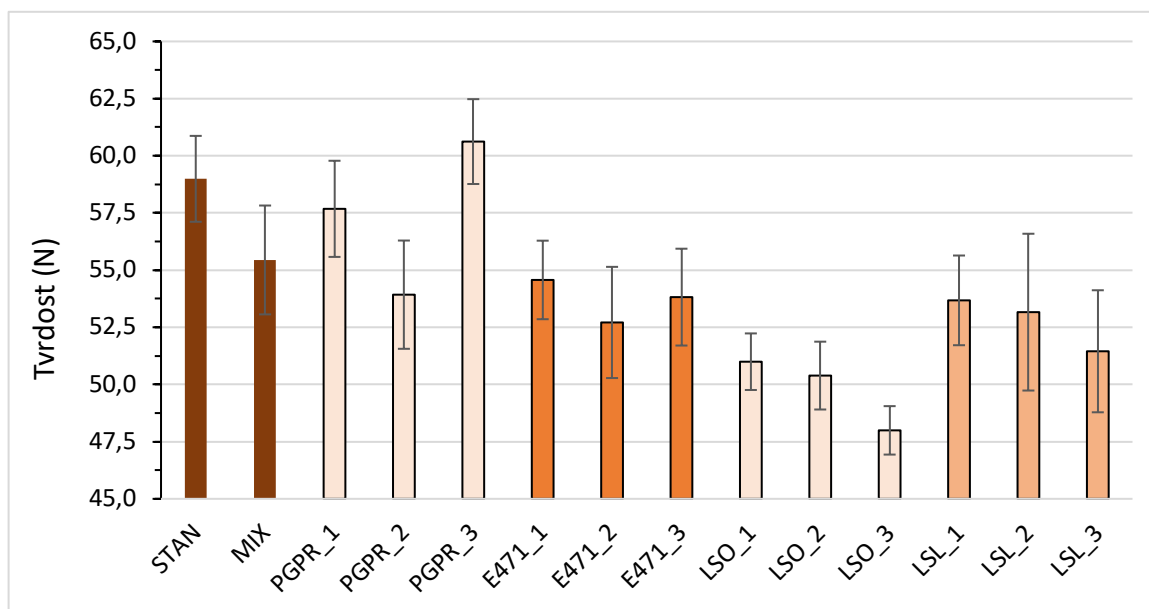
Kvalita čokolády a texturní vlastnosti spolu přímo souvisí. Zejména tvrdost a vlastnosti lámání patří mezi parametry, které by měly být brány v úvahu při hodnocení procesu a složení čokolády (Atik et al., 2020). Textura hraje zásadní roli při určování smyslových vlastností a také určuje celkovou kvalitu. U čokolády je tvrdost jedním z nejvýznamnějších parametrů ovlivňujících vnímání kvality. Ideální čokoláda by měla zůstat pevná v pokojové teplotě a zároveň se hladce rozpouštět v ústech (Zarić et al., 2024). V následující **tabulce 12** jsou zobrazeny výsledky texturní analýzy.

Tabulka 12 Tvrdost jednotlivých vzorků čokolád

Vzorek	Tvrdost (N)	Vzorek	Tvrdost (N)
STAN	$58,99 \pm 1,88$	E471_3	$53,82 \pm 2,12$
MIX	$55,45 \pm 2,38$	LSO_1	$51,00 \pm 1,24$
PGPR_1	$57,68 \pm 2,10$	LSO_2	$50,39 \pm 1,48$
PGPR_2	$53,93 \pm 2,37$	LSO_3	$47,99 \pm 1,06$
PGPR_3	$60,62 \pm 1,86$	LSL_1	$53,68 \pm 1,96$
E471_1	$54,57 \pm 1,72$	LSL_2	$53,16 \pm 3,43$
E471_2	$52,71 \pm 2,43$	LSL_3	$51,45 \pm 2,67$

(zdroj: vlastní)

Tvrdost všech vyrobených vzorků čokolád se pohybovala v rozmezí od $(47,99 \pm 1,06)$ N do $(60,62 \pm 1,86)$ N. Nejnižší tvrdost $(47,99 \pm 1,06)$ N byla pozorována u vzorku LSO_3, zatímco nejvyšší tvrdostí $(60,62 \pm 1,86)$ N disponoval vzorek PGPR_3.



Obrázek 22 Graf tvrdosti vyrobených modelových vzorků čokolád

(zdroj: vlastní)

Proces mixování změnil strukturu čokolády, což se projevilo snížením tvrdosti MIX $(55,45 \pm 2,38)$ N oproti STAN $(58,99 \pm 1,88)$ N. U sójového i slunečnicového lecitinu

byl pozorován se zvyšujícím se množstvím emulgátoru pokles tvrdosti čokolády. Lecitin (zvláště ten sójový) tedy změkčoval strukturu čokolády. Tento trend byl popsán u Toker et al., (2024), kde se hodnota hořké čokolády snižovala se zvýšenou koncentrací lecitinu. Tento výsledek lze vysvětlit následovně, přidáním lecitinu se obalí částice cukru a kaka a vytvoří se tak více prázdných prostorů mezi částicemi, což vede ke snížení texturních parametrů (Toker et al., 2024). U vzorku PGPR a E471 byl nejdříve sledován pokles tvrdosti a poté následné zvýšení. Takové chování bylo popsáno u Atik (2020) kde, zvýšení koncentrace PGPR zvýšilo hodnoty tvrdosti a křehkosti, pravděpodobně díky homogennímu rozložení složek čokolády v tukové fázi.

12.6 DSC – Diferenciální skenovací kalorimetrie

Vlastnosti tání čokolád jsou rozhodující pro jejich kvalitu, protože výrazně ovlivňují spotřebitelskou přijatelnost výrobku, jeho vzhled a skladovací stabilitu produktu. Nesprávné zpracování nebo skladování může vést k dosažení nežádoucích teplot tání, které odpovídají různým krystalickým modifikacím kakaového másla, což je spojeno se ztrátou lesklého vzhledu nebo tvorbou tukového výkvětu během skladování (Tan a Kerr, 2018).

Profil teploty tání kakaového másla vyrobených modelových vzorků čokolád, lišící se obsahem a typem emulgátoru, byl hodnocen pomocí diferenciální skenovací kalorimetrie. Charakteristiky tání jsou důležitým kvalitativním parametrem týkajícím se uvolňování chuti (Oba et al., 2017). DSC jako analytický nástroj je používán ve výzkumu kakaového másla a čokolády k určení polymorfismu kakaového másla. Čokoláda a kakaové máslo jsou vícesložkové systémy s různým obsahem mastných kyselin, které obsahují nerovnovážné fáze. Vzhledem k této povaze je tání pozorováno v širším rozsahu teplot (Ioannidi et al., 2021). Při výrobě čokolády je krystalický stav a podíl pevných tuků důležitý pro určení vlastností tání v hotových výrobcích. U čokolád se stejným složením, zpracovaných za stejných podmínek, hrají emulgátory důležitou roli při určování jejich chování při tání, zejména snadnosti při tvarování rozpouštění čokolády (Afoakwa, 2016, s. 240). V následující **tabulce 13** jsou uvedeny jednotlivé parametry měření, jako je počáteční teplota (T_{on}), teplotou píku (T_p) a entalpie tání (ΔH) jednotlivých vzorků.

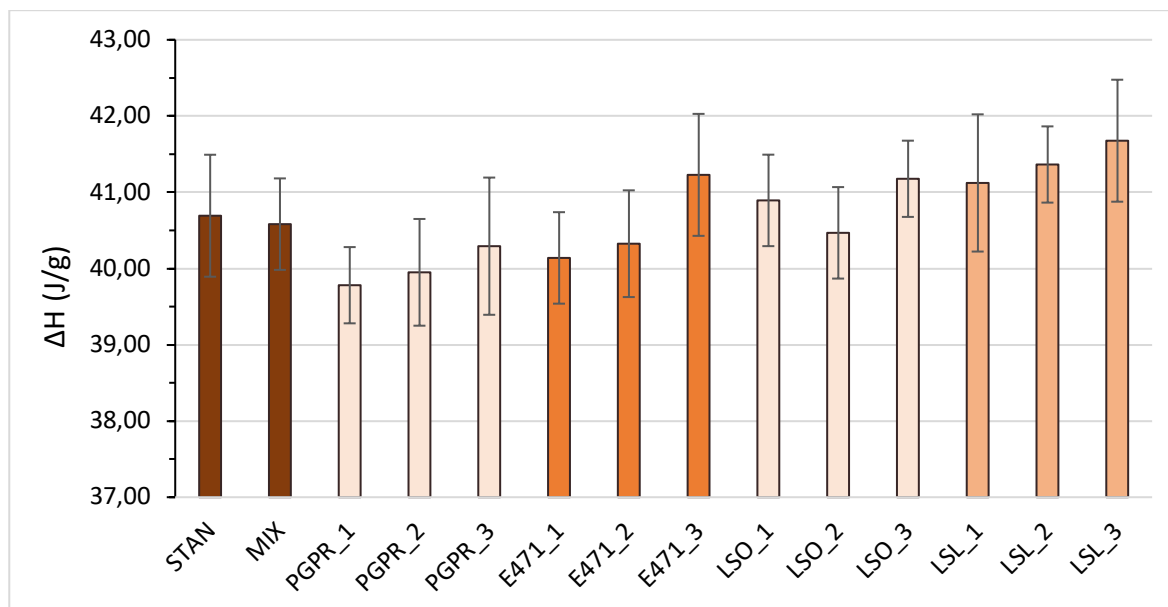
Tabulka 13 Naměřené hodnoty tepelného chování modelových vzorků čokolád

Vzorek	T_{on} (°C)	T_p (°C)	ΔH (J/g)
STAN	27,38	32,08	$40,69 \pm 0,8$
MIX	26,65	31,72	$40,58 \pm 0,6$
PGPR_1	26,83	32,10	$39,78 \pm 0,5$
PGPR_2	26,65	31,95	$39,95 \pm 0,7$
PGPR_3	26,82	31,59	$40,29 \pm 0,9$
E471_1	26,82	31,86	$40,14 \pm 0,6$
E471_2	26,86	32,23	$40,33 \pm 0,7$
E471_3	26,51	32,11	$41,23 \pm 0,8$
LSO_1	27,07	31,91	$40,89 \pm 0,6$
LSO_2	26,99	31,89	$40,47 \pm 0,6$
LSO_3	26,67	31,73	$41,18 \pm 0,5$
LSL_1	26,71	31,88	$41,12 \pm 0,9$
LSL_2	26,69	32,15	$41,36 \pm 0,5$
LSL_3	26,67	31,91	$41,68 \pm 0,8$

(zdroj: vlastní)

Počáteční teplota (T_{on}) označuje začátek procesu tání, udává teplotu, při které začnou tát první krystaly tuku (Santos et al., 2025). V **tabulce 13** je zřetelné, že počáteční teplota (T_{on}) se pohybovala v rozmezí hodnot 26,51–27,38 °C, přičemž vzorek E471_3 vykazoval nejnižší hodnotu (T_{on}), zatímco vzorek STAN vykazoval nejvyšší hodnotu (T_{on}). Dle Toker et al. (2024) přidání obsahu lecitinu vedlo ke značnému poklesu teplotních parametrů (T_{on}), tento účinek souvisel s emulgačním účinkem lecitinu a kakaového másla. Lze usoudit, že migrace lecitinu na rozhraní cukr/tuk a pokrytí krystalů cukru zpomalila indukční časy. Teplota tání píku (T_p) představuje teplotu, při které dochází k maximální rychlosti tání tukových krystalů (Santos et al., 2025). Dle **tabulky 13** se (T_p) pohybovala v rozmezí hodnot 31,59–32,23 °C, přičemž vzorek PGPR_3 měl nejnižší hodnotu (T_p),

zatímco vzorek E471_2 vykazoval nejvyšší hodnotu (T_p). Tomuto výsledku odpovídá měření u Ostrowska-Ligeza (2019), kde se teplota endotermických pík pohybovala v rozmezí (31,00–32,32) °C. Nejdůležitější složkou čokolády související s jejími tepelnými vlastnostmi je kakaové máslo. Termické vlastnosti byly hodnoceny pomocí parametrů teploty počátku teploty tání T_{on} , T_p – pík teploty tání a entalpie tání ΔH . Získané výsledky neodhalily žádné statisticky významné rozdíly (ANOVA, $p > 0,01$). Jak je patrné z **tabulky 13**, T_{on} čokolád se pohybovalo v rozmezí hodnot (26,51–27,38) °C a T_p v rozmezí hodnot (31,59–32,23) °C, což představuje tání stabilní modifikace kakaového másla V (Beckett, 2008, s.108–109). Vlastnosti tání emulgovaných čokolád mohou souviset se stabilizací sítě kakaového másla (tuku) emulgátorem, který působí jako modifikátor krystalizace v závislosti na koncentraci emulgátoru a způsobu interakce s maticí čokolády, jak dokumentují Daels et al. (2015) a Afoakwa (2016). Zvýšení koncentrace emulgátoru obecně vedlo ke zvýšení entalpie tání (s výjimkou vzorků LSO), a to v rozmezí (39,78–40,68) J/g, jak je patrné z **tabulky 13**. Emulgátory tedy mohou podporovat tvorbu stabilní struktury krystalické sítě (Konar et al., 2024). Lecitiny (LSO a LSL) poskytovaly nepatrně vyšší hodnotu ΔH u koncentrace 1,0 hm.% pravděpodobně v důsledku vzniku asociovaných terciálních a kvarterních struktur, jako jsou např. vozikuly nebo micelární sítě až do fáze micelárních krystalů. (Dhonsi a Stapley, 2006; Afoakwa, 2016, s.278).



Obrázek 23 Graf profilu tání vzorků čokolády

(zdroj: vlastní)

Entalpie tání (ΔH) je definována jako množství energie potřebné k rozpuštění kakaového másla, respektive tuku obsaženého ve stanoveném vzorku (Rosales et al, 2016). Z **tabulky 13** je patrné, že hodnota entalpie tání se pohybovala od hodnot $(39,78 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ až do hodnot $(41,68 \pm 0,8) ^\circ\text{C}$. Entalpie tání hořkých čokolád se vyznačuje vyššími hodnotami než v případě bílých a mléčných čokolád. Tuk totiž vyplňuje mezery mezi částicemi v roztavené čokoládě a snižuje odpor vůči toku, přičemž existuje přímá souvislost mezi obsahem tuku a ΔH , nezávisle na velikosti částic. To znamená, že entalpie je nižší v produktech s nižším obsahem tuku (Ostrawska-Ligęza et al., 2019). Z **obrázku 23** je zřejmé, že entalpie tání narůstala s rostoucím množstvím emulgátoru, s výjimkou sójového lecitinu, kde entalpie tání kolísala mezi 40–41 J/g. Nárůst entalpie, tedy množství spotřebovaného tepla činil přibližně 1 J/g mezi vzorkem s nejmenší a největší koncentrací konkrétního emulgátoru, což odpovídá statisticky nevýznamným rozdílům ($p > 0,005$). Porovnání výsledků studií zabývajících se měřením teploty tání čokolády pomocí DSC není triviální a závisí zejména na obsahu tuku, přídavku cukru a emulgátoru a na zvolených podmínkách měření (Ioannidi et al., 2021).

12.7 Stanovení tuku

Tuková fáze v čokoládě je dynamický systém, jelikož poměr pevné a kapalné fáze závisí na složení a teplotě (McCarthy a McCarthy, 2008). Čokoláda obsahuje tuk, který je označován za nejkaloričtější a nejdražší složku. V závislosti na průmyslovém použití se obsah tuku pohybuje mezi 27–40 % z celkové hmotnosti čokolády. Vzhledem k tomu, že ve světě narůstá problém s obezitou, existuje úsilí o snížení kalorické hodnoty. Snížení množství tuku však může vést k potížím např. při formování nebo potahování. Existuje několik možností, jak snížit tuk v čokoládě a zároveň zachovat požadované tokové vlastnosti. Jednou z možností je použití emulgátorů. Potravinářské přísady však nejsou žádoucí přísady, jelikož nejsou dobře vnímány. Další metodou je nahrazení tuku. Tukové náhražky mohou být používány, i když je použití omezené z důvodu jejich špatné stravitelnosti, což vede k zažívacím problémům a špatnému vnímání (Deou et al., 2022).

Některé rostlinné tuky jsou ve složení triglyceridů podobné kakaovému máslu, lze je do čokolády přidávat v libovolném poměru, aniž by to mělo významný vliv na texturní vlastnosti. Legálně jsou tyto rostlinné tuky povoleny v EU v množství až 5 % pro výrobky, které jsou prodávány jako čokoláda. Náhražky kakaového másla, jako jsou laurové tuky, palmojádrový nebo kokosový olej se používají k úplnému nahrazení kakaového másla.

Nízkokalorické tuky, jako je caprenin, které obsahují mastné kyseliny odlišné od kakaového másla a jsou špatně absorbovány střevem, také nacházejí uplatnění jako náhražky kakaového másla (Afoakwa, 2016, s.142). V **tabulce 14** jsou uvedeny obsahy tuku jednotlivých čokoládových vzorků.

Tabulka 14 Obsah tuku ve vzorcích čokolád

Vzorek	% tuku	Vzorek	% tuku
STAN	$32,95 \pm 0,58$	E471_3	$32,94 \pm 0,14$
MIX	$32,10 \pm 0,11$	LSO_1	$32,34 \pm 0,10$
PGPR_1	$32,41 \pm 0,04$	LSO_2	$32,84 \pm 0,17$
PGPR_2	$32,95 \pm 0,29$	LSO_3	$32,53 \pm 0,70$
PGPR_3	$32,74 \pm 0,14$	LSL_1	$32,90 \pm 0,43$
E471_1	$32,70 \pm 0,06$	LSL_2	$32,65 \pm 0,48$
E471_2	$32,58 \pm 0,19$	LSL_3	$32,90 \pm 0,24$

(zdroj: vlastní)

Dle Pombal et al. (2024) většina čokolád obsahuje 25–35 % tuku. Naměřené vzorky jsou v této oblasti hodnot. Obsah tuku se pohyboval v rozmezí od $(32,10 \pm 0,11)$ % až do hodnot $(32,95 \pm 0,58)$ % a mezi vzorky nejsou statisticky významné rozdíly ($p > 0,05$).

12.8 Obsah vlhkosti

Obsah vlhkosti v hořké čokoládě by mohl ovlivnit její texturní a skladovací stabilitu změnou makroskopické struktury čokolády. Konšování může způsobit, že čokoláda bude méně viskózní tím, že se během zpracování sníží její obsah vlhkosti, čímž se změní tokové chování produktu (Wong et al., 2024; Toker et al., 2024). Obecně platí, že vyšší množství vody může vytvářet spojení mezi částicemi tím, že se váže na jejich povrch, čímž vznikají aglomeráty. Překročení obsahu vody v čokoládové hmotě může vést k tukovému výkvětu (Cahyani et al., 2019; Toker et al., 2024). Vyrobené modelové vzorky čokolád byly podrobeny analýze vlhkosti z důvodu získání informací o obsahu vody. V následující **tabulce 15** jsou zobrazeny výsledky obsahu vlhkosti.

Tabulka 15 Obsah vlhkosti jednotlivých vzorků čokolád

Vzorek	Vlhkost (%)	Vzorek	Vlhkost (%)
STAN	$1,09 \pm 0,05$	E471_3	$1,37 \pm 0,10$
MIX	$1,41 \pm 0,05$	LSO_1	$1,19 \pm 0,06$
PGPR_1	$1,38 \pm 0,10$	LSO_2	$1,13 \pm 0,03$
PGPR_2	$1,32 \pm 0,03$	LSO_3	$1,22 \pm 0,09$
PGPR_3	$1,48 \pm 0,04$	LSL_1	$1,19 \pm 0,07$
E471_1	$1,41 \pm 0,04$	LSL_2	$1,29 \pm 0,06$
E471_2	$1,38 \pm 0,07$	LSL_3	$1,25 \pm 0,01$

(zdroj: vlastní)

Obsah vlhkosti u vyrobených modelových vzorků čokolád se pohyboval v rozmezí hodnot od $(1,09 \pm 0,05) \%$ do $(1,48 \pm 0,04) \%$. Roztavená čokoláda má obvykle obsah vlhkosti 0,5–1,5 %. Větší vlhkost způsobuje, že se částice cukru shlukují a vytvářejí hrudky, které zvyšují tření a zdánlivou viskozitu (Afoakwa, 2016, s. 146). Vlhkost je tedy jedním z faktorů ovlivňujících reologické vlastnosti (Toker et al., 2024). Bez ohledu na použitý emulgátor byl obsah vlhkosti ve všech modelových vzorcích tmavých čokolád v přijatelném limitu. Větší obsah vlhkosti byl pozorován u vzorků PGPR a E471, naopak lecitiny vykazovaly nižší obsah vlhkosti.

12.9 Senzorická analýza

Senzorická analýza je nedílnou součástí vývoje produktů, které splňují očekávání spotřebitelů (Starowicz et al., 2017). Zahrnuje celou řadu výkonných a citlivých nástrojů pro měření lidských reakcí na potraviny a jiné produkty. Výběr vhodného testu, testovacích podmínek a analýza dat vedou k reprodukovatelným, výkonným a relevantním výsledkům (Drake, 2007).

Některé emulgátory jsou však nevhodné pro konzumenty trpící alergií nebo také pro konzumenty, kteří mají vyhrazený typ jídelníčku např. vegetariány a vegany. Mono– a diglyceridy jsou již dlouho uznávány jako přísady ve složení potravin. Zdrojem lipidů pro produkci MAG a DAG může být rostlinný nebo živočišný materiál. Ačkoliv jsou

preferovány MAG a DAG odvozené, ze surovin rostlinného původu, vždy existovala možnost, aby podvodné praktiky zahrnovaly ty, které pocházejí ze živočišných zdrojů (Nasyrah, et al., 2012). Velká část komerčně dostupného lecitinu se vyrábí jako vedlejší produkt extrakce sójového oleje. Přestože množství sójového proteinu v sójovém lecitinu je nízké, bylo prokázáno, že sójový lecitin obsahuje proteiny, které mohou vyvolat negativní reakci u jedinců alergických na sóju. Aby se tento problém vyřešil, byly zkoumány na izolaci lecitinu i jiná olejnatá semena jako např. slunečnicové nebo řepkové (Wade et al., 2021). Analytici předpovídají v blízké budoucnosti značný nedostatek geneticky nemodifikovaného lecitinu. Tato situace nutí výrobce čokolády a další výrobce hledat alternativy lecitinu jako modifikátoru reologie (Garti a Aserin, 2012).

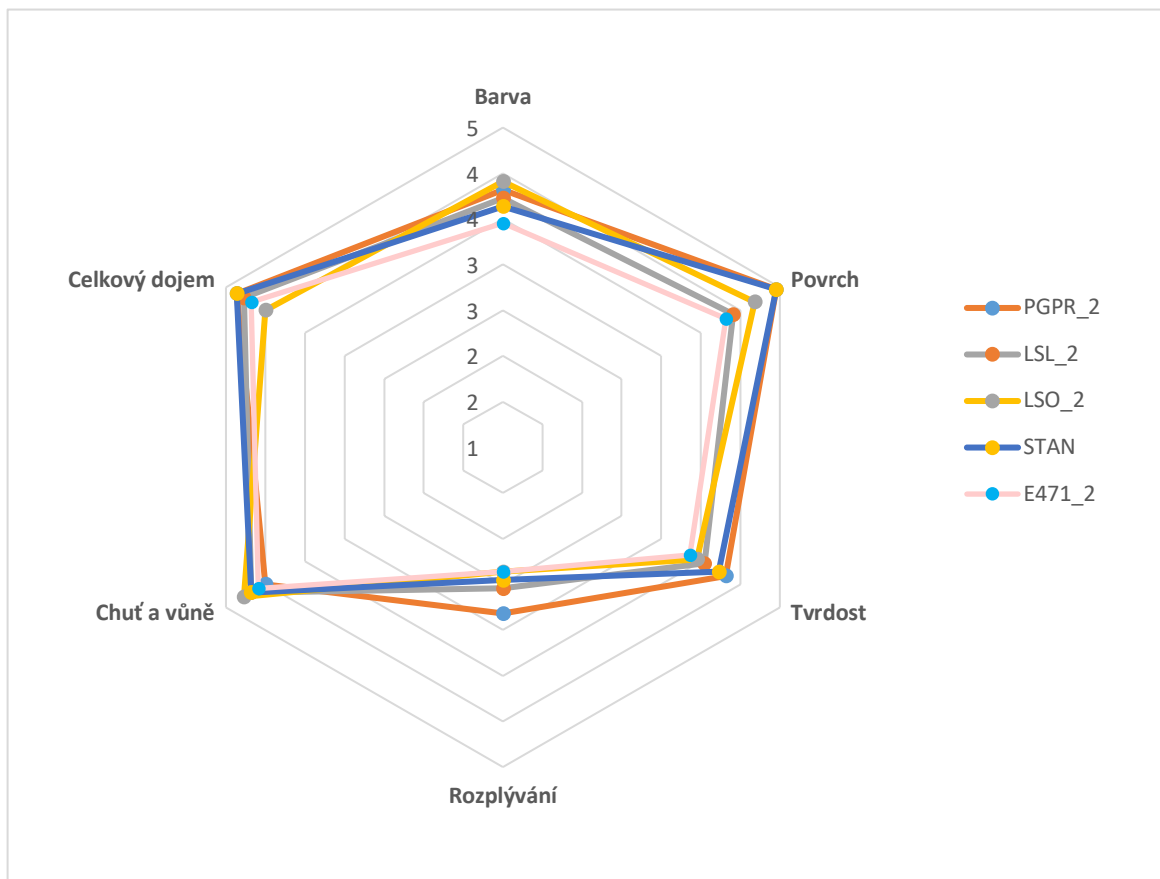
Deskriptivní analýza je metoda, která je používána k objektivnímu popisu povahy a velikosti senzorických charakteristik. Tradiční popisné techniky, zahrnují panel vyškolených hodnotitelů, kteří objektivně měří kvalitu a sílu senzorických atributů vzorků (Kemp et al., 2018). Počet použitých bodů na škále se může lišit, jelikož závisí na výzkumníkovi. Původní čtyřbodové, pětibodové nebo sedmibodové škály jsou již jen zřídka používány. Častěji se využívají s 10bodovými nebo 15bodovými škálami. Popis produktu může mít mnoho podob. Data mohou být prezentována např. ve standardních radarových „stromových“ grafech (Chambers IV, 2018). V **tabulce 16** jsou uvedeny korelace jednotlivých vzorků.

Tabulka 16 Korelace jednotlivých vzorků

Vzorek	E471_2	PGPR_2	LSL_2	LSO_2	STAN
E471_2	1	-	-	-	-
PGPR_2	0,925	1	-	-	-
LSL_2	0,995	0,921	1	-	-
LSO_2	0,944	0,916	0,957	1	-
STAN	0,960	0,988	0,952	0,943	1

(zdroj: vlastní)

Z **tabulky 16** je patrné, že nejvíce podobné vzorky, z hlediska jejich vlastností jsou vzorky STAN a PGPR_2. Nejméně podobné vzorky byly vzorky LSO_2 a PGPR_2. Sensorické vlastnosti jednotlivých vzorků čokolád lze vidět na **obrázku 24**.



Obrázek 24 Graf sensorického hodnocení jednotlivých vzorků čokolád

(zdroj: vlastní)

Vzorky byly svými vlastnostmi z hlediska sensorické analýzy velice podobné. Lišily se pouze přidáním druhem emulgátoru. Dle pořadové zkoušky texturní a celkové preference se lišili pouze dva vzorky, a to vzorek E471_2 a vzorek STAN.

Za nejsvětlejší vzorek byl označen podle hodnotitelů vzorek STAN, toto tvrzení koresponduje se stanovením na přístroji HunterLab UltraScan VIS (Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, VA, USA), kde byl také vyhodnocen jako nejsvětlejší. Jako nejtmavší vzorek byl podle hodnotitelů označen vzorek LSO_2, avšak z naměřených dat světlosti byl za nejtmavší označen vzorek E471_1. Jelikož byly hodnoceny jen vzorky střední koncentrace emulgátoru odpovídal byl nejtmavšímu vzorku vzorek PGPR_2.

Povrch čokolád byl hodnocen z hlediska obsahu defektů a vad, jako jsou bublinky, šmouhy, tukové nebo cukrové výkvěty. Dle hodnotitelů byl hodnocen povrch jako nejlepší

u dvou vzorků, a to u vzorku STAN a vzorku PGPR_2. Nejhorší vzorek z hlediska povrchu byl vzorek E471_2.

Za nejtvrdší vzorek byl označen podle hodnotitelů vzorek PGPR_2, což není v souladu s měřením na analyzátoru textury TA.XT plus (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, UK). Jako nejtvrdší vzorek analyzátor vyhodnotil vzorek PGPR_3. Jelikož bylo hodnoceno senzoricky 5 vzorků, odpovídal by nejtvrdšímu vzorek STAN. Za nejměkčí vzorek byl označen vzorek E471_2. Jelikož bylo hodnoceno senzoricky 5 vzorků, odpovídal by nejtvrdšímu vzorek LSO_2.

Nejvíce rozplývavý vzorek dle hodnotitelů byl vzorek PGPR_2, což koresponduje s měřením na DSC, kdy tato čokoláda vykazovala relativně nízkou entalpii tání, tj. energii potřebnou k rozplývání v ústech. Nejméně rozplývavé vyšly dva vzorky a to E471_2 a LSO_2.

Chut' a vůně byla hodnocena z hlediska intenzivní a vynikající čokoládové nebo kakaové chutě a vůně. Nejintenzivnější chut' a vůně byla hodnocena u vzorku LSO_2, zatímco nejméně intenzivní chut' a vůně byla u vzorku PGPR_2.

Nakonec byl u vzorků hodnocen celkový dojem z hlediska celistvého, hladkého a lesklého povrchu bez vad. Dále dle intenzivní čokoládové chutě a vůně a smetanově tající na jazyku. Nejlépe celkový dojem vyšel u dvou vzorků, a to u vzorků PGPR_2 a STAN, zatímco nejhůře u vzorku LSO_2. Což je velice zajímavé, jelikož z hlediska chuti a vůně byl hodnocen nejlépe.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo posoudit vliv typu emulgátoru na fyzikálně-chemické vlastnosti čokolády. První část diplomové práce tvoří teoretická část, která se zabývá čokoládovou historií, zpracováním kakaových plodů, výrobou čokolády a charakteristikou čokolády a jejími druhy. Stěžejní částí byla kapitola o emulgátorech, kde jsou popsány jednotlivé typy používaných emulgátorů a jejich působení. V následujících kapitolách jsou uvedeny informace o vlivu čokolády na zdraví a o jednotlivých potencionálních nebezpečích při výrobě. V poslední kapitole jsou uvedeny některé významné analýzy, jako je například tixotropie nebo DSC analýza.

Druhou část tvoří praktická část, kde byly vyrobeny jednotlivé modelové vzorky čokolád s různým obsahem a typem emulgátoru. Tato část zahrnovala proces výroby, metodiku a vyhodnocení jednotlivých vzorků. V rámci praktické části byly provedeny jednotlivé analýzy: stanovení velikosti částic, DSC analýza, barevnost (CIE L*a*b* model), texturní analýza, tixotropie, stanovení obsahu tuku, obsah vlhkosti, a nakonec senzorická analýza. Výsledky jednotlivých měření ukazují, že:

- textura hraje zásadní roli při senzorickém hodnocení a také určuje celkovou kvalitu. Se zvyšující se koncentrací lecitinu byl sledován pokles tvrdosti čokolády. V případě PGPR a E471 byl nejdříve sledován pokles tvrdosti a poté následné zvýšení se vzrůstající se koncentrací emulgátoru,
- reologické chování naznačuje, že emulgátory hrály zásadní roli při určování tokových vlastností čokolád. U vzorků obsahující lecitin došlo nejdříve ke snížení Cassonovy plastické viskozity se zvyšujícím se obsahem emulgátorů při koncentraci 0,2 až 0,5 hm.%, kdežto při koncentraci 1,0 hm.% jsme pozorovali nárůst viskozity. U vzorků PGPR a E471 se hodnota Cassonovy plastické viskozity zvyšovala se zvyšující se koncentrací emulgátorů. Emulgátor PGPR měl výrazný vliv na mez kluzu. Při vyšších koncentracích 0,25 a 0,5 hm.% došlo ke snížení meze kluzu téměř na nulu. Aplikace E471 vedla k nárůstu meze kluzu,
- hodnota tixotropie u vyrobených vzorků čokolád se pohybovaly v rozmezí od $(64,66 \pm 3,84)$ Pa/s až do hodnot $(1532,24 \pm 16,41)$ Pa/s. Pouze u vzorku PGPR_3 byla tixotropie záporná. Vzorky PGPR a E471 vykazovaly vyšší hodnoty tixotropie, zatímco vzorky lecitinu vykazovaly srovnatelné či nižší hodnoty tixotropie ve srovnání s MIX,

- hodnoty $Dv(90)$ se pohybovaly v rozmezí hodnot od $(17,10 \pm 1,28) \mu\text{m}$ až do hodnot $(23,60 \pm 1,33) \mu\text{m}$, přičemž nejmenší částice vykazoval vzorek STAN, zatímco největší částice vykazoval vzorek E471_3. Specifický povrch jednotlivých vzorků se pohyboval v rozmezí od $(0,968 \pm 0,19) \text{ m}^2/\text{g}$ až do hodnot $(1,173 \pm 0,14) \text{ m}^2/\text{g}$, přičemž nejmenší hodnotu specifické plochy vykazoval vzorek MIX, zatímco největší specifický povrch vykazoval vzorek LSL_2. Aplikace lipofilních glyceridů (E471) pravděpodobně vedla ke snadnější aglomeraci a koalescenci tukových složek čokolády, což se projevilo nárůstem velikosti částic $Dv(90)$. Tento jev podpořilo také mixování, vzorek MIX vykázal větší velikost částic než STAN,
- u barevné difference byly vzorky čokolád relativně podobné a vykazovaly většinou nevýznamné rozdíly v parametrech $CIE L^* a^* b^*$, s výjimkou E471. Všechny vzorky vykazovaly červený odstín jako dominantní spektrální složku. U vzorku E471 byl pozorován mírný posun ke žlutým tónům,
- DSC analýza neodhalila statisticky významné rozdíly v teplotách tání, což naznačuje, že nedošlo k ovlivnění krystalizace kakaového másla. Vyšší koncentrace emulgátorů vedly ke zvýšení entalpie tání, ale ne u všech vzorků. PGPR a E471 snížily entalpii vůči MIX až na vzorek E471_3. U lecitinu, zejména u LSL_3 a LSO_3 v důsledku vzniku reverzních micel dochází ke zvýšení entalpie tání,
- obsah tuku se pohyboval v rozmezí od hodnot $(32,10 \pm 0,11) \%$ až do hodnot $(32,95 \pm 0,58) \%$, přičemž nejmenší obsah tuku měl vzorek MIX a největší obsah tuku obsahoval vzorek STAN. Výsledné rozdíly jsou statisticky nevýznamné a jsou v rámci chyby měření,
- vyšší obsah vlhkosti byl pozorován u vzorků PGPR a E471, naopak lecitiny vykazovaly nižší obsah vlhkosti. Obsah vlhkosti se pohyboval v rozmezí hodnot od $(1,09 \pm 0,05) \%$ až do hodnot $(1,48 \pm 0,04) \%$,
- výsledky naší studie prokázaly vhodnost aplikace použitých emulgátorů v určitém koncentračním rozmezí, včetně méně používaného E471. Všechny vzorky byly hodnoceny pozitivně. PGPR_2 a STAN byly nejpreferovanějšími vzorky a vzorek E471_2 byl vyhodnocen jako nejméně preferovaný.

Závěrem lze konstatovat, že přídavek emulgátoru ovlivnil fyzikálně-chemické vlastnosti vzorků čokolád i jejich senzorický profil. Všechny vzorky vykazovaly hladký a lesklý povrch a vysokou stabilitu. Mixováním jsme docílili zmenšení velikosti částic, vyšší specifický povrch částic, nižší viskozitu a tvrdost. Vzorky LSL měly vyšší viskozitu, tvrdost, menší velikost částic a vyšší specifický povrch než LSO do koncentrace 0,5 hm. %. Emulgátor E471 vykazoval ve všech koncentracích odlišné vlastnosti ve srovnání s ostatními emulgátory, přesto jeho použití nesnížilo kvalitu nebo stabilitu, což z něj činí alternativu pro osoby s alergií na sóju. Zvýšení koncentrace emulgátoru PGPR (0,5 (hm. %)) významně změnilo funkční vlastnosti čokolády.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

AFOAKWA, Emmanuel O.; PATERSON, Alistair; FOWLER, Mark a VIEIRA, Joselio, 2008. Particle size distribution and compositional effects on textural properties and appearance of dark chocolates. Online. *Journal of Food Engineering*. Roč. 87, č. 2, s. 181-190. ISSN 02608774. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.025>. [cit. 2025-03-17].

AFOAKWA, Emmanuel O., 2016. *Chocolate Science and Technology*. Vyd. 2. Hoboken: John Wiley & Sons. ISBN 978-1-1189-1378-9.

AMOA-AWUA, Wisdom K. Methods of cocoa fermentation and drying. In: SCHWAN, Rosane F. a FLEET, Graham H, 2014. *Cocoa and Coffee Fermentations*. Boca Raton: CRC Press, s. 72-116. ISBN 9780429062926.

ARFELLI, Francesco; ROGUSZEWSKA, Marlena; TORTA, Gianluca; IURLO, Matteo; CESPI, Daniele et al., 2024. Environmental impacts of food packaging: Is it all a matter of raw materials? Online. *Sustainable Production and Consumption*. Roč. 49, s. 318-328. ISSN 2352-5509. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.06.032>. [cit. 2024-07-06].

ASHKEZARY, Mansour R.; YEGANEHZAD, Samira; VATANKHAH, Hamed; TODARO, Aldo a MAGHSOUDLOU, Yahya, 2018. Effects of different emulsifiers and refining time on rheological and textural characteristics of compound chocolate. Online. *Italian journal of food science*. Roč.30, č. 1, s. 26-36. ISSN 1120-1770. Dostupné z: <https://doi.org/10.14674/IJFS-759>. [cit. 2025-03-02].

ATIK, Didem S.; BÖLÜK, Esra; TOKER, Omer S.; PALABIYIK, Ibrahim a KONAR, Nevzat, 2020. Investigating the effects of Lecithin-PGPR mixture on physical properties of milk chocolate. Online. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technology*. Roč. 129. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109548>. [cit. 2024-08-14].

BALBOA-CASTILLO, Teresa; LÓPEZ-GARCÍA, Esther; LEÓN-MUÑOZ, Luz M.; PÉREZ-TASIGCHANA, Raúl F.; BANEGAS, José R. et al., 2015. Chocolate and Health-Related Quality of Life: A Prospective Study. Online. *PLOS ONE*. Roč. 10, č. 4. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123161>. [cit. 2024-07-28].

BALCÁZAR-ZUMAETA, César R.; FERNÁNDEZ-ROMERO, Editha; LOPES, Alessandra S.; FERREIRA, Nelson R.; CHAGAS-JÚNIOR, Gilson C. A. et al., 2024. Amino acid profile behavior during the fermentation of Criollo cocoa beans. Online. *Food Chemistry: X*. Roč. 22. ISSN 2590-1575. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101486>. [cit. 2024-07-01].

BASTIDA-RODRÍGUEZ, Josefa, 2013. The Food Additive Polyglycerol Polyricinoleate (E-476): Structure, Applications, and Production Methods. Online. *International Scholarly Research Notices*. Roč. 2013, s. 1-21. ISSN 2090-861X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2013/124767>. [cit. 2024-08-22].

BECKETT, Stephen. T., 2008. *The science of chocolate*. Vyd. 2. Londýn: Royal Society of Chemistry. ISBN 978-0-85404-970-7.

BELITZ, Hans-Dieter; GROSCH, Werner a SCHIEBERLE, Peter, 2009. *Food Chemistry*. Vyd. 4. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-69935-4

BOURNE, Malcolm C., 2002. Relationship between Rheology and Food Texture. In: WELTI-CHANES, Jorge a AGUILERA, Jose M. *Engineering and Food for the 21st Century*. Vyd. 1. Boca Raton: CRC Press. s. 291-306. ISBN 9781420010169.

CAHYANI, Ayuniargi; KURNIASARI, Jati; NAFINGAH, Roudlotun; RAHAYOE, Sri; HARMAYANI, Eni et al., 2019. Determining casson yield value, casson viscosity and thixotropy of molten Chocolate using viscometer. Online. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Roč. 355, č. 1. ISSN 1755-1307. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/355/1/012041>. [cit. 2025-03-01].

CALLESEN, Ingeborg; KECK, Hannes a ANDERSEN, Thorbjørn J., 2018. Particle size distribution in soils and marine sediments by laser diffraction using Malvern Mastersizer 2000—method uncertainty including the effect of hydrogen peroxide pretreatment. Online. *Journal of Soils and Sediments*. Roč. 18, č. 7, s. 2500-2510. ISSN 1439-0108. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-1965-8>. [cit. 2025-03-01].

CAPAROSA, Monica H. a HARTEL, Richard W., 2020. Characterizing Lecithin Interactions in Chocolate Using Interfacial Properties and Rheology. Online. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. Roč. 97, č. 12, s. 1309-1317. ISSN 0003-021X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/aocs.12419>. [cit. 2025-04-07].

CIDELL, Julie L. a ALBERTS, Heike C., 2006. Constructing quality: The multinational histories of chocolate. Online. *Geoforum*. Roč. 37, č. 6, s. 999-1007. ISSN 0016-7185. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2006.02.006>. [cit. 2024-07-01].

ČESKO, 2003. Vyhláška č. 76 ze dne 6. března 2003, kterou se stanoví požadavky pro přírodní sladidla, med, cukrovinky, kakaový prášek a směsi kakaa s cukrem, čokoládu a čokoládové bonbony. In: *Zákony pro lidi*. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-76>. [cit. 2024-07-12].

ČOKOLÁDOVNA TROUBELICE. *Proces výroby čokolády: Fermentace a sušení kakaových bobů*. Online, obrázek. In: Čokoládovna troubelice. 2024. Dostupné z: <https://www.cokoladovnatroubelice.cz/kontakt/>. [cit. 2024-10-25].

DA SILVA, Thais L. T.; GRIMALDI, Renato a GONÇALVES, Lireny A. G., 2017. Temperature, time and fat composition effect on fat bloom formation in dark chocolate. Online. *Food Structure*. Roč. 14, s. 68-75. ISSN 2213-3291. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2017.06.006>. [cit. 2024-07-27].

DAELS, Eva; RIGOLLE, Annelien; RAES, Katleen; DE BLOCK, Jan a FOUBERT, Imogen, 2015. Monoglycerides, polyglycerol esters, lecithin, and their mixtures influence the onset of non-isothermal fat crystallization in a concentration dependent manner. Online. *European Journal of Lipid Science and Technology*. Roč. 117, č. 11, s. 1745-1753. ISSN 1438-7697. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400554>. [cit. 2025-04-04].

DE GRAEF, Veerle; DEPYPERE, Frédéric; MINNAERT, Maaike a DEWETTINCK, Koen, 2011. Chocolate yield stress as measured by oscillatory rheology. Online. *Food Research International*. Roč. 44, č. 9, s. 2660-2665. ISSN 0963-9969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.009>. [cit. 2025-04-07].

DE PELSMAEKER, Sara; DE CLERCQ, Gil; GELLYNCK, Xavier a SCHOUTETEN, Joachim J., 2019. Development of a sensory wheel and lexicon for chocolate. Online. *Food Research International*. Roč. 116, s. 1183-1191. ISSN 0963-9969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.063>. [cit. 2024-07-27].

DEMIRCI, Sultan; ELMACI, Ceren; ATALAR, İlyas; TOKER, Omer S.; PALABIYIK, Ibrahim et al., 2024. Influence of process conditions of alkalization on quality of cocoa powder. Online. *Food Research International*. Roč. 182. ISSN 0963-9969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114147>. [cit. 2024-07-01].

DEOU, Janine; BESSAIES-BEY, Hela; DECLERCQ, Fabien; SMITH, Paul; DEBON, Stephane et al., 2022. Decrease of the amount of fat in chocolate at constant viscosity by optimizing the particle size distribution of chocolate. Online. *Food Structure*. Roč. 31. ISSN 22133291. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2022.100253>. [cit. 2025-04-14].

DHONSI, D. a STAPLEY, Andrew G.F., 2006. The effect of shear rate, temperature, sugar and emulsifier on the tempering of cocoa butter. Online. *Journal of Food Engineering*. Roč. 77, č. 4, s. 936-942. ISSN 02608774. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.08.022>. [cit. 2025-04-06].

DILLINGER, Teresa L.; BARRIGA, Patricia; ESCÁRCEGA, Sylvia; JIMENEZ, Martha; SALAZAR, Lowe D. et al., 2000. Food of the Gods: Cure for Humanity? A Cultural History of the Medicinal and Ritual Use of Chocolate. Online. *The Journal of Nutrition*. Roč. 130, č. 8, s. 2057S-2072S. ISSN 0022-3166. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/jn/130.8.2057S>. [cit. 2024-07-01].

DOS SANTOS, Camilia A.; MING-CHIH, Chiu a GONÇALVES, Lireny A. G., 2014. Emulsificantes: atuação como modificadores do processo de cristalização de gorduras. Online. *Ciência Rural*. Roč. 44, č. 3, s. 567-574. ISSN 0103-8478. Dostupné z: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000300029>. [cit. 2024-08-14].

DRAKE, Maryanne A., 2007. Invited Review: Sensory Analysis of Dairy Foods. Online. *Journal of Dairy Science*. Roč. 90, č. 11, s. 4925-4937. ISSN 00220302. Dostupné z: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0332>. [cit. 2025-02-13].

ERTURAL, Gökşen I; GUNES, Recep; TOKER, Omer S.; PALABIYIK, Ibrahim; KONAR, Nevzat et al., 2023. Importance of rheological properties in enrobing efficiency of dark chocolate: application in wafer products. Online. *International Journal of Food Science & Technology*. Roč. 58, č. 11, s. 5938-5946. ISSN 0950-5423. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/ijfs.16698>. [cit. 2025-03-01].

EU. NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 1333/2008 ze dne 16. prosince 2008 o potravinářských přídatných látkách. Online. In: *Esipa*. 2008. Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=AZ&CP=02008R1333-20210808>. [cit. 2024-11-04].

EU. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2000/36/ES ze dne 23. června 2000 o kakaových a čokoládových výrobcích určených k lidské spotřebě. Online.

In: *eur-lex*. 2000. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32000L0036&qid=1730741172305>. [cit. 2024-11-04].

GARTI, Nissim a ASERIN, Abraham, ©2012. Effect of Emulsifiers on Cocoa Butter and Chocolate Rheology, Polymorphism, and Bloom. In: WIDLAK, Neil R. *Cocoa Butter and Related Compounds*. Urbana: American Oil Chemists' Society, s. 275-302. ISBN 978-1-61344-998-1.

GLICERINA, Virginia; BALESTRA, Federica; DALLA ROSA, Marco a ROMANI, Santina, 2016. Microstructural and rheological characteristics of dark, milk and white chocolate: A comparative study. Online. *Journal of Food Engineering*. Roč. 169, s. 165-171. ISSN 02608774. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.011>. [cit. 2025-03-26].

GONZÁLEZ, Camila; ACOSTA, Elly V.; MAZO RIVAS, Juan C. a MUÑOZ, Diego A., 2021. Phenomenological based model for the prediction of the structural changes during chocolate conching process. Online. *Journal of Food Engineering*. Roč. 289. ISSN 0260-8774. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110184>. [cit. 2024-07-01].

GOYA, Luis; KONGOR, John E. a DE PASCUAL-TERESA, Sonia, 2022. From Cocoa to Chocolate: Effect of Processing on Flavanols and Methylxanthines and Their Mechanisms of Action. Online. *International Journal of Molecular Sciences*. Roč. 23, č. 22. ISSN 1422-0067. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijms232214365>. [cit. 2024-07-28].

GUCKENBIEHL, Yvonne; MARTIN, Anna; ORTNER, Eva; ROTHKOPF, Isabell; SCHWEIGGERT-WEISZ, Ute et al., 2022. Aroma-active volatiles and rheological characteristics of the plastic mass during conching of dark chocolate. Online. *Food Research International*. Roč. 162. ISSN 0963-9969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112063>. [cit. 2024-07-01].

GUNARATNE, Nadeesha M.; FUENTES, Sigfredo; GUNARATNE, Thejani M.; TORRICO, Damir D.; FRANCIS, Caroline et al., 2019. Effects of packaging design on sensory liking and willingness to purchase: A study using novel chocolate packaging. Online. *Heliyon*. Roč. 5, č. 6. ISSN 2405-8440. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01696>. [cit. 2024-07-06].

HARUNA, Lukeman; ABANO, Ernest E.; TEYE, Ernest; TUKWARLBA, Isaac; ADU, Stephen et al., 2024. Effect of partial pulp removal and fermentation duration on drying behavior, nib acidification, fermentation quality, and flavor attributes of Ghanaian cocoa beans. Online. *Journal of Agriculture and Food Research*. Roč. 17. ISSN 2666-1543. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101211>. [cit. 2024-07-01].

HERNÁNDEZ SALUEÑA, Begoña; SÁENZ GAMASA, Carlos; DIÑEIRO RUBIAL, José M. a ALBERDI ODRIOZOLA, Coro, 2019. CIELAB color paths during meat shelf life. Online. *Meat Science*. Roč. 157. ISSN 0309-1740. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107889>. [cit. 2024-09-15].

HINNEH, Michael; VAN DE WALLE, Davy; HAECK, Julie; ABOTSI, Enoch E.; DE WINNE, Ann et al., 2019 Applicability of the melanger for chocolate refining and Stephan mixer for conching as small-scale alternative chocolate production techniques. Online. *Journal of Food Engineering*. Roč. 253, s. 59-71. ISSN 02608774. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.016>. [cit. 2025-02-15].

Chambers IV, Edgar. Consensus Methods for Descriptive Analysis. In: In: KEMP, Sarah E.; HORT, Joanne a HOLLOWOOD, Tracey, 2018. *Descriptive Analysis in Sensory Evaluation*. Vyd. 1. John Wiley & Sons, s. 211-236. ISBN 9780470671399.

CHOCOLATE PICTURES. *Temperování čokolády: Tři způsoby temperování, abyste z našich čokolád dostali to nejlepší*. Online, obrázek. In: Chocolate Pictures. 20.9.2022. Dostupné z: <https://www.chocolatepictures.cz/o-cokolade/temperovani-cokolady/>. [cit. 2024-10-25].

ICCO. *Processing Cocoa*. Online. In: ICCO. ©2016-2023a Dostupné z: <https://www.icco.org/processing-cocoa/>. [cit. 2024-11-04].

ICCO. *Growing Cocoa*. Online. In: ICCO. ©2016-2023b. Dostupné z: <https://www.icco.org/growing-cocoa/>. [cit. 2024-11-04].

IOANNIDI, Eleni; RISBO, Jens; AARØE, Esben a VAN DEN BERG, Frans W. J., 2021. Thermal Analysis of Dark Chocolate with Differential Scanning Calorimetry—Limitations in the Quantitative Evaluation of the Crystalline State. Online. *Food Analytical Methods*. Roč. 14, č. 12, s. 2556-2568. ISSN 1936-9751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02073-6>. [cit. 2024-07-12].

KEIJBETS, Esther L.; CHEN, Jianshe; DICKINSON, Eric a VIEIRA, Joselio, 2009. Surface energy investigation of chocolate adhesion to solid mould materials. Online. *Journal of Food Engineering*. Roč. 92, č. 2, s. 217-225. ISSN 0260-8774. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.11.008>. [cit. 2024-07-03].

KEIJBETS, Esther L.; CHEN, Jianshe a VIEIRA, Joselio, 2010. Chocolate demoulding and effects of processing conditions. Online. *Journal of Food Engineering*. Roč. 98, č. 1, s. 133-140. ISSN 0260-8774. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.019>. [cit. 2024-07-03].

KEMP, Sarah E.; Ng, May; HORT, Joanne a HOLLOWOOD, Tracey, 2018. Introduction to Descriptive Analysis. In: KEMP, Sarah E.; HORT, Joanne a HOLLOWOOD, Tracey. *Descriptive Analysis in Sensory Evaluation*. Vyd. 1. John Wiley & Sons, s. 1-39. ISBN 9780470671399.

KHAJEHESAMEDINI, Ali; PAGGIOS, Konstantinos; SCHMID, Philip; KINDLEIN, Moritz a BRIESEN, Heiko, 2021. A population balance model for the chocolate roller refining process. Online. *Advanced Powder Technology*. Roč. 32, č. 11, s. 4130-4140. ISSN 0921-8831. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.09.021>. [cit. 2024-07-05].

KISSIEDU, Kwame O.; AGBENORHEVI, Jacob K. a DATSOMOR, Delight N., 2020. Optimization of sensory acceptability of milk chocolate containing okra pectin as emulsifier. Online. *International Journal of Food Properties*. Roč. 23, č. 1, s. 1310-1323. ISSN 1094-2912. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1800728>. [cit. 2025-03-28].

KNÖSSLSDORFER, Isabel; SELLARE, Jorge a QAIM, Martin, 2021. Effects of Fairtrade on farm household food security and living standards: Insights from Côte d'Ivoire. Online. *Global Food Security*. Roč. 29. ISSN 2211-9124. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100535>. [cit. 2024-07-01].

KONAR, Nevzat; PALABIYIK, Ibrahim; KARIMIDASTJERD, Atefeh a SAID TOKER, Omer, 2024. Chocolate microstructure: A comprehensive review. Online. *Food Research International*. Roč. 196. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115091>. [cit. 2025-04-13].

KONGOR, John E.; HINNEH, Michael; DE WALLE, Davy V.; AFOAKWA, Emmanuel O.; BOECKX, Pascal et al., 2016. Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile — A review. Online. *Food Research International*. Roč. 82, s. 44-52. ISSN 0963-9969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>. [cit. 2024-07-01].

KOVALKOVIČOVÁ, Natália; ŠUTIÁKOVÁ, Irena; PISTL, Juraj a ŠUTIÁK, Václav, 2009. Some food toxic for pets. Online. *Interdisciplinary Toxicology*. Roč. 2, č. 3. ISSN 1337-9569. Dostupné z: <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0012-4>. [cit. 2024-08-25].

KRÜGER, Stephanie; BÜRMANN, Laura a MORLOCK, Gertrud E., 2015. Comparison and Characterization of Soybean and Sunflower Lecithins Used for Chocolate Production by High-Performance Thin-Layer Chromatography with Fluorescence Detection and Electrospray Mass Spectrometry. Online. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Roč. 63, č. 11, s. 2893-2901. ISSN 0021-8561. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/jf506332f>. [cit. 2024-08-14].

KUS KAKAA. *Odrůdy kakaovníku a jejich specifika*. Online, obrázek. In: Kus kakaa. 2024. Dostupné z: <https://www.kuskakaa.cz/vse-o-kakau/>. [cit. 2024-10-25].

Lapčíková, Barbora; LAPČÍK, Lubomír; SALEK, Richardos N.; VALENTA, Tomáš; LORENCOVÁ, Eva et al., 2022. Physical characterization of the milk chocolate using whey powder. Online. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technology*. Roč. 154. ISSN 0023-6438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112669>. [cit. 2024-10-27].

LAUGHTER, Julie; BROWN, Douglas B. a ANANTHESWARAN, Ramaswamy C., 2012. *Manufacturing Chocolate for Entrepreneurial Endeavors*. In: ZHAO, Yanyun. Specialty Foods. Vyd. 1. Boca Raton: CRC Press, s. 159-198. ISBN 9780429108754.

LAZAR, David. *Dancing on Cocoa Beans*. Online, obrázek. In: David Lazar. ©2024. Dostupné z: <https://davidlazarphoto.com/galleries/guatemala-and-mexico/013-david-lazar-tnt/>. [cit. 2024-10-25].

LEGARRETA, Xabier; SMITHA, Beccy; FRYER, Peter; INGRAM, Andy a BAKALIS, Serafim. *Optimisation of chocolate refining*. Online, obrázek. In: University of Birmingham. Dostupné z: <https://www.birmingham.ac.uk/Documents/college-eps/chemical/engd/projects/abstracts/engd-legarreta.pdf>. [cit. 2024-10-25].

LEMARCQ, Valérie; VAN DE WALLE, Davy; MONTERDE, Viena; SIORIKI, Eleni a DEWETTINCK, Koen, 2021. Assessing the flavor of cocoa liquor and chocolate through instrumental and sensory analysis: a critical review. Online. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Roč. 62, č. 20, s. 5523-5539. ISSN 1040-8398. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1887076>. [cit. 2024-10-28].

LI, Jia-Jia; DONG, Man; LIU, Yan-Long; ZHANG, Lu-Lu; ZHANG, Yan et al., 2016. Effect of Food Emulsifiers on Aroma Release. Online. *Molecules*. Roč. 21, č. 4. ISSN 1420-3049. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/molecules21040511>. [cit. 2024-08-14].

LIPPI, Donatella, 2013. Chocolate in History: Food, Medicine, Medi-Food. Online. *Nutrients*. Roč. 5, č. 5, s. 1573-1584. ISSN 2072-6643. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/nu5051573>. [cit. 2024-07-01].

LOPES, Uilson V. a PIRES, Jose L, 2014. Botany and production of cocoa. In: SCHWAN, Rosane F. a FLEET, Graham H. *Cocoa and Coffee Fermentations*. Boca Raton: CRC Press, s. 43-64. ISBN 9780429062926.

LÓPEZ DEL AMO, Blanca a AKIZU-GARDOKI, Ortzi, 2024. Derived Environmental Impacts of Organic Fairtrade Cocoa (Peru) Compared to Its Conventional Equivalent (Ivory Coast) through Life-Cycle Assessment in the Basque Country. Online. *Sustainability*. Roč. 16, č. 2, s. 493. ISSN 2071-1050. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su16020493>. [cit. 2024-07-01].

MALMOS, Kirsten G.; GOUILLEUX, Boris; SØNDERSKOV, Patrick; ANDERSEN, Tommy; FRAMBØL, Jens Viggo et al., 2018. Quantification of Ammonium Phosphatide Emulsifiers in Chocolate Using ³¹P NMR Spectroscopy. Online. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Roč. 66, č. 39, s. 10309-10316. ISSN 0021-8561. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b04379>. [cit. 2025-03-28].

MCCARTHY, Kathryn L. a MCCARTHY, Michael J., 2008. Oil Migration in Chocolate–Peanut Butter Paste Confectionery as a Function of Chocolate Formulation. Online. *Journal of Food Science*. Roč. 73, č. 6. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00797.x>. [cit. 2025-03-26].

MILIĆEVIĆ, Nataša; SAKAČ, Marijana; HADNAĐEV, Miroslav; ŠKROBOT, Dubravka; ŠARIĆ, Bojana et al., 2020. Physico-chemical properties of low-fat cookies containing wheat and oat bran gels as fat replacers. Online. *Journal of Cereal Science*. Roč. 95. ISSN 0733-5210. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103056>. [cit. 2024-09-15].

MOHAMAD, Nizaha Juhaida; GRAY, David a WOLF, Bettina, 2020. Spinach leaf and chloroplast lipid: A natural rheology modifier for chocolate? Online. *Food Research International*. Roč. 133. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109193>. [cit. 2025-04-07].

MONTAGNA, Maria T.; DIELLA, Giusy; TRIGGIANO, Francesco; CAPONIO, Giusy R.; GIGLIO, Osvalda D. et al., 2019. Chocolate, “Food of the Gods”: History, Science, and Human Health. Online. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Roč. 16, č. 24, s. 4960. ISSN 1660-4601. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijerph16244960>. [cit. 2024-07-01].

MOONEN, Hans a BAS, Henny, 2014. Mono– and Diglycerides. In: NORN, Viggo. *Emulsifiers in Food Technology*. Vyd. 2. Hoboken: John Wiley & Sons, s. 73-90. ISBN 978-1-5231-1065-0.

MOUSAZADEH, Morad; MOUSAVI, Mohammad; EMAM-DJOMEH, Zahra; ALI AHMED, Salar; HADINEZHAD, Mehri et al., 2023. Sensorial, textural, and rheological analysis of novel pistachio-based chocolate formulations by quantitative descriptive analysis. Online. *Food Science & Nutrition*. Roč. 11, s. 7120-7129. ISSN 2048-7177. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/fsn3.3637>. [cit. 2024-10-27].

NASYRAH, A.R.; MARIKKAR, J.M.N. a DZULKIFLY, M.H., 2012. Discrimination of plant and animal derived MAG and DAG by principal component analysis of fatty acid composition and thermal profile data. Online. *International Food Research Journal*. Roč. 19, č. 4, s. 1497-1501. ISSN 1985-4668. [cit. 2025-04-14].

NIGHTINGALE, Lia M.; CADWALLADER, Keith R. a ENGESETH, Nicki J., 2012. Changes in Dark Chocolate Volatiles during Storage. Online. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Roč. 60, č. 18, s. 4500-4507. ISSN 0021-8561. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/jf204718z>. [cit. 2024-07-27].

NYITRAI, Ákos; URBIN, Ágnes; NAGY, Balázs V. a SIPOS, László, 2022. Novel approach in sensory color masking: Effects of colored environments on chocolates with different cocoa content. Online. *Food Quality and Preference*. Roč. 95. ISSN 0950-3293. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104363>. [cit. 2024-09-15].

OBA, Sirin; TOKER, Omer Said; PALABIYIK, İbrahim; KONAR, Nevzat; GOKTAS, Hamza et al., 2017. Rheological and melting properties of sucrose-free dark chocolate. Online. *International Journal of Food Properties*. Roč. 20, s. 2096-2106. ISSN 1094-2912. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1362652>. [cit. 2025-03-11].

OELLIG, Claudia; BLANKART, Max; HINRICHS, Jörg; SCHWACK, Wolfgang a GRANVOGL, Michael, 2020. Determination of mono – and diacylglycerols from E 471 food emulsifiers in aerosol whipping cream by high-performance thin-layer chromatography–fluorescence detection. Online. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. Roč. 412, č. 27, s. 7441-7451. ISSN 1618-2642. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00216-020-02876-2>. [cit. 2024-08-25].

OSTROWSKA-LIGEŻA, Ewa; MARZEC, Agata; GÓRSKA, Agata; WIRKOWSKA-WOJDYŁA, Magdalena; BRYŚ, Joanna et al., 2019. A comparative study of thermal and textural properties of milk, white and dark chocolates. Online. *Thermochimica Acta*. Roč. 671, s. 60-69. ISSN 00406031. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2018.11.005>. [cit. 2025-03-09].

PIROUZIAN, Haniyeh R.; KONAR, Nevzat; PALABIYIK, Ibrahim; OBA, Sirin a TOKER, Omer S., 2020. Pre-crystallization process in chocolate: Mechanism, importance and novel aspects. Online. *Food Chemistry*. Roč. 321. ISSN 0308-8146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126718>. [cit. 2024-07-01].

POMBAL, Maria; MARCET, Ismael; RENDUELES, Manuel a DIAZ, Mario, 2024. Emulsifiers: Their Influence on the Rheological and Texture Properties in an Industrial Chocolate. Online. *Molecules*. Roč. 29, č. 21. ISSN 1420-3049. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/molecules29215185>. [cit. 2025-02-15].

QIN, Xiao-Wei; LAI, Jian-Xiong; TAN, Le-He; HAO, Chao-Yun; LI, Fu-Peng et al., 2017. Characterization of volatile compounds in Criollo, Forastero, and Trinitario cocoa seeds (*Theobroma cacao* L.) in China. Online. *International Journal of Food Properties*. Roč. 20, č. 10, s. 2261-2275. ISSN 1094-2912. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1236270>. [cit. 2024-07-01].

QUELAL, Orlando M.; HURTADO, David P.; BENAVIDES, Andrés A.; ALANES, Pamela V. a ALANES, Norka V., 2023. Key Aromatic Volatile Compounds from Roasted Cocoa Beans, Cocoa Liquor, and Chocolate. Online. *Fermentation*. Roč. 9, č. 2., s.166. ISSN 2311-5637. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/fermentation9020166>. [cit. 2024-07-01].

QUELAL-VÁSCONEZ, Maribel A.; LERMA-GARCÍA, María J.; PÉREZ-ESTEVE, Édgar; ARNAU-BONACHERA, Alberto; BARAT, José M. et al., 2020. Changes in methylxanthines and flavanols during cocoa powder processing and their quantification by near-infrared spectroscopy. Online. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technology*. Roč. 117. ISSN 0023-6438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108598>. [cit. 2024-07-01].

ROSALES, Czarina K.; KLINKESORN, Utai a SUWONSICHON, Suntaree, 2017. Effect of crystal promoters on viscosity and melting characteristics of compound chocolate. Online. *International Journal of Food Properties*. Roč. 20, č. 1, s. 119-132. ISSN 1094-2912. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1147458>. [cit. 2025-03-11].

SAFFOLD, Ariana C. a ACEVEDO, Nuria C., 2022. The effect of mono– diglycerides on the mechanical properties, microstructure, and physical stability of an edible rice bran wax–gelatin biphasic gel system. Online. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. Roč. 99, č. 11, s. 1033-1043. ISSN 0003-021X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/aocs.12640>. [cit. 2024-08-25].

SAMANTA, Sharmistha; SARKAR, Tanmay; CHAKRABORTY, Runu; REBEZOV, Maksim; SHARIATI, Mohammad A. et al., 2022. Dark chocolate: An overview of its biological activity, processing, and fortification approaches. Online. *Current Research in Food Science*. Roč. 5, s. 1916-1943. ISSN 2665-9271. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.10.017>. [cit. 2024-07-28].

SANTOS, Paulo H. S.; SUZUKI, Cristina K. a LANNES, Suzana C. da S., 2025. Effects of Adding Micronutrient Mixtures to a Model Dark Chocolate System and Partially Replacing the Fat Phase with a Structuring Oleogel. Online. *Foods*. Roč. 14, č. 3. ISSN 2304-8158. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods14030430>. [cit. 2025-03-11].

SAPUTRO, Arifin D.; VAN DE WALLE, Davy; KADIVAR, Sheida; BIN SINTANG, Mohd D.; VAN DER MEEREN, Paul et al., 2017. Investigating the rheological, microstructural and textural properties of chocolates sweetened with palm sap-based sugar by partial replacement. Online. *European Food Research and Technology*. Roč. 243, č. 10, s. 1729-1738. ISSN 1438-2377. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2877-3>. [cit. 2025-02-28].

SARITAŞ, Sümeyye; DUMAN, Hatice; PEKDEMİR, Burcu; ROCHA, João M.; OZ, Fatih et al., 2024. Functional chocolate: exploring advances in production and health benefits. Online. *International Journal of Food Science & Technology*. Roč. 59, č. 8, s. 5303-5325. ISSN 0950-5423. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/ijfs.17312>. [cit. 2024-08-11].

SELVASEKARAN, Pavidharshini a CHIDAMBARAM, Ramalingam, 2024. Pea protein isolate-kappa-carrageenan complex coacervate as a lecithin substitute and their effect on physical properties, polymorphism, and melting behaviour of dark chocolates. Online. *Food Hydrocolloids*. Roč. 157. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110404>. [cit. 2025-03-02].

SERVAIS, Casey; Ranc, H.; Roberts, Ian D., 2003. Determination of chocolate viscosity. Online. *Journal of Texture Studies*. Roč. 34, č. 5-6, s. 467-497. ISSN 0022-4901. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2003.tb01077.x>. [cit. 2024-10-28].

SCHANTZ, Birgit a ROHM, Harald, 2005. Influence of lecithin-PGPR blends on the rheological properties of chocolate. Online. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technology*. Roč. 38, č. 1, s. 41-45. ISSN 0023-6438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.03.014>. [cit. 2024-08-14].

SOCACIU, Carmen a DIEHL, Horst A., 2008. Instruments to Analyze Food Colors. In: OTLES, Semih. *Handbook of Food Analysis Instruments*. Vyd. 1. Boca Raton: CRC Press, s. 229-243. ISBN 9780429147340.

STAROWICZ, Małgorzata; KOUTSIDIS, Georgios a ZIELIŃSKI, Henryk, 2017. Sensory analysis and aroma compounds of buckwheat containing products—a review. Online. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Roč. 58, č. 11, s. 1767-1779. ISSN 1040-8398. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1284742>. [cit. 2024-10-28].

SVANBERG, Lina; AHRNÉ, Lílía M.; LORÉN, Niklas a WINDHAB, Erich J., 2011. Effect of sugar, cocoa particles and lecithin on cocoa butter crystallisation in seeded and non-seeded chocolate model systems. Online. *Journal of Food Engineering*. Roč. 104, č. 1, s. 70-80. ISSN 0260-8774. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.09.023>. [cit. 2024-07-01].

SVANBERG, Lina; AHRNÉ, Lílía M.; LORÉN, Niklas a WINDHAB, Erich J., 2013. Impact of pre-crystallization process on structure and product properties in dark chocolate. Online. *Journal of Food Engineering*. Roč. 114, č. 1, s. 90-98. ISSN 0260-8774. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.06.016>. [cit. 2024-07-01].

SVĚT PLODŮ. *Jak roste kakao?* Online, obrázek. In: SVĚT PLODŮ. 25.5.2024. Dostupné z: <https://www.svetplodu.cz/clanek/99/jak-roste-kakao/>. [cit. 2024-10-25].

TAN, Juzhong a BALASUBRAMANIAN, Balu M., 2017. Particle size measurements and scanning electron microscopy (SEM) of cocoa particles refined/conched by conical and cylindrical roller stone melangers. Online. *Journal of Food Engineering*. Roč. 212, s. 146-153. ISSN 02608774. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.033>. [cit. 2025-03-01].

TAN, Juzhong a KERR, William L., 2018. Determination of chocolate melting properties by capacitance based thermal analysis (CTA). Online. *Journal of Food Measurement and Characterization*. Roč. 12, č. 1, s. 641-649. ISSN 2193-4126. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9677-0>. [cit. 2024-07-13].

TEWKESBURY, Heather; STAPLEY, Andrew G.F a FRYER, Peter J., 2000. Modelling temperature distributions in cooling chocolate moulds. Online. *Chemical Engineering Science*. Roč. 55, č. 16, s. 3123-3132. ISSN 0009-2509. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(99\)00578-3](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(99)00578-3). [cit. 2024-07-03].

THE CHOCOLATE JOURNALIST. *Fermentation: The Magical Step To Amazing Chocolate*. Online, obrázek. In: The chocolate journalist. ©13.10.2016. Dostupné z: <https://www.thechocolatejournalist.com/blog/fermentation-magical-step-chocolate>. [cit. 2024-10-25].

TOKER, Omer S.; OZONUK, Seyma; GUNES, Recep; ICYER, Necattin C.; RASOULI, Haniyeh P. et al., 2024. Importance of emulsifiers in chocolate industry: Effect on structure, machinability, and quality of intermediate and final products. Online. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. Roč. 101, č. 8, s. 721-733. ISSN 0003-021X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/aocs.12829>. [cit. 2024-08-14].

TOKER, Omer S.; PALABIYIK, Ibrahim a KONAR, Nevzat, 2019. Chocolate quality and conching. Online. *Trends in Food Science & Technology*. Roč. 91, s. 446-453. ISSN 0924-2244. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.047>. [cit. 2024-07-01].

WADE, Andrea H.; MORRA, Matthew J.; SMITH, Brennan a POPOVA, Inna, 2021. Yellow and oriental mustard seed lecithin content and composition. Online. *Journal of Food Composition and Analysis*. Roč. 98. ISSN 08891575. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103819>. [cit. 2025-03-25].

WANG, Yilin a EWOLDT, Randy H, 2023. Thixotropy, antithixotropy, and viscoelasticity in hysteresis. Online. *Journal of Rheology*. Roč. 67, č. 6, s. 1199-1219. ISSN 0148-6055. Dostupné z: <https://doi.org/10.1122/8.0000620>. [cit. 2025-03-21].

WONG, Keat Y.; THOO, Yin Y.; TAN, Chin P. a SIOU, Lee F., 2024. Effect of alternative sweetener and carbohydrate polymer mixtures on the physical properties, melting and crystallization behaviour of dark compound chocolate. Online. *Food Chemistry*. Roč. 431. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137118>. [cit. 2025-03-11].

XIA, Boxue; SHEN, Yi; ZHAO, Ru; DENG, Jie a WANG, Cuina, 2024. Interactions with soy lecithin regulate the emulsification capacity of pea protein: Effects of soy lecithin concentration. Online. *Food Hydrocolloids*. Roč. 155. ISSN 0268-005X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110168>. [cit. 2024-08-14].

YANG, Yu; DARWISH, Ahmed G.; EL-SHARKAWY, Islam; ZHU, Qibing; SUN, Shangpeng et al., 2022. Rapid determination of the roasting degree of cocoa beans by extreme learning machine (ELM)-based imaging analysis. Online. *Journal of Agriculture and Food Research*. Roč. 10. ISSN 2666-1543. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100437>. [cit. 2024-07-01].

ZARIĆ, Danica B.; RAKIN, Marica B.; BULATOVIĆ, Maja Lj.; DIMITRIJEVIĆ, Ivan D.; OSTOJIN, Vanja D. et al., 2024. Rheological, Thermal, and Textural Characteristics of White, Milk, Dark, and Ruby Chocolate. Online. *Processes*. Roč. 12, č. 12. ISSN 2227-9717. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/pr12122810>. [cit. 2025-03-01].

ŻYŻELEWICZ, Dorota; KRYSIAK, Wiesława; ORACZ, Joanna; SOSNOWSKA, Dorota; BUDRYN, Grażyna et al., 2016. The influence of the roasting process conditions on the polyphenol content in cocoa beans, nibs and chocolates. Online. *Food Research International*. Roč. 89, s. 918-929. ISSN 0963-9969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.03.026>. [cit. 2024-07-01].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Odrůdy kakaových bobů	17
Obrázek 2 Schéma zpracování kakaových bobů	19
Obrázek 3 Vyjmutí kakaových bobů a uložení do beden pro následnou fermentaci	20
Obrázek 4 Fermentace kakaových bobů v krabici s banánovými listy.....	22
Obrázek 5 Fermentace kakaových bobů na hromadě	22
Obrázek 6 Sušení kakaových bobů na slunci.....	23
Obrázek 7 Leštění kakaových bobů „tančení kaka“	25
Obrázek 8 Různé barvy kakaového prášku z procesu alkalizace	26
Obrázek 9 Schéma výroby čokolády	29
Obrázek 10 Schéma zjemňování pomocí dvouválcového melanžeru a pětiválcového melanžeru.....	31
Obrázek 11 Krystalizace různých druhů čokolád	33
Obrázek 12 Příklad balení do hliníkové fólie a papíru	35
Obrázek 13 Melanžér s čokoládovou hmotou	53
Obrázek 14 Diferenciální skenovací kalorimetr	57
Obrázek 15 Přístroj Hunter-Lab pro měření barevnosti	58
Obrázek 16 Reometr Kinexus.....	59
Obrázek 17 Soxtherm Gerhardt	60
Obrázek 18 Graf Cassonovy plastické viskozity	63
Obrázek 19 Graf meze kluzu	64
Obrázek 20 Graf tixotropie jednotlivých modelových vzorků	66
Obrázek 21 Graf barevné difference modelových vzorků čokolád	72
Obrázek 22 Graf tvrdosti vyrobených modelových vzorků čokolád.....	73
Obrázek 23 Graf profilu tání vzorků čokolády	76
Obrázek 24 Graf senzorického hodnocení jednotlivých vzorků čokolád	81

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Členění čokolád na druhy a skupiny	36
Tabulka 2 Fyzikální a chemické požadavky na jakost jednotlivých druhů čokolád.....	38
Tabulka 3 Rostlinné tuky, které jsou povoleny jako náhrady kakaového másla	39
Tabulka 4 Surovinová skladba pro výrobu modelových vzorků čokolád.....	53
Tabulka 5 Složení vzorků hořké čokolády.....	54
Tabulka 6 Reologické parametry jednotlivých vzorků	62
Tabulka 7 Výsledné hodnoty tixotropie jednotlivých vzorků čokolád	65
Tabulka 8 Naměřené hodnoty velikosti částic	67
Tabulka 9 Specifický povrch jednotlivých vzorků	68
Tabulka 10 Světlost jednotlivých vzorků vyrobených čokolád	70
Tabulka 11 Rozdíl barevnosti vzorků čokolád vůči MIX.....	71
Tabulka 12 Tvrdost jednotlivých vzorků čokolád	73
Tabulka 13 Naměřené hodnoty tepelného chování modelových vzorků čokolád	75
Tabulka 14 Obsah tuku ve vzorcích čokolád	78
Tabulka 15 Obsah vlhkosti jednotlivých vzorků čokolád.....	79
Tabulka 16 Korelace jednotlivých vzorků	80

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

(D _{3,2})	Sauterův průměr
ΔE	barevná difference
ΔH	entalpie
a*	hodnota na ose zelená → červená
AMP	fosfatidy amonné
b*	hodnota na ose modrá → žlutá
C*	sytost
CIELAB	barevný prostor
DAG	diacylglycerol
DSC	diferenciální skenovací kalorimetrie
Dv(10)	efektivní objemový průměr
Dv(50)	střední objemový průměr
Dv(90)	objemový průměr
E471	mono– a diglyceridy mastných kyselin
GMO	geneticky modifikovaný organismus
GMP	glycerolmonopalmitát
h*	odstín
HACCP	analýza rizik a stanovení kritických kontrolních bodů
HDL	lipoprotein o vysoké hustotě (high-density lipoprotein)
HLB	hydrofilně-lipofilní rovnováha
L*	světlost
LDL	lipoprotein o nízké hustotě (low-density lipoprotein)
MAG	monoacylglycerol
MIX	mixovaný standard
PCC	Pearsonův korelační koeficient (pro Casson model fit)

PGPR	polyglycerol polyricinoleate
PSD	distribuce velikosti částic
RSIN	Reflectance Specular Exluded (zahrnuje zrcadlovou složku odrazu)
STAN	standard
TAG	triacylglycerol
T_{end}	konečná teplota
T_o	počáteční teplota
T_p	teplota píku
V/O	voda v oleji
η_c	Cassonova plastická (smyková) viskozita
τ_{0C}	Cassonova mez kluzu