

# Vliv složení na vybrané vlastnosti čokolády

Kristýna Hósová

---

Bakalářská práce  
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Kristýna Hósová
Osobní číslo:	T19105
Studijní program:	B0721A210002 Technologie a hodnocení potravin
Specializace:	Technologie potravin
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Vliv složení na vybrané vlastnosti čokolády.

## Zásady pro vypracování

### I. Teoretická část

Čokoláda, její původ a výroba.

Krystalizace a polymorfismus kakaového másla.

Metody zkoumání kakaového másla a čokolády.

### II. Praktická část

Charakterizace vybraných druhů čokolád.

Postupy stanovení.

Vyhodnocení a diskuze výsledků.

Formulace závěrů.

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

**Seznam doporučené literatury:**

- [1] ČOPÍKOVÁ, Jana. *Technologie čokolády a cukrovinek*. 2. přepracované a aktualizované vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2020. ISBN isbn978-80-7592-077-5
- [2] GARTI, Nissim a Neil R. WIDLAK. *Cocoa butter and related compounds*. Urbana, IL: AOCS Press, c2012. ISBN 978-0-9830791-2-5
- [3] AFOAKWA, Emmanuel Ohene. *Cocoa production and processing technology*. Boca Raton: CRC Press, [2014]. ISBN 978-1-4665-9824-9
- [4] IOANNIDI, Eleni, Jens RISBO, Esben AARØE a Frans W. J. VAN DEN BERG. Thermal Analysis of Dark Chocolate with Differential Scanning Calorimetry-Limitations in the Quantitative Evaluation of the Crystalline State. *Food Analytical Methods* [online]. 2021, ISSN 19369751. Dostupné z: doi:10.1007/s12161-021-02073-6
- [5] ROHM, H., B. BÖHME a J. SKORKA. The impact of grinding intensity on particle properties and rheology of dark chocolate. *LWT* [online]. 2018, **92**, 564 – 568 [cit. 2021-8-20]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2018.03.006

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

Datum zadání bakalářské práce: **31. prosince 2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2023**

L.S.

---

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.**  
děkan

---

**Ing. Robert Gál, Ph.D.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 20. února 2023

## PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou 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 autorského zákona mohu užit své dílo – bakalářskou 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 bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské 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 bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce bylo posoudit vliv složení čokolád Lindt s různým obsahem kakaové sušiny, mléčné sušiny a kakaového másla na vybrané fyzikálně-chemické vlastnosti. Distribuce velikosti částic byla vyjádřena jako objemově střední průměr částic a medián průměru částic. Pro mléčné čokolády byl  $D[4,3]$  v rozmezí od  $(54,4 \pm 1,1)$  nm až  $(63,4 \pm 1,3)$  nm a pro hořké čokolády  $(71,8 \pm 1,4)$  nm až  $(105,9 \pm 2,1)$  nm. Z měření texturních vlastností vyplývá, že čokolády obsahující mléčnou sušinu mají výrazně nižší tvrdost  $(11,24 \pm 0,78)$  N pro 30 % (w/w) kakaové sušiny než čokolády hořké,  $(33,75 \pm 0,20)$  N pro 70 % (w/w) kakaové sušiny. Reologická měření potvrdily, že všechny vzorky vykazují pseudoplastické chování. Výsledky hodnot Cassonovy plastické viskozity měly stejný trend jako výsledky tvrdosti čokolád a byly výrazně ovlivněny obsahem kakaového másla a mléčné sušiny. Profil teploty tání vzorků čokolád byl měřen na DSC. Endotermní pík teploty tání byl v teplotním rozmezí  $31,21 - 34,29$  °C. Toto teplotní rozmezí odpovídá teplotě tání stabilní krystalické formy V kakaového másla. Pík teploty tání mléčných čokolád byl zaznamenán při nižších teplotách než u vzorků hořkých čokolád, protože zahrnuje i teplotu tání mléčného tuku.

Klíčová slova: čokoláda, kakaové boby, kakaové máslo, kakaová sušina, reologie, textura, DSC

## **ABSTRACT**

The aim of this bachelor's thesis was to assess the influence of the composition of Lindt chocolates with different cocoa solids, milk solids and cocoa butter content on selected physicochemical properties. The volume mean diameter and median diameter of particle size distribution for the chocolates D[4,3] were ranged from  $(54,4 \pm 1,1)$  nm to  $(63,4 \pm 1,3)$  nm for milk chocolates and  $(71,8 \pm 1,4)$  nm to  $(105,9 \pm 2,1)$  nm for dark chocolates, respectively. Measurements of the textural properties show that chocolates containing milk solids have a significantly lower hardness of  $(11,24 \pm 0,78)$  N for 30 % (w/w) cocoa solids than for dark chocolates of  $(33,75 \pm 0,20)$  N for 70 % (w/w) cocoa solids. Rheological measurements confirmed that all samples exhibited pseudoplastic behaviour. The results of the Casson plastic viscosity values followed the same trend as those of the hardness of the chocolates and were strongly influenced by the cocoa butter and milk solids content. The melting profile of the chocolate samples was measured by DSC. The endothermic peak melting temperature was observed in the temperature range of  $31,21 - 34,29$  °C. This temperature range corresponds to the melting temperature of the cocoa butter stable crystalline form V. The melting temperature peak of the milk chocolates includes the melting temperature of the milk fat and was recorded at lower temperatures than for the dark chocolate samples.

Keywords: chocolate, cocoa beans, cocoa butter, cocoa solids, rheology, texture, DSC

Ráda bych na tomto místě poděkovala vedoucí této bakalářské práce paní doc. Mgr. Barboře Lapčíkové, Ph.D. za její odborné rady, čas a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování této práce věnovala.

Mé srdečné díky patří také mé rodině a příteli za neustálou podporu nejen během psaní této práce, ale během celého mého studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

## OBSAH

ÚVOD.....	10
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>11</b>
<b>1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA ČOKOLÁDY .....</b>	<b>12</b>
1.1 DEFINICE ČOKOLÁDY A JEJICH DRUHŮ.....	12
<b>2 HISTORIE A PŮVOD KAKAOVNÍKU A ČOKOLÁDY .....</b>	<b>16</b>
<b>3 CHARAKTERISTIKA A PĚSTOVÁNÍ KAKAOVNÍKU .....</b>	<b>17</b>
<b>4 DALŠÍ SUROVINY PRO VÝROBU ČOKOLÁDY .....</b>	<b>19</b>
4.1 TUKY.....	19
4.2 EMULGÁTORY .....	20
4.3 MLÉČNÉ SOUČÁSTI.....	21
4.4 CUKRY .....	22
<b>5 VÝROBA ČOKOLÁDY .....</b>	<b>24</b>
5.1 ZPRACOVÁNÍ KAKAOVÝCH BOBŮ .....	24
5.1.1 Sklizeň.....	24
5.1.2 Fermentace .....	24
5.1.3 Sušení .....	26
5.1.4 Čištění .....	28
5.1.5 Balení a skladování .....	28
5.1.6 Předpražení, drcení.....	29
5.1.7 Pražení.....	29
5.1.8 Sterilizace.....	30
5.1.9 Alkalizace.....	31
5.2 MLETÍ KAKAOVÉ DRTI.....	31
5.3 MÍSENÍ ČOKOLÁDOVÝCH HMOT.....	32
5.4 ZJEMŇOVÁNÍ.....	33
5.5 KONŠOVÁNÍ .....	34
5.6 TEMPERACE.....	36
5.7 TVAROVÁNÍ A CHLAZENÍ.....	37
5.8 BALENÍ.....	38
5.9 SKLADOVATELNOST .....	39
<b>6 KRYSTALIZACE A POLYMORFISMUS KAKAOVÉHO MÁSLA.....</b>	<b>41</b>
6.1 TUKOVÝ VÝKVĚT .....	44
<b>7 METODY ZKOUMÁNÍ KAKAOVÉHO MÁSLA A ČOKOLÁDY .....</b>	<b>47</b>
7.1 STANOVENÍ VELIKOSTI ČÁSTIC ČOKOLÁDY .....	47
7.2 STANOVENÍ TEXTURY ČOKOLÁDY .....	49
7.3 STANOVENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ ČOKOLÁDY.....	51



7.4	DIFERENCIÁLNÍ SKENOVACÍ KALORIMETRIE ČOKOLÁDY .....	55
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>58</b>
<b>8</b>	<b>CÍL PRÁCE .....</b>	<b>59</b>
<b>9</b>	<b>CHARAKTERIZACE VYBRANÝCH DRUHŮ ČOKOLÁD .....</b>	<b>60</b>
<b>10</b>	<b>POSTUPY STANOVENÍ A METODIKA PRÁCE .....</b>	<b>63</b>
10.1	STANOVENÍ OBJEMOVÉ VELIKOSTI ČÁSTIC ČOKOLÁDY .....	63
10.2	STANOVENÍ TEXTURY ČOKOLÁDY .....	63
10.3	STANOVENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ ČOKOLÁDY .....	64
10.4	DIFERENCIÁLNÍ SKENOVACÍ KALORIMETRIE ČOKOLÁDY .....	65
<b>11</b>	<b>VYHODNOCENÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>66</b>
11.1	STANOVENÍ OBJEMOVÉ VELIKOSTI ČÁSTIC ČOKOLÁDY .....	66
11.2	STANOVENÍ TEXTURY ČOKOLÁDY .....	68
11.3	STANOVENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ ČOKOLÁDY .....	70
11.4	DIFERENCIÁLNÍ SKENOVACÍ KALORIMETRIE ČOKOLÁDY .....	74
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>80</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>88</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>90</b>

## ÚVOD

Čokoláda a čokoládové výrobky jsou celosvětově považovány za lahůdky. Spotřeba čokolády celosvětově stoupá a Česká republika není výjimkou. Spotřeba čokolády u nás se pohybuje zhruba kolem 5 kg na osobu a rok. Za zemi s dlouhodobě nejvyšší spotřebou čokolády je považováno Švýcarsko se potřebou zhruba 11 kg na osobu a rok (Čopíková, 2015). Za nejpravděpodobnější příčinu výrazné popularity čokolády lze považovat potěšení, které přináší její požívání. Při konzumaci čokolády dochází k vyvolání řady podnětů, které aktivují centra potěšení v lidském mozku (Afoakwa, 2010). Podstatný je samotný obsah kaka a kakaového másla, které společně vytvářejí typickou a nezapomenutelnou chuť a vlastnosti čokolády. Chuť čokolády a tím i zážitek z ní je umocněn rovněž vlastností kakaového másla, které je při pokojové teplotě v tuhém skupenství, avšak při teplotě lidského těla se roztápí (Beckett, 2008).

Celou řadou studií je prokázáno, že konzumace čokolády v přiměřeném množství prospívá nejen našemu psychickému stavu, ale také přináší zdravotní benefity a doplňuje tělu energii díky obsahu cukrů a tuků. Typickým příkladem je hořká čokoláda, která obsahuje tělu prospěšné flavonoidy, zejména pak katechiny, které se podílejí na prevenci kardiovaskulárních onemocnění, podporují imunitní systém, zvyšují vstřebávání živin a snižují krevní tlak. Dalším pozitivem je antioxidační schopnost, která pomáhá předcházet vzniku rakoviny. Některé studie ukazují, že konzumace čokolády zlepšuje náladu a navozuje pocit štěstí, čímž přispívá k pohodě člověka. (Afoakwa, 2010; Čopíková, 2015; Indiaro & kol., 2021; Talbot, 2012).

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA ČOKOLÁDY

## 1.1 Definice čokolády a jejích druhů

Čokoláda, čokoládové cukrovinky, kakaový prášek a směsi kakaa s cukrem musí splňovat požadavky zakotvené v Zákoně o potravinách a tabákových výrobcích č. 110/1997 Sb. a ve vyhlášce č. 76/2003, která stanovuje požadavky i pro přírodní sladidla, med a cukrovinky. Tato sbírka zákonů dále uvádí členění čokolády na druhy, skupiny a podskupiny a rovněž i fyzikální a chemické požadavky (Čopíková & kol., 2020; Vyhláška č. 76/2003 Sb.).

Čokoláda (hořká) je potravina vyrobená z kakaových součástí, přírodních sladidel, sladidel nebo jejich kombinací (dále označováno pouze jako sladidla), přídatných látek nebo látek určených k aromatizaci a dalších složek. Avšak mohou být přidány pouze takové látky určené k aromatizaci, které nenapodobují chuť čokolády nebo mléčného tuku. Tzv. další složky mohou být do čokolády přidány pouze do množství nepřesahující 40 % celkové hmotnosti výrobku. Do všech druhů čokolád je zakázáno přidávat živočišné tuky, které nepocházejí výhradně z mléka. Do všech druhů čokolády lze přidávat kromě kakaového másla i jiné rostlinné tuky, avšak jejich podíl nesmí být vyšší než 5 % ve výrobku po odečtení celkové hmotnosti všech použitých jiných jedlých složek a nesmí být snížen minimální obsah kakaového másla nebo celkové kakaové sušiny. Přídavek jiných tuků než kakaového másla musí být označen na obalu výrobku. Rostlinné tuky, které lze přidávat do čokolády jsou uvedeny níže v tabulce 1 (Vyhláška č. 76/2003 Sb.; Yates, 2009).

Tabulka 1 Povolené tuky k nahrazení kakaového másla v čokoládě a čokoládových výrobcích (Vyhláška č. 76/2003 Sb.)

Obvyklý název rostlinného tuku	Botanický název rostliny, ze které jsou tuky získávány
Illipe, bornejský tuk, Tengkawang	<i>Shorea spp.</i>
Palmový olej	<i>Elaeis guineensis</i> <i>Elaeis olifera</i>
Sal	<i>Shorea robusta</i>
Shea (bumbucký tuk, olej z máslovníku)	<i>Butyrospermum parkii</i>
Kokum gurgi	<i>Garcinia indica</i>
Olej z jader manga	<i>Mangifera indica</i>

Tyto rostlinné tuky musí dle vyhlášky č. 76/2003 splňovat několik požadavků. Tuky nesmí obsahovat kyselinu laurovou. Musí být mísitelné s kakaovým máslem a to v jakémkoli poměru a také jsou slučitelné s jeho fyzikálními vlastnostmi, jako je bod tání, rychlost tání a teplota krystalizace. K získávání těchto tuků je použita rafinace nebo frakcionace (Vyhláška č. 76/2003 Sb.).

Čokoláda je vyhláškou č. 76/2003 Sb. členěna do šesti druhů. A to na čokoládu (hořkou), family mléčnou čokoládu, mléčnou čokoládu a bílou čokoládu. Všechny uvedené druhy se mohou dále dělit na skupiny v závislosti na tom, zda se jedná o čokoládu s přísadami, bez přísad, na vaření nebo plněnou. Tato skutečnost je vyobrazena níže v tabulce 2. Dalšími druhy čokolády jsou chocolate a la taza a chocolate familiar a la taza, které se od předchozích druhů odlišují možností přídavku mouky nebo granulovaného či práškového škrobu (pšeničného, rýžového, kukuřičného). Jednotlivé druhy čokolády a minimální procentní zastoupení jednotlivých součástí čokolády je popsáno v následujícím odstavci (Vyhláška č. 76/2003 Sb.).

Tabulka 2 Druhy čokolády (Vyhláška č. 76/2003 Sb.)

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

Hořká čokoláda se vyrábí primárně z kakaových součástí a sladidel. Pro účel redukce pravděpodobnosti vzniku výkvětu se může přidat mléčný tuk. Tento druh čokolády musí obsahovat min. 35 % celkové kakaové sušiny, min. 18 % kakaového másla a min. 14 % tukuprosté kakaové sušiny (Vyhláška č. 76/2003 Sb.; Yates, 2009).

Mléčná čokoláda je potravina vyrobená z kakaových součástí, mléka nebo mléčných výrobků a sladidel. Mléčná čokoláda obsahuje min. 2,5 % tukuprosté kakaové sušiny, min. 25 % celkové kakaové sušiny, min. 3,5 % mléčného tuku, min. 25 % celkového tuku (tj. součet obsahu kakaového másla a mléčného tuku) a min. 14 % mléčné sušiny (Vyhláška č. 76/2003 Sb.).

Family mléčná čokoláda se vyrábí z nižšího podílu kakaových součástí, sladidel a vyššího podílu mléka nebo mléčných součástí. Musí obsahovat min. 2,5 % tukuprosté kakaové sušiny, min. 20 % celkové kakaové sušiny, min. 5 % mléčného tuku, min. 25 % celkového tuku a min. 20 % mléčné sušiny (Vyhláška č. 76/2003 Sb.).

Bílá čokoláda je vyrobena z mléka nebo mléčných výrobků, sladidel a kakaového másla. Musí obsahovat min. 20 % kakaového másla, min. 3,5 % mléčného tuku a min. 14 % mléčné sušiny (Vyhláška č. 76/2003 Sb.).

Chocolate a la taza je vyrobena z kakaových součástí, sladidel a mouky nebo škrobu, přičemž obsah mouky nebo škrobu může činit max. 8 % celkové hmotnosti. Dále musí obsahovat min. 18 % kakaového másla, min. 14 % tukuprosté kakaové sušiny a min. 35 % celkové kakaové sušiny (Vyhláška č. 76/2003 Sb.).

Chocolate familiar a la taza může obsahovat až 18 % škrobu nebo mouky z celkové hmotnosti. Následovně musí obsahovat nejméně 18 % kakaového másla, nejméně 12 % tukuprosté kakaové sušiny a nejméně 30 % celkové kakaové sušiny (Vyhláška č. 76/2003 Sb.).

Plněná čokoláda je potravina, jejíž vnější vrstva je tvořena z čokolády hořké, mléčné, family mléčné nebo bílé. Vnější čokoládový podíl výrobku musí činit min. 25 % jeho celkové hmotnosti (Vyhláška č. 76/2003 Sb.).

Pojmem kakaové součásti se rozumí kakaová drť, kakaová hmota, kakaový prášek, kakaové máslo, kakaové výlisky a kakaový tuk (Vyhláška č. 76/2003 Sb.). Výše popsané skutečnosti jsou znázorněny níže v tabulce 3

Tabulka 3 Fyzikální a chemické požadavky na jakost čokolád (Vyhláška č. 76/2003 Sb.)

Druh čokolády	Obsah přísad [% hmot., vztaženo na sušinu]						
	kakaové máslo	tukuprostá kakaová sušina	celková kakaová sušina	mléčný tuk	celkový tuk*	mléčná sušina	mouka nebo škrob
hořká	18,0	14,0	35,0	-	-	-	-
mléčná	-	2,5	25,0	3,5	25,0	14,0	-
family mléčná	-	2,5	20,0	5,0	25,0	20,0	-
bílá	20,0	-	-	3,5	-	14,0	-
Chocolate a la taza	18,0	14,0	35,0	-	-	-	max. 8,0
Chocolate familiar a la taza	18,0	12,0	30,0	-	-	-	max. 18,0

Poznámka: Celkovým tukem (\*) se rozumí součet obsahu kakaového másla a mléčného tuku. Všechny uvedené hodnoty značí nejmenší množství, s výjimkou hodnot označených jako nejvyšší možné (Vyhláška č. 76/2003 Sb.).

## 2 HISTORIE A PŮVOD KAKAOVNÍKU A ČOKOLÁDY

Kakaovník pravý (*Theobroma cacao* L.) je původem ze Střední a Jižní Ameriky. Oblast růstu sahala od jižního Mexika až po Guatemalu a do míst horního toku řeky Amazonky a Orinoko v severozápadní Kolumbii (Čopíková, 2015). Prvními známými pěstiteli kakaovníku jsou Mayové a Aztékové. Kakaové boby byly velmi ceněny a Aztékové je považovaly za božskou plodinu. Boby byly rovněž využívány jako platidlo (Čopíková & kol., 2020). První využití kakaových bobů pro konzumaci přišlo s přípravou hořkého nápoje zvaného *chocolatl*. Tento nápoj byl připravován z upražených kakaových bobů, které se následně nadrtily mezi kameny. Poté byla uhnětena hmota, do které se přidávala studená voda pro vytvoření nápoje. Následně se přidávala vanilka nebo med pro dochucení (Afoakwa, 2014; Beckett, 2008). V 16. století byly mořeplavcem Kryštofem Kolumbem kakaové boby přivezeny do Španělska, avšak nedočkaly se velké obliby. Toto se změnilo později, když Hermán Cortés přivezl do Evropy kakaové boby společně s návodem na výrobu zmiňovaného kakaového nápoje, ke kterému se později začal přidávat i cukr a popularita nápoje vzrůstala (Čopíková, 2015). Kakaový nápoj byl původně konzumován pouze nejvyšší sociální třídou, na královských dvorech a v luxusních kavárnách vzhledem k jeho vysoké ceně (Afoakwa, 2010; Čopíková, 2015). Během 18. století byla čokoláda konzumována stále ve formě nápoje. Nápoj se připravoval z lisovaných čokoládových bloků, které se rozpustily ve vodě, popřípadě v mléku. Později s vývojem hydraulického zařízení na mletí kakaových bobů, došlo k masivní produkci těchto bloků (Afoakwa, 2010).

Z hlediska produkce kakaa a čokolády je velmi významný rok 1828, kdy byl Coenraadem Van Houtenem vynalezen lis, který byl schopen separovat kakaové máslo od kakaového prášku. Užitím této technologie se zvýšila rozpustnost kakaového prášku a zároveň se snížila jeho hořkost. Toto umožnilo výrobu první opravdové čokolády vyrobenou přidávkem kakaového másla a cukru do kakaového likéru. Také se snížila cena čokolády a došlo k jejímu z dostupnění. (Afoakwa, 2010; Afoakwa, 2014; Arcimovičová & Valíček, 1999). Výroba tabulkové čokolády, jak ji dnes známe, byla započata až v 19. století, kdy došlo k rozvoji výrobních technologií a je spojována se jmény jako například Joseph Fry, Rodolphe Lindt a Daniel Peters (Čopíková, 2015). Ve 20. století se vlivem nových efektivnějších výrobních a marketingových postupů zmenšily výrobní náklady, díky čemuž se čokoláda stala cenově dostupnou pro širší veřejnost (Afoakwa, 2010; Afoakwa, 2014).



### 3 CHARAKTERISTIKA A PĚSTOVÁNÍ KAKAOVNÍKU

Kakaovník je stálezelený vytrvalý strom s velkými, podlouhlými a celistvými listy. Dorůstá většinou výšky 2 až 6 metrů (Čopíková & kol., 2020). Obvyklý je vzrůst až 10 metrů, avšak kvůli snadnější sklizni je preferován vzrůst nižší (Afoakwa, 2010). Květy kakaovníku (vyobrazeny na obrázku 1) se vyznačují svojí většinou krémově žlutou, někdy až narůžovělou barvou a drobnou velikostí. Typický je růst ve svazcích (Čopíková & kol., 2020).



Obrázek 1 Květy kakaovníku (Beckett, 2008)

Plodem stromku je bobule o délce zhruba 20 cm a šířce 5 až 10 cm. Hmotnost plodu po sklizni činí od 300 do 500 g. Barva plodů se liší v závislosti na zralosti a odrůdě. Nezralé bobule se vyznačují svou zelenou barvou, avšak u některých odrůd je možné pozorovat červené zbarvení. Zralé plody jsou naopak zbarveny od odstínů žluté, červené až po hnědé. Semena (kakaové boby) této bobule jsou uvnitř uspořádány do pěti svislých řad a jsou uloženy v mohutné sladké dužnině. Barva samotných bobů je také závislá na odrůdě a stupni zralosti. Typický je přechod barvy zelené do odstínů žluté, oranžové a červené (Čopíková & kol., 2020).

Kakaovník se pěstuje ve vlhkých tropických oblastech s teplotou dosahující nejméně 27 °C a v nadmořské výšce zhruba 700 metrů. Půda by měla být hluboká, bohatá na živiny a dobře odvodněná. Vlhkost vzduchu by se měla pohybovat průměrně kolem 80 – 90 %. Kakaovník je mnohdy pěstován na plantážích společně s banánovníky a kokosovníky,

které mu poskytují zastínění a ochranu před větrem (Afoakwa, 2010; Afoakwa, 2014; Beckett, 2008). Kakaovník začíná plodit zhruba pět let po vysazení. Vzhledem k podmínkám prostředí, které kakaovník ke svému růstu vyžaduje, jsou tyto stromky poměrně náchylné k rozvoji různých houbových chorob a napadení škůdci (Čopíková & kol., 2020). Mezi nejvýznamnější oblasti pěstování kakaovníku se řadí Západní Afrika (Pobřeží slonoviny, Ghana, Nigérie), Latinská Amerika (Brazílie, Ekvádor), Malajsie a Jihovýchodní Asie (Afoakwa, 2010; Čopíková & kol., 2020).

Běžně pěstované druhy kakaovníku jsou členěny do tří skupin: Criollo, Forastero a Trinitario. Jednotlivé skupiny se liší především chutí a barvou kakaových bobů. Skupina Criollo se vyznačuje kakaovými boby světlejší a jemnější chuti a tvoří zhruba 5 % světové produkce. Vzhledem k jejich kvalitě se využívají k výrobě nejkvalitnějších čokolád. Skupina Forastero poskytuje menší kakaové boby trpké až nakyslé chuti s nachovým zabarvením. Tvoří až 90 % světové produkce. Poslední skupina Trinitario vznikla pravděpodobně zkřížením dvou předchozích skupin. Vyznačuje se také svou rezistencí vůči nemocem (Afoakwa, 2010; Čopíková & kol., 2020).

## 4 DALŠÍ SUROVINY PRO VÝROBU ČOKOLÁDY

### 4.1 Tuky

Tuk v čokoládě tvoří spojitou fázi, která obsahuje ostatní ingredience jako je cukr, mléčné složky, kakaový prášek a popřípadě některé další. V čokoládě dominují nasycené mastné kyseliny stearová (34 %), palmitová (27 %) a mononenasycená olejová kyselina (34 %) (El-kalyoubi & kol., 2011). V menším množství se v čokoládě vyskytuje kyselina myristová, linolonová a arachová (Čopíková & kol., 2020).

Velmi významnou tukovou součástí čokolády je kakaové máslo, které je získáváno lisováním kakaové hmoty. Jedná se tedy o souběžný produkt při výrobě kakaového prášku. (Čopíková, 2015; Čopíková & kol., 2020). Tento tuk má nažloutlou barvu a specifickou chuť i vůni (Arcimovičová & Valíček, 1999). Kakaové máslo se vyskytuje v pevném skupenství při teplotách pod 25 °C a taje při teplotách 32 – 34 °C, což je blízké teplotě lidského těla (Arcimovičová & Valíček, 1999; Beckett, 2008). Kakaové máslo je snadno zpracovatelné i dobře stravitelné. Výhodou je rovněž možnost delšího skladování vzhledem k obsahu antioxidačních látek inhibujících žluknutí (Arcimovičová & Valíček, 1999).

Avšak kakaové máslo je relativně drahá ingredience (Arcimovičová & Valíček, 1999). I z tohoto důvodu často dochází k nahrazení kakaového másla za jiné, levnější rostlinné tuky s podobnými vlastnostmi. Speciální tuky, které nahrazují kakaové máslo, nesmí být obsaženy ve množství přesahující 5 % hmotnosti čokolády. Tyto tuky musí být označeny na obalu jako rostlinné tuky (Čopíková, 2015; Čopíková & kol., 2020; Vyhláška č. 76/2003 Sb.; Yates, 2009). Další důvod k nahrazení kakaového másla může být například zvýšení bodu tání nebo prodloužení trvanlivosti (Coadyová, 2000).

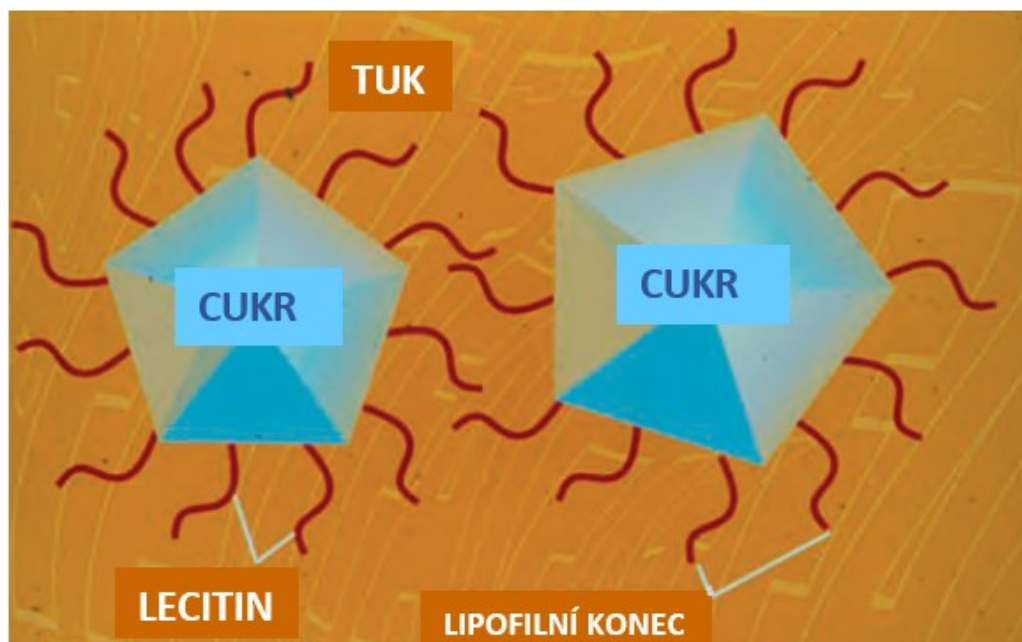
Speciální tuky se na základě mísitelnosti s kakaovým máslem rozdělují do dvou skupin. První skupinu tvoří tzv. ekvivalenty kakaového másla označované zkratkou CBE (z angl. equivalents). Smísením těchto látek vzniká soustava tuků, kterou je potřeba temperovat. Tyto látky lze mísit s kakaovým máslem v libovolném poměru, protože jejich chemické složení (kompozice triacylglycerolů) je velice podobné. Ekvivalenty kakaového másla jsou definovány v legislativě Evropské unie i České republiky. Jedná se o rostlinné tuky izolované frakcionací z tropických rostlin. Rostlinné tuky povolené do čokolády jsou uvedeny v tabulce 1. Přídavek CBE může ovlivnit fyzikální vlastnosti čokolády jako je například odolnost vůči teplotě, proto je taková čokoláda vhodná do oblastí s teplejším podnebím. Správně temperované čokolády s obsahem CBE disponují také vysokým leskem

a netvoří se na nich tukový výkvět. Vliv obsahu CBE nemá významný vliv na texturu čokolády (Čopíková, 2015; Čopíková & kol., 2020; El-kalyoubi & kol., 2011; Talbot, 2009; Vyhláška č. 76/2003 Sb.).

Druhou skupinu tvoří tuky, které není nutné temperovat. Jedná se o tuky, které jsou pouze částečně mísitelné nebo zcela nemísitelné s kakaovým máslem. Označují se CBR (z angl. replacers) a CBS (z angl. substitutes). Hlavním rozdílem mezi CBR a CBS je obsah kyseliny laurové. Náhradní tuky bez obsahu kyseliny laurové (CBR) jsou částečně mísitelné s kakaovým máslem (Čopíková & kol., 2020). Avšak náhrady kakaového másla obsahující kyselinu laurovou (CBS) mohou být v čokoládě použity pouze k úplnému nahrazení kakaového másla nebo popřípadě přidány pouze v k velmi nízkému množství kakaového másla. Mezi CBS se řadí například kokosové oleje (Beckett, 2008; El-kalyoubi & kol., 2011).

## 4.2 Emulgátory

Zásadní funkce emulgátorů je stabilizace tuku ve hmotě (Čopíková & kol., 2020). Emulgátor vytváří bariéru mezi dvěma nemísitelnými hmotami. Čokoláda v kapalné fázi teče, díky pohybu částic přes ostatní částice čokolády. Aby k tomuto docházelo, musí být všechny pevné částice pokryty tukem, k čemuž se využívají právě emulgátory. Emulgátor obalí pevné částice a tvoří tak vrstvu mezi nimi a tukem (Beckett, 2008). Schéma vyobrazující funkci emulgátoru je níže na obrázku 2.



Obrázek 2 Schéma znázorňující funkci emulgátoru (upraveno dle Beckett, 2008)

Emulgátory se uplatňují při výrobě a následně i při skladování hotového výrobku. V případě čokolády pozitivně ovlivňují chuť a viskozitu. Znemožňují krystalizaci tuku při polymorfních přeměnách a tím zabraňují vzniku tukového výkvětu. Emulgátory v závislosti na daném typu a složení ovlivňují sensorickou i technologickou kvalitu čokolády. Používání emulgátorů ovlivňuje taktéž cenu výrobního procesu a tím samozřejmě i cenu finálního produktu. Pokud je čokoláda vyrobena bez použití emulgátorů, k dosažení přijatelné viskozity je potřeba zvýšené množství tuku. Avšak právě kakaové máslo je nejdražší surovinou při výrobě čokolády (Yates, 2009).

Nejčastěji používanými emulgátory při výrobě čokolády jsou rostlinné lecitiny (E322), a to sójové nebo slunečnicové. (Čopíková & kol., 2020). Pro značné ovlivnění vlastností čokolády stačí použít relativně malé množství lecitinu. Nicméně přesné množství tohoto emulgátoru závisí na dalších faktorech, jako je například obsah vlhkosti, tuku a velikost částic čokolády. S přibývajícím velikostí částic čokolády, se zvětšuje potřebné množství lecitinu. A se zvětšujícím se obsahem tuku, se snižuje schopnost lecitinu ovlivňovat reologické vlastnosti (Yates, 2009).

### 4.3 Mléčné součásti

Mléčná čokoláda představuje jednu z nejpobulárnějších kombinací chutí, a to osobitou chuť čokolády a jemnost mléčného tuku (Metin & Hartel, 2012). Ve většině států světa je mléčná čokoláda konzumována ve větší míře než hořká a bílá čokoláda dohromady. Vyznačuje se svou měkkostí a krémovější chutí v porovnání s čokoládou hořkou. Pro výrobu čokolády je běžně využívána celá řada mléčných produktů, jako je například sušené plnotučné mléko, sušené odstředěné mléko, sušená syrovátka nebo laktóza. Používání surovin v sušené podobě je pro výrobu čokolády vhodnější, protože předchází problémům s viskozitou (tokovými vlastnostmi). Navzdory očekávání, přídavek vody do čokolády způsobí vznik nežádoucí tuhé čokoládové pasty (Beckett, 2008).

Významnou složkou mléka ovlivňující vlastnosti mléčné čokolády je mléčný tuk. Ten dodává čokoládě osobitou chuť a texturu. Mléčný tuk je také hojně využíván i při výrobě čokolády hořké, kde taktéž moderuje její fyzikální vlastnosti a texturu (tvrdost) skrze jeho interakce s kakaovým máslem. Mléčný tuk může být do čokolády přidán také za účelem eliminace vzniku tukového výkvětu nebo jako náhražka kakaového másla (Metin & Hartel, 2012). Mléčný tuk je ovšem náchylný k oxidaci a ovlivňuje skladovatelnost čokolády (Afoakwa, Peterson & Fowler, 2007). Podobně jako mléčný tuk i mléčné bílkoviny určují chuť, texturu i tokové vlastnosti čokolády a zvyšují její výživovou hodnotu.

Krémová chuť mléčné čokolády do značné míry závisí na rovnováze mezi mléčnými bílkovinami a kyselější příchutí pocházející z kakaových bobů (Beckett, 2008). Příklad přidání sušené syrovátky ovlivňuje například chuť, některé vlastnosti čokolády a její celkovou kvalitu. Za zmínku stojí i zdravotní benefity, které vychází z redukce energetické hodnoty, obsahu tuku a celkové sladkosti čokolády. Výhodou je také obsah aminokyselin (Lapčíková & kol., 2022).

#### 4.4 Cukry

Bílý cukr neboli krystalická sacharóza je běžnou součástí čokolády, do které je přidáván s hlavním cílem dosažení sladké chuti, ale také poskytnutí pocitu chuťové plnosti. Získává se z cukrové třtiny nebo z cukrové řepy (Čopíková & kol., 2020; Yates, 2009). Čokoláda zpravidla obsahuje 30 – 55 % cukru v závislosti na receptuře (Yates, 2009). Z chemického hlediska se jedná o disacharid složený z monosacharidů glukózy a fruktózy. Ovšem konzumace čokolády s obsahem sacharózy není příliš vhodná pro osoby trpící cukrovkou (Beckett, 2008).

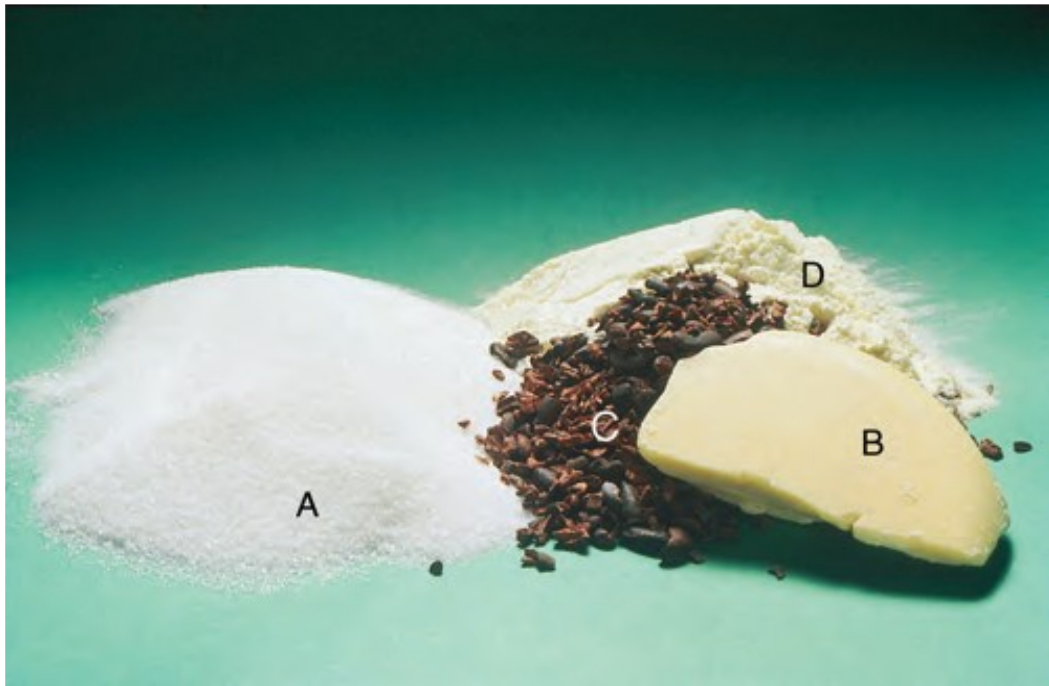
Dalším velmi běžným sacharidem obsaženým v čokoládě je laktóza, jež je zastoupena v čokoládě s mlékem nebo mléčnými součástmi. Jedná se o disacharid, jehož molekula je složena z monosacharidů glukózy a galaktózy. Tento druh cukru se vyznačuje menší sladivostí než sacharóza. Je nutné poznamenat, že čokoláda s obsahem laktózy není vhodná pro osoby trpící laktózovou intolerancí (Beckett, 2008).

Postupně byly vyvinuty receptury vhodnější pro osoby s některými omezeními, kteří redukuje konzumaci právě sacharózy nebo laktózy. Tyto receptury nahrazují sacharózu či laktózu například za fruktózu (ovocný cukr), která nezvyšuje hladinu krevního cukru při konzumaci. Avšak fruktóza je velmi hygroskopická, což znamená, že absorbuje vlhkost ze vzduchu. Tato vlastnost ovlivňuje chování čokolády, proto se taková čokoláda vyrábí speciálními postupy zejména ve spojitosti s teplotou a vlhkostí (Beckett, 2008).

Dalším rozšířeným způsobem nahrazení sacharózy je přidání cukerných alkoholů (např. xylitol, sorbitol, mannitol a laktitol). Výrobky s těmito sladidly se vyznačují zejména nižší energetickou hodnotou, proto jsou vhodné pro zvláštní výživu (Afoakwa, Peterson & Fowler, 2007; Čopíková & kol., 2020). Cukerné alkoholy jsou součástí výrobků se sníženou energetickou hodnotou, bez cukru nebo výrobků se sníženou schopností kazivosti zubů (Beckett, 2008; Čopíková & kol., 2020). Cukernými alkoholy se zabývá Zákon o potravinách a vyhláška č. 152/2005 Sb., které je řadí mezi látky přídatné a pomocné



(Čopíková & kol., 2020). Cukr a další základní ingredience na výrobu čokolády jsou vyobrazeny níže na obrázku 3.



Obrázek 3 Základní ingredience na výrobu čokolády  
(A cukr, B kakaové máslo, C kakaové části, D sušené plnotučné mléko)  
(Beckett, 2008)

## 5 VÝROBA ČOKOLÁDY

### 5.1 Zpracování kakaových bobů

#### 5.1.1 Sklizeň

Kakaové boby se sklízí po dosažení požadované zralosti. Zralost je určena především vzhledem a barvou lusků v závislosti na dané odrůdě. Pro další zpracování se sklízí se pouze plody, které jsou nepoškozené, bez napadení a nemocí. Ostatní plody jsou odděleny a zlikvidovány. Sklizení již přezrálých kakaových lusků je také nežádoucí, neboť takové plody rychleji podléhají onemocněním (Afoakwa, 2014). Plody se z kakaovníku sklízí ručně nebo se odřezávají pomocí ostrého nože či šavle. Poté se z nich vyjmou semena, kakaové boby. Tento proces se nazývá vyluštění. Boby jsou následně fermentovány a sušeny (Afoakwa, 2014; Čopíková & kol., 2020).

#### 5.1.2 Fermentace

Fermentace je biochemický proces, při kterém dochází k výrazným změnám, jako je například vývoj barvy, chuti a aromatických látek. Všechny tyto změny mají výrazný dopad na kvalitu zpracovaných bobů a poté i na kvalitu čokolády, kde dokreslují její sensorický a aromatický profil (Calvo & kol., 2021; Čopíková & kol., 2020). Techniky provádění fermentace jsou různé v závislosti na daném místě, množství bobů, dostupném typu příslušenství, klimatických podmínkách a dalších faktorech. Nejpoužívanějšími metodami je fermentace na hromadách, popřípadě v dřevěných či betonových boxech. Mezi další způsoby se řadí fermentace v dřevěných koších vyplněnými listy banánovníků, na tácech ve stozích nebo na sušících platformách (Afoakwa, 2014). Metody fermentace na hromadách a v boxech jsou znázorněny níže na obrázku 4 a 5.





Obrázek 4 Fermentace kakaových bobů na hromadě (Beckett, 2008)



Obrázek 5 Fermentace kakaových bobů v boxech (Beckett, 2008)

Fermentaci způsobují ulpělé zbytky dužniny, které obsahují zhruba desetinu cukrů a samozřejmě mikroorganismy, pro které představují živou půdu. Mikroorganismy jsou přítomny až po vylouštění bobulí, do té doby jsou lusky sterilní. Mezi mikroorganismy podílející se na procesu fermentace patří především kvasinky (*Saccharomyces*, *Candida*, *Kluyveromyces*, *Pichia*, *Schizosaccharomyces*), bakterie mléčného a octového kvašení (*Acetobacter*, *Gluconobacter*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*) (Afoakwa, 2010; Čopíková & kol., 2020). Význam fermentace spočívá také v odstranění zbytků dužniny a zamezení klíčení, čímž dochází k botanickému umrtvení kakaového bobu. Dalším účelem je uvolnění buněčných enzymů, které katalyzují reakce vedoucí ke zjemnění původní trpké chuti bobů a ztmavení jejich barvy do tmavě červených odstínů. Uvolnění enzymů je následkem právě biologického umrtvení, které je způsobeno umrtvením protoplazmy buňky. Při fermentaci vznikají prekurzory aroma, které po zpracování dodávají kakau jeho typické aroma a chuť (Beckett, 2008; Čopíková & kol., 2020).

První fáze fermentace, anaerobní hydrolytická, probíhá bez přístupu vzduchu a trvá 24 až 36 hodin. Dochází k pomnožení kvasinek, které přeměňují jednoduché cukry na oxid uhličitý a ethanol, čímž stoupá pH. Vlivem pektolytických enzymů se také uvolňuje buněčná šťáva, díky které postupně dochází k provzdušnění fermentujících hromad (Čopíková & kol., 2020).

Vlivem zvyšujícího se obsahu kyslíku jsou kvasinky inhibovány a začínají se množit bakterie mléčného a octového kvašení, tím je zahájena druhá fáze, aerobní oxidačně kondenzační. Se vzrůstající mikrobiální aktivitou vzrůstá teplota až na hodnotu 45 °C. Metabolismem bakterií je produkována kyselina mléčná a později převažuje kyselina octová, tudíž pH klesá. Pro úplnost je nutno zmínit, že během procesu fermentace vzniká celá řada dalších látek, pro účel této práce jsou však zmíněny pouze hlavní produkty (Čopíková & kol., 2020).

Pokud jsou kakaové boby fermentované nedostatečně, vyznačují se hořkou chutí a mají pouze slabou nebo žádnou čokoládovou vůni. Naopak, v případě přefermentování, jsou výsledkem boby obsahující těkavé látky, které způsobují nepříjemné aroma a kyselou chuť (Arcimovičová & Valíček, 1999; Čopíková & kol., 2020).

### 5.1.3 Sušení

Vzhledem k vysokému obsahu vody (35 %) v kakaových bobech po fermentaci, je nutné snížit toto množství sušením na 6 až 8 %. Jedním z důvodů je zabránění výskytu kontaminující mikroflóry, především plísní, které by zapříčinily nepříjemnou chuť a vůni

čokolády (Beckett, 2008; Čopíková & kol., 2020). Souvisejícím důvodem je zabezpečení stability při skladování a převozu (Barišić & kol., 2019). Pokud by však vlhkost klesla příliš, pod 6 %, boby by se staly křehkými a obtížně zpracovatelnými (Beckett, 2008).

Dalším účelem sušení je pokračování enzymových reakcí, oddělení slupek, vývoj barvy a aroma a snížení obsahu těkavých látek. Zásadní je, aby kakaové boby i po fermentaci stále obsahovaly volné aminokyseliny a redukující cukry. Tyto látky se totiž účastní Maillardových reakcí, jejichž produkty jsou aromatické látky a pigmenty potřebné pro charakteristické aroma a chuť čokolády (Barišić & kol., 2019; Čopíková & kol., 2020).

Sušení je tedy také naprosto zásadní technologický krok a jeho provedení ovlivňuje kvalitu produktu. Po fermentaci jsou kakaové boby v rámci sušení přesunuty z hromad (v závislosti na fermentační technice) a ponechány sušit většinou na přímém slunečním svitu na zemi nebo na vyzvednutých platformách (obrázek 6). Proces probíhá většinou 5 – 8 dní až do úplného usušení. Může být praktikováno sušení i ve stínu nebo pomocí proudícího vzduchu, například v zemích s vysokou vzdušnou vlhkostí. Při sušení je zajišťováno přehrabování sušené vrstvy, čímž je zajištěno rovnoměrné vysušení. Indikátorem požadovaného stupně usušení je hnědé zabarvení a snížení svíravé a hořké chuti kakaových bobů (Afoakwa, 2010; Beckett, 2008).



Obrázek 6 Sušení kakaových bobů na pohyblivých stolech (Beckett, 2008)



#### 5.1.4 Čištění

Vzhledem k podmínkám sušení mohou být mezi kakaovými boby obsaženy také kameny, listy, větvičky, písek, kovy a jiné cizí částice, které musí být odstraněny. Tyto částice by narušily fungování technologických zařízení a také by v procesu pražení produkovaly látky, který by negativně ovlivnily kakaové aroma. K separaci kontaminujících částic dochází různými mechanismy v závislosti na charakteru cizí částice. Využívány jsou síta, magnety, vzduchové trysky a další (Beckett, 2008).

#### 5.1.5 Balení a skladování

Kakaové boby jsou po fermentaci a sušení často transportovány do jiných zemí k dalšímu zpracování. Před převozem musí dojít k výše zmíněnému předčištění kakaových bobů od všech nežádoucích cizích částí. Následně jsou boby zabaleny do jednorázových jutových pytlů ošetřených rostlinným olejem (vyobrazeno níže na obrázku 7). Dlouhé skladovací doby mohou negativně poznamenat kvalitu kakaových bobů, proto je žádoucí skladovat maximálně 12 měsíců. Pokud jsou boby řádně vysušeny a skladovány v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu 65 až 70 %, jsou schopny si po tuto dobu držet vlhkost kolem 7 % a odolat mikrobiálnímu napadení. Nutné je také sledovat teplotu a proudění vzduchu ve skladovacích prostorech, protože tyto faktory mohou rovněž měnit kvalitu kakaových bobů v průběhu doby (Afoakwa, 2014; Beckett, 2008).



Obrázek 7 Převážení kakaových bobů v jutových pytlích k transportu (Beckett, 2008)

### 5.1.6 Předpražení, drcení

Po vyčištění dochází k předpražení kakaových bobů. Zásadní rozdíl mezi předpražením a pražením je v konečné vlhkosti bobů. Nepražené kakaové boby obsahují 6 až 8 % vody. Při předpražení klesá vlhkost o 1 až 2 % a při pražení klesá až na 2 % (Čopíková & kol., 2020).

Jedním z typu předpražení je mikronizace, při které se kakaové boby suší pomocí infračerveného záření v zařízení zvaném mikronizér. Teplota bobů vzrůstá během 120 – 150 sekund až na 105 °C a dochází unikání vodní páry ze středu na povrch bobu, čímž dochází ke křehnutí a uvolnění slupek. Při použití mikronizace je mikrobiologická kontaminace nižší ve srovnání s klasickými zařízeními. Teplota keramických desek, které vyzářují infračervené záření, totiž dosahuje až 1 200 °C. Vlivem takto vysoké teploty dochází ke spálení veškerých přítomných nečistot a mikroorganismů. Dalším používaným zařízením pro přepražení je např. kontinuální věžový pražič, ve kterém se teplota pražicího vzduchu pohybuje od 130 do 140 °C (Čopíková & kol., 2020).

Teplé předpražené boby o teplotě zhruba 45 °C se následně dopraví k úderovému drtiči, pod kterým je umístěna soustava vibračních sít. Tady jsou boby rozdrceny a vzniklá kakaová drť je následně tříděna dle velikosti na sítěch. V rámci této sekce dochází zároveň k profukování drti, čímž je zajištěno unášení lehčích částic z drti a oddělování klíčků a slupek. Pro pražení je vhodná pouze drť, které neobsahuje více než 2 % slupek. Slupky jsou odpadním materiálem, který se v rámci této technologie dále nezpracovává (Beckett, 2008; Čopíková, 2015; Čopíková & kol., 2020). V ostatních odvětvích se slupky mohou využít jako krmivo pro zvířata, na výrobu palivových briket, na hnojení a zušlechťování půdy nebo na výrobu alkoholu (Fakhlaei, Rozzamri & Hussain, 2019).

### 5.1.7 Pražení

Během pražení dochází k mnoha procesům. Mezi tyto děje se řadí například dokreslení barvy, chuti a tvorba aromatických látek. Dochází také ke zneškodnění nežádoucí mikrobiální kontaminace a k poklesu obsahu vody na 2 % (Barišić & kol., 2019; Čopíková, 2015; Čopíková & kol., 2020). Při pražení dochází k reakcím jako je karamelizace, Maillardova reakce nebo Streckerova reakce aminokyselin (Barišić & kol., 2019). V rámci těchto procesů se rozvíjí aroma z prekurzorů vytvořených v průběhu fermentace a sušení (Afoakwa, 2014). V případě Maillardovy reakce dochází k reakci amino skupiny aminokyselin a bílkovin s karbonylovou skupinou redukujících cukrů. Při procesu

karamelizace dochází pouze k reakci redukujících cukrů, především sacharózy. V rámci Streckerových reakcí vznikají aldehydy z aminokyselin (Barišić & kol., 2019).

Pražít se mohou celé kakaové boby, kakaová drť nebo kakaový likér. Pokud se praží celé kakaové boby, neopomenutelným důsledkem je snadnější odstranění slupek kakaových bobů vlivem unikající odpařované vody a tím i způsobenému křehnutí (Beckett, 2008). Tyto slupky jsou nestravitelné a také by zhoršily chuť budoucího výrobku (Arcimovičová & Valíček, 1999). Pražení celých kakaových bobů má však i své nevýhody. Při procesu se roztápí kakaové máslo, které potom může v menším množství z bobu unikat. Další nevýhodou je energetická náročnost, jelikož teplo musí nejprve proniknout slupkou, tudíž je potřeba větší množství energie v porovnání s jinými druhy pražení (Beckett, 2008). Proces pražení probíhá při různých teplotních režimech. Teploty se mohou pohybovat od 90 °C až do 170 °C v závislosti na typu pražení (Afoakwa, 2014).

Přestože obsah vody v kakaových bobech po upražení klesá na 2 %, je výhodné boby po upražení zpracovat a neskladovat po delší dobu. Kakaové boby jsou totiž hygroskopické, což znamená, že pohlcují vodní páru z okolního vzduchu (Čopíková & kol., 2020).

### 5.1.8 Sterilizace

Sterilizace je technologický proces, který zaručuje mikrobiologickou nezávadnost potravin. V principu se jedná o vystavení kakaových bobů nebo kakaové drti dostatečně vysoké teplotě pomocí horké páry po určitou dobu. Sterilizace může být provedena před pražením nebo až po něm, to v závislosti na výrobcí a vybavení. Vhodnějším postupem je zařadit sterilizaci po předpražení nebo pražení, neboť při sterilizaci teplých kakaových bobů je spotřeba energie nižší. Pokud je proces zařazen až po pražení, je cílem zaručit destrukci termorezistentních bakterií a spor, které mohly tento proces přežít (Afoakwa, 2010; Afoakwa, 2014; Čopíková & kol., 2020).

Proces sterilizace se provádí vstřikováním přesycené páry do pražícího bubnu při konci tohoto procesu, přičemž teplota dosahuje 75 °C až 100 °C. Pokud sterilizujeme celé kakaové boby, dochází vlivem teploty také ke zvětšení velikosti bobů i o 20 %, proto se začíná uvolňovat slupka. Vzhledem k tomu, že pára zvyšuje vlhkost kakaových bobů až o 5 %, je nutné následně zařadit sušení suchým vzduchem (Afoakwa, 2010; Afoakwa, 2014; Čopíková & kol., 2020).

### 5.1.9 Alkalizace

Alkalizace je technologický krok prováděný za účelem vylepšení barvy, aroma a chuti kakaového prášku nebo kakaové hmoty. Dalšími benefity tohoto procesu je vylepšení rozptylu kakaa ve vodě a znemožnění aglomerace či usazování kakaa po jeho přidání do nápoje na bázi mléka nebo vody. Alkalizaci je možné provádět i za účelem získání více barevných variant kakaového prášku. Vlivem úprav pH, vlhkosti, působení vyšších teplot a doby tohoto působení je možno produkovat širokou paletu barev (Afoakwa, 2010; Beckett, 2008; Indiarto & kol., 2021). Polevy vyrobené z alkalizovaného kakaového prášku se vyznačují nižší viskozitou a vyšší tvrdostí (Čopíková, 2015).

Principem alkalizace je zvýšení pH z 5,2 - 5,6 na 6,8 - 7,5 přidáním uhličitanu sodného, draselného nebo amonného. Některé zdroje uvádí zvýšení pH až na 8,4. S uhličitanem reagují barevné látky a třísloviny obsažené v kakaových bobech (Afoakwa, 2010; Čopíková, 2015). Proces je prováděn vstříkáním roztoku zásady do bubny naplněného kakaovými součástmi, ty jsou poté pomalu sušeny při teplotě do 100 °C (Afoakwa, 2010).

Technologie alkalizace byla poprvé představena v 19. století Nizozemcem Coenraadem van Houtenem (Afoakwa, 2014; Beckett, 2008). Proces alkalizace proto bývá nazýván i jako tzv. holandský alkalizující proces. A kakao vyráběné tímto způsobem je označováno jako holandské kakao, popřípadě kakao holandského typu (Arcimovičová & Valíček, 1999).

## 5.2 Mletí kakaové drti

Proces mletí se provádí za dvěma hlavními účely, kterými je zjemnění kakaové drti na kakaovou hmotu a uvolnění co možná největšího množství kakaového másla z buněk pletiv rozdrcených jader (Beckett, 2008; Čopíková & kol., 2020). Důvodem je možnost přidání odděleného kakaového másla ve finálních fázích výroby čokolády (Coadyová, 2000). Tuk je žádoucí pro optimální tokové vlastnosti čokolády a zároveň se jedná o nejdražší základní surovinu pro její výrobu, tudíž je žádoucí využít veškerý přítomný tuk (Beckett, 2008).

Velikost částic kakaové drti činí přibližně 1 cm s obsahem tuku (kakaového másla) zhruba 55 %. V průběhu mletí dochází ke zvyšování teploty a tím pádem i k tání tohoto tuku, čímž vzniká polotekutá hmota. Jedná se o suspenzi, ve které je tekutou fází kakaové máslo, v němž jsou dispergované kakaové částice. Tato hmota je dobře zpracovatelná, snadno se mísí s přísadami a nežádoucí látky vytěkají (Čopíková & kol., 2020). Po mletí je velikost

částic nanejvýše 100  $\mu\text{m}$ , přičemž 99 % částic by mělo mít velikost maximálně 75  $\mu\text{m}$  (Čopíková & kol., 2020). Optimální jsou menší částice s velikostí kolem 30  $\mu\text{m}$ . Vznikem takto malých částic je zajištěn pocit jemnosti v ústech a zároveň je zajištěno uvolnění většiny kakaového másla (Beckett, 2009a).

Mletí kakaové drti je vícestupňový proces, kterým je zajištěna optimální distribuce velikosti částic, kvalita kakaové hmoty a zároveň minimální obroušení mlecího zařízení. V rámci mletí jsou kombinovány síly smykové a nárazové. Podle charakteru mlecího procesu jsou mlýny rozděleny na mlýny úderové, drtící, stříhové a třecí (Čopíková & kol., 2020).

Lisováním vzniklé kakaové hmoty je získáváno nejkvalitnější kakaové máslo. Po vylisování kakaového másla z kakaové hmoty zůstanou tvrdé kakaové pokrutiny (výlisky), ze kterých se drcením, mletím a prosíváním získává kakaový prášek. Kakaové máslo v méně kvalitní podobě lze získat také chemickou extrakcí (Beckett, 2008; Beckett, 2009a; Coadyová, 2000).

### 5.3 Mísení čokoládových hmot

Tekutá čokoládová hmota je suspenze mikroskopických částic tukuprosté sušiny, kakaové hmoty a cukru v kakaovém másle, které tvoří tekutou fázi. Tato hmota vzniká smícháním kakaové hmoty s cukrem, obvykle s přídavkem kakaového másla (Čopíková & kol., 2020). Součástí výrobního procesu může být i přídavek dalších látek jako je např. kakaový prášek, sušené mléko, vanilin (popř. umělý ethylvanilin získávaný z jehličnanů) a emulgátory. Tyto látky mají charakter chuťových přísad a do čokoládové hmoty se přidávají s ohledem na zamýšlený druh vyráběné čokolády (Coadyová, 2000; Čopíková & kol., 2020). Poměr smíchávání jednotlivých přísad závisí na druhu čokoládového výrobku.

Samotné smíchávání probíhá v periodických nebo kontinuálních mísičích. Vzhledem k tomu, že hmoty kladou při mísení značný odpor, samotný proces připomíná spíše hnětení než zmíněné míchání (Čopíková & kol., 2020). Periodický proces trvá většinou 12 až 15 minut při teplotě v rozmezí od 40 do 50  $^{\circ}\text{C}$ . Velcí výrobci čokolády používají zpravidla kontinuální mísičí proces a automatické mísiče/hnětače (Afoakwa, 2014). Kdežto periodický proces je vhodný spíše pro menší výrobce (Čopíková & kol., 2020).

Výsledkem procesu je hmota s hrubou texturou a plastickou, těstovitou konzistencí připomínající cihlářskou hlínu (Čopíková 2015; Tanabe & Hofberger, 2013). Je nutné podotknout, že při mísení nedochází k dalšímu zjemnění hmot (Čopíková & kol., 2020).



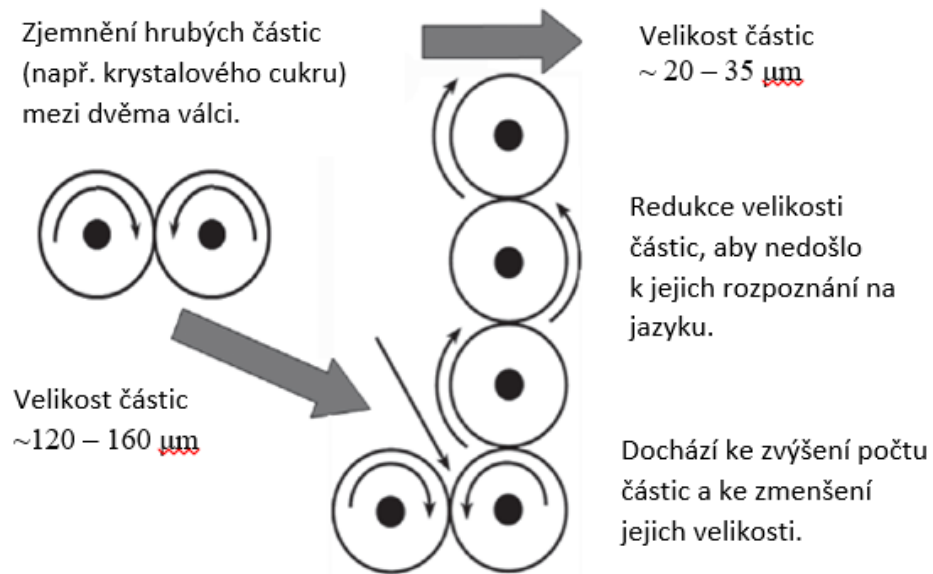
## 5.4 Zjemňování

Zjemnění čokoládové hmoty je žádoucí pro vznik jemné textury typické pro moderní výrobu čokolády (Afoakwa, 2014). Po smíchání všech surovin je vzniklá hmota pískovitá. Široká distribuce velikostí částic v hmotě způsobuje nevyrovnanost chutí a nedostatečně jemnou strukturu (Čopíková & kol., 2020). Při zjemňování dochází ke zmenšení velikosti čokoládových částic a zvýšení jejich počtu. Konečná velikost částic totiž zásadně ovlivňuje reologické a sensorické vlastnosti čokolády (Afoakwa, 2014). Chuťové orgány nejsou schopny postřehnout jednotlivé částice, pokud jsou menší než přibližně 20 až 25  $\mu\text{m}$ . Pokud je velikost částic pod touto hranicí, je v ústech registrována zcela homogenní jemná chuť čokolády. Pocit jemnosti čokolády ovšem nezávisí pouze na rozdělení velikosti částic (stupni disperzity), ale je pozitivně ovlivněn rovněž vyšším obsahem kakaového másla, které zdánlivě zjemňuje chuťový dojem z čokolády. Výslednou jemnost mohou ovlivnit také přidané aromatické látky (Čopíková, 2015; Čopíková & kol., 2020).

Proces zjemňování se většinou provádí válcováním na válcovacích stolicích, kde se čokoládová hmota rozemílá a roztírá. (Arcimovičová & Valíček, 1999; Čopíková & kol., 2020). Schéma válcovacího zařízení je znázorněno níže (obrázek 8). V praxi se využívají série dvou válcovacích stolic řazených za sebou, a to například tříválcové a pětiválcové. Čokoládová hmota se v přístroji pohybuje směrem zdola nahoru, kde je poté seškrabována speciálním nožem. Menší výrobci uskutečňují zjemňování čokoládové hmoty v tekutém stavu pomocí úderových mlýnů. Cílem procesu je obalení všech částic kakaovým máslem a tím rovnoměrné rozložení částic v kontinuální fázi tuku. Toho se dosáhne za rozdílnou dobu zjemňování v závislosti na použitém typu zařízení. Způsob mletí má vliv na viskozitu a chuť čokolády (Čopíková & kol., 2020).

Jelikož třením se hmoty zahřívá, je nutné válce chladit průtokem vody. Teplota hmoty je udržována v rozmezí od 32 °C do 35 °C. Pokud by teplota při procesu byla nižší, snížila by se přilnavost válců, čímž by klesl výkon válcovací stolice. V opačném případě, při vyšší teplotě, by došlo ke zhoršení kvality čokoládové hmoty vlivem narušení některých složek citlivých na teplotu a zároveň by došlo ke snížení viskozity, které by opět vedlo ke snížení přilnavosti (Čopíková & kol., 2020).

Konečným produktem válcování je čokoládová hmota ve formě sypkých vloček – suchá a drobivá. K tomuto dochází, protože kakaové máslo nestačí pokrývat zvětšující se povrch pevných částic a hmota ztrácí soudržnost. Finální velikost částic se pohybuje kolem 10  $\mu\text{m}$  a neměla by přesáhnout hranici 25  $\mu\text{m}$  (Čopíková & kol., 2020).



Obrázek 8 Schéma zjemňování v dvouválcové a pětiválcové válcovací stolici (upraveno dle Afoakwa, 2014)

## 5.5 Konšování

Proces konšování byl uveden v roce 1878 Rudí Lindtem ze Švýcarska, který považoval tento technologický krok jako cestu k zaručení jemnější čokolády s pozměněnou chutí (Beckett, 2008). Název konšovacího zařízení, konše, je odvozen od latinského označení pro mušli, které se tradiční zařízení podobalo (Afoakwa, 2014).

V průběhu tohoto technologického kroku je stále ještě suchá a drobná čokoládová hmota podrobena dlouhotrvajícímu zahřevu a působení mechanických sil. V rámci konšování se do čokolády rovněž přidávají emulgátory a tuky.

Celkově je možné účel konšování shrnout následovně:

- snížení obsahu vody v čokoládové hmotě a tím úprava reologických vlastností (snížení viskozity),
- odstranění nežádoucích těkavých látek (např. kyseliny octové),
- obroušení hran pevných částic (zejména krystalů cukru),
- uvolnění, emulgace tuku a jeho rozptýlení po povrchu pevných částic, čímž se mění barva čokoládové hmoty,
- dokreslení a rozložení požadovaného čokoládového aroma mezi kakaový prášek, kakaové máslo a cukr,
- rozrušení shluků částic cukru a kakaové sušiny (Čopíková & kol., 2020; Talbot, 2012; Toker, Palabiyik & Konar, 2019).

Konšování je podle odborné literatury proces skládající se ze dvou nebo tří fází, v závislosti na daném literárním zdroji (Toker, Palabiyik & Konar, 2019). Pokud považujeme proces zušlechťování (konšování) za dvoustupňový proces, jsou fáze následující. V první fázi (suché) se sypká hmota zpracovávaná na válcovacích stolicích promíchává, roztírá a nakypřuje. Rovněž dochází k redukci obsahu vody a odparu nežádoucích nižších organických kyselin vzniklých např. při fermentaci. Rychlost odpařování vody závisí na teplotě, intenzitě provzdušnění a složení čokoládové hmoty. Pevné částice se rovněž začínají obalovat tukem. Proces plynule přechází do druhé fáze (mokrě/tekuté), která se vyznačuje ztekucením hmoty v důsledku odparu vody a obalení částic tukem. Tato fáze zahrnuje také přidavek kakaového másla a emulgátorů (nejčastěji sójový nebo slunečnicový lecitin), čímž je dosaženo homogenní pastovité tekuté hmoty (Čopíková, 2015; Čopíková & kol., 2020; Toker, Palabiyik & Konar, 2019). Je velmi důležité přidávat lecitin až ve druhé fázi, tedy po redukci vlhkosti, vzhledem k jeho schopnosti vázat vodu. Voda by se navázala na emulgátor a poté by bylo obtížnější ji odstranit. Podobně je to i s přidavkem tuku. Do čokolády je přidáno pouze tolik tuku, aby byl při konšování schopen pokrýt povrch pevných částic. Zbytek tuku je ideální dodat až ke konci procesu stejně jako emulgátor. Pokud bude veškerý tuk přidán na počátku, částice budou pokryty tukem a proces konšování nebude příliš efektivní (Beckett, 2008).

Doba konšování se značně liší, obvykle trvá 12 až 24 hodin, což je ekonomicky výhodnější (Čopíková, 2015). Při použití tradičních konšovacích postupů může totiž proces trvat i 72 hodin (Beckett, 2009b). Teplota udržovaná při procesu se ovšem liší v závislosti na druhu čokoládové hmoty nebo typu konšovacího zařízení. Hořké čokolády jsou konšovány při teplotě 65 °C až 90 °C. U mléčných čokolád je požadovaná teplota nižší, činí asi 40 °C až 60 °C. Se vzrůstající teplotou, vzrůstá i rychlost odparu vody a těkavých látek. Zároveň se však zvyšuje nebezpečí narušení termolabilních složek (Čopíková & kol., 2020). Při konci konšovacího procesu může mít tekutá čokoláda až 90 °C. Výjimku tvoří mléčná čokoláda, která dosahuje nižších teplot (Čopíková & kol., 2020).

Před temperací je nutné čokoládu uskladnit (za současného promíchávání) v tanku na několik hodin, aby se zchladila na teplotu mezi 43 a 50 °C a nedošlo tak k negativnímu ovlivnění procesu temperace vlivem latentního tepla. Dalším účelem je vypuzení bublinek vzduchu zachycených do čokolády v průběhu konšování (Čopíková & kol., 2020; Varzakas, 2015).

## 5.6 Temperace

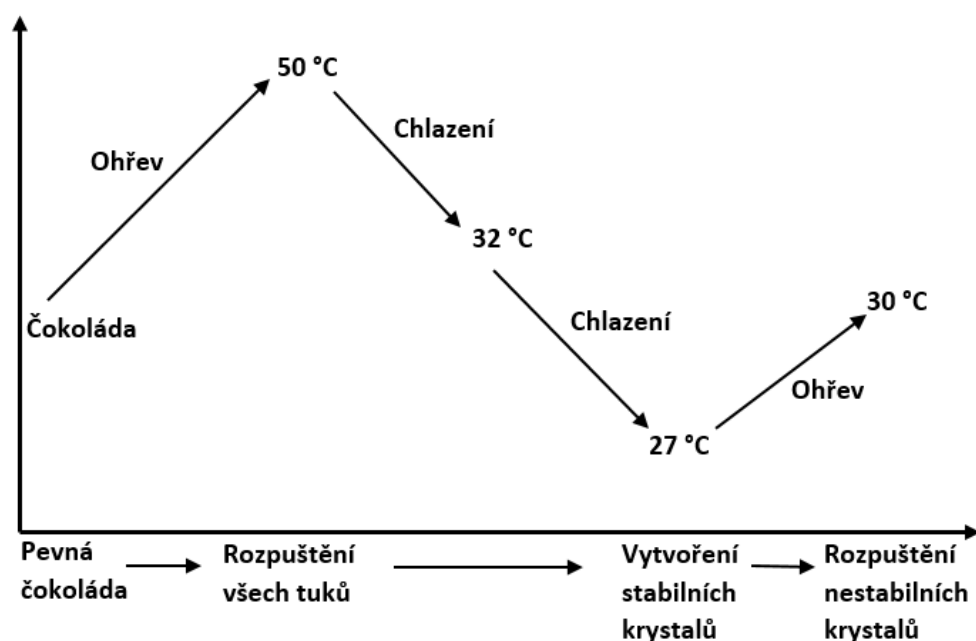
Temperace je technologická operace, při níž dochází k vytváření zárodků stabilních krystalů kakaového másla a jejich růstu. Jedná se o výrobní krok, jehož kvalita provedení značně ovlivňuje finální kvalitu čokolády. Správně vytemperovaná čokoláda má zcela homogenní strukturu, jemnou chuť, lasturovitý lom, lesklý povrch a tvrdou konzistenci (Čopíková, 2015). Mezi další výhody se řadí příjemně vyzrálé aroma, snadné formování a dobrá trvanlivost (Coadyová, 2000).

Řádně provedená temperace je rovněž zárukou čokolády odolnější vůči roztápní. Důkazem je například menší výskyt otisků prstů při ručním balení čokolády (Afoakwa, Paterson & Fowler, 2007). Příklad teplotního režimu temperace je na obrázku 9.

Proces temperace čokolády se skládá ze čtyř hlavních kroků:

- úplné roztavení krystalů při 50 °C, dochází k rozrušení krystalické struktury tuku,
- zchlazení do bodu krystalizace při zhruba 30 - 32 °C,
- krystalizace při 27 °C, vznik stabilní krystalické modifikace,
- rozpuštění nestabilních krystalů při 29 – 31 °C (Afoakwa, Paterson & Fowler, 2007; Afoakwa, 2010; Afoakwa, 2014; Talbot, 2012).

Zárodky krystalů potřebují čas k dozrání a zvětšení své velikosti, proto není doporučováno přejít ihned po temperaci k další technologické operaci (Varzakas, 2015).



Obrázek 9 Teplotní režim při temperaci čokolády (upraveno dle Afoakwa, 2010)

Přesný teplotní režim závisí na konkrétním druhu čokolády (Coadyová, 2000). Liší se například u výroby hořké a mléčné čokolády. Temperace mléčné čokolády probíhá při nižší teplotě, protože molekuly mléčného tuku ovlivňují krystalizaci (Afoakwa, 2010; Varzakas, 2015). Samotné teplotní programy jsou přizpůsobeny podle typu zpracovávané čokolády (Ioannidi & kol., 2021). Kombinace teploty a doby jejího působení je nejdůležitější pro správné provedení temperace (Afoakwa, Peterson & Fowler, 2007).

U menších výrobců čokolády se provádí tzv. ruční temperace čokolády, která může být prováděna na speciálních stolech vyhřívaných na odlišnou teplotu v jeho jednotlivých částech. Čokoláda je pomocí špachtle nebo stěrky přelévána na chlazená či nahřívaná místa na stole (Beckett, 2008). Současné temperovací zařízení (pro větší výrobce) se skládají z několikastupňových výměníků tepla, kterými čokoláda protéká (Afoakwa, 2010).

## 5.7 Tvarování a chlazení

Dalším technologickým krokem po temperaci je tvarování tekuté čokolády. Čokoláda se formuje do mnoha podob, od běžné tabulkové čokolády až po čokoládové figurky (Čopíková, 2015).

Čokoláda formovaná do podoby tabulky je nejprve nalita do příslušné tabulkové formy a poté jsou z čokoládové hmoty vytlačeny bublinky plynu vlivem vibrací na vibrační dráze. Poté výrobek putuje do chladičího tunelu s teplotou 10 °C. Vychlazená čokoláda je následně vyjmuta z formy. Za předpokladu správně provedené temperace, zmenší kakaové máslo svůj objem, proto je vyklopení hotové čokoládové tabulky z formy poměrně snadné. Schopnost kakaového másla zmenšovat svůj objem se nazývá dilatace (Čopíková 2015; Čopíková & kol., 2020).

Dalším typem výrobků jsou plněné čokoládové bonbóny. Při jejich výrobě je čokoláda plněna do forem požadovaného tvaru. I v tomto případě následuje průchod přes vibrační dráhu. Posléze dojde k převrácení forem s účelem vytečení přebytečné čokolády. Na stěnách formy se tímto vytvoří pouze tenká vrstva čokolády, která se nechá vychladit a ztuhnout v chladičím tunelu. Vznikne vytvarovaná čokoláda s dutinou, která se zaplní příslušnou náplní. Bonbón je poté „zavíčkován“ čokoládou. Následuje tuhnutí, chlazení a vyklopení výrobku z forem (Čopíková, 2015).

Formování dutých figurek probíhá podobným způsobem. Jednou z možných variant výroby dutých figurek je vytvoření dvou identických polovin budoucí figurky a to stejným postupem jako u výrobků popsaných výše. Po vyjmutí obou částí z formy se nahřejí okraje

získaných polovin, ty se přiloží k sobě a opět nechají ztuhnout k vytvoření jedné celistvé figurky (Čopíková, 2015).

## 5.8 Balení

Vytvarovaná čokoláda je dále balena. Při volbě vyhovujícího balení je nutné brát v potaz samotný produkt a podmínky skladování. Zároveň je kladen důraz na používání menšího množství balicích materiálů v souvislosti se snížením nákladů na výrobu i ohledem na životní prostředí.

Nejčastějším typem balení tvarované čokolády je hliníková fólie a papír (znázorněno na obrázku 10). Hliníkový obal chrání čokoládu před různými typy znečištění, napadením hmyzem a mikroorganismy. Papírový obal má na druhou stranu spíše informační a propagační účel. Obsahuje informace o nutričních hodnotách a další legislativně povinné údaje. Pro snadnější manipulaci při dopravě se jednotlivé čokolády balí po více kusech do označených kartonových krabic, ve kterých mohou být i vystaveny na pultech v obchodním řetězci (Beckett, 2008).



Obrázek 10 Příklad balení tvarované čokolády do fólie a papíru (Beckett, 2008)

Další typ balení je charakteristický pro čokoládové tyčinky, tzv. „flow wrap“. Obal může být zhotoven ze široké škály materiálů, například z polypropylenu. Tento obal předchází příjmu vlhkosti a cizích pachů z okolí. Důležitá je volba správného potiskovacího inkoustu a způsobu jeho aplikace, jinak by mohlo dojít k negativnímu ovlivnění chuti a vůně čokolády. Výhodou tohoto typu balení je jeho rychlá výroba. Obal ve formě tuby se odmotá

ze zásobníku a dovnitř je vložen produkt. Poté je obal zastřižen do požadované délky a jeho konce jsou zapečetěny pomocí tlaku nebo teploty (Beckett, 2008). Příklad takového obalu je níže na obrázku 11.



Obrázek 11 Příklad čokoládových výrobků v tzv. „flow wrap“ obalu (Beckett, 2008)

## 5.9 Skladovatelnost

Skladovatelnost čokolády je určena především změnami v chuti, textuře nebo vzhledu, kvůli kterým se stává neatraktivní pro konzumenty. Může docházet například ke vzniku tukového výkvětu (blíže popsán v kapitole 5) nebo ztvrdnutí čokolády. Tyto změny jsou potlačovány použitím speciálních tuků, emulgátorů a správným skladováním (Beckett, 2008).

Samotné skladování zásadně ovlivňuje senzorycké aspekty čokolády, proto je důležité udržovat teplotu při skladování kolem  $14\text{ }^{\circ}\text{C} - 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dalším faktorem, který negativně ovlivňuje kvalitu čokolády, je vysoká vlhkost vzduchu. Takové podmínky totiž mohou způsobit cukerný výkvět (De Pelsmaeker & kol., 2019). Relativní vlhkost v místnosti, kde se čokoláda skladuje, by měla být maximálně 65 % (Coadyová, 2000). Cukerný výkvět se na povrchu čokolády vytvoří, pokud se nachází ve vlhkém prostředí, například v chladničce. Dochází k migraci krystalů cukru na povrch čokolády, kde se rozpustí vlivem vodní páry a poté rekrystalizují. Výsledkem je vznik hrubého povlaku šedé barvy, který je senzorycky nepříjemný (Coadyová, 2000). Pro zabránění vzniku cukerného výkvětu je nutné dodržovat skladovací podmínky čokolády a vyloučit možnost kondenzace vodní páry na jejím povrchu (Čopíková, 2015).

Nežádoucí dopad má také vystavení čokolády světlu a vzduchu. Tyto faktory způsobují oxidativní procesy, které mění chuť i vůni čokolády. Není doporučeno čokoládu uchovávat v blízkosti silně aromatických potravin, neboť kakaové máslo absorbuje pachy z okolí (De Pelsmaecker & kol., 2019).



## 6 KRYSTALIZACE A POLYMORFISMUS KAKAOVÉHO MÁSLA

Strukturu čokolády lze charakterizovat jako suspenzi jemných pevných částic rozptýlených v kontinuální tukové fázi, jež je tvořena především kakaovým máslem, popřípadě i mléčným tukem. Jemnými částicemi se rozumí zejména cukr, kakaový prášek, popř. mléčné součásti (Afoakwa, 2010; Beckett, 2008; Campos & Marangoni, 2012; Talbot, 2012).

Kakaové máslo disponuje svými výjimečnými vlastnostmi právě díky svému triacylglycerovému složení (Čopíková & kol., 2020). Triacylglyceroly vznikají esterifikací glycerolu a jedné až tří mastných kyselin, díky čemuž vzniká velmi mnoho variací ve složení TAG, což způsobuje různorodé fyzikální vlastnosti (Bouzidi & Narine, 2012). V kompozici kakaového másla lze pozorovat odlišnosti i v důsledku různého původu kakaového másla (Marty-Terrade & Marangoni, 2012). Přesné složení TAG je tedy dáno i původem kakaového másla. V jeho struktuře však lze pozorovat zákonitosti, které jsou stále (Čopíková & kol., 2020). Kakaové máslo obsahuje tři hlavní mastné kyseliny – nasycenou mastnou kyselinu palmitovou a stearovou a nenasycenou kyselinu olejovou, přičemž právě nenasycená mastná kyselina bývá vázána na uhlík glycerolu v druhé pozici. Tyto tři mastné kyseliny tvoří až 95 % všech zastoupených mastných kyselin v tomto tuku. Olejovou kyselinou v pozici právě na druhém uhlíku disponuje až 80 % kakaového másla (Beckett, 2008). Toto postavení je pro TAG v kakaovém másle charakteristické. V pozici na prvním a třetím uhlíku se zpravidla nachází nasycené mastné kyseliny (Čopíková & kol., 2020).

Kakaové máslo je tedy převážně tvořeno z triacylglycerolů SOS (1,3-distearoyl-2-oleoyl acyl glycerol), POS (1-palmitoyl-2-oleoyl-3-stearoyl acyl glycerol) a POP (1,3-dipalmitoyl-2-oleoyl acyl glycerol) (Yamada, Ibuki & McBrayer, 2005). Složení TAG ve formě POP je ve 20 %, ve formě POS v 38 % a ve formě SOS ve 28 % případů (Čopíková & kol., 2020). Pouze 1 až 2 % kakaového másla je tvořeno pouze nasycenými mastnými kyselinami. Takové složení způsobuje daleko vyšší bod tání kakaového másla. Na druhou stranu přítomnost dvou molekul kyseliny olejové (5 až 20 % kakaového másla) způsobuje bod tání blízký pokojové teplotě. Ve skutečnosti kakaové máslo obsahuje kombinaci výše uvedených, proto je při pokojové teplotě částečně tekuté. Skutečnost, že tento tuk přechází z tuhého do kapalného skupenství v relativně malém teplotním rozsahu (pokojová teplota až teplota lidského těla), je dáno právě jeho relativně jednoduchou chemickou stavbou (Beckett, 2008). Kakaové máslo nemá přesný bod tání a tuhnutí.

Jeho fyzikální vlastnosti jsou spojeny s jeho původem, tedy místem sběru kakaových bobů (Čopíková & kol., 2020). S táním kakaového másla souvisí i teplotní rozsah tání čokolády, který je 23 – 37 °C (Afoakwa, 2010).

Pojmem polymorfismus kakaového másla je označována jeho schopnost obsahovat při stejném složení krystaly různých struktur. Jedná se tedy o schopnost krystalovat v různých krystalických formách, přičemž jednotlivé formy mají různou stabilitu (Čopíková & kol., 2020; Sasaki, Ueno & Sato, 2012). Jednotlivé krystalové struktury podléhají tání při různé teplotě a přecházejí jedna ve druhou, pouze ale směrem od nižšího k vyššímu bodu tání. To znamená, že kakaové máslo je tzv. monotropní. Obecně lze pozorovat, že stabilnější krystalické formy kakaového másla mají vyšší bod tání než formy nestabilní, což lze pozorovat v níže uvedené tabulce 4 (Čopíková & kol., 2020). Polymorfismus je dán TAG složením. Jednotlivé krystalické formy se od sebe odlišují např. vzdáleností mezi řetězci mastných kyselin, způsobem jakým jsou TAG „sbaleny“ a úhlem náklonu methylových skupin (Ostrowska-Ligęza & kol., 2019).

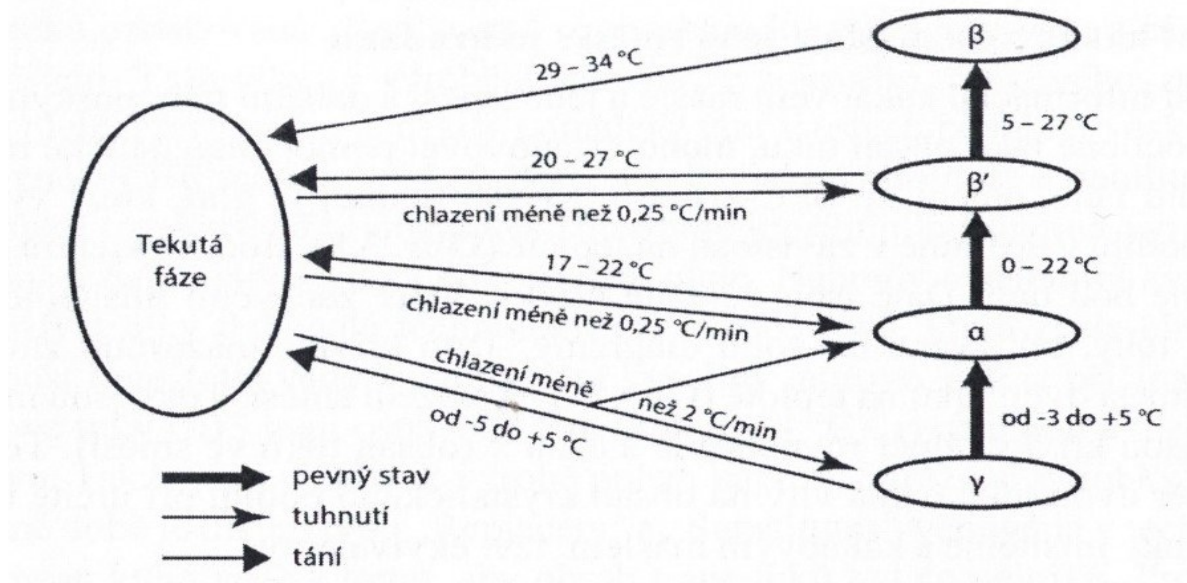
Kakaové máslo tvoří šest krystalických forem, které se pro zjednodušení označují římskými číslicemi I – VI nebo řeckými písmeny. Označení řeckými písmeny se však v jednotlivých odborných publikacích liší (Čopíková & kol. 2020; Ioannidi & kol., 2021). Jedna z možností označení řeckými písmeny je následující –  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta'$ ,  $\beta'_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_1$  (Fernandes, Müller & Sandoval, 2013). Nejméně stabilní krystalická forma I (teplota tání 16 – 18 °C) a nestabilní forma II (teplota tání 22 – 24 °C) pozvolna přechází ve formu III (teplota tání 24 – 26 °C) a IV (teplota tání 26 – 28 °C) (Afoakwa & kol., 2009; Ostrowska-Ligęza & kol., 2019). Obecně nejpožadovanější je stabilnější krystalická forma V s teplotou tání 32 – 34 °C, která zajišťuje lesklý vzhled, dobrý lom a odolnost vůči vzniku výkvětu. Přítomnost této krystalické formy je zaručena například správně provedenou temperací. Mezi stabilnější formy se řadí i forma VI, ačkoli vzniká až po delší době, při skladování produktu. Navíc se vyznačuje poměrně velkými krystaly, které působí drsně na jazyku (Afoakwa, Peterson & Fowler, 2007; Afoakwa & kol., 2009).

Tabulka 4 Přehled krystalických forem kakaového másla (Čopíková &amp; kol., 2020)

Krystalická forma	Bod tání (°C)	Krystalická soustava
I	17,3	amorfní, nestálá
II	23,3	šesterečná, nestálá
III	25,5	kosočtverečná, nestálá
IV	27,5	kosočtverečná, nestálá
V	33,8	trojklonná, stálá
VI	36,8	trojklonná, stálá

TAG kakaového másla jsou v konfiguraci připomínající vidlicovou ladičku. Při přechodu kakaového másla z kapalného do pevného skupenství se vidlice pozvolna uspořádávají do pevného útvaru. Při přechodu kakaového másla z krystalické formy V do formy VI se vidlice ohýbají (Čopíková & kol., 2020).

Obrázek 12 představuje schéma podmínek přeměn kapalné fáze v krystalické a přechody jednotlivých krystalických forem kakaového másla. Proces krystalizace má několik stupňů. Indukční perioda pokračuje vznikem a následným růstem krystalů a dochází k vytvoření pevného stavu. Délka jednotlivých period je silně závislá na teplotě tekuté čokoládové hmoty. Krystalizace musí být zahájena při teplotě nižší, než je teplota tání příslušné krystalické formy kakaového másla. Hmota musí být zároveň promíchávána a musí podléhat smykovým silám (Čopíková & kol., 2020). Krystalizace tuku je považována za komplexní proces ovlivňující mikrostrukturu čokolády a její fyzikální vlastnosti. Kontrola procesu krystalizace je důležitá pro výslednou texturu a vlastnosti tání čokolády (Afoakwa & kol., 2009).



Obrázek 12 Schéma přeměny jednotlivých krystalických forem kakaového másla (Čopíková & kol., 2020)

Zásadní význam má tzv. dilatace kakaového másla. Jedná se o schopnost tohoto tuku zmenšovat svůj objem při přechodu z kapalné do pevné fáze a obráceně zvětšovat svůj objem při tání. Jednotlivé krystalické formy kakaového másla vykazují rozdílnou dilataci během tání a během tuhnutí rozdílnou kontrakci. Kontrakce je tím významnější, čím stabilnější krystalická forma kakaového másla vzniká. Tato skutečnost je velice důležitá pro tvarování čokolády a její následné vyklápění z forem. Dilatace u stabilní krystalické formy V dosahuje hodnoty 0,097 ml/g, kdežto u formy II pouze 0,060 ml/g. Z výše popsaného plyne, že vyklápění čokolády z formy bude tím snazší, čím stabilnější forma krystalů se vytvoří (Čopíková & kol., 2020).

## 6.1 Tukový výkvět

S výše popsanou problematikou je spojen vznik tzv. tukového výkvětu (obrázek 13), který přímo souvisí s tukovou složkou čokolády. Jedná se o změnu ve vzhledu čokolády vlivem strukturálních změn tuku. Tukový výkvět se vyznačuje svým bílým, šedým až hnědým zbarvením a vyskytuje se ve tvarech, jako jsou pruhy, nepravidelné skvrny nebo mramorování (Widlak & Hartel, 2012). Vznik tukového výkvětu lze pozorovat i na povrchu samotného kakaového másla (Čopíková, 2015).



Obrázek 13 Znázornění čokolády postižené tukovým výkvětem (vlevo) a bez této vady (vpravo) (Beckett, 2008)

Obecně je vyvíjena snaha eliminovat vznik tohoto defektu, neboť jej spotřebitelé vnímají negativně, což se může projevit na poklesu prodeje a tržeb. Spotřebitel vnímá matný povrch čokolády jako vadu na kvalitě, případně i jako plíseň (Beckett, 2011; Widlak & Hartel, 2012).

Tato vada je způsobována např. špatně provedenou temperací nebo kolísáním teplot během skladování. K tomu dochází ponecháním čokolády na přímém slunečním svitu nebo jejím vystavení vysokým teplotám (Beckett, 2011; Čopíková, 2015). Při správně provedené temperaci dochází ke vzniku stabilní krystalické modifikace. Vzniklé jemné krystaly poté vytvoří lesklý film na povrchu čokolády. V opačném případě, u netemperované nebo špatně temperované čokolády, dochází ke tvorbě velkých krystalů, mezi kterými jsou vzduchem naplněné praskliny. Vlivem dopadajícího světla, které se v mezerách láme, vzniká dojem bílého povlaku na povrchu. Roztavený podíl kakaového másla je vytlačen na povrch čokolády (Čopíková, 2015). Po opětovném ztuhnutí se na povrchu čokolády objeví typické bílé krystaly (Beckett, 2011).

Pro minimalizaci vzniku tukového výkvětu je doporučováno uchovávat čokoládu při teplotě pod 18 °C. I při správném skladování čokolády se může objevit tukový výkvět, avšak k tomuto dochází až po více než jednom roce (Widlak & Hartel, 2012). K potlačení vzniku tukového výkvětu se běžně využívá mléčný tuk. Tímto přídavkem dochází ke snížení tendence kakaového másla měnit svou krystalickou strukturu a to vede ke zpomalení vzniku

tukového výkvětu. Platí, že čím více mléčného tuku je přidáno, tím větší je zmíněný efekt (Beckett, 2011). Všechny vlivy (chemické, fyzikální a i vlivy okolí), které narušují strukturální integritu tukové struktury čokolády, mají potenciál vytvořit tukový výkvět (Widlak & Hartel, 2012).

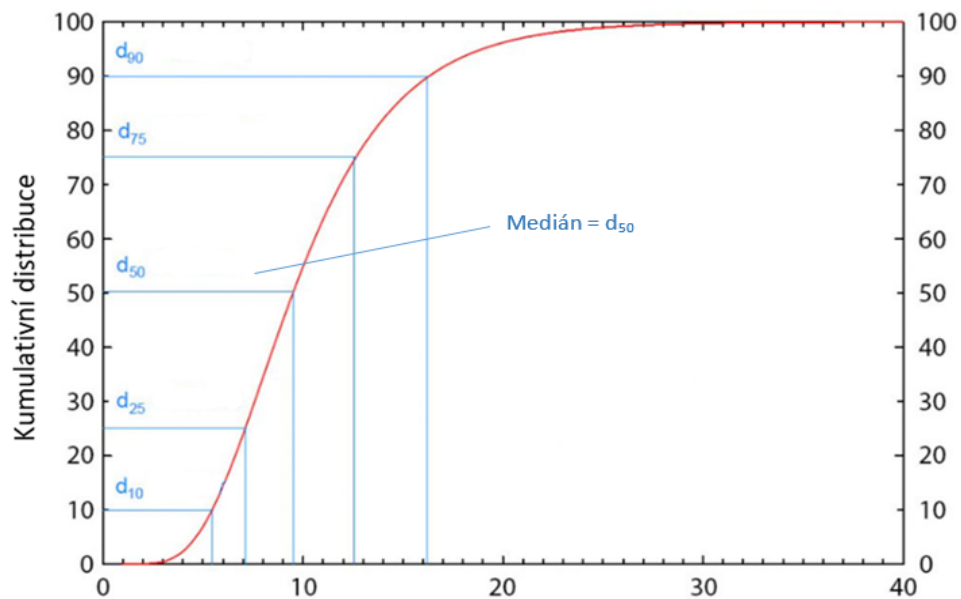
## 7 METODY ZKOUMÁNÍ KAKAOVÉHO MÁSLA A ČOKOLÁDY

### 7.1 Stanovení velikosti částic čokolády

Velikost částic čokolády přímo ovlivňuje její kvalitu a je klíčová pro reologické vlastnosti. Drcení a mělnění částic v průběhu výroby čokolády má proto významné důsledky na fyzikální a senzorické vlastnosti finálního produktu. Čokoládová hmota obvykle obsahuje maximálně 20 % částic větších než 20  $\mu\text{m}$ . To zajišťuje optimální texturu a předchází to pocitu hrubosti při konzumaci. Větší částice čokolády (o velikosti 30  $\mu\text{m}$ ) způsobují zmiňovaný drsnější, hrubější chuťový vjem, kdežto menší částice (o velikosti max. 20  $\mu\text{m}$ ) jsou výhodnější z hlediska požadovaných tokových vlastností a čokoláda také pak je vnímána jako krémovější (Afoakwa, Paterson & Fowler, 2007). Optimální velikost částic čokolády je závislá rovněž na geografické oblasti. Průměr velikosti částic v evropské čokoládě je nižší a tradičně se pohybuje kolem 15 - 22  $\mu\text{m}$ , kdežto v severoamerické čokoládě je tato hodnota vyšší a pohybuje se kolem 20 - 30  $\mu\text{m}$  (Afoakwa, 2010).

Důležitým procesem, který se na tomto podílí, je zjemňování čokoládové hmoty. Výsledek závisí také na intenzitě tohoto děje a na typu zařízení použitého ke zjemňování. Kromě změny distribuce částic dochází také ke změně jejich geometrie a povrchu. Proces zjemňování čokoládových hmot úzce souvisí s reologickými i texturními vlastnostmi čokolády (Afoakwa, Paterson & Fowler, 2007; Afoakwa, Paterson & Fowler, 2008; Padley, 1997; Rohm, Böhme & Skorka, 2018).

Při měření distribuce velikosti částic je možná výsledná data graficky prezentovat dvěma způsoby, a to buď grafem diferenciálním, nebo kumulativním. Graf diferenciální distribuce vyobrazuje relativní množství každé velikosti. Graf kumulativní distribuce zobrazuje relativní množství částic v konkrétní velikosti nebo pod touto velikostí (Weiner, 2011). Oba typy grafů jsou pro ilustraci uvedeny níže na obrázku 14 a 15.



Obrázek 14 Příklad kumulativního grafu rozdělení částic (upraveno dle Weiner, 2011)

Důležitými pojmy pro interpretaci distribuce velikosti částic je průměr, medián a modus. Objemový průměr částic (označován také  $D[4,3]$ ) je definován rovností zobrazenou níže:

$$D[4,3] = \frac{\sum_1^n D_i^4 v_i}{\sum_1^n D_i^3 v_i}$$

kde:  $D[4,3]$  označuje objemový průměr;  $\Sigma$  značí sumu všech částic ve vzorku;  $D_i$  reprezentuje průměr  $i$ -té částice (HORIBA Instruments Incorporated, c2022).

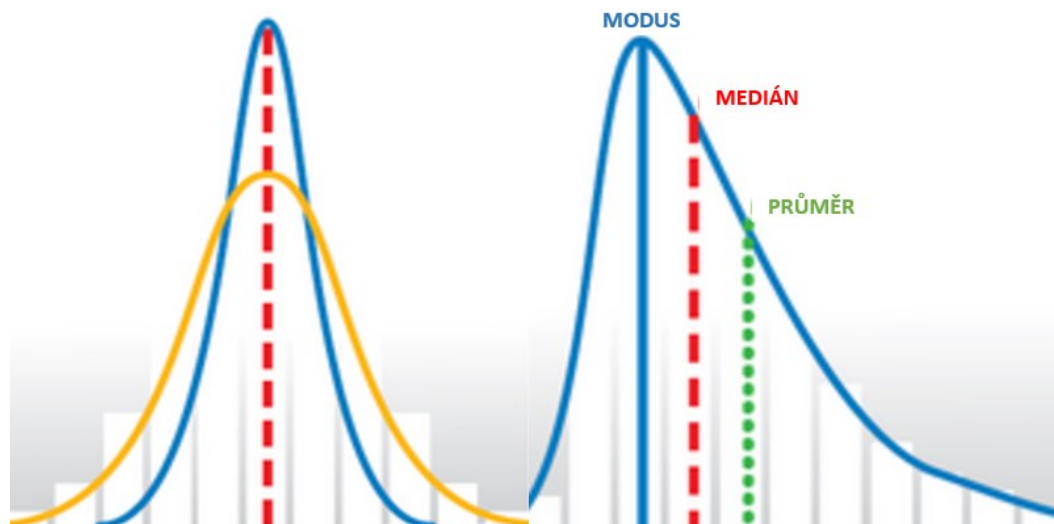
Medián označuje střední hodnotu, tzn., že polovina všech hodnot je nad touto hodnotou a polovina je pod ní. Jedná se o jeden z nejvýznamnějších parametrů pro popis distribuce velikosti částic. Objemový medián se značí  $Dv50$ . Vzhledem k tomu, že objemový medián je základním parametrem, je možné jej značit pouze  $D_{50}$  (HORIBA Instruments Incorporated, c2022). Tento zápis značí, že 50 % částic je pod příslušnou velikostí a zbylých 50 % nad ní (Weiner, 2011).

Modus je statistickým parametrem, který označuje nejpočetněji zastoupenou hodnotu v distribuci. V grafickém znázornění distribuce velikosti částic bude reprezentovat její nejvyšší vrchol. Modus není používán tak často jako již popsané parametry (Weiner, 2011).

Pojmem polydisperzita značí, že jsou v systému obsaženy částice více velikostí, nikoli pouze jedné. Pokud jsou veškeré částice v systému stejné velikosti, hovoříme pak o monodisperzní soustavě (Weiner, 2011).



V případě symetrické distribuce jsou parametry jako průměr, medián a modus shodné. V asymetrických distribucích se jedná o tři rozdílné hodnoty (HORIBA Instruments Incorporated, c2022). Tato skutečnost je znázorněna na obrázku 15 níže.



Obrázek 15 Diferenciální graf symetrické distribuce (vlevo) a asymetrické distribuce (vpravo) rozdělení částic (upraveno dle HORIBA Instruments Incorporated, c2022)

Distribuci velikosti částic je možné měřit pomocí techniky dynamického rozptylu světla. Principem měření je rozptýlení laserového světla ve vzorku přítomnými částicemi. Vlivem náhodného pohybu (Brownův pohyb) částic v suspenzi nebo roztoku intenzita rozptýleného světla v čase kolísá. Tento získaný kolísavý signál se vyhodnotí a výsledkem je tzv. difúzní koeficient, který je použit ve Stokesově – Einsteinově rovnici. Pomocí této rovnice je vypočtena velikost částic (HORIBA Instruments Incorporated, c2022.).

## 7.2 Stanovení textury čokolády

Texturní a reologické vlastnosti potravin se značně překrývají. Některé reologické vlastnosti nejsou postřehnutelné hmatem. Z toho vyplývá, že některé reologické vlastnosti s texturou souvisí a jiné nikoli. Pomocí reologie je možné měřit pouze kvalitu příslušné potraviny do momentu vložení sousta do úst. Změny, které nastávají během žvýkání, reologicky možné měřit není (Bourne, 2002).

Textura může být vnímána jako subjektivní parametr, který souvisí s pocitem v ústech, které sousto vyvolává (Mancas & Amariei, 2016). Zahrnuje veškeré hmatové vjemy od chvíle vyzvednutí potraviny v obchodní síti až do momentu žvýkání a polknutí. Některé texturní parametry jsou detekovány při prvním kousnutí, jiné při žvýkání nebo při polykání.

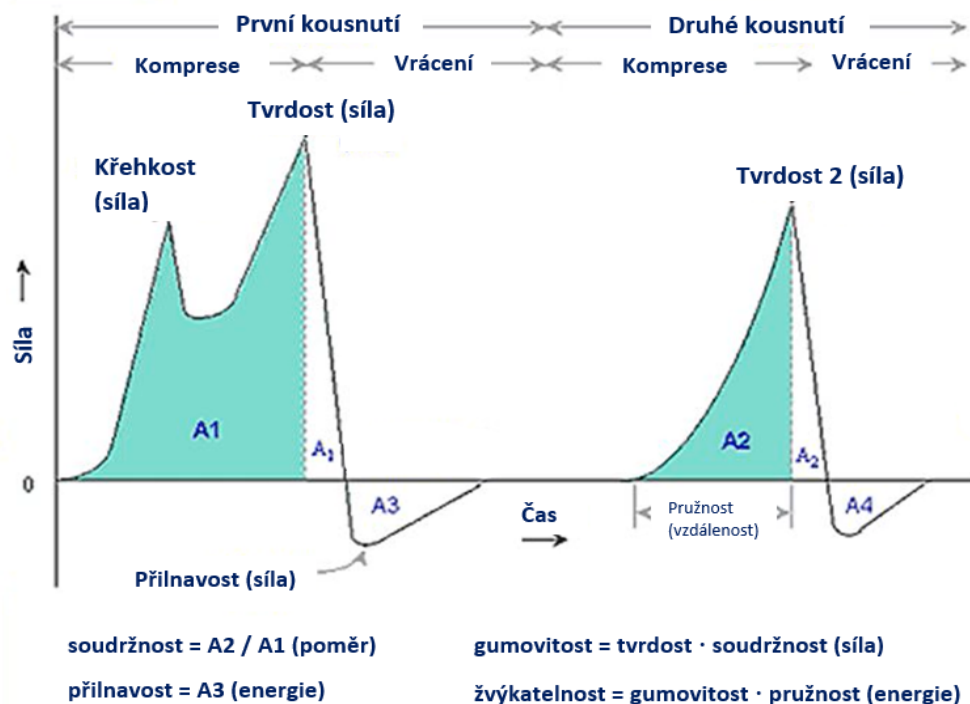
Texturní vjemy mohou být rozděleny do tří kategorií, kterými jsou charakteristiky mechanické, geometrické či částicové a chemické (Bourne, 2002).

Mechanické charakteristiky jsou reakcí potravin na namáhání (stres). Většinu z nich je možné měřit přístroji. Geometrické (částicové) charakteristiky jsou spjaty s fyzikálními vlastnosti potravin (např. tvar, velikost, částicové uspořádání nebo drsnost povrchu) a neřadí se mezi reologické vlastnosti. Poslední skupinou jsou chemické vlastnosti, které se mezi reologické vlastnosti rovněž neřadí. Do této kategorie patří například pocit mastnoty nebo vlhkosti v ústech (Bourne, 2002).

Mezi primární parametry měřené v rámci texturní analýzy řadíme zejména tvrdost, a dále například soudržnost, přilnavost a pružnost. Sekundárními parametry jsou pak žvýkatelnost, gumovitost nebo lámavost (Andrea-Nightingale, Lee & Engeseth, 2009). Některé z parametrů jsou zobrazeny na obrázku 16.

Tvrdost čokolády je považována za důležitou vlastnost vzhledem k její souvislosti se senzorickou kvalitou. Odvíjí se od distribuce velikosti částic, obsahu pevného tuku a poměru mezi tukem v tuhé a kapalně fázi, tedy interakcí rozptýlených pevných částic a zkrystalizované kontinuální tukové fáze. Dalšími ovlivňujícími faktory jsou například vlastnosti použitých ingrediencí, výrobní proces a podmínky skladování (Lapčíková & kol., 2022).

Tvrdost čokolád se snižuje s přidávkem mléčné složky vlivem obsahu mléčného tuku, který mění složení mastných kyselin v kontinuální fázi. Tvrdost hořké čokolády je tedy obecně vyšší než tvrdost čokolády mléčné a bílé, přičemž tvrdost mléčné čokolády je vyšší než tvrdost bílé. Tvrdost čokolády se může snížit i následkem vyšších skladovacích teplot (Lapčíková & kol., 2022).



Obrázek 16 Znárodnění texturních parametrů (upraveno dle Hensley, c2023)

### 7.3 Stanovení reologických vlastností čokolády

Reologie se zabývá studiem deformace a toku látek vlivem mechanických sil. Analýza reologických vlastností je součástí výrobního procesu čokolády a je běžně využívána jako nástroj pro kontrolu její kvality i pro následné využití, například potahování. Reologické vlastnosti čokolády rovněž významně ovlivňují efektivitu při zpracování čokolády. Čokoláda s nízkou viskozitou může zapříčinit problémy při výrobě potahovaných bonbónů, neboť vrstva čokoládové polevy bude příliš tenká. Naopak nadměrně vysoká viskozita umožní například ve tvarovaných čokoládových tabletách tvorbu vzduchových bublin, které je obtížné odstranit. Pojem viskozita se rozumí vlastnost látek charakterizující odpor vůči toku. Různé tokové vlastnosti působí také rozdíly v sensorickém požitku z čokolády, respektive v její chuti, což je nežádoucí z pohledu konzumentů (Afoakwa, Peterson & Fowler, 2007; Gonçalves & Lannes, 2010; Wells, 2009).

Čokoláda se v tekutém stavu chová jako ne-Newtonovská kapalina (Gonçalves & Lannes, 2010). Tento typ kapalin je typický tím, že se jejich viskozita mění se smykovou rychlostí. Nejčastější je tzv. pseudoplastické chování, kdy viskozita těchto látek klesá se zvětšující se smykovou rychlostí. Toto chování pozorujeme u čokolády a

jiných látek, jejichž mikrostrukturou je disperze částic o velikosti v řádech mikrometrů a menších, v kontinuální tekuté fázi. Mezi ne-Newtonovské látky se řadí drtivá většina potravin (Wells, 2009).

K popisu reologických vlastností čokolády, jakožto ne-Newtonovské kapaliny, se hojně využívá tzv. Cassonův model s parametry, jako je plastická viskozita  $\eta_{CA}$  a prahové smykové napětí  $\tau_{CA}$ . Pojmem Cassonova plastická viskozita se rozumí napětí, kterým je potřeba působit na kapalinu, aby tekla konstantní rychlostí po tom, co začala téct. Prahové smykové napětí je popisováno jako napětí, kterým je nutné působit na kapalinu, aby byla do pohybu uvedena (Čopíková & kol., 2020; Gonçalves & Lannes, 2010; Lapčíková & kol., 2022). Cassonův model lze vyjádřit následujícím matematickým vztahem:

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_{CA}} + \sqrt{\eta_{CA}} \cdot \sqrt{\dot{\gamma}}$$

kde:  $\tau$  značí smykové napětí;  $\tau_{CA}$  je rovno prahovému smykovému napětí;  $\eta_{CA}$  představuje Cassonovu plastickou viskozitu a  $\dot{\gamma}$  smykovou rychlost (Afoakwa, Peterson & Fowler, 2008; Čopíková & kol., 2020).

Reologické vlastnosti čokolády jsou ovlivněny mnoha faktory, mezi které patří například distribuce velikosti částic, obsah vlhkosti a tuků, obsah a typ emulgátorů, konšování, temperace, thixotropie a vibrace (Afoakwa, Peterson & Fowler, 2007; Čopíková & kol., 2020):

### ***Vliv distribuce velikosti částic***

Čokoláda je suspenze pevných částic, jako je kakaová sušina, cukr a sušené mléčné součásti, v tekuté fázi, kterou je kakaové máslo. Pro požadované vlastnosti čokolády je nutné, aby jednotlivé částice byly zcela obaleny tukovým filmem. Čím menší jsou tyto částice, tím větší je plocha, kterou je třeba tukovým filmem pokrýt. Při daném obsahu kakaového másla toto nemusí být zaručeno. S vyšším počtem malých částic viskozita čokoládové hmoty stoupá, avšak prahové smykové napětí klesá (Čopíková & kol., 2020).

### ***Vliv vlhkosti***

Čokoláda v tekutém stavu je typem emulze voda v oleji (V/O). Vlhkost negativně ovlivňuje tokové vlastnosti čokolády. Se zvyšujícím se obsahem vody její viskozita stoupá,

a proto příliš vysoký obsah vody zapříčiňuje vznik husté pastovité hmoty. Čokoláda je tvořena velice drobnými částicemi, přídavek vody zapříčiní jejich rozpuštění nebo vytvoří lepkavé skvrny na jejich povrchu. To způsobí slepení jednotlivých částic navzájem a tím dojde ke zvýšení viskozity čokolády. Ideální obsah vody u hořkých čokolád činí zhruba 0,7 %. Mléčné čokolády disponují o něco vyšším obsahem vody. Obsah vlhkosti u rozpuštěné čokolády obecně činí kolem 0,5 – 1,5 % (Afoakwa, Peterson & Fowler, 2007; Beckett, 2008; Čopíková & kol., 2020).

Z důvodu dodržení požadovaných reologických vlastností čokolády je nutné na každých 0,3 % nadbytečné vlhkosti na konci konšování, přidat 1 % tuku navíc. Vzhledem ke skutečnosti, že tuk je nejdražší základní surovinou na výrobu, je výhodné tomuto předcházet (Afoakwa, Peterson & Fowler, 2007).

### ***Vliv tuku***

Plastická viskozita a prahové smykové napětí klesá se zvyšujícím se obsahem tuku ve hmotách prostých emulgátorů. To znamená, že obsah tuku způsobuje, že čokoláda teče snáz. V případě čokolád disponujícími jemnými částicemi je pokles viskozity větší než u čokolád obsahující větší částice (Beckett, 2008; Čopíková & kol., 2020).

Vliv přídavku 1 % tuku se liší v závislosti na stávajícím obsahu tuku v čokoládě. Pokud je obsah tuku vyšší než 32 %, přídavek tuku se projeví pouze minimálně. Při obsahu tuku kolem 28 % se přídavek tuku projeví velmi výrazně, zvláště na plastické viskozitě. Změna viskozity je zjevnější při původním obsahu tuku pod 23 %. Při takovém obsahu tuku má čokoláda spíše pastovitou podobu (Beckett, 2008).

### ***Vliv emulgátoru***

Nejběžněji používaným emulgátorem při výrobě čokolády je sójový lecitin (E322). Přídavek i malého množství emulgátoru významně ovlivňuje reologické vlastnosti čokolády. Přídavek způsobuje snížení viskozity i smykového napětí, díky čemuž je možné použít menší množství kakaového másla, což může být ekonomicky výhodné (Yates, 2009).

Nicméně optimální množství lecitinu závisí i na velikosti částic, obsahu tuku a vlhkosti. Vliv všech těchto faktorů je popsán v textu výše. Například se zvětšující se velikostí částic, se zvětšuje i potřebné množství emulgátoru (Yates, 2009).

Uvádí se, že každým přídavkem 0,1 % lecitinu, je nahrazeno přibližně 1 % kakaového másla. Většinou je přidáváno 0,5 – 0,7 % emulgátoru k optimálnímu snížení hodnoty viskozity a smykového napětí. Pokud je ovšem přidáno více emulgátoru, může dojít

k opačnému efektu na smykové napětí. To samozřejmě závisí také a obsahu ostatních ingrediencí (Yates, 2009).

### ***Vliv konšování***

Během procesu konšování dochází k poklesu jak prahového smykového napětí, tak i plastické viskozity, a to vlivem obalování částic tukem a také přidavkem lecitinu ke konci konšovacího procesu. K poklesu prahového smykového napětí dochází ve větší míře než k poklesu plastické viskozity (Čopíková & kol., 2020).

Dalším faktorem, který ovlivňuje viskozitu v průběhu konšování je odpar vody. Ten má za následek pokles viskozity a prahového smykového napětí. Je důležité, aby odpařující se kapky vody nekondenzovaly a nestékaly zpět do konšované čokolády. Pokud k tomuto dojde, přebytečná vody rozpustí některé částice cukru. Tyto částice se slepí dohromady a po odpaření vlhkosti vzniknou tvrdé hrudky (Beckett, 2008; Čopíková & kol., 2020).

### ***Vliv temperace***

Během temperovacího procesu dochází k částečné krystalizaci kakaového másla. Kvůli vzniku těchto krystalů se zvyšuje jak prahové smykové napětí, tak i plastická viskozita (Čopíková & kol., 2020).

### ***Thixotropie***

Pojmem thixotropie se rozumí pokles plastické viskozity za dané deformační rychlosti vlivem míchání. Po určité době se v tekuté čokoládové hmotě ponechané v klidu vytváří struktura, která vede ke změně plastické viskozity i prahového smykového napětí (Čopíková & kol., 2020).

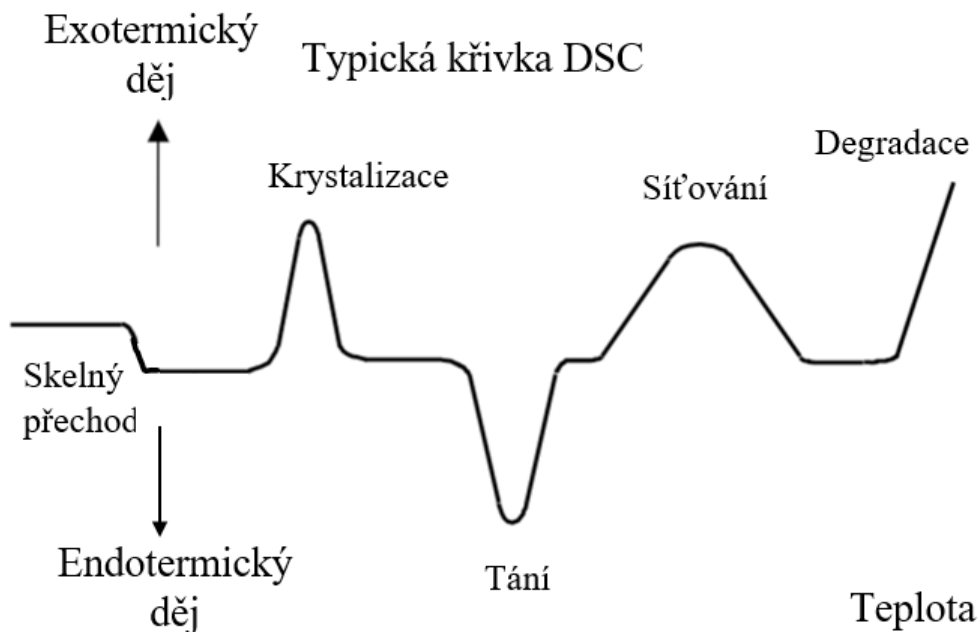
### ***Vliv vibrací***

Vlivem otřesů dochází k poklesu plastické viskozity tekuté čokolády. Této skutečnosti je využíváno při plnění čokoládových forem a také při formování čokolády. Tímto je umožněno dokonalé vyplnění forem čokoládou (Čopíková & kol., 2020).

## 7.4 Diferenciální skenovací kalorimetrie čokolády

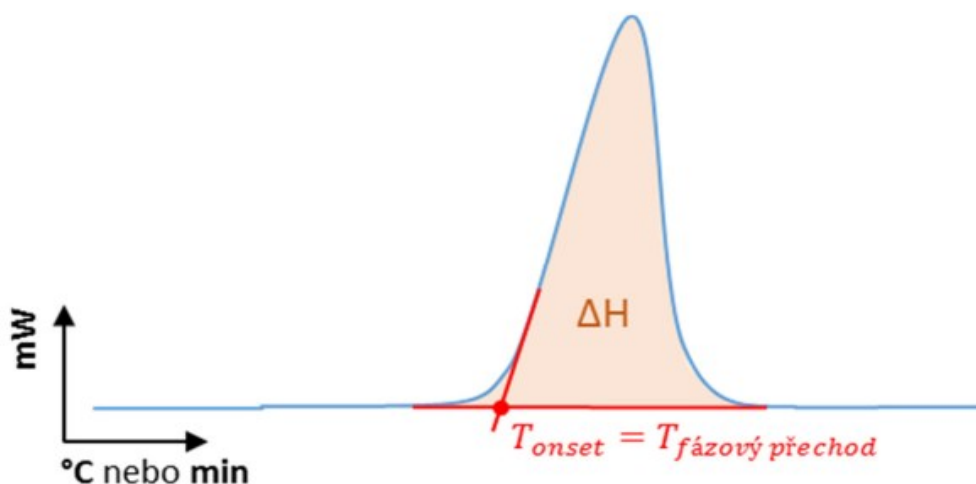
Tepelné projevy fyzikálních dějů v různých materiálech lze studovat pomocí experimentální metody zvané diferenční skenovací kalorimetrie (DSC) (Diferenční skenovací kalorimetrie (DSC), 2020). DSC je jedna z nejvyužívanějších metod pro určování a zkoumání procesu krystalizace i tání čokolády. Výhodou DSC je rychlá příprava vzorku i získání výsledků a také možnost využití metody u kapalných i pevných vzorků (Ioannidi & kol., 2021). Mezi výhody je rovněž možné zařadit vysokou přesnost a spolehlivost měření i nízkou spotřebu vzorku v řádech jednotek až desítek mg (Diferenciální skenovací kalorimetrie, b.r.).

Diferenční skenovací kalorimetry jsou vybaveny dvěma měřicími pozicemi - pánvičkami, jedna je referenční (prázdna) a druhá je měřicí a slouží ke studiu vzorku. Pro referenci se používá materiál, ve kterém neprobíhají žádné fázové změny (tj. inertní materiál), například prázdna hliníková pánvička. Přístroj měří teplotu a tepelný příkon v čase, přičemž teplo slouží k předem definovanému ohřívání či chlazení vzorku. Vzorek dodávané teplo spotřebovává (endotermický děj – např. tání) nebo uvolňuje (exotermický děj – např. krystalizace). Tento typ procesu doprovází mnoho fázových změn a označuje se jako transformace I. druhu a v rámci měření je detekován jako pík (obrázek 17). Z naměřeného rozdílu teplot mezi pozicemi je stanoven tepelný tok. Výstupním signálem diferenciální skenovací kalorimetrie je právě tepelný tok a teplota udávané v čase. Vzorek je studován v předem nastaveném rozmezí teplot. Možný rozsah teplot bývá u přístrojů tohoto typu značně široký a může se pohybovat od  $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$  až do  $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Rychlost ohřevu vzorku je volitelná (Diferenční skenovací kalorimetrie (DSC), 2020; Diferenciální skenovací kalorimetrie, b.r.).



Obrázek 17 Ukázka typické křivky DSC (upraveno dle Vaníček, b.r.)

Metoda DSC se provádí za účelem měření například fázových přechodů spojených s entalpií přeměny. Tyto děje se projeví jako pík v grafu (obrázek 18), který je charakterizován pomocí tzv. onsetové teploty a plochy odpovídající entalpii přechodu (Diferenciální skenovací kalorimetrie, b.r.).



Obrázek 18 Záznam tepelného toku s vyobrazením  $\Delta H$  a  $T_{onset}$  (Diferenciální skenovací kalorimetrie, b.r.)

Pro získání správných a co možná nejpřesnějších výsledků je důležitá příprava vzorku. Navážka vzorku se přímo promítá do intenzity termodynamických dějů v průběhu



měření. Čím větší je hmotnost navážky vzorku, tím větší jsou výsledné píky (Diferenciální skenovací kalorimetrie, b.r.).

Jednotlivé literární zdroje využívající metodu DSC často poskytují odlišné hodnoty teploty tání. Změnu polohy maxima píku nebo tvar termogramu do značné míry ovlivňuje zmíněná hmotnost měřeného vzorku, jeho tepelná vodivost, ale také podmínky samotného měření například rychlost ohřevu. Skutečnost, že rychlost ohřevu značně ovlivňuje výslednou teplotu tání, byla prezentována Ioannidi & kol. (2021). V rámci jejich měření byly použity rozdílné rychlosti záhřevu vzorku (nejnižší 0,5 °C/min a nejvyšší 10 °C/min) a nejvyšší rozdíl mezi výslednými teplotami byl až 3,8 °C (Ioannidi & kol., 2021).

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 8 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je analyzovat vliv složení, tj. především obsah kakaové a mléčné sušiny a kakaového másla, na vybrané vlastnosti komerčně zakoupených čokolád značky Lindt, zejména na texturu a reologické vlastnosti.

Pro naplnění uvedeného cíle bylo zapotřebí:

- zpracovat teoretickou část bakalářské práce týkající se legislativních požadavků na čokoládu; získávání kakaových bobů a jejich zpracování; přidavku dalších surovin pro výrobu čokolády a samotné výroby čokolády; vlivu výrobního procesu na texturu a reologické vlastnosti čokolády; vlivu polymorfismu kakaového másla a vlivu distribuce velikosti částic čokolády,
- zakoupit vybrané druhy čokolády s odlišným obsahem kakaové sušiny (30 %, 45 %, 55 %, 65 %, 70 %, 85 %, 90 %; w/w),
- podrobit vzorky čokolád reologické a texturní analýze, analýze velikosti částic a diferenciální skenovací kalorimetrii (DSC),
- zpracovat výsledky měření, vyhodnotit vliv složení čokolád na vybrané vlastnosti a zformulovat závěry.

## 9 CHARAKTERIZACE VYBRANÝCH DRUHŮ ČOKOLÁD

Čokolády zkoumané v rámci této práce byly zakoupeny v tržní síti. Jedná se o čtyři vzorky mléčné čokolády (s obsahy kakaové sušiny 30 %, 45 %, 55 %, 65 % w/w) a tři vzorky hořké čokolády (s obsahy kakaové sušiny 70 %, 85 %, 90 % w/w) značky Lindt uvedené na obrázku 19. Tabulka s obsahy vybraných surovin (kakaová sušina, mléčná sušina, kakaové máslo) i seznam veškerých surovin je uvedený níže.



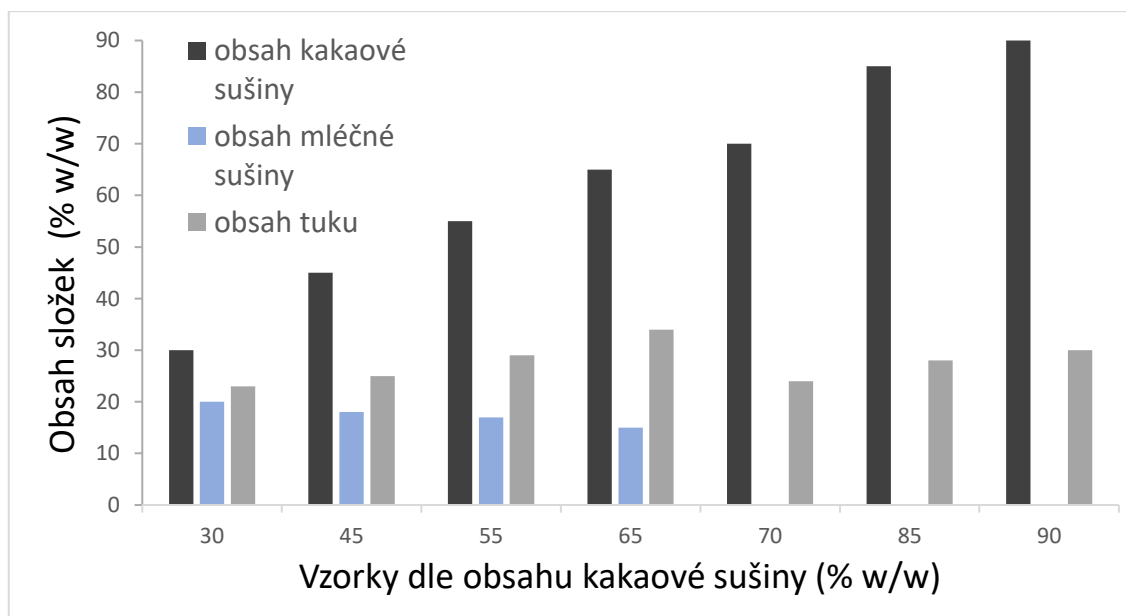
Obrázek 19 Přehled použitých čokolád

### Složení jednotlivých vzorků čokolád:

1. složení mléčné čokolády s obsahem kakaové sušiny 30 % (w/w): cukr, kakaové máslo, sušené plnotučné mléko, kakaová hmota, mléčný tuk, laktóza, sušené odstředěné mléko, extrakt ječného sladu, emulgátor (sójový lecitin), aroma (vanilin)
2. složení mléčné čokolády s obsahem kakaové sušiny 45 % (w/w): kakaová hmota, cukr, kakaové máslo, sušená smetana, sušené plnotučné mléko, emulgátor (sójový lecitin)

3. složení mléčné čokolády s obsahem kakaové sušiny 55 % (w/w): kakaová hmota, cukr, kakaové máslo, sušená smetana, emulgátor (sójový lecitin)
4. složení mléčné čokolády s obsahem kakaové sušiny 65 % (w/w): kakaová hmota, kakaové máslo, cukr, sušená smetana, bezvodý mléčný tuk, emulgátor (sójový lecitin)
5. složení hořké čokolády s obsahem kakaové sušiny 70 % (w/w): kakaová hmota, cukr, kakaové máslo, vanilka
6. složení hořké čokolády s obsahem kakaové sušiny 85 % (w/w): kakaová hmota, kakaový prášek se sníženým obsahem tuku, kakaové máslo, cukr, vanilka
7. složení hořké čokolády s obsahem kakaové sušiny 90 % (w/w): kakaová hmota, kakaové máslo, kakaový prášek se sníženým obsahem tuku, cukr

Níže (obrázek 20 a tabulka 5) jsou uvedeny jednotlivé obsahy kakaového prášku, mléčné sušiny a kakaového másla v každém vzorku čokolády. Vzorky jedna až čtyři jsou čokolády mléčné a vzorky pět až sedm se řadí mezi čokolády hořké.



Obrázek 20 Vyobrazení složení jednotlivých vzorků čokolád

Tabulka 5 Přehled obsahů vybraných surovin v použitých vzorcích čokolád

Vzorek	Obsah kakaové sušiny (% w/w)	Obsah mléčné sušiny (% w/w)	Obsah kakaového másla (nasycených tuků) (% w/w)
1	30	20	23
2	45	18	25
3	55	17	29
4	65	15	34
5	70	0	24
6	85	0	28
7	90	0	30

## 10 POSTUPY STANOVENÍ A METODIKA PRÁCE

Seznam použitých přístrojů a vybavení:

- analyzátor částic Zeta plus (Brookhaven Instruments, USA)
- ultrazvuková vana K – 2L (Kraintek, ČR)
- texturometr TA.XT plus (Stable Micro Systems, Velká Británie)
- reometr Malvern Kinexus (Netzsch Instruments, Německo)
- diferenciální skenovací kalorimetr DSC 250 (TA Instruments, USA)
- analytické váhy Sartorius Entris 224iS-1S (Sartorius AG, Německo)

Seznam použitých chemikálií:

- isopropanol (Penta chemicals, ČR)

### 10.1 Stanovení objemové velikosti částic čokolády

Objemová velikost částic byla měřena pomocí techniky dynamického rozptylu světla na přístroji Zeta plus při teplotě 25 °C. Parametry analýzy byly nastaveny následujícím způsobem: index lomu částic 1,400; index lomu isopropanolu 1,370; dynamická viskozita 2,040 cP; úhel měření 90 °; vlnová délka 658 nm.

Nejprve bylo nastrouháno přibližně (0,500 ± 0,005) g jednotlivých vzorků čokolád a zředěno v 10 ml isopropanolu. Poté byly jednotlivé vzorky zahřívány a sonikovány při 10 % výkonu ultrazvukové lázně a frekvenci 35 kHz při teplotě 55 °C po dobu 60 minut. Před měřením byla čokoláda energeticky protřepána (Saputro, 2017).

### 10.2 Stanovení textury čokolády

Měření tvrdosti čokolády bylo provedeno na analyzátoru textury TA.XT plus (obrázek 21). Měření byla nastavena na jednu penetraci. Analýza byla provedena při teplotě 23,7 °C a vlhkosti 29,3 %. Každý vzorek byl měřen na dvou opakováních. Výsledky analýzy byly vyjádřeny jaké střední hodnota a odpovídají standardní odchylka. Parametry měření byly totožné s parametry uvedenými v literatuře ( Lillah & kol., 2017). Tvrdost vzorků byla

stanovena při proniknutí hliníkové sondy do testovaného vzorku čokolády. Průměr sondy byl 2 mm (P/2N), rychlost penetrace 1 mm/s a hloubka penetrace byla nastavena na 0,5 mm.



Obrázek 21 Texturometr TA.XT Plus

### 10.3 Stanovení reologických vlastností čokolády

Reologické vlastnosti studovaných vzorků čokolády byly stanoveny na oscilačním reometru (obrázek 22). U testovaných vzorků byla měřena Cassonova plastická viskozita a prahové smykové napětí (mez toku). Při měření byla použita geometrie válec – válec. Průměr senzoru byl 30 mm a teplota měření činila  $(40,0 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ . Měření byla provedena podle metodiky popsané v literatuře (Glicerina & kol., 2016). Získané tokové křivky byly fitovány Cassonovým modelem za účelem stanovení Cassonovy plastické viskozity a prahového smykového napětí (Glicerina & kol., 2016).





Obrázek 22 Reometr Malvern Kinexus

#### 10.4 Diferenciální skenovací kalorimetrie čokolády

Tepelné chování vzorků čokolády bylo charakterizováno diferenciální skenovací kalorimetrií (DSC). Přístroj byl kalibrován pomocí india jako standardu. Přibližně  $(14,0 \pm 1,4)$  mg studovaných vzorků bylo nastrouháno a umístěno do hliníkových pánviček, které poté byly hermeticky uzavřeny. Jako reference byla použita prázdná pánvička. Měření studovaných vzorků čokolády bylo provedeno při rychlosti ohřevu  $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  a probíhalo v rozmezí teplot  $0$  až  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Všechna měření byla provedena v dusíkové atmosféře s průtokem  $50 \text{ ml}/\text{min}$ . DSC termogramy byly charakterizovány detekcí následujících specifických teplotních bodů: teploty  $T_o$  (onset),  $T_p$  (pík) a  $\Delta H$  (hodnota entalpie) (Lapčíková & kol., 2022).

## 11 VYHODNOCENÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ

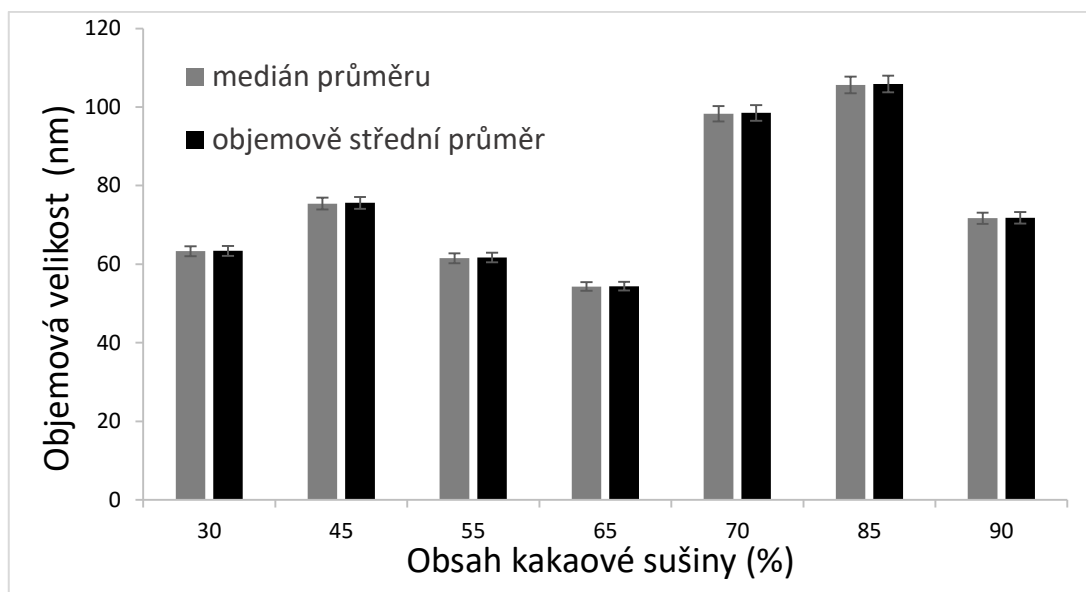
### 11.1 Stanovení objemové velikosti částic čokolády

Technikou dynamického rozptylu světla byla změřena velikost částic jednotlivých vzorků čokolád. Výsledky analýzy vyobrazuje níže uvedená tabulka 6 a graf na obrázku 23.

Tabulka 6 Výsledky hodnot stanovení velikosti částic při 25 °C

Vzorky dle obsahu kakaové sušiny (% w/w)	Medián průměru (nm)	Objemově střední průměr (nm)	Index polydisperzity
30	63,3 ± 1,3	63,4 ± 1,3	0,005
45	75,4 ± 1,5	75,6 ± 1,5	
55	61,5 ± 1,2	61,7 ± 1,2	
65	54,3 ± 1,1	54,4 ± 1,1	
70	98,3 ± 2,0	98,5 ± 2,0	
85	105,6 ± 2,1	105,9 ± 2,1	
90	71,7 ± 1,4	71,8 ± 1,4	

Výsledná velikost částic byla vyjádřena jako objemově střední průměr částic a medián průměru částic. Hodnoty objemově středního průměru částic se pohybovaly v rozmezí od (54,4 ± 1,1) nm (vzorek s 65 % w/w kakaového sušiny) do (105,9 ± 2,1) nm (vzorek s 85 % w/w kakaové sušiny). Z tabulky 6 je patrné, že obecně větší hodnotu objemově středního průměru mají částice vzorků hořké čokolády. Index polydisperzity částic byl ve všech vzorcích stanoven na hodnotu 0,005, což značí téměř dokonale monodisperzní systém (Lapčíková & kol., 2022). Skutečnost, že jednotlivé hodnoty mediánu průměru a objemově středního průměru částic jsou téměř totožné u všech vzorků čokolády a jejich hodnoty se liší až na desetinném místě, je důkazem monodisperzního systému.



Obrázek 23 Graf objemově středního průměru a mediánu průměru velikosti částic jednotlivých vzorků čokolád s různým obsahem složek rozlišených dle obsahu kakaové sušiny

Graf zobrazuje dvojice sloupců prezentující objemově střední průměr částic ( $D[4,3]$ ) a medián průměru částic v jednotlivých vzorcích mléčné a hořké čokolády. Z grafu (obrázek 23) je patrné, že vzorky mléčných čokolád vykazují spíše menší objemově střední průměr částic než vzorky hořkých čokolád. Je proto možné hledat souvislost mezi velikostí částic a obsahem mléčné sušiny v čokoládě. S výjimkou prvního vzorku mléčné čokolády (obsah kakaové sušiny 30 % w/w) lze sledovat klesající velikost hodnoty objemově středního průměru částic s klesajícím obsahem mléčné sušiny. Vzorky čokolády s nejvyšším obsahem kakaového másla v obou kategoriích, mají nejmenší objemově střední průměr velikosti částic. Nejmenším objemově středním průměrem částic mezi mléčnými druhy čokolád tedy disponuje vzorek s obsahem kakaové sušiny 65 % (w/w) s obsahem kakaového másla 34 % (w/w). Mezi hořkými druhy čokolád je to pak vzorek s obsahem kakaové sušiny 90 % (w/w) s obsahem kakaového másla 30 % (w/w).

Velikost částic má přímý dopad na sensorický charakter čokolády. Větší částice zapříčiňují pocit hrubosti v ústech. Naopak jemnější částice zajišťují příhodné tokové vlastnosti čokolády (Afoakwa, Peterson & Fowler, 2008). Čokoláda zjemněná na maximální velikost částic 20  $\mu\text{m}$  má krémovější chuť a texturu než čokoláda zjemněná pouze na 30  $\mu\text{m}$  (Afoakwa, 2010). Velikost částic v dobré hořké čokoládě je maximálně 35  $\mu\text{m}$  (Afoakwa, 2010; Afoakwa, 2014; Afoakwa, Peterson & Fowler, 2008). Při překročení této hranice je výsledkem nepříjemný produkt o vysoké viskozitě a špatné textuře.

Hraniční hodnoty jsou ovšem závislé na volbě cílového charakteru produktu (Afoakwa, Peterson & Fowler, 2008). Podle Becketta (2008) je maximální velikost částic pro eliminaci pískovitého pocitu v ústech 30  $\mu\text{m}$ . Čopíková & kol. (2020) a Varzakas (2015) uvádí optimální velikost částic 20 – 25  $\mu\text{m}$ , s přihlédnutím na schopnost chuťové registrace a optimální vlastnosti pro tvarování.

Stanovená hodnota objemově středního průměru částic čokolád se pohybovala v rozmezí  $(54,4 \pm 1,1)$  až  $(105,9 \pm 2,1)$  nm, což je značně nižší hodnota, než uvádí výše zmínění autoři. Tato skutečnost může vycházet z postupu stanovení, konkrétně z procesu sonikace vzorků. Účelem sonikace je rozrušení shluků (aglomerátů). Tímto je zajištěno stanovení skutečné velikosti částic, namísto velikosti shluků (Saputro, 2017).

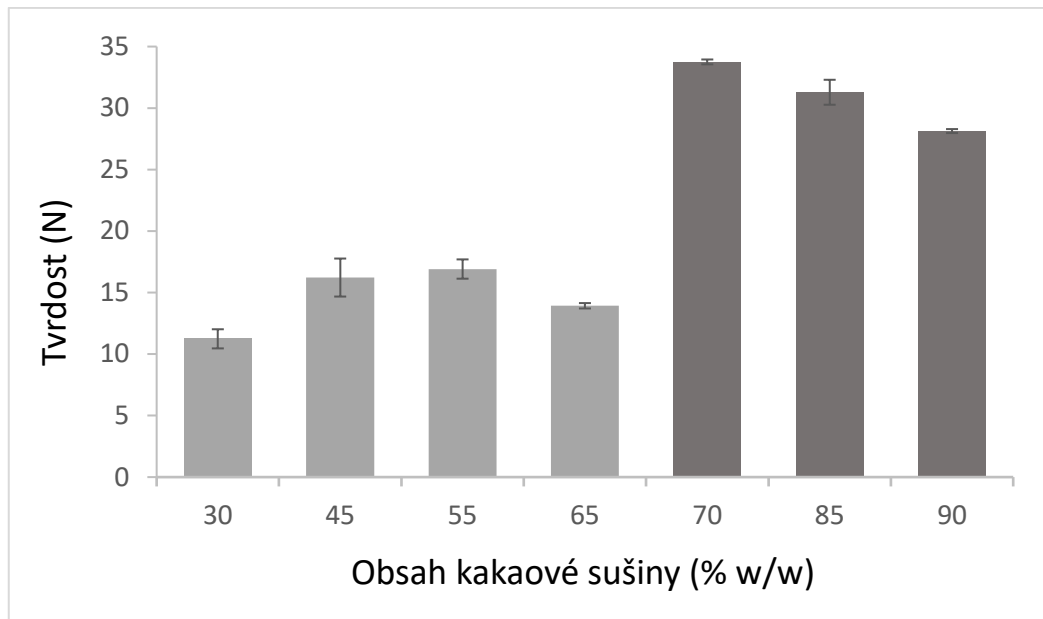
## 11.2 Stanovení textury čokolády

Texturní analýza byla provedena za účelem získání hodnot tvrdosti jednotlivých vzorků čokolád. Výsledky penetračního testu jsou prezentovány v tabulce 7 a ve sloupcovém grafu níže (obrázek 24).

Tabulka 7 Výsledné hodnoty tvrdosti jednotlivých vzorků čokolád

Vzorky dle obsahu kakaové sušiny (% w/w)	Tvrdość (N)
30	$11,24 \pm 0,78$
45	$16,22 \pm 1,55$
55	$16,91 \pm 0,78$
65	$13,93 \pm 0,22$
70	$33,75 \pm 0,20$
85	$31,29 \pm 1,02$
90	$28,13 \pm 0,16$

Naměřená tvrdost mléčných čokolád byla v rozmezí hodnot od  $(11,24 \pm 0,78)$  N do  $(16,91 \pm 0,78)$  N. U vzorků hořkých čokolád se tato hodnota pohybovala od  $(28,13 \pm 0,16)$  N do  $(33,75 \pm 0,20)$  N. Z výše uvedené tabulky je zřejmé, že mléčné vzorky čokolád disponují zhruba poloviční tvrdostí v porovnání s hořkými vzorky.



Obrázek 24 Graf tvrdosti jednotlivých vzorků čokolád s různým obsahem složek rozlišených dle obsahu kakaové sušiny

Sloupce grafu jsou barevně rozlišeny pro výsledky tvrdosti vzorků mléčných a hořkých čokolád. Mléčné čokolády se oproti hořkým čokoládám vyznačují vyšší měkkostí (Beckett, 2008). Přídavkem mléčného tuku do kakaového másla dochází ke změkčení textury čokolády vlivem eutektického efektu (Afoakwa, Peterson & Fowler, 2007; Metin & Hartel, 2012; Yates, 2009). Toto tvrzení koresponduje s výsledky texturní analýzy prezentované v grafu na obrázku 24. Získané výsledky jsou v souladu i s měřením provedeným Ostrowska-Ligeża & kol. (2019), kde tvrdost mléčných čokolád byla nižší v porovnání s hořkými. Nejmenší tvrdost ( $11,24 \pm 0,78$ ) N byla naměřena u vzorku mléčné čokolády s obsahem kakaové sušiny 30 % (w/w). Tento vzorek zároveň obsahoval nejvyšší množství mléčné sušiny, a to 20 % (w/w). Na základě výše uvedeného grafu lze konstatovat, že u vzorků mléčných čokolád, tvrdost stoupá se zvyšujícím se obsahem kakaové sušiny a kakaového másla a zároveň se snižujícím se obsahem mléčné sušiny. Výjimkou je vzorek k obsahem kakaové sušiny 65 % (w/w), jehož hodnota tvrdosti není součástí stoupajícího trendu tvrdosti mléčných vzorků čokolád patrného z obrázku 24. Důvodem snížené tvrdosti u tohoto vzorku mléčné čokolády může být vyšší obsah kakaového másla, a to 34 % (w/w). Jedná se o nejvyšší hodnotu obsahu kakaového másla ze všech měřených vzorků.

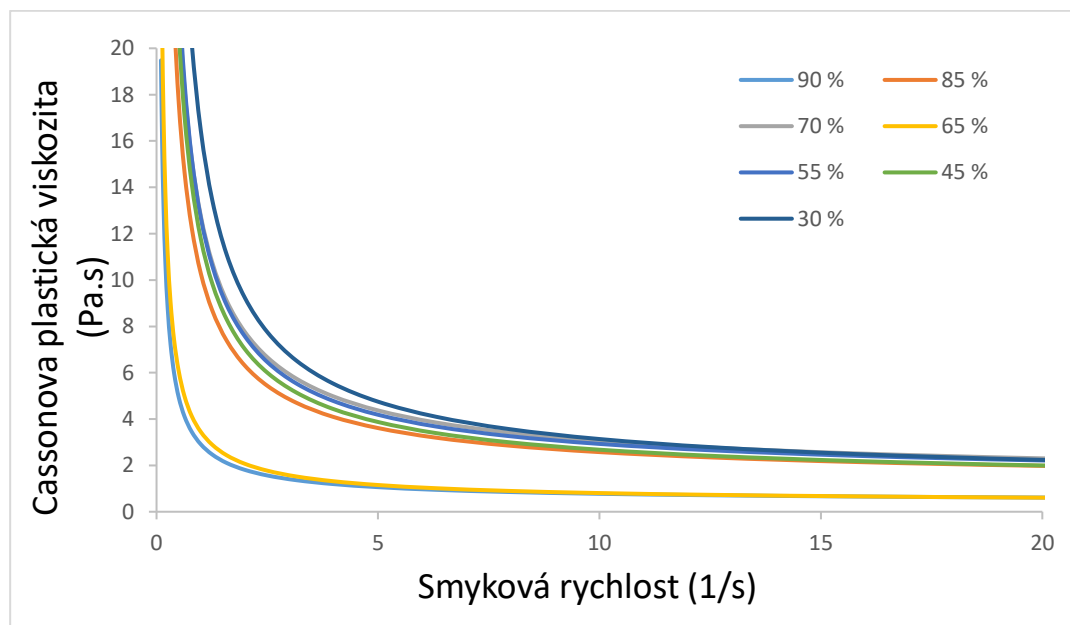
Největší tvrdost ( $33,75 \pm 0,20$ ) N byla naměřena u vzorku hořké čokolády s obsahem kakaové sušiny 70 % (w/w), který disponuje nejnižším obsahem kakaového másla (24 % w/w) z hořkých čokolád. Nižší obsah tuku má pouze vzorek mléčné čokolády s nejnižším obsahem kakaové sušiny. Tvrdost hořkých čokolád se dále snižovala s rostoucím

obsahem kakaové sušiny. To koresponduje s výsledky měření provedeného Mancas & Amarieri (2016), kteří pozorovali snížení tvrdosti se zvyšujícím se obsahem kaka. V rámci jejich analýzy byla zjištěna vyšší tvrdost u vzorků čokolád Lindt s obsahem kakaové sušiny 70 % (w/w) než u vzorku s 85 % (w/w) obsahem, což je v souladu s výsledky na obrázku 24. Z grafu lze dále konstatovat, že tvrdost hořkých vzorků čokolád klesá s rostoucím obsahem kakaového másla. Obsah mléčné sušiny v případě hořkých druhů čokolád není zastoupen.

Tvrdost jakožto texturní parametr je velice důležitá mechanická vlastnost čokolády, protože blízce souvisí se sensorickým posouzením během konzumace a zároveň slouží k předpovědi tokových vlastností čokolády během její výroby. Tvrdost čokolády nezávisí pouze na složení, nýbrž i na podmínkách zpracování, zejména na tuhnutí a krystalizaci tukové fáze čokolády (Ostrowska-Ligęza & kol., 2019).

### 11.3 Stanovení reologických vlastností čokolády

Reologické chování čokolády bylo měřeno při 40 °C a bylo vyhodnoceno jako tokové chování pro jednotlivé čokolády. Výsledky reologického stanovení (Cassonova plastická viskozita, mez toku a graf závislosti Cassonovy plastické viskozity na smykové rychlosti) jsou prezentovány v níže uvedených grafech (obrázek 26 - 28).



Obrázek 25 Graf závislosti Cassonovy plastické viskozity na smykové rychlosti u jednotlivých vzorků čokolád rozlišených dle obsahu kakaové sušiny

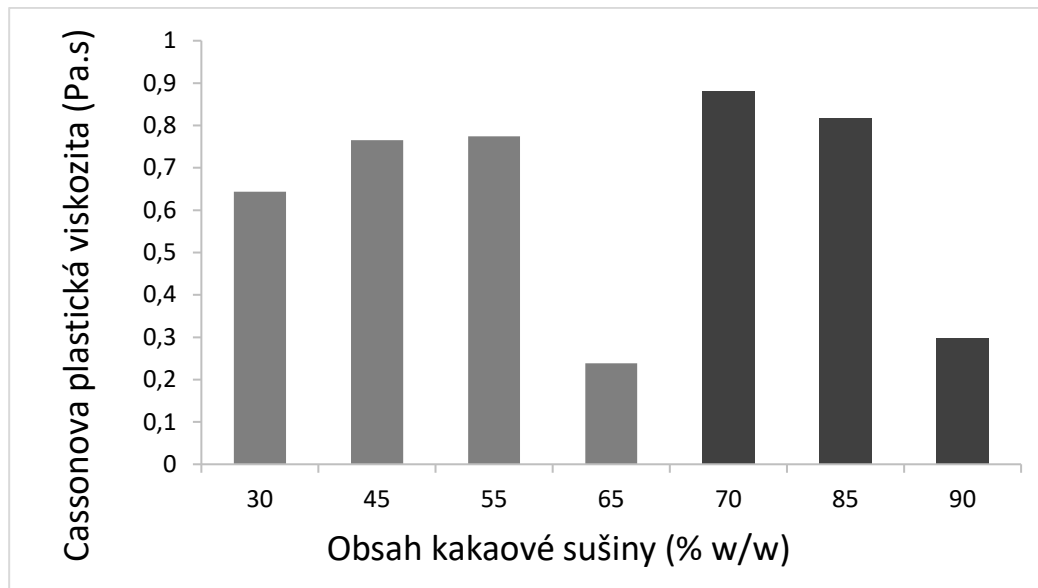
Z výše uvedeného grafu (obrázek 25), je zřejmé, že veškeré stanovené vzorky čokolád vykazují pseudoplastické chování. Dále je patrné, že Cassonova plastická viskozita vzorků klesá s rostoucí smykovou rychlostí. To koresponduje s výsledky měření provedeného Glicerina & kol. (2016). Nejvýrazněji je tato skutečnost patrná u vzorků čokolád s obsahem kakaové sušiny 65 % (w/w) a 90 % (w/w). Je možné, že popsaná skutečnost má souvislost s obsahem tuku v čokoládě. Oba tyto vzorky disponují nejvyššími obsahy kakaového másla a to 34 % (w/w) v případě mléčné čokolády a 30 % (w/w) u hořké čokolády.

V tabulce 8 jsou uvedeny parametry Cassonova modelu plastické viskozity a meze toku (prahového smykového napětí). Pro srovnání s tokovými parametry, jsou v tabulce 8 začleněny i hodnoty tvrdosti čokolád. Tabulka je barevně členěna podle druhu čokolády (mléčná/hořká).

Tabulka 8 Výsledky stanovení reologických vlastností vzorků čokolád

Vzorky dle obsahu kakaové sušiny (% w/w)	Cassonova plastická viskozita (Pa.s)	Mez toku (Pa)	Tvrдость (N)
30	0,64	10,05	11,24
45	0,77	6,45	16,22
55	0,77	7,05	16,91
65	0,24	1,87	13,93
70	0,88	6,60	33,75
85	0,82	5,01	31,29
90	0,30	1,32	28,13

Z výše uvedené tabulky 8 je patrné, že stanovená Cassonova plastická viskozita i tvrdost čokoládových vzorků jsou spjaté a vykazují totožný trend. Mez toku vykazuje také stejný trend, avšak ne u všech vzorků jako v případě Cassonovy plastické viskozity a tvrdosti.



Obrázek 26 Graf závislosti Cassonovy plastické viskozity na složení jednotlivých vzorků čokolád rozlišených dle obsahu kakaové sušiny

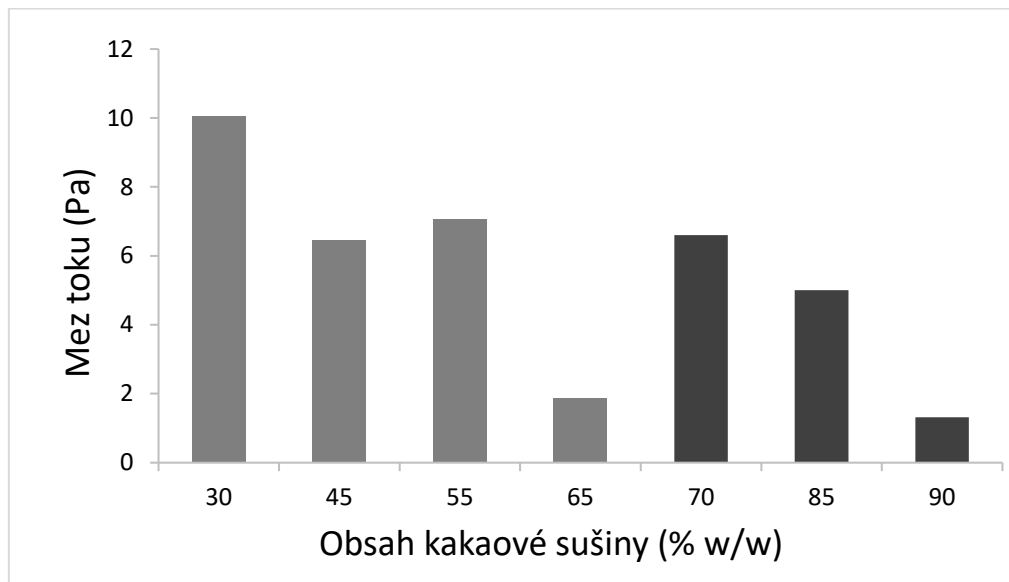
Nejvyšší hodnota Cassonovy plastické viskozity byla naměřena u vzorku hořké čokolády s obsahem kakaové sušiny 70 % (w/w), a to 0,88 Pa.s. Naopak nejnižší hodnotu Cassonovy plastické viskozity vykazovala mléčná čokoláda s obsahem kakaové sušiny 65 % (w/w), a to 0,24 Pa.s.

Z uvedených výsledků (obrázek 26) lze konstatovat, že u vzorků mléčných čokolád, Cassonova plastická viskozita stoupá se zvyšujícím se obsahem kakaové sušiny a kakaového másla a zároveň se snižujícím se obsahem mléčné sušiny. U vzorku s obsahem kakaové sušiny 65 % (w/w) dochází k poklesu Cassonovy plastické viskozity patrně kvůli vysokému obsahu kakaového másla (34 % w/w). Nejvyšší hodnota Cassonovy plastické viskozity byla stanovena u vzorku se 70 % (w/w) kakaové sušiny, který disponuje nejnižším obsahem kakaového másla (24 % w/w) ze vzorků hořkých čokolád. Hodnota Cassonovy plastické viskozity dále klesá se stoupajícím obsahem kakaového másla a vzrůstajícím obsahem kakaové sušiny. Tuk vyplňuje mezery mezi částicemi v tekuté čokoládě a redukuje tak odpor vůči toku (Afoakwa & kol., 2008).

Výsledkům Cassonovy plastické viskozity odpovídají i výsledky stanovení tvrdosti čokolád (obrázek 24). Tvrdost vzrůstala se stoupající hodnotou Cassonovy plastické viskozity a naopak. Na základě prezentovaných výsledků se lze domnívat, že Cassonova plastická viskozita klesá s rostoucím obsahem tuku. U mléčných vzorků čokolád jsou



reologické vlastnosti silně ovlivněny obsahem mléčné sušiny (Lapčíková & kol., 2022). Ke snížení viskozity vlivem přísavku tuku dochází i podle Beckett (2008).



Obrázek 27 Graf závislosti meze toku na složení jednotlivých vzorků čokolád rozlišených dle obsahu kakaové sušiny

Nejvyšší hodnota meze toku (prahového smykového napětí) byla naměřena u vzorku mléčné čokolády s obsahem kakaové sušiny 30 % (w/w) a dosahovala hodnoty 10,05 Pa. Naopak nejnižší hodnotou meze toku disponuje vzorek hořké čokolády s obsahem kakaové sušiny 90 % (w/w), a to 1,32 Pa. Mez toku u všech vzorků čokolád se obecně snižovala se zvyšujícím se obsahem kakaového másla (tuku) a kakaové sušiny. U vzorků mléčných čokolád lze zároveň konstatovat snižování meze toku se snižujícím se obsahem mléčné sušiny.

Hodnota Cassonovy plastické viskozity i meze toku vykazovaly podobný trend u všech vzorků čokolád s výjimkou mléčné čokolády s nejnižším obsahem kakaové sušiny (30 % w/w). Mez toku u tohoto vzorku byla vyšší v porovnání s ostatními vzorky, kdežto hodnota Cassonovy plastické viskozity u ostatních vzorků spíše stoupala. Podle Glicerina & kol. (2016) způsobuje vyšší obsah kakaového másla, společně s obsahem mléčného tuku (z mléčné sušiny), redukci odporu k toku. Naopak nižší obsah kakaového másla společně s vyšším obsahem pevných částic zapříčiňují vyšší hodnoty reologických charakteristik. Toto tvrzení odpovídá získaným výsledkům Cassonovy plastické viskozity (obrázek 26). Snížení Cassonovy plastické viskozity i meze toku se zvyšujícím se obsahem tuku jsou popsány i De Graef & kol. (2011) v jejich publikaci.

Reologické vlastnosti čokolády jsou ovlivněny zejména výrobou a složením čokolády. Procesy jako zjemňování, konšování a temperace čokolády výrazně určují její tokové vlastnosti. Výrazný vliv na tokové chování čokolády má rovněž distribuce velikosti částic, obsah kakaových součástí, množství tuku a typ použitého emulgátoru. Zásadním důvodem měření tokových vlastností je schopnost úpravy výrobního procesu vzhledem k zamýšlenému použití čokolády (De Graef & kol., 2011; Fernandes, Müller & Sandoval, 2013).

#### 11.4 Diferenciální skenovací kalorimetrie čokolády

Za účelem zkoumání bodu tání jednotlivých vzorků čokolády a získání údajů o krystalickém stavu kakaového másla byla provedena diferenciální skenovací kalorimetrie (Ioannidi & kol., 2021). Zkoumání teploty tání čokolády bylo provedeno vyhodnocením několika specifických bodů na termogramu, a to  $T_o$ ,  $T_p$  a  $\Delta H$ . Hodnota entalpie ( $\Delta H$ ) odpovídá ploše jednotlivých píků a odpovídá latentnímu teplu (Ostrowska-Ligęza & kol., 2019). Nástupní („onset“) teplota  $T_o$  odpovídá teplotě, při které začíná tát příslušná krystalická forma kakaového másla. Teplotní maximum píku  $T_p$ , odpovídá bodu, ve kterém je rychlost tání maximální (Afoakwa & kol., 2008) a reprezentuje maximální teplo absorbované hmotou. Teplota píku je tedy považována za zdánlivou teplotu tání čokolády a to i přes fakt, že v tomto případě není tání termodynamicky „ostré“ jako u jednosložkového systému. Tato teplota slouží také k určení převládajícího polymorfu (krystalické struktury) v čokoládě. Každá krystalická forma kakaového másla se totiž vyznačuje specifickou teplotou tání, díky čemuž může být rozpoznána (Ioannidi & kol., 2021). Výskyt dvou a více píků naznačuje existenci vícero krystalických forem kakaového másla ve vzorku čokolády (Ostrowska-Ligęza & kol., 2019).

V případě jednosložkového systému je teplota tání specifická a charakteristická pro danou látku. Čokoláda je ovšem vícesložkový systém, který obsahuje i částice cukru nebo mléčné součásti a díky tomu se bod tání může lišit i například vlivem přídavku složek rozpustných v tukové fázi čokolády (např. emulgátory) (Ioannidi & kol., 2021). Výsledky DSC měření jsou vyobrazeny v tabulce 9 a v grafech níže (obrázek 28 a 29).

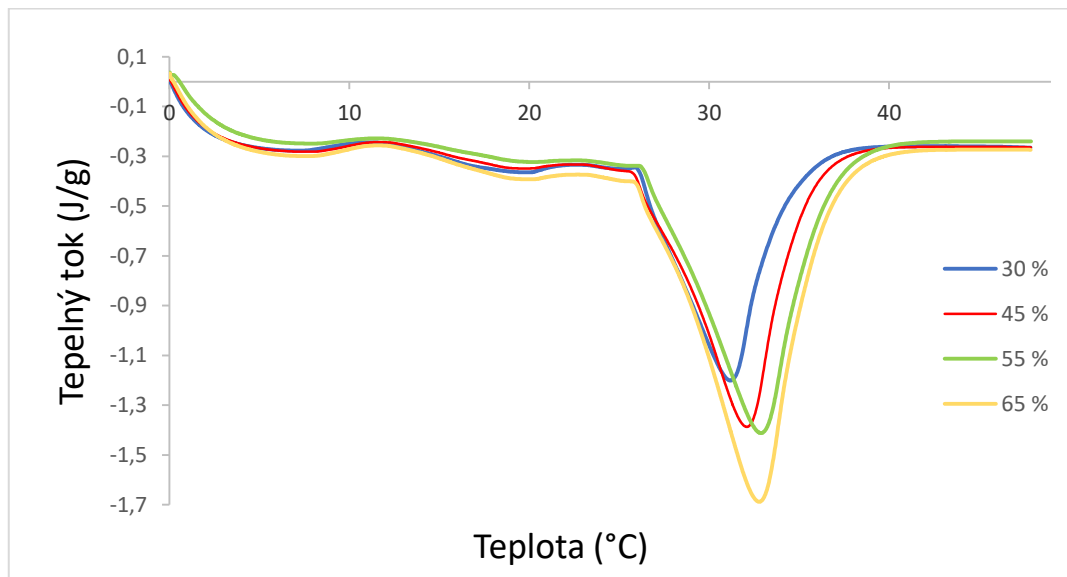
Tabulka 9 Přehled výsledných hodnot měření DSC pro jednotlivé vzorky čokolád

Vzorky dle obsahu kakaové sušiny (% w/w)	Onset teplota $T_o$ (°C)	Teplota tání v píku $T_p$ (°C)	Entalpie $\Delta H$ (J/g)
30	25,72	31,21	26,449
45	27,05	32,11	33,913
55	26,98	32,90	38,434
65	27,14	32,78	46,330
70	27,88	33,31	49,935
85	27,54	33,25	53,428
90	28,32	34,29	64,133

Z tabulky 9 je patrné, že všechny měřené vzorky mléčných i hořkých čokolád mají onset teplotu  $T_o$  v rozmezí 25,72 – 28,32 °C a pík teploty tání  $T_p$  tuku v rozmezí 31,21 - 34,29 °C. Čopíková & kol. (2020) uvádí, že teplota tání stabilní  $\beta$  (forma V) krystalické modifikace kakaového másla probíhá v rozmezí 29 – 34 °C. To naznačuje existenci této krystalické formy ve zkoumaných vzorcích čokolády. Endotermní píky v níže uvedených grafech tedy indikují proces tání této krystalické formy, což signalizuje řádně provedenou temperaci u zkoumaných vzorků čokolád (Ostrowska-Ligęza & kol., 2019).

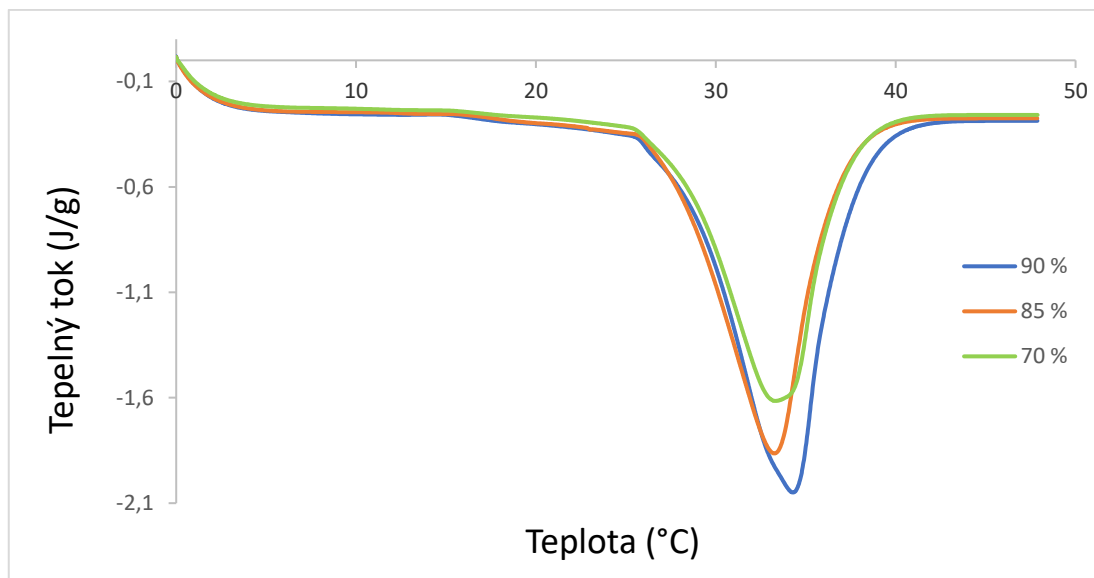
Podle Afoakwa & kol. (2008) má stanovená hodnota entalpie spjitost s obsahem tuku ve vzorcích. Vzorky čokolád s nižším obsahem tuku disponují nižší hodnotou entalpie. Obsah tuku má tak výrazný vliv na vlastnosti tání čokolády. Hodnoty entalpie u vzorků mléčných čokolád rostou se vzrůstajícím obsahem kakaového másla a kakaové sušiny. Stejnou závislost lze pozorovat rovněž u vzorků hořkých čokolád. Vliv na vlastnosti tání má také obsah nasycených a nenasycených mastných kyselin v tuku (Ostrowska-Ligęza & kol., 2019).

Na obrázcích 28 a 29 jsou záznamy z DSC měření, kde endotermní píky představují profil tání jednotlivých vzorků čokolád.



Obrázek 28 Profil teploty tání kakaového másla ve vzorcích mléčných čokolád v závislosti na obsahu kakaové sušiny.

Endotermní píky u grafu prezentujícího výsledky DSC měření vzorků mléčných čokolád (obrázek 28) zahrnují kromě teploty tání kakaového másla i teplotu tání mléčného tuku z mléčné sušiny. Teplota tání mléčného tuku je nižší než teplota tání kakaového másla (Ostrowska-Liğeza & kol., 2019). Tato skutečnost je patrná i z obecně nižších hodnot teploty v píku u vzorků mléčných čokolád (31,21 - 32,90 °C) než u vzorků hořkých čokolád. Tomuto výsledku odpovídá i měření provedené Ostrowska-Liğeza & kol. (2019), kdy teploty tání mléčných čokolád byly nižší než teploty tání hořkých čokolád. Podle Ostrowska-Liğeza & kol. (2019) snižuje obsah mléčného tuku teplotu tání čokolády. Z grafu na obrázku 28 je patrné, že se vzrůstajícím obsahem kakaové sušiny narůstají hodnoty  $\Delta H$ , viz tabulka 9.



Obrázek 29 Graf teploty tání kakaového másla ve vzorcích hořkých čokolád

U vzorků hořkých čokolád (obrázek 29) pozorujeme pouze tání kakaového másla, kde se vzrůstajícím obsahem kakaové sušiny vzrůstají hodnoty  $\Delta H$ . Teploty píku u vzorků hořkých čokolád byly stanoveny na 33,25 – 34,29 °C. Vyšší hodnoty entalpie u vzorků hořkých čokolád než u vzorků mléčných čokolád byly rovněž pozorovány i v rámci měření Ostrowska-Ligęza & kol. (2019).

Různý obsah tuku a jeho kvalita má vliv na vlastnosti tání finálního produktu. Vliv má také obsah lecitinu (emulgátorů), obsah cukrů a distribuce velikosti částic. Čokoláda s jemnějšími částicemi, vyšším obsahem tuku a nižším obsahem lecitinu taje déle a při vyšších teplotách (Afoakwa & kol., 2008; Ostrowska-Ligęza & kol., 2019).

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce je posoudit vliv složení zakoupených čokolád značky Lindt, především obsah kakaové sušiny, mléčné sušiny a kakaového másla (tuku), na jejich vybrané vlastnosti. První část práce tvoří literární rešerše zabývající se legislativou, jednotlivými druhy a požadavky na čokolády. Dále jsou uvedeny informace týkající se pěstování kakaovníku, historie čokolády, sběru a následného zpracování kakaových bobů. V dalších kapitolách jsou popsány suroviny na výrobu čokolády a také samotná výroba. Součástí je rovněž kapitola o krystalizaci a polymorfismu kakaového másla a metodách využívaných ke zkoumání kakaového másla a čokolády.

V druhé části práce jsou charakterizovány jednotlivé zkoumané vzorky mléčných a hořkých čokolád a jejich složení. Následně jsou popsány jednotlivé postupy a metodika měření zahrnující měření velikosti částic, textury, reologických vlastností čokolády a bodu tání čokolády. Na základě výsledků jednotlivých měření lze konstatovat, že:

- objemově střední průměr částic vzorků čokolády se pohyboval v rozmezí od  $(54,4 \pm 1,1)$  nm do  $(75,6 \pm 1,5)$  nm u vzorků mléčných čokolád a od  $(71,8 \pm 1,4)$  nm do  $(105,9 \pm 2,1)$  nm u vzorků hořkých čokolád, spíše větší objemově středním průměrem částic disponovaly vzorky hořkých čokolád,
- tvrdost vzorků mléčných čokolád se pohybovala od  $(11,24 \pm 0,78)$  N do  $(16,91 \pm 0,78)$  N a tvrdost vzorků hořkých čokolád se pohybovala od  $(28,13 \pm 0,16)$  N do  $(33,75 \pm 0,20)$  N,
- tvrdost vzorků mléčných čokolád se zvyšovala s klesajícím obsahem mléčné sušiny a stoupajícím obsahem kakaové sušiny a kakaového másla, tvrdost vzorků hořkých čokolád se snižovala s rostoucím obsahem kakaového másla a klesajícím obsahem kakaové sušiny,
- stanovené hodnoty Cassonovy plastické viskozity vzorků mléčných čokolád byly v rozmezí 0,24 - 0,77 Pa.s, hodnoty u vzorků hořkých čokolád byly v rozmezí 0,30 – 0,88 Pa.s, hodnoty meze toku u mléčných vzorků čokolád dosahovaly 1,87 - 10,05 Pa, u vzorků hořkých čokolád dosahovaly hodnot 1,32 – 6,60 Pa,
- všechny zkoumané vzorky čokolád vykazovaly pseudoplastické chování, výsledné hodnoty Cassonovy plastické viskozity vykazovaly stejný trend jako výše uvedené hodnoty tvrdosti čokolád,

- hodnoty meze toku obecně vykazovaly spíše klesající trend u obou druhů vzorků čokolád, mez toku se spíše snižovala s klesajícím obsahem mléčné sušiny a se stoupajícím obsahem kakaové sušiny a kakaového másla,
- teplota tání v píku se u mléčných vzorků čokolád pohybovala v rozmezí 31,21 – 32,90 °C a u vzorků hořkých čokolád byla v rozmezí 33,31 – 34,29 °C, uvedená teplotní rozmezí indikují proces tání krystalické formy V,
- teplota tání vzorků mléčných čokolád byla nižší a zároveň tyto vzorky dosahovaly nižších hodnot entalpie než vzorky hořké čokolády, přídavek mléčné sušiny snižoval teplotu tání čokolády.

Závěrem je třeba zmínit, že z výše uvedených výsledků je zřejmé, že obsah kakaové sušiny, obsah mléčné sušiny i obsah kakaového másla výrazně ovlivňuje sledované vlastnosti vzorků čokolád.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

AFOAKWA, Emmanuel, 2010. *Chocolate science and technology* [online]. Wiley-Blackwell [cit. 2023-04-28]. ISBN 9781444319880. Dostupné z: 10.1002/9781444319880

AFOAKWA, Emmanuel Ohene, 2014. *Cocoa Production and Processing Technology* [online]. Boca Raton: CRC Press [cit. 2023-05-11]. ISBN 9780429174438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/b16546>

AFOAKWA, Emmanuel Ohene et al., 2008. Characterization of melting properties in dark chocolates from varying particle size distribution and composition using differential scanning calorimetry. *Food Research International* [online]. Elsevier, (7), 751–757 [cit. 2023-05-05]. ISSN 0963-9969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2008.05.009. ISBN 9780429174438

AFOAKWA, Emmanuel Ohene et al., 2009. Influence of tempering and fat crystallization behaviours on microstructural and melting properties in dark chocolate systems. *Food Research International* [online]. Elsevier, 200–209 [cit. 2023-05-04]. ISSN 0963-9969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2008.10.007

AFOAKWA, Emmanuel Ohene, Alistair PATERSON a Mark FOWLER, 2007. Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate - a review. *Trends in Food Science & Technology* [online]. Elsevier, (6), 290-298 [cit. 2023-04-28]. ISSN 0924-2244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2007.02.002

AFOAKWA, Emmanuel Ohene, Alistair PATERSON a Mark FOWLER, 2008. Effects of particle size distribution and composition on rheological properties of dark chocolate. *European Food Research and Technology* [online]. Německo: Springer, (226), 1259-1268 [cit. 2023-04-28]. ISSN 1438-2385. Dostupné z: doi:10.1007/s00217-007-0652-6

ANDREA-NIGHTINGALE, Lia M., Soo-yeun LEE a Nicki J. ENGESETH, 2009. Textural changes in chocolate characterized by instrumental and sensory techniques. *Journal of Texture Studies* [online]. **40**(4), 439 [cit. 2023-05-11]. ISSN 1750-3841. Dostupné z: doi:10.1111/j.1745-4603.2009.00190.x

ARCIMOVIČOVÁ, Jana a Pavel VALÍČEK, 1999. *Čokoláda pokrm bohů*. Benešov: Start., s. 66-89. ISBN 80-86231-07-0



BARIŠIĆ, Veronika et al., 2019. The Chemistry behind Chocolate Production: Review. *Molecules* [online]. MDPI, **24**(17), 1-13 [cit. 2023-04-29]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules24173163

BECKETT, Stephen T., 2008. *The science of chocolate: 2nd edition* [online]. UK: RSC Publishing [cit. 2023-04-29]. ISBN 978-0-85404-970-7. Dostupné z: [https://muhammadsabchi.files.wordpress.com/2010/04/beckett-the\\_science-of-chocolate.pdf](https://muhammadsabchi.files.wordpress.com/2010/04/beckett-the_science-of-chocolate.pdf)

BECKETT, Stephen, 2009. Chocolate manufacture. In: TALBOT, Geoff, ed. *Science and technology of enrobed and filled chocolate, confectionery and bakery products* [online]. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, s. 14 [cit. 2023-05-11]. ISBN 9781845693909. Dostupné z: [https://www.academia.edu/26660344/Technology\\_of\\_Coated\\_and\\_Filled\\_Chocolate\\_Confectionery\\_and\\_Bakery\\_Products](https://www.academia.edu/26660344/Technology_of_Coated_and_Filled_Chocolate_Confectionery_and_Bakery_Products)

BECKETT, Stephen T., 2009. Conching. In: BECKETT, Stephen T., ed. *Industrial Chocolate Manufacture and Use* [online]. Fourth edition. Blackwell Publishing, s. 204 [cit. 2023-05-11]. ISBN 9781444301588. Dostupné z: [https://mastermilk.com/uploads/biblio/beckett\\_s\\_t\\_ed\\_industrial\\_chocolate\\_manufacture\\_and\\_use.pdf](https://mastermilk.com/uploads/biblio/beckett_s_t_ed_industrial_chocolate_manufacture_and_use.pdf)

BECKETT, Stephen. T., 2011. CHOCOLATE | Milk Chocolate. In: FUQUAY, John W., ed. *Encyclopedia of Dairy Sciences* [online]. Second Edition. Elsevier, s. 856-861 [cit. 2023-05-13]. ISBN 978-0-12-374407-4. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00099-6>

BOURNE, M. C., 2002. Relationship between Rheology and Food Texture. In: WELTI-CHANES, Jorge a Jose Miguel AGUILERA, ed. *Engineering and Food for the 21st Century* [online]. Boca Raton: CRC Press, s. 291-306 [cit. 2023-05-13]. ISBN 9780429136412. Dostupné z: 10.1201/9781420010169.pt4

BOUZIDI, Laziz a Suresh S. NARINE, 2012. Phase Behavior of Saturated Triacylglycerides—Influence of Symmetry and Chain Length Mismatch. In: GARTI, Nissim a Neil WIDLAK, ed. *Cocoa Butter and Related Compounds* [online]. Elsevier, s. 73-101 [cit. 2023-05-11]. ISBN 9780128043448. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-9830791-2-5.50007-4>

CALVO, Ana M. et al., 2021. Dynamics of cocoa fermentation and its effect on quality. *Scientific Reports* [online]. United Kingdom: Nature Portfolio, **11**(1), 1-15 [cit. 2023-03-16]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-021-95703-2

CAMPOS, Rodrigo a Alejandro G. MARANGONI, 2012. Molecular Composition Dynamics and Structure of Cocoa Butter. In: GARTI, Nissim a Neil WIDLAK, ed. *Cocoa Butter and Related Compounds* [online]. Elsevier, s. 103-150 [cit. 2023-05-11]. ISBN 9780128043448. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-9830791-2-5.50008-6>

COADYOVÁ, Chantal, 2000. *Čokoláda*. Praha: Fortuna Print. 19-29. ISBN 80-86144-54-2

ČESKÁ REPUBLIKA, 2003. Vyhláška č. 76/2003 Sb.: Vyhláška, kterou se stanoví požadavky pro přírodní sladidla, med, cukrovinky, kakaový prášek a směsi kakaa s cukrem, čokoládu a čokoládové bonbony. In: *Sbírka zákonů*. 32/2003. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-76/zneni-20150624>

ČOPIKOVÁ, Jana, 2015. *Jak poznáme kvalitu? Čokoláda, kakao a výrobky z nich* [online]. [cit. 2023-05-13]. ISBN 978-80-88019-06-0. Dostupné z: [https://eagri.cz/public/web/file/593312/\\_164\\_cokolada\\_kakao\\_a\\_vyrobky\\_z\\_nich.pdf](https://eagri.cz/public/web/file/593312/_164_cokolada_kakao_a_vyrobky_z_nich.pdf)

ČOPIKOVÁ, Jana et al., 2020. *Technologie čokolády a cukrovinek*. Druhé přepracované a aktualizované vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická. ISBN 978-80-7592-077-5

DE GRAEF, Veerle et al., 2011. Chocolate yield stress as measured by oscillatory rheology. *Food Research International* [online]. Elsevier, (9), 2660–2665 [cit. 2023-05-04]. ISSN 0963-9969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2011.05.009

DE PELSMAEKER, Sara et al., 2019. *Development of a sensory wheel and lexicon for chocolate*. *Food research international*. Gent: Elsevier. 1183-1191. ISSN 0963-9969. Dostupné z: doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.063.

Diferenciální skenovací kalorimetrie, b.r. *Ústav fyzikální chemie: VŠCHT Praha* [online]. [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://ufch.vscht.cz/files/uzel/0014043/0022~~cw12jlc0ysxKzTMyMLQAAA.pdf?redirected>

Diferenční skenovací kalorimetrie (DSC), 2020. *Matematicko-fyzikální fakulta: Univerzita Karlova* [online]. [cit. 2023-05-03]. Dostupné z:

<https://www.mff.cuni.cz/cs/kfm/experimentalni-vybaveni/diferencni-skenovaci-kalorimetrie-dsc>

EL-KALYOUBI, M. et al., 2011. Quality characteristics of chocolate – Containing some fat replacer. *Annals of Agricultural Science* [online]. Elsevier, (2), 89-96 [cit. 2023-03-24]. ISSN 2090-8377. Dostupné z: doi:10.1016/j.aoas.2011.05.009

FAKHLAEI, R., A. ROZZAMRI a N. HUSSAIN, 2019. Composition, color and antioxidant properties of cocoa shell at different roasting temperatures. *Food research* [online]. Rynnye Lyan Resources, 585 [cit. 2023-04-21]. ISSN 2550-2166. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(3\).251](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(3).251)

FERNANDES, Vanessa A., Alejandro J. MÜLLER a Aleida J. SANDOVAL, 2013. Thermal, structural and rheological characteristics of dark chocolate with different compositions. *Journal of Food Engineering* [online]. 2012: Elsevier, 97-108 [cit. 2023-05-04]. ISSN 0260-8774. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.002>

GLICERINA, Virginia et al., 2016. Microstructural and rheological characteristics of dark, milk and white chocolate: A comparative study. *Journal of Food Engineering* [online]. Elsevier, (169), 165-171 [cit. 2023-04-21]. ISSN 0260-8774. Dostupné z: doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.011>

GONÇALVES, Estela Vidal a Suzana C. S. LANNES, 2010. Chocolate rheology. *Food Science and Technology (Campinas)* [online]. Horizon Research Publishing Co., (4), 845-851 [cit. 2023-05-13]. ISSN 1678-457X. Dostupné z: doi:10.1590/S0101-20612010000400002

HENSLEY, Eleanore, c2023. What is F-D? Force object Deformation. *Slide Player* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://slideplayer.com/slide/4884346/>

HORIBA INSTRUMENTS INCORPORATED, c2022. A guidebook to particle size analysis. In: *HORIBA Scientific* [online]. [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: [https://static.horiba.com/fileadmin/Horiba/Products/Scientific/Particle\\_Characterization/Particle\\_Guidebook\\_2022.pdf](https://static.horiba.com/fileadmin/Horiba/Products/Scientific/Particle_Characterization/Particle_Guidebook_2022.pdf)

INDIARTO, Rossi et al., 2021. Cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans processing technology: A review of flavonoid changes. *Asian journal od plant sciences* [online]. (4), 684-693 [cit. 2023-05-13]. ISSN 1682-3974. Dostupné z: doi:10.3923/ajps.2021.684.693

- IOANNIDI, Eleni et al., 2021. Thermal Analysis of Dark Chocolate with Differential Scanning Calorimetry—Limitations in the Quantitative Evaluation of the Crystalline State. *Food analytical methods* [online]. Springer, (14), 2556-2568 [cit. 2023-05-02]. ISSN 1936-976X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02073-6>
- LAPČÍKOVÁ, Barbora et al., 2022. Physical characterization of the milk chocolate using whey powder. *LWT - Food science and technology* [online]. Elsevier, (154), 2-7 [cit. 2023-04-29]. ISSN 0023-6438. Dostupné z: [doi:10.1016/j.lwt.2021.112669](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112669)
- LILLAH, et al., 2017. Improving heat stability along with quality of compound dark chocolate by adding optimized cocoa butter substitute (hydrogenated palm kernel stearin) emulsion. *LWT - Food science and technology* [online]. Elsevier, 531-536 [cit. 2023-04-21]. ISSN 0023-6438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.042>
- MANCAS, V. E. a S. AMARIEI, 2016. Influence of cocoa and fat content on hardness and fracturability of dark chocolate. *Modern Technologies in the Food Industry* [online]. Kišinev, Moldavská republika, 69-75 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: [https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag\\_file/69-75\\_2.pdf](https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/69-75_2.pdf)
- MARTY-TERRADE, Stéphanie a Alejandro G. MARANGONI, 2012. Impact of Cocoa Butter Origin on Crystal Behavior. In: GARTI, Nissim a Neil WIDLAK, ed. *Cocoa Butter and Related Compounds* [online]. Elsevier, s. 245-274 [cit. 2023-05-11]. ISBN 9780128043448. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-9830791-2-5.50014-1>
- METIN, Serpil a Richard W. HARTEL, 2012. Milk Fat and Cocoa Butter. In: GARTI, Nissim a Neil WIDLAK, ed. *Cocoa Butter and Related Compounds* [online]. Elsevier, s. 365-392 [cit. 2023-05-11]. ISBN 9780128043448. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-9830791-2-5.50018-9>
- OSTROWSKA-LIGEŻA, Ewa et al., 2019. A comparative study of thermal and textural properties of milk, white and dark chocolates. *Thermochimica Acta* [online]. Elsevier, 60-69 [cit. 2023-04-28]. ISSN 0040-6031. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2018.11.005>
- PADLEY, Fred B., 1997. Chocolate and Confectionery Fats. In: PADLEY, Fred B., ed. *Lipid Technologies and Applications* [online]. New York, s. 391-432 [cit. 2023-05-13]. ISBN 9780203748848. Dostupné z: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780203748848-15/chocolate-confectionery-fats-fred-padley>

ROHM, Harald, Birgit BÖHME, Jakob SKORKA. 2018. *The impact of grinding intensity on particle properties and rheology of dark chocolate*. Food science and technology. Oxford: Elsevier, s. 564-568. ISSN 0023-6438. Dostupné z: [doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.006](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.006).

SAPUTRO, Arifin Dwi et al., 2017. Investigating the rheological, microstructural and textural properties of chocolates sweetened with palm sap-based sugar by partial replacement. *European Food Research and Technology* [online]. Springer, 1729-1738 [cit. 2023-04-21]. ISSN 1438-2385. Dostupné z: [doi:10.1007/s00217-017-2877-3](https://doi.org/10.1007/s00217-017-2877-3)

SASAKI, Mari, Satoru UENO a Kiyotaka SATO, 2012. Polymorphism and Mixing Phase Behavior of Major Triacylglycerols of Cocoa Butter. In: GARTI, Nissim a Neil WIDLAK, ed. *Cocoa Butter and Related Compounds* [online]. Elsevier, s. 151-172 [cit. 2023-05-11]. ISBN 9780128043448. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-9830791-2-5.50009-8>

TALBOT, Geoff, 2009. Compound coatings. In: TALBOT, Geoff, ed. *Science and technology of enrobed and filled chocolate, confectionery and bakery products* [online]. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, s. 82 [cit. 2023-05-11]. ISBN 9781845693909. Dostupné z: [https://www.academia.edu/26660344/Technology\\_of\\_Coated\\_and\\_Filled\\_Chocolate\\_Confectionery\\_and\\_Bakery\\_Products](https://www.academia.edu/26660344/Technology_of_Coated_and_Filled_Chocolate_Confectionery_and_Bakery_Products)

TALBOT, Geoff, 2012. Chocolate and Cocoa Butter— Structure and Composition. In: GARTI, Nissim a Neil WIDLAK, ed. *Cocoa Butter and Related Compounds* [online]. Elsevier, s. 1-33 [cit. 2023-05-11]. ISBN 9780128043448. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-9830791-2-5.50004-9>

TANABE, Nina Ann a Randall HOFBERGER, 2013. Chocolate. In: HUI, Y. H. a Frank SHERKAT, ed. *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering - 4 Volume Set* [online]. Boca Raton: CRC Press, s. 149-3 [cit. 2023-05-11]. ISBN 9780429096112. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/b15995>

TOKER, Omer Said, Ibrahim PALABIYIK a Nevzat KONAR, 2019. Chocolate quality and conching. In: *Trends in food science and technology*. Oxford: Elsevier, s. 446-453. ISSN 0924-2244. Dostupné z: [doi:10.1016/j.tifs.2019.07.047](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.047).

VANÍČEK, Jiří, b.r. Metody termické analýzy: 4. Diferenční termická analýza (DTA) a diferenční scanovací kalorimetrie (DSC). *DOCPLAYER* [online]. [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/36623267-Metody-termicke-analyzy-4-diferencni-termicka-analyza-dta-a-diferencni-scanovaci-kalorimetrie-dsc.html>

VARZAKAS, Theodoros, 2015. Chocolate Manufacturing. In: VARZAKAS, Theodoros a Constantina TZIA, ed. *Handbook of Food Processing: Food Safety, Quality, and Manufacturing Processes* [online]. Boca Raton: CRC Press, s. 351-380 [cit. 2023-05-13]. ISBN 9780429157370. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/b19398>

WEINER, Bruce B., 2011. What is a Continuous Particle Size Distribution?. *Brookhaven Instruments* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.brookhaveninstruments.com/what-is-a-continuous-particle-size-distribution/>

WELLS, M., 2009. Controlling the rheology of chocolate and fillings. In: TALBOT, Geoff, ed. *Science and technology of enrobed and filled chocolate, confectionery and bakery products* [online]. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, s. 257 [cit. 2023-05-11]. ISBN 9781845693909. Dostupné z: [https://www.academia.edu/26660344/Technology\\_of\\_Coated\\_and\\_Filled\\_Chocolate\\_Confectionery\\_and\\_Bakery\\_Products](https://www.academia.edu/26660344/Technology_of_Coated_and_Filled_Chocolate_Confectionery_and_Bakery_Products)

WIDLAK, Neil R. a Richard W. HARTEL, 2012. Causes and Best Manufacturing Practices to Minimize Bloom in Confections. In: GARTI, Nissim a Neil WIDLAK, ed. *Cocoa Butter and Related Compounds* [online]. Elsevier, s. 174-190 [cit. 2023-05-11]. ISBN 9780128043448. Dostupné z: [10.1016/B978-0-9830791-2-5.50010-4](https://doi.org/10.1016/B978-0-9830791-2-5.50010-4)

YAMADA, Kazuhisa, Masahisa IBUKI a Thomas MCBRAYER, 2005. Cocoa Butter, Cocoa Butter Equivalents, and Cocoa Butter Replacers. In: AKOH, Casimir C. *Healthful Lipids* [online]. New York: AOCS Publishing, s. 642-664 [cit. 2023-04-21]. ISBN 9780429104497. Dostupné z: [10.1201/9781439822289.ch26](https://doi.org/10.1201/9781439822289.ch26)

YATES, Philip, 2009. Formulation of chocolate for industrial applications. In: TALBOT, Geoff, ed. *Science and technology of enrobed and filled chocolate, confectionery and bakery products* [online]. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, s. 31-49 [cit. 2023-05-11]. ISBN 9781845693909. Dostupné z: <https://doi.org/10.1533/9781845696436.1.29>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

CBE	ekvivalenty kakaového másla
CBR	náhražky kakaového másla (z angl. replacers)
CBS	substituenty kakaového másla (z angl. substituents)
$D_i$	průměr i-té částice
DSC	diferenciální skenovací kalorimetrie
$D_{v50}$	objemový medián
$D_{50}$	objemový medián (alternativní značení)
$D[4,3]$	objemová velikost
POP	(1,3-dipalmitoyl-2-oleoylacylglycerol)
POS	(1-palmitoyl-2-oleoyl-3-stearoylacylglycerol)
SOS	(1,3-distearoyl-2-oleoylacylglycerol)
TAG	triacylglycerol
V/O	voda v oleji
$\eta_{CA}$	Cassonova plastická viskozita
$\tau_{CA}$	prahové smykové napětí (mez toku)
cP	dynamická viskozita
$\tau$	smykové napětí
$\gamma$	smyková rychlost

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Květy kakaovníku (Beckett, 2008).....	17
Obrázek 2 Schéma znázorňující funkci emulgátoru (upraveno dle Beckett, 2008) .....	20
Obrázek 3 Základní ingredience na výrobu čokolády .....	23
Obrázek 4 Fermentace kakaových bobů na hromadě (Beckett, 2008) .....	25
Obrázek 5 Fermentace kakaových bobů v boxech (Beckett, 2008) .....	25
Obrázek 6 Sušení kakaových bobů na pohyblivých stolech (Beckett, 2008).....	27
Obrázek 7 Převážení kakaových bobů v jutových pytlích k transportu (Beckett, 2008).....	28
Obrázek 8 Schéma zjemňování v dvouválcové a pětiválcové válcovací stolici (upraveno dle Afoakwa, 2014) .....	34
Obrázek 9 Teplotní režim při temperaci čokolády (upraveno dle Afoakwa, 2010) .....	36
Obrázek 10 Příklad balení tvarované čokolády do fólie a papíru (Beckett, 2008).....	38
Obrázek 11 Příklad čokoládových výrobků v tzv. „flow wrap“ obalu (Beckett, 2008).....	39
Obrázek 12 Schéma přeměny jednotlivých krystalických forem kakaového másla (Čopíková & kol., 2020).....	44
Obrázek 13 Znázornění čokolády postižené tukovým výkvětem (vlevo) a bez této vady (vpravo) (Beckett, 2008).....	45
Obrázek 14 Příklad kumulativního grafu rozdělení částic (upraveno dle Weiner, 2011) ...	48
Obrázek 15 Diferenciální graf symetrické distribuce (vlevo) a asymetrické distribuce (vpravo) rozdělení částic (upraveno dle HORIBA Instruments Incorporated, c2022).....	49
Obrázek 16 Znázornění texturních parametrů (upraveno dle Hensley, c2023).....	51
Obrázek 17 Ukázka typické křivky DSC (upraveno dle Vaníček, b.r.).....	56
Obrázek 18 Záznam tepelného toku s vyobrazením $\Delta H$ a $T_{onset}$ (Diferenciální skenovací kalorimetrie, b.r.) .....	56
Obrázek 19 Přehled použitých čokolád .....	60
Obrázek 20 Vyobrazení složení jednotlivých vzorků čokolád .....	61
Obrázek 21 Texturometr TA.XT Plus .....	64
Obrázek 22 Reometr Malvern Kinexus .....	65
Obrázek 23 Graf objemově středního průměru a mediánu průměru velikosti částic jednotlivých vzorků čokolád s různým obsahem složek rozlišených dle obsahu kakaové sušiny.....	67
Obrázek 24 Graf tvrdosti jednotlivých vzorků čokolád s různým obsahem složek rozlišených dle obsahu kakaové sušiny.....	69
Obrázek 25 Graf závislosti Cassonovy plastické viskozity na smykové rychlosti u jednotlivých vzorků čokolád rozlišených dle obsahu kakaové sušiny .....	70
Obrázek 26 Graf závislosti Cassonovy plastické viskozity na složení jednotlivých vzorků čokolád rozlišených dle obsahu kakaové sušiny.....	72



---

Obrázek 27 Graf závislosti meze toku na složení jednotlivých vzorků čokolád rozlišených dle obsahu kakaové sušiny .....	73
Obrázek 28 Profil teploty tání kakaového másla ve vzorcích mléčných čokolád v závislosti na obsahu kakaové sušiny.....	76
Obrázek 29 Graf teploty tání kakaového másla ve vzorcích hořkých čokolád .....	77

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Povolené tuky k nahrazení kakaového másla v čokoládě a čokoládových výrobcích (Vyhláška č. 76/2003 Sb.).....	12
Tabulka 2 Druhy čokolády (Vyhláška č. 76/2003 Sb.).....	13
Tabulka 3 Fyzikální a chemické požadavky na jakost čokolád (Vyhláška č. 76/2003 Sb.)	15
Tabulka 4 Přehled krystalických forem kakaového másla (Čopíková & kol., 2020).....	43
Tabulka 5 Přehled obsahů vybraných surovin v použitých vzorcích čokolád.....	62
Tabulka 6 Výsledky hodnocení stanovení velikosti částic při 25 °C.....	66
Tabulka 7 Výsledné hodnoty tvrdosti jednotlivých vzorků čokolád.....	68
Tabulka 8 Výsledky stanovení reologických vlastností vzorků čokolád.....	71
Tabulka 9 Přehled výsledných hodnot měření DSC pro jednotlivé vzorky čokolád.....	75