

Vliv obsahu tuku na smáčivost a povrchovou energii čokolády

Bc. Helena Žižková

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Helena Žižková**
Osobní číslo: **T15446**
Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor: **Technologie potravin**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vliv obsahu tuku na smáčivost a povrchovou energii čokolády**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Druhy a složení čokolády.
2. Chemické složení kakaového másla.
3. Výroba čokolády.
4. Metody pro stanovení povrchové energie látek.

II. Praktická experimentální část

1. Měření kontaktních úhlů smáčení pomocí metody sedící kapky u vzorků čokolád s různými obsahy kakaového másla.
2. Stanovení povrchové energie jednotlivých vzorků čokolád pomocí softwaru See System Secc 1.1.
3. Zpracování naměřených údajů do tabulek a grafů.
4. Zpracování závěrů měření.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] AFOAKWA, Emmanuel Ohene. Chocolate science and technology. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2010, xiv, 275 p. ISBN 1405199067.

[2] ČOPÍKOVÁ, Jana. Technologie čokolády a cukrovinek. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 1999, 168 s. ISBN 80-708-0365-7.

[3] BARTOVSKÁ, Lidmila a Marie ŠIŠKOVÁ. Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav. Vyd. 5., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005, 244 s. ISBN 80-7080-579-x.

[4] DELLA VOLPE, Caludio, Marco BRUGNARA, Devid MANIGLIO, Stefano SIBONI a Tenzin WANGDU. About the possibility of experimentally measuring an equilibrium contact angle and its theoretical and practical consequences. Contact Angle, Wettability and Adhesion [online]. Italy, 2006, 2015-11-14, : 79-99 [cit. 2015-11-14]. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=RVNsBgAAQBAJ&pg=PA79&lpg=PA79&dq=%22About+the+possi>

[5] BONN, Daniel, Jens EGGERS, Joseph INDEKEU, Jacques MEUNIER a Etienne ROLLEY. Wetting and spreading. Reviews of modern physics [online]. 2009 [cit. 2015-11-08]. DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/RevModPhys.81.739>. ISSN 1539-0756. Dostupné z: <http://www.maths.bris.ac.uk/~majge/rmp.pdf>

[6] HIEMENZ, Paul C a Raj RAJAGOPALAN. Principles of colloid and surface chemistry. 3rd ed., rev. and expanded. New York: Marcel Dekker, Inc., 1997, xix, 650 p. ISBN 0824793978.

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Lubomír Lapčík, Ph.D.

Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce:

2. února 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

20. dubna 2016

Ve Zlíně dne 2. února 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Žižková Helena

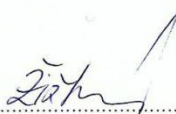
Obor: Technologie potravin

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/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.

Ve Zlíně 20. 4. 2016


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevyjádřeně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídáne k vyšší výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Na trhu existuje mnoho různých druhů čokoládových výrobků, které se liší nejen senzoryckými a fyzikálně-chemickými vlastnostmi, ale hlavně svou surovinou skladbou a obsahem jednotlivých složek. Tato diplomová práce se u čokoládových výrobků zaměřuje na odlišnosti v použití různých druhů tuků – kakaového másla, mléčného tuku, ekvivalentů, popřípadě náhražek kakaového másla. U těchto vzorků byly stanoveny statické kontaktní úhly smáčení a z jejich hodnot poté vypočítána povrchová energie. Byl zkoumán vliv obsahu tuku, použitého v čokoládovém výrobku na smáčivost a povrchovou energii. Provedeny byly také doplňující měření za účelem určení bodu tání použitých tuků nebo stanovení jednotlivých složek čokoládových výrobků, které mohou ovlivňovat hodnotu povrchové energie. Téma práce také souvisí s vývojem nových materiálů pro výrobu forem na tabulkové čokolády.

Klíčová slova: čokoláda, kakaové boby, kakaové máslo, kontaktní úhel smáčení, povrchová energie

ABSTRACT

On the market there are many different types of chocolate products which differ both in the sensory and physico-chemical properties together with their raw material composition and the contents of the individual components. This MSc. thesis focuses on differences in the use of different types of fat - cocoa butter, milk fat, equivalents or cocoa butter substitutes in chocolate products. Studied samples were followed by static contact angles of wetting measurements and by calculated surface energies. There was investigated the effect of fat content of the chocolate product on wettability and resulting surface energy. There were carried out also an additional measurements to determine the melting point of fats used, or the determination of the components of chocolate products which may affect the value of surface energy by means of NIR spectroscopy. Theme of work is also linked with the development of new materials for the manufacture of molds for chocolate bar.

Keywords: chocolate, cocoa beans, cocoa butter, contact angle, surface energy

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu mé diplomové práce prof. Ing. Lubomíru Lapčíkovi, Ph.D., za odborné vedení této diplomové práce, za jeho cenné rady, vstřícnost a trpělivost při konzultacích, dále Doc. Mgr. Barboře Lapčíkové, Ph.D. a Ing. Tomáši Valentovi za realizaci měření termické analýzy a také Ing. Janě Růžičkové, Ph.D., za odbornou pomoc při spektrometrických měřeních. Další poděkování patří společnosti Carla spol. s r. o. za poskytnuté vzorky čokolád a rovněž na tomto místě děkuji Bc. Vendule Duškové za sestavení receptur a Bc. Stanislavu Řezníčkovi, DiS., za přípravu těchto vzorků. V neposlední řadě děkuji také své rodině, partnerovi a přátelům za významnou podporu při studiu.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 DRUHY A SLOŽENÍ ČOKOLÁDY	13
1.1 DRUHY ČOKOLÁDOVÝCH VÝROBKŮ	13
1.1.1 Hořká čokoláda	13
1.1.2 Mléčná čokoláda	14
1.1.3 Bílá čokoláda.....	14
1.1.4 Dia čokoláda.....	14
1.1.5 Čokoláda s ingrediencemi	14
1.1.6 Ochucená čokoláda	14
1.1.7 Čokoláda plněná.....	15
1.1.8 Porézní čokoláda	15
1.1.9 Organická čokoláda.....	15
1.1.10 Náhražková čokoláda (čokoládová pochoutka)	16
1.2 SLOŽENÍ ČOKOLÁDY.....	16
1.2.1 Kakaové boby.....	16
1.2.1.1 Kakaovník.....	16
1.2.1.2 Odrůdy kakaových bobů.....	18
1.2.2 Kakaová hmota.....	20
1.2.3 Kakaové máslo	20
1.2.4 Kakaový prášek	21
1.2.5 Náhražky kakaového másla.....	21
1.2.6 Cukr.....	22
1.2.7 Emulgátory	22
1.2.7.1 Lecitin	23
1.2.7.2 Polyglycerolpolyricinoleát.....	23
1.2.8 Sušené mléko	23
1.2.9 Aroma.....	24
2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ KAKAOVÉHO MÁSLA	25
2.1 STRUKTURA KAKAOVÉHO MÁSLA.....	25
2.2 FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ VLASTNOSTI KAKAOVÉHO MÁSLA.....	26
2.3 POLYMORFISMUS KAKAOVÉHO MÁSLA.....	26
3 VÝROBA ČOKOLÁDY	30
3.1 ÚPRAVA KAKAOVÝCH BOBŮ	31
3.1.1 Čištění a třídění kakaových bobů.....	31
3.1.2 Pražení kakaových bobů	31
3.1.3 Drcení jader	32
3.2 VÝROBA KAKAOVÉ HMOTY	32
3.2.1 Kakaová hmota pro výrobu kakaového másla a kakaového prášku.....	32
3.2.2 Kakaová hmota pro výrobu čokolády	33
3.3 ZPRACOVÁNÍ ČOKOLÁDOVÉ HMOTY	33
3.3.1 Válcování čokoládové hmoty.....	33
3.3.2 Konšování čokoládové hmoty.....	34
3.3.3 Temperace	35

3.3.4	Formování	37
3.3.5	Chlazení a balení čokoládových výrobků	38
4	METODY PRO STANOVENÍ POVRCHOVÉ ENERGIE LÁTEK	39
4.1	FÁZOVÁ ROZHRAŇÍ	39
4.1.1	Charakteristika fázových rozhraní	39
4.1.2	Vlastnosti fázových rozhraní.....	40
4.2	POVRCHOVÁ ENERGIE PEVNÝCH LÁTEK	40
4.3	MĚŘENÍ FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÝCH CHARAKTERISTIK NA FÁZOVÉM ROZHRAŇÍ.....	42
4.3.1	Měření povrchového a mezifázového napětí	42
4.3.1.1	Metoda kapilární elevace	42
4.3.1.2	Stalagmometrická metoda vážení kapek.....	42
4.3.1.3	Analýza profilu kapky	43
4.3.1.4	Du Noüyho metoda odtrhování prstence	43
4.3.2	Úhel smáčení.....	44
4.4	ZPŮSOBY VÝPOČTU POVRCHOVÉ ENERGIE LÁTEK.....	45
4.4.1	Fowkesova teorie	45
4.4.2	OWRK teorie	46
4.4.3	Wu teorie.....	47
4.4.4	Acido-bazická teorie	48
4.4.5	Zismanova teorie.....	48
4.4.6	Stavová rovnice.....	49
II	PRAKTICKÁ ČÁST	50
5	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	51
6	CHARAKTERISTIKA VZORKŮ	52
6.1	ČOKOLÁDOVÉ VÝROBKY ZAKOUPENÉ V TRŽNÍ SÍTI	52
6.1.1	Hořké čokoládové výrobky	52
6.1.2	Mléčné čokoládové výrobky	54
6.2	ČOKOLÁDOVÉ VÝROBKY VYROBENÉ.....	55
6.2.1	Hořké čokolády	56
6.2.2	Mléčné čokolády	56
7	METODIKA MĚŘENÍ.....	57
7.1	MĚŘENÍ STATICKÝCH KONTAKTNÍCH ÚHLŮ SMÁČENÍ A STANOVENÍ POVRCHOVÉ ENERGIE	57
7.1.1	Přístrojové vybavení.....	57
7.1.2	Princip měření	57
7.1.3	Testovací kapaliny	58
7.2	DIFERENČNÍ TERMICKÁ ANALÝZA	59
7.2.1	Přístrojové vybavení.....	59
7.2.2	Princip měření	59
7.2.3	Podmínky při měření.....	60
7.3	INFRAČERVENÁ SPEKTROMETRIE V BLÍZKÉ OBLASTI ZÁŘENÍ (NIR)	60
7.3.1	Přístrojové vybavení.....	60
7.3.2	Princip měření	61
8	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	62

8.1	KONTAKTNÍ ÚHLY SMÁČENÍ	62
8.2	POVRCHOVÁ ENERGIE	64
8.3	DIFERENCIÁLNÍ TERMICKÁ ANALÝZA	77
8.4	INFRAČERVENÁ SPEKTROMETRIE (NIR)	79
ZÁVĚR		84
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		85
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		92
SEZNAM OBRÁZKŮ		94
SEZNAM TABULEK.....		95
SEZNAM PŘÍLOH.....		97

ÚVOD

Čokoláda je velmi populární pochutina a je dostupná v mnoha typech a druzích. Různé formy a chutě čokoládových výrobků se vyrábějí obměňováním množství a druhů přísad. Liší se ovšem i v druhu a hlavně obsahu použitých surovin. Primární surovinou pro výrobu čokoládových výrobků jsou kakaové boby, ze kterých se dalším zpracováním získávají důležité komponenty, a to kakaové máslo a kakaový prášek. Kvalitní čokoláda, ať už hořká nebo mléčná by měla být vyráběna z plnohodnotných surovin, tedy jediným tukem u hořké čokolády by mělo být kakaové máslo a u mléčné čokolády navíc i mléčný tuk, pocházející například z plnotučného sušeného mléka. Bohužel od použití kvalitních surovin se významně odvíjí i cena výrobku a tak začíná být obvyklé používání různých levnějších přísad, které by měly nahrazovat kvalitní suroviny. A používání těchto náhrad v čokoládových výrobcích do značné míry mění i jejich senzorní a fyzikálně-chemické vlastnosti. Předmětem této diplomové práce je zkoumání povrchových charakteristik čokoládových výrobků, a to především smáčivosti a povrchové energie. Tyto povrchové vlastnosti ale mohou být ovlivňovány právě různými náhražkami některých složek čokoládových výrobků. Hlavním cílem je tedy zjistit, jestli má tuk použitý v čokoládovém výrobku vliv na tyto povrchové charakteristiky a do jaké míry se odlišují povrchové energie čokolád s kakaovým máslem, popřípadě mléčným tukem a těch výrobků, které obsahují jen malou část kakaového másla, anebo obsahují jiné rostlinné tuky. Téma diplomové práce má také souvislost s vývojem nových materiálů pro výrobu forem na tabulkové čokolády.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DRUHY A SLOŽENÍ ČOKOLÁDY

Čokoláda patří mezi nejoblíbenější sladkosti snad ve všech zemích a známe ji všichni již od dětství. Čokoláda má svoji dlouhou a zajímavou historii, která začíná již před více než 3000 lety před Kristem. Původní čokoláda měla formu tekutého, ne příliš chutného nápoje. Její chuť byla hořká a kořeněná. Byla vyráběna z rozemletých kakaových bobů, které byly zahuštěné kukuřičnou moukou, okořeněné vanilkou, chilli papričkou a dalšími přísadami. Postupně se chuť čokolády vylepšovala a zásadním přelomem ve výrobě čokolády se stal vynález Holanďana Conrada van Houten, který oddělil kakaové máslo od kakaového prášku. Dnes je čokoláda samozřejmou součástí našeho jídelníčku. Vyrábějí se z ní nejrůznější cukrářské čokoládové výrobky, zmrzliny, bonbony, sušenky i námi tak oblíbené vánoční cukroví. Na speciálně upravené čokoládě si můžou pochutnat i osoby, které musí dodržovat bezlepkovou dietu.[1,2]

1.1 Druhy čokoládových výrobků

Čokoláda je velmi populární pochutina a je dostupná v mnoha typech a druzích. Různé formy a chutě čokoládových výrobků se vyrábějí obměňováním množství a druhů přísad. V České republice bývá čokoládou nazývána čokoládová hmota a výroby typu čokoládových tabulek.

Podle poměru základních surovin, které jsou při výrobě používány, se čokoláda dělí na hořkou, mléčnou, bílou, dia čokoládu, čokoládu s různými přidanými ingrediencemi, ochucenou nebo plněnou a v menší míře se objevuje i čokoláda porézní, nebo organická čokoláda.

Zvláštní skupinu výrobků tvoří tzv. náhražková čokoláda, neboli kakaová pochoutka. [1,3,7]

1.1.1 Hořká čokoláda

Hořká neboli pravá čokoláda se vyrábí z kakaové hmoty, kakaového másla a cukru. Obsah kakaové sušiny by měl být nejméně 35 %. Čokoládu můžeme považovat za kvalitní, obsahuje-li alespoň 50 % kakaových přísad, přičemž čím více, tím je čokoláda kvalitnější. Velmi také záleží na kvalitě kakaových bobů, které byly k výrobě použity. Většinou obsahuje také pravou vanilku a nepatrné množství lecitinu – přírodního rostlinného emulgátoru. [1,4,5]

1.1.2 Mléčná čokoláda

Mléčná čokoláda je tvořena kakaovou hmotou, kakaovým máslem, cukrem, sušeným mlékem a dále obsahuje také emulgátor lecitin a vanilku jako ochucující složku. Podíl kakaové sušiny u mléčné čokolády je nižší než u hořké čokolády, a to přibližně 25 %, ale za kvalitní ji lze považovat až od výše 30 %. Obsah kakaá tedy má být obecně mezi 18 a 55 %. Zároveň by měla obsahovat 14 až 25 % mléčných součástí. [4,6]

1.1.3 Bílá čokoláda

Bílá čokoláda neobsahuje pevné kakaové součásti, ale pouze kakaové máslo s přidavkem cukru a sušeného mléka. Právě kvůli kakaovému máslu se rovněž řadí mezi čokolády, protože obsahuje surovinu získanou z kakaových bobů. Obsah kakaového másla se pohybuje mezi 18 a 30 %. Kvalitní bílá čokoláda obsahuje minimálně 25 % kakaového másla a 25 % mléka a bývá sladší než čokoláda tmavá. [1,4,5,6]

1.1.4 Dia čokoláda

Dia čokoláda obsahuje místo cukru náhradní sladidla, například aspartam, sorbitol nebo fruktózu. Je určena především pro diabetiky. Náhradní sladidla ale mohou poměrně výrazně ovlivnit chuť čokolády a ve většině případů mají při zvýšené konzumaci projímavé účinky. Jinou variantou náhražky cukru v dia čokoládách je maltitol, což je přírodní sladidlo, vyráběné ze škrobu. Jeho sladkost dosahuje cca 75 – 90 % sladkosti sacharózy a jeho přídavek nijak neovlivňuje chuť čokolády. [1,7,8]

1.1.5 Čokoláda s ingrediencemi

Čokoláda s ingrediencemi, jinak nazývaná též čokoláda s dodatky, je taková, která kromě čokolády obsahuje například různé druhy skořápkových plodů (lískové ořechy, pistácie, mandle), rozinky, cereálie, želé, sušené ovoce a jiné. Čokoláda s ingrediencemi se vyrábí v hořké, mléčné i bílé variantě a různé přísady dohromady s čokoládou utváří její specifickou chuť. Mezi nejoblíbenější a nejznámější patří právě čokoláda s lískovými oříšky.[1,7]

1.1.6 Ochucená čokoláda

Ochucenou čokoládu lze charakterizovat jako čokoládu, u které se kakaové součásti smíchají s jinou složkou, poskytující specifickou příchut'. Používají se různá aromata (kávové, rumové, mentholové, karamelové, jahodové, pomerančové nebo banánové) nebo

může být čokoláda ochucená kořením. Nejčastěji se přidává chilli nebo nejrůznější druhy pepře a v některých oblastech také zázvor, skořice nebo kardamom. Můžeme se setkat s hořkými, mléčnými i bílými ochucenými čokoládami. [1,4,7]

1.1.7 Čokoláda plněná

Čokoládu lze vyrábět s velkým množstvím různých náplní. Obvyklými náplněmi jsou oříšková, nugátová, marcipánová, karamelová nebo ovocná v podobě krému. Mezi oblíbené patří především čokolády plněné nejrůznějšími likéry, čistou brandy nebo ovocnou pálenkou. Vyhledávané jsou také pralinky nebo višně v čokoládě. Opět se můžeme setkat s čokoládami v hořkém, mléčném i bílém provedení. [1,7]

1.1.8 Porézní čokoláda

Porézní čokoláda představuje speciální druh hořké, mléčné nebo bílé čokolády, vyznačující se bublinkami vzduchu ve své struktuře. Bublínkové čokolády se na trhu objevily v polovině 30. let 20. století, kdy anglická firma Rowntree vyrobila první čokoládu Aero. Současně byla porézní čokoláda vyrobena i v Československu zásluhou čokoládovny Küfferle z Rohatce. [7]

1.1.9 Organická čokoláda

Organická čokoláda je vyrobená výhradně ze surovin ekologického zemědělství. Tento druh čokolády bývá také často spojován s termínem Fair Trade. Fair Trade je celosvětové hnutí, které se snaží podpořit drobné výrobce a pěstitele ze zemí Asie, Afriky a Latinské Ameriky. Za tyto kakaové boby bývá zaplácena výrazně vyšší cena než tržní, výrobce nebo pěstitel získává za surovinu nebo výrobek s označením Fair Trade cenu, která odráží vynaložené náklady, umožňuje pokrytí životních potřeb a poskytuje možnost pro další rozvoj. Výroba Fair Trade produktů je šetrnější k životnímu prostředí – upřednostňují se místní přírodní materiály získané udržitelným způsobem, obnovitelné zdroje energie, šetrné způsoby v zemědělství i následném zpracování.

Každá organická čokoláda je označena logem společnosti označujícím ekologickou produkci dle Nařízení Rady (ES) č. 834/2007 a pokud je navíc výrobkem Fair Trade, je opatřena také Ochrannou známkou Fair Trade.[7,9]

1.1.10 Náhražková čokoláda (čokoládová pochoutka)

Podle Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/36/ES se čokoládou rozumí výrobek, který splňuje požadavky na jakost – např. obsah 35 % kakaové sušiny (hořká čokoláda) nebo 25 % kakaové sušiny (mléčná čokoláda). Pochoutkami (např. nugátová, kakaová, čokoládová), případně nějakým podobným názvem, se označují ty výrobky, které tento a další požadavky nesplňují. [3,10]

Náhražková čokoláda tedy není v pravém slova smyslu „čokoládou“, bývá obvykle označena jako kakaová nebo čokoládová pochoutka a nesmí se prodávat pod názvem čokoláda. Čokoládovou nebo kakaovou pochoutkou tedy můžeme označit výrobek, který neobsahuje kakaové máslo a ani dostatečný obsah kakaové sušiny. Jakost čokolády je určena zastoupením a vzájemným poměrem kakaové hmoty a cukru. V těchto náhražkách čokolády bývá oproti čokoládě právě vyšší přítomnost ztužených rostlinných tuků a cukru, na úkor kakaového másla a sušiny. [7,11]

1.2 Složení čokolády

Základními surovinami, používanými pro výrobu čokolády, jsou kakaová hmota a kakaové máslo, získané z kakaových bobů. K dalším surovinám patří rafinovaný cukr, emulgátory, sušené mléko a aroma.[12,13]

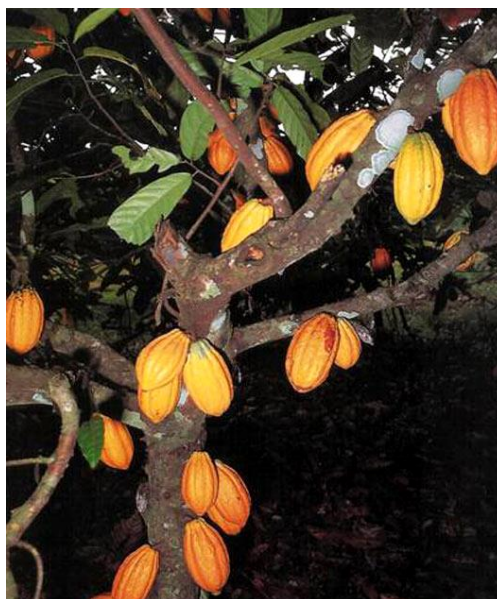
1.2.1 Kakaové boby

1.2.1.1 Kakaovník

Kakaové boby jsou plody Kakaovníku pravého (*Theobroma cacao L.*). Tento tropický neopadavý strom z čeledi *Sterculiaceae* původně pochází z oblasti Střední Ameriky. [12,14]

Strom kakaovníku dorůstá do výše 12 až 15 metrů. Je to stále zelený a kvetoucí strom, současně je možné vidět květy a nezralé i zralé plody. Květy jsou podobné orchidejím, avšak pouze tvarem a bílou, nažloutlou nebo narůžovělou barvou. Na rozdíl od orchidejí květy kakaovníku nevoní. Kakaovník se pěstuje v tropických oblastech mezi 20. stupně zeměpisné šířky severně i jižně od rovníku v nadmořských výškách do 600 metrů nad mořem. Kakaovník vyžaduje po celý rok teplotu 25 – 30 °C a prospívá mu teplé a vlhké podnebí. Ideální množství srážek by se mělo pohybovat mezi 1500 až 2000 mm ročně.

Stromy kakaovníku jsou na plantáži pěstovány ve stínu vyšších banánovníků nebo kokosových palm. [2,12,15,16]



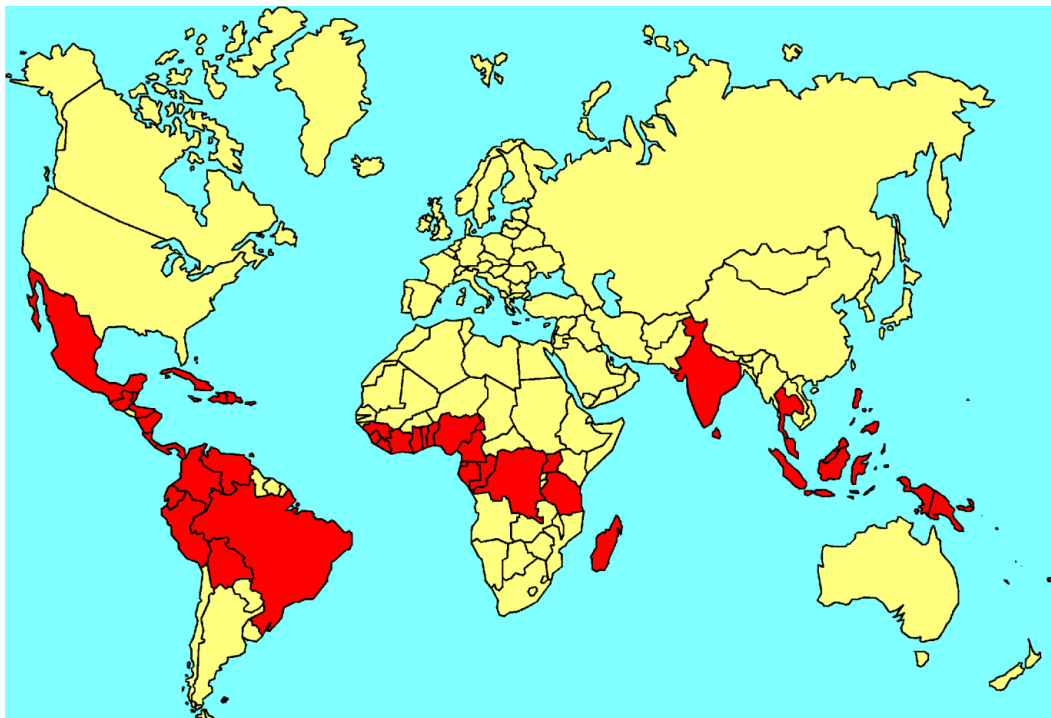
Obrázek 1 Kakaovník [17]

Za příznivých podmínek strom poprvé rodí za 3 až 5 let, plné výnosy poskytuje zhruba po 10 – 12 letech. Průměrná sklizeň z jednoho stromu je 20 – 30 plodů. Plody kakaovníku dosahují délky 13 – 26 cm a jsou 5 – 7,6 cm široké, jejich váha může být až 500 g. Plod má tvrdou skořápku, hladkou nebo hrbolatou, tvar je elipsovité nebo kulovité, zašpičatělý nebo tupý a povrch je rozdělen až deseti podélnými brázdami. V průběhu zrání má plod žlutou, žlutooranžovou, červenou a nakonec až hnědočervenou barvu, záleží ale na odrůdě kakaového bobu. Pokožka je silná 1,5 – 2 cm, pevná, masitá, tuhá, šťavnatá, pod povrchem nažloutlá. V plodu se nachází 20 – 50 semen o různé velikosti, které jsou uloženy v pěti řadách. Semena většinou bývají 2 – 4 cm dlouhé a 1,2 – 2 cm široké a obklopuje je bílá, růžová, nebo nahnědlá dužnina. Plody zrají asi 140 dní. Semena jsou hnědočervená až fialová, mají papírovité osemení a velikostí je lze přirovnat k plodu mandle. Čerstvě sklizená semena obsahují průměrně přibližně 8,5 % bílkovin, 30% tuku, 10% sacharidů, 2,4 % theobrominu a 0,8 % kofeinu. [2,12,16,18]



Obrázek 2 Plod kakaovníku se semeny [19]

Nejvíce jsou kakaovníky pěstovány v Africe (Pobřeží slonoviny, Ghana, Nigérie a Kamerun), v jihovýchodní Asii a Oceánii (Indonésie, Jáva, Sumatra a Papua-Nová Guinea), Jižní a Střední Americe (Brazílie, Ekvádor, Kolumbie, Mexico a Venezuela) a v Karibiku (Trinidad a Dominikánská republika). [20]



Obrázek 3 Země producentů kakaových bobů [21]

1.2.1.2 Odrůdy kakaových bobů

Botanických druhů kakaových bobů existuje asi dvacet, ale skutečný hospodářský význam mají dvě základní odrůdy – Criollo a Forastero. K nim se ještě řadí odrůda Trinitario, která vznikla jejich křížením. [2]

Odrůda Criollo

Tento kakaovník je ze všech odrůd nejjemnější a jeho boby se používají na výrobu nejkvalitnější čokolády. Plody jsou podlouhlé a štíhlé a mají červenou nebo žlutou barvu. Boby mají vejčitý tvar, slupka je měkká a tenká, na řezu jsou bílá až načervenalá. Mají slabě nahořklou a jemně aromatickou chuť. Pěstuje se především ve Venezuele, dále pak na Karibských ostrovech, v centrální Americe, na Madagarskaru a v Indonésii. Tato odrůda je velmi citlivá na klimatické podmínky a málo odolná proti nemocem. Výnosy kakaových bobů jsou nižší než u ostatních odrůd a tvoří asi 1 % z celkové produkce. [2,16,22]

Odrůda Forastero

Oproti odrůdě Criollo má tato odrůda podstatně vyšší výnosy (až 90 % celé světové produkce) a je také odolnější. Plody Criollo mají žlutou barvu, na povrchu jsou většinou hladké, někdy bradavičnaté. Boby jsou ploché, mají tvrdou a silnou slupku, na řezu jsou purpurové a hnědé barvy. Jejich chuť je trpká a nahořklá a jsou nejméně aromatické. V současnosti se pěstuje v západní Africe a Brazílii. Kakaové boby této odrůdy jsou nejrozšířenější a slouží na výrobu všech cenově výhodných čokoládových a kakaových výrobků. [2,13,20,22]

Odrůda Trinitario

Tato odrůda vznikla přirozeným křížením odrůd Criollo a Forastero, pocházejících z oblasti dolního toku Amazonky či Guayany, a je typická kombinací jejich vlastností. Je plodnější než Criollo a má plnější aromatictější chuť než Forastero. Původ této odrůdy se váže k Trinidadu, podle kterého se jmenuje. [2,13,22]



Obrázek 4 Odrůdy kakaovníku [23]

Ve stadiu plné zralosti se plody kakaovníku sklízí. U vyzrálých plodů kakaovníku by se měla semena lehce oddělovat od vnitřní strany plodu i od střední placenty. Poté se sesbírané plody rozevírají nožíky. Semena se dále očistí a tím se odstraní všechny cizí příměsi. Kakaové boby se dále zpracovávají na kakaovou hmotu, kakaové máslo a kakaový prášek.[16,18]

1.2.2 Kakaová hmota

Jednou ze základních surovin pro výrobu čokolády je kakaová hmota, která se získává z rozdrcených pražených nebo sušených loupaných kakaových bobů, dokonale očištěných a zbavených slupek a klíčků. Pražené kakaové boby jsou rozemlety na speciálních mlýnech, kde se po rozrušení buněčných obalů a pletiv uvolní buněčný obsah a také kakaové máslo. Vzniklý materiál se během mletí zahřívá a výsledkem je hnědá polotekutá kakaová hmota. Kakaová hmota má poměrně dlouhou trvanlivost, která je zajištěna přítomností přirozených antioxidantů, například polyfenolických látek. Kakaovou hmotu je možné skladovat a přepravovat jak v tuhé, tak i tekuté podobě. [3,12,22]

1.2.3 Kakaové máslo

Kakaové máslo tvoří velmi důležitou součást kakaových bobů a jeho obsah se pohybuje mezi 45 až 55 %. Vzniká lisováním rozdrcených pražených kakaových bobů v hydraulických lisech při teplotě 90 – 100 °C a tlaku cca 50 MPa. Kakaové máslo má bílou

nebo slabě nažloutlou barvu a při pokojové teplotě má tvrdou, ale zároveň i křehkou konzistenci. Jeho bod tání je nižší, než teplota lidského těla a proto se v ústech dobře rozplývá. Odlišnosti kakaového másla, především vůně a bod tání, vyrobeného z různých druhů bobů jsou pouze nepatrné. Kakaové máslo lze dlouhodobě skladovat, jelikož je poměrně stálé vůči působení vzdušného kyslíku, zvýšené teploty a vody, není však vhodné jej vystavovat účinkům slunečních paprsků. [12,16,24,25]

Chemickému složení kakaového másla bude podrobněji věnována kapitola 2.

1.2.4 Kakaový prášek

Kakaový prášek se získává z pražených kakaových bobů, z nichž bylo částečně odstraněno kakaové máslo. Kakaová jádra jsou nejprve očištěna a vytříděna a poté následuje proces pražení. Upražená kakaová jádra se drtí a zpracovaná drť se mele na kakaovou hmotu. Z vyhřáté a promíchané kakaové hmoty se odlišuje určitý podíl kakaového másla. Kakaová hmota, částečně zbavená tuku, nazývaná jako kakaové pokrutiny, se poté drtí a získaná drť se mele na kakaový prášek. [3,12]

Důležitým krokem při výrobě kakaového prášku je preparace (alkalizace) kakaové drti nebo kakaové hmoty. Provádí se za účelem zlepšení chuťových vlastností, získání tmavšího zabarvení a snadnějšího odlisování kakaového másla. K preparaci se používá roztoku uhličitanu draselného, sodného nebo vápenatého. [13,24]

1.2.5 Náhražky kakaového másla

Vedle kakaového másla je možné do čokoládových výrobků přidávat i jiné rostlinné tuky, které povoluje Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/36/ES. Podíl těchto náhražek nesmí ve výrobku překročit 5 % a zároveň musí být zaručeno, že tímto přídatkem nedojde ke snížení minimálního obsahu kakaového másla nebo celkové kakaové sušiny. Náhražkou kakaového másla může být například palmový olej, Sal, Shea (bambucký tuk) nebo olej z jader manga. Na obale výrobku musí být uvedeno, že byl rostlinný tuk přidán, nebo že výrobek vedle kakaového másla obsahuje rostlinné tuky. [10,24]

Náhražky kakaového másla se musí svými fyzikálními a rovněž organoleptickými vlastnostmi co nejvíce podobat kakaovému máslu, protože právě kvalitu čokoládových výrobků výrazně ovlivňují charakteristické vlastnosti kakaového másla. [3,24]

Náhražky kakaového másla se dělí do tří hlavních skupin – Cocoa butter equivalents (CBE), Cocoa butter substitutes (CBS) a Cocoa butter replaces (CBR). [26]

- Cocoa butter equivalents (CBE) neboli ekvivalenty kakaového másla – jedná se o rostlinné tuky, které se vyznačují stejnými fyzikálně-chemickými vlastnostmi, avšak získávají se z jiných zdrojů, než z kakaových bobů, například ze střední frakce palmového oleje. Ekvivalenty kakaového másla je tedy možno bez omezení mísit s kakaovým máslem, aniž by bylo ovlivněno rozpouštění, chlazení nebo temperace. Je to například Shea (bambucký tuk), Sal nebo olej z jader manga.
- Cocoa butter substitutes (CBS) neboli náhražky kakaového másla – jsou to takové rostlinné tuky, které mají odlišné fyzikálně-chemické vlastnosti, než kakaové máslo, ale mohou se s ním míchat, avšak pouze v malém množství. Svým složením se tyto oleje od kakaového másla liší tím, že jsou to látky na bázi kyseliny laurové a mohou ovlivnit výslednou chuť čokoládového výrobku. Substituenty mohou být například palmový olej nebo kokosový tuk.
- Cocoa butter replaces (CBR) jsou rovněž náhražky kakaového másla, ale na rozdíl od CBS tyto tuky neobsahují ve své struktuře ve větší míře kyselinu laurovou. Obecně platí pro CBR stejná charakteristika jako pro CBS. Sem lze zařadit například sojový a řepkový olej, nebo olej z bavlníkových semen. [12,26,27,28]

1.2.6 Cukr

Sacharidem neboli cukrem, nejčastěji využívaným obecně při výrobě čokoládových cukrovinek je sacharosa, která patří mezi přírodní sladidla. V České republice se vyrábí z cukrové řepy. Používá se rafinovaná sacharosa o čistotě 99,8 %. Mírné množství cukru přispívá ke kvalitě čokolády, protože vyvažuje její přirozenou hořkost a zvýrazňuje chuť. Kvalitní čokolády obsahují 30 – 40 % cukru. Granulace cukrové moučky je pro výrobu čokolády příliš hrubá, proto je ještě nutné provádět její úpravu mletím na výkonných mlýnech. [24,29]

1.2.7 Emulgátory

Emulgátory, které se nejčastěji využívají pro výrobu čokolády, jsou lecitin a polyglycerolpolyricinoleát (PGPR). Emulgátory jsou látky, které umožňují vytvořit stejnorodou směs ze dvou nebo více vzájemně nemísitelných kapalných fází nebo které tuto směs udržují. U hotových čokoládových hmot ovlivňují reologické vlastnosti jako je

viskozita nebo mez toku. Jako efektivní způsob snížení hranice toku u hořkých i mléčných čokolád se ukázalo použití kombinace lecitinu a PGPR v poměru 3:7. [3,30]

1.2.7.1 Lecitin

Lecitin neboli fosfatidylcholin patří po chemické stránce do skupiny fosfolipidů. Jeho molekula je složena z glycerolu, na něm navázaných vyšších mastných kyselin, přičemž jedna z molekul mastných kyselin je nahrazena kyselinou fosforečnou s navázanou organickou zásaditou látkou (např. cholin). [12]

Pro výrobu čokolády a čokoládových cukrovinek se používá se téměř výhradně sojový lecitin. Funkcí lecitinu, jako povrchově aktivní látky, je snížení plastické viskozity v čokoládové hmotě. Voda, která je v hmotě obsažená, se vyskytuje na povrchu částic tuhé fáze (např. cukru) a ztěžuje tak jejich pokrytí kakaovým máslem. To má za následek zvyšování viskozity čokoládové hmoty. Lecitin rozruší vazbu vody na pevnou fázi nebo ji úplně oddělí. Lipofilní konec molekuly lecitinu je přitahován k molekule tuku a lyofobní konec se připojí k lyofobnímu povrchu cukru. Tím dochází ke smáčení povrchu částic pevné fáze kakaovým máslem a viskozita výsledné směsi se snižuje. Přídavek lecitinu také zkracuje dobu zpracování a umožňuje snížit množství přidávaného kakaového másla do čokoládové hmoty. Lecitin je do čokoládové hmoty přidáván v množství 0,1–0,3 %. [3,12]

1.2.7.2 Polyglycerolpolyricinoleát

Polyglycerolpolyricinoleát (PGPR) je dalším emulgátorem, využívaným při výrobě čokolády. Známý je též pod názvem Admul a jeho původní využití bylo předpokládáno pro pekařský průmysl. Jeho použití v kombinaci s lecitinem je výhodné z hlediska snížení viskozity u čokoládové hmoty. [12]

1.2.8 Sušené mléko

Při výrobě čokolády se nejvíce používá sušené plnotučné a odtučněné mléko. Pokud se použije odtučněné mléko v kombinaci s čistým mléčným tukem, kde se tuk nachází ve volné formě, dojde ke snadné interakci tukových částic s částicemi kakaové hmoty a kakaového másla. V případě použití plnotučného mléka probíhá reakce mezi jednotlivými mléčnými a kakaovými částicemi pomaleji. Je to způsobeno tím, že u plnotučného mléka se veškerý tuk naváže na pevné částice a kakaové máslo se rozpouští výrazně pomaleji. [12]

Alternativou mléčného tuku může být při výrobě čokolády také sušená syrovátka jako náhrada sušeného odstředěného mléka. Využití nachází hlavně z důvodu snížení sladkosti čokolády a také snížení nákladů na výrobek. Používá se i demineralizovaná syrovátka, která eliminuje vznik cizího aroma ve výsledné čokoládě. [22]

1.2.9 Aroma

Aroma se přidává do čokolád zejména za účelem vyvážení chuti, popřípadě vůně. S přidáním aromatu se můžeme setkat u hořkých i mléčných čokolád. Do mléčných čokolád se nejčastěji přidává aroma v podobě vanilkového extraktu za účelem zvýraznění chuti. Naopak u hořkých čokolád je žádoucí zmírnění hořké chuti a celkově vyvážení chuti čokolády. Zde se můžeme setkat také s obyčejným vanilkovým extraktem, nebo s jeho kvalitnější variantou v podobě vanilkového extraktu Bourbon-Madagascar. Vanilka Bourbon se pěstuje na Madagaskaru a díky své vysoké kvalitě je považována za nejvíce ceněnou vanilku. [2,31]

2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ KAKAOVÉHO MÁSLA

Podkapitola 1.2.3. zahrnuje stručnou výrobu, resp. získávání kakaového másla z kakaových bobů a také jeho charakteristiku. Tato kapitola bude podrobněji věnována kakaovému máslu z hlediska chemické struktury, fyzikálně-chemických vlastností a jeho chování při výrobě čokolády.

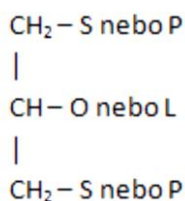
2.1 Struktura kakaového másla

Kakaové máslo je rostlinný tuk, který je získává z kakaových bobů nebo jejich částí a splňuje dle Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/36/ES požadavky na jakost (obsah volných mastných kyselin – vyjádřeno jako kyselina olejová – nejvýše 1,75 % a obsah nezmýdelnitelných látek nejvýše 0,5 %). [10,32]

Základní stavební jednotkou kakaového másla jsou triacylglyceroly, což jsou estery mastných kyselin a glycerolu, přičemž na jednu molekulu glycerolu jsou navázány tři mastné kyseliny. Pro kakaové máslo je charakteristické, že polohy 1 a 3 jsou na molekule glycerolu obsazeny nasycenými mastnými kyselinami a v poloze 2 je navázána kyselina nenasycená. [3,33]

Kyseliny palmitová, stearová, olejová a linolová tvoří přibližně 95 % všech kyselin, obsažených v kakaovém máslu. V menším množství jsou zastoupeny kyseliny myristová, linolenová, arachová a behenová. [3]

Složení triacylglycerolu kakaového másla je znázorněno na schématu:



kde S je kyselina stearová, P je kyselina palmitová, O je kyselina olejová a L je kyselina linolová. [33]

Jak již bylo zmíněno, kyselina olejová je většinou vázána na druhou alkoholickou skupinu glycerolu, tím je také významný triacylglycerid s názvem palmitooleostearan (POS), který je v kakaovém máslu nejvíce zastoupen. [33]

Složení kakaového másla je znázorněno v tabulce 1.

Tabulka 1 Složení kakaového másla[3]

Počet uhlíků v triacylglycerolu	Obsah (%)	Triacylglycerol
	0,3 – 0,5	PPP, POM
50	15,2 – 22,7	POP, PPS, MOS
52	45,4 – 47,1	POS, POO, PSS
54	28,0 – 38,0	SOS, SOO, POA, SSS, OOO
48	1,4 – 1,6	SOA, SAA
68	0,1 – 0,1	AOA

Vysvětlivky k tabulce 1:

M – kyselina myristová (14:0), *P* – kyselina palmitová (16:0), *S* – kyselina stearová (18:0), *A* – kyselina arachová (20:0), *O* – kyselina olejová (18:1), linolová (18:2) nebo linolenová (18:3)

Vzhledem k tomu, že kakaové boby se sklízají v různých částech světa, má kakaové máslo poněkud proměnlivé složení a procentuelní zastoupení mastných kyselin. [3,34]

Kakaové máslo má specifickou chuť a vůni, jeho kvalita závisí na jemnosti mletí a při jejím hodnocení se klade největší důraz na barvu. Je dobře zpracovatelné, nevytvářejí se v něm okamžitě volné mastné kyseliny, je snadno stravitelné. Také obsahuje tokoferoly, které se uplatňují jako antioxidanty a zabraňují tak jeho žluknutí.[24]

2.2 Fyzikálně-chemické vlastnosti kakaového másla

Kakaové máslo nemá ostrý bod tání a změna z pevného na kapalný stav se odvíjí od podmínek, při kterých došlo k jeho tuhnutí. Jelikož je proměnlivé složení kakaového másla v závislosti na jeho původu, mění se i bod tání a tuhnutí.[3]

Bod tání kakaového másla se pohybuje v rozmezí od 32 do 36 °C, bod tuhnutí při teplotě 21 až 27 °C. Tyto hodnoty jsou také ovlivněny technologií zpracování čokoládových hmot, což se pak následně odráží v kvalitě výsledného výrobku v tuhém stavu. Při pokojové teplotě jsou tyto výrobky tuhé a zároveň snadno tají a rozplývají se v ústech.[3,35]

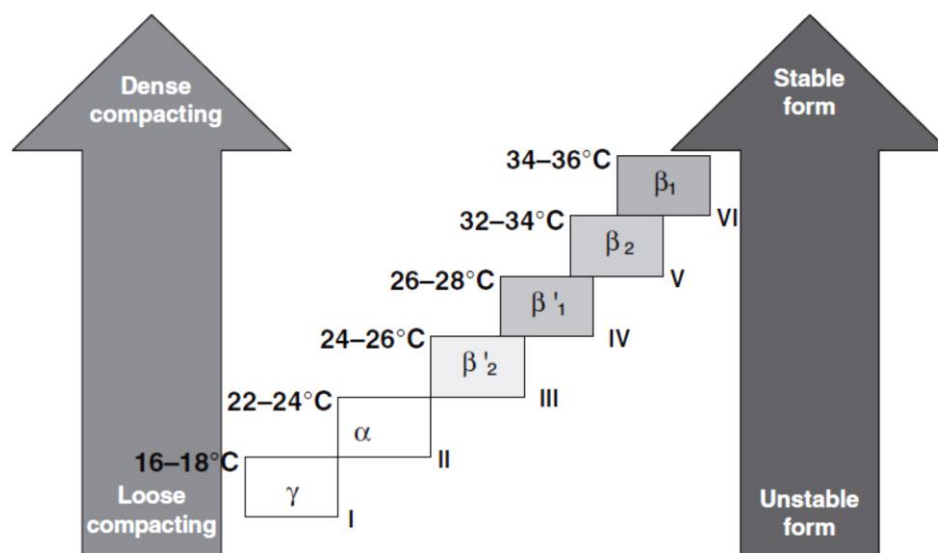
2.3 Polymorfismus kakaového másla

Kakaové máslo vykazuje tzv. polymorfismus, což je schopnost krystalizovat v různých krystalických formách. Polymorfní látky jsou charakterizovány jako takové, jejichž

krystaly mohou mít různou strukturu při stejném složení, tzn., krystalizují v mnohostěnech odlišného tvaru. S touto vlastností se setkáváme u celé řady látek.[3,32]

V případě kakaového másla je polymorfni chování způsobeno polymorfickou povahou převládajících frakcí kakaového másla – POP, POS a SOS. Polymorfismus kakaového másla je tedy způsoben různými typy stočení a podélných uskupení řetězců mastných kyselin. Další vlastností kakaového másla je tzv. monotropie – jednotlivé krystalické formy přecházejí automaticky jedna v druhou, ovšem pouze ve směru zvyšujícího se bodu tání. Jednotlivé formy se od sebe liší několika vlastnostmi, jako tepelný obsah, prostorová mřížka, specifická hmotnost, bod tání atd. [3,12,36]

Triacylglyceroly jsou schopny krystalizace v několika modifikacích, z nichž pouze jedna je stálá. Cílem krystalizace je, aby molekuly zaujaly co nejvýhodnější místo v krystalové mřížce. Kakaové máslo tvoří díky svému složení celkem šest krystalických modifikací, které jsou označeny římskými číslicemi I – VI, nebo podobně jako je tomu u ostatních triacylglycerolů malými písmeny řecké abecedy. [3,22]



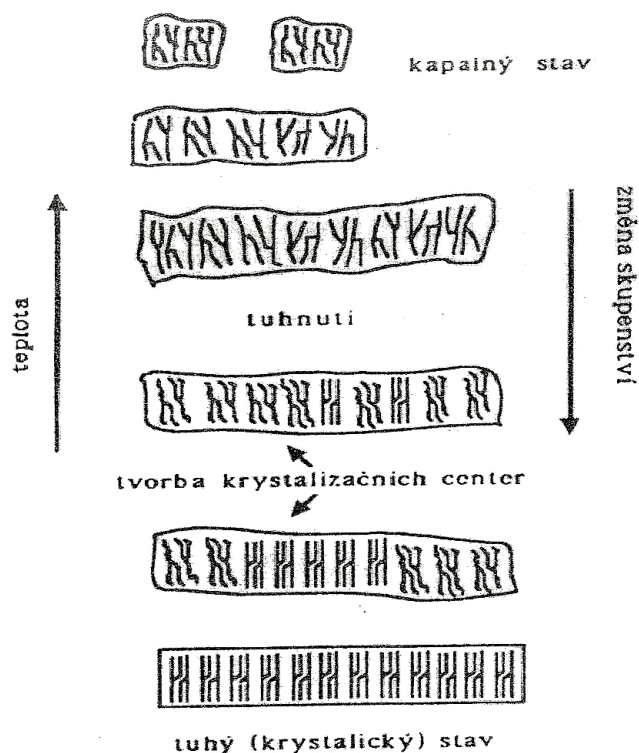
Obrázek 5 Krystalické formy kakaového másla[12]

Nejstabilnější modifikací je forma VI(β_1), která má bod tání 36 °C, ale tu je obtížné získat. Nejdůležitější je stabilní forma V (β_2) s bodem tání okolo 33,8 °C, která se vyskytuje v dobře vytemperované čokoládě. Naopak nejméně stabilní je forma I (γ), která taje již při 17 °C. Je tedy zřejmé, že méně stabilní formy mají nižší bod tání. [3,22,37]

Nejrychleji se mění forma I(γ) na formu II (α), ta poté přechází pomaleji do formy III(β_2) a IV (β_1). Modifikace mají dvě struktury řetězců mastných kyselin. Formy I – IV mají dvojitý řetězec a formy V a VI řetězec trojitý (22).

α modifikaci nelze získat bezprostředně krystalizací roztaveného kakaového másla. Vzniká přechodem z β_2 modifikace, když podchlazené kakaové máslo podrobíme rychlému záhřevu. β modifikace je stabilní modifikací kakaového másla a vzniká povolnou přeměnou β_1 modifikace. β modifikace má dvě formy. β_2 forma má bod tání okolo 33,8 °C a je charakteristická pro starší, špatně skladovanou čokoládu. Vzniká přechodem z α modifikace a můžeme ji získat i přímo krystalizací z roztaveného kakaového másla, jestliže děj probíhá v teplotním rozmezí mezi bodem tání β_2 a α modifikace. β_1 forma modifikace má bod tání 36 °C a je charakteristická pro dobře vytemperovanou čokoládovou hmotu. [24,33]

Triacylglyceroly kakaového másla mají konfiguraci, která připomíná vidlicovou ladičku. Při přechodu z kapalného do tuhého stavu se vidlice triacylglycerolů postupně organizují, začínají do sebe zapadat a tvoří se pevný útvar, znázorněný ve spodní části obrázku 6 jako tuhý (krystalický) stav. [3]



Obrázek 6 Uspořádání TAG v kakaovém másle[3]

Velmi významnou vlastností kakaového másla je dilatace, tj. schopnost zvětšovat objem při přechodu z pevné fáze na kapalnou a naopak zmenšovat objem během tuhnutí, což je děj, který se nazývá kontrakce. [24]

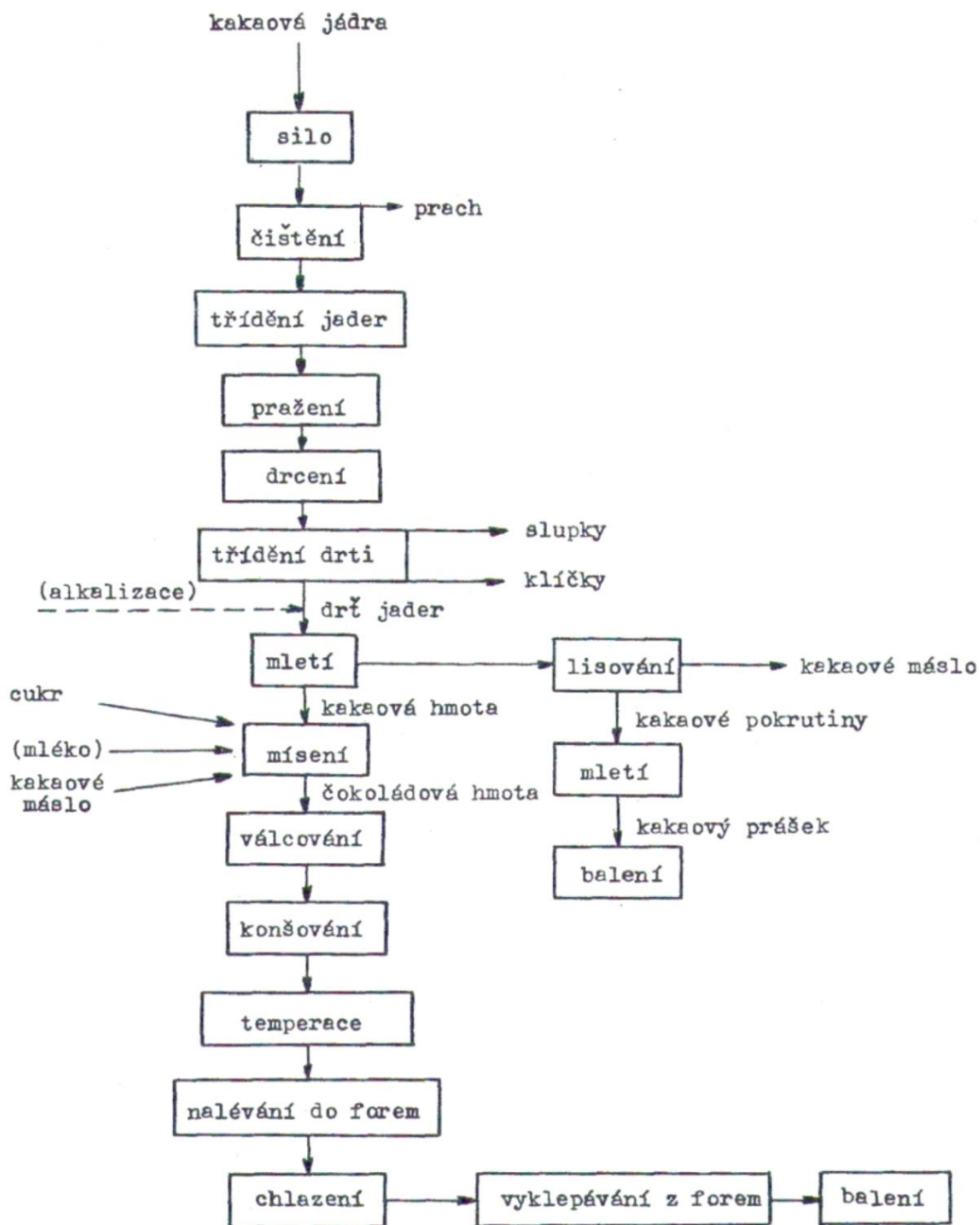
Jednotlivé modifikace vykazují během tání rozdílnou dilataci a naopak během tuhnutí rozdílnou kontrakci, a tato skutečnost má značný význam pro technologii výroby čokolády. Pokud se kakaové máslo vyhřáté na teplotu 30 °C ochladí během tuhnutí na teplotu 10 °C, tak při vykrystalizování α modifikace činí kontrakce 7 %, u β_2 modifikace 8,3 % a u β_1 modifikace až 9,6 %. Je tedy zřejmé, že čím stabilnější modifikace se vytvoří, tím intenzivnější kontrakce proběhne. U β_1 modifikace dochází při zchlazení k největší kontrakci, což je velmi důležité pro vyklepnutí čokolády z formy. [12,33,38]

Pozornost je třeba věnovat tomu, jaký vliv má teplota na rychlost vzniku a růstu krystalů (nukleace) při tvorbě stabilní modifikace kakaového másla. V rozmezí teplot -10 až 20 °C rychlost tvorby krystalů s rostoucí teplotou neustále vzrůstá, následně při teplotě asi 21 °C dosahuje růst krystalů svého maxima. Tuto skutečnost je třeba si uvědomit při vedení teploty čokoládové hmoty. [3,38]

3 VÝROBA ČOKOLÁDY

Kakaové boby, dodávané do čokoládoven, jsou ze všeho nejdříve podrobeny čištění, třídění a pak následně pražení. Pražením je zajištěno odstranění těkavých kyselin a snížení vlhkosti. [24]

Na obrázku 7 je znázorněno schéma výroby čokolády.



Obrázek 7 Schéma výroby čokolády [24]

3.1 Úprava kakaových bobů

Před samotnou výrobou kakaové, popřípadě čokoládové hmoty je nejprve nutné uskutečnit několik potřebných kroků. Tyto technologické operace zahrnují čištění, třídění a pražení kakaových bobů a následné drcení kakaových jader.

3.1.1 Čištění a třídění kakaových bobů

Kakaové boby jsou čištěny a tříděny současně na jednom zařízení. Jádra procházejí nejprve kartáčovacím zařízením, kde jsou zbaveny nečistot. Odtud přicházejí na vibrační síta, kde spadají proti proudu vzduchu odsávaného ventilátorem. Proudem vzduchu jsou unášeny lehké příměsi a prach. Vyčištěná jádra padají na síta, která bývají jednopatrová nebo dvoupatrová. Třídění kakaových bobů probíhá pomocí kmitavého pohybu sít. Pomocí magnetů jsou odstraňovány kovové předměty. Kromě popsaného čištění suchou cestou se může provádět i čištění máčením v pračkách, tedy mokrou cestou. Tím dojde k odstranění slizovitých látek, které později nepříjemně ovlivňují aroma pražených jader. Vypraná jádra se také následně odslupkovávají. Někdy je úprava kakaových bobů za mokra prováděna za účelem zlepšení jakosti, nejčastěji se takto upravují jádra nedokonale fermentovaná. Praní jader se však ve větší míře neuplatňuje. [3,24,39]

3.1.2 Pražení kakaových bobů

Pražení vyčištěných a roztříděných jader se provádí v kontinuálním pražiči. V této fázi procesu dochází k celé řadě chemických a fyzikálních změn, spojených se změnami barvy, chuti a vůně. Upražená jádra jsou pak křehčí, lépe se drtí a snadněji se od nich odděluje slupka. [24,39]

Kakaové boby se praží při mnohem nižší teplotě, než většina jiných potravinářských surovin, tj. při teplotě maximálně 125 až 130 °C. Teplota použitá při pražení se odvíjí od odrůdy kakaových plodů. Plody kakaovníku Forastero mohou být podrobeny vyšší pražicí teplotě než plody Criollo. Na odrůdu Forastero má jen malý vliv fermentace, zatímco hlavní změny probíhají až u pražení. U odrůdy Criollo při pražení dochází k významnému vývinu aroma. [3,12]

Aroma pražených bobů vzniká hlavně při Maillardově reakci a karamelizaci, kdy vzniká více než 400 různých sloučenin. Těmi nejvýznamnějšími jsou aldehydy, sulfidy, organické kyseliny, heterocyklické sloučeniny a terpeny. Typická čokoládová chuť se vytváří při aldolové kondenzaci z 3-methylbutanalů a fenylacetaldehydu za vzniku (2E)-2-fenyl-5-

methylhex-2-enalu. Z produktů Maillardovy reakce jsou významné sloučeniny jako furaneol a maltol, které připomínají vůni karamelu. [22]

3.1.3 Drcení jader

Předpražené boby se drtí na drtícím stroji, kde se zároveň zbavují i slupek a klíčků, které jsou unášeny pryč proudem vzduchu. [39]

Následujícím krokem v technologickém postupu je výroba kakaové hmoty, ze které jsou pak získávány důležité suroviny – kakaový prášek a kakaové máslo.

3.2 Výroba kakaové hmoty

Pokud je účelem výroby získat kakaovou hmotu, která přímo slouží pro výrobu čokolády, pak následuje po drcení jader kakaových bobů jejich mletí. Jestliže je ale žádoucí vyrobit kakaovou hmotu, z níž má být vyrobeno kakaové máslo a kakaový prášek, musí být provedena tzv. alkalizace kakaové drti. [3]

3.2.1 Kakaová hmota pro výrobu kakaového másla a kakaového prášku

Při výrobě kakaového másla a hlavně kakaového prášku z kakaové hmoty se provádí alkalizace kakaové drti. Alkalizace je proces, který má za cíl zlepšení aroma, vývinu barvy, lepší sočivosti a stability kakaového prášku při jeho pozdějším použití. Alkalizace bývá prováděna „holandským“ způsobem (Dutch process), při kterém se používají krystalické uhličitany – draselný, sodný nebo amonný, popřípadě jejich roztoky. Alkalické látky pronikají buněčnou tkání kakaových bobů, reagují s barevnými látkami a tříslovinami a tím pak dochází ke změně zbarvení prášku ze žlutohnědé na červenohnědou, hnědou až tmavohnědou. [22,39]

Dalším krokem, potřebným k získání kakaového másla z kakaové hmoty je lisování. Nejprve je kakaová hmota vyhřívána na teplotu 70 – 80 °C a promíchána a poté je dopravena do lisu. Prohřátí kakaové hmoty je důležité pro jednodušší vylisování kakaového másla, protože se zvyšující se teplotou klesá jeho viskozita. K lisování se používají hydraulické lisy, vyhřátá kakaová hmota je stlačována a začíná vytékat kakaové máslo. Nejprve kakaové máslo odtéká samovolně, poté je však nutné zvýšit tlak lisu. Počáteční obsah kakaového másla v kakaové hmotě je 55 %, po odlisování obsah klesá na 10 – 12 %. Výlisky s nízkým obsahem kakaového másla se nazývají kakaové pokrutiny a ty jsou dále využívány k výrobě kakaového prášku. Odfiltrované kakaové máslo je pak

shromažďováno ve vyhřívaných zásobnících (pro další výrobu), nebo je odléváno do forem, kde tuhne na pevné bloky. [3,39]

3.2.2 Kakaová hmota pro výrobu čokolády

Kakaové boby neboli kakaová drť, ze které má být získána kakaová hmota pro výrobu čokolády, musí být nejprve podrobena mletí. Mletí kakaové drti se provádí za účelem rozdrčení kakaových jader a také kvůli uvolnění kakaového másla z buněčných tkání. Nejpoužívanějšími zařízeními pro mletí kakaových jader jsou karborundové mlýny nebo mlecí stolice s horizontálně uloženými válci, chlazenými zevnitř vodou. Mletí musí být postupné, nejlépe v několika krocích, protože jinak vzniká mezi mletými částicemi k vysokému vzájemnému tření a vzrůstá tak teplota materiálu, a to je nežádoucí. Přesto nelze určitému ohřátí materiálu během mletí zabránit a tím vzniká díky tání kakaového másla polotekutá hmota, resp. suspenze kakaového másla s dispergovanými kakaovými částicemi. [24,33]

Při mletí kakaové drti na kakaovou hmotu, která je později použita k výrobě čokolády, není nutné dosáhnout co nejjemnějších částic, hmota se totiž v dalších technologických krocích ještě několikrát zjemňuje. [33]

Do takto připravené kakaové hmoty jsou poté přimíchány další recepturní složky (cukr, kakaové máslo, sušené mléko) a v prohřívaném mísícím zařízení je postupně získána čokoládová hmota.[3]

3.3 Zpracování čokoládové hmoty

Čokoládová hmota je zpracovávána v několika výrobních krocích, které zahrnují válcování, konšování, temperaci, nalévání do forem, chlazení, vyklepávání z forem a balení výsledných čokoládových výrobků.

3.3.1 Válcování čokoládové hmoty

Ve fázi válcování dochází ke zjemňování čokoládové hmoty. Hmota má poměrně nízký stupeň disperzity, nemá dostatečně jemnou strukturu a jsou v ní postřehnutelné kakaové, cukerné nebo mléčné částice. Válcováním dojde ke zvýšení disperzity, tzn. ke zjemnění a vyrovnání chuti čokoládové hmoty. Velikost částic se sníží na 20–25 μm . [24]

K válcování slouží válcovací stolice. Nejpoužívanější jsou pětiválcové válcovací stolice s ocelovými válci ve vertikálním uspořádání. Válcovaná čokoládová hmota se pohybuje

směrem zesponu nahoru a z posledního válce je seškrabována nožem. Pro správný průběh válcování musí být válcovací stolice správně seřizena. Rychlost válců je vzrůstající, první válec má rychlost asi 20 otáček za minutu a pátý 200 – 300 otáček za minutu. Při válcování působí na pevné částice hmoty současně tlak i stříh. [3]

Čokoládová hmota se vlivem tření mezi válci zahřívá, a proto je důležité správné chlazení válců. Teplota hmoty by se měla pohybovat od 32 do 35 °C, protože při nižší teplotě dochází ke ztrátě přilnavosti a naopak vyšší teplota vede ke zhoršení kvality hmoty. [12]

Do válcovací stolice vstupuje hmota s těstovitou konzistencí a vystupuje z ní hmota s konzistencí sypkou. Vlivem zjemňování pevných částic dochází totiž ke zvětšení jejich povrchu, který již nedokáže přítomné kakaové máslo pokrýt.[3,12]

3.3.2 Konšování čokoládové hmoty

Čokoládová hmota, která má po válcování sypkou konzistenci, se zušlechťuje procesem nazývaným konšování. Při konšování je hmota intenzivně míchána, roztírána a provzdušňována. Konšování se provádí za účelem zlepšení sensorických vlastností čokoládové hmoty, dokončení vývinu čokoládového aroma a odstranění nežádoucích těkavých látek (např. kyselina octová), které vznikly předchozími chemickými pochody a fermentací bobů.

Další změny, ke kterým dochází během konšování:

- snížení obsahu vody a tím i viskozity čokoládové hmoty,
- obroušení ostrých hran pevných částic,
- dokonalé rozptýlení kakaového másla po povrchu pevných částic,
- rozrušení agregátů cukru a kakaové hmoty jako důsledek důkladného roztírání a míchání.[3,12]

Konšování čokoládové hmoty se uskutečňuje ve speciálních strojích různých typů, které se dosud nazývají původním názvem „konše“. [33]

Proces konšování probíhá ve třech fázích:

1. Fáze suchého konšování – probíhá při teplotě 55 – 90 °C a spočívá ve zpracování sypké hmoty, tak jak vychází z válcovacích stolic. Při promíchání v konši se hmota nakypřuje, dokonale promíchává, čímž je umožněno velmi intenzivní provzdušnění. Hmota ztrácí vlhkost a další těkavé látky.

2. Fáze tekutého konšování – následuje automaticky asi po 6 až 12 hodinách suchého konšování, kdy se hmota stává tekutou a navíc se v této fázi přidává k čokoládové hmotě kakaové máslo. Ztekucení hmoty je dosaženo rovnoměrným rozdělením tuku po povrchu jemných částic. Při tekutém konšování se jedná především o vývin chuťových vlastností. I zde je důležité provzdušňování, ovšem není nutné v tak velké míře jako při suchém konšování.
3. Fáze homogenizace - homogenizací je zajištěno, že se tuk rovnoměrně rozptýlí na povrch pevných částic. Probíhá téměř po celou dobu konšování. V této fázi konšovacího procesu se do konší přidávají emulgační prostředky, nejčastěji lecitin nebo PGPR. [12,24,33]

Typy konšovacích zařízení:

- Rotační konše – jsou spolehlivé a u nás nejpoužívanější.
- Podélné konše – starší typ, nejsou vhodné pro suché konšování.
- Kontinuální konše – hmota je intenzivně promíchávána a zahřívána, trvá pouze 20 min, ale jakost čokolády není tak vysoká jako u rotačních.
- Rotující konše – jsou konstrukčně výhodné a vhodné pro suché i tekuté konšování. [12]

Teplota čokoládové hmoty při konšování se pohybuje ve značně širokém rozmezí. U hořkých čokolád je konšovací teplota zhruba 65 – 90 °C. U mléčných čokolád je uváděn rozsah 40 – 60 °C. Čím je teplota vyšší, tím rychleji se odpaří voda a vytěká kyselina octová, ale zvyšuje se také nebezpečí narušení termolabilních složek čokolády. Doba konšování je rozdílná, zhruba 24 hodin, hořké čokolády se konšují déle, mléčné hmoty mají kratší dobu. Dlouhým konšováním však může dojít k tzv. překonšování, jehož důsledkem dochází ke ztrátě typického aroma čokoládové hmoty. [3,12,22]

Čokoládová hmota, která se ihned nezpracovává, je skladována v zásobnících – válcovitých nádržích s míchadly a vyhříványými dvojími stěnami a dnem. Teplota hmoty se pohybuje kolem 50 °C. [3]

3.3.3 Temperace

Pod pojmem temperace čokoládových hmot se rozumí proces, při němž se čokoládová hmota zahájením nukleace a krystalizace stabilní formy kakaového másla připravuje na tuhnutí po formování. Jinými slovy hlavním cílem správně provedené temperace

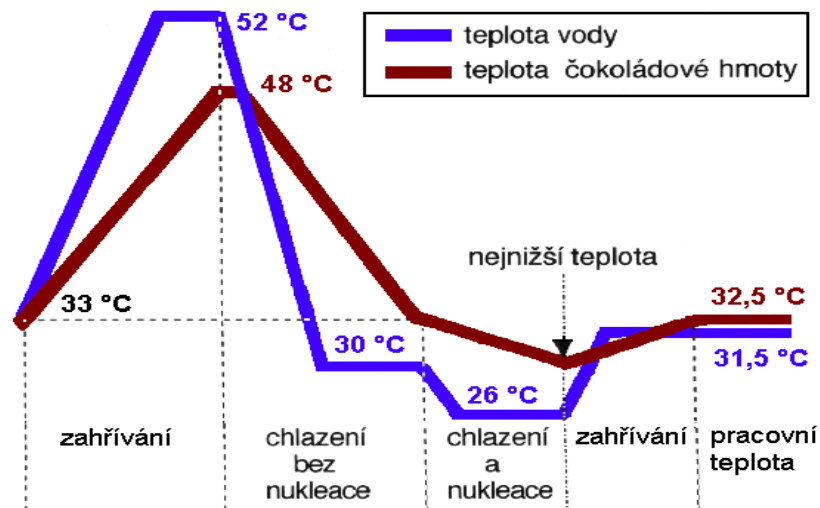
čokoládové hmoty je vytvoření co největšího počtu krystalických center stabilní krystalické modifikace kakaového másla, aby při následném chlazení nedocházelo zpětně k tvorbě velkých krystalů.[3,24]

Temperaturou lze významně ovlivnit kvalitu výsledné čokolády, tedy hlavně její fyzikálně-chemické vlastnosti, strukturu, konzistenci, lesk a viskozitu. Čokoláda, u které byla temperace vedena správně, se pozná podle jemné a homogenní struktury, která podmiňuje jemnou a rozplývavou chuť čokolády, dále podle tvrdé konzistence, lasturovitého lomu a lesklého povrchu. Dobře vytemperovaná čokoláda by měla mít asi 3 – 5 % tuku v krystalickém stavu. [3,22]

Pro různé druhy čokolády není jednotný způsob temperace. Obvykle se však používá temperace, která má tři fáze:

1. úplné rozpuštění krystalů kakaového másla,
2. krystalizace kakaového másla,
3. odstranění nestabilních forem krystalů kakaového másla[3,40]

Při temperaci se nejdříve čokoládová hmota zahřívá za intenzivního míchání na 50 °C a výše, aby se rozpustily všechny krystaly. Poté se hmota ochladí na teplotu kolem 26 °C, kdy dojde ke krystalizaci stabilních i nestabilních forem kakaového másla. V poslední fázi je proveden opětovný záhřev čokoládové hmoty na 31–32 °C, kdy roztají nestabilní formy a zůstane pouze stabilní forma β_2 (V). Tyto krystaly působí jako mikroočko pro další krystalizaci kakaového másla ve stabilní formě. Průběh temperace čokoládových hmot je znázorněn na obrázku 8. [3,22,37]



Obrázek 8 Schéma průběhu temperace [3]

Během temperace je nutné zajistit, aby nedocházelo k lokálnímu přehřívání čokoládové hmoty. Mléčnou čokoládu temperujeme při teplotách o 1 – 2 °C nižších než hořkou čokoládu. Teplotní průběh a intenzita míchání se mohou lišit v závislosti na složení tuků v temperované hmotě. Jedná se především o náhradní tuky a mléčný tuk. U mléčné čokolády, právě kvůli mléčnému tuku, nelze docílit tak vysokého lesku jako u hořké čokolády, protože krystaly mléčného tuku nemají tak ostré hrany. [22,24]

3.3.4 Formování

V této fázi je již čokoládová hmota vyrobena a připravena k vylití do forem o požadovaných parametrech pro konečné čokoládové výrobky.

K formování čokolády a čokoládových výrobků se dříve využívaly kovové formy, dnes se pracuje s formami z kvalitních polymerů. Pro lesk výrobku a jeho snadné vyklepnutí z formy je nutné, aby byly formy naprosto čisté. Teplota formy by měla odpovídat teplotě formované čokolády.

Nejjednodušší způsobem se formují tabulkové čokolády. Vytemperovaná čokoláda se nadávkuje do forem ve tvaru tabulky, forma pokračuje přes vibrační dráhu, kde dojde k rovnoměrnému rozložení hmoty ve formě a uvolnění vzduchových bublinek. Poté forma prochází chladícím tunelem, hmota tuhne a následně je čokoláda vyklepávána z formy a balena.

Při výrobě formovaných cukrovinek se nejdříve vytvoří čokoládové dutinky, které jsou následně plněny příslušnou náplní a zatírány. Do formy daného tvaru je dávkována

čokoládová poleva, po projití vibrační dráhou se forma obrátí a většina polevy vyteče, zůstane pouze tenká vrstva na stěnách formy. Vzniklé dutinky se zchladí, plní náplní a zalévají čokoládovou polevou. Přebytek polevy je setřen a po vychlazení jsou výrobky vyklopeny z forem a baleny. Tímto způsobem se také vyrábí plněné tabulkové čokolády.

Duté figurky lze vyrábět více způsoby. Do formy daného tvaru je dávkována čokoládová hmota, forma pak prochází vibrační dráhou, kde se forma obrátí a většina polevy vyteče a zůstane pouze tenká vrstva na stěnách formy. Tak se vytvoří se poloviny figurek, které jsou po vychlazení k sobě spojovány zahřátými okraji. Tento způsob je však náročný, není snadné získat všechny poloviny figurek o stejné hmotnosti. Jiný způsob využívá uzavíratelné dvoudílné formy, které se naplní určitým množstvím čokoládové hmoty a uzavřou. Otáčivým pohybem je hmota rovnoměrně rozptýlena po vnitřních stěnách formy a poté ochlazená v chladícím tunelu. Po otevření formy se figurka vyjme a balí. [3,12,29]

3.3.5 Chlazení a balení čokoládových výrobků

Chlazení čokoládových výrobků má vliv na jejich konzistenci, lesk a odolnost vůči tukovým a cukerným výkvětům. Chlazení probíhá v několika krocích. Chladicí tunely nebo skříně jsou rozděleny do tří oddělení. Nejdříve dochází k pozvolnému chladnutí výrobku při teplotě 16 °C, kdy krystalizuje jen velmi malé množství kakaového másla. V další části klesá teplota vzduchu na 3–10 °C. Dochází ke krystalizaci zbylého kakaového másla. Krystalizace je v této fázi ovlivněna průběhem teploty čokoládové hmoty. Na dobře temperovanou čokoládu nemá rychlost chlazení moc velký vliv. V posledním oddělení je teplota okolo 13 °C. Je nutné zvýšit teplotu výrobku natolik, aby neležela pod rosným bodem okolního vzduchu, ve kterém se nachází chladicí zařízení. Teplota v okolním prostředí by se měla pohybovat v rozmezí 18–20 °C a relativní vlhkost vzduchu by neměla být vyšší než 55 %. [3,12]

Balení čokoládových výrobků probíhá automaticky. Tabulková čokoláda je balena do hliníkové folie a papírového obalu nebo pouze do plastových folií. Ostatní čokoládové výrobky se balí do obalů z různých materiálů. [3]

4 METODY PRO STANOVENÍ POVRCHOVÉ ENERGIE LÁTEK

4.1 Fázová rozhraní

4.1.1 Charakteristika fázových rozhraní

Velmi často se setkáváme s řadou fyzikálních či chemických procesů, které probíhají na rozhraní mezi sousedícími objemovými fázemi. Pod pojmem fáze se rozumí určitá část objemu zkoumaného systému, ve kterém jsou vlastnosti konstantní nebo se spojitě mění v prostoru. Pokud se systém takto chová v celém svém objemu, nazýváme jej homogenním systémem. Systém s více fázemi se označuje jako heterogenní systém, ve kterém se oblast, kde se stýkají dvě fáze, nazývá fázové rozhraní. Z makroskopického hlediska fázovým rozhraním rozumíme oblast, ve které se jedna nebo více vlastností systému mění skokem. Z mikroskopického, molekulárního hlediska mají fázová rozhraní určitou tloušťku - minimálně jeden, ale většinou několik molekulárních průměrů - a tedy i určitý objem. [41,42]

Vlastnosti fázového rozhraní jsou ovlivňovány vlastnostmi obou stýkajících se fází. Podle skupenského stavu stýkajících se objemových fází bývají rozlišována fázová rozhraní:

- rozhraní kapalina/plyn (l/g)
- rozhraní kapalina/kapalina (l/l)
- rozhraní pevná látka/plyn (s/g)
- rozhraní pevná látka/kapalina (s/l)
- rozhraní pevná látka/pevná látka (s/s)

První dvě zmíněná rozhraní, tj. kapalina/plyn a kapalina/kapalina se označují jako mobilní rozhraní. Fázová rozhraní kapalina/plyn a pevná látka/plyn nazýváme termínem povrchy. Různé typy rozhraní mají některé společné vlastnosti; v řadě vlastností se však podstatně liší. Hlavní rozdíly spočívají v charakteru povrchu kapaliny a povrchu pevné látky. [41]

Fázové rozhraní je charakterizováno svou plochou a u zakřivených rozhraní též křivostí povrchu. Pokud je plocha fázového rozhraní relativně malá, lze její vliv na celkové chování systému zpravidla zanedbat, při větším fázovém rozhraní je však nutno její vlastnosti do celkového popisu systému zahrnout. [42]

4.1.2 Vlastnosti fázových rozhraní

System sestávající z více fází se uspořádá tak, aby součet energií všech fázových rozhraní a potenciálních energií všech fází byl minimální. Při styku kapaliny s povrchem nerozpustné pevné látky se uplatňují tři mezifázové energie: povrchová energie pevné látky γ_{SG} , mezifázová energie pevná látka-kapalina γ_{SL} , a povrchová energie kapaliny, γ_{LG} , jejichž relativní hodnoty ovlivňují výsledné uspořádání systému. Při popisu jevů na mobilních fázových rozhraních se častěji lze setkat s termínem mezifázové (povrchové) napětí namísto mezifázové energie. Pojem mezifázové (povrchové) napětí lépe vystihuje chování látek na fázovém rozhraní a je definováno jako tečná síla, působící ve směru povrchu na úsečku jednotkové délky. Vyjadřuje se v jednotkách N/m (rovno jednotce J/m²), popřípadě v tisíckrát menších jednotkách (mN/m nebo mJ/m²). Mezifázové napětí i mezifázová energie se označuje symbolem γ , popř. σ . Práci, potřebnou k vytvoření 1 m² nové plochy fázového rozhraní, je možno si představit jako práci vynaloženou na překonání síly $\gamma(\sigma)$, působící na úsečku délky 1 m po dráze 1 m. [41,43]

Termín mezifázové napětí bývá často používán pouze pro rozhraní mezi kondenzovanými fázemi (mezi dvěma kapalinami, mezi kapalinou a tuhým látkou nebo mezi dvěma tuhými látkami), zatímco pro mezifázové napětí na rozhraní kapalina/plyn se označuje jako povrchové napětí. [44]

Hodnota mezifázového napětí závisí na teplotě, tlaku a složení obou fází v dotyku. Povrchové napětí s teplotou vždy klesá. Vzhledem k tomu, že při kritické teplotě mizí rozhraní mezi kapalnou a plynnou fází, klesne povrchové napětí při této teplotě na nulu. Pro vystižení teplotní závislosti této veličiny byla navržena řada rovnic, jako například Eötvösova rovnice, která říká, že rychlost změny molární povrchové energie s teplotou je pro všechny kapaliny stejná a nezávislá na teplotě. Teplotní závislost mezifázového napětí (na rozdíl od povrchového napětí) je dána teplotní závislostí vzájemné rozpustnosti obou složek. Je známo, že vzájemná rozpustnost může s teplotou růst i klesat – existují systémy s dolní i horní kritickou rozpouštěcí teplotou a dokonce i s oběma zároveň. [42,43]

4.2 Povrchová energie pevných látek

Pevné povrchy jsou velmi rozdílné vzhledem k velmi rozdílné struktuře a povaze samotných pevných látek. Povrchová energie a jiné fyzikální vlastnosti povrchu závisí nejen na druhu pevné látky, ale i na předchozí historii materiálu (např. čerstvě odšlapaný

povrch krystalu bude mít jinou strukturu i energii než povrch rovnovážný). Pevné povrchy bývají často studovány při pokojových teplotách, tedy obvykle hluboko pod bodem tání. Pro studium struktury povrchů pevných látek slouží různé fyzikální, většinou optické metody. [41]

Při změně velikosti plochy fázového rozhraní se vyměňuje nejen práce, ale také teplo. Celková energie, která se při vratné jednotkové změně plochy fázového rozhraní vymění s okolím je označována jako celková mezifázová (povrchová) energie. Stejně jako u mezifázového (povrchového) napětí se používá jednotka mJ/m^2 . U kapalin je povrchová energie definována jednoznačně jako energie potřebná k vytvoření jednotkové plochy nového povrchu a je dobře měřitelná. Koncepce povrchového napětí jako tečné síly, stejné ve všech směrech a ve všech místech povrchu, která vyhovovala u kapalin, není u pevných látek adekvátní, neboť povrch pevných látek není homogenní a síla působící v rovině povrchu je různá v různých místech a je také různá v různých směrech. Proces vzniku nového povrchu obvykle probíhá ve dvou krocích. Za prvé dojde k rozdělení materiálu (např. rozštípnutím), přičemž atomy nového povrchu zachovávají stejné polohy, jaké měly v objemové fázi. Za druhé dochází k přeskupení atomů v povrchové oblasti do jejich konečných rovnovážných poloh. Termín povrchová energie se obvykle používá v souvislosti s pevnými povrchy, zatímco u kapalných fází mluvíme spíše o povrchovém napětí. [41,43,45]

Povrchová energie pevných látek je popisována jako míra porušení chemických vazeb při vytvoření nového povrchu. Při rozdělení pevné látky (Obrázek 9a), dojde k přerušení chemických vazeb, což energeticky náročný proces, v tomto případě se energie spotřebovává. Pokud bude rozdělení provedeno vratně, potom spotřebovaná energie bude rovna součtu energií nově vytvořených povrchů $2\gamma_1$ a jednotková povrchová energie bude rovna polovině kohezní energie pevné látky:

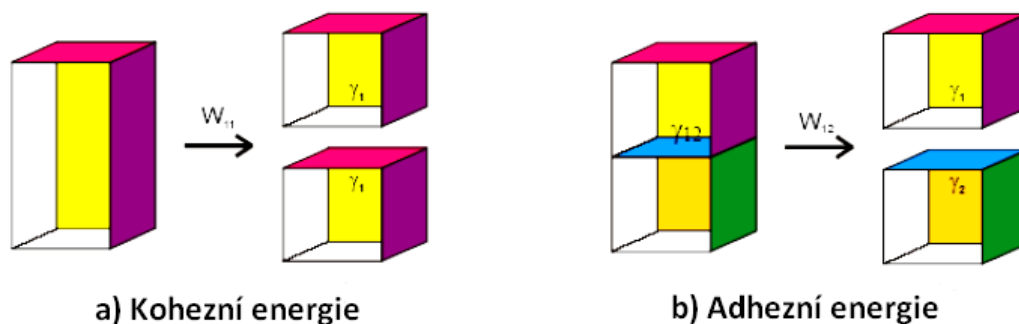
$$W_c/2 = \gamma_l \quad (1)$$

Ve skutečnosti to platí pouze pro nově vytvořené povrchy v prostředí vakua. Energie adheze W_a je energie spojená s tvorbou vazeb mezi dvěma různými látkami 1 a 2.

Adhezní energie může být také definována jako energie potřebná pro oddělení dvou různých materiálů 1 a 2 (obrázek 9b). W_a může být vypočtena podle Duprého rovnice:

$$W_1 + W_2 + W_{12} + W_a, \quad (2)$$

kde W_1 je kohezní energie látky 1, W_2 je kohezní energie látky 2 a W_{12} je mezifázová energie mezi látkami 1 a 2. Přímé měření povrchové volné energie pevných látek a mezifázové energie W_{12} je komplikované, proto rovnice (2) v tomto tvaru nemůže být použita pro výpočet energie adheze W_a . [55,57]



Obrázek 9 Schéma kohezní a adhezní energie [55]

4.3 Měření fyzikálně-chemických charakteristik na fázovém rozhraní

4.3.1 Měření povrchového a mezifázového napětí

Mezi nejpoužívanější metody pro stanovení povrchového a mezifázového napětí kapalina-kapaliny patří metoda kapilární elevace, metoda vážení kapek, analýza profilu kapky, metoda odtrhávání prstence a některé další. [43]

4.3.1.1 Metoda kapilární elevace

Metoda kapilární elevace je založena na měření výšky vzestupu smáčeující kapaliny v kapiláře. Při měření se používají kapiláry pokud možno z materiálů, které jsou dokonale smáčeny kapalinou, nejčastěji používaným materiálem je sklo. Při konstrukci aparatury je třeba si uvědomit, že kapilára má být umístěna v přesně vertikální poloze a že je třeba, aby byl znám poloměr kapiláry po celé její délce. [43,46]

4.3.1.2 Stalagmetrická metoda vážení kapek

Pro stanovení povrchového napětí je určována střední hmotnost kapky, která se odtrhává působením tíže od rovinného povrchu zabroušeného ústí silnostěnné kapiláry o vnějším poloměru R . V hrubém přiblížení se uvažuje, že tíže kapky je kompenzována silami povrchového napětí. Tato jednoduchá představa však neodpovídá přesně skutečnosti – určitá část kapky zůstává viset na konci kapiláry a kromě toho se při odtržení velké kapky vytváří ještě jedna nebo několik drobných kapiček. Při měření mezifázového napětí

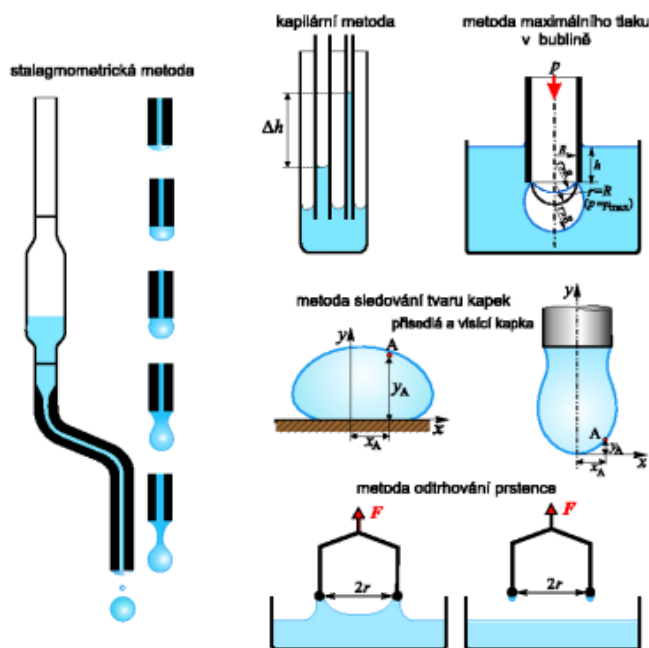
kapalina-kapalina se stanovuje objem kapky kapaliny, která odkápne ze zabroušeného konce kapiláry do druhé kapalné fáze. Metoda se používá hlavně jako srovnávací. [43,47]

4.3.1.3 Analýza profilu kapky

Povrchové nebo mezifázové napětí se zjišťuje porovnáním skutečného profilu sedící nebo visící kapky s teoretickým tvarem získaným numerickou integrací Laplaceovy-Youngovy rovnice. Obraz kapky je pozorován mikroskopem, snímán videokamerou a zpracováván počítačem. Technika analýzy profilu kapky byla úspěšně použita u různých druhů systémů. K měření jsou zapotřebí pouze malá množství měřených látek a postup lze použít i za experimentálně obtížných podmínek – za zvýšených tlaků a teplot. Umožňuje stanovení velmi nízkých hodnot i velmi vysokých povrchových i mezifázových napětí (např. mezi rtuť a vodnými roztoky). Metoda sedící kapky bude dále podrobněji popsána v podkapitole 6.1. [41,50]

4.3.1.4 Du Noüyho metoda odtrhování prstence

Pomocí vhodně uzpůsobených vah se měří síla F , potřebná pro odtržení tenkého prstence z platinového drátu od fázového rozhraní. Prstenec musí být dobře smáčen kapalinou. Častěji než k absolutním měřením se tento postup používá jako metoda srovnávací. Je to rychlá metoda, dobře použitelná k měření jak povrchového, tak mezifázového napětí. [41,49]



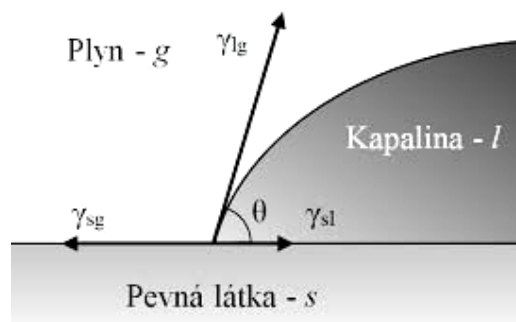
Obrázek 10 Nejčastěji používané metody pro měření povrchového a mezifázového napětí [43]

4.3.2 Úhel smáčení

Úhel smáčení je jednou z mála přímo měřitelných vlastností rozhraní pevná látka-kapalina-plyn. Pokud kapku kapaliny l umístíme na povrchu nerozpustné pevné látky s v přítomnosti plynné fáze v , zaujme daná kapka tvar, který bude záviset na hodnotách tří mezifázových energií: mezifázové energii mezi pevnou látkou a kapalinou γ_{SL} , mezifázové energii mezi pevnou látkou a plynnou fází γ_{SV} (zjednodušeně γ_S) a mezifázové energii mezi kapalinou a plynnou fází γ_{LV} (zjednodušeně γ_L). Mohou nastat dva případy:

1. Ustaví se rovnováha a kapka zaujme tvar charakterizovaný určitým kontaktním úhlem smáčení θ . Tento rovnovážný stav popisuje Youngova rovnice:

$$\gamma_{SL} = \gamma_S - \gamma_L \cdot \cos \theta \quad (3)$$

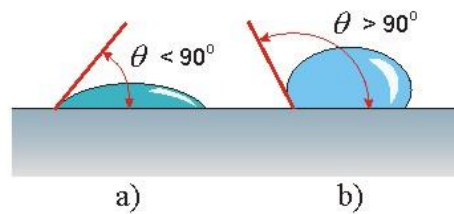


Obrázek 11 Síly působící na kapku kapaliny umístěné na pevný povrch[56]

Podle velikosti kontaktního úhlu θ potom rozlišujeme:

- úplné smáčení, když $\theta = 0^\circ$
- částečné smáčení, když $0^\circ < \theta < 90^\circ$
- nesmáčení, když $90^\circ < \theta < 180^\circ$

Pevné povrchy, které jsou smáčivé vodou, se nazývají hydrofilní a mají vysoko povrchovou energii. Povrchy vodou nesmáčivé se nazývají hydrofobní a jsou nízkoenergetické.



Obrázek 12 Smáčení povrchu:

a) částečné smáčení, b) nesmáčení

[54]

2. Pokud se neustaví termodynamická rovnováha, protože minimum volné energie (entalpie) není dosaženo pro žádnou reálnou hodnotu kontaktního úhlu, nastane rozestírání kapaliny po celém tuhém povrchu na souvislou vrstvu.[42,53,55]

Ze známých hodnot γ_S , γ_{SL} , γ_L a θ mohou být vypočteny následující termodynamické veličiny:

$$\text{Práce adheze:} \quad W_a = \gamma_S + \gamma_L - \gamma_{SL} = \gamma_L(\cos \theta + 1) \quad (4)$$

$$\text{Rozestírací koeficient:} \quad S_e = \gamma_S - \gamma_L - \gamma_{SL} = \gamma_L(\cos \theta - 1) \quad (5)$$

$$\text{Energie smáčení:} \quad W_e = \gamma_S - \gamma_{SL} = \gamma_L \cdot \cos \theta \quad (6)$$

4.4 Způsoby výpočtu povrchové energie látek

Existuje několik přístupů, které se využívají k výpočtu povrchového napětí, resp. volné povrchové energie pevných látek, rozvinutých řadou vědeckých pracovníků. Platí, že celková povrchová energie pevných látek a kapalin je závislá na různých typech molekulárních interakcí, jako jsou disperzní, polární, a acidobazické interakce. Metody se liší v počtu komponent, nebo parametrů, které jsou k výpočtu povrchové energie potřeba. Tyto rozdíly je třeba vzít v úvahu při rozhodování, která metoda je vhodná při řešení daného problému. [57].

4.4.1 Fowkesova teorie

Fowkesova teorie tvoří v dnešní době základ pro výpočet povrchové energie, zejména pro výpočet disperzní složky volné povrchové energie. Fowkes uvažoval, že povrchová volná

energie je mírou přitažlivých sil mezi pevnou látkou a kapalinou a že tyto přitažlivé síly a jejich příspěvky k volné povrchové energii jsou aditivní. Volná povrchová energie je tedy sumou všech složek a intermolekulárních interakcí mezi složkami stejného druhu:

$$\gamma = \gamma^d + \gamma^k + \gamma^h + \gamma^i + \gamma^{ab} + \dots \quad (7)$$

kde index d označuje disperzní (Londonovy) interakce, index k polární Keesomovy interakce, index h značí vodíkové můstky, i značí Debyeovy indukované síly a index ab označuje interakci kyselina-zásada.

Z praktických důvodů je celková povrchová energie rozdělována pouze do dvou složek na disperzní γ^d a nedisperzní γ^n , která zahrnuje všechny ostatní příspěvky sil, takže:

$$\gamma = \gamma^d + \gamma^n \quad (8)$$

Fowkes předpokládal, že k práci adheze přispívají pouze ty interakce, které působí přes rozhraní mezi fázemi a že jsou v této souvislosti důležité pouze disperzní síly. Pro výpočet mezifázové energie byl použit geometrický průměr:

$$\gamma_{SL} = \gamma_S + \gamma_L - 2\sqrt{\gamma_S^d \gamma_L^d} \quad (9)$$

kde γ_S^d a γ_L^d jsou disperzní složky povrchového napětí pevné látky a kapaliny.

Spojením s Young-Duprého rovnicí dostáváme vztah:

$$W_a = \gamma_L (\cos \theta + 1) = 2\sqrt{\gamma_S^d \gamma_L^d} \quad (10)$$

Tato rovnice nám umožňuje vypočítat hodnotu disperzní složky povrchové energie γ_S^d z experimentálně naměřených hodnot θ , γ_L a γ_L^d . Pokud bude použita nepolární kapalina, pro kterou bude $\gamma_L = \gamma_L^d$ pak:

$$\gamma_S^d = \frac{\gamma_L(1 + \cos \theta)^2}{4} \quad (11)$$

Na závěr je nutné podotknout, že rovnice (9) a (10) jsou platné pouze v případě, že jsou kapalina i pevná látka nepolární, ale získat přijatelné výsledky je možné i tehdy, když je nepolární jen jedna z nich.[55,58]

4.4.2 OWRK teorie

Owens, Wendt, Rabel a Kaelble rozšířili Fowkesovu teorii i na případy, kdy obě složky, tj. disperzní i polární mezimolekulární síly, působí na rozhraní mezi fázemi. To znamená v

případech, kdy jsou pevná látka i kapalina polární. Předpokládá se, že mezi sebou interagují disperzní složky obou fází, stejně tak jako polární složky obou fází, ale že neprobíhají interakce mezi polárními a disperzními složkami. Hodnotu povrchového napětí (energie) získáme jako sumu dvou složek, disperzí a polární, tj. $\gamma = \gamma^d + \gamma^p$. Potom pro mezifázové napětí (energii) kapalina-pevná látka platí:

$$\gamma_{SL} = \gamma_S + \gamma_L - 2\sqrt{\gamma_S^d \gamma_L^d} - 2\sqrt{\gamma_S^p \gamma_L^p} \quad (12)$$

Pokud opět spojíme s Young-Duprého rovnicí, dostáváme:

$$W_a = \gamma_L(\cos \theta + 1) = 2\sqrt{\gamma_S^d \gamma_L^d} - 2\sqrt{\gamma_S^p \gamma_L^p} \quad (13)$$

Z této rovnice mohou být vypočteny hodnoty disperzní i polární složky povrchového napětí (popř. energie) pevných látek pomocí měření kontaktních úhlů s dvojicí kapalin, u nichž známe hodnoty polární i disperzní složky povrchového napětí. Z praktického hlediska však výsledky získané touto cestou nejsou přímo směrodatné, protože různé testovací kapaliny poskytují různé hodnoty polarity dané pevné látky.

Tuto metodu lze úspěšně aplikovat především na polární systémy. [55,58]

4.4.3 Wu teorie

Také pro tento přístup platí, že povrchová energie je součtem disperzní γ^d a polární části γ^p . Jediným rozdílem ve výpočtu je užití harmonického průměru (namísto geometrického). Využitím Young-Duprého rovnice získáme vztah pro výpočet složek povrchové energie:

$$(1 + \cos \theta)\gamma_L = 4 \left(\frac{\gamma_S^d \gamma_L^d}{\gamma_S^d + \gamma_L^d} + \frac{\gamma_S^p \gamma_L^p}{\gamma_S^p + \gamma_L^p} \right) \quad (14)$$

Hodnoty γ_L^d a γ_L^p lze vyhledat pro jednotlivé měřící kapaliny v tabulkách. Tato rovnice je vhodná zejména pro nízkoenergetické systémy jako například voda, polymery a organické pigmenty.

Kombinace dvou kapalin s podobnými hodnotami polární a disperzní složky poskytuje špatné výsledky povrchového napětí (resp. energie). Proto je zde zaváděna hodnota D pro dvě různé kapaliny i a j , která musí být větší než 10 mN/m (resp. 10 mJ/m²):

$$D = \sqrt{(\gamma_L^d)_i (\gamma_L^p)_j} - \sqrt{(\gamma_L^d)_j (\gamma_L^p)_i} \quad (15)$$

Obecně je tato metoda vhodná spíše pro měření mezi polymery navzájem nebo mezi polymery a běžnými kapalinami.[55]

4.4.4 Acido-bazická teorie

Van Oss, Good a Chaudhury navrhli tuto Lifshitz – Van der Waalsovou neboli acido-bazickou teorii. Podle této metody je povrchové napětí pevných látek rovno součtu dvou komponent:

$$\gamma = \gamma^{LW} + \gamma^{AB} \quad (16)$$

kde γ^{LW} je příspěvek Lifshitz – Van der Waalsových (LW) sil a zahrnuje Londonovy (disperzní), Keesomovy a Debyeovy interakce, které vykazují stejnou závislost na vzdálenosti a obvykle se pro ně používají stejná kombinační pravidla. Další část povrchové energie γ^{AB} je spojena s acido-bazickými interakcemi, které jsou způsobeny přesuny elektronů mezi donory a akceptory elektronů. Jednou z nejběžnějších interakcí tohoto typu jsou vodíkové můstky. Tato polární část povrchové energie je rozdělována na další dvě části: elektron-donorovou (acidickou) γ^+ a elektron-akceptorovou (bazickou) γ^- . Zde platí:

$$\gamma^{AB} = 2\sqrt{\gamma^+\gamma^-} \quad (17)$$

Povrchová energie pak může být vypočtena podle následující rovnice:

$$(1 + \cos \theta_i)\gamma_{Li} = 2 \left(\sqrt{\gamma_{Li}^{LW}\gamma_S^{LW}} + \sqrt{\gamma_{Li}^+\gamma_S^-} + \sqrt{\gamma_{Li}^-\gamma_S^+} \right) \quad (18)$$

kde index Li označuje i -tou kapalinu, index S pevnou látku a θ_i značí kontaktní úhel naměřený i -tou kapalinou. V této rovnici jsou tři neznámé γ_{Li}^{LW} , γ_{Li}^+ , γ_{Li}^- a proto je nutné provést měření s minimálně třemi různými kapalinami. Jedna musí být nepolární a dvě polární, z nichž jedna by měla být voda.[55,60]

4.4.5 Zismanova teorie

Zisman zaznamenal, že závislost $\cos\theta$ na γ_L je často lineární. Zismanova metoda je tedy založena na měření závislosti $\cos\theta$ na celkovém povrchovém napětí (resp. energii) kapalin γ_L :

$$\cos \theta = f(\gamma_L) \quad (19)$$

Lineární extrapolací $\cos\theta \rightarrow 1$ získáme hodnotu kritického povrchového napětí γ_{krit} , což je teoretické povrchové napětí, které by odpovídalo případu, kdy kapalina ideálně smáčí povrch dané pevné látky, tedy $\theta = 0^\circ$.

Tato závislost může být popsána následující rovnicí:

$$\cos\theta = 1 + b \cdot (\gamma_{krit} - \gamma_L) \quad (20)$$

kde b je konstanta charakteristická pro řadu použitých kapalin. Hodnota γ_{krit} charakterizuje molekuly na povrchu pevné látky, nerovná se však celkovému povrchovému napětí. [55,60]

4.4.6 Stavová rovnice

Další model je založen na termodynamické stavové rovnici, která je vyjádřena ve tvaru $\gamma_{SL} = f(\gamma_L, \gamma_S)$, kde mezifázové napětí γ_{SL} závisí pouze na hodnotách γ_S a γ_L .

Berthelot navrhl použití rovnice, která je známá jako Berthelotovo kombinační pravidlo:

$$\gamma_{SL} = \gamma_L + \gamma_S - 2\sqrt{\gamma_L\gamma_S} \quad (21)$$

Spojením tohoto vztahu s Youngovou rovnicí pak získáme:

$$\cos\theta = -1 + 2\sqrt{\frac{\gamma_S}{\gamma_L}} \quad (22)$$

Z této rovnice je možné získat hodnoty γ_S a θ . Pokud znovu dosadíme Youngovu rovnici, lze dostat i hodnotu γ_{SL} . [55,57]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cíle mé diplomové práce lze charakterizovat několika následujícími body:

- Měření statických kontaktních úhlů smáčení různými testovacími kapalinami na vzorcích čokoládových výrobků
- Vyhodnocení povrchové energie všech vzorků čokoládových výrobků
- Zkoumání vlivu obsahu tuku v čokoládových výrobcích na jejich povrchovou energii
- Stanovení některých fyzikálně-chemických charakteristik čokoládových výrobků, souvisejících s povrchovou energií, pomocí diferenciální termické analýzy a infračervené spektrometrie (NIR)

6 CHARAKTERISTIKA VZORKŮ

Pro tuto diplomovou práci byly vybrány vzorky jak hořkých, tak mléčných čokoládových výrobků. Jedná se o vzorky zakoupené v tržní síti, celkem je to 12 výrobků, z toho 6 výrobků hořkých a 6 mléčných. Dále bylo provedeno měření i na čokoládách, vyrobených přímo pro účely diplomové práce, o požadované surovinové skladbě. V tomto případě se jedná o 4 druhy hořkých a 4 druhy mléčných čokolád. Vzorky pro měření byly vyrobeny v čokoládovně Carla spol. s. r.o. ve Dvoře Králové nad Labem.

6.1 Čokoládové výrobky zakoupené v tržní síti

Vzorky z tržní sítě byly vybrány na základě rozdílného obsahu kakaové sušiny, mléčné sušiny (u mléčných druhů výrobků) a také obsahu a u tuku, použitého při výrobě daného čokoládového výrobku. Známe sice složení výrobků (dle etikety), neznáme ale procentuelní obsahy jednotlivých složek.

Fotografie obchodních balení všech vzorků jsou obsaženy v přílohách P I – PXII.

6.1.1 Hořké čokoládové výrobky

Figaro na vaření

Složení: cukr, kakaová hmota, rostlinné tuky (palmový olej, bambucký tuk), kakaové máslo, mléčný tuk, emulgátor (sojový lecitin), sušené odstředěné mléko.

Obsah kakaové sušiny nejméně 35 hm. %.

Obsah všech tuků ve výrobku 27,5 hm. %.

DMT: 15. 11. 2016

Figaro hořká

Složení: cukr, kakaová hmota, kakaové máslo, mléčný tuk, emulgátor (sojový lecitin), aroma, sušené odstředěné mléko.

Obsah kakaové sušiny nejméně 43 hm. %.

Obsah všech tuků ve výrobku 27,5 hm. %.

DMT: 27. 10. 2016

Orion hořká

Složení: kakaová hmota, cukr, kakaové máslo, emulgátory (slunečnicový lecitin, PGPR), vanilkový extrakt.

Obsah kakaové sušiny nejméně 50 hm. %.

Obsah tuků ve výrobku 33,6 hm. %.

DMT: 11/2017

Noir Madagascar

Složení: kakaová hmota, cukr, kakaové máslo, emulgátor (slunečnicový lecitin), přírodní vanilkové aroma.

Obsah kakaové sušiny nejméně 60 hm. %.

Obsah tuků ve výrobku 35 hm. %.

DMT: 20. 8. 2017

Deluxe Chocolate

Složení: kakaová hmota, cukr, kakaový prášek se sníženým obsahem tuku, kakaové máslo, emulgátor (sojový lecitin), aroma (vanilin).

Obsah kakaové sušiny nejméně 74 hm. %.

Obsah tuků ve výrobku 35 hm. %.

DMT: 22. 8. 2017

Sladká vášeň

Složení: kakaová hmota, kakaové máslo, kakaový prášek se sníženým obsahem tuku, cukr, aroma, emulgátor (sojový lecitin), sušené plnotučné mléko.

Obsah kakaové sušiny nejméně 86 hm. %.

Obsah všech tuků ve výrobku 56,5 hm. %.

DMT: 18. 3. 2017

6.1.2 Mléčné čokoládové výrobky

Kakaovo-mléčná pochoutka

Složení: cukr, palmový olej, bambucký tuk, sušená syrovátka, kakaový prášek se sníženým obsahem tuku, sušené odstředěné mléko, emulgátor (sojové lecitiny), vanilkový extrakt.

Obsah kakaové sušiny nejméně 7 hm. %.

Obsah mléčné sušiny nejméně 13 hm. %.

Obsah všech tuků ve výrobku 28 hm. %.

DMT: 19. 1. 2017

Figaro mléčná

Složení: cukr, kakaová hmota, kakaové máslo, sušené odstředěné mléko, sušená syrovátka, rostlinné tuky (palmový olej, bambucký tuk), mléčný tuk, emulgátory (sojový lecitin, slunečnicový lecitin), aroma.

Obsah kakaové sušiny nejméně 25 hm. %.

Obsah mléčné sušiny – neuveden.

Obsah všech tuků ve výrobku 28 hm. %.

DMT: 28. 10. 2016

Milk Chocolate Ryelands

Složení: cukr, kakaová hmota, sušené plnotučné mléko, kakaové máslo, laktóza, emulgátor (sojový lecitin), vanilkový extrakt.

Obsah kakaové sušiny nejméně 28 hm. %.

Obsah mléčné sušiny nejméně 14 hm. %.

Obsah všech tuků ve výrobku 27 hm. %.

DMT: 28. 10. 2016

Carla mléčná

Složení: cukr, kakaové máslo, sušené plnotučné mléko, kakaová hmota, emulgátory (sojový lecitin, PGPR), vanilkový extrakt.

Obsah kakaové sušiny nejméně 31 hm. %.

Obsah mléčné sušiny – neuveden.

Obsah všech tuků ve výrobku 33 hm. %.

DMT: 11. 11. 2016

Orion mléčná

Složení: cukr, kakaová hmota, kakaové máslo, sušené plnotučné mléko, sušená syrovátka, mléčný tuk, lískooříšková pasta, emulgátory (slunečnicový lecitin, PGPR), vanilkový extrakt.

Obsah kakaové sušiny nejméně 33 hm. %.

Obsah mléčné sušiny nejméně 12 hm. %.

Obsah všech tuků ve výrobku 33,9 hm. %.

DMT: 01/2017

Dunkle Vollmilch

Složení: přírodní třtinový cukr, kakaová hmota, sušené plnotučné mléko, kakaové máslo, vanilkový extrakt.

Obsah kakaové sušiny nejméně 46 hm. %.

Obsah mléčné sušiny nejméně 19 hm. %.

Obsah všech tuků ve výrobku 39 hm. %.

DMT: 12/ 2016

6.2 Čokoládové výrobky vyrobené

Složení těchto čokolád je přesně známé a jedná se v podstatě o vzorky s modelovými obsahy kakaového másla, resp. celkové kakaové sušiny. U všech vyrobených vzorků čokolád nebyly pro výrobu použity vedle kakaového másla žádné jiné rostlinné tuky. Vzorky čokolád, označené jako Hořká – základní a Mléčná – základní, jsou vyrobeny podle receptury. Ostatní vzorky obsahují požadované přísady kakaového másla, uveden je pak jeho celkový obsah. Ten je tvořen podíly kakaového másla, které poskytují všechny kakaové součásti, tvořící dohromady celkovou kakaovou sušinu.

Přesné složení vzorků vyrobených čokolád je uvedeno v příloze P XIII.

6.2.1 Hořké čokolády

Surovinová skladba je shodná pro všechny vzorky hořkých čokolád:

cukr, kakaové máslo, kakaová hmota, sušená syrovátka, mléčný tuk, kakao přírodní, emulgátor (sojový lecitin), aroma

Tabulka 2 Parametry vyrobených hořkých čokolád

Název vzorku	Obsah kakaové sušiny [hm. %]	Obsah kakaového másla [hm. %]
Hořká základní	44 ± 1,5	28
Hořká 35 %	49 ± 1,5	35
Hořká 40 %	53 ± 1,5	40
Hořká 45 %	57 ± 1,5	45

6.2.2 Mléčné čokolády

Surovinová skladba je shodná pro všechny vzorky mléčných čokolád:

cukr, kakaové máslo, kakaová hmota, sušené plnotučné mléko, sušené odtučněné mléko, sušená syrovátka, laktóza, emulgátor (sojový lecitin), aroma

Tabulka 3 Parametry vyrobených mléčných čokolád

Název vzorku	Obsah kakaové sušiny [hm. %]	Obsah kakaového másla [hm. %]	Obsah mléčné sušiny [hm. %]
Mléčná základní	32 ± 1,5	27	3,99
Mléčná 30 %	35 ± 1,5	30	3,82
Mléčná 33 %	37 ± 1,5	33	3,66
Mléčná 36 %	40 ± 1,5	36	3,50

7 METODIKA MĚŘENÍ

Na základě stanovených cílů diplomové bylo provedeno měření statických kontaktních úhlů smáčení pro všechny vzorky čokoládových výrobků, z nichž byla následně stanovena povrchová energie. Dalšími metodami, které byly použity pro určení některých fyzikálně-chemických parametrů vzorků, souvisejících s jejich povrchovou energií, byly diferenční termická analýza a infračervená spektrometrie v blízké oblasti záření (NIR). Popis všech metod, přístrojové vybavení a podmínky při měření budou objasněny v následujících podkapitolách.

7.1 Měření statických kontaktních úhlů smáčení a stanovení povrchové energie

7.1.1 Přístrojové vybavení

K měření byl použit přístroj Surface Energy Evaluation System (zkráceně See System), jehož výrobcem je Department of Physical Electronics, Faculty of Science, Masaryk University Brno, Czech rep. Tento systém umožňuje měření statických kontaktních úhlů smáčení a následné vyhodnocení volné povrchové energie a jejich součástí.[62]

7.1.2 Princip měření

Měření bylo prováděno pomocí metody sedící kapky, jejíž princip je následující. Kapka testovací kapaliny se mikropipetou umístí na povrch pevné látky (vzorek) a zobrazí se pomocí CCD kamery. Pomocí softwaru See System se povrchu kapky označí tři body, které co nejlépe vystihují její tvar. Metodou nejmenších čtverců je bodům přiřazena kružnice, která kopíruje tvar kapky. Kontaktní úhel smáčení je poté vyhodnocen jako tangenta oblouku, který tvoří povrch kapky, resp. kružnice, s rozhraním mezi pevnou látkou a kapalinou. Kapka by měla být co nejmenší, řádově v μl , aby bylo působení gravitační síly, které způsobuje deformaci kapky. Malé kapky svým tvarem lépe odpovídají kružnici a vyhodnocení je tedy přesnější. Tímto způsobem se naměří kontaktní úhly pro různé testovací kapaliny. Dále software See System umožňuje vypočítat průměrné kontaktní úhly a povrchové energie na základě nejčastěji užívaných modelů. [62]



Obrázek 13 Surface Energy Evaluation System [62]

7.1.3 Testovací kapaliny

Testovací kapaliny musí splňovat následující podmínky. Nesmí reagovat s testovaným povrchem a měly by mít definovanou a stabilní povrchovou energii, která musí být vyšší než povrchová energie testovaného povrchu.[62]

Pro měření byly použity celkem čtyři testovací kapaliny: destilovaná voda, glycerol (výrobce Fluka BioChemika), ethylenglykol (výrobce Riedel-de Haën) a diiodomethan (výrobce Sigma-Aldrich). Testovací kapaliny byly na povrch vzorku nanášeny automatickou mikropipetou. Objem nanášené kapky byl 5 μl . V tabulce 4 jsou uvedeny hodnoty jednotlivých konstant pro použité testovací kapaliny.

Tabulka 4 Konstanty testovacích kapalin [62]

Kapalina	γ^{total}	γ^{LW}	γ^{AB}	γ^+	γ^-
Voda	72,8	21,8	51,0	25,5	25,5
Glycerol	64,0	34,0	30,0	3,92	57,4
Ethylenglykol	48,0	29,0	19,0	3,0	30,1
Diiodomethan	50,8	50,8	0,0	0,0	0,0

7.2 Diferenční termická analýza

7.2.1 Přístrojové vybavení

Pro diferenční termickou analýzu byl použit přístroj SHIMADZU DTG-60 (výrobce SHIMADZU, USA). Je to simultánní TG/DTA analyzátor, který pracuje v teplotním rozmezí 20 – 1100°C v atmosféře vzduchu nebo inertního plynu (N₂) a zaznamenává úbytek hmotnosti vzorku. Vzorky se rovnoměrně dávkuje do aluminiových pánviček. Nutné je rovnoměrné rozprostření vzorku v tenké vrstvě. Maximální navážka vzorku je 1g. Vzorek je vážen s přesností na 0,0001mg s měřicím rozsahem ± 500mg. Vzorek může být pevný nebo kapalný a nesmí během zahřívání uvolňovat toxické látky nebo degradovat na korozivní produkty. Detektorem je termočlánek Pt + 10% Pt/RH. Měření probíhá s přesností ± 1%. Data získaná z měření jsou poté zpracována v softwaru TA 60. [63]



Obrázek 14 SHIMADZU DTG-60 [63]

7.2.2 Princip měření

Základním jevem, důležitým pro metody termické analýzy je změna entalpie (ΔH). Každý systém má za dané teploty snahu dosáhnout takový stav, který odpovídá nižšímu obsahu volné entalpie, např. přechod látky z jedné krystalické formy do druhé, která má za dané teploty menší obsah volné entalpie a je tedy stářejší. Tato pracovní technika tedy sleduje změny teploty vzorku v závislosti na teplotě srovnávací látky. Touto metodou je možné sledovat nejen změnami entalpie, ale i hmotnostní změny, kterým sledovaný materiál podléhá. Jsou tedy zaznamenávány rozdíly teploty srovnávací látky a teploty

analyzovaného vzorku. Obě tyto látky jsou umístěny ve vyhřívaném, tepelně izolovaném bloku. V našem případě jsou sledovány změny entalpie, které probíhají ve vzorcích čokolád při zahřívání a opětovném chlazení. Důležitým výstupem z toho měření jsou hodnoty bodů tání tuků přítomných v analyzovaných vzorcích.[64]

7.2.3 Podmínky při měření

- atmosféra: vzduch
- rozsah teplot: 25 – 150 °C
- rychlost vzrůstu teploty: 10 °C/min

7.3 Infračervená spektrometrie v blízké oblasti záření (NIR)

7.3.1 Přístrojové vybavení

Měření NIR spekter bylo provedeno na přístroji ParticuLAB (výrobce Harrer & Kassen, Německo). Přístroj využívá nejmodernější NIR-technologie pro rychlou laboratorní analýzu pevných, kašovitých nebo sypkých produktů, přičemž nezáleží na barvě analyzovaného výrobku. Měřený vzorek se umístí do nízké kulaté skleněné misky do souvislé a rovnoměrné vrstvy, vloží se do přístroje a je podroben analýze. Vyhodnocení spekter se poté provádí v softwaru OMNIC.[65,66]



Obrázek 15 Přístroj ParticuLAB [65]

7.3.2 Princip měření

Spektrometrie v blízké infračervené oblasti je metodou molekulové spektroskopie, která využívá spektrální oblast blízkého infračerveného záření, tj. oblast vlnových délek 800 až 2500 nm. Obvykle se NIR spektra využívají pro kvantitativní analýzu, a to i složitých vzorků v řadě odvětví, mezi něž patří i potravinářský průmysl. V mnoha případech je možné stanovit více složek vedle sebe, aniž je nutné dělit složité směsi. NIR spektrometrie se řadí mezi tzv. procesní analytické metody, kdy je kladen důraz na rychlost samotné analýzy včetně možnosti kontinuální on-line analýzy. Takto lze například zároveň stanovit obsah tuků, bílkovin, laktózy v mléce a mléčných výrobcích či obsah ethanolu a sacharidů v alkoholických nápojích. Samotné měření je poměrně rychlé, často nedestruktivní a nevyžaduje obvykle žádnou speciální úpravu vzorku. Měří se tedy zeslabení zářivého toku po průchodu záření vzorkem, neboli transmitance, která je následně přepočítána na absorbanci. Vlnová délka použitého záření je v tomto případě 925 až 1375 nm.[66]

8 VÝSLEDKY A DISKUZE

8.1 Kontaktní úhly smáčení

Statické kontaktní úhly smáčení byly naměřeny na přístroji See System. Hodnoty všech naměřených kontaktních úhlů pro všechny vzorky jsou uvedeny v tabulkách v přílohách P XV – P XXXIV. Pro měření byly použity čtyři testovací kapaliny: destilovaná voda, glycerol, ethylenglykol a diiodomethan. Pro každou kapalinu a vzorek bylo vždy provedeno 5 měření a objem nanášené kapky byl 5 μ l. Měření bylo prováděno při běžné laboratorní teplotě. Z těchto hodnot byly vypočteny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky kontaktních úhlů θ_s , které jsou uvedeny v tabulkách 5 – 8. Ty byly dále použity pro výpočet povrchové energie vzorků a jejich složek.

Tabulka 5 Hodnoty průměrných kontaktních úhlů smáčení pro vzorky hořké - koupené

Vzorek	Průměrný kontaktní úhel smáčení jednotlivých kapalin θ_s [°]			
	Voda	Glycerol	Ethylenglykol	Diiodomethan
Figaro na vaření	81,57 \pm 1,64	89,64 \pm 1,62	69,40 \pm 2,39	33,12 \pm 3,68
Figaro hořká	66,09 \pm 3,16	89,46 \pm 0,71	70,55 \pm 2,91	49,90 \pm 4,43
Orion hořká	74,71 \pm 2,44	90,60 \pm 2,46	75,13 \pm 3,09	43,85 \pm 2,42
Noir Madagascar	91,75 \pm 2,28	98,47 \pm 1,95	70,84 \pm 0,75	42,27 \pm 1,09
Deluxe Chocolate	85,45 \pm 3,13	89,65 \pm 2,26	70,72 \pm 1,83	50,14 \pm 1,93
Sladká Vášeň	94,80 \pm 2,35	100,41 \pm 7,19	81,21 \pm 3,96	51,49 \pm 3,27

Tabulka 6 Hodnoty průměrných kontaktních úhlů smáčení pro vzorky mléčné - koupené

Vzorek	Průměrný kontaktní úhel smáčení jednotlivých kapalin θ_s [°]			
	Voda	Glycerol	Ethylenglykol	Diiodomethan
Kak.-ml. pochoutka	86,68 ± 1,53	93,90 ± 4,71	68,88 ± 0,92	33,53 ± 2,07
Figaro mléčná	81,29 ± 2,43	91,33 ± 1,32	68,62 ± 1,91	37,96 ± 2,67
Milk Choco. Ryelands	76,84 ± 2,04	94,00 ± 1,60	70,73 ± 1,49	35,95 ± 2,00
Carla mléčná	79,83 ± 1,10	91,46 ± 1,29	66,92 ± 1,38	52,25 ± 1,95
Orion mléčná	85,28 ± 0,62	92,35 ± 1,19	72,72 ± 0,54	43,93 ± 0,97
Dunkle Vollmilch	90,02 ± 1,77	93,70 ± 1,56	72,91 ± 2,64	47,62 ± 2,01

Tabulka 7 Hodnoty průměrných kontaktních úhlů smáčení pro vzorky hořké - vyrobené

Vzorek	Průměrný kontaktní úhel smáčení jednotlivých kapalin θ_s [°]			
	Voda	Glycerol	Ethylenglykol	Diiodomethan
Hořká základní	87,30 ± 1,47	95,47 ± 0,63	75,16 ± 1,29	51,15 ± 1,49
Hořká 35 %	81,67 ± 1,17	89,38 ± 1,83	77,31 ± 1,32	57,60 ± 2,63
Hořká 40 %	88,52 ± 1,81	93,33 ± 2,12	79,95 ± 2,54	55,97 ± 1,90
Hořká 45 %	93,76 ± 2,29	93,66 ± 3,20	79,25 ± 1,69	53,01 ± 2,32

Tabulka 8 Hodnoty průměrných kontaktních úhlů smáčení pro vzorky mléčné - vyrobené

Vzorek	Průměrný kontaktní úhel smáčení jednotlivých kapalin θ_s [°]			
	Voda	Glycerol	Ethylenglykol	Diiodomethan
Mléčná základní	94,63 ± 2,37	89,31 ± 2,21	76,62 ± 1,21	50,67 ± 2,31
Mléčná 30 %	99,82 ± 0,85	97,79 ± 1,93	73,75 ± 0,96	52,63 ± 1,55
Mléčná 33 %	91,16 ± 1,90	102,39 ± 2,46	81,02 ± 1,62	47,57 ± 1,96
Mléčná 36 %	93,22 ± 1,22	90,82 ± 1,67	71,83 ± 1,55	48,69 ± 2,50

Z tabulek 5 – 8 je zřejmé, že nejmenší kontaktní úhly smáčení poskytuje diiodomethan, tudíž nejlépe ze všech testovacích kapalin smáčí povrch vzorků. Povrch čokolády je díky obsaženému kakaovému máslu, které je složeno z mastných kyselin s dlouhými nepolárními řetězci, hydrofobní, takže je lépe smáčen nepolárními kapalinami, jako je např. diiodomethan. Ostatní testovací kapaliny mají vyšší hodnoty kontaktních úhlů smáčení a vůbec nejvyšší úhly byly naměřeny u glycerolu. Dále je vidět, že kontaktní úhly smáčení pro testovací kapaliny se u jednotlivých vzorků, resp. druhů čokolád příliš neliší. Více patrné rozdílnosti u měřených vzorků budou zřetelnější až u hodnot povrchových energií.

8.2 Povrchová energie

Z průměrných hodnot statických kontaktních úhlů byla pomocí softwaru See System vypočtena povrchová energie. Tento software poskytuje několik možných modelů pro výpočet povrchové energie a jejích složek, které vycházejí z běžně užívaných teorií (viz. podkapitola 4.4). Pro výpočet byly použity tyto modely:

- Wu-Equation of State model
- Owens-Wendt model
- Acid-base model
- Wu-Harmonic mean model

V následujících tabulkách 9 – 16 jsou uvedeny hodnoty povrchových energií získané použitím výpočtových modelů pro jednotlivé vzorky. Pro zjednodušení jsou kapaliny označeny symboly:

v... destilovaná voda

g...glycerol

e...ethylenglykol

d...diiodomethan

V tabulkách 9 – 12 jsou uvedeny výsledky modelu Wu-Equation of State, který je založen na principu stavové rovnice. Tento model poskytuje hodnotu celkové povrchové energie (označení γ a jednotka mJ/m^2) a její směrodatné odchylky $S\gamma^-$ a $S\gamma^+$. Výslednou hodnotou povrchové energie je hodnota maximální (max).

Tabulka 9 Výsledky modelu Wu-Equation of State pro vzorky hořké - koupené

Figaro na vaření				Figaro hořká			
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v	23,93	2,23	1,21	v	35,94	3,79	4,06
g	16,03	1,34	1,01	g	16,30	0,33	0,77
e	21,93	1,66	2,11	e	21,32	1,31	2,90
d	42,88	2,42	1,82	d	34,33	2,10	3,04
max	42,88	2,42	1,82	max	35,94	3,79	4,06
Orion hořká				Noir Madagascar			
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v	29,06	2,52	2,57	v	17,10	1,65	2,34
g	15,67	1,53	1,71	g	11,63	1,45	1,32
e	18,95	2,63	1,81	e	21,17	0,37	0,49
d	37,62	1,76	1,94	d	38,45	1,05	0,57
max	37,62	1,76	1,94	max	38,45	1,05	0,57
Deluxe Chocolate				Sladká Vášň			
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v	21,20	1,91	3,11	v	15,28	1,93	1,65
g	16,20	1,55	1,80	g	10,74	4,48	4,06
e	21,12	1,38	1,08	e	15,95	2,21	3,37
d	34,20	1,39	1,48	d	33,44	1,91	2,81
max	34,20	1,39	1,48	max	33,44	1,91	2,81

Tabulka 10 Výsledky modelu Wu-Equation of State pro vzorky mléčné - koupené

Kakaovo-mléčná pochoutka				Figaro mléčná			
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v	20,37	1,29	1,20	v	24,13	2,30	2,39
g	13,90	2,25	3,51	g	15,27	1,06	1,04
e	22,20	0,84	0,48	e	22,35	1,21	1,34
d	42,70	1,51	1,08	d	40,62	1,74	1,30
max	42,70	1,51	1,08	max	40,62	1,74	1,30
Milk Chocolate Ryelands				Carla mléčná			
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v	27,43	1,76	2,86	v	25,20	1,06	0,94
g	13,85	1,28	0,82	g	15,19	1,05	0,78
e	21,23	1,06	1,29	e	23,25	1,44	0,59
d	41,58	1,45	1,19	d	33,01	1,18	1,78
max	41,58	1,45	1,19	max	33,01	1,18	1,78
Orion mléčná				Dunkle Vollmilch			
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v	21,32	0,54	0,71	v	18,19	1,08	2,15
g	14,71	0,67	1,10	g	14,00	0,86	1,30
e	20,19	0,38	0,31	e	20,09	1,92	2,00
d	37,58	0,60	0,78	d	35,59	2,04	1,30
max	37,58	0,60	0,78	max	35,59	2,04	1,30

Tabulka 11 Výsledky modelu Wu-Equation of State pro vzorky hořké - vyrobené

Hořká základní				Hořká 35 %			
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v	19,95	1,53	1,54	v	23,85	0,90	1,51
g	13,09	0,41	0,38	g	16,35	0,81	2,05
e	18,94	0,65	1,23	e	17,85	0,76	0,97
d	33,63	1,62	0,81	d	29,96	1,85	2,02
max	33,63	1,62	0,81	max	29,96	1,85	2,02
Hořká 40 %				Hořká 45 %			
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v	19,16	0,94	2,32	v	15,89	2,12	1,35
g	14,19	1,79	1,24	g	14,02	1,77	2,17
e	16,56	1,30	1,68	e	16,89	0,99	1,00
d	30,89	1,53	1,37	d	32,58	1,60	2,39
max	30,89	1,53	1,37	max	32,58	1,60	2,39

Tabulka 12 Výsledky modelu Wu-Equation of State pro vzorky mléčné - vyrobené

Mléčná základní				Mléčná 30 %			
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v	15,38	1,70	1,66	v	12,52	0,79	0,42
g	16,39	1,55	1,98	g	11,96	1,35	1,34
e	18,20	0,88	0,74	e	19,65	0,97	0,35
d	33,90	1,80	2,04	d	32,79	0,94	1,46
max	33,90	1,80	2,04	max	32,79	0,94	1,46
Mléčná 33 %				Mléčná 36 %			
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v	17,47	1,45	1,96	v	16,21	0,66	1,43
g	9,87	1,38	1,28	g	15,54	0,97	1,61
e	16,04	1,29	0,91	e	20,65	1,03	1,43
d	35,62	1,52	1,66	d	35,00	1,51	1,91
max	35,62	1,52	1,66	max	35,00	1,51	1,91

Tabulky 13 – 16 uvádí výsledky získané z modelu Owens-Wendt pro možné dvojice testovacích kapalin. Tyto modely poskytují hodnoty celkové povrchové energie γ , hodnoty polární a disperzní složky γ^D a γ^P (pro všechny jednotka mJ/m^2) a jejich směrodatných odchylek.

Tabulka 13 Výsledky modelu Owens-Wendt pro vzorky hořké - koupené

Figaro na vaření									
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^D	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^P	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v+g	34,08	9,50	10,58	0,00	0,00	1,28	34,08	10,78	9,67
v+e	23,94	2,18	1,98	7,56	3,54	7,10	16,38	7,00	5,52
v+d	45,32	2,88	1,99	42,88	2,42	1,82	2,44	1,02	0,91
g+e	103,88	59,47	126,38	87,15	43,71	77,86	16,73	15,75	48,52
g+d	44,14	3,13	2,86	42,88	2,42	1,82	1,26	0,71	1,05
e+d	43,30	2,83	2,62	42,88	2,42	1,82	0,42	0,41	0,80
Figaro hořká									
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^D	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^P	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v+g	93,69	27,23	29,69	9,49	6,25	8,01	84,21	20,99	21,69
v+e	48,59	14,03	16,90	0,09	0,08	3,16	48,50	17,18	16,41
v+d	45,43	3,82	4,61	34,33	2,10	3,04	11,10	3,39	3,68
g+e	80,78	40,65	96,76	71,24	31,57	63,68	9,54	9,09	33,07
g+d	34,45	2,21	3,37	34,33	2,10	3,04	0,12	0,12	0,33
e+d	34,34	2,10	3,22	34,33	2,10	3,04	0,01	0,00	0,64
Orion hořká									

kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^D	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^P	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v+g	58,70	19,44	25,43	2,58	2,55	6,34	56,12	16,89	19,09
v+e	35,53	7,69	14,52	0,68	0,68	2,82	34,85	10,51	14,93
v+d	43,53	2,65	2,83	37,62	1,76	1,94	5,91	1,73	1,95
g+e	46,10	28,86	88,08	44,38	40,59	60,52	1,72	1,63	27,56
g+d	38,18	2,24	2,82	37,62	1,76	1,94	0,56	0,48	0,89
e+d	38,06	2,17	3,33	37,62	1,76	1,94	0,43	0,41	1,39
Noir Madagascar									
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^D	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^P	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v+g	23,79	7,45	17,27	0,01	0,01	2,17	23,78	9,30	15,09
v+e	21,81	0,96	2,50	16,63	5,04	4,92	5,18	2,41	4,08
v+d	39,24	1,35	1,18	38,45	1,05	0,57	0,79	0,41	0,83
g+e	277,33	90,08	132,33	186,21	50,21	70,12	91,12	39,87	62,22
g+d	41,08	2,10	1,90	38,45	1,05	0,57	2,62	1,05	1,33
e+d	38,57	1,15	0,67	38,45	1,05	0,57	0,12	0,10	0,10
Deluxe Chocolate									
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^D	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^P	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v+g	24,86	5,56	16,24	0,84	0,84	4,48	24,02	10,04	16,55
v+e	21,69	1,66	3,29	9,62	5,56	5,23	12,07	4,62	8,85
v+d	37,01	1,94	2,61	34,20	1,39	1,48	2,82	1,01	1,79
g+e	78,80	52,41	83,84	69,73	43,97	53,89	9,07	8,55	29,95
g+d	34,32	1,50	1,96	34,20	1,39	1,48	0,12	0,12	0,47
e+d	34,20	1,39	1,58	34,20	1,39	1,48	0,01	0,01	0,16
Sladká Vášeň									
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^D	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^P	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v+g	20,20	5,50	37,22	0,08	0,00	9,37	20,12	14,50	27,85
v+e	16,07	2,16	6,24	8,31	5,50	11,98	7,76	5,74	6,83
v+d	34,23	2,22	2,98	33,44	1,91	2,81	0,79	0,61	0,76
g+e	107,77	89,84	564,99	83,41	80,87	296,79	24,36	23,19	268,20
g+d	35,31	3,65	8,54	33,44	1,91	2,81	1,87	1,75	5,72
e+d	34,07	2,54	4,57	33,44	1,91	2,81	0,63	0,63	1,76

Tabulka 14 Výsledky modelu Owens-Wendt pro vzorky mléčné - koupené

Kakaovo-mléčná pochoutka									
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^D	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^P	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v+g	28,17	9,00	15,23	0,02	0,00	4,53	28,16	13,53	13,37
v+e	22,21	0,84	0,76	13,01	3,45	3,33	9,20	2,57	3,23
v+d	43,95	1,72	1,32	42,70	1,51	1,08	1,25	0,46	0,57
g+e	196,36	139,76	156,19	143,17	89,48	85,70	53,19	50,28	70,48
g+d	44,98	3,25	3,04	42,70	1,51	1,08	2,28	1,71	1,96
e+d	43,04	1,72	1,43	42,70	1,51	1,08	0,34	0,21	0,35
Figaro mléčná									

kapalina	γ	S γ -	S γ +	γ^D	S γ -	S γ +	γ^P	S γ -	S γ +
v+g	37,69	11,30	16,38	0,16	0,15	2,32	37,53	11,74	14,06
v+e	24,16	2,09	3,36	7,99	4,06	5,70	16,16	6,16	7,41
v+d	43,52	2,37	2,09	40,62	1,74	1,30	2,90	1,08	1,41
g+e	142,54	66,24	97,74	111,77	43,76	58,33	30,78	22,48	39,41
g+d	41,78	2,35	2,06	40,62	1,74	1,30	1,16	0,61	0,76
e+d	40,75	1,87	1,65	40,62	1,74	1,30	0,13	0,13	0,35
Milk Chocolate Ryelands									
kapalina	γ	S γ -	S γ +	γ^D	S γ -	S γ +	γ^P	S γ -	S γ +
v+g	61,23	13,94	27,76	4,00	2,75	7,57	57,23	11,19	20,19
v+e	28,95	3,22	7,31	3,36	2,43	3,19	25,60	6,41	9,74
v+d	45,75	1,96	2,31	41,58	1,45	1,19	4,17	1,01	1,76
g+e	162,07	64,25	120,57	122,05	40,43	69,37	40,01	23,82	51,20
g+d	43,63	2,17	2,33	41,58	1,45	1,19	2,04	0,72	1,14
e+d	42,00	1,78	1,67	41,58	1,45	1,19	0,41	0,33	0,47
Carla mléčná									
kapalina	γ	S γ -	S γ +	γ^D	S γ -	S γ +	γ^P	S γ -	S γ +
v+g	42,56	7,50	9,92	0,55	0,54	1,70	42,01	6,96	8,23
v+e	25,22	1,08	1,34	8,21	3,11	2,35	17,01	2,98	4,44
v+d	38,03	1,45	1,83	33,01	1,18	1,78	5,02	0,97	0,84
g+e	176,45	74,19	74,09	133,06	47,07	42,96	43,39	27,12	31,10
g+d	33,19	1,34	2,22	33,01	1,18	1,78	0,18	0,15	0,44
e+d	33,33	1,30	1,69	33,01	1,18	1,78	0,32	0,30	0,30
Orion mléčná									
kapalina	γ	S γ -	S γ +	γ^D	S γ -	S γ +	γ^P	S γ -	S γ +
v+g	28,99	4,48	4,99	0,04	0,04	0,73	28,94	5,20	4,92
v+e	21,42	0,51	0,64	7,80	1,45	1,23	13,62	1,50	2,06
v+d	39,86	0,71	0,93	37,58	0,60	0,78	2,28	0,32	0,39
g+e	96,96	37,77	32,02	81,09	26,22	20,36	15,87	11,55	11,67
g+d	38,43	1,01	1,18	37,58	0,60	0,78	0,85	0,41	0,40
e+d	37,76	0,69	0,93	37,58	0,60	0,78	0,19	0,09	0,15
Dunkle Vollmilch									
kapalina	γ	S γ -	S γ +	γ^D	S γ -	S γ +	γ^P	S γ -	S γ +
v+g	21,12	3,80	9,61	0,81	0,78	2,72	20,31	6,53	10,37
v+e	20,09	1,85	3,21	12,16	6,48	6,73	7,93	3,52	6,74
v+d	37,02	2,13	1,88	35,59	2,04	1,30	1,43	0,49	1,14
g+e	117,80	78,43	112,32	94,15	55,58	67,84	23,66	22,85	44,48
g+d	36,38	2,62	1,88	35,59	2,04	1,30	0,78	0,58	0,59
e+d	35,65	2,10	1,77	35,59	2,04	1,30	0,06	0,06	0,47

Tabulka 15 Výsledky modelu Owens-Wendt pro vzorky hořké - vyrobené

Hořká základní									
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^D	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^P	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v+g	29,39	6,43	8,19	0,02	0,01	0,66	29,37	6,74	7,54
v+e	20,06	1,25	1,63	7,37	2,70	4,56	12,68	4,45	4,33
v+d	36,02	1,97	1,32	33,63	1,62	0,81	2,39	0,72	1,00
g+e	114,97	31,66	60,38	91,16	20,65	37,17	23,81	11,01	23,22
g+d	34,42	1,98	1,11	33,63	1,62	0,81	0,79	0,35	0,30
e+d	33,69	1,68	0,95	33,63	1,62	0,81	0,06	0,06	0,14
Hořká 35 %									
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^D	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^P	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v+g	32,78	7,39	8,94	0,03	0,02	1,70	32,75	9,09	8,57
v+e	25,77	2,29	4,24	2,29	1,38	1,77	23,48	4,06	5,62
v+d	35,05	1,84	2,31	29,96	1,85	2,02	5,09	0,98	1,41
g+e	23,20	4,96	22,94	22,46	19,26	21,91	0,74	0,70	18,27
g+d	29,96	1,84	2,08	29,96	1,85	2,02	0,01	0,00	0,38
e+d	29,96	1,85	2,19	29,96	1,85	2,02	0,00	0,00	0,17
Hořká 40 %									
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^D	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^P	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v+g	23,42	4,34	15,48	0,44	0,44	1,98	22,98	6,32	15,00
v+e	19,26	1,04	4,95	4,53	3,20	3,89	14,73	4,47	8,15
v+d	33,44	1,66	2,15	30,89	1,53	1,37	2,55	0,63	1,43
g+e	32,13	16,67	86,27	31,87	24,32	60,59	0,26	0,00	25,68
g+d	31,06	1,70	2,02	30,89	1,53	1,37	0,17	0,17	0,64
e+d	31,05	1,69	1,87	30,89	1,53	1,37	0,16	0,15	0,50
Hořká 45 %									
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^D	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^P	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v+g	16,19	2,22	6,20	2,96	2,83	9,39	13,23	8,67	9,03
v+e	16,95	0,97	2,00	9,26	3,65	6,23	7,69	4,23	3,95
v+d	33,64	2,03	2,53	32,58	1,60	2,39	1,06	0,74	0,68
g+e	40,02	23,71	72,99	38,70	31,42	50,12	1,33	1,33	22,87
g+d	32,94	1,96	3,42	32,58	1,60	2,39	0,37	0,37	1,03
e+d	32,85	1,84	3,06	32,58	1,60	2,39	0,27	0,25	0,67

Tabulka 16 Výsledky modelu Owens-Wendt pro vzorky mléčné - vyrobené

Mléčná základní									
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^D	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^P	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v+g	16,39	1,51	5,93	8,93	6,07	11,18	7,46	5,25	7,19
v+e	18,40	1,07	2,65	12,97	4,61	5,49	5,43	2,84	3,82
v+d	34,67	2,06	2,29	33,90	1,80	2,04	0,77	0,52	0,74
g+e	26,03	7,65	36,92	25,77	21,50	31,33	0,26	0,14	16,21
g+d	33,98	1,86	2,53	33,90	1,80	2,04	0,08	0,08	0,49
e+d	34,07	1,96	2,50	33,90	1,80	2,04	0,17	0,16	0,46
Mléčná 30 %									
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^D	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^P	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v+g	12,53	0,70	1,44	4,02	2,76	5,00	8,51	3,97	4,20
v+e	24,61	3,06	2,77	23,49	3,91	3,40	1,12	0,63	0,85
v+d	33,03	1,01	1,45	32,79	0,94	1,46	0,23	0,16	0,14
g+e	190,90	90,67	96,34	136,40	54,65	52,97	54,50	36,02	43,37
g+d	33,89	1,57	2,53	32,79	0,94	1,46	1,09	0,63	1,08
e+d	32,79	0,94	1,59	32,79	0,94	1,46	0,00	0,00	0,13
Mléčná 33 %									
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^D	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^P	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v+g	32,75	11,25	20,60	0,97	0,92	5,09	31,78	10,34	15,51
v+e	17,48	1,45	3,31	5,56	3,49	3,60	11,19	4,06	6,80
v+d	36,81	1,78	2,09	35,62	1,52	1,66	1,19	0,57	0,91
g+e	150,05	90,81	129,07	108,08	56,50	71,12	41,97	34,31	57,94
g+d	38,73	2,84	3,58	35,62	1,52	1,66	3,11	1,32	1,92
e+d	36,63	2,09	2,71	35,62	1,52	1,66	1,02	0,56	1,05
Mléčná 36 %									
kapalina	γ	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^D	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$	γ^P	$S\gamma^-$	$S\gamma^+$
v+g	16,23	0,67	2,67	5,32	3,48	5,28	10,90	4,24	6,15
v+e	21,61	1,98	3,47	17,21	5,11	5,28	4,40	1,81	3,12
v+d	35,89	1,54	2,11	35,00	1,51	1,91	0,89	0,34	0,64
g+e	84,83	51,13	76,62	73,49	39,80	49,28	11,34	11,33	27,34
g+d	35,29	1,79	2,41	35,00	1,51	1,91	0,29	0,28	0,50
e+d	35,01	1,52	2,12	35,00	1,51	1,91	0,01	0,01	0,21

U modelu Owens-Wendt byly zaznamenány výrazné rozdíly u některých kombinací testovacích kapalin. Například kombinace glycerol + ethylenglykol udává výrazně vyšší hodnoty než ostatní dvojice kapalin. Odlišnosti jsou patrné u většiny vzorků i pro kombinace voda + glycerol a voda + ethylenglykol. Tyto kombinace kapalin tedy nejsou pro výpočet vhodné. Přesvědčivé hodnoty jsou ale naopak patrné u všech kombinací s diiodomethanem (v + d, g + d, e + d). Tyto výsledné hodnoty povrchových energií i

jejich komponent se od sebe příliš neliší. Tato skutečnost je patrně způsobena tím, že diiodomethan je nepolární látka a ze všech použitých testovacích kapalin povrch čokolády smáčí nejlépe. Odůvodnění je stejné jako v případě zhodnocení kontaktních úhlů smáčení. Tento poznatek uvádí ve své publikaci i Reinke *et al* [67]. Z výsledků povrchové energie působí jako přesvědčivé ty hodnoty, které jsou v tabulkách 13 – 16 zvýrazněny tučně. Z hodnot celkové povrchové energie γ , zvýrazněných tučně pro každý vzorek, byly vypočítány průměrné hodnoty a jejich směrodatné odchylky, přičemž hodnoty, které se liší, nebyly do průměru započítány. Shrnutí výsledků celkových povrchových energií v mJ/m^2 , získaných z modelu Owens-Wendt je uvedeno v tabulce 17 a 18.

Tabulka 17 Výsledky povrchových energií podle modelu Owens-Wendt – koupené vzorky

Figaro na vaření	Figaro hořká	Orion hořká	Noir Madagascar	Deluxe Chocolate	Sladká Vášeň
44,25 ± 0,83	34,40 ± 0,05	38,83 ± 1,22	39,63 ± 1,06	35,18 ± 1,30	34,54 ± 0,55
Kak. – ml. pochoutka	Figaro mléčná	Milk Choco. Ryelands	Carla mléčná	Orion mléčná	Dunkle Vollmilch
43,99 ± 0,79	42,02 ± 1,14	43,79 ± 1,54	34,85 ± 2,25	36,68 ± 0,88	36,35 ± 0,56

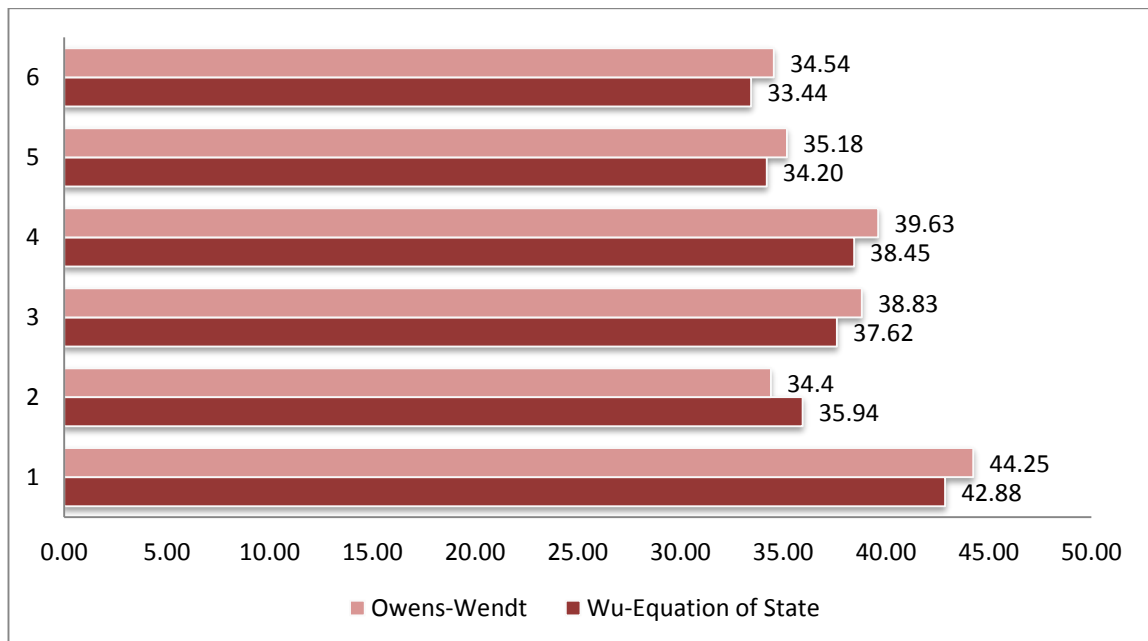
Tabulka 18 Výsledky povrchových energií podle modelu Owens-Wendt – vyrobené vzorky

Hořká základní	Hořká 35 %	Hořká 40 %	Hořká 45 %
34,71 ± 0,97	30,90 ± 1,33	31,92 ± 0,98	33,14 ± 0,35
Mléčná základní	Mléčná 30 %	Mléčná 33 %	Mléčná 36 %
34,24 ± 0,31	33,24 ± 0,47	37,39 ± 0,95	35,40 ± 0,37

Dále byly vyhodnoceny hodnoty povrchových energií pomocí dalších dvou modelů, a to Acid-base a Wu-Harmonic mean. Oba tyto modely však nepodávaly věrohodné a v některých případech ani reálné výsledky a proto lze usoudit, že není vhodné je pro tento typ povrchu použít. Z tohoto důvodu nebudou součástí této kapitoly ani tabulky s jejich hodnotami.

Pro názornější interpretaci výsledků povrchových energií všech vzorků bylo provedeno i grafické vyhodnocení. Jak je z grafů 1 – 4 patrné, jedná se o porovnání výsledků získaných z modelů Wu-Equation of State a Owens-Wendt, a je zřejmé, že výsledky se od sebe výrazně neliší a tudíž jsou srovnatelné. Zároveň je ale třeba zdůraznit, že pouze dva modely jsou k získání spolehlivých výsledků nedostačující.

Graf 1 Výsledky povrchových energií vzorků hořkých – koupěných v mJ/m^2

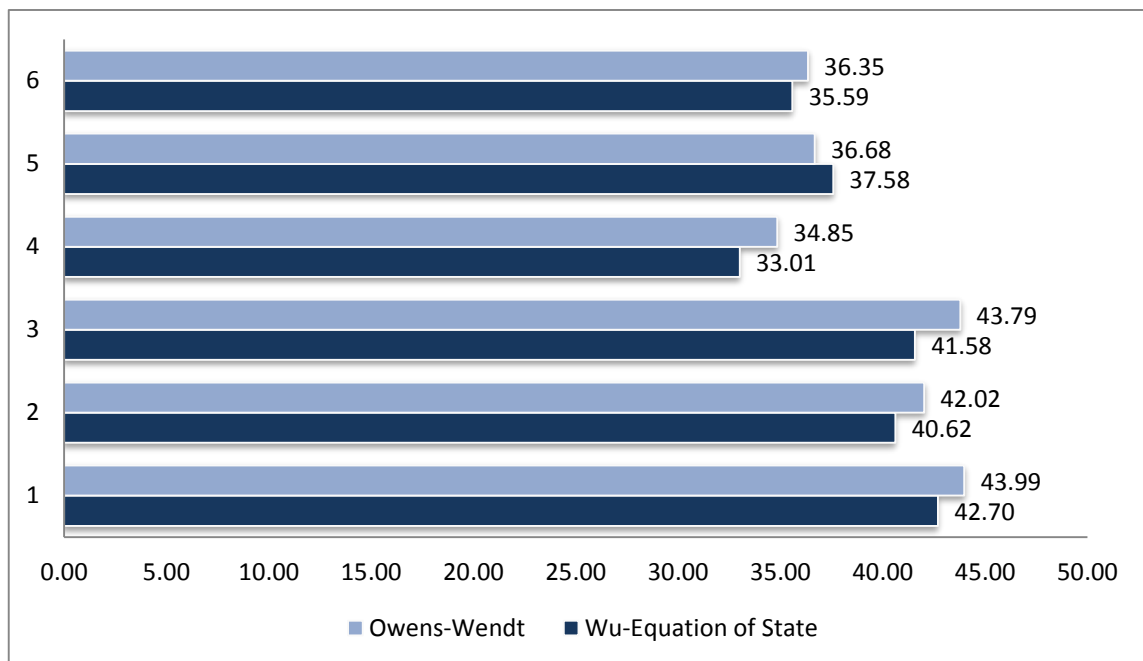


Legenda ke grafu 1: Vzorky hořkých – koupěných čokoládových výrobků jsou označeny čísly 1 – 6 (1 – Figaro na vaření, 2 – Figaro hořká, 3 – Orion hořká, 4 – Noir Madagascar, 5 – Deluxe Chocolate, 6 – Sladká Vášeň)

Nejvyšší povrchovou energii má vzorek 1 (Figaro na vaření), naopak nejnižší hodnoty má vzorek 6 (Sladká Vášeň). Tento výsledek poukazuje na to, že čím nižší obsah tuků v čokoládovém výrobku je, tím má vyšší povrchovou energii. [67] Ovšem tato závislost se nepotvrdila u ostatních vzorků. Vzorek 2 (Figaro hořká) a vzorek 5 (Deluxe Chocolate) mají téměř srovnatelné výsledné povrchové energie. Avšak složení a obsah jednotlivých složek těchto dvou čokolád je odlišný (viz. podkapitola 5.1.)

Ve směru zvyšujícího se čísla vzorku se zvyšuje i obsah tuku ve výrobcích, ale vzhledem k výsledkům povrchových energií není zcela zřejmá závislost mezi obsahem tuku a povrchovou energií hořkých čokolád, zakoupených v tržní síti.

Podle publikace Reinke *et al.*[67] může být výsledná povrchová energie ovlivněna i délkou a podmínkami skladování čokoládových výrobků.

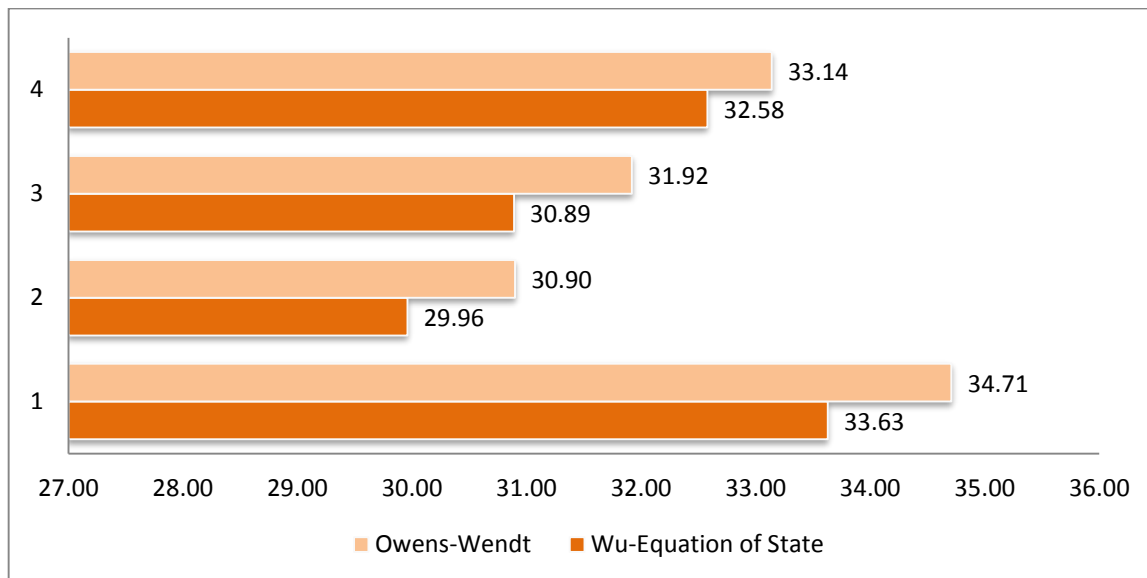
Graf 2 Výsledky povrchových energií vzorků mléčných – kouspených v mJ/m^2 

Legenda ke grafu 2: Vzorky mléčných – kouspených čokoládových výrobků jsou označeny čísly 1 – 6 (1 – Kakaovo-mléčná pochoutka, 2 – Figaro mléčná, 3 – Milk Chocolate Ryelands, 4 – Carla mléčná, 5 – Orion mléčná, 6 – Dunkle Vollmilch)

Mléčné čokoládové výrobky obsahují oproti hořkým navíc i mléčné součásti, resp. mléčný tuk. Jak uvádí Lapčík *et al.*[68], mléčné součásti jsou více hydrofilní, než ty kakaové a tudíž jejich přídavek ve výrobku zvyšuje povrchovou energii. Tento poznatek potvrzují výsledky u mléčných kouspených čokoládových výrobků, protože mají nepatrně vyšší hodnoty, než kouspené čokolády hořké. Mělo by tedy platit, že čím méně kakaového másla a zároveň čím více mléčných součástí ve vzorku, tím vyšší povrchová energie. Tato závislost je naznačena tím, že vzorek 1 (Kakaovo-mléčná pochoutka) má nejvyšší povrchovou energii, protože neobsahuje žádné kakaové máslo a ostatní vzorky ano, tedy alespoň nějaké procento. Obecně platí, že chceme-li snížit cenu mléčného čokoládového výrobku, nahradíme kakaové máslo (všechno nebo část) za jiné rostlinné tuky a zvýšíme přídavek mléčného tuku v podobě sušeného mléka. Opakem toho je výroba kvalitních mléčných čokolád, k jejichž výrobě použijeme výhradně kakaové máslo a mléčnou sušinu zajistíme přídavkem sušeného plnotučného mléka, přičemž kakaový tuk výrazně převažuje nad mléčným a snižuje tím povrchovou energii dané čokolády. Tuto výjimku tvoří v našem případě vzorek 4 (Carla mléčná). Z těchto výsledků je patrné, že povrchová energie se

výrazně mění v závislosti na složení a obsahu jednotlivých složek mléčného čokoládového výrobku.

Graf 3 Výsledky povrchových energií vzorků hořkých – vyrobených v mJ/m^2

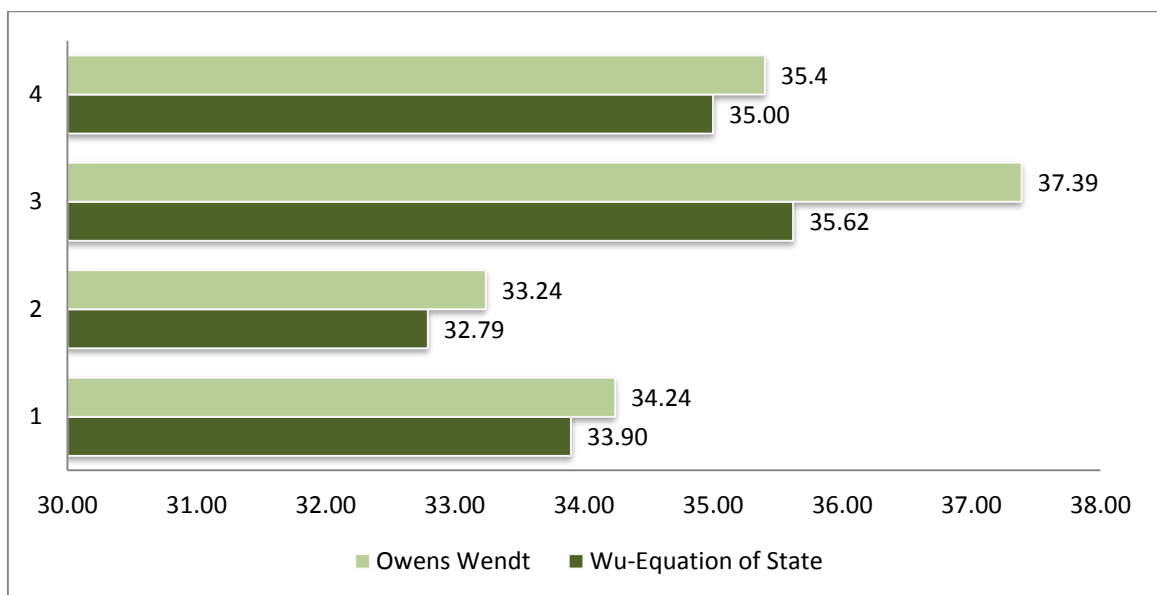


Legenda ke grafu 3: Vzorky hořkých – vyrobených čokolád jsou označeny čísly 1 – 4 (1 – hořká základní, 2 – hořká 35 %, 3 – hořká 40 %, 4 – hořká 45 %)

Pro snazší okomentování tohoto grafu je třeba si uvědomit, že vzorky mají stejnou surovinovou skladbu, avšak liší se obsahem kakaového másla (je to naprosto převažující tuk v těchto čokoládách, obsah mléčného tuku je zanedbatelný). Platí, že směrem se vzrůstajícím číslem vzorku stoupá i obsah kakaového másla a tudíž by se povrchová energie měla snižovat. Paradoxně nejvyšší povrchovou energii má vzorek 1 (Hořká základní čokoláda) s nejnižším obsahem kakaového másla (28 %) ze všech těchto vyrobených hořkých čokolád. Téměř srovnatelnou hodnotu povrchové energie má vzorek 4, který obsahuje o 17 % více kakaového másla než vzorek 1. Dalším faktem ale je, že vzorek 1, tedy základní hořká čokoláda je jedním z klasických výrobků čokoládovny Carla spol. s. r. o. a tudíž její výroba probíhala za přesně stanovených a kontrolovaných podmínek na výrobní lince. Z výrobního tanku s objemem 1000 litrů bylo odebráno pouze množství potřebné k odlití tabulky o hmotnosti 80 g pro účely této diplomové práce. Je tedy téměř určitě zaručeno, že tato čokoláda byla vyrobena správným postupem a hlavně byla správně vedena teplotně. Nedodržení teplotních teplot totiž může zásadně ovlivnit krystalizaci kakaového másla a tím i výslednou povrchovou energii čokoládového výrobku.[67] Tento problém mohl nastat při výrobě ostatních vzorků (2 – 4), které byly vyráběny pouze v malém množství pro měření v této diplomové práci na laboratorním

zařízení, sloužícím v čokoládovně převážně k výrobě vzorků nových výrobků, určených pro jejich zákazníky. Mohlo tedy dojít ke špatnému vytemperování, anebo byla čokoláda nedokonale promíchána a tím pádem nerovnoměrně rozptýleno kakaové máslo. To jsou možné příčiny zkresleného výsledku hodnot povrchových energií vyrobených hořkých čokolád.

Graf 4 Výsledky povrchových energií vzorků mléčných – vyrobených v mJ/m^2



Legenda ke grafu 4: Vzorky mléčných – vyrobených čokolád jsou označeny čísly 1 – 4 (1 – mléčná základní, 2 – mléčná 30 %, 3 – mléčná 33 %, 4 – mléčná 36 %)

Stejně jako v případě předešlých komentovaných vzorků vyrobených hořkých čokolád, mají všechny tyto mléčné čokolády stejné složení. Odlišnost nastává opět v obsahu kakaového másla a také mléčného tuku. Jediná věrohodná hodnota povrchové energie byla patrně naměřena u vzorku 1, což je základní mléčná čokoláda s obsahem kakaového másla 27 %. Tato mléčná čokoláda rovněž patří do klasického sortimentu čokoládovny Carla spol. s r. o. a zajímavou shodou okolností (ne záměrně) je to čokoláda shodná s koupěnou čokoládou, kterou uvádím jako vzorek s názvem Carla mléčná (odlišná je pouze šarže výrobků). Podle výsledků povrchových energií pro tyto dva vzorky, uvedených v tabulkách 10, 12, 17 a 18 jsou hodnoty srovnatelné, z čehož lze usoudit správnost provedení měření. Jinak se u vzorků vyrobených mléčných čokolád bohužel také neprojeví závislost mezi obsahem tuku a povrchovou energií. Tyto rozporuplné výsledky mohou být způsobeny stejnými faktory, které ovlivnily výsledky u hořkých

vyrobených čokolád. Lze pouze zaznamenat nepatrně vyšší hodnoty povrchových energií u čokolád mléčných, než u hořkých.

Povrchová energie u různých vzorků čokoládových výrobků s měnícím se obsahem jednotlivých recepturních složek, zejména tuku, byla stanovována v souvislosti s vývojem nových materiálů pro výrobu forem na tabulkovou čokoládu. Keijbets *et al.* [69] ve své studii zkoumá několik druhů materiálů pro výrobu čokoládových forem (polykarbonát, nerezová ocel, teflon a křemenné sklo). U těchto materiálů byla sledována přilnavost k povrchu hořké čokolády (52 % kakaových součástí) a čistého kakaového másla. Výsledkem této studie je zjištění, že mezi hodnotami povrchové energie čokoládové formy a čokolády by měl být co nejmenší rozdíl. Z toho lze usoudit, že čím méně se bude lišit povrchová energie materiálu, ze kterého je čokoládová forma vyrobena, tím lépe bude možné čokoládovou tabulku z formy vyjmout (vyklepnout). Hodnoty povrchových energií vzorků čokoládových výrobků, použitých pro tuto diplomovou práci, se pohybují v rozmezí 29 – 45 mJ/m², a tudíž by bylo pro jejich formování vhodné použít formu vyrobenou například z polykarbonátu, který má dle uvedené studie hodnotu celkové povrchové energie 34,86 mJ/m².

8.3 Diferenciální termická analýza

Diferenciální termická analýza byla provedena za účelem zjištění bodů tání tuků, obsažených v měřených vzorcích čokoládových výrobků. Pro analýzu byly vybrány pouze čtyři vzorky koupěných čokolád, dvou hořkých a dvou mléčných, které se lišily druhem použitého tuku v jejich surovinové skladbě.

Příprava vzorků k analýze zahrnovala nastrouhání vzorků čokoládových výrobků v potřebném množství (5 – 15 mg) a poté byl vzorek v rovnoměrné vrstvě umístěn do hliníkové pánvičky, umístěn do měřicího přístroje SHIMADZU DTG 60, kde byl vzorek zvážen a poté bylo zahájeno měření. Vzorky použité k analýze s jednotlivými navážkami jsou uvedeny v tabulce 19.

Tabulka 19 Vzorky a navážky pro DTA

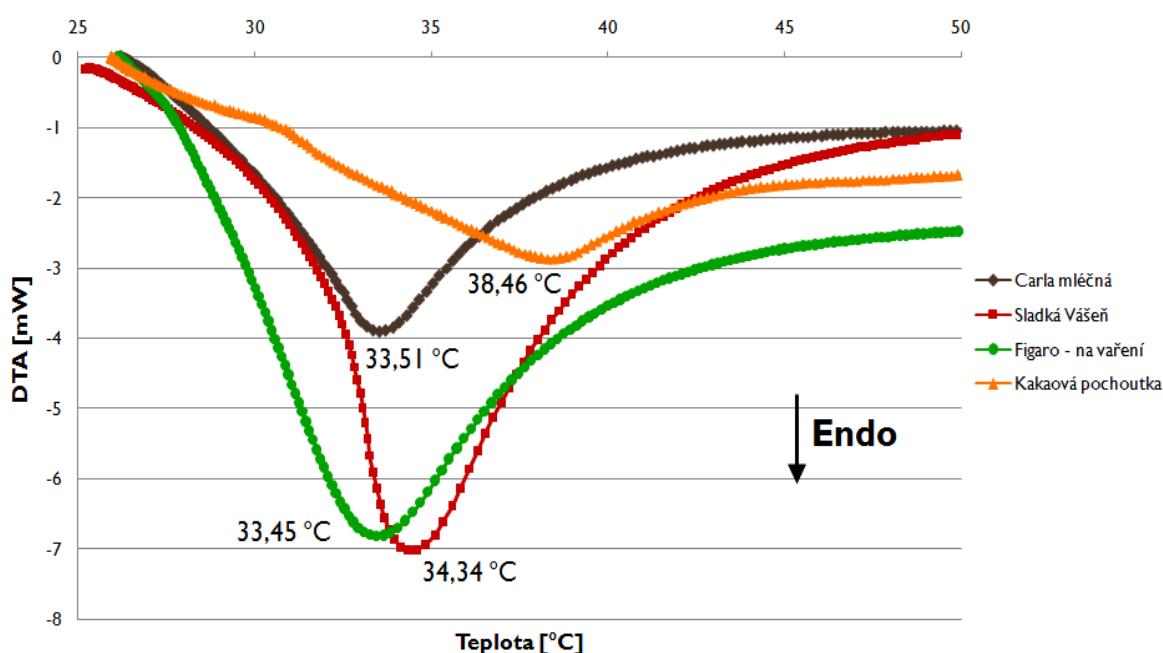
Vzorek	Navážka vzorku [mg]
Figaro na vaření	12,851
Sladká Vášeň	5,881
Kakaovo-mléčná pochoutka	10,205
Carla mléčná	7,488

Podmínky použité pro měření (atmosféra, rozsah teplot a rychlost vzrůstu teploty) jsou shrnuty v podkapitole 6.2.3.

Data získaná měřeními byla vyhodnocena v softwaru TA60 a výstupem z měření jsou hodnoty bodů tání (vrcholy píků) jednotlivých vzorků čokoládových výrobků a také hodnoty entalpií, tedy tepla, které bylo potřebné ke změně skupenství (roztání) tuků přítomných v čokoládě při tomto endotermickém ději.

Z naměřených hodnot byl sestrojen graf tepelného zabarvení fázového přechodu tání tuků, přítomných v čokoládových výrobcích (Graf 5).

Graf 5 Průběh diferenciální termické analýzy



Pozn. kakaová pochoutka = kakaovo mléčná pochoutka

V tabulce 20 jsou shrnuty výsledky zjištěné diferenciální termickou analýzou.

Vzorek	Hodnota bodu tání tuků ve vzorku [°C]	Změna entalpie [J/g]
Figaro na vaření	33,45	26,04
Sladká Vášeň	34,34	52,63
Kakaovo-mléčná pochoutka	38,46	12,57
Carla mléčná	33,51	22,46

Bod tání kakaového másla se pohybuje v rozmezí od 32 do 36 °C. Zatímco mléčný tuk má ve srovnání s kakaovým máslem rozdílné krystalizační formy. Přídavek mléčného tuku do čokoládového výrobku má za následek snížení jeho bodu tání. Palmový olej a bambucký

tuk, využívané jako ekvivalenty kakaového másla (mají podobné fyzikálně-chemické vlastnosti jako kakaové máslo), zvyšují bod tání.[12,35]

Jako srovnávací a směrodatný je výsledek bodu tání u vzorku Sladká Vášeň, u něhož výrobce deklaruje použití kakaového másla jako jediného tuku v surovinové skladbě. Bod tání kakaového másla tedy odpovídá hodnotě 34,34 °C, která leží uprostřed intervalu pro tání kakaového másla.

Nejnižší bod tání byl zaznamenán u vzorku Figaro na vaření, 33,45 °C. Tento výrobek obsahuje palmový olej, bambucký tuk, kakaové máslo i mléčný tuk. Bod tání však i přesto leží v intervalu 32 – 36 °C, tudíž je zřejmé, že použité tuky ve výsledku nijak výrazně bod tání neovlivňují.

Vzorek Carla mléčná měl bod tání při 33,51 °C. Je to mléčná čokoláda, která obsahuje kakaové máslo a mléčný tuk. V důsledku přidavku mléčného tuku je bod tání asi o 1 °C nižší než bod tání čistého kakaového másla, ale stále v intervalu mezi 32 – 36 °C.

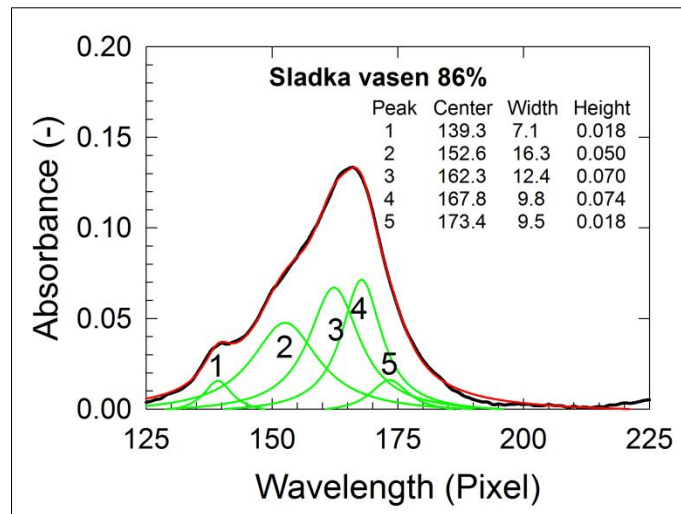
Nejvyšší bod tání, jak bylo možné předpokládat, byl zjištěn při teplotě 38,46 °C. Tento výrobek neobsahuje žádné kakaové máslo, ve složení jsou uvedeny pouze palmový olej a bambucký tuk. Minimální množství mléčného tuku pak pochází ze sušeného odstředěného mléka. Ekvivalenty kakaového másla tedy zvýšily bod tání asi o 4 °C oproti kakaovému máslu.

8.4 Infračervená spektrometrie (NIR)

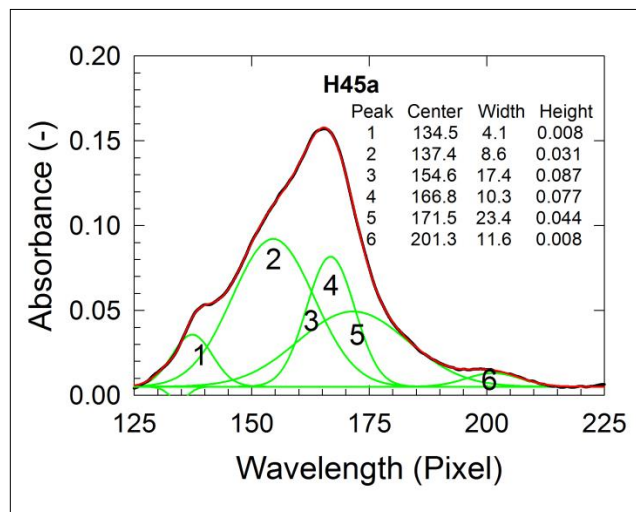
Princip infračervené spektrometrie v blízké oblasti záření byl popsán v podkapitole 6.3.2. Touto metodou lze stanovit obsah nutričně významných látek v široké škále potravin, k našemu účelu postačí zjistit, které tuky se ve vzorcích čokoládových výrobců vyskytují a jestli jsou tuky, uvedené ve složení výrobku v daném vzorku opravdu identifikovány.

Měření byly podrobeny všechny vzorky čokoládových výrobců, jak koupených, tak i vyrobených, navíc také sušené mléko a palmový olej.

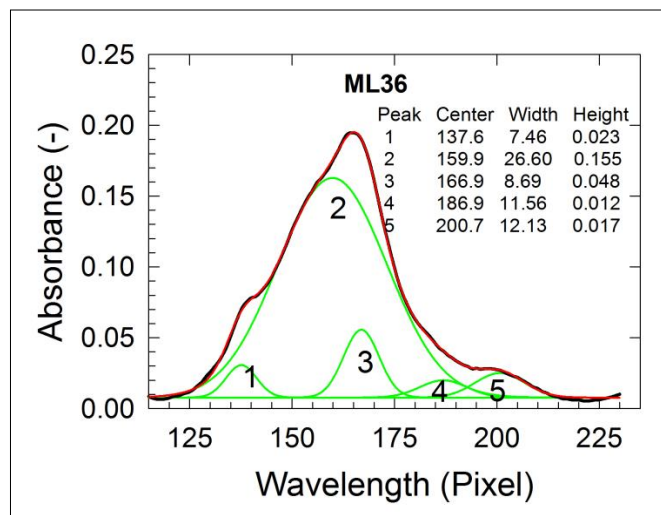
Graf 6 NIR – Sladká Vášeň



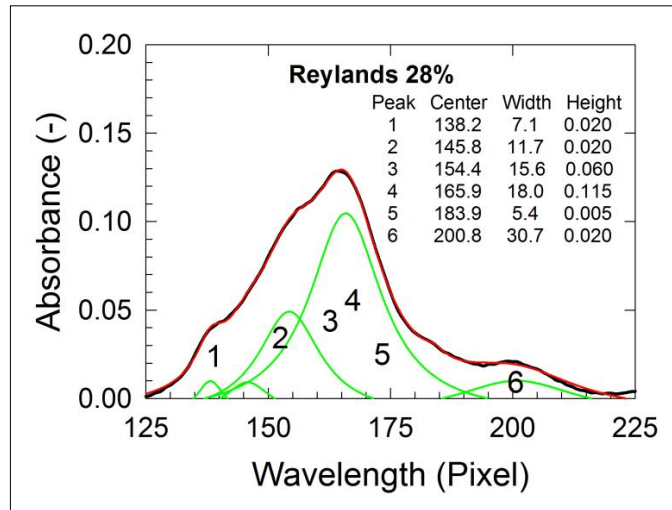
Graf 7 NIR – Hořká 45 %



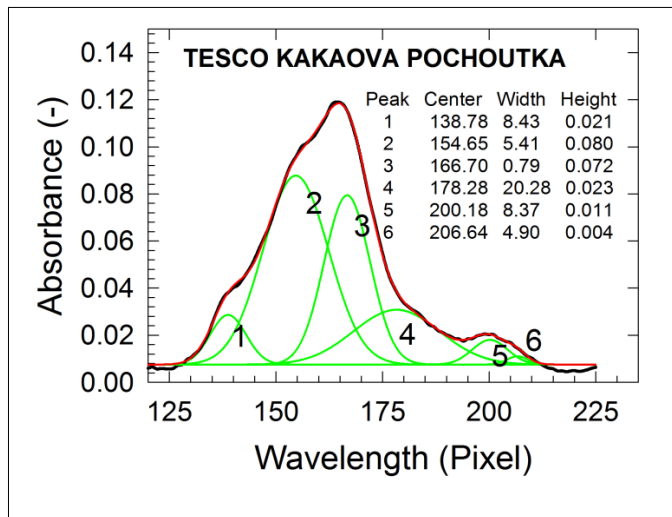
Graf 8 NIR – Mléčná 36 %



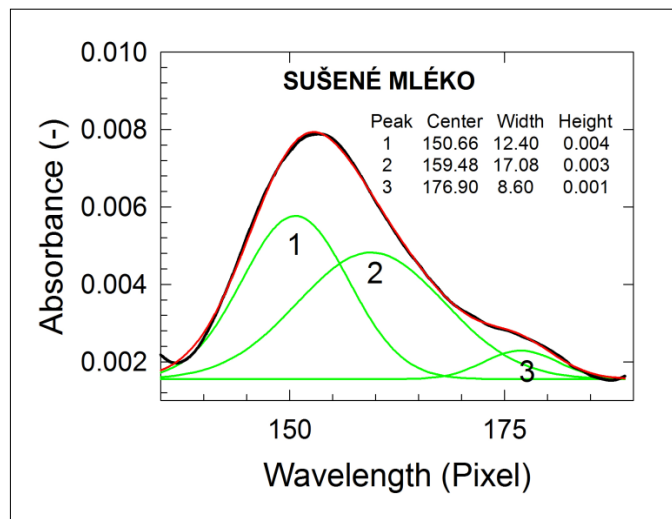
Graf 9NIR – Milk Chocolate Ryelands



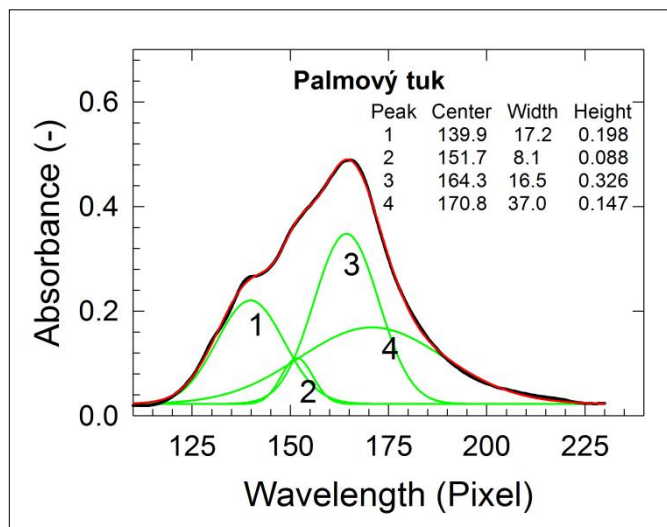
Graf 10NIR – Kakaovo-mléčná pochoutka



Graf 11 NIR – Sušené mléko



Graf 12 NIR – Palmový olej (tuk)



Grafy 6 – 12 znázorňují naměřená spektra pro několik vybraných vzorků čokoládových výrobků a dále pro sušené mléko a palmový olej. Spektra vzorků byla vybrána tak, aby byly zastoupeny všechny skupiny analyzovaných čokoládových výrobků a také v závislosti na obsaženém tuku. Vlnová délka byla pro všechna měření v rozsahu 925 – 1375 nm, v grafech je však uvedena jiných jednotkách (pixelech), přičemž rozmezí 125 – 225 pixelů odpovídá uvedenému rozpětí vlnových délek. Černou čarou je znázorněn obrys píku, který byl pořízen při samotném spektrometrickém měření. Červená čára, která většinou splývá s černou čarou, ukazuje, že pík byl podroben analýze v softwaru OMNIC a rozložen na jednotlivé vrcholy, tzv. nafitován. Zelenými čarami jsou pak naznačeny tvary dílčích vrcholů hlavního – rozloženého píku.

Kakaové máslo je podle deklarovaného složení výrobků (viz. kapitola 5) obsaženo v určitém podílu ve všech uvedených vzorcích čokoládových výrobků, vzorek kakaovo-mléčná pochoutka obsahuje pouze kakaový prášek se sníženým obsahem tuku, ale ten obsahuje také určitý malý podíl kakaového másla. Všechny uvedené vzorky také obsahují určité množství mléčného tuku. Cílem je najít společné vrcholy píků pro podobné vzorky podle toho, zda kakaové máslo či mléčný tuk obsahují nebo ne.

Pro všechny vzorky je srovnatelný vrchol v rozmezí 137 – 140 pixelů (pík č. 1 u vzorku Sladká Vášeň, pík č. 2 u vzorku Hořká 45 %, pík č. 1 u vzorku Mléčná 36 %, pík č. 1 u vzorku Milk Chocolate Ryelands). V tomto rozsahu lze najít píky i u vzorků Kakaovo-mléčná pochoutka a u palmového tuku. V závislosti na složení daných výrobků lze usoudit, že píky v rozsahu 137 – 140 pixelů odpovídají buď kakaovému máslu, nebo palmovému

oleji. Je to proto, že palmový tuk má obdobné složení mastných kyselin v triacylglycerolech a může poskytovat podobné hodnoty.

Další shoda nastává u vrcholů, které jsou v rozmezí 150 – 160 pixelů. V tomto rozmezí se nacházejí i dva ze tří vrcholů pro sušené mléko (konkrétně hodnoty 150,66 a 159,48 pixelů). Proto hodnoty, které jsou v tomto rozmezí, odpovídají u všech uvedených vzorků čokoládových výrobků mléčnému tuku (pík č. 2 u vzorku Sladká Vášeň, pík č. 3 u vzorku Hořká 45 %, pík č. 2 u vzorku Mléčná 36 %, pík č. 3 u vzorku Milk Chocolate Ryelands a pík č. 2 u vzorku Kakaovo-mléčná pochoutka). Ve všech uvedených vzorcích je mléčný tuk v určitém podílu obsažen.

Ostatní píky, které nemají vrcholy ve shodných rozsazích, mohou odpovídat jiným recepturním složkám čokoládových mléčných výrobků.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo naměřit statické kontaktní úhly metodou sedící kapky u všech vzorků čokoládových výrobků a z nich následně vyhodnotit hodnoty povrchových energií a jejich komponent pomocí čtyř výpočtových modelů – Wu-Equation of State, Owens-Wendt, Acid-Base a Wu-Harmonic mean.

Pro vyhodnocení povrchových energií však byly použity pouze dva modely, a to Wu-Equation of State a Owens-Wendt, které poskytovaly srovnatelné výsledky povrchových energií. Modely Acid-Base a Wu-Harmonic mean naopak udávaly velmi odlišné a nereálné hodnoty. Je ale podstatné konstatovat, že pro získání věrohodných výsledků je použití pouze dvou výpočtových modelů nedostačující. Z výsledků byl dále diskutován vliv použitého tuku ve vzorcích na povrchovou energii. V porovnání se studii by mělo platit, že čím vyšší je obsah kakaového másla v hořké čokoládě, tím je povrchová energie nižší. Bohužel tato teorie se podle výsledků povrchových energií u hořkých čokolád koupěných ani vyrobených nepotvrdila. U mléčných čokolád by na základě dostupných studií měla být hodnota povrchové energie zvyšována přidavkem mléčných součástí. Tato skutečnost je zřetelná při porovnání hořkých a mléčných čokoládových výrobků, protože u mléčných čokolád byla opravdu stanovena vyšší povrchová energie, než u hořkých. Rovněž u mléčných čokoládových výrobků platí, že čím vyšší je obsah mléčných součástí a zároveň čím nižší obsah kakaového másla, tím je vyšší povrchová energie. Toto tvrzení bylo měřením u mléčných čokoládových výrobků potvrzeno, až na jednu výjimku. Výsledky u čokolád vyrobených nevyšly podle očekávání a mohly být ovlivněny právě faktory při jejich výrobě (špatně vedená teplota nebo nedokonalé rozmíchání složek v čokoládě).

Téma diplomové práce má také souvislost s vývojem nových materiálů pro výrobu forem na čokoládové tabulky. Dle dostupné studie bylo zjištěno, že pro snadné vyjmutí čokoládové tabulky z formy je vhodné, aby se povrchové energie čokolády a materiálu, z něhož je forma vyrobena, od sebe co nejméně lišily.

Dalšími analýzami, kterým byly vzorky čokoládových výrobků podrobeny, byly diferenciální termická analýza (DTA) a infračervená spektrometrie v blízké oblasti záření (NIR). Pomocí DTA analýzy byly u vybraných vzorků identifikovány body tání tuků, přítomných v čokoládových výrobcích. Infračervená spektrometrie byla provedena za účelem identifikace tuků, přítomných ve výrobcích. Obě tyto metody poskytly doplňující výsledky, které souvisejí s výslednými hodnotami povrchových energií.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Čokoláda.info: Kvalitní švýcarská čokoláda* [online]. [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://cokolada.info/>
- [2] KRÁMSKÝ, Stanislav a Josef FEITL, BRONCOVÁ, Dagmar (ed.). *Kniha o čokoládě: historie výroby čokolády a cukrovinek v českých zemích*. Vyd. 1. Praha: Milpo media, 2008. Z historie průmyslu. ISBN 978-80-87040-13-3.text
- [3] ČOPÍKOVÁ, Jana. *Technologie čokolády a cukrovinek*. Vyd. 1. Praha: VŠCHT, 1999. ISBN 80-7080-365-7.
- [4] *Čokoláda.cz* [online]. [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.cokolada.cz/>
- [5] *POEX* [online]. [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.poex.cz/o-cokolade/>
- [6] PINTEROVÁ, Jana. *Jaké existují druhy čokolády?* [online]. In: . [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.studentpoint.cz/313-nase-tipy/10513-jake-existuji-druhy-cokolady/#.Vwukf5yLTIU>
- [7] *The chocolate wrappers museum* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.chocolatewrappers.info/chocolate.htm>
- [8] *Le Chocolat* [online]. [cit. 2016-04-11].
Dostupné z: <http://www.lechocolat.cz/cokolada/dia-cokolady/>
- [9] *FAIRTRADE* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.fairtrade.cz/>
- [10] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/36/ES o kakaových a čokoládových výrobcích určených k lidské spotřebě
- [11] SZPI. *Vánoční figurky a cukrovinky – čokoláda nebo kakaová pochoutka?* In: *Informační centrum bezpečnosti potravin* [online]. 2014 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.bezpecnostpotravin.cz/vanocni-figurky-a-cukrovinky-cokolada-nebo-kakaova-pochoutka.aspx>
- [12] BECKETT, S. *The science of chocolate*. 2nd ed. Cambridge, UK: RSC Publishing, c2008. ISBN 0854049703.
- [13] BLÁHA, Ludvík, Ivana KOPOVÁ a František ŠREK. *Suroviny pro učební obor Cukrář, Cukrářka*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Informatorium, 2007. ISBN 978-80-7333-053-8.
- [14] SCHUMACHER, Karl. *Čokoláda: velká encyklopedie: dějiny čokolády, jemné pečivo, cukrovinky, dezerty a nápoje*. Bratislava: Trio, 2002. ISBN 80-968705-0-5.
- [15] COE, Sophie D a Michael D COE. *Čokoláda: historie sladkého tajemství*. Praha: PRAGMA, c2000. ISBN 80-7205-478-3.

- [16] ARCIMOVIČOVÁ, Jana a Pavel VALÍČEK. *Čokoláda pokrm bohů*. Benešov: Start, 1999. ISBN 80-86231-07-0.
- [17] *Muzeum čokolády a marcipánu v Táboře* [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.cokomuzeum.cz/historie-kakaa>
- [18] NOWAK, Bernd a Bettina SCHULZ. *Tropické plody: biologie, využití, pěstování a sklizeň*. Vyd. 1. V Praze: Knižní klub, 2002. Průvodce přírodou (Knižní klub). ISBN 80-242-0785-0.
- [19] *My Caribbean Food* [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://mycaribbeanfood.com/>
- [20] PEHLE, Tobias. *Čokoláda: [antidepressivum, afrodiziakum, antioxidant]*. 1. vyd. Čestlice: Rebo, 2009. ISBN 978-80-255-0049-1.
- [21] ČOPÍKOVÁ, Jana a Andriy SYNYTSYA. *Výroba čokolády a nečokoládových cukrovinek* [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: http://sch.vscht.cz/materialy/eso/ptb_cokolada.pdf
- [22] AFOAKWA, Emmanuel Ohene. *Chocolate science and technology*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2010. ISBN 1405199067.
- [23] *Bon à savoir!: De la fève de cacao au chocolat de Pâques* [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://yvesthuries.com/paques/sujet/bon-a-savoir/>
- [24] JAN HRABĚ, Otakar Rop. *Technologie výroby potravin rostlinného původu: bakalářský stupeň*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006. ISBN 9788073183721.
- [25] BOCKISCH, Michael. *Fats and oils handbook*. Champaign: AOCS Press, 1998. ISBN 0935315829.
- [26] LIPP, M a E ANKLAM. Review of cocoa butter and alternative fats for use in chocolate—Part B. Analytical approaches for identification and determination. *Food Chemistry* [online]. 1998, 99-108 [cit. 2016-04-13]. DOI: 10.1016/S0308-8146(97)00161-1. ISSN 03088146. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814697001611>
- [27] EL-KALYOUBI, M., M.F. KHALLAF, A. ABDELRAHMAN a Eman M. MOSTAFA. Quality characteristics of chocolate – Containing some fat replacer. *Annals of Agricultural Sciences* [online]. 2011, 89-96 [cit. 2016-04-13]. DOI: 10.1016/j.aas.2011.05.009. ISSN 05701783. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0570178311000212>

- [28] FRANK, Jill. Cocoa Butter Alternatives in Chocolate. In: *The Prospector Knowledge Center* [online]. USA, 2014 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://knowledge.ulprospector.com/1085/fbn-cocoa-butter-alternatives-chocolate/>
- [29] KADLEC, Pavel, Karel MELZOCH a Michal VOLDŘICH. Co byste měli vědět o výrobě potravin?: technologie potravin. Vyd. 1. Ostrava: Key Publishing, 2009. Monografie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-051-4.
- [30] SCHANTZ, Birgit a Harald ROHM. Influence of lecithin-PGPR blends on the rheological properties of chocolate. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2005, 41-45 [cit. 2016-04-13]. DOI: 10.1016/j.lwt.2004.03.014. ISSN 00236438. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002364380400115X>
- [31] *Carla spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.carlachocolate.com/chocolate>
- [32] HRABĚ, Jan, František BUŇKA a Ignác HOZA. *Technologie výroby potravin rostlinného původu: pro kombinované studium*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. ISBN 978-80-7318-520-6.
- [33] BRETSCHNEIDER, Rudolf a Jana ČOPÍKOVÁ. *Technologie cukrovarnictví - technologie cukrovinek*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984.
- [34] ACIERNO, Valentina, Sine YENER, Martin ALEWIJN, Franco BIASIOLI a Saskia VAN RUTH. Factors contributing to the variation in the volatile composition of chocolate: Botanical and geographical origins of the cocoa beans, and brand-related formulation and processing. *Food Research International* [online]. 2016, 86-95 [cit. 2016-04-13]. DOI: 10.1016/j.foodres.2016.03.022. ISSN 09639969. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996916300989>
- [35] VELÍŠEK, Jan. *Chemie potravin*. Vyd. 2. upr. Tábor: OSSIS, 2002. ISBN 80-86659-00-3.
- [36] *Polymorfismus kakaového másla* [online]. s. 562-571 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: http://www.chempap.org/file_access.php?file=59-10a562.pdf
- [37] SVANBERG, Lina, Lilia AHRNÉ, Niklas LORÉN a Erich WINDHAB. Effect of Pre-Crystallization Process and Solid Particle Addition on Cocoa Butter

- Crystallization and Resulting Microstructure in Chocolate Model Systems. *Procedia Food Science* [online]. 2011, 1910-1917 [cit. 2016-04-13]. DOI: 10.1016/j.profoo.2011.09.281. ISSN 2211601x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211601X11002823>
- [38] BAKALIS, Serafim, Benjamin J.D. LE RÉVÉREND, Nurul Z. Rois ANWAR a Peter J. FRYER. Modelling crystal polymorphisms in chocolate processing. *Procedia Food Science* [online]. 2011, 340-346 [cit. 2016-04-13]. DOI: 10.1016/j.profoo.2011.09.053. ISSN 2211601x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211601X1100054X>
- [39] KADLEC, Pavel. *Technologie potravin I*. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 2002. ISBN 80-7080-509-9.
- [40] DEBASTE, F., Y. KEGELAERS, S. LIÉGEOIS, H. Ben AMOR a V. HALLOIN. Contribution to the modelling of chocolate tempering process. *Journal of Food Engineering* [online]. 2008, 568-575 [cit. 2016-04-14]. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.03.019. ISSN 02608774. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877408001477>
- [41] BARTOVSKÁ, Lidmila a Marie ŠIŠKOVÁ. *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*. Vyd. 5., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005, 244 s. ISBN 80-7080-579-x.
- [42] MALIJEVSKÝ, Anatol. *Breviář z fyzikální chemie* [online]. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2000, 280 s. [cit. 2016-03-22]. ISBN 80-708-0403-3. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/fch/cz/pomucky/BREVALL.pdf>
- [43] NOVÁK, Josef. *Fyzikální chemie: bakalářský a magisterský kurz*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2008, 2 sv. (260 s., s. 264-506). ISBN 978-80-7080-675-3.
- [44][online]. Vydavatelství VŠCHT [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/mezifazove_napeti.html
- [45] *Kruss: Advancing your Surface Science* [online]. Hamburg, Germany [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://www.kruss.de/services/education-theory/glossary/surface-free-energy/>
- [46] MICHEL, J. -C., L. -M. RIVIERE a M. -N. BELLON-FONTAINE. Measurement of the wettability of organic materials in relation to water content by the capillary

- rise method. *European Journal of Soil Science* [online]. 2001, 459-467 [cit. 2016-03-22]. DOI: 10.1046/j.1365-2389.2001.00392.x. ISSN 1351-0754. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2389.2001.00392.x>
- [47] [online]. Vydavatelství VŠCHT [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/metody.stalagmometrie.html
- [48] In: *Determination of surface tension of liquids by stalagmometric methode* [online]. 90-924 Łódź, ul. Stefanowskiego 1/15,; Politechnika Łódzka, Instytut Inżynierii Materiałowej, 2016-03-23 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://www.biofizyka.p.lodz.pl/prezentacje/IFE10.pdf>
- [49] BHUTANI, Gaurav, K. MURALIDHAR a Sameer KHANDEKAR. *Determination of apparent contact angle and shape of a static pendant drop on a physically textured inclined surface*. *Interfacial Phenomena and Heat Transfer* [online]. 2013, 29-49 [cit. 2016-03-23]. DOI: 10.1615/InterfacPhenomHeatTransfer.2013007038. ISSN 2169-2785. Dostupné z: <http://www.dl.begellhouse.com/journals/728e68e739b67efe,5aacb9811be5be8d,488ffe5848ec5470.html>
- [50] DELLA VOLPE, Caludio, Marco BRUGNARA, Devid MANIGLIO, Stefano SIBONI a Tenzin WANGDU. About the possibility of experimentally measuring an equilibrium contact angle and its theoretical and practical consequences. MITTAL, K. *Contact angle, wettability and adhesion*. Boston: VSP, 2006, s. 79-99. ISBN 9067644366.
- [51] *Kruss: Advancing your Surface Science* [online]. Hamburg, Germany [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://www.kruss.de/services/education-theory/glossary/dunouey-ring-method/>
- [52] CHIBOWSKI, Emil a Konrad TERPILOWSKI. Surface free energy of sulfur—Revisited. *Journal of Colloid and Interface Science* [online]. 2008, 505-513 [cit. 2016-03-23]. DOI: 10.1016/j.jcis.2007.10.059. ISSN 00219797. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021979707016633>
- [53] BONN, Daniel, Jens EGGERS, Joseph INDEKEU, Jacques MEUNIER a Etienne ROLLEY. Wetting and spreading. *Reviews of modern physics* [online]. 2009 [cit. 2016-03-23]. DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/RevModPhys.81.739>. ISSN 1539-0756. Dostupné z: <http://www.maths.bris.ac.uk/~majge/rmp.pdf>

- [54] LABÍK, Stanislav, Michal BUREŠ, Pavel CHUCHVALEC a Jiří KOLAFA. *Příklady z fyzikální chemie online* [online]. Vydavatelství VŠCHT, 2016-03-24 [cit. 2016-03-24]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/fch/prikladnik/prikladnik/p.12.1.html>
- [55] BURŠÍKOVÁ, Vilma. *Surface energy evaluation of plasma treated materials by contact angle measurement*. 1st ed. Brno: Masaryk University, 2004. ISBN 80-210-3563-3.
- [56] SVOBODA, Jakub. *Studie vlivu povrchové energie různých druhů kapalin a povrchů - experiment*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Simona Fialová, Ph.D.
- [57] HIEMENZ, Paul C. *Principles of colloid and surface chemistry*. 2nd ed., rev. and expanded. New York: M. Dekker, c1986. ISBN 0824774760.
- [58] FOWKES, F.M. *Ind. Eng. Chem.* 56. 1964. 40.
- [59] OWENS, D.K., WENDT, R.D. *Journal Application Polymer Science*. 13. 1969. s.1741
- [60] PETRIE, Edward M. *Handbook of adhesives and sealants*. New York: McGraw-Hill, c2000. ISBN 0070498881.
- [61] VAN OSS, Carel J., Manoj K. CHAUDHURY a Robert J. GOOD. Interfacial Lifshitz-van der Waals and polar interactions in macroscopic systems. *Chemical Reviews*. 1988/9, 88(6), 927-941.
- [62] ŠVORČÍK, V. a K. KOLÁŘOVÁ. *Goniometrické stanovení kontaktního úhlu a povrchové energie* [online]. In: . [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/kot/resources/studijni-materialy/labsvl-001/n111043-1.pdf>
- [63] *DTG-60/60 Simultaneous Thermogravimetry/Differential Thermal Analyzers* [online]. [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.ssi.shimadzu.com/products/product.cfm?product=dtg60>
- [64] BLAŽEK, A., *Termická analýza*. 2. opr. vyd. Praha, SNTL– Státní nakladatelství technické literatury, 1974, 294 s.
- [65] *ParticuLAB: NIR- laboratory measurment* [online]. [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.harrerkassen.com/en/produkte/particulab.html>

- [66] GRÁFOVÁ, Michaela. *Spektrometrie v blízké infračervené oblasti* [online]. In: . [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/anl/lach2/NIR.pdf>
- [67] REINKE, Svenja K, Katharina HAUF, Josélio VIEIRA, Stefan HEINRICH a Stefan PALZER. Changes in contact angle providing evidence for surface alteration in multi-component solid foods. *Journal of Physics D: Applied Physics* [online]. 2015, 464001- [cit. 2016-04-16]. DOI: 10.1088/0022-3727/48/46/464001. ISSN 0022-3727. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/0022-3727/48/i=46/a=464001?key=crossref.9a7d7d79b5f8d56d04c8fff1b22afb03>
- [68] LAPČÍK, Lubomír, Barbora LAPČÍKOVÁ, Eva OTYEPKOVÁ, Michal OTYEPKA, Jakub VLČEK, František BUŇKA a Richardos Nikolaos SALEK. Surface energy analysis (SEA) and rheology of powder milk dairy products. *Food Chemistry* [online]. 2015, **174**, 25-30 [cit. 2016-04-16]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.11.017. ISSN 03088146. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814614017464>
- [69] KEIJBETS, Esther L., Jianshe CHEN, Eric DICKINSON a Josélio VIEIRA. Surface energy investigation of chocolate adhesion to solid mould materials. *Journal of Food Engineering* [online]. 2009, 92(2), 217-225 [cit. 2016-04-17]. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.11.008. ISSN 02608774. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S026087740800544X>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

tzv.	takzvaný	γ_{SL}	mezifázová energie pevná látka - kapalina
např.	například		
m	metr	γ_{LG}	povrchová energie kapaliny
mm	milimetr	γ_{SG}	povrchová energie pevné látky
cm	centimetr	γ	označení mezifázové energie
g	gram	σ	jiné označení mezifázové energie
Mpa	megapascal	θ_s	kontaktní úhel smáčení
%	procento	$S\gamma^-$	záporná směrodatná odchylka
min	minuta	$S\gamma^+$	kladná směrodatná odchylka
μm	mikrometr	N/m	newton na metr
$^{\circ}\text{C}$	stupeň Celsia	mN/m	milinewton na metr
CBE	Cocoa butter equivalents	J/m^2	joule na metr čtvereční
CBS	Cocoa butter substitutes	mJ/m^2	milijoule na metr čtvereční
CBR	Cocoa butter replaces	R	vnější poloměr
l	označení pro kapalinu	W_a	energie adheze
g	označení pro plynnou látku	F	označení síly
s	označení pro pevnou látku	mg	miligram
PGPR	polyglycerolpolyricinoleát	CCD	Charge Coule Device
resp.	respektive	nm	nanometr
atd.	a tak dále	NIR	near-infrared
tj.	to je	hm %	hmotnostní procento
POP	1,3-dipalmitoolein	DMT	datum minimální trvanlivosti
POS	palmitooleostearin	ΔH	změna entalpie
SOS	1,3-distearoolein	J/g	joule na gram

N ₂	dusík
Pt	platina
v	voda
g	glycerol
e	ethylenglykol
d	diiodomethan
γ^{total}	celková povrchová energie
γ^{LW}	disperzní složka povrchové energie
γ^{AB}	polární složka povrchové energie
γ^-	elektron-akceptorový parametr acido-bazické komponenty volné povrchové energie
γ^+	elektron-donorový parametr acido-bazické komponenty volné povrchové energie

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Kakaovník [17].....	17
Obrázek 2 Plod kakaovníku se semeny [19].....	18
Obrázek 3 Země producentů kakaových bobů [21].....	18
Obrázek 4 Odrůdy kakaovníku [23]	20
Obrázek 5 Krystalické formy kakaového másla[12]	27
Obrázek 6 Uspořádání TAG v kakaovém másle[3].....	28
Obrázek 7 Schéma výroby čokolády [24].....	30
Obrázek 8 Schéma průběhu temperace [3]	37
Obrázek 9 Schéma kohezní a adhezní energie [55].....	42
Obrázek 10 Nejčastěji používané metody pro měření povrchového a mezifázového napětí [43].....	43
Obrázek 11 Síly působící na kapku	44
Obrázek 12 Smáčení povrchu:	45
Obrázek 13 Surface Energy Evaluation.....	58
Obrázek 14 SHIMADZU DTG-60[63].....	59
Obrázek 15 Přístroj ParticuLAB [65]	60

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Složení kakaového másla[3]	26
Tabulka 2 Parametry vyrobených hořkých čokolád	56
Tabulka 3 Parametry vyrobených mléčných čokolád	56
Tabulka 4 Konstanty testovacích kapalin [62]	58
Tabulka 5 Hodnoty průměrných kontaktních úhlů smáčení pro vzorky hořké - koupené	62
Tabulka 6 Hodnoty průměrných kontaktních úhlů smáčení pro vzorky mléčné - koupené	63
Tabulka 7 Hodnoty průměrných kontaktních úhlů smáčení pro vzorky hořké - vyrobené	63
Tabulka 8 Hodnoty průměrných kontaktních úhlů smáčení pro vzorky mléčné - vyrobené	63
Tabulka 9 Výsledky modelu Wu-Equation of State pro vzorky hořké - koupené	65
Tabulka 10 Výsledky modelu Wu-Equation of State pro vzorky mléčné - koupené	66
Tabulka 11 Výsledky modelu Wu-Equation of State pro vzorky hořké - vyrobené	66
Tabulka 12 Výsledky modelu Wu-Equation of State pro vzorky mléčné - vyrobené	67
Tabulka 13 Výsledky modelu Owens-Wendt pro vzorky hořké - koupené	67
Tabulka 14 Výsledky modelu Owens-Wendt pro vzorky mléčné - koupené	68
Tabulka 15 Výsledky modelu Owens-Wendt pro vzorky hořké - vyrobené	70
Tabulka 16 Výsledky modelu Owens-Wendt pro vzorky mléčné - vyrobené	71
Tabulka 17 Výsledky povrchových energií podle modelu Owens-Wendt – koupené vzorky	72
Tabulka 18 Výsledky povrchových energií podle	72
Tabulka 19 Vzorky a navážky pro DTA	77

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Výsledky povrchových energií vzorků hořkých – koupených v mJ/m^2	73
Graf 2 Výsledky povrchových energií vzorků mléčných – koupených v mJ/m^2	74
Graf 3 Výsledky povrchových energií vzorků hořkých – vyrobených v mJ/m^2	75
Graf 4 Výsledky povrchových energií vzorků mléčných – vyrobených v mJ/m^2	76
Graf 5 Průběh diferenciální termické analýzy	78
Graf 6 NIR – Sladká Vášeň	80
Graf 7 NIR – Hořká 45 %	80
Graf 8 NIR – Mléčná 36 %	80
Graf 9 NIR – Milk Chocolate Ryelands	81
Graf 10 NIR – Kakaovo-mléčná pochoutka	81
Graf 11 NIR – Sušené mléko	81
Graf 12 NIR – Palmový olej (tuk)	82

SEZNAM PŘÍLOH

P I Fotografie originálního balení vzorku Figaro na vaření.....	99
P II Fotografie originálního balení vzorku Figaro hořká.....	99
P III Fotografie originálního balení vzorku Orion hořká.....	100
P IV Fotografie originálního balení vzorku Noir Madagascar	100
P V Fotografie originálního balení vzorku Deluxe Chocolate	101
P VI Fotografie originálního balení vzorku Sladká Vášeň.....	101
P VII Fotografie originálního balení vzorku Kakaovo-mléčná pochoutka.....	102
P VIII Fotografie originálního balení vzorku Figaro mléčná	102
P IX Fotografie originálního balení vzorku Milk Chocolate Ryelands	103
P X Fotografie originálního balení vzorku Carla mléčná.....	103
P XI Fotografie originálního balení vzorku Orion mléčná	104
P XII Fotografie originálního balení vzorku Dunkle Vollmilch.....	104
P XIII Surovinová skladba vyrobených čokolád	105
P XIV Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Figaro na vaření	106
P XV Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Figaro hořká	106
P XVI Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Oroin hořká	106
P XVII Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Noir Madagascar.....	107
P XVIII Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Deluxe Chocolate	107
P XIX Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Sladká Vášeň.....	107
P XX Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Kakaovo-mléčná pochoutka	108
P XXI Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Figaro mléčná.....	108
P XXII Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Milk Chocolate Ryelands	108
P XXIII Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Carla mléčná.....	109
P XXIV Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Orion mléčná.....	109
P XXV Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Dunkle Vollmilch	109
P XXVI Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Hořká základní	110
P XXVII Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Hořká 35 %.....	110
P XXVIII Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Hořká 40 %.....	110
P XXIX Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Hořká 45 %	111
P XXX Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Mléčná základní.....	111

P XXXI	Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Mléčná 30 %	111
P XXXII	Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Mléčná 33 %.....	112
P XXXIII	Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Mléčná 36 %.....	112

P I Fotografie originálního balení vzorku Figaro na vaření



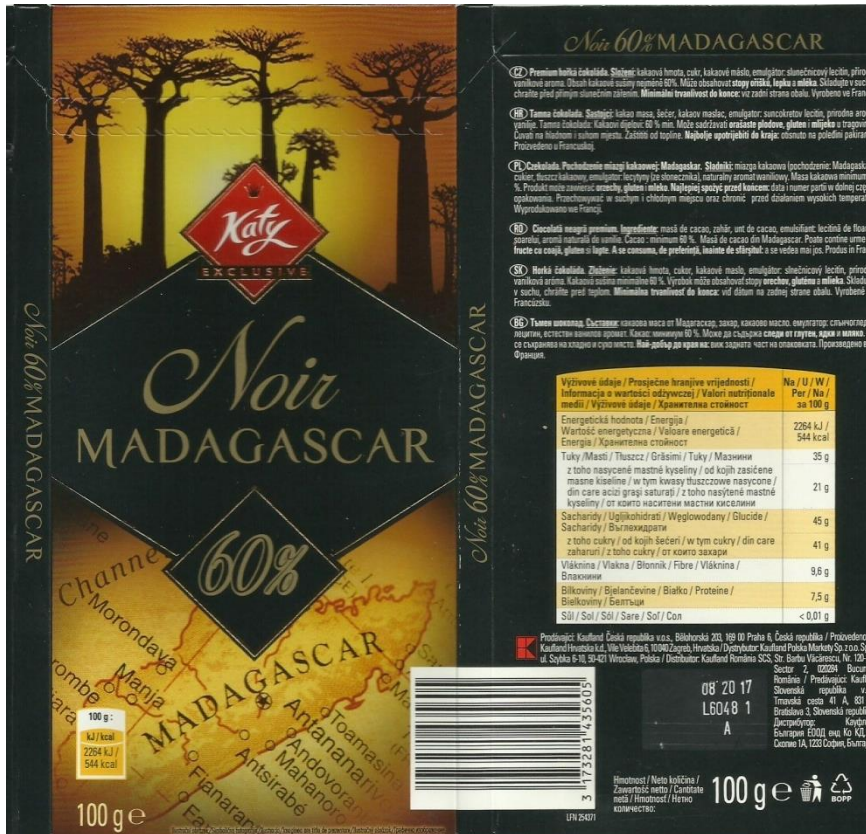
P II Fotografie originálního balení vzorku Figaro hořká



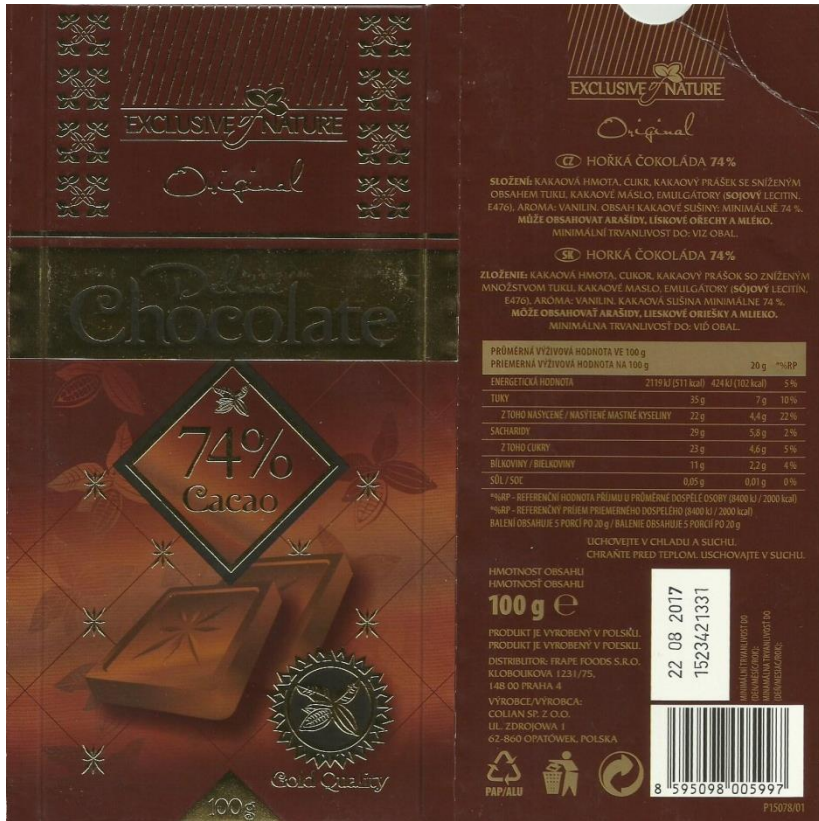
P III Fotografie originálního balení vzorku Orion hořká



P IV Fotografie originálního balení vzorku Noir Madagascar



P V Fotografie originálního balení vzorku Deluxe Chocolate



P VI Fotografie originálního balení vzorku Sladká Vášeň



P VII Fotografie originálního balení vzorku Kakaovo-mléčná pochoutka



P VIII Fotografie originálního balení vzorku Figaro mléčná



VÝŽIVOVÉ ÚDAJE		100 g		18 g (1 kus)		100 g		18 g (1 kus)	
	z toho nasycené		% ¹ /		% ² /		% ¹ /		% ² /
Energie		2185 kJ		525,4	4%	525,4		10,5 g	4%
Energie z tuku		94 kJ		59,0 g	12%	59,0 g		10,5 g	12%
Tuky		28,0 g	5%	7%		2,4 g		0,4 g	
z toho nasycené		17,0 g	7%	1,0 g		5,8 g		1,0 g	2%
mléčné výrobky		3,0 g	15%	0,7 g		0,7 g		0,7 g	1%

P IX Fotografie originálního balení vzorku Milk Chocolate Ryelands



P X Fotografie originálního balení vzorku Carla mléčná



P XI Fotografie originálního balení vzorku Orion mléčná



P XII Fotografie originálního balení vzorku Dunkle Vollmilch



P XIII Surovinová skladba vyrobených čokolád

Mléčná čokoláda 27 % kak.m.			Mléčná čokoláda 30 % kak.m.			Mléčná čokoláda 33 % kak.m.			Mléčná čokoláda 36 % kak.m.							
SUROVINA	% v koncentráci	tuky	%	SUROVINA	% v koncentráci	tuky	%	SUROVINA	% v koncentráci	tuky	%	SUROVINA	% v koncentráci	tuky	%	
Cukr	44,24%	0,00	0,00	Cukr	42,47%	0,00	0,00	Cukr	40,70%	0,00	0,00	Cukr	38,93%	0,00	0,00	
Kakaové máslo	21,50%	100,00	24,64%	Kakaové máslo	24,64%	100,00	24,64%	Kakaové máslo	27,78%	100,00	27,78%	Kakaové máslo	30,92%	100,00	30,92%	
KAKAOVÁ HMOTA	11,00%	53,00	10,96%	KAKAOVÁ HMOTA	10,96%	53,00	5,83	KAKAOVÁ HMOTA	10,12%	53,00	5,36	KAKAOVÁ HMOTA	9,68%	53,00	5,13	
Sušené mléko pln.	15,00%	26,00	14,47%	Sušené mléko pln.	14,47%	26,00	3,74	Sušené mléko pln.	13,80%	26,00	3,59	Sušené mléko pln.	13,20%	26,00	3,43	
SUŠENÉ MLÉKO ODT.	3,00%	1,25	2,89%	SUŠENÉ MLÉKO ODT.	2,89%	1,25	0,04	SUŠENÉ MLÉKO ODT.	2,76%	1,25	0,03	SUŠENÉ MLÉKO ODT.	2,64%	1,25	0,03	
SUŠENÁ SYROVÁT.	3,00%	1,50	2,89%	SUŠENÁ SYROVÁT.	2,89%	1,50	0,04	SUŠENÁ SYROVÁT.	2,76%	1,50	0,04	SUŠENÁ SYROVÁT.	2,64%	1,50	0,04	
LAKTÓZA	2,00%	0,00	1,82%	LAKTÓZA	1,82%	0,00	0,00	LAKTÓZA	1,84%	0,00	0,00	LAKTÓZA	1,78%	0,00	0,00	
LECITIN +AROMA	0,26%	0,00	0,25%	LECITIN +AROMA	0,25%	0,00	0,00	LECITIN +AROMA	0,24%	0,00	0,00	LECITIN +AROMA	0,24%	0,00	0,00	
CELKEM	100,00%	37,3	100,00%	CELKEM	100,00%	34,7	100,00%	CELKEM	100,00%	36,8	100,01%	CELKEM	100,01%	39,6	100,01%	
kakaová sušina	32%	(+,-)1,5 %	35%	(+,-)1,5 %	37%	(+,-)1,5 %	40%	(+,-)1,5 %	kakaová sušina	37%	(+,-)1,5 %	kakaová sušina	40%	(+,-)1,5 %	40%	(+,-)1,5 %
Hořká čokoláda 28 % kak.m.			Hořká čokoláda 35 % kak.m.			Hořká čokoláda 40 % kak.m.			Hořká čokoláda 45 % kak.m.							
SUROVINA	% v koncentráci	tuky	%	SUROVINA	% v koncentráci	tuky	%	SUROVINA	% v koncentráci	tuky	%	SUROVINA	% v koncentráci	tuky	%	
Cukr	48,84%	0,00	0,00	Cukr	44,20%	0,00	0,00	Cukr	40,78%	0,00	0,00	Cukr	37,36%	0,00	0,00	
Kakaové máslo	14,50%	100,00	14,50%	Kakaové máslo	22,80%	100,00	22,80%	Kakaové máslo	28,80%	100,00	28,80%	Kakaové máslo	34,59%	100,00	34,59	
KAKAOVÁ HMOTA	25,00%	53,00	13,23%	KAKAOVÁ HMOTA	22,83%	53,00	11,99	KAKAOVÁ HMOTA	20,88%	53,00	11,07	KAKAOVÁ HMOTA	19,12%	53,00	10,13	
SUŠENÁ SYROVÁT.	4,00%	1,50	3,62%	SUŠENÁ SYROVÁT.	3,62%	1,50	0,05	SUŠENÁ SYROVÁT.	3,34%	1,50	0,05	SUŠENÁ SYROVÁT.	3,08%	1,50	0,05	
MLÉČNÝ TUK	2,00%	99,80	1,81%	MLÉČNÝ TUK	1,81%	99,80	1,81	MLÉČNÝ TUK	1,67%	99,80	1,67	MLÉČNÝ TUK	1,53%	99,80	1,53	
KAKAO PŘÍR. S0432	5,00%	11,00	4,52%	KAKAO PŘÍR. S0432	4,52%	11,00	0,50	KAKAO PŘÍR. S0432	4,18%	11,00	0,46	KAKAO PŘÍR. S0432	3,83%	11,00	0,42	
LECITIN +AROMA	0,88%	0,00	0,82%	LECITIN +AROMA	0,82%	0,00	0,00	LECITIN +AROMA	0,56%	0,00	0,00	LECITIN +AROMA	0,51%	0,00	0,00	
CELKEM	100,00%	30,4	100,00%	CELKEM	100,00%	37,0	100,00%	CELKEM	100,00%	41,8	100,00%	CELKEM	100,00%	46,7	100,00%	
kakaová sušina	44%	(+,-)1,5 %	49%	(+,-)1,5 %	53%	(+,-)1,5 %	57%	(+,-)1,5 %	kakaová sušina	53%	(+,-)1,5 %	kakaová sušina	57%	(+,-)1,5 %	57%	(+,-)1,5 %

P XIV Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Figaro na vaření

n	Figaro na vaření			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	81,14	88,16	72,56	31,24
2	79,91	88,90	68,89	28,83
3	80,97	91,29	69,05	30,58
4	84,72	92,40	65,46	38,28
5	81,10	88,95	71,03	36,68
Aritmet. průměr	81,57	89,94	69,40	33,12
Směrodat. odch.	1,64	1,62	2,39	3,68

P XV Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Figaro hořká

n	Figaro hořká			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	61,15	88,11	72,17	44,62
2	66,67	90,02	73,05	44,32
3	70,79	89,39	65,12	53,62
4	67,17	90,04	72,48	53,51
5	64,67	89,74	69,93	53,41
Aritmet. průměr	66,09	89,46	70,55	49,90
Směrodat. odch.	3,16	0,71	2,91	4,43

P XVI Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Orion hořká

n	Orion hořká			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	74,30	87,78	71,62	42,35
2	76,88	87,59	80,44	45,21
3	78,01	91,43	76,52	40,10
4	72,92	92,76	73,55	44,47
5	71,44	93,43	73,50	47,12
Aritmet. průměr	74,71	90,60	75,13	43,85
Směrodat. odch.	2,44	2,46	3,09	2,42

P XVII Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Noir Madagascar

n	Noir Madagascar			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	93,06	97,53	71,52	41,88
2	94,50	101,66	71,29	41,56
3	88,07	99,22	71,54	42,46
4	92,79	95,75	69,93	44,27
5	90,34	98,19	69,91	41,16
Aritmet. průměr	91,75	98,47	70,84	42,27
Směrodat. odch.	2,28	1,95	0,75	1,09

P XVIII Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Deluxe Chocolate

n	Deluxe Chocolate			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	88,30	92,02	73,57	47,46
2	82,27	86,53	70,00	52,09
3	87,53	88,66	69,56	52,61
4	88,10	88,54	72,61	49,16
5	81,04	92,48	68,88	49,40
Aritmet. průměr	85,45	89,65	70,92	50,14
Směrodat. odch.	3,13	2,26	1,83	1,93

P XIX Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Sladká Vášeň

n	Sladká Vášeň			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	92,03	92,19	84,21	54,86
2	92,35	105,19	85,98	54,83
3	95,20	112,00	74,42	52,09
4	96,16	95,71	80,45	49,27
5	98,25	96,95	81,00	46,41
Aritmet. průměr	94,80	100,41	81,21	51,49
Směrodat. odch.	2,35	7,19	3,96	3,27

P XX Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Kakaovo-mléčná pochoutka

n	Kakaovo-mléčná pochoutka			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	88,63	97,76	69,31	34,81
2	86,99	98,44	67,98	36,79
3	87,94	96,93	68,08	31,84
4	84,90	88,83	68,57	31,05
5	84,92	87,52	70,47	33,17
Aritmet. průměr	86,68	93,90	68,88	33,53
Směrodat. odch.	1,53	4,71	0,92	2,07

P XXI Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Figaro mléčná

n	Figaro mléčná			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	84,54	90,41	70,90	37,08
2	78,04	91,93	68,61	35,27
3	81,39	91,55	70,57	40,80
4	83,28	89,45	66,12	41,43
5	79,20	93,30	66,89	35,24
Aritmet. průměr	81,29	91,33	68,62	37,96
Směrodat. odch.	2,43	1,32	1,91	2,67

P XXII Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Milk Chocolate Ryelands

n	Milk Chocolate Ryelands			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	73,14	92,44	72,77	34,45
2	79,19	95,10	70,30	38,95
3	77,98	92,45	68,29	37,34
4	77,37	96,53	71,62	33,36
5	76,54	93,46	70,66	35,67
Aritmet. průměr	76,84	94,00	70,73	35,95
Směrodat. odch.	2,04	1,60	1,49	2,00

P XXIII Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Carla mléčná

n	Carla mléčná			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	79,13	90,05	66,71	51,52
2	78,55	92,06	66,27	54,34
3	81,28	91,74	65,83	49,06
4	80,99	93,43	69,63	54,21
5	79,18	90,04	66,18	52,12
Aritmet. průměr	79,83	91,46	66,92	52,25
Směrodat. odch.	1,10	1,29	1,38	1,95

P XXIV Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Orion mléčná

n	Orion mléčná			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	84,25	90,33	73,29	44,38
2	85,11	91,93	72,40	44,59
3	85,19	93,48	73,45	42,44
4	86,06	93,61	72,32	43,20
5	85,77	92,39	72,13	45,06
Aritmet. průměr	85,28	92,35	72,72	43,93
Směrodat. odch.	0,62	1,19	0,54	0,97

P XXV Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Dunkle Vollmilch

n	Dunkle Vollmilch			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	89,94	95,38	76,67	45,23
2	91,75	94,79	69,11	46,89
3	91,33	94,57	71,43	47,83
4	90,35	92,48	72,50	46,86
5	86,72	91,26	74,86	51,28
Aritmet. průměr	90,02	93,70	72,91	47,62
Směrodat. odch.	1,77	1,56	2,64	2,01

P XXVI Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Hořká základní

n	Hořká základní			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	87,02	94,71	76,00	50,93
2	87,50	95,59	75,02	50,69
3	89,64	94,78	72,76	50,41
4	87,32	95,99	76,44	54,02
5	85,02	96,29	75,56	49,71
Aritmet. průměr	87,30	95,47	75,16	51,15
Směrodat. odch.	1,47	0,63	1,29	1,49

P XXVII Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Hořká 35 %

n	Hořká 35 %			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	79,61	90,83	78,01	55,84
2	81,31	90,08	76,15	54,08
3	82,93	89,40	78,17	56,82
4	81,91	85,86	75,38	60,81
5	82,61	90,73	78,86	60,46
Aritmet. průměr	81,67	89,38	77,31	57,60
Směrodat. odch.	1,17	1,83	1,32	2,63

P XXVIII Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Hořká 40 %

n	Hořká 40 %			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	85,05	94,58	80,65	55,84
2	89,49	92,06	76,55	58,64
3	89,65	92,13	77,40	57,48
4	89,98	91,02	82,46	53,56
5	88,41	96,87	82,68	54,32
Aritmet. průměr	88,52	93,33	79,95	55,97
Směrodat. odch.	1,81	2,12	2,54	1,90

P XXIX Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Hořká 45 %

n	Hořká 45 %			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	97,48	89,98	77,81	48,75
2	91,53	89,65	81,30	55,82
3	91,88	95,26	81,17	53,20
4	92,59	96,22	78,76	53,41
5	95,33	97,17	77,23	53,89
Aritmet. průměr	93,76	93,66	79,25	53,01
Směrodat. odch.	2,29	3,20	1,69	2,32

P XXX Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Mléčná základní

n	Mléčná základní			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	91,94	91,29	78,40	50,14
2	97,65	88,68	77,40	53,85
3	96,54	88,57	75,15	52,23
4	91,85	92,12	75,44	50,14
5	95,19	85,90	76,73	46,98
Aritmet. průměr	94,63	89,31	76,62	50,67
Směrodat. odch.	2,37	2,21	1,21	2,31

P XXXI Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Mléčná 30 %

n	Mléčná 30 %			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	99,96	97,43	75,65	54,16
2	99,71	99,02	73,37	54,29
3	99,03	100,70	73,08	50,04
4	101,36	96,71	73,55	52,58
5	99,05	95,07	73,12	52,10
Aritmet. průměr	99,82	97,79	73,75	52,63
Směrodat. odch.	0,85	1,93	0,96	1,55

P XXXII Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Mléčná 33 %

n	Mléčná 33 %			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	91,29	99,85	83,76	47,01
2	90,28	102,37	80,87	47,13
3	88,09	99,51	79,14	44,50
4	92,61	104,44	79,71	50,31
5	93,54	105,76	81,61	48,88
Aritmet. průměr	91,16	102,39	81,02	47,57
Směrodat. odch.	1,90	2,46	1,62	1,96

P XXXIII Hodnoty statických kontaktních úhlů smáčení pro vzorek Mléčná 36 %

n	Mléčná 36 %			
	voda [°]	glycerol [°]	ethylenglykol [°]	diiodomethan [°]
1	94,34	90,82	73,82	50,18
2	93,91	92,61	72,15	50,5
3	90,89	92,37	69,11	45,19
4	93,18	90,35	72,49	51,4
5	93,8	87,97	71,58	46,19
Aritmet. průměr	93,22	90,82	71,83	48,69
Směrodat. odch.	1,22	1,67	1,55	2,50