

Vliv nastavení strojních zařízení na reologické parametry čokoládových hmot a jejich skladování.

Bc. Šárka Polášková

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Šárka Polášková
Osobní číslo:	T22333
Studijní program:	N0721A210004 Technologie potravin
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Vliv nastavení strojních zařízení na reologické parametry čokoládových hmot a jejich skladování

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část

Studium dostupné literatury a provedení literární rešerže na dané téma.

II. Praktická část

Parametry nastavení strojních zařízení.

Skladování čokoládových hmot – změna reologických parametrů v čase.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] Afoakwa, Emmanuel Ohene. (2010). Chocolate Science and Technology [online]. Wiley, ISBN 9781405199063. Dostupné z: doi:10.1002/9781444319880
[2] Booth, C. (2011). Industrial Chocolate Manufacture and Use. Cambridge, UK: Wiley-Blackwell. ISBN 978-1-4443-3652-2
[3] Ziegler, Gregory, R., Beckett, Stephen T. a Fowler Mark S. (2017) ed. Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use [online]. Fifth edition. York, UK: Wiley Blackwell, ISBN 978111892573

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Miček, Ph.D.**
Ústav analýzy a chemie potravin

Datum zadání diplomové práce: **1. ledna 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 10. února 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORKY DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala. V případě publikace výsledků budu uvedena jako spoluautorka.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studentky:

.....
podpis studentky

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na výzkumu vlivu nastavení strojních parametrů na výslednou reologii mléčných a hořkých čokoládových hmot. Výzkum byl prováděn během standardní průmyslové výroby. V teoretické části byla práce zaměřena na charakteristiku surovin používaných pro výrobu čokoládových hmot, dále popis strojů a jejich uživatelských parametrů, technologii výroby, faktory ovlivňující výslednou reologii čokoládových hmot a jejich skladování. V praktické části se práce zabývala nastavením strojních parametrů a jejich vlivů na konžovací profil čokoládových hmot s ohledem na výslednou reologii hmoty s cílem mít, co nejvíce stabilní hmotu s vhodnými reologickými parametry. Čokoládové hmoty byly následně zkoumány na stabilitu během skladování.

Klíčová slova: čokoláda, strojní parametry, reologické parametry, skladování

ABSTRACT

The master thesis is focused on the research of the influence of machine parameter settings on the resulting rheology of milk and dark chocolate masses. The research was conducted during standard industrial production. In the theoretical part, the work was focused on the characteristics of the raw materials used for the production of chocolate masses, as well as the description of machines and their user parameters, production technology, factors influencing the resulting rheology of chocolate masses and their storage. In the practical part, the work dealt with the setting of machine parameters and their effects on the conching profile of chocolate masses with regard to the resulting rheology of the mass with the aim of having as stable a mass as possible with right rheological parameters. The chocolate masses were then examined for stability during storage.

Keywords: chocolate, machine parametres, reologhical parametres, storage

Zde je místo pro případné poděkování, popř. motto, úryvky knih atp.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 HISTORIE	12
2 CHARAKTERISTIKA ZÁKLADNÍCH SUROVIN	13
2.1 PRODUKTY Z KAKAOVÝCH BOBŮ	13
2.2 ROSTLINNÉ TUKY – CBE, CBS, CBR.....	15
2.2.1 CBE.....	16
2.2.2 CBS	16
2.2.3 CBR.....	17
2.3 CUKR A JEHO NÁHRAŽKY	17
2.4 MLÉČNÉ KOMPONENTY	18
2.4.1 Sušené mléko a syrovátka	18
2.4.2 Mléčný tuk	20
2.5 EMULGÁTORY	21
2.5.1 Lecitin	21
2.5.2 Polyglycerolpolyricinoleát	21
3 ČOKOLÁDA	22
3.1 CHARAKTERISTIKA ČOKOLÁDOVÝCH HMOT	22
3.2 LEGISLATIVNÍ PODMÍNKY ČOKOLÁDOVÝCH HMOT	23
4 POPIS STROJNÍCH ZAŘÍZENÍ PRO VÝROBU ČOKOLÁDOVÝCH HMOT	25
4.1 NAVAŽOVÁNÍ.....	25
4.2 MIXÉR.....	27
4.3 PŘEDVÁLEC.....	28
4.4 5-TI VÁLEC	29
4.5 KONŽE.....	30
4.5.1 Typy konžovacích zařízení	30
5 TECHNOLOGIE VÝROBY ČOKOLÁDOVÝCH HMOT	33
5.1 MIXOVÁNÍ.....	33
5.2 VÁLCOVÁNÍ	33
5.3 KONŽOVÁNÍ	34
5.3.1 Fáze konžování.....	35
6 REOLOGICKÉ PARAMETRY ČOKOLÁDOVÝCH HMOT	38
6.1 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ REOLOGICKÉ PARAMETRY ČOKOLÁDOVÝCH HMOT	40
II PRAKTICKÁ ČÁST	42

8	CÍL PRÁCE	43
9	CHARAKTERISTIKA TESTOVANÝCH ČOKOLÁDOVÝCH HMOT	44
9.1	HMOTA A	44
9.2	HMOTA B	45
9.3	HMOTA C	45
10	METODIKA – VÝROBNÍ PROCES	47
10.1	PROCES VÝROBY VZORKŮ	47
10.2	SKLADOVÁNÍ HMOT	51
11	METODIKA PRÁCE	52
11.1	PRINCIP VÝROBNÍHO PROCESU	52
11.2	STANOVENÍ REOLOGICKÝCH PARAMETRŮ POMOCÍ VISKOZIMETRU	52
11.2.1	Chemikálie	53
11.2.2	Materiál	53
11.2.3	Zařízení viskozimetr	53
11.2.4	Příprava vzorku a postup měření	53
11.2.5	Vyjádření výsledků měření	54
11.3	STANOVENÍ JEMNOSTI POMOCÍ MIKROMETRU	54
12	VÝSLEDKY	55
12.1	HMOTA A	55
12.1.1	Konžování	55
12.1.2	Stanovení reologických parametrů hmoty A	61
12.1.3	Změna reologických parametrů v čase	62
12.2	HMOTA B	63
12.2.1	Konžování	64
12.2.2	Stanovení reologických parametrů hmoty B	67
12.2.3	Změna reologických parametrů v čase	68
12.3	HMOTA C	69
12.3.1	Konžování	69
12.3.2	Stanovení reologických parametrů hmoty C	73
12.3.3	Změna reologických parametrů v čase	74
13	DISKUZE	77
	ZÁVĚR	81
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	84
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	89
	SEZNAM OBRÁZKŮ	90
	SEZNAM TABULEK	92
	SEZNAM PŘÍLOH	93

ÚVOD

Čokoláda je celosvětově známá pochutina, která může být zpracována mnoha způsoby. Do Evropy byly kakaové boby dovezeny Kryštofem Kolumbem a zpracovány nejprve jako sladký nápoj a postupně s objevením možnosti extrakce kakaového másla byla vyrobena pevná čokoláda.

Existuje mnoha variant čokolád, z nich je lze rozdělit do 3 základních tříd, a to na mléčnou, hořkou a bílou čokoládu. Čokoláda je vyráběna ze základních surovin, mezi které řadíme kakaové boby a produkty z nich (kakaová hmota, kakaové máslo, kakaové pokrutiny, kakaový prášek), tuk (použití kakaového másla nebo jiné směsi rostlinných tuků jako CBE – cocoa butter equivalent, CBR – cocoa butter replacement a CBS – cocoa butter substituent), mléčné složky (sušená mléka a mléčný tuk), cukr, emulgátory (lecitin, PGPR – polyglycerolpolaricinoleát) a případně vanilkové aroma. Proto, aby mohla být vyrobená směs nazývána čokoládou, musí splňovat legislativní podmínky, které jsou stanoveny zákonem č. 76/2003 Sb., v platném znění.

V průmyslové výrobě jsou pro výrobu čokoládových hmot využívána poloautomatické a automatické stroje, jejichž nastavením je možné vyrobit požadovanou hmotu opakovaně bez významných změn na sensorickém hodnocení a ve stanovených limitech reologických parametrů. Suroviny pro výrobu čokolády jsou nejprve navažovány do mixéru nebo do vážicích družic. Poté dávkovány do mixéru a zpracovány ve směs. V mixéru záleží především na přesnosti navažování a nastavené teplotě. Poté je směs válcována dvěma soustavami válců, a to nejprve na předválcí, kde dochází k před zjemnění směsi na jemnost 100–150 μm . Na předválcí jsou nastaveny teploty válců a spára, případně tlak, které určují finální jemnost a konzistence hmoty vystupující z něj. Teplota hmoty má vliv na chování při dalším zpracování. Poté je hmota postupně dávkována do 5ti-válce, kde dochází k zjemnění hmoty na požadovanou finální jemnost pohybující se mezi 15-50 μm . Zde jsou nastaveny teploty jednotlivých válců a rychlosti 2. a 5. válce, které mají přímý vliv na rychlost zbývajících válců. Vyválcovaná hmota je dopravena v sytké konzistenci do konže, kde pomocí recepturního modulu složeného ze specifických parametrů je směs zpracována do finální podoby tekuté čokolády. Doba konžování může být různá, zpravidla se pohybuje mezi 5-48 h v závislosti na požadavcích a receptuře.

U hotové čokoládové hmoty jsou měřeny reologické parametry, a to hranice toku a viskozita. Při dodržení správné výrobní praxe a dobře nastaveného recepturního modulu jsou hodnoty reologických parametrů docela stabilní.

Existuje několik typů konží, z nich nejvíce známé jsou Petzholdt konže, ELK konže a DÜC konže od společnosti Bühler.

Hotová čokoládová hmota je skladována v tancích po nezbytně nutnou dobu před dalším zpracováním. Čokoláda je skladována při 45-50 °C a je pravidelně jemně promíchávána k zabránění vystupování tuku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE

Kakaovníky byly pěstovány Aztéky v Mexiku dlouho před příchodem Evropanů. Z kakaových bobů vytvářeli Aztékové spiced drink nazývaný "Chocolatl", který byl ceněn jako měna a měl údajně afrodisiakální vlastnosti. Postup přípravy zahrnoval pražení bobů, mletí a míchání s vodou a dalšími přísadami [1].

Kakaové boby byly přivezeny do Evropy Kryštofem Kolumbem a později komerčně využity Donem Cortezem. Čokoláda se stala populární, zejména ve Španělsku a později i v dalších částech Evropy. Byla slazená a později bylo přidáno mléko, což vedlo k vzniku mléčné čokolády [1, 2].

Vývoj čokolády pokračoval s objevem extrakce kakaového másla a vynálezem pevné mléčné čokolády. Byly vyvinuty různé příchutě a techniky výroby, které se zaměřovaly na dosažení správné chuti a textury čokolády. Tradiční metody zahrnovaly pražení, mletí a míchání ingrediencí, aby se dosáhlo požadovaných vlastností čokolády [1, 2].

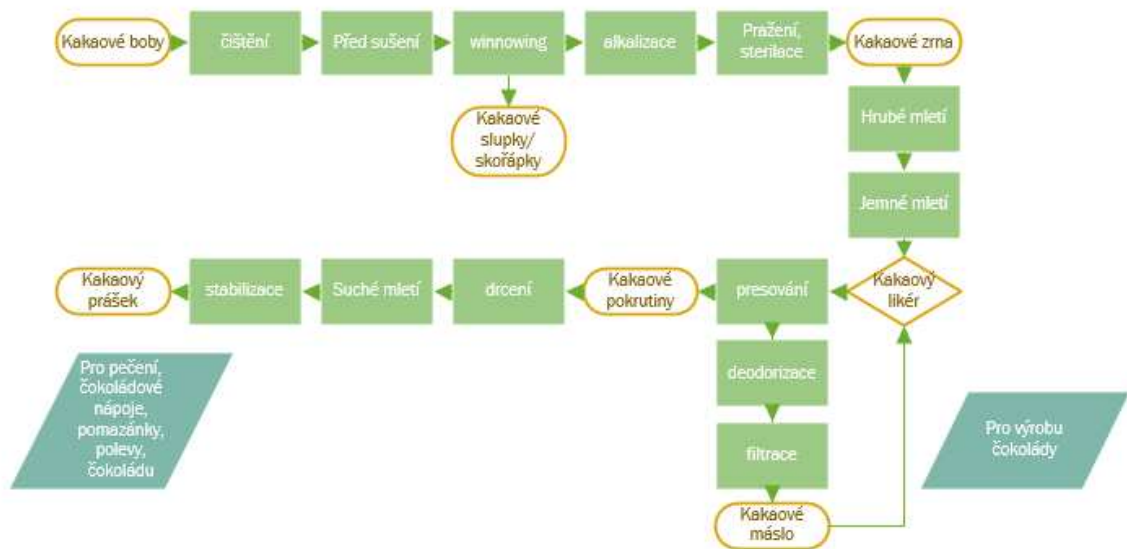
2 CHARAKTERISTIKA ZÁKLADNÍCH SUROVIN

Výchozí surovinou pro výrobu čokoládových hmot jsou kakaové boby. Z nich se dalším zpracováním získává kakaová hmota, kakaové máslo a kakaový prášek. Další surovinou, nejčastěji zastoupenou v nejvyšším množství je rafinovaný cukr. Pro výrobu čokoládových hmot se nejčastěji používá cukr krystal, ale lze použít i cukr moučku nebo i alternativy cukru jako glukózový cukr nebo maltózu. Pro výrobu mléčných hmot jsou využívány varianty sušeného mléka a syrovátka. Je využíváno plnotučné nebo odstředěné mléko a sušená syrovátka. Další surovinou získanou z mléka je mléčný tuk. V průběhu výroby čokoládových hmot se dále přidávají tuky, a to kakaové máslo nebo jeho náhražky jako je CBE (cocoa butter equivalent), CBR (cocoa butter replacement) nebo CBS (cocoa butter substituent). Pro konečnou úpravu čokoládových hmot se používají emulgátory. Nejčastěji se využívá slunečnicového nebo sójového lecitinu. Dalším známým emulgátorem pro výrobu čokoládových hmot je PGPR (polyglycerolpolaricinoleát). Pro dodání žádaného aroma může být využito např. vanilkové aroma [2].

2.1 Produkty z kakaových bobů

Kakaové boby jsou hlavní ingrediencí pro výrobu čokolády. Zpracování kakaových bobů lze rozdělit na dvě fáze, a to zpracování kakaových bobů a výroba produktů z nich.

První fáze zahrnuje fermentaci kakaových bobů a jejich sušení. Ve druhé fázi probíhají operace čištění, odstranění slupek a třídění, alkalizace, pražení, třídění, mletí a lisování pro vznik konečných produktů používaných pro samotnou výrobu. Mezi konečné produkty patří kakaová hmota, máslo a kakaový prášek [3, 4].



Obrázek 1: technologie zpracování kakaových bobů a získání produktů z nich [5]

Během fermentace kakaových bobů dochází mikrobiologickým rozkladem celulóзовých cukrů na alkohol a kyseliny, a tím k vývoji charakteristického aroma a prekurzorů chuti. Kakaové boby jsou sušeny na bambusových rohožích na slunci na vlhkost 7 %. Vysušené boby jsou poté baleny do jutových pytlů a připraveny k prodeji nebo dalšímu zpracování [3, 4, 5].

Před dalším zpracování jsou kakaové boby očištěny pro odstranění nekakaových složek, a to například kamínků, prachu a kousků kovu. Nečistoty mohou později způsobovat nadměrné opotřebení a poškození zpracovatelských strojů. Nečistoty jsou odstraňovány pomocí magnetů, sít a odkaménkovačů. Dalším krokem v procesu výroby kakaové hmoty a dalších produktů je odstranění slupek. Skořápky bobů mohou způsobovat nepříznivé chutě finálního produktu a snižovat výtěžnost získané kakaové hmoty. Kakaové boby jsou často podrobeny tepelné úpravě nebo dalšímu sušení, aby bylo možné dosáhnout dokonalého odstranění slupek od zbytku bobu. Tyto operace mohou probíhat na sušičkách typu fluid-bed, infračervených sušičkách nebo zvlhčujících systémech. V dalším kroku jsou kakaové boby rozbíjeny a třizeny. Tyto operace probíhají současně a lze je popsat následujícím mechanismem. Odstředivou silou kyvného kladiva proti nárazové desce dochází k rozbíjení bobů, odkud kakaové boby vlivem gravitace opouštějí mlátičku. Otáčky kola, kterým je generována odstředivá síla určují rozložení bobů podle velikosti částic. Výslednými produkty jsou zrna, slupky a skořápky. V následujícím kroku je možné kakaové boby

alkalizovat. Alkalizace je zpravidla využívána při výrobě kakaového prášku a je prováděna smícháním kakaových hrud společně s roztokem uhličitanu draselného a vody. Po alkalizaci je směs vysušena a upražena. Výsledkem alkalizace je navýšení pH kakaového prášku po rozmělnění a světlejší barva. Připravené zrna jsou pražena. Během pražení je v zrnech rozvíjena chuť z prekurzorů, která vznikala během fermentace a sušení bobů. Zrna jsou před pražením zvlhčována, a to přibližně o 15 %. Navýšení vlhkosti napomáhá k lepšímu vývoji prekurzorů chuti. Poté jsou pražena 10-15 minut při teplotě až 140 °C. Pražení obsahuje více fází, z nichž v první fázi dochází k předežhnutí zrn při teplotách 40-60 °C. Při 3% zbytkové vlhkosti zrn je teplota navýšena na 98-110 °C a zrna jsou dopražena. Intenzita pražení je závislá na druhu pražených zrn a typu pražičky. Po pražení je vždy provedeno mikrobiologické testování, a to nejčastěji na výskyt salmonely a celkový počet mikroorganismů. Po pražení jsou zrna chlazená v kontinuálních zařízeních, aby došlo k zastavení pražení [6, 7, 8, 9].

Kakaová hmota je získána mletím upražených kakaových bobů. Míra rozmělnění kakaové hmoty závisí na jejím finálním použití. Její tučnost se zpravidla pohybuje mezi 50-55 %. Hydraulickým lisováním lze z kakaové hmoty získat kakaové máslo a kakaový koláč, který je možné dále zpracovat mletím na kakaový prášek. Lisování je volný proces, při kterém vylisované kakaové máslo volně stéká do skladovacích zásobníků. Máslo je pro odstranění pevných částic filtrováno přes papírové filtry. Poté se produkt dále skladuje nebo je možné provádět dezodorizaci. Desodorizací jsou z kakaového másla odstraňovány vysokou teplotou za vakua pachy a nežádoucí příchutě. Vylisované koláče obsahují přibližně 15 % tuku a jsou dále zpracovány. Koláče jsou poté nejprve šnekem rozlámány na menší kousky, které jsou poté dále mlety v mlýnech. Finální produkt je veden přes síta a magnety pro kontrolu cizích předmětů a balen do pytlů [6, 9, 10].

2.2 Rostlinné tuky – CBE, CBS, CBR

Mimo kakaové máslo jsou hojně pro výrobu čokoládových hmot využívány další rostlinné tuky, a to ekvivalenty kakaového másla (CBE), náhražky kakaového másla s obsahem kyseliny laurové (CBS) a náhražky kakaového másla bez obsahu kyseliny laurové (CBR).

Vlastnosti tuku lze popsat z hlediska fyzikální a chemické povahy a organoleptických vlastností. Jsou složeny z triglyceridů, který je dále tvořen estery glycerolu s třemi mastnými kyselinami (palmitová, olejová, stearová). Typ kyseliny a její poloha v molekule triglyceridu je důležitá. Složení triglyceridů je určováno plynovou kapalinovou chromatografií (HPLC).

Dále je testováno pomocí nukleární magnetické rezonance (NMR) podíl pevného podílu tuku ve vzorku, který má vliv na výsledné chování čokolády. Získaná hodnota je označována jako hodnota N_t , kterou je možné využít ke vzniku eutetik [2].

2.2.1 CBE

CBE rostlinné tuky, které jsou svými chemickými a fyzikálními vlastnostmi nejvíce podobné kakaovému máslu a v receptuře je lze za kakaové máslo libovolně zaměňovat. Pro možnost použití musí CBE splňovat tyto požadavky, a to rozsah tání tuku podobající se kakaovému máslu, podobné složení mastných kyselin a triglyceridů, kompatibilitnost s kakaovým máslem, krystalizace ve stejné polymorfni formě, tj. modifikace beta. V neposlední řadě by měl být zachován vzhled finálního výrobku a jeho trvanlivost. Olej používaný do směsi CBE pro výrobu čokolády může být zpracován pouze frakcionací a rafinací [1, 2].

CBE tuk může být složen z těchto rostlinných olejů, a to Illipe, Shea, Bambucký, Mango kernel, Sal, Kokum gurgi a palmového tuku, z nichž nejčastěji je využíván olej palmový, bambucký a Illipe, a to zejména díky jejich vysokému obsahu POP (palmitová-olejová-palmitová MK), POSt (palmitová-olejová-stearová MK) a StOSt (stearová-olejová-palmitová MK) [2, 11].

Výroba CBE spočívá v pečlivé frakcionaci jednotlivých olejů a míchání jejich vzniklých triglyceridových směsí. Vzhledem k úplné kompatibilitě kakaového másla s CBE je možné nahradit jakékoli množství kakaového másla vzniklým tukem bez změny charakteru čokolády a vzniku nežádoucích vlastností. Nicméně úplná možnost náhrady kakaového másla CBE tukem je omezená legislativně, a to stanovením maximálního obsahu CBE v čokoládě na 5 %. Je možnost nahradit i vyšší množství kakaového másla CBE tukem, ovšem finální výrobek nemůže být dále považován za čokoládu [2, 12].

2.2.2 CBS

Náhrady kakaového másla rostlinnými tuky obsahující kyselinu laurovou. Nejčastěji se jedná o směs olejů palmojadrového a kokosového. CBS tuk se vyznačuje podobnými fyzikálními vlastnostmi jako kakaové máslo, ale naopak zcela odlišnými vlastnostmi chemickými. Teplota u dalšího zpracování čokolády není nutná. Směs tuků je získávána pomocí hydrogenace a frakcionace tuků a jejich složení triglyceridů je zcela odlišné od složení triglyceridů obsažených v kakaovém máslu a CBE. Směs tuků je dále

charakterizována nekompatibilitou s kakaovým máslem, odlišnou texturou a velmi rychlou krystalizací. Je zpravidla využíván pro výrobu náplní a zmrzlinových polev. Výrobky obsahující tuto směs tuků nesmí být nazývány čokoládou [2, 5].

2.2.3 CBR

CBR je využíváno pro výrobu polev určených k potahování a máčení finálních výrobků. Jedná se o rostlinné tuky jiného než laurového původu, jejichž fyzikální vlastnosti jsou podobné, naproti chemickým, které jsou zcela odlišné. Mezi hlavní oleje tvořící CBR tuk lze zařadit palmový, řepkový a sójový olej. CBR tuk je vyráběn pomocí hydrogenace a frakcionace tuků a obvykle jsou v něm obsaženy trans nenasycené mastné kyseliny. V triglyceridu jsou zastoupeny stejné mastné kyseliny jako v kakaovém másle nebo CBE, a to kyselina palmitová, stearová a olejová, ale v odlišné konfiguraci. Díky tomu je tuk CBR částečně kompatibilní s kakaovým máslem. Této kompatibility se využívá především k výrobě náplní a polev obsahujících kakaovou hmotu nebo prášek, ovšem výrobky s CBR tukem není možné nazývat čokoládou [1, 5].

2.3 Cukr a jeho náhražky

Cukr je sladce chutnající disacharid získaný z cukrové řepy nebo třtiny. Sacharóza je složena ze dvou monosacharidů chemicky spojených dohromady. Tyto monosacharidy, nazvané glukóza a fruktóza jsou v cukru zastoupeny ve stejném poměru a lze je oddělit pomocí enzymu invertáza [1, 13].

V Evropě se pro výrobu čokoládových hmot využívá zejména cukr řepný. Řepný cukr je vyráběn z cukrové řepy, jejíž obsah sacharózy je asi 14-17 %. Cukrovarnický průmysl dodává širokou škálu krystalických a tekutých cukrů. Krystalický cukr je třízen podle velikosti krystalů a čistoty. Obsah sacharózy v bílém cukru je obvykle vyšší než 99,9 %. Zřídka může obsah sacharidů klesnout pod 99,7 % v důsledku přítomnosti necukerných látek. Obsah vody v cukru nesmí překročit 0,06 % [2, 13].

Cukr je třízen podle různých velikostí krystalů a dělí se na hrubý, středně jemný, jemný a moučkový cukr. Pro výrobu čokoládových hmot je zpravidla využíván středně jemný bílý krystalický cukr s velikostí částí 0,6-1 mm. V některých továrnách může být spektrum velikostí částic větší, a to 0,5-2 mm. V receptuře pro výrobu čokolády je tradičně obsaženo přibližně 50 % cukru, většinou ve formě sacharózy, ale i laktózy z mléčných složek při výrobě mléčných hmot [13, 14].

Cukr je do zásobníků dopravován pneumaticky. Při manipulaci je třeba dbát zvýšené opatrnosti, a to z důvodu nebezpečí výbuchu, protože se jedná o hořlavou surovinu, která společně s kyslíkem tvoří za přítomnosti jiskry, plamenu, výbušnou směs [1, 5, 13].

V závodech, kde je širší škála výrobků se používá cukr s širším spektrem velikostí částic a částice cukru jsou třizeny nebo pomocí mlýnu mlety na menší částice. Během mletí se teplota cukru může zvýšit lokálně až na 2000 °C a poté rychle klesá. V místě zlomu krystalu cukru dochází k tvorbě amorfních částic, které jsou silně hyroskopické a absorbují aroma [2, 5, 14].

Proces výroby čokoládových hmot je pevně spojen s velikostí částic cukru. Při použití moučkového cukru (velikost částic 0,2-1 mm) je nutné navýšit tučnost a čas míchání směsi ingrediencí pro výrobu čokoládových hmot. Zároveň vlivem většího množství amorfního cukru hrozí při jeho dopravě potrubím k vyššímu riziku ucpání [2, 5, 13].

2.4 Mléčné komponenty

Pro výrobu čokoládových hmot je využíváno sušené kravské mléko, syrovátka její produkty a mléčný tuk. Hlavní složkou mléka je voda, ale vzhledem k tomu, že voda má negativní vliv na fyzikální chování čokoládových hmot, je nutné využívat pouze bezvodé složky. V mléčných komponentách je poté nejvíce zastoupena laktóza, téměř ve shodném složení mléčný tuk a následně bílkoviny a ve stopovém množství minerální látky, včetně vápníku [15].

2.4.1 Sušené mléko a syrovátka

Mléčné prášky lze rozdělit z hlediska tučnosti na mléko plnotučné, odstředěné, syrovátku a laktózu. Jednotlivé druhy mléka nejsou rozlišovány pouze dle tučností, ale také z hlediska obsahu laktózy, minerálních látek a hyroskopicity. Všechny tyto skupiny látek mají vliv na proces výroby, negativně ovlivňují chování hmot během skladování a jejich senzorický profil. [2, 15]

Tabulka 1: procentuální složení jednotlivých mléčných produktů [5, 16]

	proteiny [%]	tuk [%]	laktóza [%]	minerální látky [%]	vlhkost [%]
plnotučné sušené mléko	25	26,8	39,1	5,8	3,8
odstředěné sušené mléko	33,4	0,8	54,1	7,9	3,8
syrovátka	23,6	0,9	74,5	7,5	4
laktóza	0,3	0	99,3	0,34	0,06

Pro výrobu mléčných čokoládových hmot je využíváno sprejově nebo válcově sušené mléko. Vhodnější je použití válcově sušeného mléčného prášku, díky vyššímu obsahu volného tuku a jeho jemně karamelové vůni. Jednotlivé typy sušení mléka se liší strukturou částic obsažených v prášku. Válcované mléko je charakteristické deskovým uspořádáním částic, tuk je vytlačený na povrch a mléčný prášek je měkčí. U sprejově sušených mlék je prášek složen z jemných, dutých, kulovitých částic, ve kterých je obsažen tuk. Ten je poté hůře uvolňován do prostředí. Postup rozprašování mléka je možné upravit tak, aby částice byly více krystalické a docházelo k snadnějšímu uvolňování tuku [16, 17].

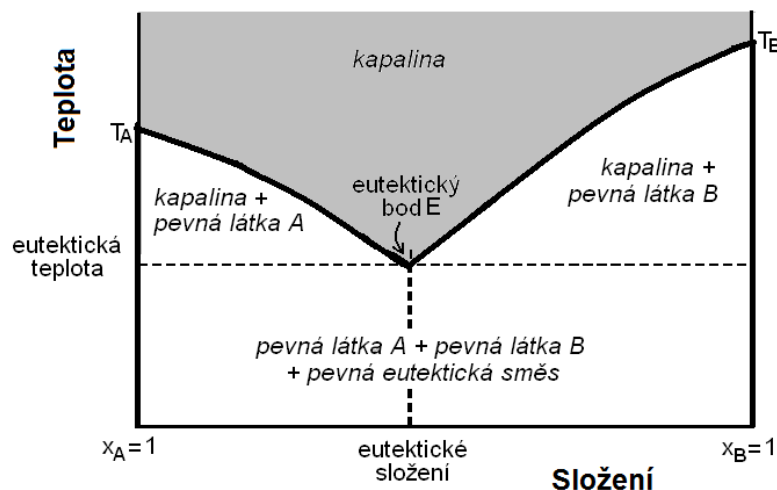
Pro čokoládový průmysl patří mezi důležité ukazatele chemické, fyzikální a mikrobiologické vlastnosti výrobku. Klíčovými chemickými parametry jsou titrační kyselost a dusíkový index syrovátkových bílkovin. Tyto parametry jsou ukazateli špatné manipulace se syrovým mlékem před výrobou prášku. Mezi méně důležité parametry lze zařadit index rozpustnosti, spálené částice a barva sušeného prášku [2, 5].

Syrovátka a laktóza je používána při výrobě některých druhů čokolády a plev. Jedná se o vedlejší produkt při výrobě sýrů a kaseinu. Výhodou je možnost částečné náhrady za cukr, díky její nižší sladivosti. Mezi nevýhody použití syrovátky patří vysoký obsah minerálních látek, které mohou mít negativní vliv na sensorický profil čokoládových hmot. Tomu lze částečně zabránit demineralizací syrovátkového prášku [15, 16].

2.4.2 Mléčný tuk

Mléčný tuk je v čokoládovém průmyslu využíván pro jeho pozitivní vlastnosti. Má zásadní význam na lámavost čokolády, potlačuje vznik tukového výkvětu a díky jeho charakteristické struktuře se podílí na uvolňování mléčné chuti a podporuje rozpouštění čokolády v ústech [5, 18].

Do čokoládových hmot ho lze přidávat pouze v omezeném množství, aby nedošlo ke změně konzistence výsledné čokolády. Množství a kombinace tuků při výrobě čokolády se posuzuje dle eutetiky tuků. Eutetika tuků je jev, kdy kombinací tuků dochází ke změně jejich charakteristických vlastností. Zpravidla dochází k měknutí čokolády, která je spotřebiteli považována za nežádoucí. Optimální obsah mléčného tuku v čokoládových hmotách je mezi 5-10 % [18, 19].



Obrázek 2: fázový diagram jednoduchého binárního systému, kdy A, B jsou jednotlivé tuky a C eutektický bod [19]

Mléčný tuk je složen z triacylglycerolů, fosfolipidů, diacylglycerolů a sterolů. Za nejvýznamnější složku fosfolipidů je považován lecitin. Mléčný tuk je náchylný k oxidaci a lipolýze. Enzymy urychlují rozpad kyselin na volné mastné kyseliny s kratším řetězcem, které mají žluklou chuť. Při oxidaci dochází k tvorbě peroxidů a poté k jejich rozkladu, při kterém vznikají nepříjemné pachutě [18, 19].

Vzhledem k omezené trvanlivosti mléčného tuku je tuk skladován v pevném skupenství při chladnějších teplotách a dochází k jeho tání až v době jeho předpokládané spotřeby. Dalším preventivním opatřením je kontrolována atmosféra ve skladovacích tancích, kde je vzduch nahrazen za dusík [2, 18,19].

2.5 Emulgátory

Emulgátory jsou povrchově aktivní látky snižující mezifázové anebo povrchové napětí matrice čokolády. Mezi hlavní zástupce pro výrobu čokoládu řadíme lecitin, PGPR, monoglyceridy a fosforečnan amonný [20, 21].

2.5.1 Lecitin

Jedná se o vedlejší produkty při extrakci oleje. Pro výrobu čokoládových hmot je nejčastěji používán lecitin sójový, slunečnicový a řepkový. Lecitin je charakteristickými svými lipofilními a hydrofilními vlastnostmi.

Sójový lecitin je vyráběn z bobů sóji pomocí extrakce kontinuálním louhováním rozpouštědlem, kdy poté dojde k odpaření rozpouštědla a lecitin se vysráží. Vysrážený lecitin se dále vysuší na požadovanou vlhkost. Výsledným produktem je světle hnědá kapalina obsahující přibližně 65 % fosfatidů a 35 % sójového oleje [20].

Lecitin je využíván pro výrobu čokolády díky jeho pozitivnímu vlivu na proces, a to zlepšením tokových vlastností čokolády a snížení obsahu tuku. Často je přidáván na konci konžovacího procesu, kdy kromě ztekucení čokoládové hmoty dochází k pevnému navázání zbytkové vody, a tím ke zlepšení celkové její stability. Lecitin je doporučeno skladovat při teplotách nižších než 60 °C, protože je tepelně citlivý a dochází ke ztrátám jeho funkčnosti. Přídavek lecitinu nad 1 % může způsobit negativní vlastnosti jako je krystalizace tuku způsobující tukový výkvět a zhoršuje tokové vlastnosti čokolády [5].

2.5.2 Polyglycerolpolyricinoleát

Zkratka PGPR představuje sloučeninu polyglycerolpolyricinoleátu, která patří mezi často používané emulgátory při výrobě čokolády. Mezi jeho hlavní vlastnosti lze zařadit intenzivní snižování viskozity a zjemnění textury čokoládových hmot. Snížení viskozity usnadňuje další zpracování čokolády (formování). Jeho použitím lze částečně nahradit množství kakaového másla, a tím zajišťuje ekonomickou efektivitu. Komerčně jsou dostupné dva typy PGPR, a to s vysokým a nízkým stupněm polymerace povrchově aktivní látky s vysokou rozpustností v oleji [1, 5, 21].

Zákonné maximum pro použité množství PGPR v čokoládových hmotách je 0,5 %. Nicméně je často přidáván při hladinách mezi 0,1-0,3 %, a to díky začátku projevu jeho negativních vlastností, mezi které je možné zařadit zvýšenou afinitu ke vzduchu, snížení teplot při procesu temperace a dalších [5, 21].

3 ČOKOLÁDA

Čokoláda patří mezi velmi populární pochutinu, která je nabízena v různých podobách. Aby bylo možné nazývat čokoládu čokoládou, musí splňovat dané náležitosti dané legislativou [22, 23].

3.1 Charakteristika čokoládových hmot

Čokoládu lze rozdělit do 3 základních skupin, a to na hořkou, mléčnou a bílou. Legislativní podmínky pro definici jednotlivých druhů čokolády, ale také minimální a maximální obsah složek, ze kterých je vyráběna, udává vyhláška č. 76/2003 Sb., v platném znění [24].

„Hořkou čokoládou se rozumí potravina vyrobená z kakaových součástí, přírodních sladidel, přídatných látek nebo látek určených k aromatizaci, popřípadě z dalších složek, a která vyhovuje požadavkům uvedených v příloze č. 9 výše uvedeného zákona“ [24].

„Mléčná čokoláda je definována jako potravina vyrobená z kakaových součástí, sladidel, mléka nebo mléčných výrobků, popřípadě z dalších složek, a která vyhovuje požadavkům uvedeným v příloze č. 9 výše uvedeného zákona“ [24].

„Bílou čokoládou se rozumí potravina vyrobená z kakaového másla, mléka nebo mléčných výrobků, sladidel, popřípadě z dalších složek, a která vyhovuje požadavkům uvedeným v příloze č. 9 výše uvedeného zákona“ [24].

Při tvorbě receptur pro výrobu čokoládových hmot je nutné vycházet z legislativních parametrů, ale také optimálním poměru tuku a sypkých surovin. Tučnost čokoládové hmoty se přibližně pohybuje okolo 32 %. V tabulce níže jsou uvedeny příklady receptur v rámci jednotlivých kategorií čokolád [1, 5].

Tabulka 2: receptury jednotlivých druhů čokoládových hmot [2, 5]

Suroviny:	Hořká čokoláda	Mléčná čokoláda	Bílá čokoláda
Kakaová hmota	45 %	12 %	-
Kakaové máslo	7,5 %	18,5 %	25 %
Mléčné komponenty	-	24 %	27 %
Cukr	47 %	45 %	47,5 %
lecitin	0,5 %	0,5 %	0,5 %
Celkový obsah tuku:	32 %	31,4 %	32,2 %

3.2 Legislativní podmínky čokoládových hmot

Legislativní parametry jsou definovány vyhláškou č. 76/2003 Sb., v platném znění. Čokoláda musí splňovat minimální hodnoty uvedeny v tabulce 3, abychom ji mohli nazývat čokoládou. Mimo jiné vyhláška definuje i další podmínky, a to maximální obsah přidání tuku CBE v 5% obsahu, obsah PGPR v maximálním obsahu 0,5 %. Dále jsou definovány požadavky na aroma, kterým nesmí být nahrazována vůně kakaového másla a mléčného tuku a v neposlední řadě jsou uvedeny látky, které v čokoláda nesmí obsahovat. Mezi ně jsou řazeny živočišné tuky, které nepocházejí z mléka, dále pak mouky a škroby [5, 24].

Tabulka 3: legislativní požadavky pro jednotlivé kategorie čokoládových hmot [5]

Druh:	Obsah kakaového másla [%]	Obsah tukuprosté kakaové sušiny [%]	Obsah celkové kakaové sušiny [%]	Obsah mléčného tuku [%]	Celkový obsah tuku [%]	Obsah mléčné sušiny [%]
Hořká čokoláda	18	14	35	-	-	-
Mléčná čokoláda	-	2,5	25	3,5	25	14
Bílá čokoláda	20	-	-	3,5	-	14

Kakaovými součástmi se rozumí kakaová hmota, máslo, pokrutiny a prášek. Mezi obsah tukuprosté kakaové sušiny je řazena veškerá sušina obsahující kakaové součásti s odečtením

veškerého obsahu tuku obsaženého v ní. Do mléčné sušiny jsou zahrnuty veškeré mléčné produkty použité k výrobě čokolády, mezi které lze zařadit mléko různé tučnosti, syrovátku a mléčný tuk [2, 5, 24].

U hořké čokolády jsou definovány zákonné požadavky na obsah kakaového másla, tukuprosté kakaové sušiny a celkové kakaové sušiny, který je 35 % [1, 5, 24].

Mléčná čokoláda musí splňovat požadavky na obsah tukuprosté sušiny, celkové kakaové sušiny, který je 25 %, dále pak obsah mléčného tuku 3,5 %, celkový obsah tuku 25 % a obsah mléčné sušiny 14 %, které jsou definovány vyhláškou [2, 24].

4 POPIS STROJNÍCH ZAŘÍZENÍ PRO VÝROBU ČOKOLÁDOVÝCH HMOT

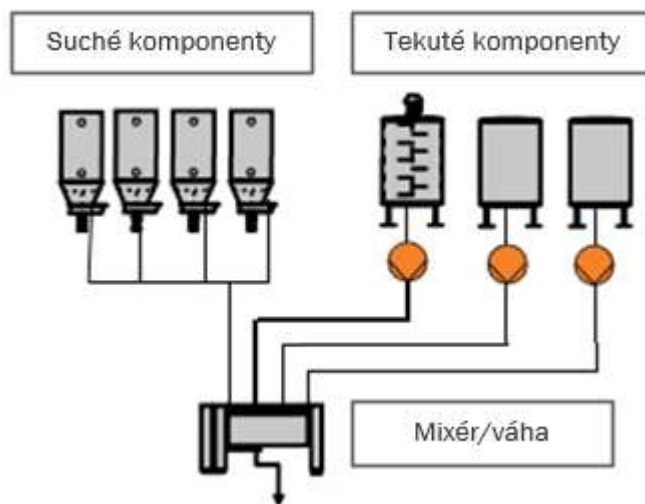
Pro výrobu čokoládových hmot jsou používány tyto zařízení: navažovací systém, mixér, válce, skládající se z předválců a pětiválců, a konže [1, 2, 5].

4.1 Navažování

Klíčová funkce navažování je dosáhnout přesného nadávkovaného množství tekutých a suchých ingrediencí do mixéru v nejkratším možném čase [2, 5].

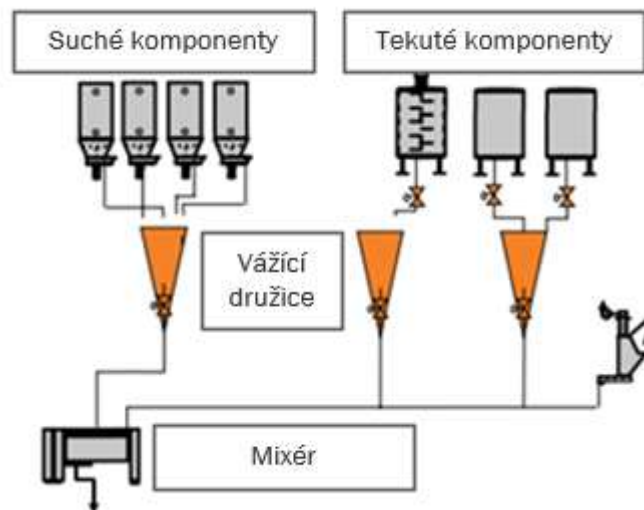
Koncept navažování je možno rozdělit na dva systémy. V prvním systému jsou suroviny navažovány přímo do mixéru, na rozdíl od druhého systému, ve kterém jsou materiály nejprve navažovány na vážicí družice a z nich přepouštěny / přesypávány do mixéru [1, 5].

Technologie, ve které probíhá navažování ingrediencí přímo ze zásobníků do mixéru je levnější a jednodušší na instalaci, ale navažování je méně přesné, protože rozsah váhy musí být větší. Celkový proces navažování je delší a nemůže docházet zároveň k míchání směsi a navažování další dávky [5].



Obrázek 3: navažování přímo do mixéru [5]

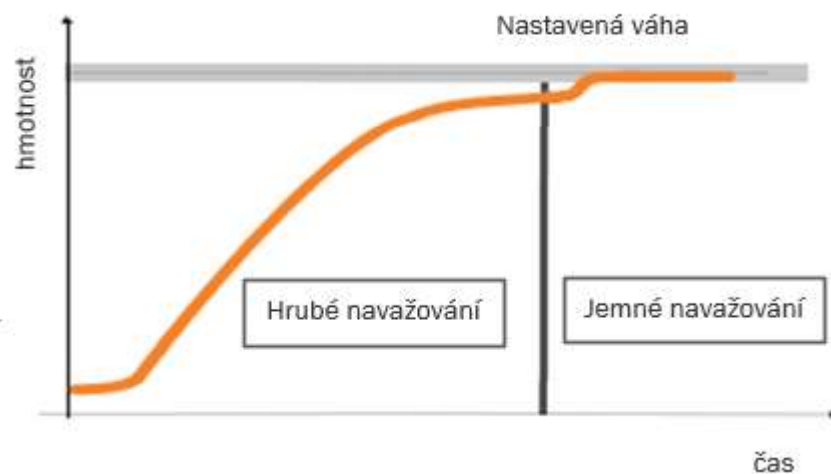
Pro technologii využívající navažovací zásobníky pro tekuté a sypké suroviny odděleně a následné vysypávání/vypouštění ingrediencí do mixéru je výhodou kratší čas navažování, které je zároveň velmi přesné. Nevýhodou je vyšší cena zařízení [5].



Obrázek 4: proces navažování přes vypouštěcí zásobníky [5]

Navažování surovin probíhá ve dvou krocích. Nejprve dochází k hrubému navažování a poté jemnému dovažování. To je pro suché ingredience řízeno pomocí zařízení rotačního tělesa zásobníku, dávkovače a klapky. Při hrubém navažování je rotační těleso roztočeno, dávkovač posune materiál směrem ke klapce, pro rovnoměrné navažování, a klapka je otevřena mezi 75-100 % jejího rozsahu. Během navažování je surovina nadávkována v mixéru pozvolna promíchávána. Pro dosažení požadované hmotnosti je pro 10% zůstatek daného materiálu používáno jemné navažování. Během něj dochází k zastavení otáčení tělesa i dávkovače a současně přivření klapky na přibližně 30 % jejího rozsahu. To způsobí pomalejší tok materiálu skrz dávkovací zařízení a požadovanou přesnost dávkování. Po dosažení požadované hodnoty se klapka zcela zavře a následně dojde ustálení váhy a odečtení navážené hmotnosti [5].

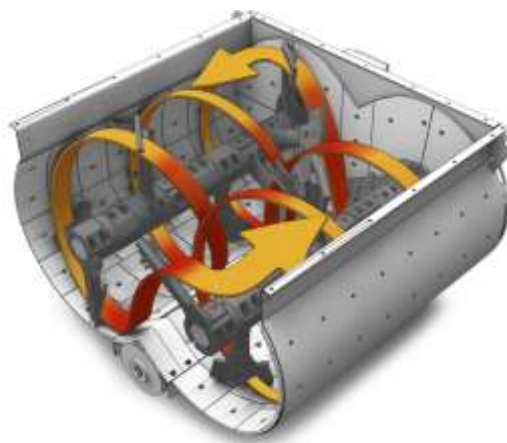
Pro optimalizaci nastavení optimální polohy klapky a dosažení nejnížší možné odchylky je využíván graf závislosti hmotnosti na čase navažování zobrazený na Obrázku 6. Navažování tekutých surovin je řízeno nastavením čerpadel a jejich tlaků [5].



Obrázek 5: graf závislosti hmotnosti na čase navažován [5]

4.2 Mixér

Hlavní funkcí mixéru je promíchání směsi. V závislosti na použité technologii navažování může mixér sloužit také jako váha. Pro průmyslovou výrobu jsou využívány mixéry o objemu nádoby 1000, 1500 nebo 2500 kg. Pro dokonalou homogenizaci směsi jsou využívány jednomíchadlové a vícemíchadlové mixéry. Množství míchadel má vliv na efektivitu míchání směsi a čas. Více využívány jsou mixéry s dvěma míchadly. Délka míchání je nastavena mezi 3-10 minutami. Během homogenizace směsi je v mixéru udržována stálá teplota, která se pohybuje mezi 40-55 °C. Nádoba, do které je materiál dávkován je duplikovaná. Duplikace je naplněna olejem, který je topnými tělesy nahříván a udržuje požadovanou teplotu v mixéru [5, 25, 26].



Obrázek 6 – schéma dvoumíchadlového diskontinuálního mixéru [24]

4.3 Předválec

Předválec je využíván jako nástroj pro předrafinaci a přípravu pro jemné válcování čokoládové hmoty na 5ti-válcích. Jeho primárním cílem je zaručit nejvyšší kvalitu výsledné čokolády, poskytnout flexibilní manipulaci a dlouhou životnost [26, 27].

Na předválcích jsou uživatelsky nastavovány parametry teploty a mezery/tlaku v závislosti na typu předválece. Tyto parametry lze upravovat během procesu rafinace, a tím zařízení umožňuje dosažení konzistentní výsledky a optimální kvalitu čokolády. Teplota má vliv na konzistenci a plasticitu rafinovaného produktu a její nastavení závisí na tučnosti směsi dávkované do předválece. Nastavení spáry/tlaku má vliv také na konzistenci zvalcovaného produktu a určuje výstupní jemnost směsi z předválece. Čím vyšší spára je nastavena, tím je směs hrubší a více vláčná. Pro tlak je výsledek opačný, a to čím vyšší je nastavení tlaku, tím je směs jemnější a více suchá. Rozsah jemností z předválece je odvíjen od velikosti krystalů cukru a pohybuje se v rozmezí 100-200 μm [27, 28].

Předválec je složený z násypky, klapky, dvou válců, nože a šnekový vynášecí systém [26, 27, 28].

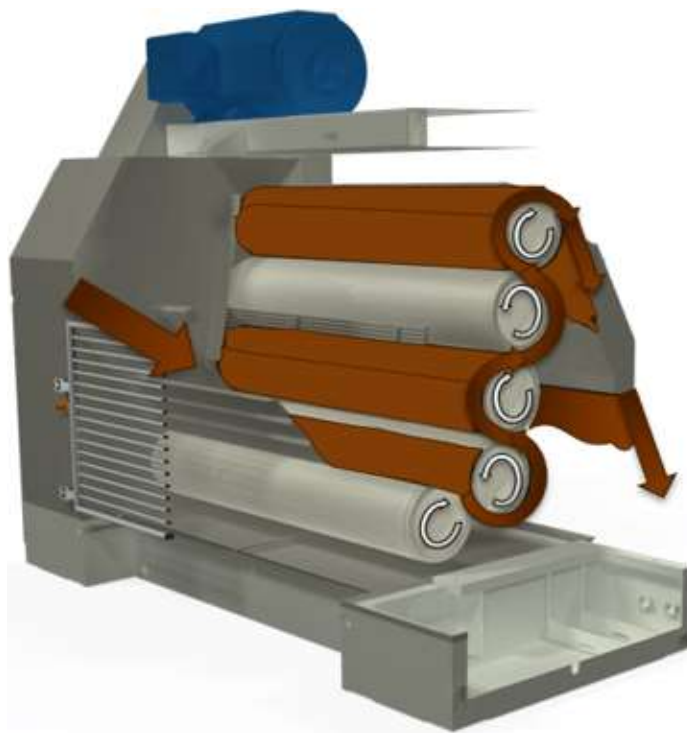


Obrázek 7 – předválec S značky Buhler [26]

Kapacitu předválece je ovlivněna také jeho velikostí. Běžně jsou v průmyslové výrobě využívány 3 velikosti předválců, jejichž délky válců jsou 900, 1300 nebo 1800 mm a jejich maximální kapacita se pohybuje v rozmezí 1000-11000 kg/h [26, 27].

4.4 5-ti válec

Využití 5ti-válce je dáno požadavkem zjemnit připravenou hmotu pod 30 μm . Jedná se o sofistikovaný stroj, který je nezbytný pro kvalitu konečného produktu. Válce fungují jako kontinuální zařízení a je často obtížné spojit jejich výkon s konžemi, aby byly efektivně využity [2, 5, 28].



Obrázek 8: schéma 5ti-válce [29]

5ti-válec je složený z násypky a zásobníku s klapkou, sady 5-ti válců, nože a magnetů. Materiál procházející skrz 5ti-válec je dávkován do zásobníku a postupně dávkován na 1. a 2. válec, mezi kterými je vtahován do sestavy válců. Za 5. válcem je umístěn nůž, který odřezává film z 5ti-válce. Vyválcovaná hmota poté padá na ocelový pás a je sypána do konží [26, 28, 30].

Existují 3 typy 5ti-válců, a to mezi manuálním, poloautomatickým a automatickým nastavením výsledné jemnosti hmoty z 5ti-válce. Manuální varianta je vhodná pro linky, kde jsou vyráběny podobné hmoty s podobnou plasticitou a obsahem tuku. Poloautomatickou verzi lze stejně jako automatickou využívat pro širokou škálu receptur, ale za podmínky kvalifikovaného personálu. Automatická verze funguje na principu senzoru umístěného nad 5. válcem, který snímá jemnost hmoty a podle výsledku je upravováno nastavení stroje [5, 26, 30].

Na 5ti-válci jsou nastavovány tyto parametry, a to maximální a minimální hladiny hmoty v zásobnících a na válcích, teploty válců, přitlaky válců a rychlosti válců [27, 28, 30].

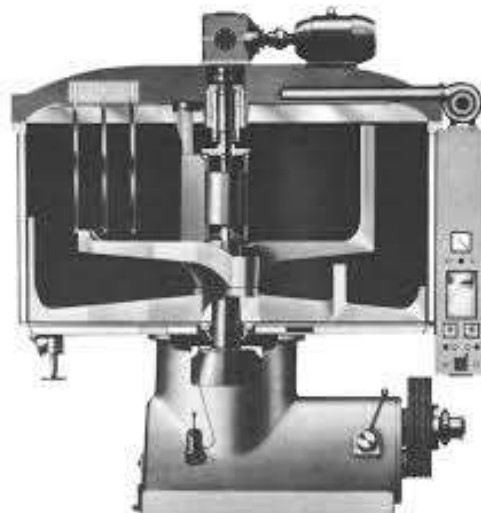
Využívány jsou různé varianty 5ti-válců s odlišnou délkou válců 1300, 1800 nebo 2500 mm [26, 27].

4.5 Konže

Existuje mnoho různých designů konží odlišující se tvarem nádoby, designem hřídele a počtem hřídelí a nádob. Jednotlivé typy konží jsou popsány níže v kapitole 4.5.1 [1].

4.5.1 Typy konžovacích zařízení

Petzholdt konže je zpravidla horizontální. Ve středu nádoby má umístěnou hřídel míchadla, která má do stran umístěná míchadla. Konže má tradiční kulatý tvar. V konži Petzholdt funguje rozstříkovací systém, který způsobuje navýšení povrchové plochy a napomáhá k odstranění aromatických látek během konžovacího procesu. Dále jsou shora upevněny míchadlové prvky, které tlačí hmotu pod pravým úhlem do míchadel. Ty pak tlačí hmotu dolů, kde je vystavena míchadlům, které ji rozestírají proti dně konže. Konže mají problémy zpravidla problémy s kontrolou teploty z důvodu horizontálního postavení a později byly postupně zaměňovány za vertikální typy konží [1, 2].

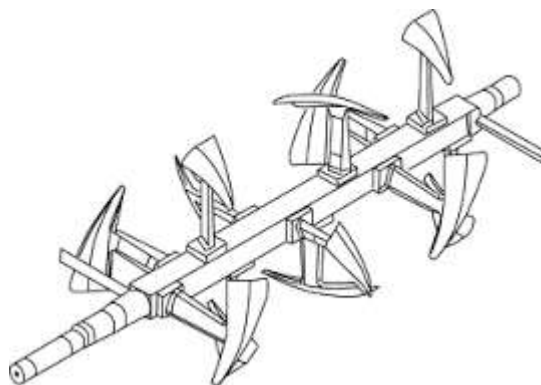


Obrázek 9: Petzholdt konže [31]

Dalším typem jsou ELK konže od společnosti Bühler. Jedná se o vertikální typ konže. Tento typ se vyznačuje svým příslušenstvím, a to zejména designem hřídele, která provádí tři operace: míchání, roztírání a vysoušení. Konec lopatky se téměř dotýká stěny válcovité

nádoby konže. Širší strana lopatky se otáčí dále od stěny nádoby a je ohnut tak, aby rameno vtahovalo konžovanou hmotu do mezery mezi lopatkou a stěnou konže. Nejprve je hmota konžována tenčí stranou lopatky vpřed. Dochází k prořezávání hmoty ostrým hrotem lopatky a širšími konci k jejímu převalování. To napomáhá k tvorbě pastovité konzistence a „kamenů“. Poté, co dosáhne hmota požadované měkkosti (nastaveno hodnotou zatížení motoru), dochází ke změně pohybu hřídele tak, že lopatky se otáčejí s širším koncem vpřed. Dochází k vysokému tření a hmota je stlačována mezi lopatkami a stěnou konže. Třením je vyvíjen chuťový profil výsledného produktu a dochází ke snížení viskozity hmoty [5, 26, 33].

Velikost ELK konží se pohybuje v rozmezí 4-12 t/proces. Rychlost otáčení lopatek se pohybuje rychlostí během procesu suchého konžování až 5 m/s [2, 3].



Obrázek 10: design míchadla ELK konže [32]

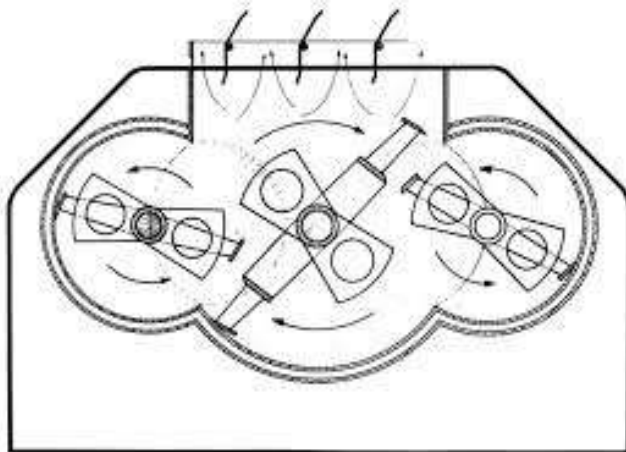
Dalším typem konží jsou vícekomorové zařízení obsahující míchadla, škrabky otáčející se kolem horizontálních hřídelí. Tyto ramena mohou být překrývající se anebo oddělené a mohou být stejné nebo odlišné velikosti [26, 32].

Při otáčení ramen se práškovitá čokoládová hmota zvedá do vzduchu. Poté pod vlivem kombinace odstředivé síly a gravitace spadá zpět na dno konže, odkud je opět přemístěna zpět míchačkami. V této fázi je hmota dobře provzdušněná, a proto je snadné, aby vlhkost a aromatické složky unikly, pokud je konže dobře větraná s nízkou relativní vlhkostí vzduchu [2, 31, 33].

Počáteční část míchání je klíčová pro získání čokolády s nízkou viskozitou. Výkon motoru zvyšuje s postupným zahušťováním čokolády. V mnoha moderních konžích má motor více rychlostí nebo kontinuálně nastavitelné rychlosti, což umožňuje rotorům zpomalit otáčení a vyhnout se přetížení. Jakmile počáteční výkon dosáhne svého vrcholu a začne klesat,

dochází k navýšení výkonu. Toto navýšení je u současných strojů řízeno servomotory. Vertikálně míchané konše obvykle disponují velmi dobrou kontrolou teploty. To je zvláště důležité při použití motorů s vysokým výkonem, protože tyto motory vytvářejí v konši velké množství třecího tepla, což může být nežádoucí z důvodů chuti [31, 33, 34].

Na obrázku 12 je znázorněna DŮC konže od společnosti Buhler, která disponuje 3 komorami se třemi hřídelemi různých velikostí [5, 32].



Obrázek 11: DŮC konže [31]

K odpaření vody a těkavých látek dochází na základě možnosti polohovatelnosti lamel, kterými je přebytečná vlhkost odstraňována. DŮC konže má uzavřený systém vody. Ve vícekomorové konši dochází k rychlejšímu promíchání hmoty z důvodu vyšší třecí zóny. Otáčení míchadel je pomalejší než u ELK konží. Střední největší míchadlo se otáčí maximální rychlostí 1,2 m/s a krajní míchadla rychlostí 0,9 m/s. Směr otáčení jednotlivých hřídelí se liší, a středová hřídel se točí opačným směrem oproti krajním hřídelím. Díky k tomu dochází k efektivnímu zpracování čokoládové hmoty. Na konci hřídelí jsou umístěny škrabky, které roztírají hmotu o stěny nádoby konže a tím ji ztekucují [5, 31, 34].

5 TECHNOLOGIE VÝROBY ČOKOLÁDOVÝCH HMOT

Čokoládová hmota je průmyslově vyráběna prostřednictvím mixéru, válců a konží. Prostřednictvím těchto zařízení dochází ke zpracování základních surovin a výroby čokoládové hmoty [35].

5.1 Mixování

V mixéru dochází ke smíchání a dokonalému zpracování tekutých a sypkých surovin obsažených v receptuře. Suroviny používané pro výrobu tradičních čokoládových hmot jsou kakaová hmota, kakaové máslo, cukr, mléčný prášek a syrovátka. Do mixéru jsou nadávkovány tyto suroviny postupně a zpravidla jsou vždy dávkovány nejprve tekuté suroviny a poté sypké. Toto pořadí je dodržováno z důvodu lepšího zpracování směsi.

Hmota v mixéru je míchána mezi 3-10 minutami v závislosti na receptuře. Během dávkování je směs jemně promíchávána z důvodu rovnoměrného rozložení hmotnosti po celém objemu mixéru. Po zamíchání je požadovaná řídká těstovitá konzistence. Tučnost směsi je výchozím parametrem pro následné zpracování směsi na válcích. Na tučnost v mixéru má vliv obsah volného tuku v mléčném prášku, jemnost částic v kakaové hmotě a jemnost cukru [5, 35].

5.2 Válcování

Válcování probíhá ve dvou fázích. V první fázi dochází k předválcování hmoty na jemnost 100-150 μm . Ve druhé fázi k vyválcování směsi na požadovanou finální jemnost hmoty, která se pohybuje mezi 10-40 μm [5, 35, 36].

Cílem předválcce je vytvoření optimální jemnosti částic hmoty a její plasticity pro dobrý průběh válcování na 5ti-válcích. Při předválcování dochází k mletí částic cukru, vznikají amorfní částice, které jsou obaleny tukem. Velikost částic na předválcí je pevně spojena s finální jemností částic směsi. Při nastavení strojů na válcování je nutné dbát na udržení stejné plasticity během výrob. Dobré plasticity na předválcí lze dosáhnout v závislosti optimálním obsahu tuku v mixéru a správného nastavení stroje [5, 35, 36].

Na předválcí musí být oba válce namontovány rovnoběžně k sobě. Při vzniku nerovnosti není velikost spáry po celé délce rovnoměrná a výsledná jemnost také ne. Za válci je umístěn dále nůž, který musí být nejpozději každých 100 h výkonu vyměněn. Frekvence výměny nože závisí na obsahu kakaových součástí ve hmotě, a to čím je vyšší obsah kakaových součástí, tím častěji musí být nůž měněn [5, 35, 36].

Princip vyválnování hmoty na 5ti-válnících spoívá v průchodu hmoty přes jednotlivé role válce, které mají různé teploty a rychlosti. Role jsou také stláčeny k sobě na obou stranách pomocí přítlaků. Nastavení zmíněných parametrů má společně s plasticitou hmoty významný vliv na finální jemnost vyválnované hmoty [5, 35, 36].

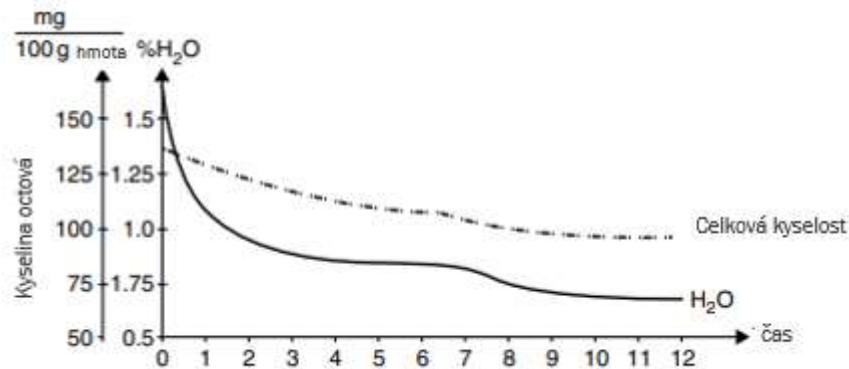
U 5ti válce je první válec nejpomalejší a pátý válec nejrychlejší. Prostor mezi válci č. 1 a 2 je nazýván jako dávkovací pasáž a válce č. 3,4 jsou nazývány jako mlecí pasáž. Za válcem č. 5 je umístěn nůž, který odřezává film vyválnované směsi z válce [5, 35, 36].

Finální jemnost není ovlivněna pouze rychlostí válců a teplotami válců, ale také množstvím dávkované hmoty do válců a její plasticitou. Čím je vyšší rychlost válců, tím je vyšší finální jemnost válcované hmoty. Teploty válců také ovlivňují množství dávkované hmoty do válců. Platí, že čím vyšší je teplota prvních válců, tím dochází k rychlejšímu dávkování směsi do válců a dojde ke zvýšení finální jemnosti hmoty [5, 35, 36].

5.3 Konžování

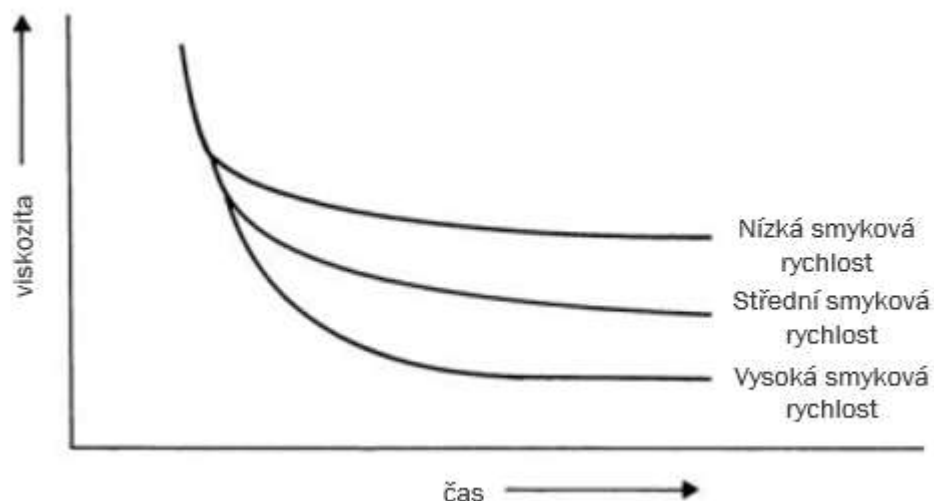
Cílem konže je v podstatě odstranění nežádoucích chutí, přenos složek chuti mezi ingrediencemi a v určitých případech vývoj příjemnějších chutí, které odpovídají finálnímu výrobku. To je zvláště důležité pro hořkou čokoládu a závisí převážně na větrání konže a době konžování. Vývoj chuti v mléčné čokoládě také závisí na použitých ingrediencích [1, 34].

Během procesu konžování je důležité odstranit nežádoucí kyselé chutě způsobené těkavými látkami obsaženými v kakaové hmotě, a vlhkosti. Kyselé složky jsou postupně snižovány během procesu konžování. Vlhkost je odstraňována především na začátku konžovacího procesu, proto je nezbytné zajištění správné ventilace konže a optimální nastavení teploty. Teplota hmoty ovlivňuje rychlost odpaření vlhkosti a její nastavení se liší podle ingrediencí a požadované chuti finálního produktu. Nicméně vysoká počáteční teplota v konži nebo nedostatečné odvětrávání mohou mít za následek tvorbu agregátů, které i při dodržení jemností při válcování způsobují hrubou chuť. U hořkých hmot je doporučená maximální teplota během konžování 70-85 °C, u mléčných hmot díky nežádoucím Maillardovým reakcím 50-60 °C. Vlhkost má silný zahušťující efekt na reologii čokoládových hmot. Platí, že se každých 0,3 % neodpařené vody rovná přídatku 1 % tuku, aby se vyrovnala viskozita. Většina vlhkosti pod 1 % je vázána v ingrediencích, například jako krystalická voda v laktóze (menší vliv na tokové vlastnosti během konžování) [2, 37].



Obrázek 12: graf závislosti poklesu vlhkosti a kyselosti na čase konžování [2]

Dalším důležitým faktorem během procesu konžování je míchání. Existují dva typy míchání, a to smykové a prodlužovací míchání. Při smykovém je čokoláda míchána mezi rotorem a stěnami konže. Intenzita míchání ovlivňuje stabilitu výsledného produktu a platí, že pokud je čokoláda míchání při pomalé smykové rychlosti po delší dobu, dosáhne stabilní úrovně. Při prodlužovacím míchání je materiál stlačován nebo roztírán o stěny konže. Nedostatečné míchání má za následek vysoké reologické parametry vzhledem k tučnosti vyrobené čokolády, a také horší stabilitu během skladování. Množství čokolády, která je míchána mezi lopatkami rotoru a stěnou konže má významný vliv na dobu konžování [32, 34].



Obrázek 13: graf závislosti změny viskozity na základě smykové rychlosti během času konžování [2]

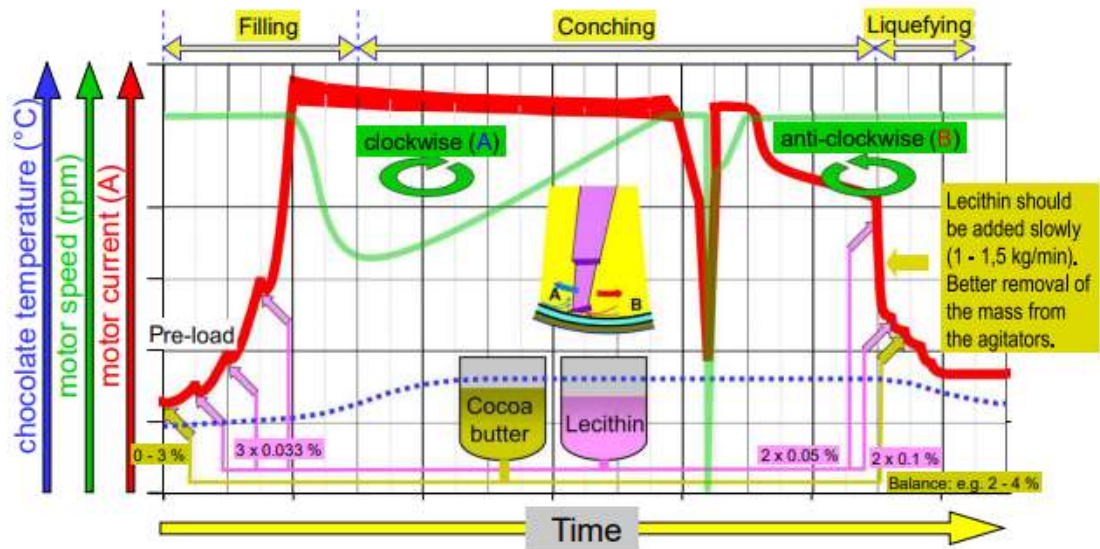
5.3.1 Fáze konžování

Tradiční konžování je složeno ze 3 fází, ačkoli tyto fáze nejsou možné nastavit na všech typech konží. Tyto fáze jsou suchá fáze, pastová fáze a tekutá fáze [34, 37].

Fáze suchého konžování je spojena s fází navažování. Materiál vstupující do konže je obvykle v práškové podobě, během navažování by se do konže často přidává malé množství tuku (přibližně 10-20 %), ale záleží na typu zařízení a použitých ingrediencích. V této fázi je žádané co nejvyšší odpaření přebytečné vlhkosti a její odstranění je poměrně snadné. Počáteční vlhkost hmoty je přibližně 1,6 % a je žádoucí snížit tuto hodnotu pod 1 %. Je nežádoucí míchat tmavou a mléčnou čokoládovou hmotu v jedné místnosti s otevřenými zařízeními, protože přenos vlhkosti a aromatických látek může mít negativní vliv na sensorický profil výsledného produktu a zvýšení reologických parametrů. S postupem plnění se zvyšuje zatížení motoru a stoupá elektrický proud, což je způsobeno tím, že drobná hmota se stává pastovitější. U některých starších zařízení nejsou motory dostatečně silné, aby pokračovaly v provozu při zvyšování zatížení motoru, a je proto nutné přivádění vyššího množství tuku a lecitinu v průběhu navažování. V tomto případě poté často nedochází k suchému konžování a výsledkem je čokoláda s relativně vysokou viskozitou na konci zpracování [32, 34].

Ve druhé fázi dochází k tvorbě pastovité konzistence. Energie, která je do čokolády vložena pohybem částic, je často tak vysoká, že teplota rychle stoupá. Teplota vodního pláště musí být proto o několik stupňů nižší než teplota čokolády. Tato teplota má velký vliv na konečnou chuť čokolády. V momentě, kdy se čokoládová hmota stává pastovitou, viskozita začne klesat z důvodu odstranění přebytečné vlhkosti a pokrytí pevných částic tukem. Obecně platí, že pokud dojde k navýšení výkonu konže, může dojít ke zkrácení procesu konžování [2, 32, 37].

Třetí tekutá fáze je velmi krátká a je potřebná k promíchání přidaných koncových tuků a lecitinu. Je nutné poskytnout dostatečný čas pro dosažení rovnováhy viskozity. Při suchém konžování probíhajícím při vysokých teplotách může dojít k prodloužení času této fáze z důvodu chlazení směsi před nadávkováním koncových tuků a lecitinu. Bylo zjištěno, že lecitin má nižší účinnost, pokud je nadávkován do směsi, jejíž teplota je vyšší než 60 °C. Pro finální produkt je nezbytná jeho stabilita z důvodu dalších fází výroby, jako je formování nebo omáčení [32, 34].



Obrázek 14: ideální průběh konžovací profilu v ELK konžích (modrá křivka-teplota čokolády, zelená křivka-rychlost motoru, červená křivka-zatížení motoru), v grafu jsou znázorněny 3 fáze (dávkování, konžování, ztekucení), dále je vyznačena oblast pravotočivého (clockwise) a levotočivého (anti-clockwise) otáčení míchadla a doporučený poměr a množství dávkování počátečních a koncových tuků a lecitinu [38]

6 REOLOGICKÉ PARAMETRY ČOKOLÁDOVÝCH HMOT

Reologie je vědní disciplína, která se zabývá studiem toku a deformace materiálů pod vlivem mechanických sil. Měření reologických vlastností čokoládových hmot během výrobního procesu je důležitým nástrojem pro kontrolu jejich kvality, protože reologické chování čokolády odráží její mikrostrukturu. Čokoláda je složitý systém, který obsahuje dispergované částice, tuk a krystaly tuku, které se vytvářejí během temperace a tuhnutí. V tekutém stavu je čokoláda tvořena pevnými částicemi (kakaové součásti, mléčné součásti, cukr) rozptýlenými v tukové fázi (kakaové máslo, mléčný tuk, případně rostlinné náhrady kakaového másla). Díky obsahu pevných částic vykazuje čokoláda v tekutém stavu typicky newtonovské chování, což znamená, že rychlost deformace není úměrná vyvinutému napětí. Toto chování je obvykle charakterizováno plastickou viskozitou a hranicí toku [39, 40, 41].

Mez toku (hranice toku) je množství energie potřebné k uvedení materiálu do toku, zatímco plastická viskozita je energie, kterou je nutné vyvinout, aby kapalina tekla konstantní rychlostí. Existuje několik matematických modelů, které popisují reologické vlastnosti čokolády, jako například model Binghamův, Herschel-Bulkleyův a nejčastěji používaný model – Cassonův. Pokud je viskozita čokoládové směsi příliš vysoká, může být obtížné ji formovat a mohou se v ní vytvářet bubliny, které je těžké odstranit z forem. Viskozita také ovlivňuje sensorický dojem při konzumaci čokolády. Reologické vlastnosti čokoládové hmoty jsou ovlivněny obsahem tuku, velikostí pevných částic, jejich distribucí, obsahem vody, obsahem emulgátorů, dobou temperace a teplotou [39, 40, 41].

Během výrobního procesu se struktura čokoládové hmoty mění. Dochází k redukci velikosti částic, agregaci nebo rozrušení shluků částic a změně vzdálenosti mezi jednotlivými částicemi surovin. Všechny tyto faktory spolu s recepturou ovlivňují reologii čokoládových hmot. Stanovení reologických vlastností čokolády je klíčové pro správný průběh výrobního procesu a umožňuje výrobu vysoce kvalitních výrobků s definovanou kvalitou [40, 42].

Reologické vlastnosti čokolády jsou také ovlivněny složením receptury. Tuk (kakaové máslo, mléčný tuk, substituenty kakaového másla) a emulgátory mají zásadní vliv na reologické vlastnosti. Množství tuku ve směsi ovlivňuje interakci mezi částicemi, jejich distribuci a vzdálenost mezi nimi. Nižší koncentrace kakaového másla spolu s vysokým obsahem pevných částic zvyšují interakce mezi částicemi a vedou k vyšší viskozitě. Pro úpravu viskozity je potřeba přidat další tukovou složku, aby se dosáhlo snížení viskozity a

meze toku. Přidání lecitinu snižuje mezifázové napětí, což snižuje mez toku a viskozitu směsi [43, 44].

Reologické vlastnosti čokoládové směsi jsou dále ovlivněny průběhem a parametry výrobního procesu. Teplota má významný vliv, protože při vyšší teplotě klesá plastická viskozita. Důležitým technologickým krokem, který ovlivňuje reologické vlastnosti, je konžování, při kterém dochází k odpařování vody a významnému snížení viskozity a meze toku. Parametry výrobního procesu ovlivňují vlastnosti pevných částic ve směsi. Velikost pevných částic hraje klíčovou roli ve viskozitě produktu. Příliš malé částice způsobují vysokou viskozitu a je nutné přidat další tuk, který obalí jemné částice a sníží viskozitu směsi. Tvar pevných částic a množství vzduchu obsaženého v částicích také ovlivňují reologii. Přítomnost vzduchu ve velkém množství zvyšuje viskozitu a částice se obvykle rozpadají, což vyžaduje další obalování tukem (kakaovým máslem) [39, 41, 42].

Mléčné složky mají významný vliv na reologické vlastnosti čokoládových hmot. Mléčné složky, zejména ty s vyšším obsahem volného mléčného tuku, snižují viskozitu čokoládových směsí. Množství volného mléčného tuku má hlavní vliv na reologické vlastnosti mléčných čokolád. Kromě snížení viskozity přispívá mléčný tuk také k rozvoji chuti a má ekonomickou výhodu. Díky přidání mléčného tuku není nutné během konžování přidávat velké množství kakaového másla k úpravě viskozity. Dalšími faktory ovlivňujícími reologické vlastnosti jsou povrchové vlastnosti mléčných složek a jejich velikost. Způsob získávání mléčných složek také hraje roli. Například mléko sušené válcově by nemělo nahrazovat mléko sušené standardní sprejovou metodou, protože sprejově sušené mléčné složky nemají dostatečné tokové vlastnosti (nedostatek volného mléčného tuku). Jako možná alternativa k zvýšení schopnosti mléčné složky ovlivnit reologické vlastnosti čokolády se jeví úprava parametrů sprejového sušení s cílem zvýšit množství volného mléčného tuku v sušeném mléčném produktu nebo přidání samotného mléčného tuku ke standardně sprejově sušenému mléku [37, 40, 44].

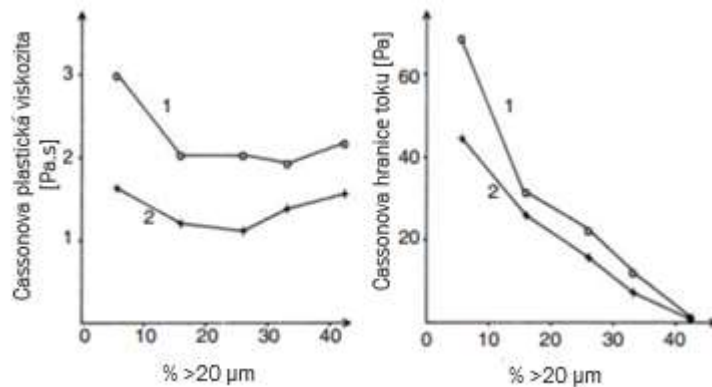
Pokud jsou do čokolády přidávány pouze určité frakce mléčného tuku, zejména s cílem ochrany čokolády před tukovým výkvětem, ovlivňuje to také reologické chování čokolády během výrobního procesu. Ačkoli se reologické vlastnosti čokolády s vysoko tajícími frakcemi mléčného tuku téměř nemění během konžování, může to významně ovlivnit proces temperace. Čokoládová hmota s vysoko tajícími frakcemi mléčného tuku má výrazně vyšší viskozitu během formování a je obtížné ji zpracovat za standardních podmínek. V případě těchto čokolád se proto doporučuje použít vyšší temperační teploty [43, 44].

6.1 Faktory ovlivňující reologické parametry čokoládových hmot

Jedním z hlavních důvodů měření reologických parametrů čokolády je možnost ji upravit, pokud se při výrobě stanou potíže. Pro možnost úpravy je nezbytné znát základní faktory [34, 41].

Je nezbytné rozevlát cukr a pevné částice čokolády na velikost menší než 30 μm , aby se zabránilo pískovité textuře. Čím jemnější je čokoláda, tím vyšší je její viskozita. Velikost částic a viskozita jsou rozdělení, která lze měřit pomocí laserových zařízení. Výtěžnost čokolády je ovlivněna interakcí částic, zatímco plastická viskozita je závislá na specifické povrchové ploše. Při vysoké hodnotě výtěžnosti lze použít povrchově aktivní látku k vyrovnání [2, 34, 41].

Na obrázku 16 lze vidět, jak při dodržení stejné jemnosti dochází ke změnám reologických parametrů s měnícím se obsahem tuku. Při zvýšení tučnosti čokolády o 2 % dochází ke snížení viskozity téměř o třetinu. U hranice toku při navýšení tučnosti z 30 % na 32 % je znatelný rozdíl pozorován při finální jemnosti čokolády 10 μm . Při zvyšování jemností je rozdíl mezi hodnotami hranice toku zanedbatelný [2, 41].



Obrázek 15: vliv jemnosti částic čokoládové hmoty na hodnoty Cassonovy viskozity u hmot s obsahem lecitinu 0,25 % a obsahem tuku (1-30 %, 2-32 %) [2]

7 SKLADOVACÍ PODMÍNKY ČOKOLÁDOVÝCH HMOT

Tekutá mléčná a hořká čokoláda je skladována mezi 40 a 45 °C, zatímco bílá čokoláda by měla být skladována mezi 38 a 40 °C z důvodu tepelné náchylnosti na stabilitu hmoty během skladování. Bílé hmoty jsou díky vysokému obsahu mléčných složek a tuku náchylné na vyšší teploty, při kterých může dojít k nežádoucím Maillardovým reakcím. U tmavých čokolád je teplota skladování vyšší z důvodu vyšší teplotní odolnosti. Je důležité udržovat rovnoměrnou teplotu čokolády a zabránit vzniku horkých nebo studených oblastí. Míchání čokolády je nezbytné pro zabránění oddělení tuku od pevných částic a pro správný tok čokolády. Při skladování je také důležité kontrolovat vlhkost prostoru, aby se zabránilo absorpci vlhkosti čokoládou [2, 7, 34].

Nádrže pro skladování čokolády jsou vyrobeny z nerezové oceli a jsou vybaveny vodou ohříváním pláštěm. Je důležité pravidelně kontrolovat plášť nádrže a potrubí na korozi. Rychlost míchání závisí na velikosti nádrže, množství čokolády a receptu. Nedostatečné míchání může vést k tvorbě tukové vrstvy na vrchu čokolády. Při přepravě čokolády je také důležité zabránit otřesům, které by mohly způsobit oddělení tuku a vytvoření tukové vrstvy [1, 39].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem práce bylo ověřit vliv nastavení strojních zařízení použitých během výrobního procesu čokoládových hmot na jejich reologické parametry, a tím dosáhnout snížení celkového množství tuku ve finálních výrobcích.

V závislosti na nastavení byly sledovány vedlejší cíle, které zároveň tvořily ukazatele správného nastavení strojních zařízení. Vedlejším cílem bylo dosáhnout optimálních konžovacích grafů u problematických čokoládových hmot bez optimalizace receptury a sledovat změnu reologických parametrů v závislosti na podmínkách skladování.

9 CHARAKTERISTIKA TESTOVANÝCH ČOKOLÁDOVÝCH HMOT

Testovány byly 3 čokoládové hmoty, mezi které byly pro účely mojí diplomové práce vybrány 2 mléčné čokoládové hmoty (hmota A, B) a 1 hořká hmota (hmota C).

9.1 Hmota A

Hmota A je legislativně řazena mezi mléčnou čokoládu. V čokoládové hmotě je obsažena kakaová hmota, máslo, odstředěné mléko, cukr, CBE, mléčný tuk a lecitin (viz tabulka 4). Hmota je dále díky svým vlastnostem využívána pro výrobu čokoládových figurek.

Tabulka 4: surovinové složení hmoty A v hm. %

Suroviny:	% hm.
Kakaová hmota	8
Kakaové máslo	17,6
Mléko odstředěné sušené	24,2
Cukr krystal	41,2
CBE	4,8
Mléčný tuky	3,5
Lecitin	0,7

Hmota byla vybrána díky svému recepturnímu složení, a to vysokému obsahu tuku (31 %), CBE a obsahem lecitinu 0,7 %. U hmoty byly provedeny úpravy strojních parametrů pro dosažení efektivnějšího konžování a následné možnosti použití nižšího obsahu tuku a lecitinu. Výsledkem efektivnějšího konžování je vyšší stabilita hmoty v rámci reologických parametrů.

Hmota A je válcována na finální jemnost 20-25 μm . Dále jsou u hmoty A měřeny tukové vlastnosti stanovením hranice toku a viskozity. Hranice toku je definována mezi hodnotami 1-3,5 Pa a viskozita mezi 1-3 Pa.s.

9.2 Hmota B

Hmota B splňuje legislativní podmínky pro mléčnou čokoládu. Je složena z kakaové hmoty, másla, mléka plnotučného a odstředěného, syrovátky, cukru, CBE, mléčného tuku a lecitinu (tabulka 5).

Tabulka 5: surovinové složení hmoty B

Suroviny:	% hm.
Kakaová hmota	11,5
Kakaové máslo	13,3
Mléko plnotučné sušené	16,0
Mléko odstředěné sušené	2,5
Syrovátka sušená	2,8
Cukr krystal	45,8
CBE	4,8
Mléčný tuky	2,5
Lecitin	0,5

Hmota je charakteristická vysokým podílem mléčných složek. Je velmi náchylná na teplotu a relativní vlhkost během výrobního procesu a také na skladovacích podmínkách čokoládových hmot. Jejím složením a parametry je vhodná pro aeraci.

Hmota B je válcována na finální jemnost 30-35 μm . Dále jsou u hmoty B měřeny tokové vlastnosti, a to konkrétně hranice toku a viskozita. Rozmezí hodnot pro hranici toku je 2,1-3,3 Pa a viskozita se musí pohybovat mezi hodnotami 1,9-2,5 Pa.s.

9.3 Hmota C

Hmota C je legislativně řazena mezi hořké čokolády. Její obsah kakaových součástí je 52 %. V receptuře jsou obsaženy pouze 4 suroviny, a to kakaová hmota, kakaové máslo, cukr a lecitin (tabulka 6).

Tabulka 6: surovinové složení hmoty C

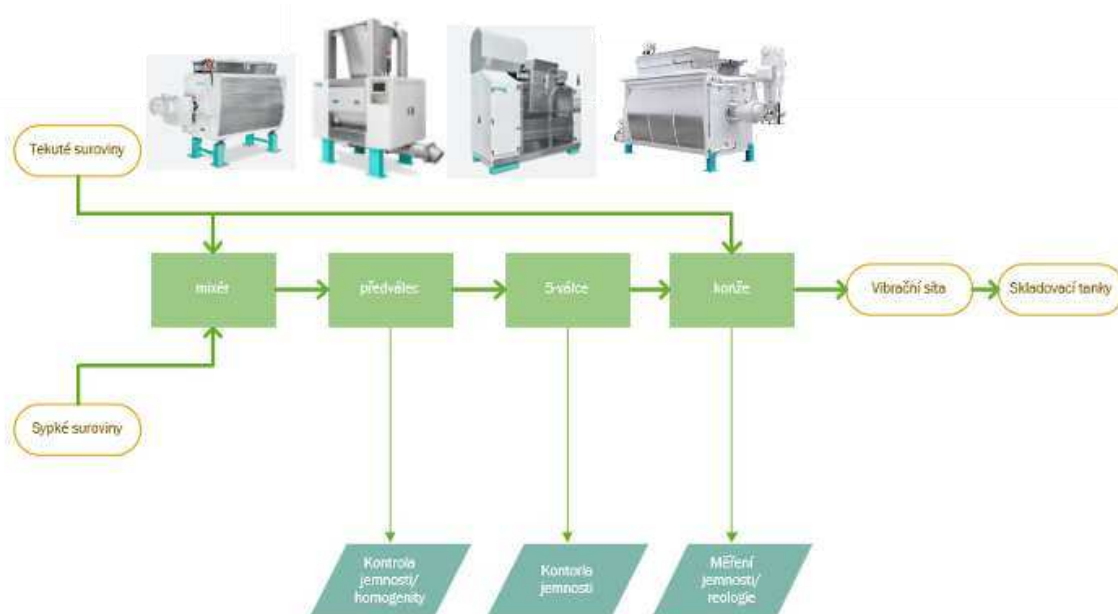
Suroviny:	% hm.
Kakaová hmota	51,5
Kakaové máslo	3,7
Cukr krystal	44,3
Lecitin	0,4

Díky vysokému obsahu kakaové hmoty v mixéru je velmi obtížné dosáhnout dobrého průběhu konžování z důvodu vysoké tučnosti směsi (28 %) v první fázi výroby. Cílem je dosažení lepšího konžovacího profilu a vyššímu odparu vody během výrobního procesu.

Mezi měřené reologické parametry u hmoty C jsou také hranice toku a viskozita. Hodnoty hranice toku jsou definovány mezi 6-8 Pa a pro viskozitu mezi 4,5-6,5 Pa.s. Hmota C je válcována na finální jemnost 20-25 μm .

10 METODIKA – VÝROBNÍ PROCES

Pro výrobu čokoládových hmot byl využit proces DoMiReCo, tedy navažování, mixování, válcování a konžování. Praktická část probíhala při standartní výrobě na originálních strojích Bühler, které budou podrobněji popsány níže.



Obrázek 16 - proces DoMiReCo [26]

10.1 Proces výroby vzorků

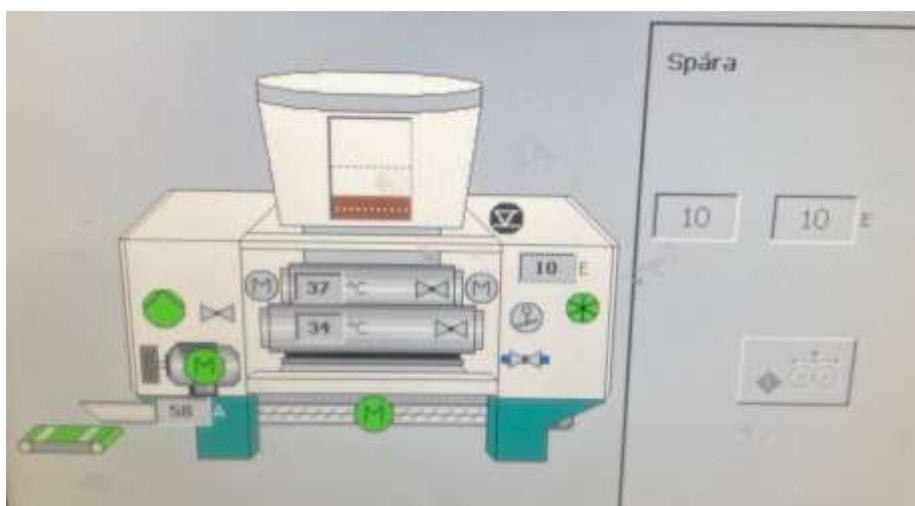
Testování bylo prováděno během standartní výroby čokoládových hmot na 4, 5 a 6 t batch. K výrobě byly využity tyto zařízení:

- Navažovací systém
- Mixér/váha
- Předválec
- 2 5ti-válce
- Konže ELK6

Výroba probíhala automaticky dle předem nastaveného recepturního modulu na každý výrobní stroj. Do mixéru byly nadávkovány suroviny dle receptury s maximální odchylkou $\pm 1\%$ a poté byla směs promíchána po dobu 3 minut při $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Hotová směs byla postupně dávkována do předválece. V předváleci byly nastavovány 3 parametry, a to teploty válců a velikost spáry mezi nimi. Válce jsou nastaveny na teploty

$V_1=25-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $V_2=34-41\text{ }^{\circ}\text{C}$. Velikost spáry byla měněna v závislosti na hmotě a její plasticitě, tučnosti, ale také teplotě a relativní vlhkosti prostředí. Na výstupu z předválce jsou odebírány vzorky hmoty pro kontrolu její jemnosti, která se musí pohybovat v rozmezí 100-150 μ . Během odebírání vzorku je zároveň kontrolována plasticita předválcované směsi. Vzorek musí mít plastické vlastnosti, nesmí se lepit ani rozpadat.



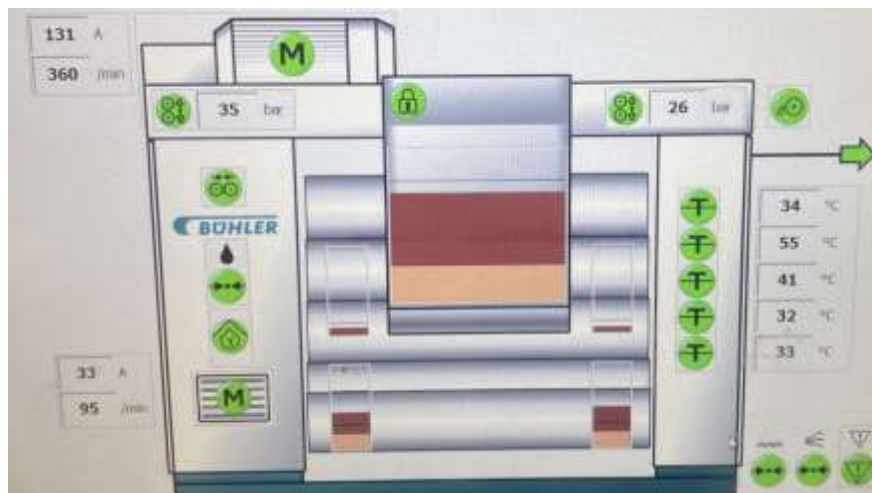
Obrázek 17: vizuální schéma předválce a nastavitelných parametrů

Směs se pomocí pásového dopravníku přesune do násypky 5ti-válců. V nich jsou nastavovány a měněny tyto parametry: teploty jednotlivých válců, přítlaky válců na straně motoru a chlazení, rychlost 2. válce a rychlost 5. válce. Každý parametr ovlivňuje jiným způsobem chování směsi na válcích a taky její finální jemnost. Za 5. válcem je nainstalován nůž, pomocí kterého je hmota odřezávána z válce na prášek, případně drobné šupiny.

Teploty jednotlivých válců ovlivňují rychlost průchodu hmoty válci, a tím výšku filmu na válci a finální jemnost hmoty. Teploty jsou nastavovány dle daných pravidel a doporučení. Teplota prvního a druhého válce se musí pohybovat okolo 25-35 $^{\circ}\text{C}$. Čím teplejší jsou válce, tím dochází k rychlejšímu nabírání hmoty do válců a zvyšování její finální jemnosti. Na 3. válci je teplota nastavována mezi 40-45 $^{\circ}\text{C}$ a dochází k přehřevu hmoty. Na 4. válci je nejvyšší teplota, která se pohybuje v rozmezí 50-60 $^{\circ}\text{C}$ a na posledním válci je nastavována stejná teplota jako na válci prvním. Nastavené teploty na válcích mají významný vliv na kvalitu filmu a jeho požadovanou finální jemnost.

Dalšími parametry nastavovanými na 5ti-válci jsou přítlaky. Tento tlak stlačí ze shora jednotlivé válce k sobě, a tím zajišťuje dosažení jemností až k 10 μ . Přítlak na straně motoru (levá část Obrázek 19) musí být vyšší z důvodu řemene motoru, který vytváří protitlak. Tlaky na straně chlazení se pohybují mezi 32-35 bar. Přítlak na straně chlazení (pravá část

Obrázek 19) je nastavován v rozmezí 25-29 bar. Při špatném nastavení přitlaku dochází k nerovnoměrné finální jemnosti hmoty na pravé a levé straně a také k nadměrnému opotřebení válců. Při vyšším nastavením tlaků jsou kraje válců nadměrně přitaženy k sobě a ve středu válce vzniká větší mezera. Zároveň může dojít k odštípnutí kraje válců, nadměrnému zahřívání díky vysokému tření a spálení válců. Při nastavení příliš nízkých hodnot tlaků není možné dosažení požadované jemnosti a ve středu válce bude u hmoty naměřena nižší jemnost než na krajích válce.



Obrázek 18: vizuální schéma 5ti-válce a nastavitelných parametrů

Posledními parametry se nastavují rychlosti válce 2 a 5. Rychlost válce 5 je konstantní a je nastavena vždy na 360 ot/min. Tato hodnota je nastavována v závislosti na zatížení motoru, které nesmí přesáhnout hodnoty 160 A. Rychlost válce 2 je výchozím parametrem pro úpravu a dodržení požadovaných jemností. Rychlost se pohybuje v rozmezí 60-120 ot/min v závislosti na požadované finální jemnosti čokoládové hmoty. Čím vyšší nastavení ot/min, tím je finální jemnost vyšší. Rychlost ostatních válců je odvíjena od 2. válce. Vždy platí, že válec č. 1 se otáčí nejpomaleji a válec č. 5 nejrychleji.

Mimo nastavitelné parametry má významný vliv konzistence a plasticita hmoty z předválce a během výroby dochází v případě potřeby k optimalizaci parametrů na předválci nebo pětiválci. Po vyválnování hmoty je opět pásovým dopravníkem hmota postupně dávkována do konží, kde probíhá hlavní a nejdélší část výrobního procesu čokolády.

V rámci recepturního modulu jsou nastavovány tyto parametry: šířka jednotlivých konzovacích kroků, procenta otevření lamel, teplota hmoty, teploty vody, dávkování jednotlivých surovin a jejich množství, otáčky, směr otáčení míchadla, podmínky pro

otočení směru míchadla, ukončení navažování materiálu do konží a pokyn k vyprazdňování konže a ukončení výrobního procesu.

Nastavení jednotlivých parametrů je na technologovi výroby a má to přímý vliv na průběh konžování a výsledné podobě a senzoričkému profilu hmoty.

Krok	Č.	Popis	P1	E1	P2	E2
1	0	Šířka kroku	60	min		
	81	Požadovaná hodnota lamely	0	%		
	54	Skok požadované hodnoty teploty vody	45	°C		
	36	Přidání od	1	Kakaové maslo	32,6	kg
	36	Přidání od	2	mlečný tuk	60,0	kg
	36	Přidání od	4	Dávkovací systém 4	120,0	kg
	24	Start dávkování čokoládového prášku				
2	7	Otáčkový skok vpravo	1200	RPM		
	0	Šířka kroku	50	min		
	20	Maximální otáčky =	2300	RPM		
	10	Pohon vpravo proud =	230	A		
	36	Přidání od	3	lecitin	3,0	kg
	55	Skok požadované hodnoty teploty čokolády	50	°C		
	81	Požadovaná hodnota lamely	60	%		
3	32	Čekejte na konec dávkování				
	0	Šířka kroku	220	min		
	55	Skok požadované hodnoty teploty čokolády	70	°C		
	15	rychle vpravo -> vlevo proud < ??A ??A	200	A	230	A
4	81	Požadovaná hodnota lamely	60	%		
	0	Šířka kroku	40	min		
	55	Skok požadované hodnoty teploty čokolády	60	°C		
	81	Požadovaná hodnota lamely	0	%		
	36	Přidání od	4	Dávkovací systém 4	121,4	kg
	36	Přidání od	1	Kakaové maslo	70,0	kg
	36	Přidání od	2	mlečný tuk	66,5	kg
5	36	Přidání od	3	lecitin	30,0	kg
	7	Otáčkový skok vpravo	1800	RPM		
	0	Šířka kroku	5	min		
	7	Otáčkový skok vpravo	1200	RPM		
6	55	Skok požadované hodnoty teploty čokolády	50	°C		
	0	Šířka kroku	5	min		
	7	Otáčkový skok vpravo	1200	RPM		
46	81	Požadovaná hodnota lamely	60	%		
	46	Vyprazdňování				

Obrázek 19: recepturní model pro Buhler ELK6 konží

Šířkou kroku je definována délka jednotlivých sad parametrů. V případě, provedení jakékoli změny parametru je potřeba definice nové šířky kroku. V prvním kroku dochází k roztočení konže a nadávkování vstupních tuků. Zároveň dochází k začátku dávkování vyválcované směsi. V druhém kroku dochází zpravidla ke zvýšení intenzity pravotočivého otáčení míchadla, otevření lamel, aby mohlo začít odpařování přebytečné vody a případnému do dávkování zbytku vstupních tuků. Množství vstupních tuků nadávkovaných do konže by se mělo pohybovat mezi 20-40 % z podílu tuku určeného pro konžování. Na konci kroku dochází k ukončení dávkování materiálu do konže. Ve 3. kroku probíhá v tomto případě suché konžování. Během něj probíhá intenzivní míchání směsi a vypařování těkavých látek

a zbytkové vody. Mimo to dochází k uvolnění tuku z materiálu do prostředí a změně konzistence směsi z prášku na plastickou lepivou směs. Při optimálních podmínkách dochází k tvorbě „kamenů“. Délka suchého konžování se pohybuje mezi 4-72 hodinami. Během suchého konžování by u výroby v ELK konžích mělo dojít k přetočení směru otáčení z pravotočivého na levotočivé. Díky tvaru míchadel dochází k ztekucení směsi v konži bez použití tuků a emulgátorů. Otočení by mělo proběhnout přibližně ve 2/3 suchého konžování.

Po ukončení suchého konžování následuje další krok, ve kterém dochází k nadávkování koncových tuků a emulgátorů (lecitinu). Poté dochází ke zkapalnění hmoty a jejímu vymíchání. V následujícím kroku dojde opět k přetočení míchání zpět na pravotočivé a hmota je zchlazována na skladovací teploty, a to přibližně 45 °C a domíchána. Po ukončení výrobního procesu je z konže odebrán vzorek pro stanovení finální jemnosti a výsledných reologických parametrů. Pokud jsou v požadovaných rozmezech, může být hotová čokoláda vyčerpána do skladovacích zásobníků.

10.2 Skladování hmot

Byly sledovány změny reologických parametrů v čase, a to po 4, 8, 24, 48 a 72 hodinách. Hmota byla skladována v tanku s řízeným mícháním, a to 10 minut míchání a 50 minut odpočinek. Nastavené skladovací teploty jsou pro mléčné hmoty i hořké hmoty 40-50 °C.

Pro každé stanovení byl odebrán vzorek a měřena hranice toku a viskozita na rotačním viskozimetru. Každý vzorek byl vždy měřen pouze jednou.

11 METODIKA PRÁCE

K měření byly použity vyrobené čokoládové hmoty připravovány metodou popsanou v kapitole 10. Měněny byly parametry na válcích, tučnost hmoty ve fází míchání a konžování, teplota během výrobního procesu a vlhkost surovin. K měření byly použity metody stanovující reologické parametry (hranice toku, viskozita) a stanovení jemnosti čokoládové hmoty pomocí mikrometru.

11.1 Princip výrobního procesu

Před každou zkouškou byly připraveny veškeré recepturní moduly na strojích, popsané v kapitole 10 a cíl zkoušky.

Během zkoušky byl monitorován celý proces a zaznamenávány možná zlepšení do dalších testů. Na základě výsledků reologických parametrů a konžovacího profilu byl zpracován výstup testu a v případě nutnosti příprava dalšího testování pro dosažení cíle diplomové práce.

11.2 Stanovení reologických parametrů pomocí viskozimetru

Metoda se řídí doporučením ICA (International Confectionery Association), jejíž cílem je poskytnout reprodukovatelná měření vztahující se k průmyslovému využití měření čokolád. K měření byl využit Cassonův model k reprezentaci viskozity a některých suspenzí. Metoda umožňuje stanovení parametrů hranice toku, viskozity při vysoké smykové rychlosti [45, 46, 47].

Metoda spočívá ve stanovení odporu proti toku materiálu při různých použitých smykových rychlostech v rotačním viskozimetru vybaveným soustředným válcovým měřicím systémem. Pomocí pružiny je měřící bod připojen k motoru, který se otáčí řízenou rychlostí. Odpor kapaliny vůči motoru je měřen jako kroutící moment na měřící pružině [46, 47, 48].

Vzorek je po určitou dobu míchán, aby došlo k vyrovnání teplot mezi vodní lázní a čokoládou. Měření tokových vlastností je poté prováděno při 40 °C s použitím smykových rychlostí v rozmezí 2–50 s⁻¹. Viskozita je poté dopočítána ze smykového napětí naměřeného v celém rozsahu smykové rychlosti [45, 46, 49].

11.2.1 Chemikálie

Newtonská kalibrační kapalina, zpravidla minerální nebo silikonový olej, s vhodnou viskozitou, typicky 1,5-2 Pa.s s přesností < 2 % certifikovanou při 40 °C. Používaný kalibrační olej je Viskosity Oil Standard ASTM S2000 [46, 50].

11.2.2 Materiál

- trouba s ventilátorem
- vodní lázeň s cirkulujícím termostatem

11.2.3 Zařízení viskozimetr

Rotační viskozimetr, který má měřicí systém s koaxálními válci a je schopen měřit při smykových rychlostech v rozsahu 2–50 s⁻¹ včetně krajních hodnot a regulací teploty. Nastavení přístroje musí odpovídat rozsahu viskozity vzorku a opakovatelnost měření musí být u kalibračních olejů ± 2 %. Viskozimetr je vybaven termostaticky řízenou vodní lázní, která je používána k udržení teploty v měřicím systému na 40 °C ± 0,1 °C [49, 50].

11.2.4 Příprava vzorku a postup měření

Předběžná úprava vzorku zahrnuje temperování vzorku čokoládové hmoty a válce, důkladnou homogenizaci vzorku a případné odstranění přebytečného vzduchu [50, 51].

Odebraný vzorek čokoládové hmoty je vložen do sušárny nastavené na 42 °C a nechá se vytemperovat. Do sušárny je vložený i měřicí válec, aby nedocházelo ke krystalizaci čokolády před začátkem měření. Po dosažení ideální teploty musí být vzorek důkladně promíchán, aby se homogenizoval. V případě výskytu velkého množství bublin se s válcem naplněným čokoládou lehce poklepe [46, 51, 52].

Naplněný válec je poté připevněn k viskozimetru a je zkontrolováno, zda je ve válci obsaženo dostatek vzorku. Měření je řízeno automaticky a je prováděno v rychlostech 2, 5, 10, 20, 40 a 50 s⁻¹. Celková doba zvýšení, udržení a snížení musí být konstantní a probíhá do 7 minut, z nichž zvyšování smykové rychlosti probíhá 3 minuty, udržení na rychlosti 50 s⁻¹ po dobu 1 minuty a postupné snižování smykové rychlosti zpátky na 2 s⁻¹ do dobu 3 minut [49, 50, 53].

11.2.5 Vyjádření výsledků měření

Hranice toku je vyjádřena jako napětí při 5 s^{-1} na vzestupu smykové rychlosti, který je vydělen 10 [45, 51].

Viskozita je zaznamenána rovněž při vzestupu smykové rychlosti na hodnotě 40 s^{-1} a vynásobena hodnotou 0,74 [52, 53].

11.3 Stanovení jemnosti pomocí mikrometru

Jedná se o rychlé orientační kvantitativní stanovení velikosti částic hrubých předválcovaných a válcovaných čokoládových vloček a čokoládové hmoty. Velikost částic čokolády je velikostí největších částic vzorku, měřené touto metodou.

Principem metody je rozředění malého množství čokoládové hmoty s kapalným parafinem nebo rostlinným olejem a měření velikosti částic pomocí mikrometrického šroubu na digitálním mikrometru.



Obrázek 20 - Digitální mikrometr Mitutoyo 0-25 mm [54]

Příprava zkušební vzorku začíná odběrem reprezentativního vzorku o 100 g a jeho teplotou při $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Vzorky čokoládových vloček jsou náchylné k vlhkosti vzduchu a je nutné je skladovat v hermeticky uzavřených obalech, protože se vzduchem tvoří obtížně rozpustné hrudky. Vytemperovaný vzorek je homogenizován mícháním pomocí skleněné tyčinky nebo lžičky.

Postup stanovení jemnosti je smíchání připraveného zkušební vzorku s kapalným parafinem nebo rostlinným olejem v poměru 1:1 a důkladné promíchání směsi pomocí paličky a hmoždíře z nerezové oceli. Kontrola vynulování mikrometru úplným utažením čelistí přístroje a případné očištění čelistí, aby hodnota na mikrometru byla $0,000 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$. Samotné měření velikostí částic, které je prováděno vždy třikrát.

12 VÝSLEDKY

12.1 Hmota A

Byly vyrobeny 4 šarže hmoty A v rámci testování, z nichž se jednalo o jeden původní vzorek bez změny nastavení a 3 testovacích vzorků, během kterých byly měněny strojní parametry pro dosažení ideálního konžovacího procesu a stanoveného rozmezí reologických parametrů. Limity pro hranici toku jsou od 1-3,5 Pa, pro viskozitu 1-3 Pa.s.

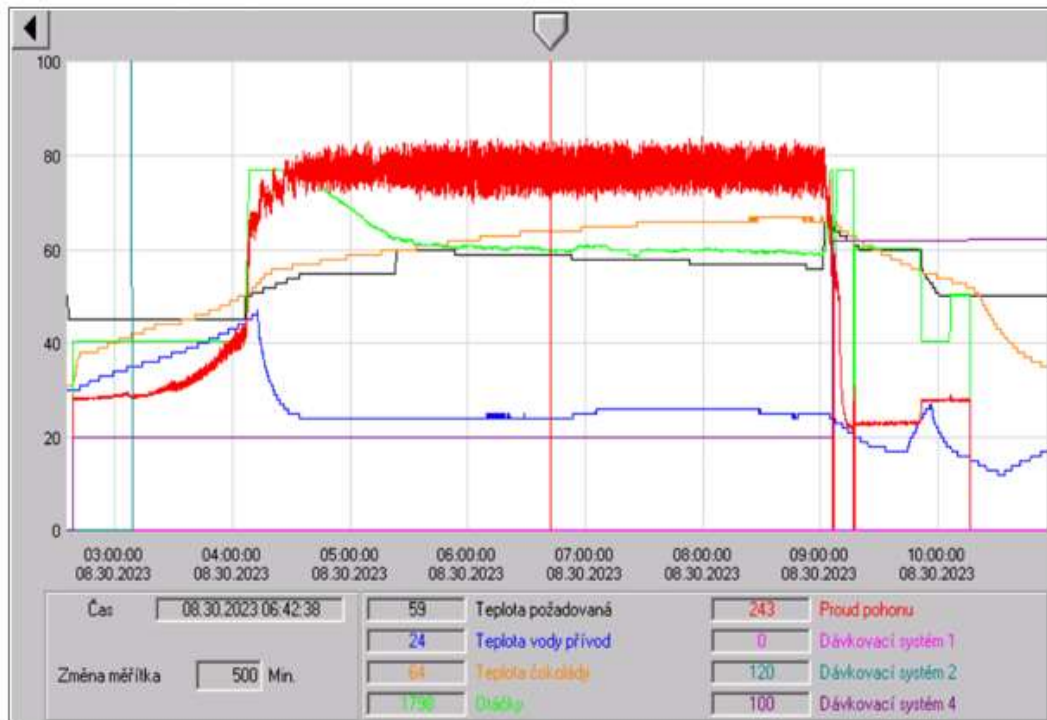
12.1.1 Konžování

Byly testovány různé batch hmoty A pro dosažení ideálního konžovacího procesu, který lze rozdělit na 3 fáze, a to fázi navažování, suchého konžování a zkapalnění. Během první fáze dojde k postupnému nárůstu zatížení motoru (červená křivka) až na hodnotu 200-230 A. Po ukončení navažování začíná probíhat druhá fáze, jejíž délka se pohybuje mezi 3-4 h. Přibližně ve $\frac{3}{4}$ celkové doby suchého konžování dochází k přetočení směru otáčení míchání (zelená křivka) a následné postupné klesání zatížení motoru přibližně na polovinu (140 A) maximální hodnoty (červená křivka), a tím k částečnému ztekucení čokoládové hmoty bez použití tuků, či emulgátorů. V okamžiku startu dávkování koncových tuků začíná poslední fáze zkapalnění čokoládové hmoty tuky a lecitinem a její vymíchání, během níž je produkt ochlazován chladicí vodou skrz duplikaci konže na výstupní skladovací teplotu (45-50 °C).

12.1.1.1 Test č. 1 – hmota A

Během testu bylo dodrženo dávkování všech surovin s přesností $\pm 0,5$ %. Hmota byla vyválnována na předválcí na jemnost 120 μm , teploty válců (válec č. 1–35 °C, válec č. 2–39 °C). Směs byla dále válcována na 5ti-válcí, kde její výchozí jemnost měla 24 ± 1 μm .

Prvním testem byla provedena standartní výroba dle původního nastavení, viz obrázek 23.



Obrázek 21: graf průběhu konžovacího procesu hmoty A (test 1)

V první fázi došlo k nadávkování 40 % tuku z celkového množství použitého tuku pro konžování a poté začalo dávkování válcované hmoty do konže. Teplota hmoty na vstupu byla 35 °C. Zatížení motoru začalo postupně stoupat. Po ukončení navažování třetí dávky (1 dávka = 1 t materiálu) došlo k prudkému nárůstu zatížení motoru na přibližně 200 A. U dalších dávek zatížení motoru dále stoupalo až na 240 A, z toho důvodu byly automaticky snižovány otáčky z původních 2300 rpm na 1750 rpm a nedocházelo ke změně zatížení a k částečnému ztekucení směsi. Dále bylo zaregistrováno nedostatečné chlazení směsi způsobené vysokým třením konžované hmoty o stěny konže, která dosahovala až 70 °C.

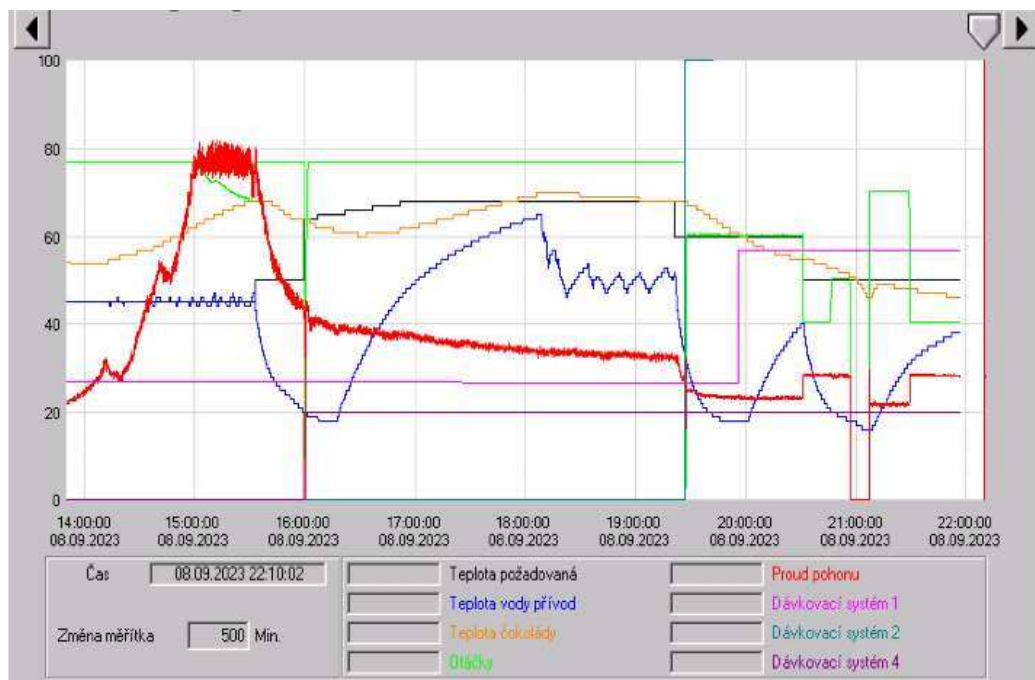
Výsledkem je neefektivní konžovací proces, během kterého nedochází k optimálnímu vývoji aroma a chuti výsledné čokoládové hmoty. Směs měla až po přidání koncových tuků 60 % z celkového množství tuku pro fázi konžování a lecitinu sypkou konzistenci. Její výsledné reologické parametry byly nad požadovaným limitem pro hranici toku i viskozitu a bylo nutné hotovou směs dále upravit přidáním 0,4 % kakaového másla. Byla naměřena hranice toku 3,65 Pa a viskozita 3,03 Pa.s. Po úpravě byly naměřeny hodnoty hranice toku 3,41 Pa a viskozity 2,94 Pa.s. Nevýhodou byly vyšší náklady na výrobu hmoty, ale také vyšší spotřeba energie během výrobního procesu.

12.1.1.2 Test č. 2 – hmota A

Bylo vycházeno z testu 1. Během testu bylo dodrženo dávkování všech surovin s přesností $\pm 0,5$ %. Hmota byla vyválcována na předválcí na jemnost 120 μm , teploty válců (válec č. 1–39 °C, válec č. 2–41 °C). Směs byla dále válcována na 5ti-válci, kde její výchozí jemnost měla 23 ± 1 μm .

Pro test č. 2 byly upraveny tyto parametry:

- Navýšení množství počátečních tuků na 61 % z celkového množství tuku pro fázi konžování
- Zrychlení rychlosti navažování do konže o 33 %
- Dávkování lecitinu 2,5 % z celkového množství lecitinu ve fázi navažování
- Navýšení vstupní teploty materiálu na 55 °C
- Při ztekucení nejprve dávkován lecitin, poté koncové tuky



Obrázek 22: graf průběhu konžovacího procesu hmoty A (test 2)

Před spuštěním navažování bylo do konže nadávkováno 35 % tuku z celkového množství tuku po fázi konžování. Během navažování docházelo k postupnému nárůstu zatížení motoru. Během druhé a čtvrté dávky bylo přidáno 2,5 % lecitinu z jeho celkového množství. Při ukončení navažování byla hodnota zatížení motoru okolo 210 A, a vše probíhalo dobře.

Během suchého konžování došlo k zapracování tuku a lecitinu do hmoty a vlivem vysoké teploty došlo k rychlému poklesu zatížení na přibližně 100 A. Splněním podmínky došlo ke změně otáčení míchadla z pravotočivého na levotočivé otáčení a došlo k ukončení suchého konžování, protože došlo ke ztekucení hmoty. Po uplynutí času suchého konžování byly do hmoty nadávkovány zbývající suroviny v požadovaném množství a hmota byla poté vymíchána.

Následně byl odebrán vzorek pro stanovení hranice toku a viskozity. Byla naměřena hranice toku 3,91 Pa a viskozita 3,23 Pa.s. Obě hodnoty vyšly nad požadovaným maximem a hmota A musela být upravena přidáním 0,7 % tuku. Po vymíchání byly naměřeny hodnoty hranice toku 3,41 Pa a viskozity 2,89 Pa.s.

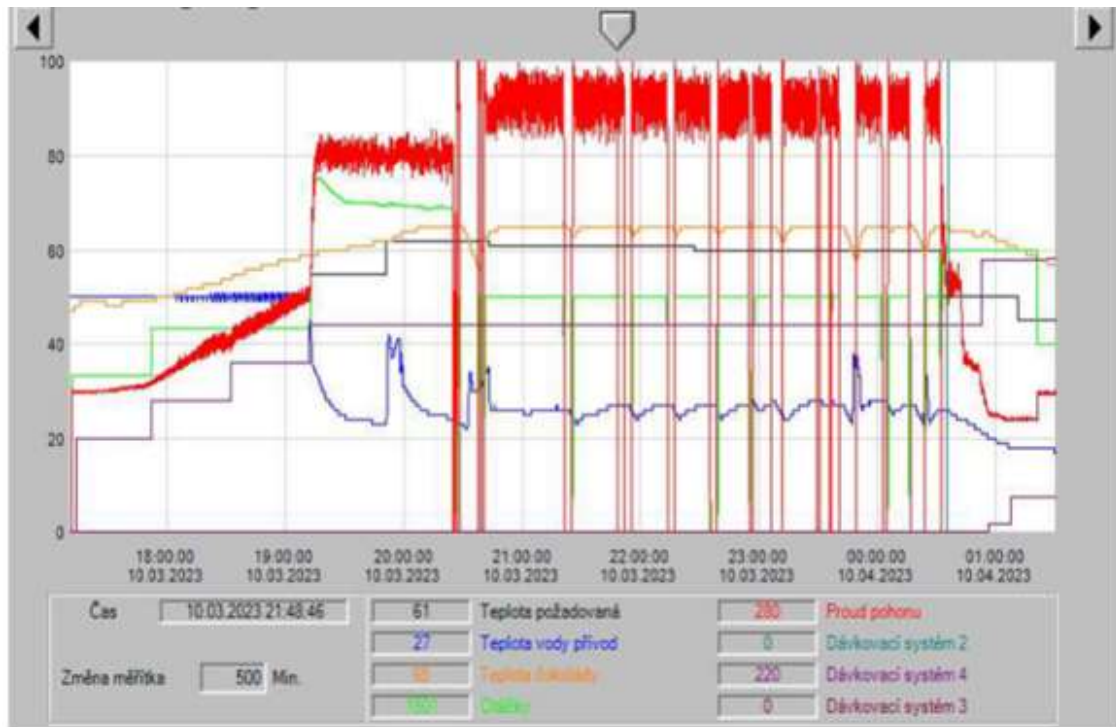
Reologické parametry u testu č. 2 nevyšly z důvodu neefektivního konžování a příliš krátkého času suchého konžování, během kterého dochází k odpaření vody a samovolnému ztekucení vlivem dobrého vymíchání směsi. Ke snížení zatížení došlo z důvodu použití příliš velkého množství vstupních tuků a lecitinu a vysoké teplotě hmoty.

12.1.1.3 Test č. 3 – hmota A

Bylo vycházeno z předchozích testů (testu č. 1 a 2). Během testu bylo dodrženo dávkování všech surovin s přesností $\pm 0,5$ %. Hmota byla vyválcována na předválcí na jemnost 125 μm , teploty válců (válec č. 1–35 °C, válec č. 2–39 °C). Směs byla dále válcována na 5ti-válcí, kde její výchozí jemnost měla 24 ± 1 μm .

Pro test č. 3 byly upraveny tyto parametry:

- Dávkování počátečních tuků bylo rozděleno do více kroků pro postupné snižování zatížení
- Snížena požadovaná teplota pro suché konžování na 60 °C
- Snížena havarijní teplota z 80 °C na 70 °C
- Snížena požadovaná teplota směsi na 55 °C před začátkem dávkování tuků
- Dávkování koncových tuků a lecitinu bylo rozděleno do více kroků pro efektivnější vmíchání do čokoládové hmoty



Obrázek 23: graf průběhu konžovacího procesu hmoty A (test 3)

Před začátkem dávkování hmoty do konže bylo nadávkováno 10 % tuku z celkového množství tuku pro fázi konžování. Následně začalo dávkování materiálu, při každé další dávce a půl (1 dávka = 1 tuna) bylo nadávkováno 10 % tuku z celkového množství tuku a zatížení motoru postupně stoupalo. Během 4. dávky došlo k výraznému navýšení zatížení motoru na přibližných 200 A. Po ukončení dávkování začala fáze suchého konžování, při kterém došlo během prvních 30 minut k obrácení otáčení míchadel z pravotočivého na levotočivé otáčení způsobené splněním podmínky v parametrech. Díky tomu klesla rychlost otáčení z 2300 ot/min na 1500 ot/min. Důsledkem toho byl nárůst zatížení motoru na 240-250 A, překročení havarijní podmínky, která vypíná konži. Konže byla nakonec během suchého konžování 11x nahozena zpět a došlo k prodloužení času suchého konžování na přibližně 5 h. Během testu č. 3 bylo dále zjištěno, že hmotu není možné ochladit po ukončení suchého konžování před začátkem fáze zkapalnění na 55 °C. Krok nakonec musel být přeskočen. Při dávkování koncových tuků došlo k postupnému ztekucení čokolády, ale doba od dávkování lecitinu a konce procesu byla příliš krátká pro vymíchání hmoty. Hmota byla míchána hodinu navíc, pro vmíchání lecitinu do směsi a jejím ztekucení.

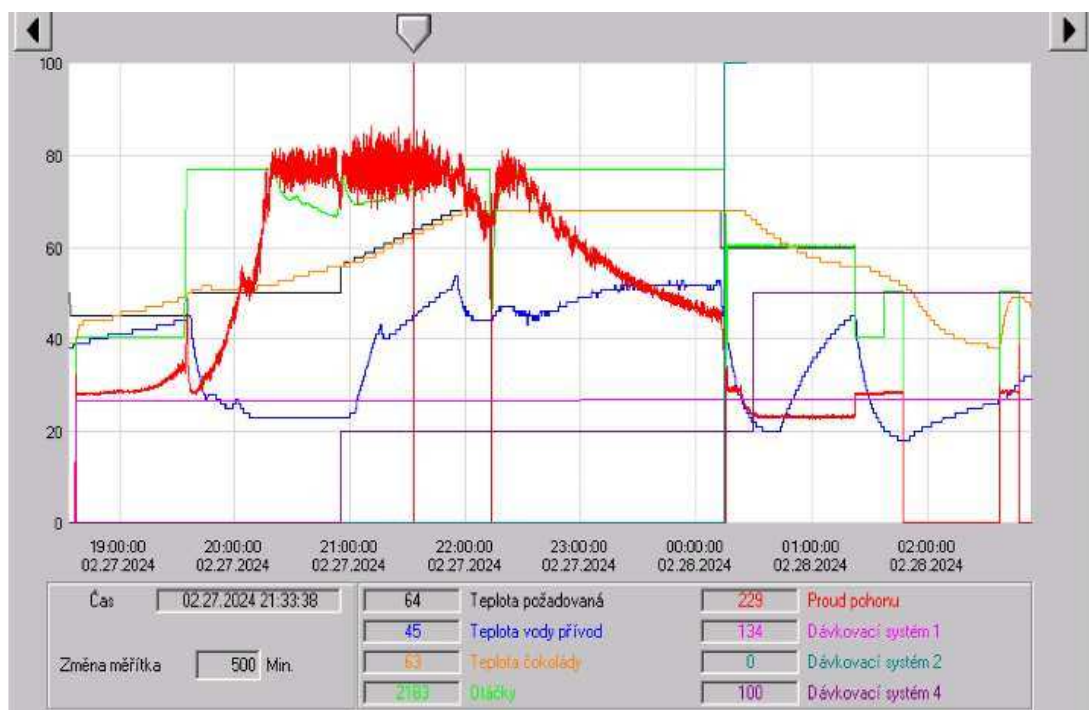
Při měření reologických parametrů vyšly parametry hranice toku i viskozity na horní hranici. Hranice toku měla hodnotu 3,5 Pa a viskozita 3 Pa.s. Hotová finální hmota A mohla být uvolněna a vyčerpána do skladovacích zásobníků.

12.1.1.4 Test č. 4 – hmota A

Bylo vycházeno z předchozího testu (testu 3). Během testu bylo dodrženo dávkování všech surovin s přesností $\pm 0,5$ %. Hmota byla vyválnována na předválcí na jemnost 120 μm , teploty válců (válec č. 1–28 °C, válec č. 2–34 °C). Směs byla dále válcována na 5ti-válnici, kde její výchozí jemnost měla 24 ± 1 μm .

Pro test č. 4 byly upraveny tyto parametry:

- Snížení vstupní teploty hmoty na 40 °C
- Zvýšení rychlosti navažování o 33 %
- Dávkování lecitinu 1,25 % z celkového množství lecitinu ve fázi navažování
- Otevření lamel na 70 % během navažování a suchého konžování
- Změna podmínky pro přetočení míchadla z 210 A na 190 A



Obrázek 24: graf průběhu konžovacího procesu hmoty A (test 4)

Při začátku navažování směsi do konže byla nadávkována část (30 %) vstupních tuků do konže. Během dávkování 4. dávky bylo nadávkováno 1,25 % lecitinu z jeho celkového množství. Při dávkování poslední 6. dávky byla nadávkována druhá část vstupních tuků (20 %). Během navažování došlo po celou dobu k postupnému nárůstu zatížení motoru na 210-220 A. Teplota hmoty při začátku fáze konžování byla přibližně 55 °C. Po 90 minutách konžování došlo ke změně otáčení míchadla z pravotočivého na levotočivé. Teplota hmoty při otočení míchání byla 70 °C vlivem vysokého tření hmoty o stěny konže. Konstrukcí míchadla v ELK konži začalo docházet k postupnému samovolnému ztekucení čokoládové hmoty v konži. Na konci konžovacího procesu kleslo zatížení motoru přibližně na 130 A. Poté došlo k nadávkování nejprve lecitinu a poté koncových tuků. Směs byla následně vymíchána.

Po odebrání vzorku byly změřeny reologické parametry. Byla naměřena hodnota hranice toku 3,25 Pa a hodnota viskozity 2,4 Pa.s.

12.1.2 Stanovení reologických parametrů hmoty A

Během testů byly sledovány reologické parametry hmot v závislosti na efektivitě procesu konžování. Byly provedeny 4 testy, u kterých byl test 1 považován jako standart, protože u něj nebyly měněny žádné parametry.

Naměřené hodnoty jsou znázorněny v Tabulce 7.

Tabulka 7: Naměřené hodnoty reologických parametrů a jemností u hmoty A

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Jemnost [μm]	25,0 \pm 0,8	24,1 \pm 0,7	25,0 \pm 0,6	24 \pm 0,7
Hranice toku [Pa]	3,65	3,91	3,5	3,25
Viskozita [Pa.s]	3,03	3,23	3,0	2,4

Z naměřených hodnot lze říci, že délka a kvalita suchého konžování je významná pro výsledné reologické parametry čokoládových hmot. Při srovnání testu 1 a testu 2 je možno říci, že první fáze suchého konžování, které probíhá při vysokém zatížení motoru (210–230 A) je nezbytné pro odpaření přebytečné vody a těkavých látek a nejvíce ovlivňuje výsledné reologické parametry. Během testu 1 bylo zatížení po celou dobu suchého konžování vysoké, během druhém testu naopak velmi rychle kleslo a výsledkem je rozdíl

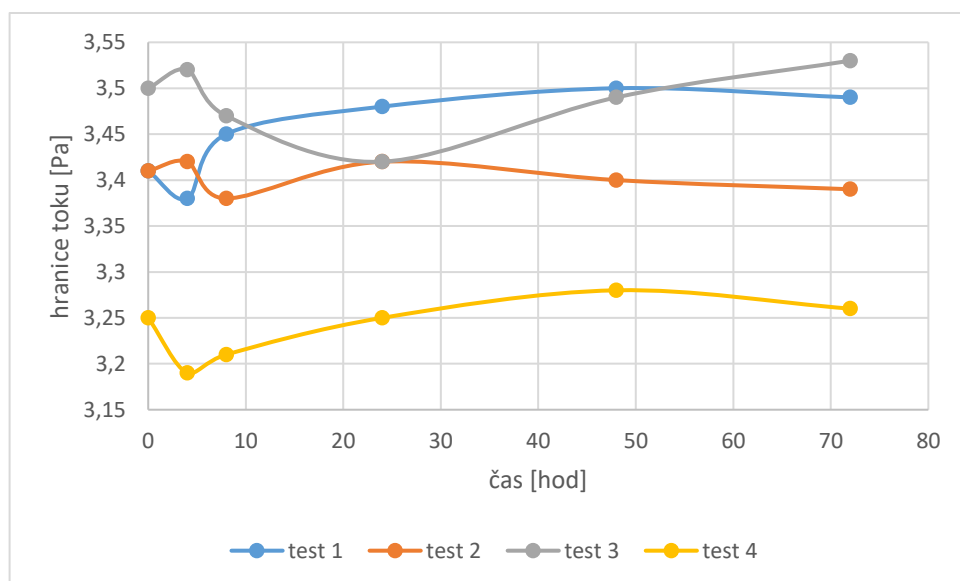
v hranici toku 0,26 Pa. Rozdíl u viskozity je velmi podobný a mezi test 1 a 2 byl naměřen 0,2 Pa.s.

Dalším zásadním vlivem pro výsledné reologické parametry je konstrukce míchadla a jeho otočení. Vlivem přetočení na levotočivé otáčení dochází k samovolnému ztekucení hmoty v konži roztíráním hmoty míchadlem o stěnu konže. Výsledkem jsou nižší reologické parametry bez nutnosti úpravy. Při srovnání testu 1 a 4 je značné, že rozdíl mezi naměřenými hodnotami hranice toku je 0,4 Pa a u viskozity 0,63 Pa.s.

Při srovnání testu 1 a 3 byly výsledné reologické parametry nižší u testu 3. Tento rozdíl je způsobený prodloužením času vmíchání koncových tuků a lecitinu před odebrání vzorku.

12.1.3 Změna reologických parametrů v čase

Hmota A byla testována na změnu reologických parametrů ve stanovených časech (4, 8, 24, 48 a 72 h) při skladovací teplotě 48 ± 2 °C. Ve skladovacím zásobníku není řízena kontrola vzduchu a hmota je pravidelně promíchávána. Změny hranice toku u hmoty A po dobu skladování u testu 1-4 jsou zaznamenány na obrázku 27.

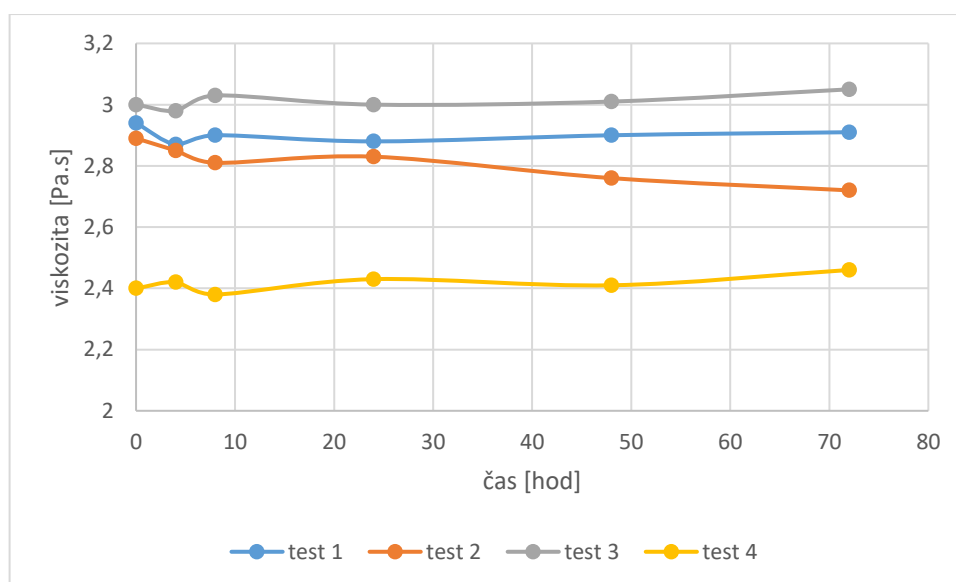


Obrázek 25: graf závislosti změny hranice toku v čase u hmoty A

Celkově bylo vyhodnoceno, že u hmoty A nedochází do 72 h po výrobě k výrazné změně parametrů hranice toku. Nejvyšší rozdíl hranice toku byl naměřen u testu 1, a to 0,08 Pa. Nejmenší rozdíl hodnot hranice toku byl naměřen u testu 4 (0,01 Pa).

Průběh skladování byl zajímavější, u testu 2 a 4 byl mezi časem 0 a 4 hodiny po výrobě zaznamenán pokles hranice toku v průměru o 0,45 Pa, což mohlo být způsobeno lepším vmícháním lecitinu a koncových tuků do výsledné čokolády. Následně docházelo k postupnému navyšování hodnot hranice toku, které může být způsobeno nestálou vlhkostí uvnitř skladovacího tanku a také k postupné krystalizaci mléka a natahování vzdušné vlhkosti do čokoládové hmoty. U testu 1 a 3 došlo nejprve k mírnému nárůstu ve 4. hodině skladování a poté docházelo k pozvolnému poklesu hodnot hranice toku do 24. hodiny skladování.

Dále byla u hmoty A pozorována změna viskozity, jejíž výsledky jsou zobrazeny na obrázku 28.



Obrázek 26: graf závislosti změny viskozity v čase u hmoty A

Hodnoty viskozity byly během monitorovaného času skladování stabilní a nedocházelo k výrazným odchylkám. "

Celkově byla hmota A vyhodnocena jako stabilní do času 72 hodin po výrobě.

12.2 Hmota B

Byly vyrobeny 4 šarže hmoty B v rámci testování, z nichž se jednalo o jeden původní vzorek bez změny nastavení a 3 testovacích vzorků, během kterých byly měněny strojní parametry pro dosažení ideálního konžovacího procesu a stanoveného rozmezí reologických parametrů. Limity pro hranici toku jsou od 2,1-3,3 Pa, pro viskozitu 1,9-2,5 Pa.s.

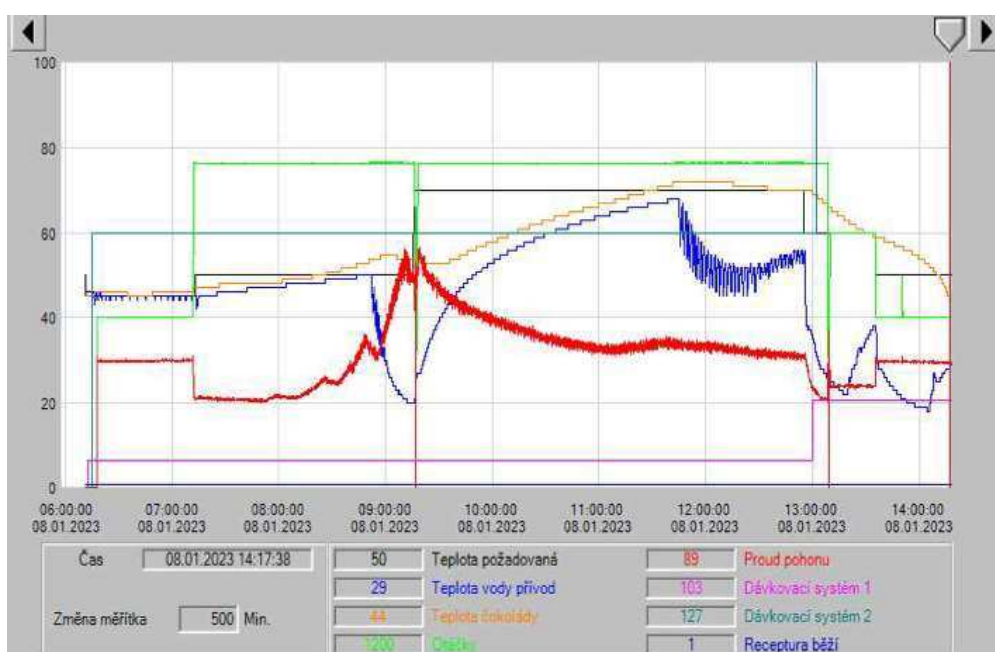
12.2.1 Konžování

Cílem bylo dosažení stejného konžovací trendu popsaného v kapitole 12.1.1.

12.2.1.1 Test č. 1 – hmota B

Během testu bylo dodrženo dávkování všech surovin s přesností $\pm 0,5$ %. Hmota byla vyválnována na předválcí na jemnost 136 μm , teploty válců (válec č. 1–35 °C, válec č. 2–38 °C). Směs byla dále válcována na 5ti-válci, kde její výchozí jemnost měla 33 ± 1 μm .

Prvním testem byla provedena standartní výroba dle původního nastavení, viz Obrázek 29.



Obrázek 27: graf průběhu konžovací procesu hmoty B (test 1)

U testu č. 1 bylo vyráběno 5 t hmoty B. Při začátku navažování bylo nadávkováno 58 % tuků z celkového množství tuku určeného pro fázi konžování. Teplota vyválnované hmoty při vstupu do konže měla 46 °C. Během navažování docházelo k posupnému nárůstu zatížení motoru, které se zastavilo již při 160 A, a po ukončení navažování došlo ke změně směru otáčení míchadla. Tím dále docházelo k dalšímu zkapalnění hmoty a fáze suchého konžování byla v tomto případě zcela vynechána. Během času určeného pro suché konžování byla nastavena teplota konžování 70 °C a konžovaná hmota musela být dohřívána vodou skrz duplikaci pláště stroje. Ve třetí fázi byly nadávkovány nejprve koncové tuky (42 %) a poté lecitin. Hmota byla poté hodinu míchána a následně byl odebrán vzorek pro zjištění reologických parametrů.

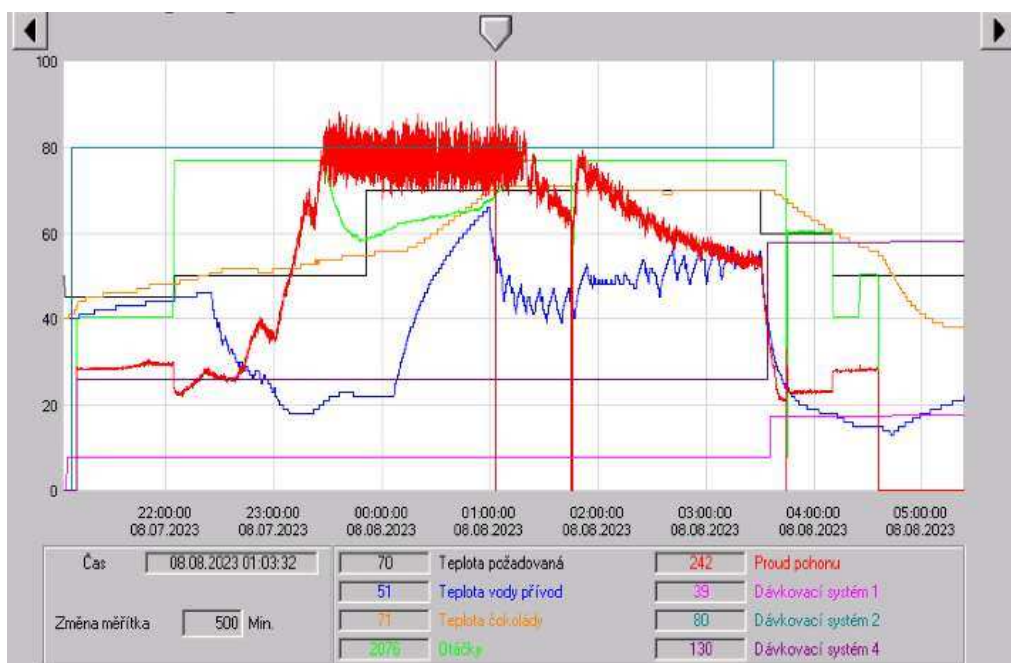
Hodnoty naměřených reologických parametrů byly pro hranici toku 3,15 Pa a pro viskozitu 2,23 Pa.s.

12.2.1.2 Test č. 2 – hmota B

Bylo vycházeno z testu č. 1. Během testu bylo dodrženo dávkování všech surovin s přesností $\pm 0,5$ %. Hmota byla vyválcována na předválcí na jemnost 142 μm , teploty válců (válec č. 1–28 °C, válec č. 2–34 °C). Směs byla dále válcována na 5ti-válcí, kde její výchozí jemnost byla 34 ± 1 μm .

Pro test č. 2 byly upraveny tyto parametry:

- Sníženy teploty válců na předválcí (válec 1: 28 °C, válec 2: 34 °C)
- Ponechány stejné strojní parametry pro konžování jako při testu 1



Obrázek 28: graf průběhu konžovacího procesu hmoty B (test 2)

U testu č. 2 byla hmota B vyráběna stejným způsobem jako u testu 1 s výjimkou snížení hodnoty teploty válců na předválcí. Při dávkování měla válcovaná směs teplotu 40 °C.

Během navažování hmoty do konže bylo nadávkováno 58 % počátečních tuků z celkového množství tuku určeného pro fázi konžování a docházelo k postupnému vzrůstu zatížení motoru až na hodnotu 220-240 A. Po ukončení navažování materiálu byla spuštěna fáze suchého konžování a hmota byla postupně zahřívána na 70 °C. Po uplynutí 120 minut suchého konžování došlo ke změně směru otáčení míchadla a hmota byla postupně

samovolně ztekucována. Po ukončení suchého konžování (200 minut) byly do konže nadávkovány koncové tuky (42 %) a lecitin. Směs byla hodinu vymíchána a poté byl odebrán vzorek pro stanovení reologických parametrů.

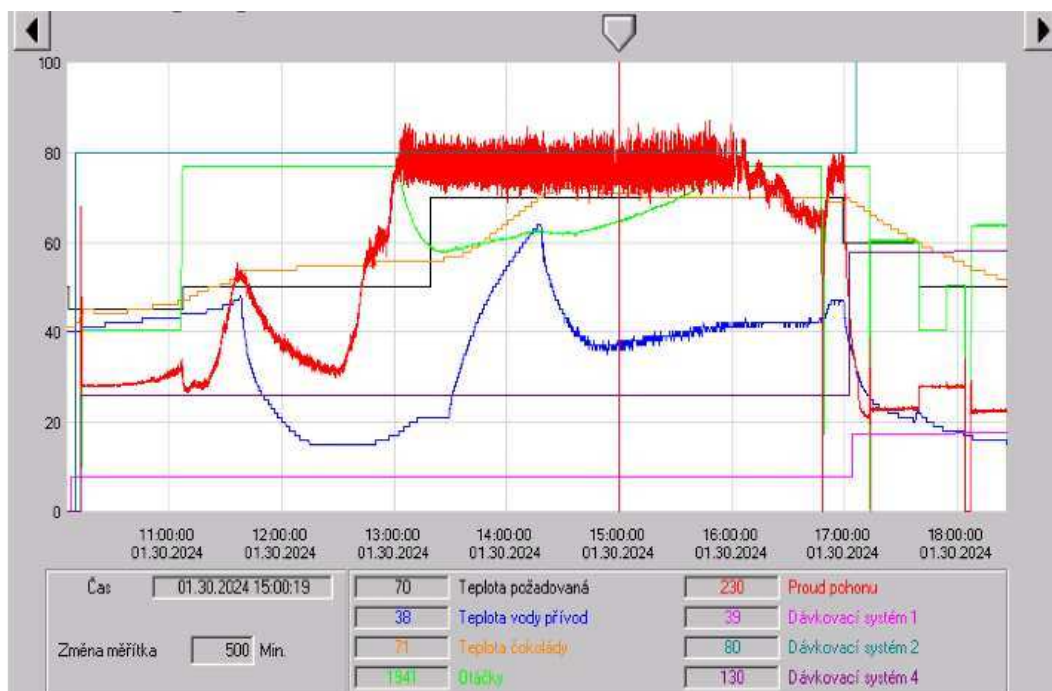
Naměřená hodnota hranice toku byl 2,23 Pa a hodnota viskozity 1,66 Pa.s.

12.2.1.3 Test č. 3 – hmota B

Bylo vycházeno z předchozího testu. Během testu bylo dodrženo dávkování všech surovin s přesností $\pm 0,5$ %. Hmota byla vyválnována na předválcí na jemnost 124 μm , teploty válců (válec č. 1–28 °C, válec č. 2–34 °C). Směs byla dále válcována na 5ti-válcí, kde její výchozí jemnost byla 34 ± 1 μm .

Pro test č. 3 byly upraveny tyto parametry:

- Ponechány stejné strojní parametry pro konžování jako při testu 1
- Prodloužen čas navažování materiálu do konže o 30 %



Obrázek 29: graf průběhu konžovacího procesu hmoty B (test 3)

U testu č. 3 byly nastaveny shodné strojní parametry jako o u testu č. 2. rozdíl ve výrobním procesu byl pouze v délce válcování, která byla u testu č. 3 o 30 % delší, než u testu č. 1 a 2. Prodloužení navažování materiálu do konže vzniklo v důsledku použití nižšího počtu 5ti-válců.

Současně se spuštěním navažováním vyválcované směsi do konže bylo nadávkováno 58 % vstupních tuků z jejich celkového množství určeného pro fázi konžování. Po ukončení navažování 2. dávky zatížení motoru prudce kleslo zpět na výchozí hodnotu ~100 A, a poté začalo opět prudce stoupat na hodnotu 230 A. Po ukončení fáze navažování byla teplota hmoty 57 °C. Během další fáze suchého konžování se po dobu 160 minut drželo stejné zatížení (230 A) a poté začalo pomalu klesat. Ve 185. minutě suchého konžování došlo ke změně rotace míchadla na levotočivé. Po 15 minutách byly do konžované hmoty nadávkovány zbylé množství tuků (42 %) a lecitin. Důsledkem přidání tuků a lecitinu došlo k úplnému zkapalnění čokoládové hmoty.

Poté byl odebrán vzorek pro změření výsledných reologických parametrů. Hodnota hranice toku byla 2,97 Pa a hodnota viskozity 2,24 Pa.s.

Během testu č. 3 nedošlo k samovolnému procesu ztekucení a návratu rychlosti otáčení míchadla jako u testu č. 2. To mohlo být způsobeno delším časem navažování nebo odchylkou v použitých surovin daných recepturou.

12.2.2 Stanovení reologických parametrů hmoty B

Během testů byly sledovány reologické parametry hmot v závislosti na efektivitě procesu konžování, ale také charakteru vstupních surovin. Byly provedeny 3 testy, které byly mezi sebou porovnány.

Naměřené hodnoty jsou znázorněny v Tabulce 8.

Tabulka 8: naměřené hodnoty reologických parametrů a jemností u hmoty C

	Test 1	Test 2	Test 3
Jemnost [μm]	33,0 \pm 0,6	35,2 \pm 0,8	34,8 \pm 0,4
Hranice toku [Pa]	3,15	2,23	2,97
Viskozita [Pa.s]	2,30	1,66	2,24

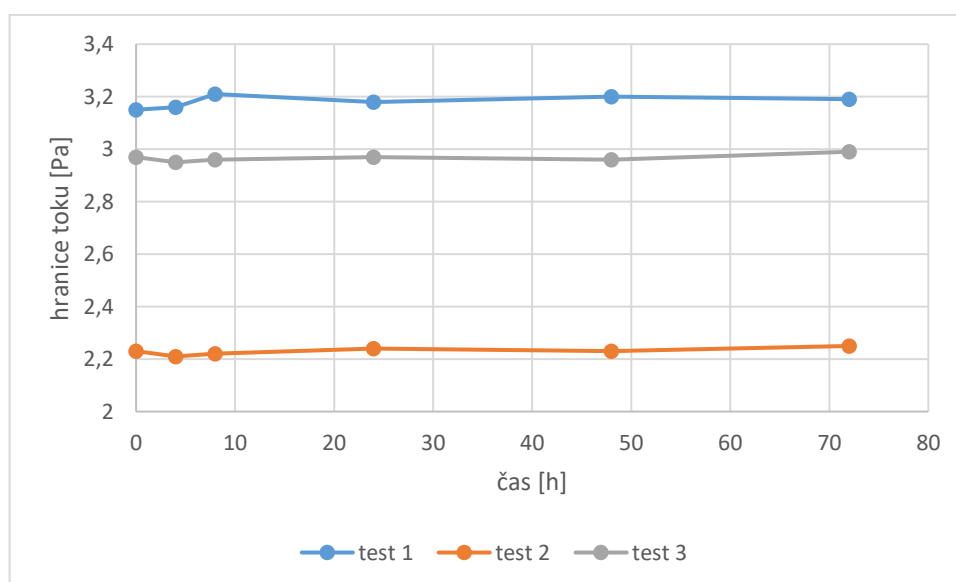
I vzhledem stejného nastavení parametrů mezi jednotlivými testy (1, 2, 3) mohou být výsledné hodnoty naměřených parametrů rozdílné. U hmoty B je to způsobeno mimo jiné vysoký podílem mléčných složek v receptuře (~24 %) a kakaové hmoty (11,5 %). U mléčných složek má významnou roli podmínky skladování surovin, které nebyly stabilní. U mléka dochází během skladování k výkyvům teplot a relativní vlhkosti vzduchu.

Ve vstupních surovinách je obsaženo vyšší množství vody ovlivňující proces výroby čokolády. Další zmíněnou surovinou je kakaová hmota, která nemá pevně danou tučnost, ale rozmezí tučnosti, které se pohybuje mezi 53-60 % tuku v kakaové hmotě. Tyto parametry i přes úpravy nastavení strojních parametrů mají významný vliv na konzistenci čokoládové hmoty a následně i naměřených hodnot reologických parametrů.

Nejnižší parametry byly naměřeny u testu č. 2, a to z důvodu ideálního konžovacího procesu. Na základě toho lze říci, že v případě správného konžování je proces více efektivní a ekonomicky méně náročný z hlediska množství tuku i energie. Rozdíl v hranici toku mezi testem č. 2 a 3 je 0,73 Pa, u viskozity je rozdíl 0,58 Pa.s za stejných podmínek. Dále lze říci, že u hmoty B v případě nízkého zatížení motoru (test 1) a příliš vysokého zatížení motoru (test 3) jsou reologické parametry téměř shodné. Rozdíly mezi naměřenými hodnotami tokových vlastností jsou důsledkem rozdílu v naměřených jemnostech. U testu č. 1 byla finální jemnost čokoládové hmoty 33 μm , u testu č. 3 35 μm .

12.2.3 Změna reologických parametrů v čase

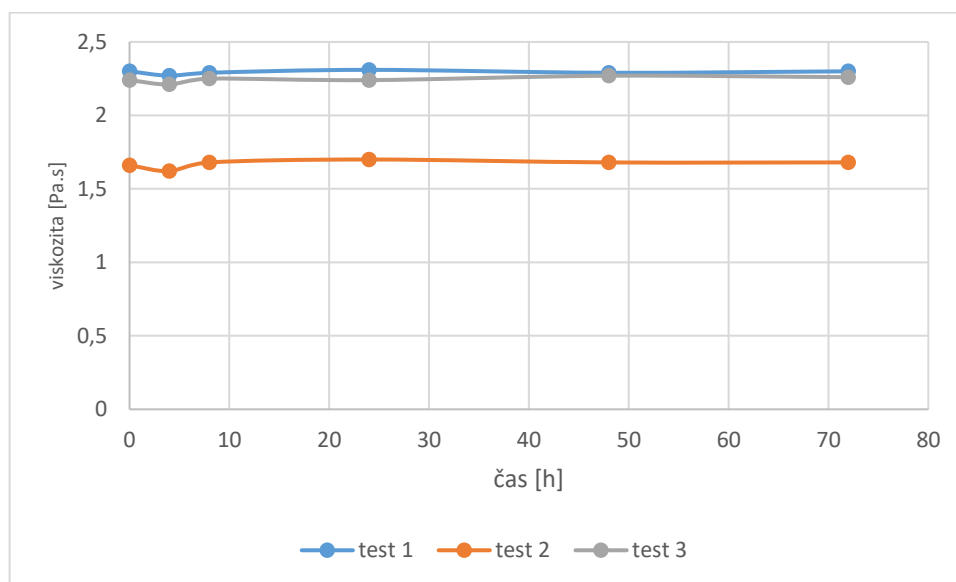
U hmoty B byly testovány vzorky na změnu reologických parametrů v časech 0, 4, 8, 24, 48 a 72 h po výrobě při skladovací teplotě 48 ± 2 °C. Během skladování nebyla řízena vlhkost vzduchu a byly nasimulovány reálné skladovací podmínky. Změny hranice toku u hmoty B během skladování u test 1-3 jsou zaznamenány na obrázku 32.



Obrázek 30: graf závislosti změny hranice toku v čase u hmoty B

Hodnoty hranice toku u všech provedených testů jsou stabilní během celého času monitoringu. Rozdíly byly zaznamenány pouze mezi hodnotami hranice toku naměřené u jednotlivých testů, které byly způsobené kvalitou konžovacího profilu.

Na obrázku 33 je znázorněn průběh skladovací z hlediska hodnot viskozity u testu 1-3.



Obrázek 31: graf závislosti změny viskozity v čase u hmoty B

Hodnoty viskozity byly během 72 h po výrobě u všech provedených testů stabilní. Nebyly pozorovány téměř žádné změny v hodnotách viskozity. U testu 1 a 3 byly zaznamenány téměř shodné výsledky viskozity (2,25 Pa.s). U testu 2 byly zaznamenány nižší výsledky viskozity (1,66 Pa.s).

Celkově byla hmota B hodnocena z hlediska skladování jako velmi stabilní v oblasti reologických parametrů.

12.3 Hmota C

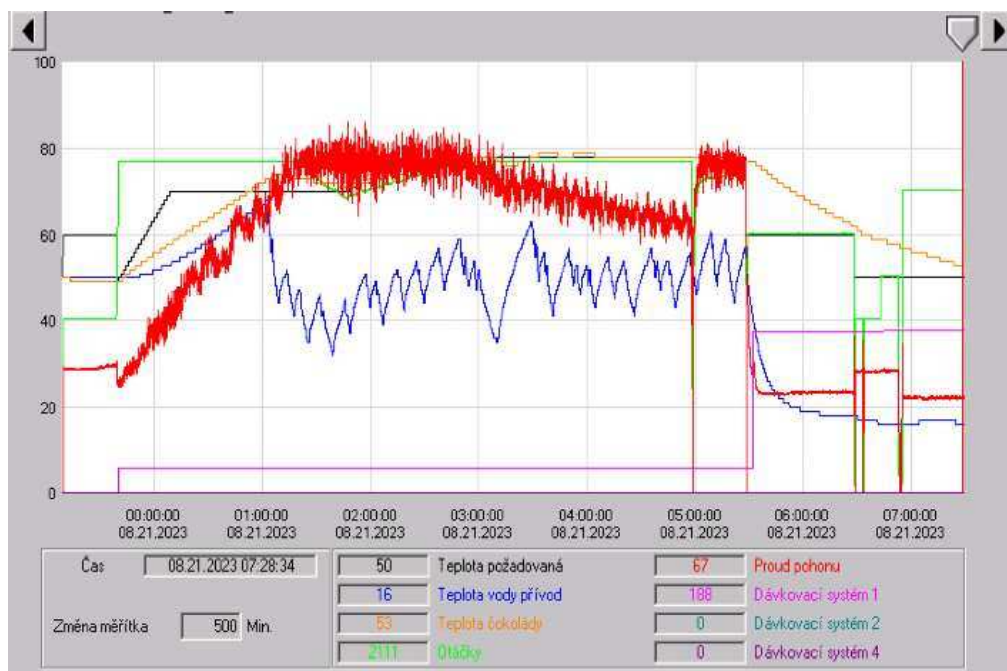
Byly vyrobeny 4 šarže hmoty C v rámci testování, z nichž se jednalo o jeden původní vzorek bez změny nastavení a 3 testovacích vzorků, během kterých byly měněny strojní parametry pro dosažení ideálního konžovacího procesu a stanoveného rozmezí reologických parametrů. Limity pro hranici toku jsou od 6-8 Pa, pro viskozitu 4,5-6,5 Pa.s.

12.3.1 Konžování

Cílem bylo dosažení stejného konžovací trendu popsáno v kapitole 12.1.1.

12.3.1.1 Test č. 1 – hmota C

Během testu bylo dodrženo dávkování všech surovin s přesností $\pm 0,5$ %. Hmota byla vyválnována na předválcí na jemnost 130 μm , teploty válců (válec č. 1–39 $^{\circ}\text{C}$, válec č. 2–41 $^{\circ}\text{C}$). Směs byla dále válcována na 5ti-válcí, kde její výchozí jemnost měla 23 ± 1 μm . Prvním testem byla provedena standartní výroba dle původního nastavení, viz Obrázek 34.



Obrázek 32: graf průběhu konžovacího procesu hmoty C

Při spuštění navažování vyválnované hmoty do konže nebyly dávkovány žádné tuky a teplota navažované směsi byla 50 $^{\circ}\text{C}$. Při spuštění druhé dávky bylo nadávkováno 21 % z celkového množství tuku pro fázi konžování. Následně docházelo k postupnému vzestupu zatížení motoru až na 220 A. Po ukončení fáze navažování, začala fáze suchého konžování, během které po 100 minutách začalo docházet k postupnému poklesu zatížení motoru na 190 A. Poté ve 190. minutě suchého konžování došlo ke změně směru na levotočivé otáčení míchadla a nárůstu zatížení. Teplota během suchého konžování byla 80 $^{\circ}\text{C}$, za 20 minut bylo do konže nadávkováno zbývající množství tuku (79 %) a lecitin. Hmota byla hodinu míchána a poté byl odebrán vzorek pro změření reologických parametrů.

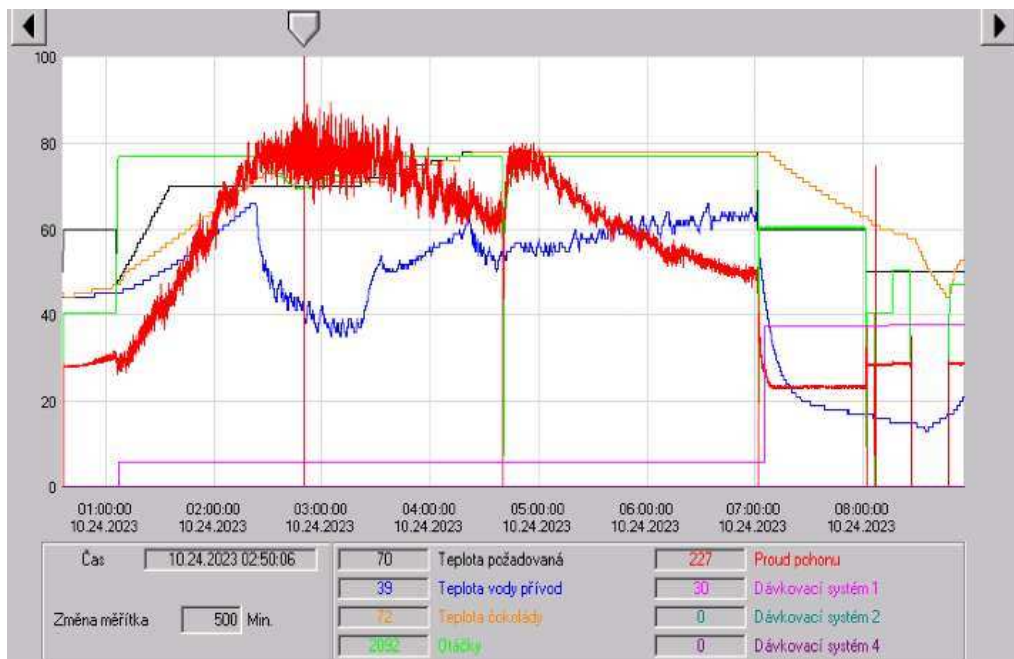
Byla naměřena hodnota hranice toku 5,56 Pa a viskozity 3,94 Pa.s. Naměřené hodnoty byly velmi nízké pod požadované rozmezí a muselo dojít k zahuštění hmoty.

12.3.1.2 Test č. 2 – hmota C

Bylo vycházeno z testu č. 1. Během testu bylo dodrženo dávkování všech surovin s přesností $\pm 0,5\%$. Hmota byla vyválnována na předválcí na jemnost 130 μm , teploty válců (válec č. 1–38 °C, válec č. 2–41 °C). Směs byla dále válcována na 5ti-válcí, kde její výchozí jemnost byla $21 \pm 1 \mu\text{m}$.

Pro test č. 2 byly upraveny tyto parametry:

- Ubráno 50 % lecitinu



Obrázek 33: graf průběhu konžovacího procesu hmoty C

Pro test č. 2 byly nastaveny shodné strojní parametry jako pro test č. 1. Bylo pozorováno chování hmoty a její stabilita během výrobního procesu. Konžovací profil během testu č. 2 je považován za ideální konžovací profil.

Při spuštění navažování vyválnované směsi do konže nebyly dávkovány vstupní tuky. Teplota hmoty při vstupu do konže byla 42 °C. Během druhé dávky bylo nadávkováno 21 % tuku. Během celé fáze navažování lineárně rostlo zatížení motoru až na hodnotu 220 A. Ve fázi konžování došlo v polovině (105 minut) ke změně směru otáčení míchadla a docházelo postupně k samovolnému zkapalnění hmoty vlivem uvolňujícího se tuku obsaženého v kakaové hmotě. Po ukončení fáze suchého konžování došlo k nadávkování 79 % tuku z celkového množství pro fázi konžování a lecitinu. Následně byla směs hodinu vymíchána a byl odebrán vzorek.

Hodnota stanovených reologických parametrů pro hranici toku byla 7 Pa, pro viskozitu 4,95 Pa.s. Tyto hodnoty byly v rozmezí reologických parametrů a hmota mohla být vyčerpána do skladovacího tanku.

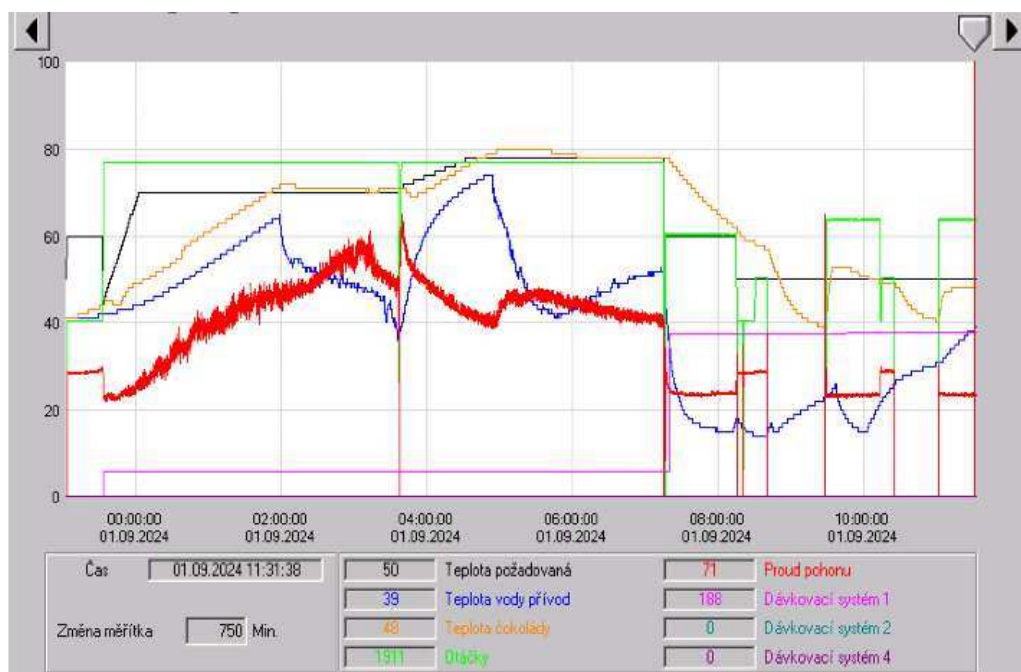
I přes ubrání 50 % lecitinu z jeho celkového množství, byly hodnoty reologických parametrů v požadovaném rozmezí. V tomto případě musí dojít k úpravě receptury pro zajištění ideálního výrobního procesu.

12.3.1.3 Test č. 3 – hmota C

Bylo vycházeno z testu č. 1. Během testu bylo dodrženo dávkování všech surovin s přesností $\pm 0,5$ %. Hmota byla vyválcována na předválcí na jemnost 134 μm , teploty válců (válec č. 1–28 °C, válec č. 2–34 °C). Směs byla dále válcována na 5ti-válcí, kde její výchozí jemnost byla 23 ± 1 μm .

Pro test č. 3 byly upraveny tyto parametry:

- Snížena teplota válců na předválcí (válec 1: 28 °C, válec 2: 34 °C)
- Ubráno 50 % lecitinu
- Prodloužena doba navažování směsi do konže o 29 %



Obrázek 34: graf průběhu konžovacího procesu hmoty C

Pro test č. 3 byly sníženy teploty válců na předválcí. Válcovaná hmota byla více homogenní a plastická. Válcování na 5ti-válci bylo poté více efektivní a rychlejší, ale pro navažování byl využit pouze 1 5ti-válec. Z toho důvodu došlo k prodloužení času navažování vyválcované směsi do konže o 29 %.

Bylo zjištěno, že při snížení rychlosti válcování musí dojít také ke snížení dávkování počátečního tuku nebo k úplnému vynechání tohoto kroku. Po spuštění navažování byla teplota vyválcované hmoty 40 °C. Navažování trvalo 3,5h a zatížení motoru postupně stoupalo. Maximální zatížení bylo pouze 193 A. Po ukončení navažování byla spuštěna druhá fáze (suché konžování), ale došlo k okamžité změně směru otáčení míchadla na levotočivé míchání. Dále začalo docházet k nahřátí hmota na 80 °C za použití duplikační vody a samovolnému poklesu zatížení motoru vlivem uvolňování tuku ze hmoty do prostředí. Po 210 minutách suchého konžování byly do hmoty nadávkovány koncový tuk a lecitin. Směs byla promíchána a následně z ní byl odebrán vzorek.

Výsledné reologické parametry pro test č. 3 hmoty C byly naměřeny pro hranici toku 7,88 Pa a viskozitu 5,39 Pa.s.

Dalším důvodem nízkého zatížení motoru, a tím způsobeného neefektivního konžování mohlo být způsobeno tučností kakaové hmoty, jejíž množství v hmotě C je 51,5 %. Vzhledem k množství kakaové hmoty v receptuře i malý rozdíl v tučnosti nebo separaci během skladování může mít dopad na kvalitu konžovacího profilu a výsledné reologické parametry.

12.3.2 Stanovení reologických parametrů hmoty C

Během testů byly sledovány reologické parametry hmot v závislosti na efektivitě procesu konžování, ale také charakteru vstupních surovin a jejich teplot a tučnosti. Byly provedeny 3 testy, které byly mezi sebou porovnány.

Naměřené hodnoty jsou znázorněny v tabulce 9.

Tabulka 9: Naměřené hodnoty reologických parametrů a jemnosti u hmoty C

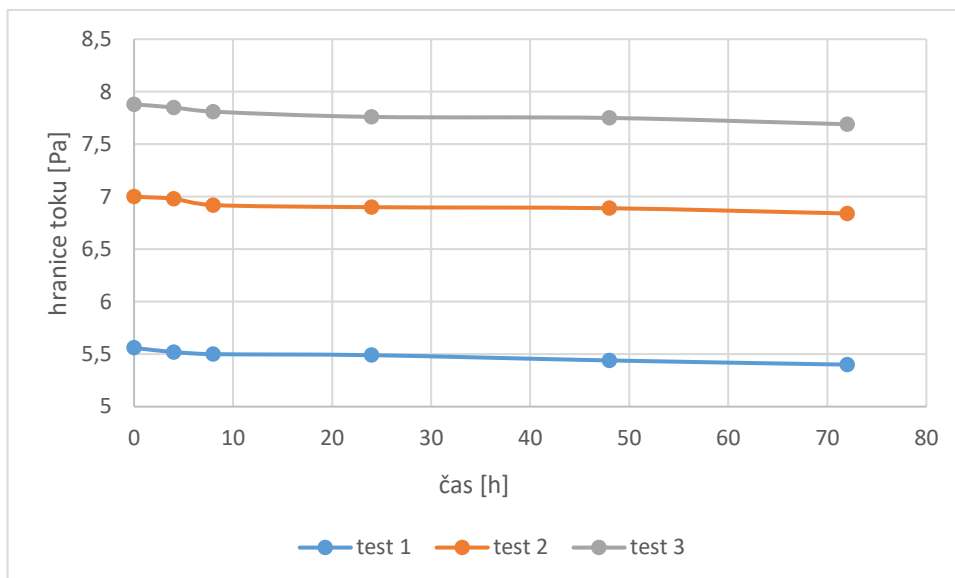
	Požadované rozmezí:	Test 1	Test 2	Test 3
Jemnost [μm]	20-25	23,1 \pm 1,1	20,7 \pm 1,4	23,0 \pm 0,6
Hranice toku [Pa]	6,5-8,5	5,56	7,00	7,88
Viskozita [Pa.s]	4,5-6,5	3,94	4,95	5,39

Během testování bylo zjištěno, že pro dosažení ideálního konžovací profilu a následných požadovaných reologických parametrů je nutná úprava receptury (snížení obsahu lecitinu). Při testu 1 byla testována standardní hmota bez změn v receptuře a nastavení. Výsledkem byly příliš nízké hodnoty hranice toku i viskozity. Pro srovnání testu 1 a 2, kde byl významně snížen lecitin jsou u testu 2 naměřeny vyšší hodnoty hranice toku (o 1,44 Pa) i viskozity (o 1,01 Pa.s). Tohoto rozdílu nelze dosáhnout jen za pomoci strojních parametrů, ale je třeba korekce receptury.

Během testu 2 a 3 byly úpravy pouze na strojních parametrech, a to snížení teploty válců na předválci na prodloužení času navažování. Bylo zjištěno, že prodloužení času navažování může přinést další úspory na použitých materiálech a při nastavení zvoleném během testu 3 nikoli. Výsledné hodnoty reologických parametrů byly vyšší než při testu č. 2. K navýšení došlo z důvodu příliš nízkého zatížení motoru během procesu konžování, a tím k méně efektivnímu procesu.

12.3.3 Změna reologických parametrů v čase

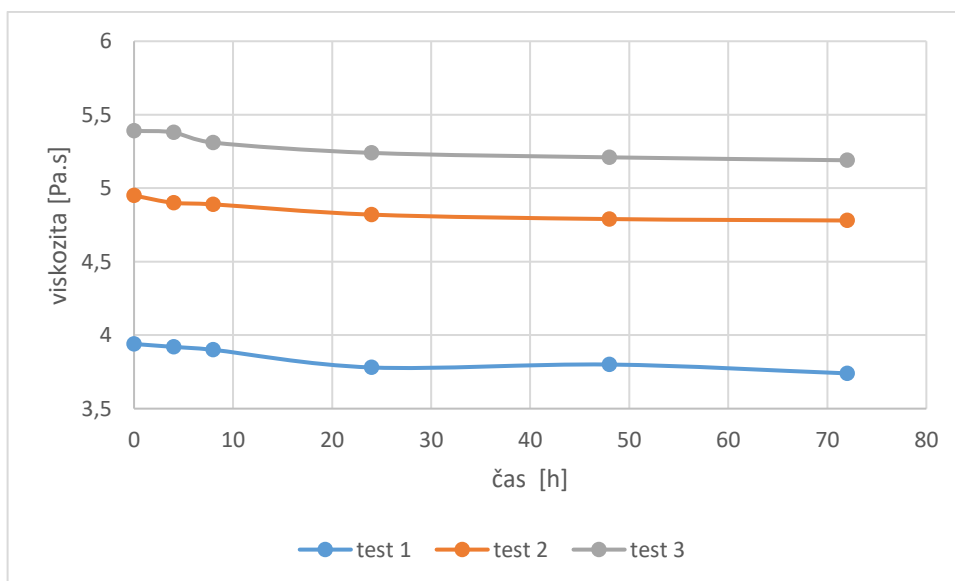
U hmoty C byl sledován průběh skladování v čase 0-72 h (intervaly 0, 4, 8, 24, 48, 72 h) a jeho vlivu na reologické parametry čokoládové hmoty při skladovací teplotě 48 \pm 2 °C. Ve skladovacím zásobníku není řízena kontrola vzduchu a hmota je pravidelně promíchávána. Změny hranice toku u hmoty C po dobu skladování u testu 1-3 jsou zaznamenány na obrázku 37.



Obrázek 35: graf závislosti změny hranice toku v čase u hmoty C

U hmoty C byl u hodnot hranice toku pozorován u všech testů postupný pokles naměřených hodnot, a to v průměru za 72 h o 0,17 Pa. Pokles hranice toku během skladování může být způsobena následným vymícháním čokoládové hmoty a vysokým podílem tuku v ní obsaženém.

Hodnoty viskozity v závislosti na čase skladování jsou znázorněny na obrázku 38.



Obrázek 36: graf závislosti změny viskozity v čase u hmoty C

I u viskozity docházelo s narůstající délkou skladování k postupnému klesání. Pokles za 72 h byl v průměru 0,19 Pa.s. U všech testů byl zaznamenán velmi podobný trend průběhu skladování a konzovačí profil tedy nemá významný vliv na stabilitu čokoládové hmoty během prvních 72 h.

13 DISKUZE

V tabulce 10 je znázorněn přehled parametrů změněných během jednotlivých testování u hmoty A, B, C a výsledky tohoto testování. Během testování bylo vycházeno z testu 1 (standart) nebo v případě pozitivního trendu z testu předchozího testu.

Tabulka 10: přehled upravených parametrů v závislosti na testování u hmoty A, B, C

		test 1	test 2	test 3	test 4
hmota A	Testované parametry	standart	navýšení množství počátečních tuků, zrychlení rychlosti navažování, dávkování části lecitinu ve fázi navažování do konže, navýšení vstupní teploty na 55 °C, oddělené dávkování tuku a lecitinu při ztekucení	postupné dávkování vstupních tuků, snížená teplota během suchého konžování, snížená havarijní teplota, snížená teplota před dávkováním koncových tuků, dávkování tuku a lecitinu odděleně a ve více krocích	snížena vstupní teplota hmoty, zvýšení rychlosti navažování, dávkování lecitinu i ve fázi navažování materiálu do konže, změna podmínek zatížení pro přetočení směru míchání
	výsledek	Příliš vysoké zatížení	příliš nízké zatížení	Překročena havarijní teplota, nouzové vypnutí	Ideální konžovací graf
hmota B	Testované parametry	standart	stejně parametry jako při testu 1, sníženy teploty válců na předválci	stejně parametry jako při testu 1, prodloužen čas navažování materiálu do konže	x
	výsledek	Příliš nízké zatížení	Ideální konžovací graf	Příliš vysoké zatížení	x
hmota C	Testované parametry	standart	stejně parametry jako u testu 1, ubrán lecitin	snížena teplota válců na předválci, ubrán lecitin, prodloužena doba navažování materiálu do konže	x
	výsledek	Příliš vysoké zatížení	Ideální konžovací graf	Příliš nízké zatížení	x

U všech testů bylo v průběhu testování dosaženo ideálního konžovacího grafu za úpravy parametrů mezi nimi byly upravovány teploty, načasování dávkování surovin, délka navažování a další. Všechny testy byly testovány ve standardní průmyslové výrobě a bylo vycházeno vždy z testu 1 u všech 3 vzorků, kdy na základě jejich výsledků bylo postupováno dál při navrhování dalších testování.

U hmoty A a hmoty C byly zaznamenány první výsledky standartu (test 1) konžovací grafy s příliš vysokým zatížením motoru během konžování a nedošlo ke změně směru otáčení. To mělo souvislost s příliš suchou konzistencí, která měla následně spojitost s vysokým zatížením motoru, které bylo způsobeno vyšším třením směsi. Nicméně při testu 2 u hmoty A bylo zjištěno, že nastavení teploty směsi 55 °C před začátkem navažování není možné dosáhnout a pro ideální konžování je nutné navýšit chladicí kapacitu na výrobní lince. Nastavení teploty suchého konžování pro mléčné hmoty je doporučeno dle literatury na 50-60 °C [2, 5]. U hmoty B bylo v prvním testu zaznamenáno příliš rychlé ztekucení hmoty způsobené vysokou teplotou hmoty při válcování. Dalším možným vlivem příliš rychlého ztekucení hmoty B mohlo být následek dávkování příliš velkého množství vstupních tuků nebo lecitinu. Při testu 2 byly ponechány stejné strojní parametry a sníženy vstupní teploty na předválcí pro zajištění nižší vstupní teploty hmoty při nadávkování do konže a bylo dosaženo ideálního konžovacího grafu. Tento výsledek byl ověřován během testu 3, kdy byl prodloužen čas navažování do konže použitím pouze 1 5ti-válce, zda dojde k významným změnám během konžovacího profilu. U testu č. 3 mělo dojít k rozdělení dávkování počátečních tuků do více kroků po menších dávkách, aby bylo zatíženo snižováno průběžně, tak jak je uvedeno v literatuře [2, 5].

Všechny hmoty byly testovány v různých ročních obdobích pro zajištění srovnání vlivu okolní teploty na výrobní proces. Bylo zjištěno, že u hmoty A a C dochází navýšením teploty okolí ke zhoršení výsledků konžovacích profilů a v jejich návaznosti i ke změně reologických parametrů. U hmoty C (hořká čokoláda) dochází vzhledem k vysokému obsahu tuku ve fázi mixování způsobené vysokým obsahem kakaové hmoty při vyšší teplotě k okamžitému ztekucení v konži, a to již během navažování. Tento jev byl následně potvrzen také v literatuře [2, 5, 33]. U hmoty A je změna způsobena pravděpodobně vysokým podílem mléčných složek a nízké jemnosti. Při vyšší teplotě nedochází během konžování k samovolnému ztekucení a konžovaná hmota má stále sypkou konzistenci. To je příčinu velmi vysokého zatížení. V souladu s literaturou je další možností navýšení reologických parametrů u hmoty A je pravděpodobně způsobeno navýšením okolní teploty během letních

měsíců, a tím navýšení relativní vlhkosti v použitých materiálem a navýšení zbytkové vlhkosti na konci konžování [2, 5, 33, 34].

U hmoty A bylo během testování zjištěno, že nelze dosáhnout doporučených teplot během konžování pro mléčné hmoty, kdy je doporučeno konžování do 55-60 °C z důvodu nízké kapacity chlazení. Toto strojní nastavení bylo otestováno u hmoty A testu 3, kdy docházelo k opakovanému výpadku konže způsobené překročením havarijní teploty. Vzhledem k tomuto zjištění nebyly dále během testování dalších čokoládových hmot snižovány teploty během hlavní fáze konžování a před ztekucením. Nižší teploty jsou doporučeny z důvodu lepšího zpracování tuku s vlivem na další složky, především mléko a vývin správného aroma. Výsledky odpovídají faktům z literatury, kdy ve fázi ztekucení jsou doporučeny teploty okolo 50-55 °C na základě správné funkce především mléčného tuku a lecitinu, kdy vyššími teplotami dochází ke ztrátě jejich účinnosti a příznivých výsledků. [5, 33, 34, 41]

Během testování byl u testovaných hmot sledován průběh konžování, a to zejména změna směru otáčení hřídele. U hmoty A bylo dosaženo změny směru otáčení míchadla téměř nemožné, ale po navýšení zatížení daných podmínkou bylo přetočení nakonec u testu č. 4 dosaženo a přetáčení je i nyní stabilní. U hmoty B a C došlo ke změně směru otáčení motoru již při testu 2. Hmota B je velmi nestabilní a dochází přibližně v 5 % vyrobených šarží ke špatnému průběhu konžování, což je způsobeno vysokým podílem mléčných složek v receptuře, které nemají stabilní teploty skladování před použitím ve výrobním procesu, a i přes inertní zabalení mléčných složek dochází vlivem relativní vlhkosti ke změnám v obsahu vody. Toto zjištění má zásadní vliv na průběh konžování. U hmoty C jsou výsledky konžovacích profilů stabilní. Přibližně 1 % vyrobených šarží nemá ideální konžovací profil, což může být způsobeno, na základě použité literatury, malými rozdíly v tučnosti kakaové hmoty a její homogenizace před nadávkováním do mixéru a také rychlé krystalizace před zjemněním složek hmoty v předválcí [5, 34].

Z hlediska skladování byla hmota testována po dobu 72 h po její výrobě ve standardním skladovacím tanku. Bylo zjištěno, že nastavený čas je příliš krátký pro pozorování větších změn z hlediska skladování, ale nebylo možné déle zajistit skladovat hmotu ve standardním zařízení. U hmoty A bylo zjištěno, že po načerpání do zásobníku dochází nejprve k poklesu reologických parametrů způsobeným dokonalým vmícháním koncových tuků a lecitinu, a poté k postupnému navýšení zpět k hodnotám naměřeným při ukončení výroby (čas 0). Vzhledem ke stoupajícímu trendu by i při delším skladování docházelo k postupnému navýšování reologických parametrů. U hmoty B byly vyhodnoceny její reologické

parametry jako velmi stabilní a nedocházelo v testovacím intervalu téměř k žádným změnám. U hmoty C docházelo s narůstajícím časem k postupnému snižování reologických parametrů způsobeném postupným uvolňováním a vmícháním tuku. Tento fakt byl také v souladu s použitou literaturou [2].

ZÁVĚR

Čokoláda je oblíbenou pochutinou vyráběnou z kakaových bobů a jiných rostlinných tuků, cukru, mléčných složek a lecitinu. Během výroby čokolády dochází k vývoji typické chuti a aroma. Při konžování jsou vypařovány společně s přebytečnou vodou nežádoucí těkavé látky pocházející z kakaá.

Cílem diplomové práce bylo optimalizovat výrobní proces pro dosažení ideálního konžovacího profilu, a tím stabilizovat reologické parametry do požadovaných rozmezí. Byly testovány 3 čokoládové hmoty, z nichž se jednalo o dvě mléčné čokolády a jednu hořkou. Vybrané hmoty měly společné to, že během standartní výroby jejich konžovací profil nebyl ideální a bylo obtížné bez úpravy receptury dosáhnout požadovaných reologických parametrů. Muselo dojít k úpravám v obsahu tuku a lecitinu, a tím byl měněn sensorický profil hmot, který nebyl stabilní.

U jednotlivých hmot byly upravovány během testování strojní parametry na válcích a konžích, jejichž snahou bylo dosažení ideálního konžovacího profilu, který má přímý vliv na výsledné reologické parametry výsledné hmoty.

Z výsledků je patrné, že především teplota hmoty během celého výrobního procesu má zásadní vliv na chování směsi během výroby. Bylo zjištěno, že snížením teploty na předválcí lze dosáhnout lepší struktury hmoty v konži. Ideální vstupní teplota směsi dávkované do konže je 40 °C, protože při vyšších teplotách dochází k příliš rychlému ztekucení nebo k vytvoření pevných kuliček tvořící naopak velmi suchý charakter směsi. Ztekucení způsobené vyšší vstupní teplotou bylo pozorováno především u testované hmoty C (hořká čokoláda). Naopak velmi suchá konzistence byla pozorována u testované hmoty A (mléčná čokoláda).

Mezi další faktory mající vliv na průběh konžovacího profilu byla rychlost dávkování směsi do konže. Bylo zjištěno, že při zpomalení dávkování do konže musí být upraveny intervaly a množství dávkování vstupních tuků, případně lecitinu, a to z důvodu dosažení plynulého navýšování zatížení motoru. Zároveň docházelo k prodloužení celkového času konžování, ale na kvalitě a konžovacím profilu nebyl pozorován zlepšující se efekt.

Dalším pozorovaným faktorem byl poměr dávkovaných tuků a lecitinu v počáteční a koncové fázi navažování. Dosáhnout postupného navýšení zatížení motoru během dávkování bylo obtížné vzhledem k situaci, že dávkování tuků není vztaženo k množství směsi nadávkované do konže, ale k časovému intervalu. Druhým zkoumaným parametrem

bylo množství tuku, případně lecitinu, aby bylo dosaženo dobré konzistence směsi před začátkem suchého konžování a nedošlo k příliš rychlému ztekucení směsi, ani k příliš suché konzistenci (vysoké zatížení motoru). Ideální množství vstupních tuků je dávkování přibližně 30-40 % tuku z celkového množství tuku určeného pro fázi konžování. Případným přídavkem lecitinu je jeho účinnost vyšší, a přídavek 0,1 % lecitinu se rovná přídavku 2 % tuků.

Dalším testovaným parametrem bylo zajištění změny otáčení hřídele z pravotočivého na levotočivé otáčení, které díky speciálně navrženému designu lopatek zajišťovalo částečné samovolné ztekucení směsi bez přídavku extra tuků, či lecitinu. Nakonec bylo u všech testovaných hmot změny směru otáčení dosaženo (hmota A, hmota B, hmota C). U hmoty B je konžovací profil velmi nestabilní i nyní, a dochází přibližně v 5 % vyrobených šarží ke špatnému průběhu konžování, což je způsobeno vysokým podílem mléčných složek v receptuře, které nemají stabilní teploty skladování před použitím ve výrobním procesu, a i přes inertní zabalení dochází vlivem relativní vlhkosti ke změnám v obsahu vody. U hmoty A, C lze říci, že výsledky konžovacích profilů jsou téměř stabilní.

Dále bylo z výsledku reologických parametrů zjištěno, že při dosažení ideálního konžovacího profilu dochází u testovaných hmot k výraznému poklesu hranice toku i viskozity, a to v průměru o 0,5 Pa/Pa.s. Tím bylo potvrzeno dosažení cíle, protože ideálním konžovacím profilem je možné dosáhnout nižších reologických parametrů, a tím může být reformulována receptura pro zajištění nižší tučnosti. U hmoty C bylo zjištěno, že bez optimalizace receptury není možné dosáhnout požadovaných rozmezí reologických parametrů a pro test 2 a 3 bylo ubráno 50 % lecitinu.

Na základě zjištění této práce je z hlediska nastavení strojních parametrů pro dosažení ideálního konžovacího profilu důležitá volba správné kombinace strojních parametrů, z nichž nejvíce důležitým parametrem je teplota směsi během celého výrobního procesu. Z hlediska testování bylo u všech testovacích hmot dosaženo ideálního konžovacího profilu, a tím i nejnižšího výsledku reologických parametrů, čímž byl potvrzen vliv konžování na reologické parametry. Z hlediska skladování byly všechny čokoládové hmoty hodnoceny v intervalu 0-72 h po výrobě jako stabilní. Tento fakt je z hlediska průmyslové výroby dostačující, a to z důvodu pravidelného dočerpávání a vyčerpávání připravené čokoládové hmoty pro další použití.

Očekávaný vývoj je nyní více stabilizovat výrobu čokoládových hmot z hlediska změn teplot během jednotlivých ročních období optimalizací nastavených teplot při výrobním procesu.

V rámci vývoje budou zkoumány faktory optimálního výrobního procesu se zaměřením na skladování jednotlivých vstupních materiálů používaných pro výrobu hmot, a to především z hlediska obsahu relativní vlhkosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Stephen T. Beckett B.Sc. a , D.Phil. Industrial Chocolate Manufacture and Use. Fourth edition. 2008. ISBN 9781444301588. [cit. 2024-04-29].
- [2] R. ZIEGLER, Gregory, T. BECKETT, Stephen a S. FOWLER, Mark (ed.). Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use. Online. Fifth edition. York, UK: Wiley Blackwell, 7 March 2017n. 1. ISBN 978111892573. [cit. 2024-04-29].
- [3] BARIŠIĆ, Veronika; KOPJAR, Mirela; JOZINOVIĆ, Antun; FLANJAK, Ivana a AČKAR, Đurđica Ačkar. The Chemistry behind Chocolate Production. Online. Online, 2019. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6749277/>. [cit. 2024-04-29].
- [4] Arunkumar K., Jegadeeswari V. Evaluating the processed beans of different cocoa (*Theobroma cacao* L.) accessions for quality parameters. *J. Phytol.* 2019;11:1–4.
- [5] UNKNOWN. Buhler Chocolate Course. Uzwil, 2022. [cit. 2024-04-29].
- [6] Adeyeye E.I., Akinyeye R.O., Ogunlade I., Olaofe O., Boluwade J.O. Effect of farm and industrial processing on the amino acid profile of cocoa beans. *Food Chem.* 2010;118:357–363. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.04.127. [cit. 2024-04-29].
- [7] Afoakwa E.O., Paterson A., Fowler M., Ryan A. Flavor Formation and Character in Cocoa and Chocolate: A Critical Review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2008;48:840–857. doi: 10.1080/10408390701719272. [cit. 2024-04-29].
- [8] Brenner, P. (1991) Thermische Behandlung von Kakaobohnen und nibs, Zucker und Süßwaren Wirtschaft, 3, 106–108. [cit. 2024-04-29].
- [9] PREEDY, Victor (ed.). PProcessing and Impact on Active Components in Food. Online. Copyright, 2015. ISBN 978-0-12-404699-3. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/book/9780124046993/processing-and-impact-on-active-components-in-food#book-description>. [cit. 2024-04-29].
- [10] Quelal, O.M.; Hurtado, D.P.; Benavides, A.A.; Alanes, P.V.; Alanes, N.V. Key Aromatic Volatile Compounds from Roasted Cocoa Beans, Cocoa Liquor, and Chocolate. *Fermentation* 2023, 9, 166. <https://doi.org/10.3390/fermentation9020166> [cit. 2024-04-29].

- [11] Solid Fat Content, Pre-Crystallization Conditions, and Sensory Quality of Chocolate with Addition of Cocoa Butter Analogues. Online. S. 1029-1043. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1052881>. [cit. 2024-04-29].
- [12] TALBOT, Geoff. Applications of fats in confectionery. Online. Woodhead Publishing, 2008. ISBN 9780955808531. [cit. 2024-04-29].
- [13] H. Hoffmann. W. Mauch und W. Nutze: Zucker und Zuckerwaren. 432 Seiten, 105 Abb., 66 Tab. Verlag Paul Parey. Berlin und Hamburg 1985. Preis: 148. [cit. 2024-04-29].
- [14] Ch. Krüger, Sugar and Bulk Sweeteners, in Industrial Chocolate Manufacture and Use, ed. S. T. Beckett, Blackwell, Oxford, UK, 3rd edn, 1999. [cit. 2024-04-29].
- [15] S. J. Haylock and T. M. Dodds, Ingredients from Milk, in Industrial Chocolate Manufacture and Use, ed. S. T. Beckett, Blackwell, Oxford, UK, 3rd edn, 1999. [cit. 2024-04-29].
- [16] SHAH, Nagendra P.; CHANDAN, Ramesh C. a KILARA., Arun (ed.). Chemical Composition, Physical, and Functional Properties of Milk and Milk Ingredients, Chapter 4. Online. 2015. ISBN 9781118810279. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9781118810279.ch04>. [cit. 2024-04-29].
- [17] ESTHER, H.; KIM, J.; DONG CHEN, Xiao a , D. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 2. Effects of spray drying conditions on the surface composition,. Journal of Food Engineering. Roč. 2009, s. 169-181. ISSN 0260-8774.
- [18] MORTENSEN, B.K. Mortensen. Anhydrous Milk Fat/Butter Oil and Ghee. Online. S. 515-521. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00647-8>. [cit. 2024-04-29].
- [19] CÍDLOVÁ, Hana, Zuzana MOKRÁ a Barbora VALOVÁ. Obecná chemie. Online. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2018. Elportál. ISBN 978-80-210-8953-2. ISSN 1802-128X. Dostupné z: <http://is.muni.cz/elportal/?id=1412124>.
- [20] Minifie, B.W. (1989). Emulsifiers in Chocolate Confectionery Coatings and Cocoa. In: Chocolate, Cocoa and Confectionery: Science and Technology. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-7924-9_4
- [21] Online. Dostupné z: <https://www.cnchemsino.com/blog/what-emulsifiers-are-used-in-chocolate.html>. [cit. 2024-05-02].

- [22] Chocolate. Online. Dostupné z: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/chocolate>. [cit. 2024-05-02].
- [23] Products/chocolate-making/mixing/batch-mixers-hbm. Online. Dostupné z: <https://www.h-d-m.com/en/products/chocolate-making/mixing/batch-mixers-hbm/>. [cit. 2024-05-02].
- [24] Vyhláška č. 76/2003 Sb., o požadavcích pro přírodní sladidla, med, cukrovinky, kakaový prášek a směsi kakaa s cukrem, čokoládu a čokoládové bonbony. In: 2003.
- [25] Mixer. Online. Dostupné z: https://www.bft-international.com/en/artikel/bft_BHS_mixer_used_in_dam_construction_in_Portugal-3388371.html. [cit. 2024-05-02].
- [26] Buhler group. Online. Dostupné z: <https://www.buhlergroup.com/global/en/homepage.html>. [cit. 2024-05-02].
- [27] DuyvisWiener. Online. Dostupné z: <https://duyviswiener.com/equipment/chocolate-processing/two-roll-refiner/>. [cit. 2024-05-02].
- [28] BSA_Produktvorstellung_CHOC. Online. Dostupné z: https://chocompact.com/BSA_Produktvorstellung_CHOC.pdf. [cit. 2024-05-02].
- [29] Kocotek, chocolate manufacturing. Online. Dostupné z: <https://kocotek.com/cocoa-chocolate/chocolate-manufacturing/traditional-roller-refining/>. [cit. 2024-05-02].
- [30] BOLENZ, Siegfried a MANSKE, André. Impact of fat content during grinding on particle size distribution and flow properties of milk chocolate. Online. European Food Research and Technology. 2013, roč. 236, s. 863-872. ISSN 1438-2377. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00217-013-1944-7>. [cit. 2024-05-02].
- [31] The International Cocoa Trade. Online. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/C2013-0-16163-6>. [cit. 2024-05-02].
- [32] BECKETT, S. Chocolate manufacture. Online. Science and Technology of Enrobed and Filled Chocolate, Confectionery and Bakery Products. 2009, s. 11-28. ISBN 9781845693909. Dostupné z: <https://doi.org/10.1533/9781845696436.1.11>. [cit. 2024-05-02].
- [33] Krohne, Konšování, temperace a plnění při výrobě čokolády. Online. Dostupné z: <https://cz.krohne.com/cs/prumyslova-odvetvi/potravinarsky-prumysl/vyroba-cokolady->

potravinarskem-napojovem-prumyslu/konsovani-temperace-plneni-vyrobe-cokolady. [cit. 2024-05-02].

[34] LEY, D. Conching. Online. Industrial Chocolate Manufacture and Use. 1994. ISBN 978-1-4613-5879-4. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2111-2_9. [cit. 2024-05-02].

[35] ČOPÍKOVÁ, J., 2015. Čokoláda, kakao a výrobky z nich. 1.vyd. ISBN 978-80-87719-26-8

[36] Chocolate mass. Online. Dostupné z: <https://www.newfoodmagazine.com/article/15037/chocolate-mass-processing-technologies/>. [cit. 2024-05-02].

[37] HOSKIN, J. C. a DIMICK, P. S. Chemistry of flavour development in chocolate. Online. Industrial Chocolate Manufacture and Use. 1994, s. 102-116. ISBN 978-1-4613-5879-4. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2111-2_8. [cit. 2024-05-02].

[38] What changes occur in chocolate during conching? Online. Dostupné z: <https://www.newfoodmagazine.com/article/2122/what-changes-occur-in-chocolate-during-conching/>. [cit. 2024-05-04].

[39] BECKETT, S. T., 2011b. Industrial Chocolate Manufacture and Use. B.m.: John Wiley & Sons. ISBN 978-1-4443-5755-4.

[40] GLICERINA, V., F. BALESTRA, M. DALLA ROSA a S. ROMANI, 2016. Microstructural and rheological characteristics of dark, milk and white chocolate: A comparative study. Journal of Food Engineering [online]. 169, 165–171. ISSN 02608774. Dostupné z: [doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.08.011](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.011)

[41] GONÇALVES, E. V. a S. C. LANNES, 2010. Chocolate rheology. Food Science and Technology [online]. B.m.: SBCTA, 30(4), 845–851. ISSN 0101-2061. Dostupné z: [doi:10.1590/S0101-20612010000400002](https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000400002)

[42] LIANG, B. a R.W. HARTEL, 2004. Effects of Milk Powders in Milk Chocolate. Journal of Dairy Science [online]. 87(1), 20–31. ISSN 00220302. Dostupné z: [doi:10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73137-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73137-9)

[43] ATTAIE, H., B. BREITSCHUH, P. BRAUN a E. J. WINDHAB, 2003. The functionality of milk powder and its relationship to chocolate mass processing, in particular the effect of milk powder manufacturing and composition on the physical properties of

chocolate masses. *International Journal of Food Science and Technology* [online]. 38(3), 325–335. ISSN 0950-5423, 1365-2621. Dostupné z: doi:10.1046/j.1365-2621.2003.00678.x

[44] LIANG, B. a HARTEL, R.W. Effects of Milk Powders in Milk Chocolate. Online. *Journal of Dairy Science*. 2004, roč. 87, č. 1. ISSN 00220302. Dostupné z: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73137-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73137-9). [cit. 2024-05-04].

[45] HOWARD, A. a BARNES. *A handbook of elementary rheology*. 1. Aberystwyth : University of Wales, 2000. ISBN 0953803201.

[46] CHEVALLEY, J. Chocolate flow properties. Online. *Industrial Chocolate Manufacture and Use*. 1994, s. 139-155. ISBN 978-1-4613-5879-4. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2111-2_10. [cit. 2024-05-04].

[50] AESCHLIMANN, J.-M. a BECKETT, S. T. INTERNATIONAL INTER-LABORATORY TRIALS TO DETERMINE THE FACTORS AFFECTING THE MEASUREMENT OF CHOCOLATE VISCOSITY. Online. *Journal of Texture Studies*. 2000, roč. 31, č. 5, s. 541-576. ISSN 0022-4901. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2000.tb01019.x>. [cit. 2024-05-04].

[51] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 3219, *Plastics - Polymers / resins in the liquid state or as emulsions or dispersions - Determination of viscosity using a rotational viscometer with defined shear rate..* Second edition. 1993.

[52] ISO 5725-1 to 6:1994, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results.

[53] SERVAIS, C.; RANC, H. a ROBERTS, I.D. DETERMINATION OF CHOCOLATE VISCOSITY. Online. *Journal of Texture Studies*. 2003, roč. 34, č. 5-6, s. 467-497. ISSN 0022-4901. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2003.tb01077.x>. [cit. 2024-05-04].

[54] Business - Calipers Micrometer Mitutoyo Accuracy And Precision Gauge PNG. Online. Dostupné z: https://favpng.com/png_view/business-calipers-micrometer-mitutoyo-accuracy-and-precision-gauge-png/GwxBmgLv. [cit. 2024-05-04].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CBE	cocoa butter equivalent
CBR	cocoa butter replacement
CBS	cocoa butter substituent
PGPR	polyglycerolpolyricinoleát
HPLC	plynová kapalinová chromatografie
NMR	nukleární magnetická rezonance
POP	palmitová-olejová-palmitová MK
POst	palmitová-olejová-stearová MK
StOst	stearová-olejová-palmitová MK
DÜC	double overthrough conche
ELK	single shaft conche
ICA	International Confectionery Association

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: technologie zpracování kakaových bobů a získání produktů z nich [5]	14
Obrázek 2: fázový diagram jednoduchého binární systému, kdy A, B jsou jednotlivé tuky a C eutektický bod [19]	20
Obrázek 3: navažování přímo do mixéru [5]	25
Obrázek 4: proces navažování přes vypouštěcí zásobníky [5]	26
Obrázek 6: graf závislosti hmotnosti na čase navažován [5]	27
Obrázek 7 – schéma dvoumíchadlového diskontinuálního mixéru [24]	27
Obrázek 8 – předválec S značky Buhler [26]	28
Obrázek 9: schéma 5ti-válce [29]	29
Obrázek 10: Petzholdt konže [31]	30
Obrázek 11: design míchadla ELK konže [32]	31
Obrázek 12: DÜC konže [31]	32
Obrázek 13: graf závislosti poklesu vlhkosti a kyselosti na čase konžování [2]	35
Obrázek 14: graf závislosti změny viskozity na základě smykové rychlosti během času konžování [2]	35
Obrázek 15: ideální průběh konžovacího profilu v ELK konžích (modrá křivka-teplota čokolády, zelená křivka-rychlost motoru, červená křivka-zatížení motoru), v grafu jsou znázorněny 3 fáze (dávkování, konžování, ztekucení), dále je vyznačena oblast pravotočivého (clockwise) a levotočivého (anti-clockwise) otáčení míchadla a doporučený poměr a množství dávkování počátečních a koncových tuků a lecitinu [38]	37
Obrázek 16: vliv jemnosti částic čokoládové hmoty na hodnoty Cassonovy viskozity u hmot s obsahem lecitinu 0,25 % a obsahem tuku (1-30 %, 2-32 %) [2]	40
Obrázek 17 - proces DoMiReCo [26]	47
Obrázek 18: vizuální schéma předválce a nastavitelných parametrů	48
Obrázek 19: vizuální schéma 5ti-válce a nastavitelných parametrů	49
Obrázek 20: recepturní model pro Buhler ELK6 konži	50
Obrázek 22 - Digitální mikrometr Mitutoyo 0-25 mm [54]	54
Obrázek 23: graf průběhu konžovacího procesu hmoty A (test 1)	56
Obrázek 24: graf průběhu konžovacího procesu hmoty A (test 2)	57
Obrázek 25: graf průběhu konžovacího procesu hmoty A (test 3)	59
Obrázek 26: graf průběhu konžovacího procesu hmoty A (test 4)	60
Obrázek 27: graf závislosti změny hranice toku v čase u hmoty A	62
Obrázek 28: graf závislosti změny viskozity v čase u hmoty A	63
Obrázek 29: graf průběhu konžovacího procesu hmoty B (test 1)	64
Obrázek 30: graf průběhu konžovacího procesu hmoty B (test 2)	65
Obrázek 31: graf průběhu konžovacího procesu hmoty B (test 3)	66

Obrázek 32: graf závislosti změny hranice toku v čase u hmoty B.....	68
Obrázek 33: graf závislosti změny viskozity v čase u hmoty B.....	69
Obrázek 34: graf průběhu konžovacího procesu hmoty C	70
Obrázek 35: graf průběhu konžovacího procesu hmoty C	71
Obrázek 36: graf průběhu konžovacího procesu hmoty C	72
Obrázek 37: graf závislosti změny hranice toku v čase u hmoty C.....	75
Obrázek 38: graf závislosti změny viskozity v čase u hmoty C	75

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: procentuální složení jednotlivých mléčných produktů [5, 16]	19
Tabulka 2: receptury jednotlivých druhů čokoládových hmot [2, 5]	23
Tabulka 3: legislativní požadavky pro jednotlivé kategorie čokoládových hmot [5].....	23
Tabulka 4: surovinové složení hmoty A v hm. %.....	44
Tabulka 5: surovinové složení hmoty B	45
Tabulka 6: surovinové složení hmoty C	46
Tabulka 7: Naměřené hodnoty reologických parametrů a jemností u hmoty A.....	61
Tabulka 8: naměřené hodnoty reologických parametrů a jemností u hmoty C	67
Tabulka 9: Naměřené hodnoty reologických parametrů a jemností u hmoty C	74
Tabulka 10: přehled upravených parametrů v závislosti na testování u hmoty A, B, C.....	77

SEZNAM PŘÍLOH

