

Vliv homogenizačního tlaku na funkční vlastnosti tavených sýrových omáček

Bc. Kateřina Nedbalová

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. Kateřina Nedbalová
Osobní číslo: T23482
Studijní program: N0721A210004 Technologie potravin
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Vliv homogenizačního tlaku na funkční vlastnosti tavených sýrových omáček

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část

Obecná charakteristika tavených sýrových omáček.

Charakteristika vysokotlaké homogenizace a její použití v mlékárenství.

Homogenizace a její vliv na funkční vlastnosti tavených sýrových omáček a podobných produktů.

II. Praktická část

Vyrobte modelové vzorky tavených sýrových omáček.

Aplikujte u modelových vzorků různé homogenizační tlaky.

Proveďte analýzy vybraných vlastností modelových vzorků.

Výsledky vyhodnoťte a formulujte závěry.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] PAQUIN, P. (1999). Technological properties of high pressure homogenizers: the effect of fat globules, milk proteins, and polysaccharides [Online]. *International Dairy Journal*, 9(3-6), 329-335. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(99\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(99)00083-7)
- [2] MOHAMMADI, A., & FADAEI, V. (2018). The effect of homogenization on texture of reduced dry matter processed cheese [Online]. *Food Science and Technology*, 38(1), 190-195. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.17817>
- [3] LU, N., WANG, J., CHEN, Z., ZHANG, X., CHEN, C., & WANG, S. (2021). The effect of adding phospholipids before homogenization on the properties of milk fat globules [Online]. *Lwt*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111659>
- [4] KŮROVÁ, V., SALEK, R. N., VAŠINA, M., VINKLÁRKOVÁ, K., ZÁLEŠÁKOVÁ, L., GÁL, R., ADÁMEK, R., & BUŇKA, F. (2022). The effect of homogenization and addition of polysaccharides on the viscoelastic properties of processed cheese sauce [Online]. *Journal of Dairy Science*, 105(8), 6563-6577. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21520>

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vendula Kůrová, Ph.D.**
Ústav technologie 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 AUTORA 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 užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývala vlivem různých homogenizačních tlaků na funkční vlastnosti tavených sýrových omáček. Teoretická část popisuje obecnou charakteristiku tavených sýrových omáček a vysvětluje princip vysokotlaké homogenizace a možnost jejího využití v mlékárenství. Dále je v teoretické části popsán vliv homogenizace na funkční vlastnosti těchto omáček. V praktické části byly nejprve vyrobeny modelové vzorky tavených sýrových omáček se třemi různými surovinovými skladbami, které se lišily obsahem tuku v sušině. Následně byl na každý vzorek aplikován homogenizační tlak 20, 40, 60 nebo 80 MPa. Jako kontrolní vzorky sloužily ty, které nebyly podrobeny homogenizačnímu procesu. Závěrem byla provedena analýza vybraných vlastností jednotlivých vzorků, jako je stanovení pH, obsahu sušiny, reologických vlastností, stability vzorku a aktivity vody.

Klíčová slova: tavená sýrová omáčka, vysokotlaká homogenizace, homogenizační tlak, funkční vlastnosti

ABSTRACT

The thesis deals with the influence of different homogenization pressures on the functional properties of processed cheese sauces. The theoretical part describes the general characteristics of processed cheese sauces and explains the principle of high-pressure homogenization and the possibility of its application in dairy industry. The influence of homogenisation on the functional properties of these sauces is also described in the theoretical part. In the practical part, model samples of processed cheese sauces were produced with three different raw material compositions, which had different fat in the dry matter content. Homogenization pressures of 20, 40, 60 or 80 MPa were then applied to each sample. The control samples were those that were not subjected to the homogenization process. Finally, selected properties of each sample were analysed, such as pH, dry matter content, rheological properties, emulsion stability and water activity.

Keywords: processed cheese sauce, high-pressure homogenization, homogenization pressure, functional properties

Ráda bych tímto poděkovala vedoucí mé diplomové práce paní Ing. Vendule Kůrové Ph.D., za její trpělivost, čas, odborné vedení a cenné rady, které mi celou dobu během zpracování poskytovala.

Poděkování také patří mé rodině, za neustálou podporu během celého studia.

“Vzdělání je nejlepší investice, kterou můžete udělat. Nikdo vám ho nemůže vzít a nikdy nepřestane platit.”

Tomáš Baťa

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

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA TAVENÝCH SÝROVÝCH OMÁČEK	10
1.1 SUROVINY PRO VÝROBU TAVENÝCH SÝROVÝCH OMÁČEK.....	13
1.2 TECHNOLOGIE VÝROBY.....	18
2 CHARAKTERISTIKA VYSOKOTLAKÉ HOMOGENIZACE A JEJÍ POUŽITÍ V MLÉKÁRENSTVÍ	22
2.1 VYSOKOTLAKÁ HOMOGENIZACE.....	22
2.1.1 Vysokotlaký homogenizátor.....	24
2.1.2 Výhody a nevýhody vysokotlaké homogenizace.....	25
2.1.3 Využití vysokotlaké homogenizace.....	25
3 HOMOGENIZACE A JEJÍ VLIV NA FUNKČNÍ VLASTNOSTI TAVENÝCH SÝROVÝCH OMÁČEK A PODOBNÝCH PRODUKTŮ	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	29
4 CÍL PRÁCE	30
5 POPIS VZORKŮ A METODIKA PRÁCE	31
5.1 SUROVINY PRO VÝROBU MODELOVÝCH VZORKŮ.....	31
5.2 VÝROBA MODELOVÝCH VZORKŮ.....	32
5.3.1 Stanovení pH.....	34
5.3.2 Stanovení obsahu sušiny.....	34
5.3.3 Reologická analýza modelových vzorků při konstantní teplotě měření.....	34
5.3.4 Reologická analýza při konstantním zahřívání modelových vzorků.....	35
5.3.5 Stanovení stability.....	36
5.3.6 Stanovení aktivity vody.....	36
6 VÝSLEDKY A DISKUZE	37
6.1 STANOVENÍ PH.....	37
6.2 STANOVENÍ OBSAHU SUŠINY.....	38
6.3 REOLOGICKÁ ANALÝZA.....	40
6.3.1 Reologická analýza modelových vzorků při konstantní teplotě měření.....	40
6.3.2 Reologická analýza při konstantním zahřívání modelových vzorků.....	46
6.4 STABILITA VZORKU.....	50
6.5 VODNÍ AKTIVITA.....	51
7 ZÁVĚR	52
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	53
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	59
SEZNAM OBRÁZKŮ	60
SEZNAM TABULEK	62

ÚVOD

Sýry se objevují v lidské výživě již po mnoho let, jsou bohatým zdrojem vápníku, bílkovin a fosforu. Dostupná literatura je datuje až do roku 5200 před naším letopočtem. Světová produkce sýrů v současné době představuje přes 35 % celkové produkce mléka a v posledních desetiletích se každoročně zvyšuje. [1, 2]

Tavené sýry jsou díky svému rozmanitému využití považovány za univerzální potravinu. Byly vyvinuty pro další využití a konzervaci přírodních sýrů. V dnešní době je důležitým tématem snížení plýtvání potravinami a může k tomu cílit i vývoj tavených sýrů, kdy se kromě recyklace nespotřebovaných přírodních sýrů využívají i další suroviny. [2, 3]

V současné době lze na trhu najít spoustu dalších výrobků odvozených právě od tavených sýrů jako jsou různé pomazánky, dipy, analogy tavených sýrů nebo omáčky. Literatura týkající se těchto výrobků je však značně omezena, protože mnoho informací bylo patentováno nebo zůstávají obchodním tajemstvím. [3]

Tavené sýrové omáčky jsou poměrně novými produkty, které lze nalézt v mnoha formách, například zmrazené, polotekuté nebo suché směsi. Mohou sloužit k zvýraznění chuti pokrmů nebo jeho ozvláštnění. Vyrábějí se za pomoci několika přísad jako je přírodní nebo tavený sýr a další složky mléčného a nemléčného původu. Obecně je lze popsat jako stabilní emulzi oleje ve vodě. [4]

Proces výroby těchto omáček lze zjednodušeně popsat jako míchání a zahřívání předem vybraných surovin, dokud není dosaženo homogenní hmoty požadovaných vlastností. Do tohoto procesu lze také zahrnout proces homogenizace. Jedná se o fyzikální proces, při kterém je rozptýlený systém emulze nebo suspenze nucen proudit vysokou rychlostí přes úzký ventil, čímž dojde ke vzniku menších tukových kuliček. Tato technologie se v mlékárenském průmyslu využívá pro zlepšení stability emulzí, umožňuje zlepšení jejich struktury, chuti, vůně nebo trvanlivosti. [5]

Cílem této diplomové práce je sledovat vliv homogenizačního tlaku na vybrané funkční vlastnosti tavených sýrových omáček. Je rozdělena na dvě části, první se věnuje charakteristice tavených sýrových omáček, vysokotlaké homogenizaci a jejímu vlivu na tyto produkty. Druhá polovina práce zahrnuje výrobu modelových vzorků a analýzu jejich vybraných funkčních vlastností.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA TAVENÝCH SÝROVÝCH OMÁČEK

Tavené sýrové omáčky lze definovat jako výrobek na bázi sýra s relativně vysokým obsahem vlhkosti, který lze obecně popsat jako stabilní emulzi oleje ve vodě. [4, 5] Tyto omáčky jsou obvykle tekuté či polotekuté, dodávají pokrmům chuť a základními ingrediencemi pro jejich výrobu jsou přírodní či tavené sýry. [6] Komerčně mohou mít mnoho forem, dodávají se v mraženém nebo polotekutém stavu, či jako sušené směsi. [7]

Tyto výrobky však nejsou přesně definovány podle vyhlášky ani pro ně neexistují žádná právně zavedená označení, lze je tedy vyrábět za pomoci použití různých přísad, nejčastěji se využívá přírodní sýr, sýrový prášek nebo tavený sýr a další mléčné nebo nemléčné přísady. Jedná se o poměrně nový výrobek s širokým množstvím využití. Lze jej použít jako samostatný pokrm s přílohou nebo jako dresink k masu či salátu, podávat se může jak za horka, tak za studena. [4, 5, 7, 8]

Vzhledem k všestrannosti využití sýrových omáček, se výrobci snaží dále vymýšlet nové receptury a neustále vylepšovat výrobní technologie. [6] Například Shalaby et al. (2017) popsali možnost tyto omáčky ochutit pomocí esenciálních olejů za účelem dodání barvy, chuti a dalších příznivých výhod jak pro výrobce, tak i konzumenty – zvýšená stabilita při skladování nebo nižší výrobní náklady. Při senzoričném hodnocení byly tyto vzorky dokonce hodnotiteli vyhodnoceny jako nejpříznivější, ať už se to týkalo jejich barvy, textury nebo konzistence. [7]

Funkční vlastnosti tavených sýrových omáček mohou být ovlivněny hned několika faktory:

- **Složení použitých surovin** – u použitého přírodního sýru určeného k tavení má na funkční vlastnosti vliv jeho druh a stupeň zralosti, pH, obsah sušiny nebo tuku v sušině, dalším faktorem je také koncentrace nebo druh tavicích solí. [4, 9] Použité hydrokoloidy zase mohou ovlivňovat konzistenci a stabilitu emulze tavených sýrových omáček. [5]
- **Parametry při zpracování** – záleží na rychlosti a době míchání nebo ochlazování taveniny.
- **Skladování** – důležité jsou také parametry skladování (doba a teplota uskladnění) nebo vlastnosti obalového materiálu. [4]

Tavené sýrové omáčky jsou výrobky odvozené od tavených sýrů. Tavené sýry lze definovat jako komplexní, vícesložkový mléčný systém, jedná se o stabilní gelovou emulzi oleje ve vodě. Vyrábí se smícháním přírodního sýra, různého stáří a stupně zralosti, v přítomnosti tavicích solí a dalších mléčných nebo nemléčných přísad, zahřátím při nepřetržitém míchání, než je dosaženo homogenního produktu požadovaných vlastností. Přehled povolených složek použitých při výrobě sýrů a tavených sýrových výrobků, zaznačen v Tabulce 1. [1, 10]

Tabulka 1: Přehled povolených složek u tavených výrobků, upraveno dle [11]

Složka jiná než sýr	Tavený sýr a tavený roztíratelný sýr		Tavený sýrový výrobek a tavený mléčný výrobek
	Druhově pojmenovaný	Druhově nepojmenovaný	
Máslo, máselný tuk, smetana, máselný koncentrát	Pouze pro standardizaci obsahu tuku	✓	✓
Ostatní mléčné složky	×	✓ (obsah nejvýše 5 % hm. laktózy ve finálním taveném sýru)	✓
Jedlá sůl	✓	✓	✓
Bakteriální kultury	✓	✓	✓
Enzymy (zdravotně nezávadné se specifickými účinky)	✓	✓	✓
Cukry (sacharidy se sladícím účinkem)	×	×	✓
Koření a sezónní zelenina	Podle druhu výrobku a v množství, které postačuje, aby dodalo konečnému výrobku charakteristickou chuť		
Ostatní zdravotně nezávadné potraviny	✓		✓

Výroba a spotřeba tavených sýrů neustále roste, jedním z důvodů může být stále vyšší spotřebitelská poptávka po hotových jídlech nebo polotovarech, dalším z důvodů je to, že tavené sýry umožňují výrobcům potravin přizpůsobit produkt jakýmkoliv specifickým požadavkům prostřednictvím změny složení a parametrů zpracování. [1]

Konzistenci tavených sýrů může ovlivnit hned několik parametrů:

- **Surovinová skladba** – obsah sýrů různých druhů a zralosti, složení tavicích solí,

- **Technologické parametry výroby** – rychlost a doba míchání nebo chlazení,
- **Podmínky skladování** – délka a teplota uskladnění, vlastnosti balení, důležitá je také vlhkost vzduchu a čistota skladovacích prostor. [12, 13]

Původ tavených sýrů se datuje již na začátek 20. století, kdy bylo původní myšlenkou prodloužit trvanlivost přírodního sýra, a zároveň tak najít jeho další využití. [10] V minulosti se tavené sýry vyráběly pouze v malém měřítku, dnes už však jsou vyráběny celosvětově, buď jako samostatný výrobek určený k přímé spotřebě, nebo pro další použití. [14]

Oproti přírodním sýrům, ze kterých jsou vyráběny, mají delší trvanlivost a dají se využít jako jejich alternativa. Výhodou tavených sýrů je jednoduchost výroby, nižší výrobní náklady, přizpůsobení produktu pro splnění specifických požadavků, týkajících se složení produktu nebo funkčních vlastností. [1] V průběhu času byly kromě tavených sýrů vyvinuty různé typy produktů na základě stejného základního složení a výrobního schématu. Mezi takové patří například analogy tavených sýrů nebo tavené sýrové omáčky. [2]

Další významnou skupinou tavených výrobků jsou analogy tavených sýrů. Jedná se o výrobky podobné sýru, ve kterých byl mléčný tuk částečně nebo úplně nahrazen jinými nemléčnými tuky. Jejich výroba probíhá za pomoci různých funkčních přísad. Získávají se smícháním vody, různých rostlinných olejů, bílkovin a dalších složek v přítomnosti tavicích solí za účelem získání homogenního produktu. Od tavených sýrů se liší tím, že proteinové složky jsou obvykle nahrazeny suchým kaseinovým práškem, místo využití přírodního sýra. I ten však lze v nízkém množství použít, pro zlepšení chuti. [1, 15] Jako další běžná náhrada bílkovin a tuků se využívá škrob. Ten má také mnoho dalších důležitých funkcí v procesu výroby, jako je třeba vliv na viskozitu a vázání vody v matrici, což ovlivňuje konečnou texturu omáčky. Dále snižuje výrobní náklady nebo prodlužuje trvanlivost výrobku. [2, 6] Výroba těchto produktů je podobná jako u tavených sýrů, hlavní kroky se skládají z přípravy surovin, míchání, zahřívání, tavení, balení za tepla a chlazení. Celý proces trvá asi 8–13 minut. Při skladování v chladném prostředí vykazují relativně stabilní texturní a chuťové vlastnosti, výhodou může být jejich snadné balení a široké využití. [15]

1.1 Suroviny pro výrobu tavených sýrových omáček

Jak bylo výše zmíněno, výroba tavených sýrových omáček je založena na smísení několika surovin, jako je přírodní sýr, mléčný tuk, voda, tavicí soli a další volitelné přísady. Tento proces se provádí v mírném vakuu za působení tepla a konstantního míchání. [4, 16]

1.1.1 Suroviny mléčného původu

Přírodní sýr

Jedná se o základní surovinu jejíž přídavek může hrát důležitou roli z mnoha důvodů. Poskytuje základ budoucí matrice tavené sýrové omáčky, do které lze začlenit řadu dalších přísad. Může také ovlivňovat chuť, texturu nebo viskozitu výsledného produktu. Ke zhoršení viskozity či textury výsledné tavené sýrové omáčky může docházet snížením množství použitého sýra. [6, 7]

Mohou být využity různé typy sýrů v různých stupních zralosti. Používat se mohou sýry jako je čedar, sýry holandského nebo švýcarského typu, či Mozzarella. [17, 18]

Během zrání dochází u přírodních sýrů k takzvané proteolýze, kdy různé enzymy hydrolyzují proteiny v sýru. Jedná se o jednu z hlavních biochemických změn, kdy během zrání dochází k fyzikálním, chemickým a chuťovým změnám přírodního sýra. Při použití sýru s nízkým stupněm proteolýzy lze získat tavené sýry s tuhou konzistencí, naopak u přírodních sýrů s více hydrolyzovaným kaseinem lze předpokládat získání snadněji roztíratelných a chuťově bohatších tavených sýrů nebo omáček. [18, 19] K proteolýze kaseinu dochází působením enzymů zahrnujících zbytkovou aktivitu nativních mléčných enzymů, exogenního enzymatického systému nekyselých a kyselých bakterií mléčného kvašení a enzymů syřidla. [18]

Dehydrovaný sýr

Využívá se jako náhražka přírodního sýru, v množství 5–10 hm. % v závislosti na požadované konzistenci. [6]

Máslo

Jedná se o emulzi vody v oleji, kde vodnou fází tvoří kapičky mléčného séra a olejovou fází směs nativního mléčného tuku. Využívá se pro zlepšení textury nebo chuti. [2, 20] Jde o složku, která slouží jako změkčující a plnicí činidlo ve struktuře sýra. Společně s kaseinem také přispívá k tavitelnosti a tekutosti produktu. Mezi další zdroje mléčného tuku patří smetana, máslo, máslový olej nebo bezvodý mléčný tuk. [2]

Sušená syrovátka

Sušená syrovátka se v mlékárenském průmyslu získává pomocí válcových sušáren, jako vedlejší produkt při výrobě sýra nebo jiných mléčných produktů. [21] Při dalším zpracování v množství pod 10 % hm. může zlepšit proces emulgate a roztíratelnost výsledného produktu. Obsah laktózy v syrovátce může způsobovat nasládlou chuť, poruchy krystalizace nebo také Maillardovu reakci, která vede ke hnědnutí směsi. Obsah minerálních látek může mít za následek slanou chuť. [2, 20]

- Sladká syrovátka – odděluje se od mléka sraženého syřidlem při pH 6,1–6,5;
- Kyselá syrovátka – je vedlejším produktem přípravy kaseinu izoelektrickým srážením s okyselením na pH 4,6 fermentací kyseliny mléčné. [20]

Připravuje se odpařením, krystalizací laktózy a sušením sladké nebo kyselé syrovátky. Cílem odpařování je koncentrovat syrovátku na 42–60 % hm. obsahu sušiny a při krystalizaci laktózy ji převést na její krystalickou formu α -hydrátu. Díky tomu je laktóza hygroskopická a snižuje spékání. [2] Obsah laktózy v tavených sýrech by měl být podle vyhlášky č. 274/2019 Sb. nejvýše 5 % hm., zatímco jako tavené sýrové výrobky se značí mléčné výrobky s obsahem laktózy více než 5 %. [11]

Kasein

Kaseiny jsou hlavní skupinou proteinů přítomných v mléce. Tvoří asi 74–80 % obj. hrubého mléčného proteinu a zahrnují čtyři základní frakce – α_{S1} -, α_{S2} -, β - a κ -. [10, 20]

Frakce kaseinových bílkovin jsou v tavených sýrových omáčkách považovány za hlavní emulgátor, pocházejí ze základní suroviny, jakou je především přírodní sýr nebo jiné složky mléčného původu. [5]

Srážení kaseinových bílkovin lze provést pomocí sladkého srážení, za působení proteolytického enzymu (syřidla), nebo pomocí kyselého srážení, pomocí úpravy hodnoty pH mléka. [22]

Sladký kasein – získává se proteolytickou destabilizací kaseinových micel v mléce pomocí chymozinu nebo jemu podobných proteáz, které štěpí vazbu Phe105 – Met106 κ -kaseinu. Je nejběžněji používaným zdrojem bílkovin, ale ne výhradně, má totiž lepší chuťové a funkční vlastnosti. [1, 20]

Není rozpustný ve vodě v důsledku interakcí kasein–kasein, zprostředkovaných vápníkem. Hydratace kaseinu lze dosáhnout pouze přidáním tavicích solí, jako jsou fosforečnan

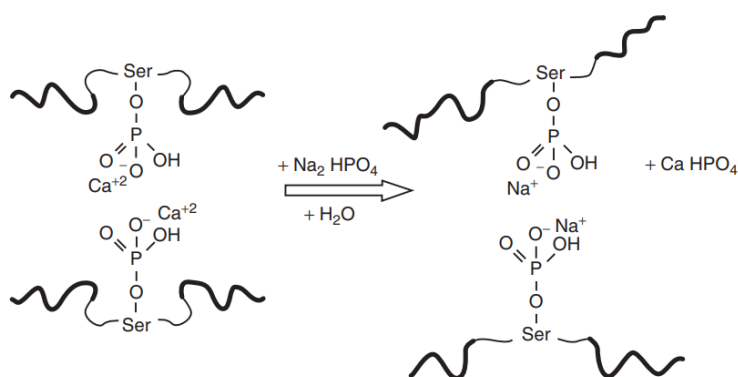
a citronany sodné, nezbytnou součástí je také míchání a zahřívání na teploty až 80 °C. [1, 10]

Kyselý kasein – mléko je okyseleno na izoelektrický bod kaseinu, za který se považuje hodnota pH 4,6. Tento izoelektrický bod je stav, kdy koncentrace vodíkových iontů neutralizuje záporně nabitě kaseinové micely, což vede k vysrážení (koagulaci) kaseinového komplexu. [23]. K okyselení může dojít pomocí organických kyselin jako je kyselina chlorovodíková a octová nebo fermentací bakteriemi mléčného kvašení. [20, 24]

Kaseináty – Jedná se o soli vzniklé z mléka srážením kaseinu, neutralizací a následným sušením. Ve srovnání s kyselým kaseinem mají kaseináty lepší schopnost vázat vodu a tím zajistit vyšší viskozitu a lepší emulgační vlastnosti. Některé kaseináty, jako jsou například kaseináty sodné, draselné nebo vápenaté, se mohou využívat jako složky potravin pro jejich funkční nebo nutriční vlastnosti. Slouží zde jako pojiva nebo emulgátory. [20, 23]

1.1.2 Tavicí soli

Jde o jednu z hlavních surovin, jejich přidavek je nezbytný pro úpravu v tavné směsi tak, aby přítomné kaseiny mohly uplatnit své přirozené emulgační vlastnosti. [19] Jsou důležitou složkou díky své schopnosti upravovat pH a oddělovat vápník z kaseinové matrice. Dochází k iontové výměně sodného iontu z tavicí soli a vápenatého iontu z přírodního sýra, který je hlavní surovinou pro výrobu tavených sýrů a omáček, zjednodušené schéma iontové výměny je znázorněno na Obrázku 1. [4, 25]



Obrázek 1: Zjednodušené znázornění účinku tavicí soli v tavené směsi. [25]

V potravinářském průmyslu se využívají například sodné, draselné, amonné, vápenaté nebo sodno-hlinité soli. Pro výrobu tavených sýrů se využívají převážně sodné soli na bázi fosforečnanů. Naopak soli draselné se nevyužívají pro možnou hořkou chuť výsledného produktu. [26] Tavicí soli se v praxi nevyužívají samostatně, ale jako směs několika

fosforečnanových nebo citronanových solí. [19, 26] Zvolení vhodné směsi tavicích solí vede k přizpůsobení vlastností konečného produktu jako jsou krájitelnost, roztíratelnost anebo tavitelnost. [27]

Hlavním emulgátorem nacházejícím se v tavených sýrových omáčkách jsou hydratované a dispergované bílkoviny, zejména kasein, vyskytující se v přírodním sýru nebo jiných mléčných složkách. [5] Emulgační potenciál kaseinu je zlepšen využitím tavicích solí, jejichž aktivními složkami jsou jednomocné kationty (sodík) a vícemocné anionty (citronany nebo fosforečnan). Tyto soli chelatují vápník, který hraje důležitou roli v trojrozměrné struktuře sýra, a dojde k narušení strukturální integrity a solubilizaci kaseinu. Ten je následně schopen za stálého míchání a zahřívání emulgovat s tukem a po následném ochlazení vytvořit gelovou trojrozměrnou síťovou strukturu. [18, 26, 28]

Soli na bázi fosforečnanu

Fosforečnany jsou soli odvozené od kyseliny fosforečné. Tato kyselina se pro potravinářské účely získává z průmyslové, pomocí čištění, většinou odstraněním nečistot. Jedná se o velké skupiny sloučenin, ve kterých se anion skládá z tetraedrů PO_4 . Jejich vlastností je schopnost výměny iontů. [26]

Při studiu účinku jednotlivých fosforečnanů a jejich binárních směsí na texturu tavených sýrů bylo zjištěno, že při jejich aplikaci se tvrdost jednotlivých vzorků snižovala v pořadí polyfosforečnan > trifosforečnan > difosforečnan > monofosforečnan. [19]

Přehled vybraných tavicích solí na bázi fosforečnanu je zaznamenán v Tabulce 2.

Tabulka 2: Vybrané fosforečnanové tavicí soli, upraveno dle: [27]

Skupina	Látka	Chemický vzorec	pH	E-kód
Orthofosforečnany	Dihydrogenfosforečnan sodný	NaH_2PO_4	4,5	E 339
	Monohydrogenfosforečnan sodný	Na_2HPO_4	9,1	
	Fosforečnan sodný	Na_3PO_4	11,9	
Disfosforečnany	Difosforečnan tetrasodný	$Na_4P_2O_7$	10,2	E 450
	Dihydrogendifosforečnan sodný	$Na_2H_2P_2O_7$	4,1	
Trifosforečnany	Trifosforečnan sodný	$Na_5P_3O_{10}$	9,7	E 451

Soli na bázi citronanu

Soli získané z kyseliny citrónové, k jejich získání je nutno kyselé atomy vodíku nahradit kationty z trojsytné kyseliny citrónové. Monosodné a disodné citronany se však při výrobě často nevyužívají, z důvodu, že konečný produkt je často kyselý a se špatnou texturou. [26, 27]

Citronany lze také díky jejich kyselosti použít pro upravení pH tavené sýrové směsi, například pokud byl použit vysoký podíl vyžralých přírodních sýrů s vysokým pH nebo při použití odstředěné mléčné sušiny. [27]

1.1.3 Hydrokoloidy

Pro výrobu sýrových omáček jsou nejčastěji využívány xanthanová a guarová guma nebo karagenan. Pomáhají vázat vodu, regulují viskozitu omáček, přispívají ke konečné textuře a také zlepšují tavitelnost. [6, 25] Využívají se především díky své schopnosti vázat vodu nebo vytvářet gel. [27]

Nejčastěji se hydrokoloidy využívají při výrobě nízkotučných výrobků nebo výrobků se sníženým obsahem tuku, kde je zapotřebí dostatečného vázání vody, aby bylo možné snížení obsahu tuku ve složení. [25]

Použité množství hydrokoloidů by nemělo přesáhnout 0,8 % hm. v konečném produktu, vzhledem k jejich schopnosti nabobtnání, a tím zvětšení objemu a zvýšení viskozity, což může být v některých případech nežádoucí. [5, 10]

Při zpracování sýrů se využívají obvykle v koncentraci 0,1–0,3 % hm. ke zpevnění struktury, zlepšování roztíratelnosti anebo vlastností při tavení, jako je tavitelnost a tekutost. [27]

Xanthanová guma

Extracelulární polysacharid produkovaný bakterií *Xanthomonas*. Tvoří vysoce viskózní roztoky a při dostatečných koncentracích polymeru dokáže vykazovat slabé gelotvorné vlastnosti. Využívá se jako zahušťovadlo, stabilizátor nebo emulgátor. Má hladkou texturu a je bez barvy, chuti a zápachu. [29, 30]

Guarová guma

Jedná se o látku rozpustnou v horké i studené vodě, která zvyšuje viskozitu produktů. Využívá se ve zmrzlině, omáčkách (teplých i studených), mléčných nápojích a dalších. [29]

Guarová guma je vysokomolekulární polysacharid s bílým až žlutavě bílým vzhledem, bez zápachu a získává se z rostliny guar. Má také spoustu jedinečných fyzikálních vlastností, patří mezi ně vysoká rozpustnost ve vodě nebo schopnost zadržovat vodu. V mléčném průmyslu se využívá k zahušťování mléka, jogurtů anebo tekutých sýrových výrobků, jakými mohou být i tavené sýrové omáčky. [31]

Karagenan

Tento hydrokoloid se získává extrakcí z červených mořských řas kmene *Rhodophyta* z čeledi Rhodophyceae. Jeho důležitou funkcí v potravinářském průmyslu je schopnost stabilizace mléčných výrobků. [28] K nejdůležitějším frakcím karagenanů patří κ -, ι - a λ -, lišící se od sebe počtem a polohou sulfátových zbytků. κ - a ι -karagenan patří mezi gelotvorné karagenany a λ -karagenan se využívá jako zahušťovadlo. [5]

Při výrobě tavených sýrů se obecně využívá κ -karagenan pro zlepšení krájitelnosti výrobků. Vlastnosti tavených sýrů závisí na jeho koncentraci, kdy s rostoucí hodnotou roste také tuhost tavené směsi. [32]

1.1.4 Voda

Voda je rozpouštědlem pro mnoho polárních látek, při výrobě sýrových omáček dodává tekutou a krémovou konzistenci nebo upravuje obsah sušiny. [6]

Ovlivňuje strukturu proteinů, ionizaci skupin na proteinech a také emulgaci tuku v tavených směsích. Může být přidána najednou v jednom z výrobních kroků nebo po částech v různých fázích výroby. [2]

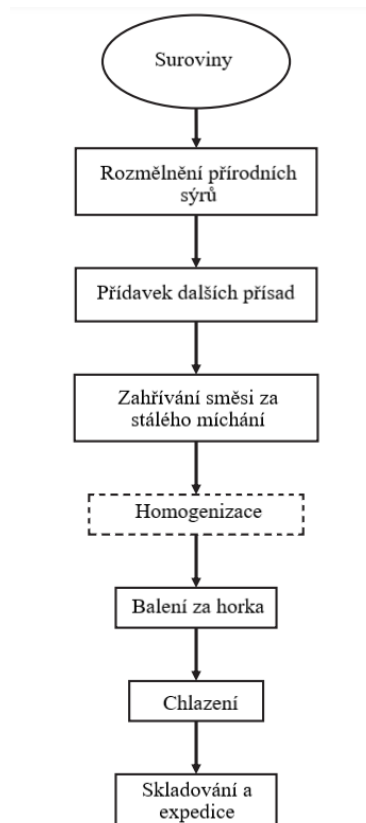
1.2 Technologie výroby

Obecně lze tento proces popsat jako tavení vybraných surovin za stálého míchání a částečného podtlaku, než je dosaženo homogenní hmoty požadovaných vlastností. Do tohoto výrobního postupu, lze také zařadit vysokotlakou homogenizaci. [5, 10]

Při výrobě je důležité dodržet některé parametry zpracování pro získání stabilní emulze a tím produktu o požadovaných vlastnostech. Patří mezi ně teplota tavení, doba, intenzita míchání a rychlost chlazení. [10]

Zjednodušené schéma výrobního postupu je zobrazeno na Obrázku 2. Jak zde můžeme pozorovat, prvním nezbytným krokem ve výrobě tavených omáček je správné zvolení

a navážení všech potřebných surovin, mezi jednu z hlavních patří přírodní sýr. Následuje jeho rozmělnění a poté přidání všech zbylých navážených ingrediencí. Takto připravené suroviny se následně taví v tavicím kotli za stálého míchání, pro rovnoměrné smísení všech složek. Za tento výrobní krok se může následně zařadit i homogenizace, není však nezbytnou součástí výroby. Následuje balení tavené směsi za horka, poté její ochlazení a expedice. Celý tento výrobní proces je více popsán v následující části.



Obrázek 2: Schéma výroby tavených sýrových omáček. Upraveno dle [25]

Výběr a příprava surovin

Důležitým krokem ve výrobním procesu je pečlivý výběr surovin a jejich správný poměr, aby u výsledného produktu bylo dosaženo požadovaných hodnot např. vlhkosti, tuku nebo obsahu soli. Např. u použitého přírodního sýru může záviset na jeho pH, délce zrání, chuti a podobně. [10]

Rozmělnění přírodních sýrů

Přírodní sýr je nejprve rozmělněn pro usnadnění prostupu tepla surovinou během tavení a vhodnému promíchání s dalšími přidanými složkami. [33] Zvětšením povrchu sýra se

zvysuje homogenita připravené směsi a usnadňuje vzájemné působení složek, jako jsou tavící soli. [27]

Tavení směsi

Po přípravě všech potřebných surovin dojde k jejich nadávkování, nejprve rozmělněný přírodní sýr poté následuje mléčný tuk, voda, tavící soli a další volitelné přísady. [4] Následuje tavení směsi za tepla, stálého míchání a částečného podtlaku než je dosaženo požadované homogenní hmoty. Teplota tavení závisí na druhu použitého sýra a typu zařízení, ve kterém se tento proces provádí. Obecně se však uvádí teplota v rozmezí 85–95 °C s výdrží 1 minuty. [2, 10]

Během zahřívání prochází sýr řadou strukturálních změn, kdy ve vodném prostředí se intra- a intermolekulární elektrostatické a hydrofobní vazby proteinů zesilují se zvyšující se teplotou. Naopak množství a síla dalších interakcí se s nárůstem teploty snižuje. Tyto změny v rovnováze sil ovlivňují interakce kasein–kasein i kasein–voda. Další významnou strukturální přeměnou je přeměna tuku do kapalného stavu. [10, 34]

Tavení směsi za relativně vysokých teplot, má kromě usnadnění fyzikálně-chemických a mikrostrukturálních změn výrobku, potřebných k dostání finální směsi o požadovaných vlastnostech a stabilitě, význam také díky zničení potencionálních patogenních mikroorganismů. [27]

Homogenizace

Taveninu je po vlastní výrobě možné podrobit vysokotlaké homogenizaci. Proces je podrobně popsán v kapitole 2. Nicméně tento krok není nezbytnou součástí výrobního procesu.

Balení

Balení probíhá ještě za horka hned z několika důvodů. Prvním z nich může být zachování konzistence omáčky, také zabraňuje jejímu případnému vysychání a tvrdnutí. Dalším důvodem je zabránění kontaminaci nežádoucími mikroorganismy během balení. [3]

K balení mohou sloužit různé tuby, kelímky nebo jiný vhodný obalový materiál. Ten však může být zdrojem kontaminace a je tedy nutná správná manipulace, vhodné skladování a dezinfekce. [13]

Důležitým parametrem je také zvolení vhodného obalového materiálu, aby u výsledného produktu nedocházelo k nežádoucím změnám i během skladování, jako je změna barvy

a textury výrobku či ztrátě aroma a chuti, důsledkem absorpce pachů z prostředí. Nebo také aby nedošlo k mechanickému poškození během přepravy. Balení probíhá bez přítomnosti kyslíku, aby se zabránilo růstu plísní. [3, 13]

Chlazení

Chlazení je posledním krokem při výrobě. Rychlost chlazení taveniny ovlivňuje její výsledné vlastnosti. Při pomalejším chlazení může dojít k dosažení teploty až během několika hodin, takto zchlazený produkt může být však výrazně pevnější a mít vyšší lepivost a přilnavost. Naopak při rychlém zchlazení dojde k dosažení teploty 20 °C za méně než 1 hodinu a teploty 5 °C za méně než 2 hodiny. Tímto způsobem chlazení se získá měkký produkt, pro výrobu tavených omáček je tedy vhodné co nejrychlejší chlazení. [10, 13]

Skladování a expedice

Vhodné podmínky skladování jsou pro výrobu tavených sýrových omáček také neméně důležité, záleží na skladovací teplotě a délce doby skladování. [35]

Tavené sýrové omáčky mají omezenou trvanlivost, ve srovnání s ostatními konvenčními produkty, měli by tedy být skladovány při chladírenské teplotě, aby se jejich trvanlivost prodloužila. Vhodná skladovací teplota pro tento druh výrobku by měla být do 10 °C, nikdy by však nemělo dojít k jeho zmražení, aby nedošlo k poškození konzistence. [5, 36]

Trvanlivost tavených výrobků závisí na jejich konzistenci, obecně platí, že čím měkkčí sýr, tím bude jeho trvanlivost kratší. Průměrná trvanlivost těchto výrobků je 10 měsíců. [36]

2 CHARAKTERISTIKA VYSOKOTLAKÉ HOMOGENIZACE A JEJÍ POUŽITÍ V MLÉKÁRENSTVÍ

Homogenizace se v mlékárenském průmyslu využívá ke stabilizaci potravinářských emulzí. V průběhu let se tato technologie různě vyvíjela. Na počátku 90. let byl vyvinut vysokotlaký homogenizátor, který může dosahovat až několikanásobně vyšších tlaků, řádově se jedná o 100–300 MPa. [37]

2.1 Vysokotlaká homogenizace

Homogenizace je proces, při kterém je tekutina protlačována malým otvorem, ventilem nebo tryskou. Dochází ke zmenšování tukových kuliček, což může mít také vliv na konzistenci, strukturu, jemnost a vzhled finálního produktu. Velikost tukových kuliček se může zmenšit z průměrných 3,5 μm na průměr pod 1 μm . Nově vytvořené kuličky však nejsou zcela pokryty původním membránovým materiálem, ale na povrchu obsahují také směs bílkovin adsorbovaných z plazmy. [6, 38, 39]

Při homogenizaci dojde k porušení původních obalů tukových kuliček a zároveň k jejich rozpadu na stovky až tisíce nových, jejich povrch je však několikanásobně větší, než byl u původních tukových kuliček. Množství volných bílkovin však není dostatečné na pokrytí všech nově vytvořených tukových kuliček. Chybějící bílkoviny mohou vést ke vzniku volného tuku, což zvyšuje riziko hydrolýzy a oxidace. Nedostatečné pokrytí nových kuliček novým obalem pak může vést ke koalescenci tukových kuliček a tím k nižší účinnosti homogenizace. [22]

Výrobky s vysokým obsahem tuku se homogenizují obtížněji, protože je u nich nižší koncentrace obsahu bílkovin ve vztahu k tuku, a je tak pravděpodobnější, že budou vykazovat známky jeho shlukování. Například smetanu s obsahem tuku vyšším než 20 % nelze homogenizovat při vysokém tlaku, důsledkem nedostatku membránového materiálu vznikají shluky tukových kuliček. [38]

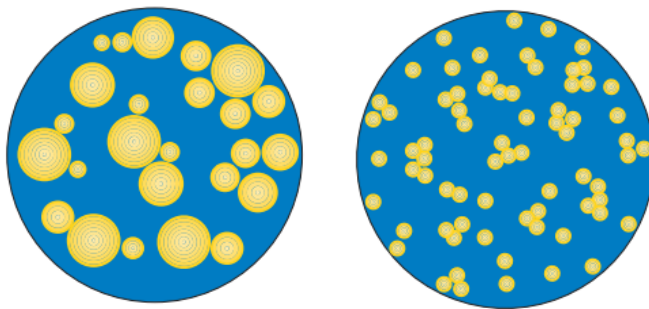
Kromě zmenšení velikosti tukových kuliček, jsou od vysokotlaké homogenizace očekávány ještě další procesy, jako je usmrcení části mikroorganismů, rozsáhlá denaturace sérových bílkovin či inaktivace enzymů. [22]

Homogenizace mléka a mléčných výrobků je obvykle prováděna za zvýšených teplot. Zvyšování teploty při tomto procesu snižuje viskozitu mléka a zlepšuje transport membránového materiálu směrem k tukovým kuličkám. Homogenizační teploty se obvykle

pohybují v rozmezí 55–80 °C a homogenizační tlak v rozmezí 10–25 MPa, u vysokotlaké homogenizace se pak tlaky pohybují v rozmezí 20–100 MPa, mohou být však i mnohonásobně větší. Použité hodnoty se odvíjejí v závislosti na typu výrobku a konstrukci homogenizátoru (parametry štěrbinou, rychlost poklesu tlaku za štěrbinou). [22, 38, 39]

Rozlišujeme dva způsoby homogenizace, jednostupňovou a dvoustupňovou.

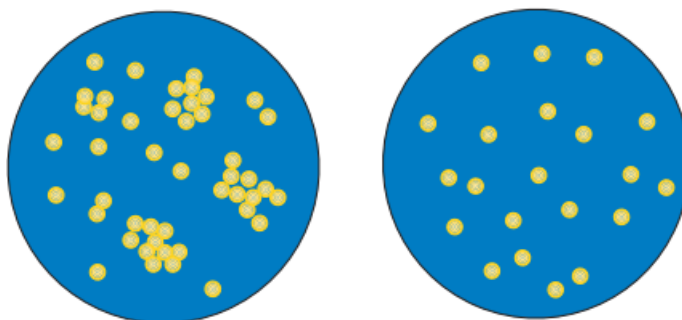
Jednostupňová homogenizace – zpětný tlak je zde vytvářen homogenizačním procesem. Tlak využívaný u toho procesu je 100–200 MPa. Tento způsob se využívá pro homogenizaci nízkotučných nebo vysoce viskózních produktů. [5, 22, 38] Rozdíl ve velikosti tukových kuliček před a po homogenizaci je zobrazen na Obrázku 3.



Obrázek 3: Tukové kuličky před (vlevo) a po (vpravo) jednostupňové homogenizaci. [38]

Dvoustupňová homogenizace – u tohoto typu homogenizace jsou za sebou zařazeny dvě homogenizační hlavy. V prvním stupni nejprve proběhne zmenšení tukových kuliček, ty však po průchodu homogenizační hlavou nejsou dostatečně rozptýleny. Proto následuje druhý stupeň homogenizace, při kterém již nedojde ke snižování velikosti tukových kuliček, ale dojde k rozpadu a rozptýlení shluků vytvořených v prvním stupni. Dvoustupňová homogenizace zahrnuje dva postupně zvyšující se tlakové stupně. V prvním stupni se tlak obvykle pohybuje mezi 15–20 MPa, ve druhém stupni může dosahovat tlaku 150–250 MPa. Tato homogenizace je účinnější pro produkty s vysokým obsahem tuku, vysokým obsahem pevných látek či nízkou viskozitou. [5, 22, 38, 39]

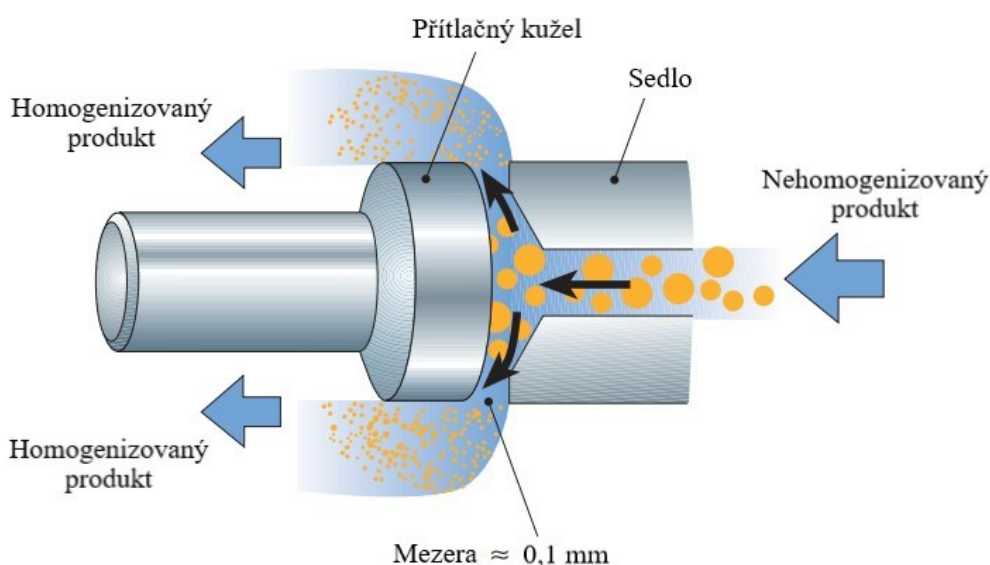
Srovnání prvního a druhého stupně u dvoustupňové homogenizace zobrazeno na Obrázku 4. Vlevo vidíme shluky nedostatečně rozptýlených tukových kuliček po prvním stupni homogenizace a vpravo již rozptýlené shluky po provedení druhého stupně.



Obrázek 4: První (vlevo) a druhý stupeň (vpravo) dvoustupňové homogenizace. [38]

2.1.1 Vysokotlaký homogenizátor

Jedná se o vysokotlaké pístové čerpadlo, které tlakem protlačuje mléko, popřípadě smetanu, úzkou štěrbinou homogenizační hlavy. Rychlost, kterou kapalina prochází homogenizační hlavou je vysoká, dosahuje $100\text{--}400\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Maximální rychlost závisí především na vstupním homogenizačním tlaku. Vlivem velkých smykových sil dochází k deformaci tukových kuliček, což zahrnuje jejich protažení do podoby vláken a narušení jejich struktury, tato fáze se označuje jako viskolizace. Po průchodu homogenizační hlavou dochází k náhlému poklesu tlaku a vytvoření vířivého pohybu, což má za následek rozpad a rozptýlení tukových kuliček v mléčném plazmatu. Tato fáze je známa jako mikronizace. Samotný proces rozbití tukových kuliček je extrémně rychlý a trvá jen řádově desetitisícinu sekundy. [22, 38, 40] Průřez homogenizační hlavou je znázorněn na Obrázku 5.

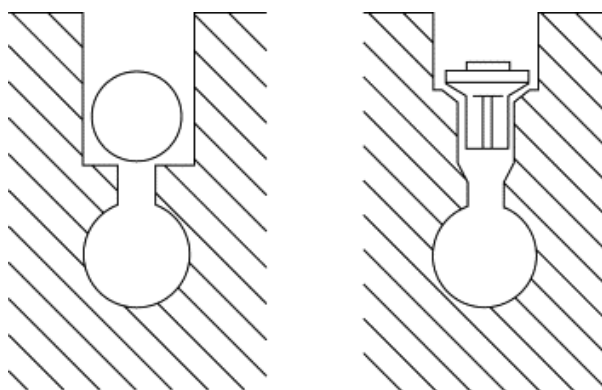


Obrázek 5: Homogenizační hlava, upraveno dle [38]

Homogenizační ventily

Bylo vynalezeno několik konstrukcí těchto ventilů, jako například kulový nebo talířový (Obrázek 6).

- **Kulový ventil** – menší kontaktní plocha s čelem ventilu, vyvíjení většího tlaku v místě kontaktu, vhodný pro viskózní kapaliny
- **Talířový** – při správné údržbě mají lepší výkon u kapalin s nízkou viskozitou, jako je např. mléko [41]



Obrázek 6: Typy homogenizačních ventilů – kulový, talířový. [41]

2.1.2 Výhody a nevýhody vysokotlaké homogenizace

Účinek homogenizace na mléčné výrobky může mít pozitivní nebo negativní vliv.

Mezi výhody patří například menší velikost tukových kuliček nebo bělejší barva taveniny. Také může mít způsobovat plnější chuť a lepší pocit v ústech při konzumaci, nebo také zajišťovat lepší stabilitu výsledných mléčných výrobků. [27, 38]

Nevýhodou je, že snadněji podléhá oxidaci, která způsobuje jednodušší přístup enzymů rozkládajících tuk. Homogenizované mléko není vhodné pro výrobu polotvrdých nebo tvrdých sýrů, protože vzniklý koagulát by byl příliš měkký a obtížně odvodnitelný. [38, 42]

2.1.3 Využití vysokotlaké homogenizace

Vysokotlaká homogenizace je metodou využívanou pro stabilizaci mléka a mléčných produktů. Využívá se především ke stabilizaci emulzí, inaktivaci mikroorganismů a enzymů. Vyvolává také strukturální změny v kaseinových micelách, čímž se mění jejich schopnost interakce s jinými makromolekulami. [41, 43]

Účinek vysokotlaké homogenizace na konkrétní mikroorganismy se liší v závislosti na faktorech jako jsou typ mikroorganismu, složení matrice nebo viskozita homogenizovaného vzorku. V některých studiích se dokonce prokázal vliv této metody jako alternativa tepelné pasterace k inaktivaci vegetativních buněk patogenních bakterií (jako jsou *Escherichia coli* nebo *Salmonella spp.*) v mléce. [44]

Při výrobě emulzí v mlékárenství umožňuje dodávat výrobkům zlepšenou strukturu, chuť, vůni nebo trvanlivost, například pro mléko, smetanu, mražené krémy apod. [37]

Obecně má homogenizace v mlékárenském průmyslu široké uplatnění. Využívá se může například při výrobě konzumního mléka, kysaných, zahuštěných či sušených mléčných výrobků nebo při výrobě pomazánkového másla a termizovaných sýrů. [22]

3 HOMOGENIZACE A JEJÍ VLIV NA FUNKČNÍ VLASTNOSTI TAVENÝCH SÝROVÝCH OMÁČEK A PODOBNÝCH PRODUKTŮ

Technologie vysokotlaké homogenizace poskytuje mnoho různých potenciálních aplikací pro potravinářský a mlékárenský průmysl. Tento proces může být zahrnut do výroby, není však jeho nedílnou součástí, z důvodu vysokých provozních a energetických nákladů. Stále je však mnoho zajímavých neprozkoumaných oblastí výzkumu, které je třeba sledovat, pro pochopení účinku homogenizace na mléčné emulze a jejich stabilitu. [5, 37]

Paul Paquin (1999) sledoval vliv vysokotlaké homogenizace na funkční vlastnosti tukových kuliček, mléčných bílkovin a polysacharidů. Zjistil, že pro dosažení stability emulze oleje ve vodě je důležitá průměrná velikosti tukových kuliček. Na jejich velikost může mít vliv: homogenizační tlak, koncentrace máselného oleje nebo koncentrace monoglyceridů. Bylo zjištěno, že použití tlaku nad 50 MPa ke snížení průměrné velikosti tukových kuliček nevedlo. Na tento fakt, by měl být kladen větší důraz, protože podíl velkých částic tukových kuliček, přispívá k nestabilitě mléčné emulze. [37]

Při sledování účinku vysokotlaké homogenizace bylo déle studováno několik dalších výzkumů, a následně zjištěno:

- Snížení viskozity emulzí, typu olej ve vodě stabilizovaných syrovátkovými bílkoviny, obsahující 40 % hm. tuku v sušině při působení tlaku 20–300 MPa. [45]
- Vliv využití homogenizace 3,5 % hm. mléka za vysokého tlaku (200 MPa) a pasterizaci při teplotě 90 °C po dobu 15 s, během období skladování 14 až 18 dnů při teplotě 4 °C bylo zjištěno, že tyto metody měly stejný vliv na trvanlivost a mikrobiální vlastnosti. [46]
- Za specifických podmínek, jakými může být vysoký tlak nebo teplota, se makromolekuly v mléce, jako jsou bílkoviny nebo polysacharidy, mění pomocí účinku vysokotlaké homogenizace. [37]
- Zkoumáním vlivu na strukturu přirozeně se vyskytujících enzymů mléka (jako jsou laktoperoxidáza, plazmin a alkalická fosfatáza), bylo zjištěno, že se jejich inaktivace při homogenizaci dosáhne zvýšením tlaku a vstupní teploty. [46]

A. Mohamadi a V. Fadaei (2018) zkoumali vliv homogenizace na texturu tavených sýrů se sníženým obsahem sušiny. Modelové vzorky, které nebyly podrobeny homogenizaci, obsahovaly 44 % hm. sušiny, ostatní vzorky obsahovaly 42 % hm. sušiny a byly homogenizovány při tlacích 10, 15 a 20 MPa. Výsledkem této studie bylo, že homogenizační tlak neměl významný vliv na hodnotu pH, nebo obsah sušiny, ani na senzorní vlastnosti jejich modelových vzorků. Nejlépe hodnocenými vzorky, co se textury týkalo, byly vzorky s aplikovaným tlakem 20 MPa. [39]

Kůrová et al. (2022) se zabývali vlivem homogenizace a přísady polysacharidů, jako je κ -karagenan nebo furcellaran, v různých koncentracích (0,125; 0,250; 0,500; 0,750 a 1,000 % hm.) na viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 30 % hm. Aplikovaný homogenizační tlak byl 10 MPa při jednostupňové homogenizaci, 10 a 20 MPa při homogenizaci dvoustupňové a jako kontrolní vzorky sloužily vzorky nehomogenizované. Bylo zjištěno, že zvýšením koncentrace polysacharidů a aplikací vysokotlaké homogenizace, byla zvýšena tuhost modelových vzorků tavených sýrových omáček. Také tyto dvě použité metody měly pozitivní vliv na stabilitu emulze produktu. [5]

Co se týče vlivu homogenizace na tavené sýrové omáčky, na toto téma nelze nalézt dostatek informací v odborné literatuře, zvláště ne pro omáčku s tak nízkým obsahem sušiny, jako 20 % hm., což je zkoumáno v této diplomové práci.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

Cílem práce této práce je sledování vlivu homogenizačního tlaku na funkční vlastnosti tavených sýrových omáček. Práce byla rozdělena na dvě části, teoretická část byla zaměřena na charakteristiku tavených sýrových omáček, vysokotlaké homogenizace a jejího vlivu na funkční vlastnosti těchto omáček. V praktické části pak byly vyrobeny modelové vzorky tavených sýrových omáček s různým obsahem tuku v sušině, které byly podrobeny homogenizaci při různých homogenizačních tlacích.

Hlavní cíl práce je možné rozdělit na několik cílů dílčích:

- V první řadě byly vyrobeny modelové vzorky tavených sýrových omáček.
- Během výroby byly aplikovány různé homogenizační tlaky – 20, 40, 60 nebo 80 MPa na horkou taveninu.
- V neposlední řadě byly analyzovány vybrané vlastnosti tavených sýrových omáček:
 - hodnota pH,
 - obsah sušiny,
 - viskoelastické vlastnosti,
 - stabilita vzorku,
 - vodní aktivita.
- Následovalo vyhodnocení výsledků a vyvození závěrů.

5 POPIS VZORKŮ A METODIKA PRÁCE

K výrobě modelových vzorků homogenizovaných tavených sýrových omáček (obsah sušiny 20 % hm., obsah tuku v sušině 30, 40 a 50 % hm.) byly použity následující suroviny: eidamská cihla, čerstvé máslo, směs tavicích solí, pitná voda a směs monoacylglycerolů a diacylglycerolů (dále jen jako MAG/DAG). Po navážení všech surovin, bylo provedeno tavení směsi za stálého míchání a částečného podtlaku. Tavená směs byla následně homogenizována při tlacích 20, 40, 60 a 80 MPa. Současně byly vyrobeny kontrolní vzorky, které nebyly podrobeny homogenizaci. Vyrobené vzorky byly následně skladovány při chladírenské teplotě 6 ± 2 °C. Následně byla u modelových vzorků provedena analýza základních chemických parametrů (hodnota pH, obsah sušiny), reologická analýza, stanovení stability vzorků a vodní aktivity. Analýzy byly prováděny vždy po 7denním skladování.

5.1 Suroviny pro výrobu modelových vzorků

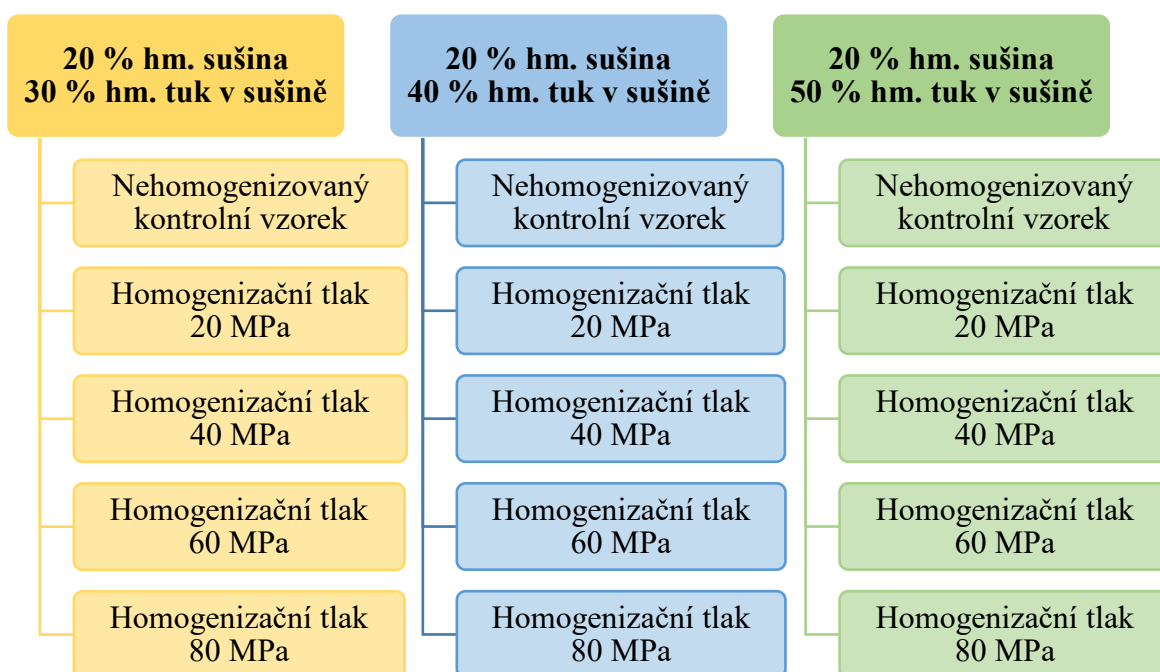
Pro výrobu modelových vzorků tavených sýrových omáček byly použity tyto suroviny:

- Eidamská cihla s obsahem tuku v sušině 30 % hm. – výrobce: Lacrum Valašské Meziříčí s.r.o.
- Máslo – obsah mléčného tuku 82 % hm., výrobce: MILKPOL spol. s.r.o.
- Tavicí soli – směs Na_2HPO_4 , NaH_2PO_4 , $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, POLY68 v poměru 4 : 3 : 4,6 : 4,6 výrobce: Fosfa a. s., Břeclav
- Pitná voda
- MAG/DAG – směs monoacylglycerolů a diacylglycerolů, Výrobce: J. K. FOOD s.r.o. Větrkovice

MAG/DAG se při výrobě využívají jako emulgátory. Pomáhají v tavené směsi dosáhnout krémovité konzistence, což je při výrobě tavených sýrových omáček žádoucí. [16]

5.2 Výroba modelových vzorků

Jednotlivé použité suroviny byly nejprve naváženy dle příslušných surovinových skladeb (které se lišily v závislosti na rozdílném obsahu tuku v sušině tavených sýrových omáček). Do tavicího kotle přístroje Stephan (typ UMC-5, Food Processing Machinery) s nepřímým ohřevem, který byl použit pro výrobu modelových vzorků (Obrázek 8), byl nejprve dávkován přírodní sýr nakrájený na kostky o hraně 1 cm. Přírodní sýr byl v přístroji rozmělněn. Poté byly přidány ostatní suroviny: máslo, směs tavicích solí, MAG/DAG a pitná voda v uvedeném pořadí. Následně bylo provedeno vlastní tavení směsi, které probíhalo za částečného podtlaku a stálého míchání s rychlostí nožové soustavy 3000 otáček/min. Cílová teplota byla nastavena na 90 °C s výdrží 1 min, přičemž celková doba procesu tavení byla 12 min. Teplota výsledné taveniny byla zaznamenána pro kontrolu správnosti procesu výroby.



Obrázek 7: Schéma modelových vzorků

Při výrobě homogenizovaných vzorků byla horká tavenina dávkována do homogenizátoru PandaPLUS (GEA Niro Soavi; Obrázek 9) a byla podrobena jednostupňové homogenizaci. Homogenizace byla provedena ve čtyřech rozdílných režimech, které se lišily aplikovaným tlakem – 20, 40, 60 a 80 MPa. Teplota při homogenizaci byla nastavena na 40 °C. Homogenizované vzorky byly dávkovány do hliníkových kelímků s průměrem 8 cm, které byly následně zataveny hliníkovým víčkem (na zavíracím zařízení Novaseal,

Nirosta s.r.o.). Kontrolní vzorky byly baleny stejným způsobem ihned po vlastní výrobě. Následně byly všechny modelové vzorky ponechány ke zchladnutí při pokojové teplotě a dále byly skladovány při 6 ± 2 °C po dobu 7 dní do provedení analýz.

Celkem bylo tedy v rámci diplomové práce vyrobeno 15 šarží modelových vzorků tavených sýrových omáček. Pro přehlednost bylo vytvořeno následující schéma vyrobených vzorků (Obrázek 7), na kterém jsou zaznačeny použité tlaky pro homogenizaci (aplikován homogenizační tlak 20, 40, 60 a 80 MPa) u všech tří surovinových skladeb (s obsahem tuku v sušině 30, 40 a 50 % hm.). Jako kontrolní vzorky byly označeny modelové vzorky, u kterých neproběhla homogenizace.



Obrázek 8: Přístroj Stephan (Nedbalová, 2023)



Obrázek 9: Homogenizátor [47]

5.3 Analýza modelových vzorků

5.3.1 Stanovení pH

Pomocí kalibrovaného potravinářského pH metru (Foodcare HI 99161, od výrobce Hanna Instruments Czech s.r.o.), s vpichovou skleněnou elektrodou bylo provedeno měření hodnoty pH výrobků šesti různými vpichy v náhodných částech vzorku. Toto měření bylo provedeno u všech modelových vzorků v šesti opakováních po sedmi dnech od jejich výroby.

5.3.2 Stanovení obsahu sušiny

Navážené 3 g vzorku, s přesností na čtyři desetinná místa, byly promíchány v předem zvážené a vysušené hliníkové misce s mořským pískem. Následně byly připravené vzorky umístěny do sušárny (typ Venticell 55, BMT a.s.) a byly sušeny při teplotě 102 ± 2 °C až do konstantního úbytku hmotnosti. Po úplném vychladnutí v exikátoru bylo znovu provedeno vážení a vyhodnocení. Stanovení u všech vzorků proběhlo podle ČSN EN ISO 5534, pojednávající o celkovém stanovení obsahu sušiny u sýrů a tavených sýrů gravimetricky, a výsledek vyjádřen v hmotnostních procentech. Obsah sušiny byl vypočten z rozdílu hmotností váženky před a po vysušení podle vzorce:

$$\text{obsah sušiny} = \frac{m_2 - m_0}{m_1} \cdot 100 [\%]$$

Kde:

m_0 – hmotnost prázdné váženky s pískem [g]

m_1 – navážka vzorku [g]

m_2 – hmotnost váženky se vzorkem po vysušení [g]

Stanovení obsahu sušiny bylo opět provedeno po sedmi dnech od výroby vzorků, pro každý vzorek ve třech opakováních a ze získaných dat byla následně vypočítána hodnota obsahu sušiny.

5.3.3 Reologická analýza modelových vzorků při konstantní teplotě měření

Měření viskoelastických vlastností bylo provedeno na oscilačním reometru (Kinexus, Malvern Instruments Ltd., Spojené království), každý vzorek ve třech opakováních s geometrií deska – deska s mezerou 1 mm. Vzorky byly nanесeny na pevnou spodní desku

reometru a po spuštění horní oscilující desky, způsobující dokonalé rozprostření vzorku, se odstranil vytlačený přebytek a bylo zahájeno měření.

Měření probíhalo v oblasti lineární viskoelastivity s amplitudou smykového napětí 10 Pa ve frekvenčním rozmezí 0,1–10 Hz. Vzorky tavených sýrových omáček byly před měřením temperovány na teplotu 20 °C. Při stejné teplotě pak bylo provedeno i vlastní měření. Během měření byly zaznamenány hodnoty elastického modulu pružnosti (G') a ztrátového modulu pružnosti (G'') v závislosti na uvedeném rozsahu frekvencí.

Komplexní modul pružnosti (G^*) byl stanoven dle vzorce:

$$G^* = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2}$$

Kde:

G' – elastický modul pružnosti [Pa]

G'' – ztrátový modul pružnosti [Pa]

G^* – komplexní modul pružnosti [Pa]

Dalším vypočteným parametrem byl také úhel fázového posunu (δ).

$$\delta = \tan^{-1} \frac{G''}{G'}$$

Kde:

δ – úhel fázového posunu [°]

5.3.4 Reologická analýza při konstantním zahřívání modelových vzorků

Reologické vlastnosti modelových vzorků tavených sýrových omáček byly dále zkoumány při zahřívání z teploty $5 \pm 0,5$ °C na konečnou teplotu $65,0 \pm 0,5$ °C (s rychlostí zahřívání 2 °C/min). Při měření byla využita stejná geometrie (deska – deska, s mezerou 1 mm), která byla před měřením temperována na $5 \pm 0,5$ °C. Měření probíhalo při frekvenci 1 Hz a amplitudě smykového napětí 10 Pa. Během měření byly zaznamenány hodnoty elastického modulu pružnosti (G') a ztrátového modulu pružnosti (G'') a následně vypočítány hodnoty komplexního modulu pružnosti (G^*) a úhlu fázového posunu (δ) dle výše uvedených vzorců. Výsledky měření jsou dále prezentovány pro teploty 5, 20 a $65 \pm 0,5$ °C z důvodu simulace chladírenské teploty, pokojové teploty a servírování za horka.

Veškeré reologické analýzy byly prováděny ve třech opakováních po sedmi dnech od data výroby vzorků. Během testování byl pro zamezení dehydratace vzorků použit kryt (Kinexus Active Solvent Trap Cover, Malvern Instruments Ltd., Spojené království).

5.3.5 Stanovení stability

Do polypropylenových zkumavek s kónickým dnem o objemu 50 ml bylo naváženo 5 ± 1 g vzorku s přesností na tři desetinná místa. Následně provedena centrifugace zkumavek s naváženými vzorky při 6000 otáček/minutu po dobu 20 minut. Vzniklý supernatant, byl opatrně odstraněn a poté sediment zvážen. Následně byla vyhodnocena stabilita vzorku podle uvedené rovnice:

$$\text{stabilita} = \frac{n_2 - n_0}{n_1} \cdot 100 [\%]$$

Kde:

n_0 – hmotnost prázdné zkumavky s víčkem [g]

n_1 – navážka vzorku [g]

n_2 – hmotnost zkumavky se sedimentem po provedené centrifugaci [g]

Stabilita vzorků byla stanovena vždy po sedmi dnech od výroby, ve třech opakováních. Výsledky jsou vyjádřeny jako relativní procento [%].

5.3.6 Stanovení aktivity vody

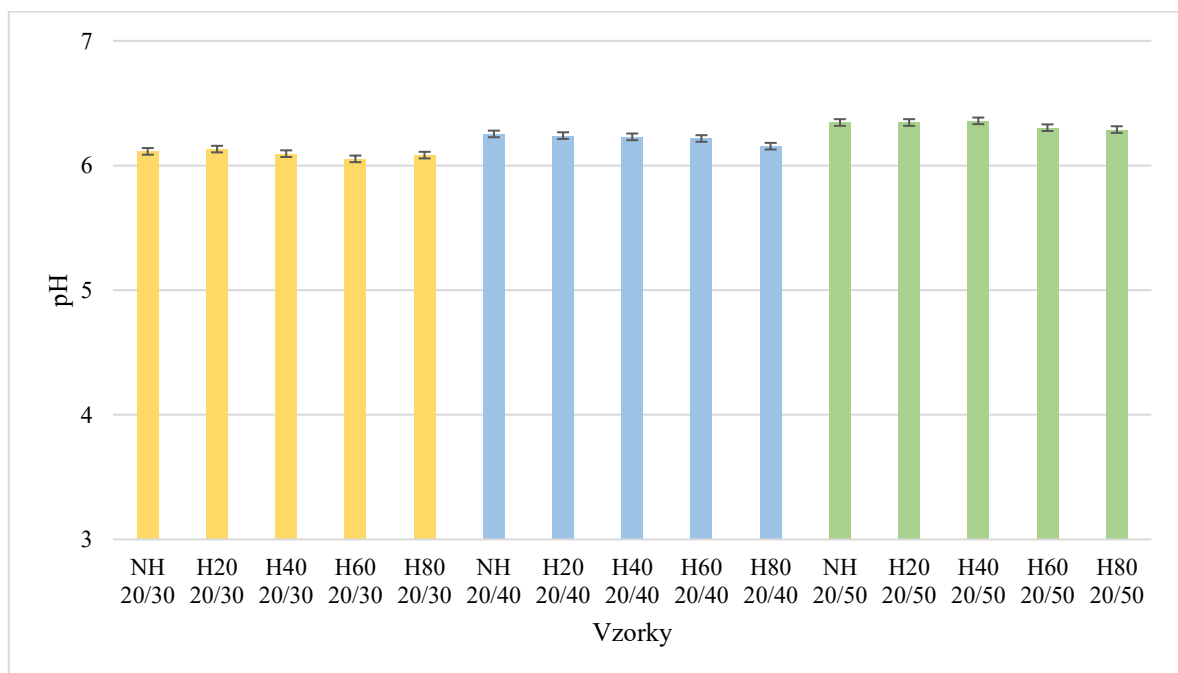
Aktivita vody byla měřena pomocí přístroje AquaLab (4TE Dew Point Water Activity Meter), který bylo nejprve potřeba kalibrovat pomocí standardu ($a_w = 0,92$) pro ověření přesnosti výsledku. Vzorky se rovnoměrně rozprostřely do plastové misky, která je součástí zařízení a po následném vložení do přístroje bylo provedeno měření s dobou trvání přibližně 10 minut při teplotě 20 °C. Každý vzorek byl měřen ve třech opakováních po 7 dnech skladování.

6 VÝSLEDKY A DISKUZE

V praktické části této diplomové práce bylo vyrobeno patnáct šarží modelových vzorků tavených sýrových omáček, lišící se od sebe obsahem tuku v sušině 20, 40 a 50 % hm. a také výši použitého homogenizačního tlaku 20, 40, 60 a 80 MPa. Následná provedená analýza stanovila pH, obsah sušiny, reologické vlastnosti, stabilitu a vodní aktivitu modelových vzorků v závislosti na uvedených faktorech. Výsledky jednotlivých analýz jsou prezentovány v následujících podkapitolách.

6.1 Stanovení pH

Stanovení pH proběhlo u všech vzorků tavených sýrových omáček se třemi rozdílnými surovinovými skladbami, od nehomogenizovaných, až po vzorky, na které byl aplikován nejvyšší homogenizační tlak 80 MPa.



Obrázek 10 – Porovnání hodnot pH u jednotlivých modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem 20 % hm. sušiny, lišící se od sebe obsahem tuku v sušině 30 % hm. (20/30), 40 % hm. (20/40) a 50 % hm. (20/50), s použitím homogenizačního tlaku 20, 40, 60 a 80 MPa (H20, H40, H60 a H80) a nehomogenizovanými vzorky (NH).

U vzorků s třemi rozdílnými surovinovými skladbami bylo změřeno pH vždy po sedmi dnech od jejich výroby, v šesti odlišných částech vzorku. Hodnota naměřeného pH se pohybovala v rozmezí 6,05–6,36. Nejvyšší hodnota byla naměřena u surovinové skladby 20/50, která obsahovala nejméně použitého přírodního sýra. V opačném případě, surovinová

skladba 20/30 měla hodnotu pH v porovnání s předchozí variantou nižší (Obrázek 10). Lze tedy říci, čím větší obsah přírodního sýra tavené sýrové omáčky obsahovaly, tím byla hodnota jejich pH nižší.

Přírodní sýry jsou jednou z hlavních surovin používaných při výrobě tavených sýrových omáček a jejich přítomnost dokáže ovlivnit výslednou hodnotu pH taveného výrobku. V závislosti na typu vyráběného produktu, se množství přírodního sýra v receptuře pohybuje od 51–80 % hm. z celkového množství konečného výrobku. Sýry holandského typu, mezi které se např. řadí gouda nebo eidam, mají obvykle hodnotu pH v rozmezí 5,2–5,4. Mimo přírodní sýry, se využívají ještě další přísady, jako například tavicí soli, kdy interakce těchto dvou přísad může mít také na konečné pH určitý vliv. [10, 48]

Pokud by byly modelové vzorky porovnány z hlediska homogenizace, nejvyšší hodnotu pH vykazovaly nehomogenizované vzorky. Dá se tedy předpokládat, že homogenizace nemá v tomto případě na pH žádný vliv. Rozdíly mezi jednotlivými naměřenými hodnotami nebyly nijak výrazné, spíše nepatrné.

Hodnota pH výsledného produktu může mít významný vliv na jeho kvalitu, mikrostrukturu anebo typ proteinových interakcí ve výsledné emulzi. [2, 10, 49] Nižší hodnota než optimální, může vést k pevné nebo dokonce drobné konzistenci, a naopak vyšší hodnota pH způsobuje tekutější konzistenci připomínající viskózní kapalinu. [49] V případě tavených sýrů je optimální hodnota pH 5,6–5,8; pro tavené sýrové omáčky je to vzhledem jejich konzistenci hodnota o něco vyšší, obecně se uvádí $\text{pH} > 5,7$. [6, 50]

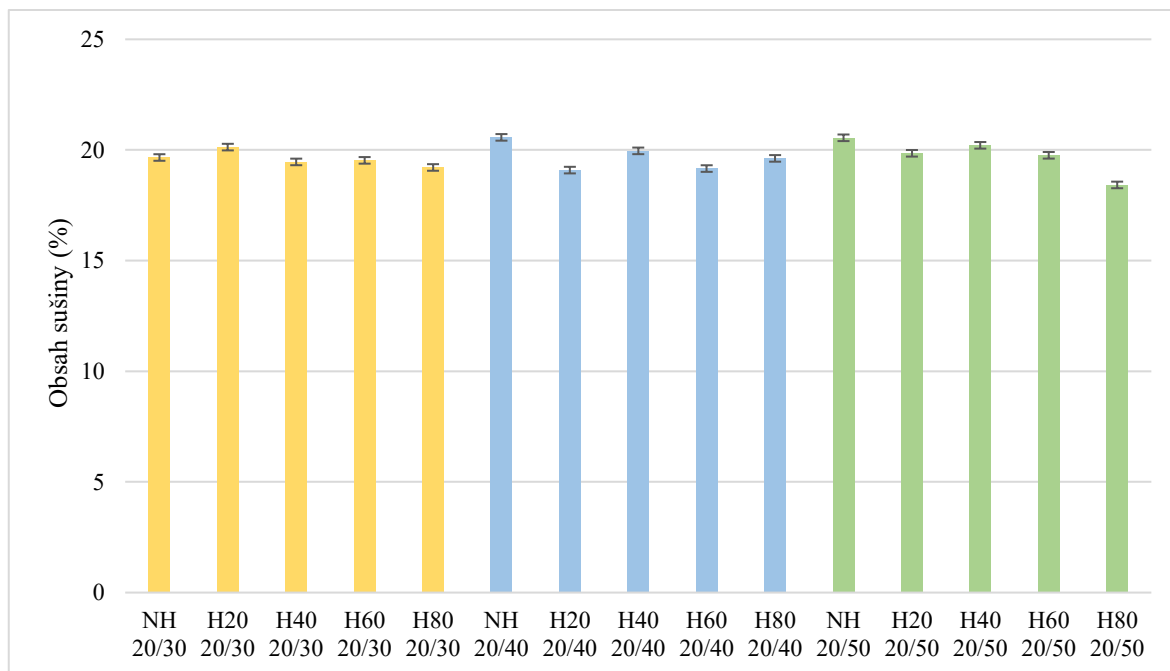
Na výsledné pH mají také významný vliv druh a stupeň zralosti přírodního sýra použitého pro výrobu tavené sýrové omáčky. [10, 51]

Neméně důležitým parametrem ovlivňujícím pH je stupeň zralosti sýra. Zvyšující se pH během jeho doby zrání je ovlivněno mikrobiálním metabolismem kyseliny mléčné, proteolýzou bílkovin, tvorbou volných aminokyselin nebo dalším metabolismem za vzniku alkalických sloučenin (jako jsou čpavek a aminy). [10, 52]

6.2 Stanovení obsahu sušiny

Stanovení bylo provedeno po sedmi dnech od výroby vzorků, ve třech opakováních pro každý vzorek. U všech vzorků tavených sýrových omáček, na které byl aplikován homogenizační tlak 20, 40, 60 a 80 MPa, byl stanoven obsah sušiny, stejně tak u vzorku kontrolního.

Na Obrázku 11 lze pozorovat, že obsah sušiny byl jen minimálně ovlivněn aplikovaným homogenizačním tlakem. Rozdíl mezi nehomogenizovaným a homogenizovaným vzorkem byl pouze nepatrný. Získané hodnoty se pohybovaly v rozmezí 18,42–20,57 % hm., což odpovídá použitým surovinovým skladbám a jejich požadovanému cílovému obsahu sušiny 20 % hm.



Obrázek 11 – Porovnání hodnot obsahu sušiny u jednotlivých modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem 20 % hm. sušiny, lišící se od sebe obsahem tuku v sušině 30 % hm. (20/30), 40 % hm. (20/40) a 50 % hm. (20/50), s použitím homogenizačního tlaku 20, 40, 60 a 80 MPa (H20, H40, H60 a H80) a nehomogenizovaným vzorkem (NH).

Obsah sušiny se může v průběhu skladování měnit v důsledku odpařování vody, čemuž lze předcházet použitím vhodného obalového materiálu nebo správnými podmínkami skladování. [53] Obsah sušiny je jeden z nejdůležitějších parametrů, podle kterých se sýry často dělí dle jejich konzistence na tavené sýrové bloky, pomazánky nebo omáčky. [49] Výsledný obsah sušiny také ovlivňuje texturní a reologické vlastnosti. [54] V této diplomové práci se podařilo vyrobit stabilní vzorky s obsahem sušiny 20 %, což není úplně obvyklé, většinou se v literatuře setkáváme spíše s články, kde modelové vzorky mají obsah sušiny vyšší. Jako například Černíková et. al. (2017), kde pracují se vzorky, které mají obsah sušiny 35 a 45 % hm. Přišli na to, že se zvyšujícím se obsahem sušiny se zvyšovala tuhost výrobků a tím se snižovala velikost tukových kuliček v modelových vzorcích tavených sýrových pomazánek. [55]

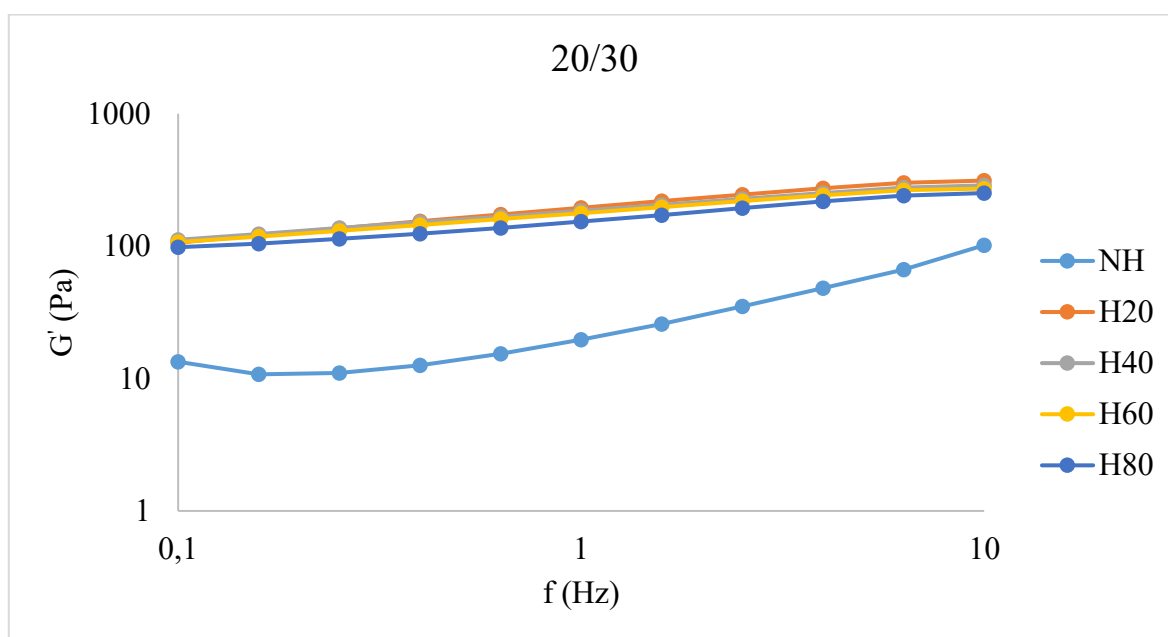
6.3 Reologická analýza

Pomocí reologické analýzy byly stanoveny viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček. Měření bylo provedeno pro všechny vzorky ve třech opakováních. Porovnávány byly mezi sebou hodnoty u vzorků s rozdílným obsahem tuku v sušině, vzorky homogenizované a nehomogenizované nebo vzorky homogenizované různými homogenizačními tlaky. Analýza byla provedena po sedmi dnech od výroby modelových vzorků.

6.3.1 Reologická analýza modelových vzorků při konstantní teplotě měření

První reologická analýza zkoumala závislost ztrátového a elastického modulu pružnosti na frekvenci f (Hz).

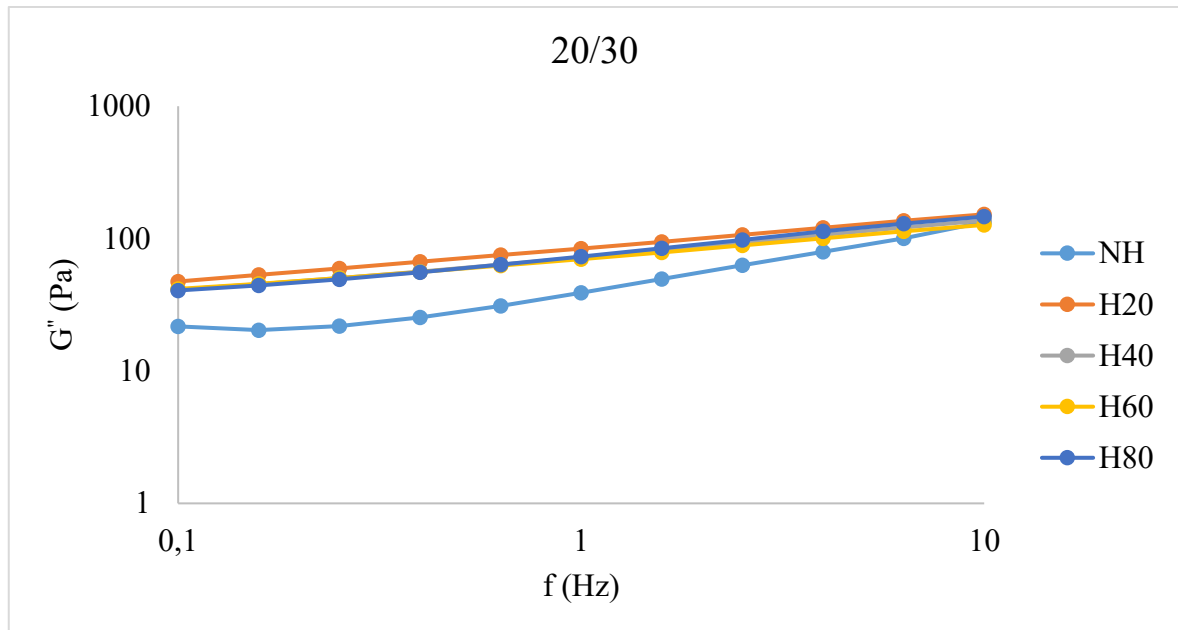
Vzorky – 20 % hm. sušina, 30 % hm. tuk v sušině (20/30)



Obrázek 12 – Závislost elastického modulu pružnosti G' na frekvenci f (v rozmezí 0,1–10 Hz) u modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 20 % hm. a tuku v sušině 30 % hm., které nebyly podrobeny homogenizaci (NH) nebo byly homogenizovány při 20 MPa (H20), 40 MPa (H40), 60 MPa (H60) nebo 80 MPa (H80).

Na Obrázku 12 je zobrazena závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci v rozsahu 0,1–10 Hz u vzorku 20/30, kde lze pozorovat značný rozdíl mezi homogenizovanými a nehomogenizovanými vzorky. S narůstajícím aplikovaným homogenizačním tlakem docházelo ke zvýšení hodnoty elastického modulu pružnosti G' . Značný nárůst byl sledován

po aplikaci tlaku 20 MPa, jedná se o skoro desetinásobek původní hodnoty nehomogenizovaného vzorku. Při dalším zvyšování aplikovaného homogenizačního tlaku jeho hodnota znovu klesala. U vzorku 20/30 není tento pokles nijak výrazný oproti dalším dvěma surovinovým skladbám 20/40 a 20/50, jejichž grafy jsou zobrazeny níže.



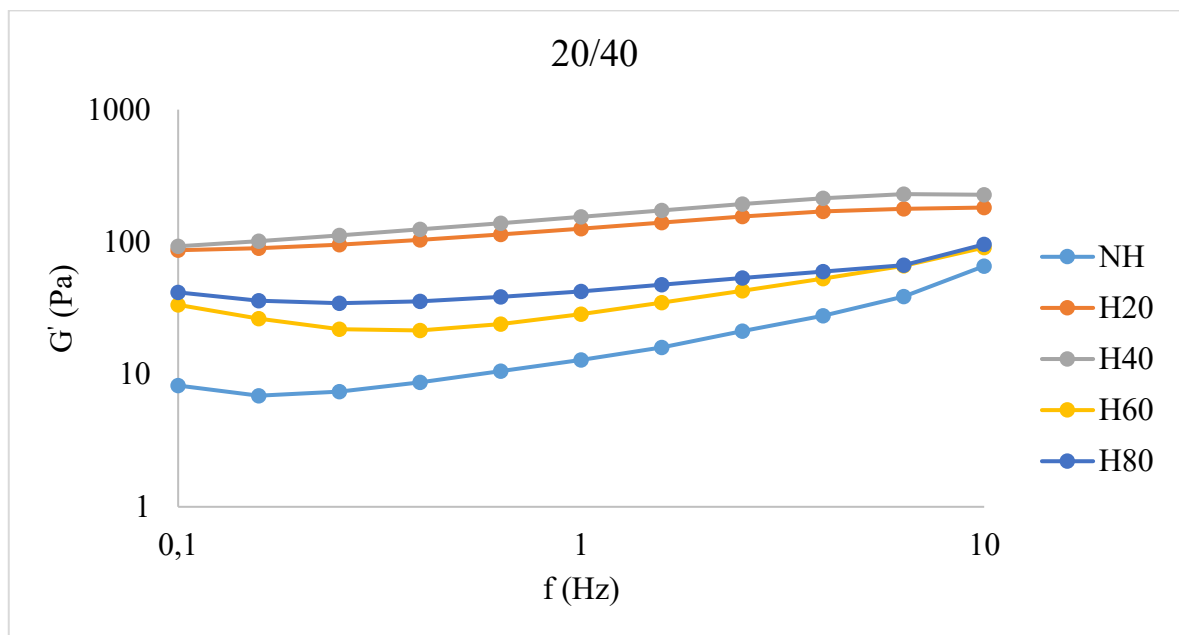
Obrázek 13 – Závislost ztrátového modulu pružnosti G'' na frekvenci f (v rozmezí 0,1–10 Hz) u modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 20 % hm. a tuku v sušině 30 % hm., které nebyly podrobeny homogenizaci (NH) nebo byly homogenizovány při 20 MPa (H20), 40 MPa (H40), 60 MPa (H60) nebo 80 MPa (H80).

Obrázek 13 znázorňuje závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci 0,1–10 Hz u vzorků tavených sýrových omáček 20/30. Opět můžeme pozorovat značný rozdíl mezi nehomogenizovanými vzorky a vzorky homogenizovanými. V tomto případě došlo ke dvojnásobnému nárůstu původní hodnoty, která pak s dalším aplikovaným vyšším tlakem dále pouze nepatrně klesala.

Při porovnání obou těchto grafů lze usoudit, že u modelových vzorků tavených sýrových omáček převládala složka elastická nad složkou viskózní ($G' > G''$). Ze získaných výsledků lze dále posoudit, že hodnoty G' a G'' u vzorků, na které byl aplikován homogenizační tlak, byly ve všech případech vyšší ve srovnání se vzorky nehomogenizovanými. Vysokotlaká homogenizace pravděpodobně způsobila zmenšení velikosti proteinových částic a tukových kuliček přítomných v tavených sýrových omáčkách, což vedlo ke zvětšení velikosti plochy jejich povrchu. Přítomné proteiny tvořící základní kostru byly integrovány do membrán nově

vytvořených tukových kuliček. Obě tyto interakce tak mohly vést ke zvýšení počtu vazebných interakcí v systému a tím podpořily vytvoření pevnější matrice a zajistily její vyšší fyzikální stabilitu. Menší velikost tukových kuliček dále umožňuje vytvoření kompaktnější proteinové matrice, jelikož tuto matici méně „narušuje“. [5, 51]

Vzorky – 20 % hm. sušina, 40 % hm. tuk v sušině (20/40)

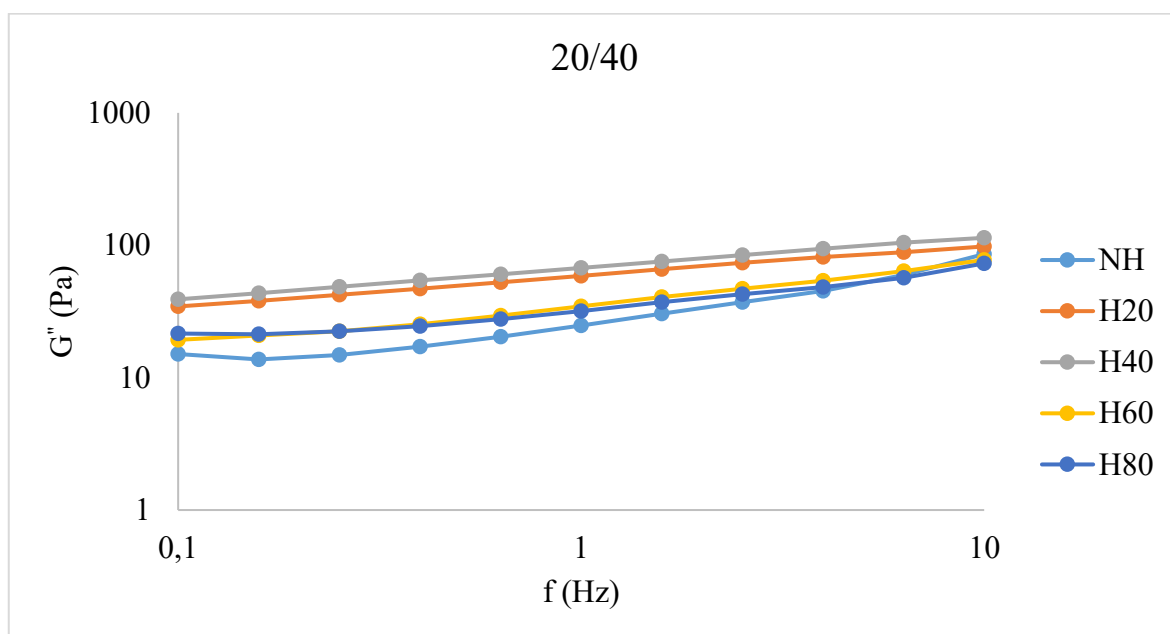


Obrázek 14 – Závislost elastického modulu pružnosti G' na frekvenci f (v rozmezí 0,1–10) u modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 20 % hm. a tuku v sušině 40 % hm., které nebyly podrobeny homogenizaci (NH) nebo byly homogenizovány při 20 MPa (H20), 40 MPa (H40), 60 MPa (H60) nebo 80 MPa (H80).

V Obrázku 14 je zobrazena závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci 0,1–10 Hz u vzorků 20/40. Můžeme pozorovat rozdíl mezi homogenizovanými a nehomogenizovanými vzorky. S narůstajícím tlakem docházelo ke zvýšení hodnoty elastického modulu pružnosti. Po aplikaci prvního tlaku 20 MPa, došlo k desetinásobnému zvýšení původní hodnoty G' , rozdíl hodnot je 12,85–126,05 Pa.

S rostoucím homogenizačním tlakem působícím na vzorky tato hodnota však klesala. Oproti surovinové skladbě 20/30, je tento pokles značně vyšší a byl pozorován při tlaku 60 MPa kdy došlo k poklesu z hodnoty 155 Pa při tlaku 40 MPa na hodnotu 28,48 Pa (viz Obrázek 5).

Obrázek 15 znázorňuje závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci 0,1–10 Hz u vzorků 20/40 tavených sýrových omáček. Opět pozorujeme značný rozdíl mezi nehomogenizovanými vzorky a homogenizovanými vzorky. Oproti elastickému modulu pružnosti v tomto případě došlo ke dvojnásobnému nárůstu původní hodnoty, vzhledem k nehomogenizovanému vzorku, která pak následně s dalším aplikovaným tlakem klesala. Způsobeno to mohlo být vysokým tlakem, který způsobil mechanické namáhání, nebyl tedy pravděpodobně pro tuto matici vůbec vhodný.



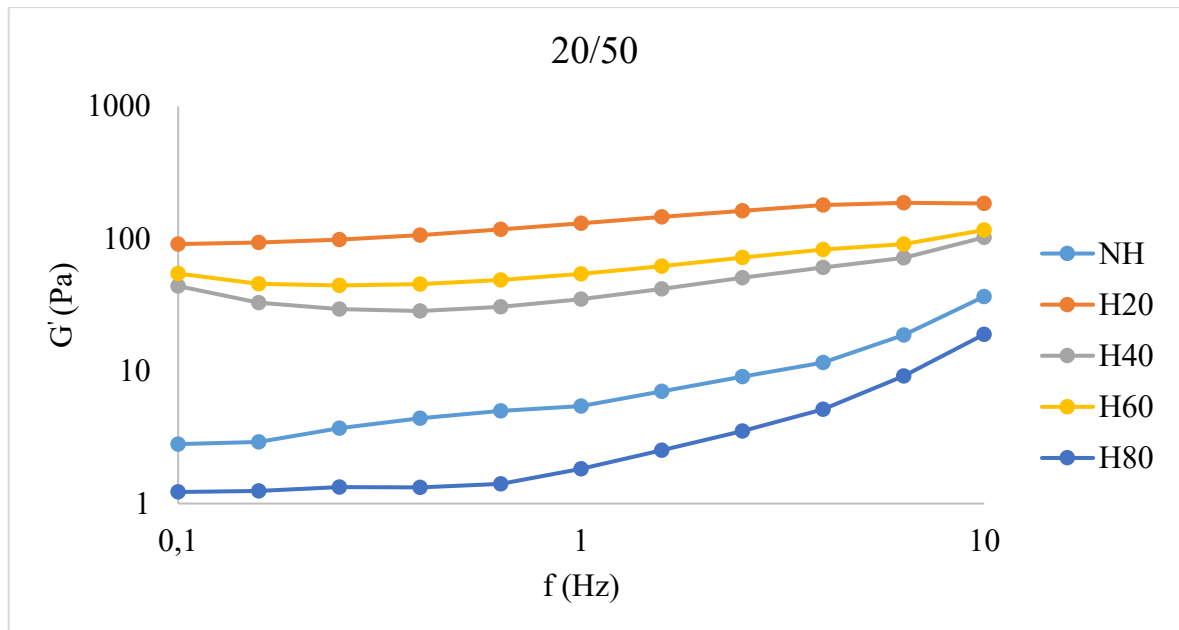
Obrázek 15 – Závislost ztrátového modulu pružnosti G'' na frekvenci f (v rozmezí 0,1 – 10 Hz) u modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 20 % hm. a tuku v sušině 40 % hm., které nebyly podrobeny homogenizaci (NH) nebo byly homogenizovány při 20 MPa (H20), 40 MPa (H40), 60 MPa (H60) nebo 80 MPa (H80).

Vzorky – 20 % hm. sušina, 50 % hm. tuk v sušině (20/50)

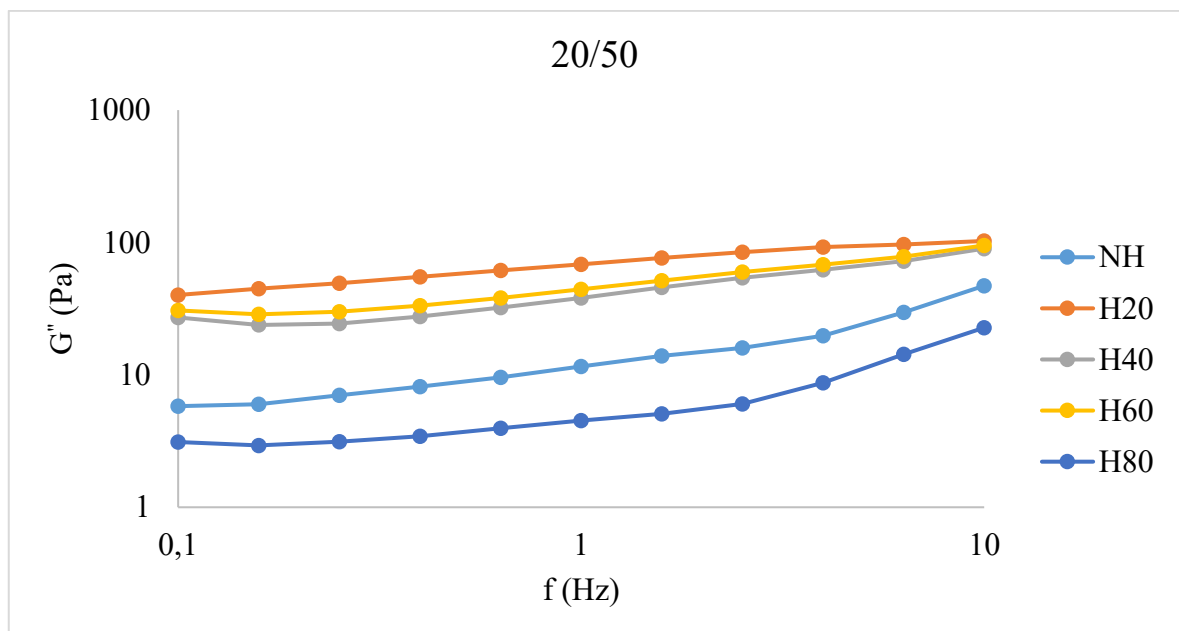
Na Obrázku 16 je zobrazena závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci 0,1–10 Hz u vzorků 20/50. Opět můžeme pozorovat značný rozdíl mezi homogenizovanými a nehomogenizovanými vzorky. S narůstajícím tlakem došlo ke zvýšení hodnoty elastického modulu pružnosti. Značný nárůst byl pozorován po aplikaci tlaku 20 MPa, jednalo se o několikanásobné zvýšení původní hodnoty u nehomogenizovaných vzorků.

Při dalším zvyšování aplikovaného homogenizačního tlaku došlo k poklesu hodnot. U vzorků 20/50 byl tento pokles výraznější oproti dalším dvěma surovinovým skladbám 20/30 a 20/40. Při nejvyšším aplikovaném tlaku byl tento pokles největší. Mohlo to být

způsobeno příliš vysokým tlakem, kterým došlo k velkému mechanickému namáhání a pro tuto surovinovou skladbu tak nemusel být příliš vhodný.



Obrázek 16 – Závislost elastickeho modulu pružnosti G' na frekvenci f (v rozmezí 0,1 – 10 Hz) u modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 20 % hm. a tuku v sušině 50 % hm., které nebyly podrobeny homogenizaci (NH) nebo byly homogenizovány při 20 MPa (H20), 40 MPa (H40), 60 MPa (H60) nebo 80 MPa (H80).



Obrázek 17 – Závislost ztrátového modulu pružnosti G'' na frekvenci f (v rozmezí 0,1–10 Hz) u modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 20 % hm. a tuku v sušině 50 % hm., které nebyly podrobeny homogenizaci (NH) nebo byly homogenizovány při 20 MPa (H20), 40 MPa (H40), 60 MPa (H60) nebo 80 MPa (H80).

Obrázek 17 znázorňuje závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci 0,1–10 Hz u vzorků 20/50 tavených sýrových omáček. Opět pozorujeme značný rozdíl mezi nehomogenizovanými vzorky a ostatními homogenizovanými. Hodnota elastického modulu pružnosti s aplikovaným tlakem 20 MPa na počátku nejprve prudce vzrostla a následně klesala.

Pomocí reologické analýzy se stanovují viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček. Pro lepší charakterizaci viskoelastických vlastností modelových vzorků byly dále vypočítány hodnoty komplexního modulu pružnosti a úhel fázového posunu. Pro prezentaci dat byla pro zvolena referenční frekvence 1 Hz.

Tabulka 3: Hodnoty elastického a ztrátového modulu pružnosti (G' a G'') modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 20 % hm. a lišícím se od sebe obsahem tuku v sušině 30 % (20/30), 40 % (20/40) a 50 % (20/50) při frekvenci 1 Hz. Některé vzorky nebyly podrobeny homogenizaci (NH), nebo byly homogenizovány při 20 MPa (H20), 40 MPa (H40), 60 MPa (H60) nebo 80 MPa (H80).

20/30	NH	H20	H40	H60	H80
G' (Pa)	19,65	195,15	185,10	177,65	153,10
G'' (Pa)	38,97	84,23	71,84	70,05	73,26
G^* (Pa)	43,71	212,60	198,60	191,00	169,75
δ (°)	63,83	23,38	21,22	21,52	25,58
20/40	NH	H20	H40	H60	H80
G' (Pa)	12,85	126,05	155,00	28,48	42,39
G'' (Pa)	24,68	58,74	67,58	34,64	31,88
G^* (Pa)	27,83	139,60	169,15	44,99	53,67
δ (°)	62,44	26,42	23,66	54,76	41,44
20/50	NH	H20	H40	H60	H80
G' (Pa)	5,46	130,70	34,99	54,34	1,83
G'' (Pa)	11,55	68,56	38,21	44,24	4,51
G^* (Pa)	12,78	147,80	52,98	71,59	4,87
δ (°)	64,70	27,89	54,76	48,87	68,61

U komplexního modulu pružnosti platí, že čím je jeho hodnota vyšší, tím je vzorek tužší. Jinými slovy, G^* popisuje také celkový odpor vůči deformaci materiálu a je měřítkem jeho konzistence. [51]

Většina vzorků se chovala jako gel a vykazovala elastické chování, což je typické spíše pro pevnou látku. Naopak některé se chovaly více jako kapalina, což bylo pozorováno u všech nehomogenizovaných vzorků NH 20/30, NH 20/40, NH 20/50. Dále pak u vzorků 20/40 při

H60 a u vzorků 20/50 při H40, H60 a H80. Obecně lze tedy říci, že u nehomogenizovaných vzorků převládala viskózní složka nad elastickou, byly tedy kapalinami, více viskózní a tekuté. S aplikovanou homogenizací se měnil charakter modelových vzorků tavených omáček a blížil se více pevné látce – gelu. U vzorků 20/50 se však naopak se zvyšujícím tlakem vracel charakter výrobku ke kapalině, zde můžeme pozorovat, že matrice výrazně oslabila.

Nejvyšší hodnoty komplexního modulu pružnosti byly pozorovány u vzorku 20/30 při použití homogenizačního tlaku 20 MPa, což bylo 212,6 Pa. Naopak nejnižší hodnota byla u nehomogenizovaného vzorku, 43,71 Pa.

Při pozorování změn jednotlivých modelových vzorků bylo zjištěno, že hodnota komplexního modulu pružnosti nejprve během narůstajícího homogenizačního tlaku prudce vzrostla, nicméně, se zvyšujícím se homogenizačním tlakem opět klesala. Největší pokles byl pozorován u surovinové skladby 20/50. Nižší hodnoty znamenaly nižší tuhost vzorků. Dá se tady předpokládat působení příliš velkého mechanického namáhání, které způsobí částečnou destabilizaci matrice tavné sýrové omáčky.

Tvrzení podložené hodnotami komplexního modulu pružnosti byly potvrzeny hodnotami úhlu fázového posunu, pro který platí, že pokud je jeho hodnota vyšší než 45° látka se chová podobně jako kapalina (materiál je více viskózní než elastický) a pokud menší než 45° , chová se jako v tuhém stavu (materiál je elastičtější než viskózní). [51]

Podle Tabulky 3 viskóznější charakter vykazovaly u surovinové skladby 20/30 nehomogenizované vzorky, homogenizované vzorky vykazovaly spíše charakter elastický. Podobně tomu bylo i u vzorků 20/50, kdy viskóznější charakter vykazovaly jak vzorky nehomogenizované, ale i s aplikací homogenizačního tlaku 60 MPa. Naopak u vzorků 20/50 byl viskóznější charakter skoro u všech vzorků, kromě toho s aplikovaným tlakem 20 MPa. Ten vykazoval spíše charakter elastický.

6.3.2 Reologická analýza při konstantním zahřívání modelových vzorků

Druhé reologické měření proběhlo opět pomocí dynamického smykového oscilačního reometru s geometrií deska-deska s mezerou 1 mm. Vzorky byly testovány při frekvenci 1 Hz. Amplituda smykového napětí 10 Pa byla zvolena v oblasti lineární viskoelastivity. Teplota měření se zvyšovala z teploty $5 \pm 0,5^\circ\text{C}$ na konečnou teplotu $65,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ (s rychlostí zahřívání $2^\circ\text{C}/\text{min}$). Naměřené hodnoty byly zaznamenány do Tabulky 4, kde byly pro prezentaci dat zvoleny hodnoty naměřené při teplotách 5, 20 a $65 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

Vzhledem ke změnám teplot během měření bylo zjištěno, že dochází k ovlivnění všech sledovaných parametrů (jako je G' , G'' , G^* a δ) zaznamenaných v Tabulce 4.

Pro surovinovou skladbu vzorků 20/30 tavené sýrové omáčky úhel fázového posunu u některých vzorků jako jsou například vzorky NH nebo H20 pozorujeme nárůst hodnot úhlu fázového posunu vlivem narůstající teploty. U vzorků H40, H60 a H80 byla hodnota tohoto úhlu nejvyšší při teplotě $20 \pm 0,5$ °C a klesala při teplotě $65 \pm 0,5$ °C. Úhel fázového posunu byl u všech vzorků menší než 45 °, lze tedy předpokládat že vzorky vykazovaly elastičtější charakter. Pouze nehomogenizované vzorky vykazovaly nejprve charakter viskózní a následně se zvýšením teploty byl jejich charakter při teplotě $65 \pm 0,5$ °C elastický.

Komplexní modul pružnosti G^* u všech vzorků 20/30 nejprve při teplotě $20 \pm 0,5$ °C klesal, ale s narůstající teplotou $65 \pm 0,5$ °C jeho hodnota opět vzrostla.

U vzorků 20/40 tavených sýrových omáček, u vzorků NH, H20 a H40 se hodnota úhlu fázového posunu s narůstající teplotou zvyšovala. Při teplotě $65 \pm 0,5$ °C byla jeho velikost větší než 45 °, lze tedy předpokládat, že tyto vzorky vykazovaly viskózní charakter. Vzorky H60 a H80 měly nejvyšší hodnotu úhlu fázového posunu při teplotě $20 \pm 0,5$ °C, která následně při teplotě $65 \pm 0,5$ °C klesla. Při této teplotě byl však úhel menší než 45 °, což lze přisuzovat spíše elastickému charakteru těchto vzorků tavených sýrových omáček.

Komplexní modul pružnosti u vzorků 20/40 s narůstající teplotou klesal u vzorků NH a H40, naopak u vzorků H20, H60 a H80 s rostoucí teplotou se jeho hodnota zvyšovala.

Vzorky 20/50 tavených sýrových omáček u většiny zkoumaných hodnot měly příliš rozdílný pokles, lze tedy předpokládat, že byl tento tlak příliš velký a pro tuto surovinovou skladbu pravděpodobně nevhodný. Při relativně vyšší teplotě jako je $65 \pm 0,5$ °C byla tuhost těchto vzorků velmi nízká, hodnota úhlu fázového posunu naopak velmi vysoká a modelové vzorky tavených sýrových omáček byly příliš tekuté.

Komplexní modul pružnosti G^* u vzorků NH, H20 a H60 nejdříve při teplotě $20 \pm 0,5$ °C jeho hodnota klesala a následně se opět při teplotě $65 \pm 0,5$ °C zvýšila. Naopak tomu však bylo u vzorků H40 a H80, kdy tato hodnota s rostoucí teplotou $5 \pm 0,5$ až $65 \pm 0,5$ °C postupně klesala.

Tabulka 4: Souhrnná tabulka hodnot (G' , G'' , G^* a δ) u modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 20 % hm. a lišící se obsahem tuku v sušině 30 % hm. (20/30), 40 % hm. (20/40) a 50 % hm. (20/50), které nebyly podrobeny homogenizaci (NH), nebo byly homogenizovány při 20 MPa (H20), 40 MPa (H40), 60 MPa (H60) a při 80 MPa (H80)

Vzorek	Tlak (MPa)	T (°C)	G' (Pa)	G'' (Pa)	G^* (Pa)	δ (°)	
20/30	0 (NH*)	5	516,10	181,35	549,10	21,68	
		20	147,23	123,61	193,05	42,27	
		65	21675,31	4302,66	22102,68	47,27	
	20	5	637,70	184,40	663,95	16,40	
		20	289,80	118,84	313,25	22,44	
		65	50350,65	7948,86	50953,92	44,72	
	40	5	813,75	217,30	842,25	14,95	
		20	370,70	126,45	391,65	18,93	
		65	11668,00	2214,00	11883,00	11,02	
	60	5	754,70	223,80	787,25	16,89	
		20	268,70	143,16	304,65	26,89	
		65	34330,00	6947,00	35030,00	11,57	
	80	5	1182,00	312,80	1222,50	14,83	
		20	593,30	185,40	621,55	17,43	
		65	24315,00	5731,00	24980,00	13,26	
	20/40	0 (NH*)	5	131,65	97,92	164,05	36,66
			20	25,78	43,66	50,70	59,46
			65	0,19	2,35	2,36	85,36
20		5	676,45	160,40	695,20	13,34	
		20	322,85	108,45	340,65	18,62	
		65	10540,05	2482,90	10830,91	49,94	
40		5	476,40	138,85	495,95	16,28	
		20	225,50	82,44	240,15	20,09	
		65	15,22	23,83	28,28	57,54	
60		5	552,25	188,50	584,30	20,61	
		20	138,07	108,89	177,25	44,01	
		65	23950,00	5015,00	24480,00	12,03	
80		5	389,93	186,55	444,10	37,94	
		20	69,38	88,69	114,25	62,50	
		65	7985,07	1119,72	8065,72	46,31	
20/50		0 (NH*)	5	89,32	85,36	123,55	43,83
			20	15,01	30,12	33,65	63,53
			65	9275,30	2270,82	9549,83	50,06
	20	5	874,40	197,00	896,35	12,76	
		20	469,95	154,00	494,60	18,21	
		65	1410,33	933,14	1692,65	59,66	
	40	5	473,10	124,65	489,30	14,84	
		20	265,20	92,46	280,85	19,22	
		65	0,09	2,62	2,62	87,92	
	60	5	371,90	223,00	438,85	34,85	
		20	27,72	55,03	61,87	64,88	
		65	11161,00	2538,00	11461,50	14,53	
	80	5	43,41	65,43	78,91	56,05	
		20	3,62	12,85	13,45	72,79	
		65	0,06	1,59	1,59	86,80	

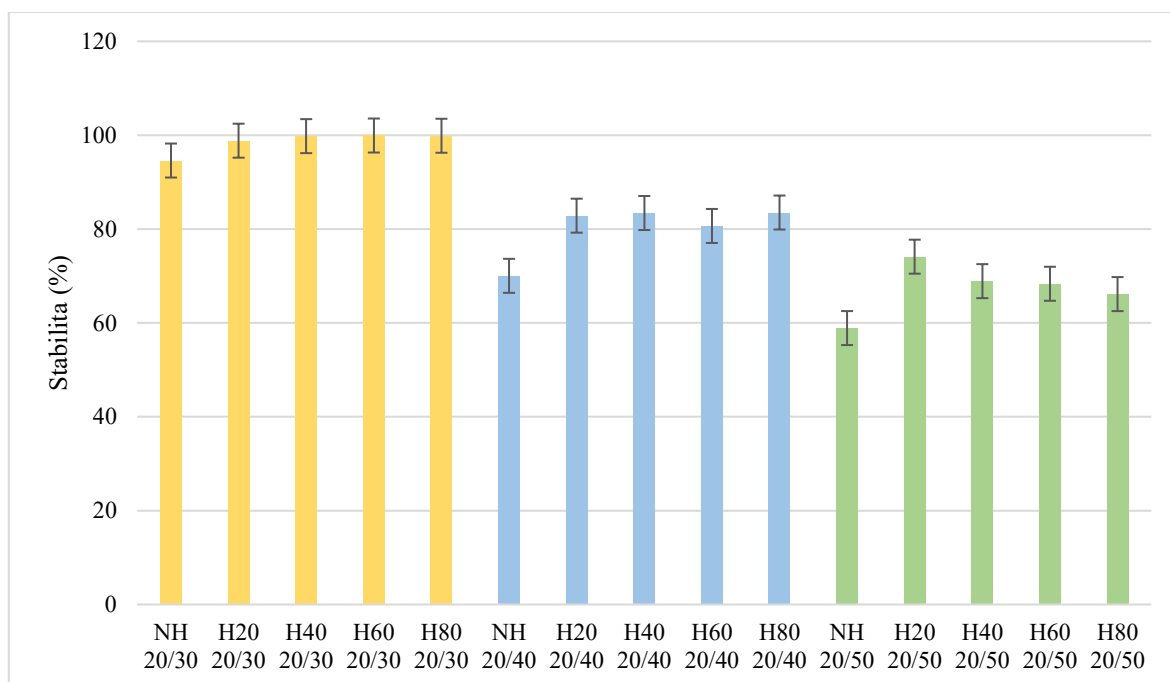
*NH – nehomogenizované kontrolní vzorky

Pomocí několika výzkumů zabývajících se viskoelastických a mechanických vlastností při chladírenské (5–8 °C) nebo při pokojové teplotě (18–22 °C), byly pozorovány různé účinky kolísání obsahu tuku na vlastnosti roztíratelného smetanového sýra. Někteří autoři například porovnávali vliv obou těchto teplot na viskoelasticitu a roztíratelnost získaných produktů. Z jejich výzkumu vyplývalo, že s poklesem teploty rostly hodnoty komplexního modulu a roztíratelnost se snižovala. [56]

Brighenti et al. 2008 charakterizovali viskoelastické chování během ohřevu a následného chlazení (5–80–5 °C) u komerčních vzorků smetanových sýrů s různým obsahem tuku. U plnotučných sýrů pozorovali během zahřívání z 5 °C na 40 °C snížení hodnoty elastického modulu pružnosti a zvýšení úhlu fázového posunu. Prokázali také, že sýry bez obsahu tuku vykazovali jiné viskoelastické vlastnosti během cyklu ohřevu a chlazení než plnotučné sýry. Jejich výsledky naznačují, že změny teplot ovlivňují v různé míře reologické a mechanické vlastnosti roztíratelných sýrů s různým obsahem tuku. [57]

6.4 Stabilita vzorku

Stanovení stability bylo provedeno po sedmi dnech od výroby vzorků tavených sýrových omáček s rozdílným obsahem tuku v sušině a aplikovaným homogenizačním tlakem 20, 40, 60 a 80 MPa. Srovnání stability vzorků u jednotlivých surovinových skladeb zobrazeno na Obrázku 18.



Obrázek 18 – Srovnání hodnot stability u jednotlivých modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem 20 % hm. sušiny, lišící se od sebe obsahem tuku v sušině 30, 40 a 50 % hm. s použitím homogenizačního tlaku 20, 40, 60 a 80 MPa (H20, H40, H60 a H80) a nehomogenizovaným vzorkem (NH).

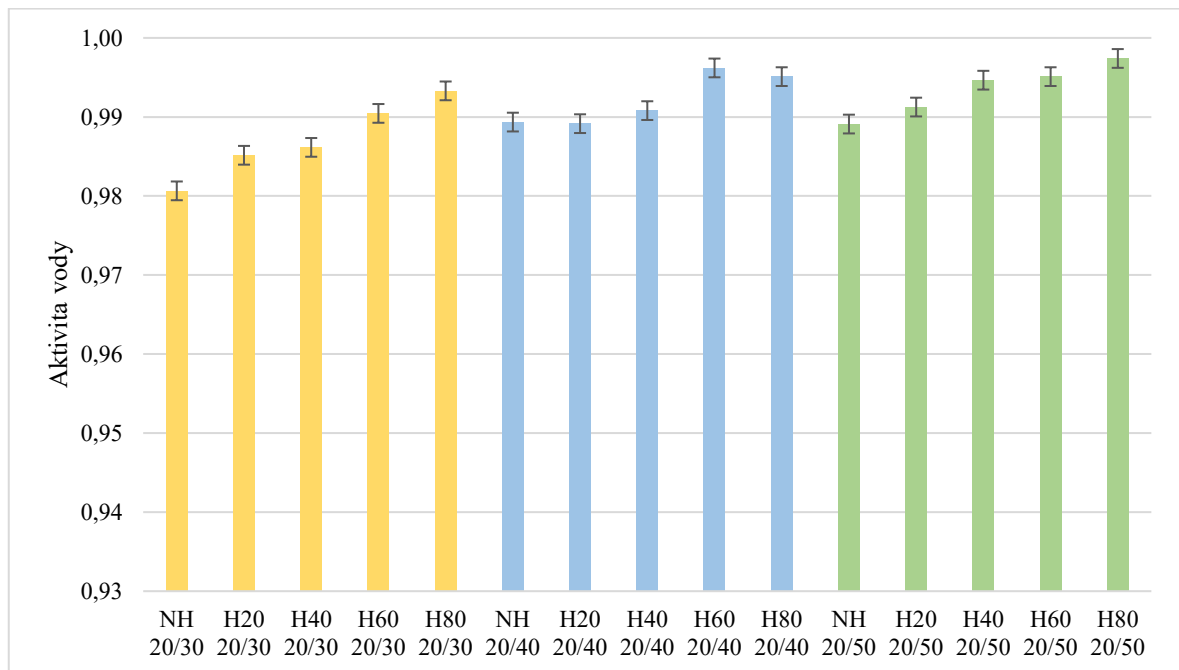
V případě stanovení stability vzorků se rozmezí hodnot pohybovalo od 58,9 – 99,3 %. Vyšší stabilitu vykazovaly vzorky se surovinovou skladbou 20/30, naopak nejmenší vzorky 20/50.

Lze také pozorovat, že s použitím vysokotlaké homogenizace mírně narůstala stabilita vzorku. Aplikace homogenizačního tlaku pravděpodobně vedla k interakcím mezi tukem a bílkovinami, čím došlo ke vzniku stabilní emulze oleje ve vodě. Použití vysokotlaké homogenizace mělo tedy pozitivní vliv na stabilitu emulze. [5]

Tavené sýrové omáčky jsou charakterizovány jako emulze typu olej ve vodě, nejčastějším problémem může být jejich destabilizace, ke které může dojít ihned po jejich přípravě nebo během skladování. [58] Může docházet k oddělení lipofilní a hydrofilní složky, v některých extrémních případech až k úplnému oddělení vody nebo tuku z výrobku. [59]

6.5 Vodní aktivita

U všech vzorků tavených sýrových omáček byla vždy po sedmi dnech od jejich výroby změřena aktivita vody. Hodnota naměřené a_w se pohybovala v rozmezí 0,981–0,997.



Obrázek 19 – Porovnání hodnot aktivity vody u jednotlivých modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem 20 % hm. sušiny, lišící se od sebe obsahem tuku v sušině 30, 40 a 50 % hm. s použitím homogenizačního tlaku 20, 40, 60 a 80 MPa (H20, H40, H60 a H80) a nehomogenizovaným vzorkem (NH).

Na Obrázku 19 lze pozorovat, že hodnota aktivity vody velmi mírně stoupala s narůstajícím homogenizačním tlakem. Největší rozdíl mezi kontrolním vzorkem a vzorkem s použitím nejvyššího homogenizačního tlaku, byl u surovinové skladby 20/30. Bylo zde použito největší množství přírodního sýra, což by také mohlo mít určitý vliv. Homogenizační tlak měl však opět pouze nepatrný vliv na hodnoty aktivity vody.

Aktivita vody je jednou z hlavních parametrů, které omezují skladovatelnost produktu. Vysoký obsah vody totiž vytváří příznivější podmínky pro růst plísní a také ovlivňuje množení bakterií. [6] Podle Buňkové a Buňky (2017) je však optimální hodnota aktivity vody pro tavené sýry v rozmezí od 0,91 do 0,96. Obecně lze však předpokládat, že tavené sýry mají hodnotu aktivity vody nižší než tavené sýrové omáčky, protože ve své receptuře obsahují méně vody, konkrétní hodnoty se však mohou lišit v závislosti na procesu jejich výroby a použitých surovinách. [5, 60].

7 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo sledování vlivu homogenizačního tlaku na funkční vlastnosti tavených sýrových omáček. Byly proto vyrobeny modelové vzorky tavených sýrových omáček s různým obsahem tuku v sušině, které byly následně podrobeny homogenizaci při tlacích 20, 40, 60 a 80 MPa. Následně u nich bylo provedeno několik analýz, jako je stanovení hodnot pH, obsahu sušiny, reologická analýza, stabilita vzorku a vodní aktivita, ze kterých lze vyvodit několik závěrů:

- Na hodnotu pH a obsah sušiny neměla homogenizace významný vliv.
- Při reologické analýze vykazovala většina vzorků spíše elastický charakter, výjimkou pak byly vzorky, které homogenizačnímu procesu podrobeny nebyly.
- Aplikace homogenizace vedla k účinnému navýšení tuhosti modelových vzorků.
- Některé z použitých homogenizačních tlaků, především 60 a 80 MPa už byly příliš vysoké pro navýšení tuhosti, a docházelo spíše k poklesu hodnot u těchto tavených sýrových omáček o surovinových skladbách s nízkým obsahem sušiny.
- Reologické vlastnosti modelových vzorků byly také ovlivněny teplotou, která charakterizovala chování výrobků při teplotě chladírenské, pokojové a při případném servírování za horka.
- Pozitivní vliv měla vysokotlaká homogenizace na stabilitu emulze, kdy s narůstajícím homogenizačním tlakem stabilita postupně narůstala.
- Důležitým parametrem však byl i obsah tuku v sušině, který stabilitu také ovlivňoval, přičemž s rostoucím obsahem tuku v sušině se stabilita modelových vzorků snižovala.
- Aplikovaný homogenizační tlak měl pouze nepatrný vliv na aktivitu vody.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] EL-BAKRY, Mamdouh a Bhavbhuti MEHTA, 2022. Overview of processed cheese and its products. In: *Processed cheese science and technology*. Woodhead, s. 1-28. ISBN 978-0-12-821445-9.
- [2] CUMHUR, Oznur a Meral KILIC-AKYILMAZ, 2022. Chapter 11 – Special processed cheeses, cheese spreads, and analogue cheeses. In: *Processed cheese science and technology*. Woodhead, s. 269-295. ISBN 978-0-12-821445-9.
- [3] TAMINE, A., 2011. Manufacturing practices of processed cheese. *Processed cheese and analogues*. Oxford: Wiley-Blackwell. 148-178. Society of Dairy Technology series. ISBN: 9781444341850.
- [4] SALEK, Richardos et al., 2019. Evaluation of various emulsifying salts addition on selected properties of processed cheese sauce with the use of mechanical vibration damping and rheological methods. *LWT–Food science and technology* [online]. 107: 178-184 Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.022>
- [5] KŮROVÁ, Vendula et al., 2022. The effect of homogenization and addition of polysaccharides on the viscoelastic properties of processed cheese sauce. *Journal of dairy science* [online]. 105(8), 6563-6577. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2021-21520>
- [6] SZAFRANSKA, Jagoda a Bartosz SOLOWIEJ, 2020. Cheese sauces: Characteristics of ingredients, manufacturing methods, microbiological and sensory aspects. *Journal of food process engineering*. **43**(4). Dostupné z: doi:10.1111/jfpe.13364
- [7] SHALABY, Samah, A.G. MOHAMED a Hala BAYOUMI, 2017. Preparation of a Novel Processed Cheese Sauce Flavored with Essential Oils. *Journal of Dairy Science* [online]. 12: 161-169. Dostupné z: doi:10.3923/ijds.2017.161.169
- [8] SAAD, Suhila et al., 2016. *Impact of Different Food Protein Sources in Processed Cheese Sauces Manufacture*. [online]. 11: 52-60. Dostupné z: doi:10.3923/ijds.2016.52.60
- [9] ČERNÍKOVÁ, Michaela et. al., 2017. Microstructure and textural and viscoelastic properties of model processed cheese with different dry matter and fat in dry matter content. *Journal of Dairy Science*. 100 (6), 4300-4307. ISSN: 0022-0302
- [10] KAPOOR, Rohit a Lloyd METZGER, 2008. Process cheese: scientific and technological aspects – a review. *Institute of food technologists: Comprehensive reviews in*

food science and food safety. 7(2), 194-214. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2008.00040.x>

[11] Vyhláška č. 274/2019 Sb. o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje. 2019. Dostupné také z: www.zakonyprolidi.cz

[12] ČERNÍKOVÁ, Michaela et al., 2018. The effect of rework content addition on the microstructure and viscoelastic properties of processed cheese. *Journal of Dairy Science*. Zlín: Elsevier, 10(4), 2956-2962. ISSN 0022-0302.

[13] FELFOUL, Imene a Hamadi ATTIA, 2022. Chapter 10 – Packaging, cooling, and storage of processed cheese. In: *Processed cheese science and technology*. Woodhead, s. 249-269. ISBN 978-0-12-821445-9.

[14] ATIK, Didem a Thom HUPPERTZ, 2023. Melting of natural cheese: A review. *International Dairy Journal*. 142, 105648. ISSN 0958-6946.

[15] MASOTTI, Fabio et al., 2018. Status and developments in analogue cheese formulations and functionalities. *Trends in Food Science & Technology*. Milan, Italy: Elsevier, 74, 158-169. ISSN 0924-2244.

[16] SZAFRANSKA, Jagoda, Siemowit MUSZYNSKI a Bartosz SOLOWIEJ, 2020. *Effect of whey protein concentrate on physicochemical properties of acid casein processed cheese sauces obtained with coconut oil or anhydrous milk fat* [online]. (127), 109434. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109434>

[17] LI, Lei, Rakesh SINGH a Jun LEE, 2004. Process conditions influence on characteristics of holding tube fouling due to cheese sauce. *LWT – Food science and technology*. 37(5), 565-572.

[18] SALEK, Richardos, František BUŇKA a Michaela ČERNÍKOVÁ, 2022. Chapter 3 - The use of different cheese sources in processed cheese. In: *Processed cheese science and technology*. Woodhead, s. 79-113. ISBN 978-0-12-821445-9.

[19] BUŇKA, František et al., 2013. The effect of ternary emulsifying salt composition and cheese maturity on the textural properties of processed cheese. *International Dairy Journal*. Zlín: Elsevier, 29(1), 1-7. ISSN 0958-6946.

[20] HILL, Art a Mary FERRER, 2022. Chapter 2 – Dairy ingredients in processed cheese and cheese spread. In: *Processed cheese science and technology: Ingredients, manufacture, functionally, quality and regulants*. Woodhead, s. 29-79. ISBN 978-0-12-821445-9.

- [21] OZEL, B. et. al., 2022. Challenges in dried whey powder production: Quality problems. *Food Research International*. 160, 111682. ISSN: 0963-9969
- [22] BUŇKA, František; PACHLOVÁ, Vendula; BUŇKOVÁ Leona; ČERNÍKOVÁ, Michaela, 2013. Mlékárenské technologie I. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 978-80-7454-254-1.
- [23] BYLUND, Gosta, 2015. Casein, Caseinates, and Milk Protein Concentrates. In: *Dairy Processing Handbook*. Second. Lund: Tetra Pak, s. 123-130. ISBN 978-9163134272.
- [24] BYLUND, Gosta, 2015. Chapter 20 – Casein. In: *Dairy Processing Handbook*. Second. Lund: Tetra pak, s. 411-418. ISBN 978-9163134272.
- [25] TAMINE, A., 2011. Manufacturing practices of processes cheese. Processed cheese and analogues. Oxford: Wiley-Blackwell. 148-178. Society of Dairy Technology series. ISBN: 9781444341850.
- [26] BUŇKA, František, Michaela ČERNÍKOVÁ a Richardos SALEK, 2022. Chapter 6 – Functionality of salts used in processed cheese manufacture. In: *Processed cheese science and technology*. Woodhead, s. 147-176. ISBN 978-0-12-821445-9.
- [27] GUINEE, Timothy, 2017. Pasteurized Processed and Imitation Cheese Products. In: *Cheese: Chemistry, Physics & Microbiology*. Fourth edition. UK: Elsevier, s. 1133-1184. ISBN 978-0-12-417012-4.
- [28] BUŇKA, František et al., 2007. Effect of 1-Monoglycerides on Viscoelastic Properties of Processed Cheese. *International Journal of Food Properties*. **10**(4), 819-828. Dostupné z: doi:10.1080/10942910601113756
- [29] PIRSA, Sajad a Kosar HAFEZI, 2023. Hydrocolloids: Structure, preparation method, and application in food industry. *Food Chemistry*. **399**(133967), 1-14. ISSN 0308-8146.
- [30] BHAT, Iqra et al., 2022. Advances in xanthan gum production, modifications and its applications. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. India: Elsevier, **42**, 102328. ISSN 1878-8181.
- [31] SHARMA, Gaurav et al., 2018. Guar gum and its composites as potential materials for diverse applications: A review. *Carbohydrate Polymers*. **199**, 534-545. ISSN 0144-8617.
- [32] ČERNÍKOVÁ, Michaela et al., 2008. Effect of carrageenan type on viscoelastic properties of processed cheese. *Food Hydrocolloids*. Zlín, **22**(6), 1054-1061.

- [33] TAMINE, A., 2011. Processed Cheese and Analogues: An Overview. In: *Processes Cheese and Analogues*. Blackwell, s. 1-24. ISBN 9781444341850.
- [34] ATIK, Didem a Thom HUPPERTZ, 2023. Melting of natural cheese: A review. *International Dairy Journal*. Journal Pre-proof, **1**(105648), 1-20. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105648>
- [35] ČERNÍKOVÁ, M. et. al., 2017. Microstructure and textural and viscoelastic properties of model processed cheese with different dry matter and fat in dry matter content. *Journal of Dairy Science*. **100** (6), p. 4300-4307.
- [36] ŠUŠTOVÁ, Květoslava; SÝKORA, Vladimír. 2013. Mlékárenské technologie. V Brně: Mendelova univerzita. ISBN 978-80-7375-704-5
- [37] PAQUIN, Paul, 1999. Technological properties of high pressure homogenizers: the effect of fat globules, milk proteins, and polysaccharides. *International Dairy Journal*. **9**(3-6), 329-335.
- [38] BYLUND, Gosta, 2015. Homogenisers. In: *Dairy Processing Handbook*. Second. Lund: Tetra Pak, s. 123-130. ISBN 978-9163134272.
- [39] MOHAMMADI, Ali a Vajiheh FADAEI, 2018. The effect of homogenization on texture of reduced dry matter processed cheese. *Food Science and Technology*. **38**, 190-195. ISSN ISSN 0101-2061.
- [40] WILBEY, R.A., 2011. HOMOGENIZATION OF MILK | Principles and Mechanism of Homogenization, Effects and Assessment of Efficiency: Valve Homogenizers. In: *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Second. Academic Press, s. 750-754. ISBN 9780123744074.
- [41] WILBEY, R. A., 2003. Homogenization. In: *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Second. USA: Elsevier, s. 3119-3125. ISBN 978-0-12-227055-0.
- [42] LU, Naiyan et al., 2021. The effect of adding phospholipids before homogenization on the properties of milk fat globules. *LWT*. **146**, 111659.
- [43] YE, Ran a Federico HARTE, 2014. High pressure homogenization to improve the stability of casein–hydroxypropyl cellulose aqueous systems. *Food Hydrocolloids*. **35**, 670-677.
- [44] TRUJILLO, A. et. al., 2016. High-Pressure Homogenization for Structure Modification. *Innovative Food Processing Technologies*. p. 315–344. ISBN: 9780081002940

- [45] FLOURY, Juliane, Anne DESRUMAUX a Jeremie LARDIERES, 2000. Effect of high-pressure homogenization on droplet size distributions and rheological properties of model oil-in-water emulsions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. Elsevier, **1**(2), 127-134. ISSN 1466-8564.
- [46] PEREDA, J. et al., 2007. Effects of Ultra-High Pressure Homogenization on Microbial and Physicochemical Shelf Life of Milk. *Journal of Dairy Science*. Spain: Elsevier, **90**(3), 1081-1093.
- [47] KLOIDOVÁ, Iveta, 2018. Obrázek vysokotlakého homogenizátoru – Vícečetné emulze v/o/v jako součást funkčních potravin. *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze* [online]. Praha: VŠCHT. Dostupné z: <https://www.vscht.cz>
- [48] DUSTERHOFT, E. et. al., 2011. Cheese – Dutch-Type Cheeses. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Second. p. 721-727. ISBN 978-0123744074
- [49] ČERNÍKOVÁ, Michaela, František BUŇKA a Richardos SALEK, 2022. Chapter 9 - Technological aspects of processed cheese: Properties and structure. In: *Processed Cheese Science and Technology*. Woodhead, s. 211-248. ISBN 9780128214459.
- [50] SALEK, R. et. al., 2017. Tvrdost tavených sýrů vyrobených z různých druhů přírodních sýrů. *Mlékařské listy*. 162 (28), 5-9. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [51] PLUTA-KUBICA, Agnieszka et al., 2021. Influence of the melt holding time on fat droplet size and the viscoelastic properties of model spreadable processed cheeses with different compositions. *International Dairy Journal*. Elsevier, **113**, 104880. ISSN 0958-6946.
- [52] BUŇKA, F. et. al., 2013. The effect of ternary emulsifying salt composition and cheese maturity on the textural properties of processed cheese. *International Dairy Journal*. 29 (1). p. 1-7. ISSN: 0958-6946
- [53] PACHLOVÁ, Vendula et al., 2010. Změny vybraných jakostních parametrů u přírodních sýrů v průběhu půlročního zrání/skladování za různých teplot. *Potravinářstvo*. **4**, 217-223.
- [54] WEISEROVÁ, Eva et al., 2011. The effect of combinations of sodium phosphates in binary mixtures on selected texture parameters of processed cheese spreads. *International Dairy Journal*. Elsevier, **21**(12), 979-986.

- [55] ČERNÍKOVÁ, M. et. al., 2017. The effect of selected processing parameters on viscoelastic properties of model processed cheese spreads. *International Dairy Journal*. 66, 84-90. ISSN: 0958-6946.
- [56] BAYARRI, S., J. CARBONELL a E. COSTELL, 2012. Viscoelasticity and texture of spreadable cheeses with different fat contents at refrigeration and room temperatures. *Journal of Dairy Science*. Elsevier, **95**(12), 6926-6936.
- [57] BRIGHENTI, M. et al., 2008. Characterization of the Rheological, Textural, and Sensory Properties of Samples of Commercial US Cream Cheese with Different Fat Contents. *Journal of Dairy Science*. Elsevier, **91**(12), 4501-4517.
- [58] MANDALA, IG, TP SAVVAS a AE KOSTAROPOULOS, 2004. Xanthan and locust bean gum influence on the rheology and structure of a white model-sauce. *Journal of Food Engineering*. Elsevier, **64**(3), 335-342.
- [59] THANASUKARN, P., R. PONGSAWATMANIT a D. MCCLEMENTS, 2004. Influence of emulsifier type on freeze-thaw stability of hydrogenated palm oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*. Elsevier, **18**(6), 1033-1043.
- [60] BUŇKOVÁ, Leona a František BUŇKA, 2017. Microflora of processed cheese and the factors affecting it. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Taylor and Francis, **57**(11), 2392-2403. ISSN 10408398.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

NH Nehomogenizované kontrolní vzorky

20/30 Vzorky s obsahem 20 % hm. sušiny, 30 % hm. tuku v sušině

20/40 Vzorky s obsahem 20 % hm. sušiny, 40 % hm. tuku v sušině

20/50 Vzorky s obsahem 20 % hm. sušina, 50 % hm. tuku v sušině

MAG/DAG Směs monoacylglycerolů a diacylglycerolů

Na_2HPO_4 Monohydrogenfosforečnan sodný

NaH_2PO_4 Dihydrogenfosforečnan sodný

$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ Difosforečnan tetrasodný

POLY 68 Polyfosforečnan sodný

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Zjednodušené znázornění účinku tavicí soli v tavené směsi. [25].....	15
Obrázek 2: Schéma výroby tavených sýrových omáček. Upraveno dle [25].....	19
Obrázek 3: Tukové kuličky před (vlevo) a po (vpravo) jednostupňové homogenizaci. [38]	23
Obrázek 4: První (vlevo) a druhý stupeň (vpravo) dvoustupňové homogenizace. [38]	24
Obrázek 5: Homogenizační hlava, upraveno dle [38]	24
Obrázek 6: Typy homogenizačních ventilů – kulový, talířový. [41].....	25
Obrázek 7: Schéma modelových vzorků	32
Obrázek 8: Přístroj Stephan (Nedbalová, 2023)	33
Obrázek 9: Homogenizátor [47]	33
Obrázek 10 – Porovnání hodnot pH u jednotlivých modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem 20 % hm. sušiny, lišící se od sebe obsahem tuku v sušině 30 % hm. (20/30), 40 % hm. (20/40) a 50 % hm. (20/50), s použitím homogenizačního tlaku 20, 40, 60 a 80 MPa (H20, H40, H60 a H80) a nehomogenizovanými vzorky (NH).	37
Obrázek 11 – Porovnání hodnot obsahu sušiny u jednotlivých modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem 20 % hm. sušiny, lišící se od sebe obsahem tuku v sušině 30 % hm. (20/30), 40 % hm. (20/40) a 50 % hm. (20/50), s použitím homogenizačního tlaku 20, 40, 60 a 80 MPa (H20, H40, H60 a H80) a nehomogenizovaným vzorkem (NH).	39
Obrázek 12 – Závislost elastického modulu pružnosti G' na frekvenci f (v rozmezí 0,1–10 Hz) u modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 20 % hm. a tuku v sušině 30 % hm., které nebyly podrobeny homogenizaci (NH) nebo byly homogenizovány při 20 MPa (H20), 40 MPa (H40), 60 MPa (H60) nebo 80 MPa (H80).....	40
Obrázek 13 – Závislost ztátového modulu pružnosti G'' na frekvenci f (v rozmezí 0,1–10 Hz) u modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 20 % hm. a tuku v sušině 30 % hm., které nebyly podrobeny homogenizaci (NH) nebo byly homogenizovány při 20 MPa (H20), 40 MPa (H40), 60 MPa (H60) nebo 80 MPa (H80).....	41
Obrázek 14 – Závislost elastického modulu pružnosti G' na frekvenci f (v rozmezí 0,1–10) u modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 20 % hm. a tuku v sušině 40 % hm., které nebyly podrobeny homogenizaci (NH) nebo byly homogenizovány při 20 MPa (H20), 40 MPa (H40), 60 MPa (H60) nebo 80 MPa (H80).	42
Obrázek 15 – Závislost ztrátového modulu pružnosti G'' na frekvenci f (v rozmezí 0,1 – 10 Hz) u modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 20 % hm. a tuku v sušině 40 % hm., které nebyly podrobeny homogenizaci (NH) nebo byly homogenizovány při 20 MPa (H20), 40 MPa (H40), 60 MPa (H60) nebo 80 MPa (H80).....	43
Obrázek 16 – Závislost elastického modulu pružnosti G' na frekvenci f (v rozmezí 0,1 – 10 Hz) u modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 20 % hm. a tuku v sušině 50 % hm, které nebyly podrobeny homogenizaci (NH) nebo byly homogenizovány při 20 MPa (H20), 40 MPa (H40), 60 MPa (H60) nebo 80 MPa (H80).....	44
Obrázek 17 – Závislost ztrátového modulu pružnosti G'' na frekvenci f (v rozmezí 0,1–10 Hz) u modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 20 % hm. a tuku	

v sušině 50 % hm., které nebyly podrobeny homogenizaci (NH) nebo byly homogenizovány při 20 MPa (H20), 40 MPa (H40), 60 MPa (H60) nebo 80 MPa (H80).....	44
Obrázek 18 – Srovnání hodnot stability u jednotlivých modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem 20 % hm. sušiny, lišící se od sebe obsahem tuku v sušině 30, 40 a 50 % hm. s použitím homogenizačního tlaku 20, 40, 60 a 80 MPa (H20, H40, H60 a H80) a nehomogenizovaným vzorkem (NH).....	50
Obrázek 19 – Porovnání hodnot aktivity vody u jednotlivých modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem 20 % hm. sušiny, lišící se od sebe obsahem tuku v sušině 30, 40 a 50 % hm. s použitím homogenizačního tlaku 20, 40, 60 a 80 MPa (H20, H40, H60 a H80) a nehomogenizovaným vzorkem (NH).....	51

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Přehled povolených složek u tavených výrobků, upraveno dle [11].....	11
Tabulka 2: Vybrané fosforečnanové tavicí soli, upraveno dle: [27].....	16
Tabulka 3: Hodnoty elastického a ztrátového modulu pružnosti (G' a G'') modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 20 % hm. a lišícím se od sebe obsahem tuku v sušině 30 % (20/30), 40 % (20/40) a 50 % (20/50) při frekvenci 1 Hz. Některé vzorky nebyly podrobeny homogenizaci (NH), nebo byly homogenizovány při 20 MPa (H20), 40 MPa (H40), 60 MPa (H60) nebo 80 MPa (H80).	45
Tabulka 4: Souhrnná tabulka hodnot (G' , G'' , G^* a δ) u modelových vzorků tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 20 % hm. a lišící se obsahem tuku v sušině 30 % hm. (20/30), 40 % hm. (20/40) a 50 % hm. (20/50), které nebyly podrobeny homogenizaci (NH), nebo byly homogenizovány při 20 MPa (H20), 40 MPa (H40), 60 MPa (H60) a při 80 MPa (H80).....	48