

# **Vliv kaseinových bílkovin na viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček**

Bc. Lucie Vojtíková

---

Diplomová práce  
2020

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2019/2020

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE** (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Lucie Vojtíková**  
Osobní číslo: **T18285**  
Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Technologie potravin**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Vliv kaseinových bílkovin na viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček**

### Zásady pro vypracování

#### Teoretická část

1. Základní charakteristika tavených sýrových omáček a podobných produktu
2. Technologie výroby tavených sýrových omáček a podobných produktu
3. Význam tavicích solí při výrobě tavených sýrových omáček a podobných produktu
4. Faktory ovlivňující kvalitu tavených sýrových omáček a podobných produktu Praktická část
5. Výroba modelových vzorku tavených sýrových omáček
6. Provedte vybrané analýzy
7. Vyhodnotte získané výsledky a zformulujte závěry

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

**Seznam doporučené literatury:**

- [1] SALEK, R. N., VAŠINA, M., LAPČÍK, L., ČERNÍKOVÁ, M., LORENCOVÁ, E., LI, P., BUŇKA, F. (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*, 107, 178-184. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.022>.
- [2] FU, W., NAKAMURA, T. (2018). Effects of starches on the mechanical properties and microstructure of processed cheeses with different types of casein network structures. *Food Hydrocolloids*, 79, 587-595. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.12.001>.
- [3] SOŁOWIEJ, B., CHEUNG, I. W. Y., LI-CHAN, E. C. Y. (2014). Texture, rheology and meltability of processed cheese analogues prepared using rennet or acid casein with or without added whey proteins. *International Dairy Journal*, 37(2), 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.03.003>.
- [4] YE, A., HEWITT, S., TAYLOR, S. (2009). Characteristics of rennet-casein-based model processed cheese containing maize starch: Rheological properties, meltabilities and microstructures. *Food Hydrocolloids*, 23(4), 1220-1227. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.08.016>.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Richardos Nikolaos Salek, Ph.D.**  
Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce: **17. února 2020**  
Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

---

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

---

**doc. RNDr. Iva Burešová, Ph.D.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 17. února 2020

## 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

Cílem diplomové práce bylo zhodnotit vliv kaseinových bílkovin na viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček. Byly vyrobeny dvě řady vzorků o obsahu sušiny 30 % (w/w) a obsahu tuku v sušině 66 % (w/w). První řada byla připravena s přidavkem kyselého kaseinu a druhá řada s přidavkem kaseinátu sodného. Vzorky každé řady byly vyrobeny s přidavkem bílkovin o koncentraci 0,25 %; 0,5 %; 0,75 % a 1 %. První den po výrobě bylo provedeno stanovení obsahu sušiny, hodnoty pH, reologické vlastnosti a test stability všech modelových vzorků. Po sedmidenním skladování při teplotě  $6 \pm 2$  °C byly opět změřeny hodnoty pH, byl proveden test stability a sledovány byly také reologické vlastnosti vzorků tavených sýrových omáček. Z výsledků je zřejmé, že přítomnost kaseinových bílkovin v tavených sýrových omáčkách nemá vliv na obsah sušiny, ani na hodnoty pH a to ani po sedmidenním skladování. Dále lze usoudit, že se zvyšující se koncentrací bílkovin se zvyšovala také stabilita výrobku. Razantnější změny oproti kontrolnímu vzorku bez přidavku bílkovin byly pozorovány u reologických vlastností modelových vzorků. Z výsledků vyplývá, že se zvyšující se koncentrací přidaných bílkovin se posiluje gelová struktura tavených sýrových omáček. Dále pak se zvyšující se koncentrací kaseinátu sodného se zvyšuje také tuhost výrobku.

Klíčová slova: tavená sýrová omáčka, kyselý kasein, kaseinát sodný, viskoelastické vlastnosti

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis was to evaluate the influence of casein proteins on the viscoelastic properties of processed cheese sauce. Model samples of processed cheese sauce were made in two groups of samples with the dry matter content 30 % (w/w) and fat content of dry matter 66 % (w/w). The first group was prepared with addition of acid casein and the second version was prepared with addition of sodium caseinate. The samples of the each group were produced with concentration of casein proteins 0,25 %; 0,5 %; 0,75 % and 1 % (all w/w). One day after the production of the model samples, the dry matter content, pH value, rheological properties and stability test was performed. After seven days of storage (at  $6 \pm 2$  °C), pH value, stability test and rheological properties of the model samples were again taken. The results showed that the addition of caseins into the processed cheese sauce did not affect the dry matter content or pH value, even after seven days of storage. The stability of processed cheese sauce increased with the growing concentration of the applied casein proteins. Stronger changes between results of control sample and samples with added casein proteins were observed in the results from the rheological properties. The gel structure of the processed cheese sauce strengthened with the increasing concentration of casein proteins. The added sodium caseinate also influenced the consistency of the model samples, which were more firm with the growing concentration of the applied protein.

Keywords: processed cheese sauce, acid casein, sodium caseinate, viscoelastic properties

Tímto bych ráda poděkovala Ing. Richardosovi Nikolaosovi Salekovi, PhD., vedoucímu mé diplomové práce, za vstřícnost, cenné rady, podnětné připomínky, odborné vedení a věnovaný čas při konzultacích v průběhu celého zpracování diplomové práce.

Dále bych chtěla poděkovat Ústavu technologie potravin za poskytnuté technické zázemí, laborantkám za pomoc při výrobě modelových vzorků a jejich analýzách.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a kamarádům za podporu a důvěru během celého studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA TAVENÝCH SÝROVÝCH OMÁČEK A PODOBNÝCH PRODUKTŮ</b> .....	<b>12</b>
1.1 LEGISLATIVA .....	12
1.2 KLASIFIKACE TAVENÝCH SÝRŮ A JEJICH ANALOGY .....	14
1.2.1 Analogy tavených výrobků .....	15
1.3 VÝŽIVOVÉ HLEDISKO TAVENÝCH SÝROVÝCH VÝROBKŮ .....	16
1.4 TECHNOLOGIE VÝROBY SÝROVÝCH OMÁČEK .....	17
1.4.1 Základní suroviny .....	17
1.4.2 Technologický postup .....	20
<b>2 KASEINOVÉ BÍLKOVINY</b> .....	<b>24</b>
2.1 STRUKTURA A VLASTNOSTI KASEINŮ .....	24
2.1.1 Kaseinová micela .....	25
2.2 ZÍSKÁVÁNÍ KASEINŮ .....	27
2.3 VLIV KASEINŮ .....	30
2.4 KASEINÁTY .....	31
2.5 ZÍSKÁVÁNÍ KASEINÁTŮ .....	33
<b>3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VLASTNOSTI TAVENÝCH SÝROVÝCH OMÁČEK A PODOBNÝCH PRODUKTŮ</b> .....	<b>34</b>
3.1 SLOŽENÍ POUŽITÝCH SUROVIN .....	34
3.1.1 Přírodní sýr .....	34
3.1.2 Tavicí soli .....	35
3.1.3 Hydrokoloidy .....	36
3.2 PARAMETRY ZPRACOVÁNÍ .....	37
3.2.1 Čas .....	37
3.2.2 Teplota .....	37
3.2.3 Stříh (Smykové síly) .....	38
3.3 PARAMETRY SKLADOVÁNÍ .....	38
3.3.1 Teplota a doba skladování .....	38
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>40</b>
<b>4 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>41</b>
<b>5 METODIKA PRÁCE</b> .....	<b>42</b>
5.1 VÝROBA MODELOVÝCH VZORKŮ .....	42
5.2 CHEMICKÁ ANALÝZA .....	43
5.2.1 Stanovení celkového obsahu sušiny .....	43



5.2.2	Stanovení pH .....	44
5.3	TEST STABILITY.....	45
5.4	DYNAMICKÁ OSCILAČNÍ REOMETRIE .....	45
<b>6</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>	<b>47</b>
6.1	VYHODNOCENÍ CHEMICKÉ ANALÝZY.....	47
6.1.1	Obsah sušiny .....	47
6.1.2	Hodnota pH .....	48
6.2	VYHODNOCENÍ TESTU STABILITY .....	50
6.3	VYHODNOCENÍ DYNAMICKÉ OSCILAČNÍ REOMETRIE .....	52
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>67</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>76</b>

## ÚVOD

Tavené sýry jsou mezi konzumenty velmi oblíbenou variantou sýru. Jejich komerční výroba započala v Evropě a USA již před více než 100 lety. Produkce tavených sýrů se však rozšířila až s příchodem tavících solí na trh. Postupně se začala rozvíjet i výroba podobných výrobků, jako jsou analogy tavených sýrů. Podstata těchto napodobenin je v záměně mléčné složky za levnější rostlinnou složku. Analogy tavených sýrů a výrobky jim podobné jsou mezi konzumenty velmi populární, ale česká legislativa je v dnešní době nedefinuje [1, 2, 3, 4].

Poměrně novým výrobkem jsou tavené sýrové omáčky, pro které také v současné době neexistují právní definice či standardy. Dostupné jsou v mnoha variantách, např. zmrazené, polotekuté nebo sušené. Oblíbené jsou právě díky jejich širokému využití. Využití nachází v prodejnách rychlého občerstvení, k máčení, polevě, grilování či povlaku. Atraktivní jsou také z důvodu zavedení chuti potraviny, barvě či textuře výrobku. Je možné je vyrobit z mnoha ingrediencí přičemž základem je přírodní sýr, sýrový prášek nebo tavený sýr. Dále se přidávají tavící soli, složky mléčného či nemléčného původu a voda [13, 14, 15].

Diplomová práce je rozdělena do dvou částí, teoretická a praktická. Teoretická část je rozčleněna do tří kapitol. V první kapitole jsou charakterizovány tavené sýrové omáčky a popsána jejich výroba. Druhá kapitola charakterizuje kaseinové bílkoviny a jejich vlastnosti a ve třetí kapitole jsou uvedené faktory ovlivňující vlastnosti tavených sýrových omáček a podobných výrobků.

Úvodem do praktické části je popsána výroba modelových vzorků tavených sýrových omáček a metodika prováděné analýzy. Pro výrobu modelových vzorků byly použity dva typy kaseinových bílkovin, kyselý kasein a kaseinát sodný. Vzorky byly podrobeny chemické analýze, která zahrnovala stanovení obsahu sušiny a hodnoty pH. Dále bylo provedeno stanovení reologických vlastností a test stability.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA TAVENÝCH SÝROVÝCH OMÁČEK A PODOBNÝCH PRODUKTŮ

Tavené sýry a podobné produkty patří do skupiny mléčných výrobků, které tvoří významnou část stravy lidí po celém světě. Sýry obecně jsou oblíbenými produkty v mnoha zemích. Celková spotřeba sýrů v České republice za rok 2017 je 13,2 kg na osobu za rok, a z toho tavené sýry tvoří 1,9 kg na osobu a rok [1].

Tavený sýr je populární a tradiční gelový mléčný výrobek konzumovaný v mnoha zemích [2]. Původním důvodem pro vývoj taveného sýra bylo prodloužení trvanlivosti přírodního sýra a využití neprodaného přírodního sýra. V průběhu let byl kladen důraz na strukturu a tavitelnost tavených sýrů. Zvyšuje se také zájem o vývoj nových aplikací založených na analozích tavených sýrů. Tyto analogy se vyrábějí s částečným, nebo úplným nahrazením přírodních sýrů mléčnými bílkovinami, nebo jinými bílkovinnými složkami. Většina analogů tavených sýrů se vyrábí pomocí kyselého kaseinu [3].

Výroba taveného sýra začala v Evropě a mohla sahat až do poloviny 90. let 20. století. Komerční výroba taveného sýra začala v Evropě a USA mezi lety 1910 a 1920. Základem výroby tavených sýrů byl čedar a jiné druhy sýrů, ke kterým se jako tavicí soli přidaly citráty nebo fosfáty. Tyto pokusy o výrobu kvalitního taveného sýra nebyly moc úspěšné. Výroba taveného sýra se rozšířila až ve 30. letech, kdy se na trhu objevily tavicí soli jako např. polyfosfáty [4].

## 1.1 Legislativa

Dle vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 397/2016 Sb. [9], o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje, je tavený sýr definován jako sýr, který byl upraven tavením. Dále je ve výše zmíněné vyhlášce uvedena skupina tavených sýrových výrobků definována jako mléčné výrobky, které jsou tepelně ošetřeny tavením a obsahují více než 5 % laktózy v nichž sýr tvoří nejméně 50 % hmotnostní sušiny tohoto výrobku. V příloze č. 6 této vyhlášky je uveden přehled složek jiných než sýrů, které mohou, či nemohou být použity pro výrobu tavených sýrů a tavených sýrových výrobků (Tab. 1). Dalším legislativním podkladem, který uvádí požadavky na tavené sýry je Codex Alimentarius, kde jsou uvedeny povolené ingredience a potravinářské přídatné látky pro výrobu tavených sýrových výrobků a také podmínky tepelného ošetřování a označování těchto výrobků. Codex Alimentarius uvádí, že tavený sýr se vyrábí mletím, mícháním,

tavením a emulgací pomocí tepla a tavicích solí jedné, nebo více druhů sýrů s přidavkem mléčných složek, popřípadě přidavku jiných potravin [5].

Tabulka 1. *Povolené složky jiné než sýry pro výrobu tavených sýrů a tavených sýrových výrobků*

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	ano	ano
Ostatní mléčné složky	ne	ano obsah nejvýše 5 % hmot. laktózy ve finálním taveném sýru	ano
Jedlá sůl	ano	ano	ano
Bakteriální kultury	ano	ano	ano
Enzymy <sup>*)</sup>	ano	ano	ano
Cukry (sacharidy se sladícím účinkem)	ne	ne	ano
Koření a sezónní zelenina	podle druhu výrobku a v množství, které postačuje, aby dodalo konečnému výrobku charakteristickou chuť		
Ostatní zdravotně nezávadné potraviny	ano		ano

<sup>\*)</sup> zdravotně nezávadné se specifickými účinky

Tavené sýrové produkty jsou definovány jako potraviny, jejichž základem je sýr a jsou připravovány mletím, mícháním a tavením jednoho nebo více druhů přírodních sýrů, vody, tavicích solí a dalších volitelných složek do hladké homogenní směsi pomocí tepla a mechanické stříhové síly. Po zpracování se horký roztavený produkt plní do obalů, rozmanitých tvarů a velikostí, vhodných pro prodej v maloobchodech nebo potravinářství.

Mezinárodní standardy pro tavené sýry definoval Codex Alimentarius. Avšak tyto standardy byly v roce 2010 zrušeny.

Codex Alimentarius zahrnoval následující kategorie produktů.

- Obecný standard pro pojmenovaný druhový tavený sýr a roztíratelný tavený sýr (Codex general standard for named variety proces(ed) cheese and spreadable proces(ed) cheese: Codex-Stan 285-1978).
- Obecný standard pro tavený sýr a roztíratelný tavený sýr (Codex general standard for proces(ed) cheese and spreabadle proces(ed) cheese: Codex-Stan 286-1978).
- Obecný standard pro tavené sýrové přípravky (tavené sýrové potraviny a tavené sýrové pomazánky) (Codex general standard for proces(ed) cheese preparations (proces(ed) cheese food and proces(ed) cheese spred): Codex Stan 287-1978).

Podle těchto norem byl minimální obsah přírodního sýra 51 g na 100 g sušiny finálního taveného sýrového výrobku, tj. tavených sýrových potravin a pomazánek. V případě pojmenovaného druhového sýra obecně, taveného nebo roztíratelného taveného sýra, musel přírodní sýr tvořit minimálně 82 – 96 g na 100 g sušiny a to v závislosti na směsi sýrů, množství mléčného tuku potřebného ke standardizaci na minimální obsah tuku v sušině, obsahu přidaných tavících solí a látek určených k aromatizaci [4].

## 1.2 Klasifikace tavených sýrů a jejich analogy

Podle amerických standardů (Code of Federal Regulation) pro tavené sýry jsou tyto výrobky rozděleny do tří základních kategorií: pasterované tavené sýry, pasterované zpracované sýrové potraviny a roztíratelné pasterované tavené sýry.

- Pasterované tavené sýry jsou mléčné produkty vyrobené mícháním a zahříváním jednoho, nebo více typů přírodních sýrů s tavíci soli do homogenní plastické hmoty. Obsah vlhkosti a tuku v sušině je regulován v závislosti na přírodním sýru. U taveného sýru vyráběného s čedarem nesmí být vlhkost více než 40 % na vlhkou hmotnost sýra a obsah tuku menší než 43 % na obsah sušiny. Množství tavících solí nesmí překročit 3 % hmotnosti taveného sýra a pH musí být minimálně 5,3. Dalšími surovinami pro výrobu těchto produktů jsou okyselující činidla, voda, barviva, konzervanty a smetana.
- Pasterované tavené sýrové výrobky jsou mléčné výrobky, které se získávají tříděním, mletím, zahříváním a emulgací stejně jako u výroby tavených sýrů. Suroviny pro výrobu těchto potravin jsou stejné jako pro pasterované tavené sýry. Je povoleno také přidávat mléko, odstředěné mléko a syrovátka. Obsah vlhkosti pasterovaných

tavených sýrových výrobků nesmí překročit 44 % na vlhkou hmotnost výrobku a obsah tuku nesmí být nižší než 23 % na obsah sušiny a pH musí být minimálně 5.

- Pasterované tavené sýrové pomazánky se připravují ze surovin, které jsou schváleny pro výrobu tavených sýrů a kromě těchto surovin se pro jejich výrobu mohou používat navíc stabilizátory, jako je guarová a ovesná guma a karagenany. Vlhkost musí být v rozmezí 44 – 60 % na vlhkou hmotnost sýra a obsah tuku v sušině musí být minimálně 20 %. Hodnota pH musí být nejméně 4 [6]. Důležitým parametrem pro pasterované tavené sýrové pomazánky je podíl sýrové složky, která musí tvořit nejméně 51 % výrobku [7].

Podle jiného zdroje jsou pasterované tavené sýrové výrobky a pomazánky nestandardizované tavené sýry. Pro jejich výrobu se používá přírodní sýr, tavící soli, okyselující látky, sůl, mléčný tuk, barviva, koření a aroma, mléko, odstředěné mléko, podmáslí, syrovátka a sladidla. Složky, které lze použít pro jejich výrobu, nejsou přesně definovány, pokud výrobek obsahuje minimální množství výše uvedených surovin. Tavené sýrové pomazánky a tavené sýrové produkty se používají v nejrůznějších variantách. Mohou být plátkované, nebo ve formě omáček, dipů, či pomazánek [7].

Literatura uvádí i rozdělení tavených sýrů založených na fyzických vlastnostech produktu do dvou různých kategorií: tavený sýr a roztíratelný tavený sýr. Hlavní rozdíl mezi tavenými sýry a roztíratelnými tavenými sýry spočívá v úrovni obsahu vlhkosti, která ovlivňuje reologické vlastnosti. Roztíratelný tavený sýr je tedy měkčí. Avšak komerční výroby taveného sýra mohou zahrnovat i tavený sýr ve formě bloků a plátků, které si podle standardů FAO a WHO zaslouží své vlastní podskupiny. V současnosti bohužel neexistuje standard pro tavené sýrové omáčky, které jsou oblíbené především v hamburgerových prodejnách [4].

### 1.2.1 Analogy tavených výrobků

Sýrové analogy jsou výrobky podobné sýru, ve kterých je mléčný tuk, mléčná bílkovina, nebo obojí částečně, nebo zcela nahrazeno nemléčnými složkami [8]. Tyto napodobeniny jsou vyrobeny z mléčných a nemléčných bílkovin a mléčného tuku nebo z rostlinného oleje. Výroba produktů známých jako napodobeniny tavených sýrů je velmi rozšířena. V současné době česká legislativa pojem analogy tavených sýrů a výrobků nedefinuje. Analogy jsou označeny nejrůznějšími názvy, které neobsahují výraz sýr. Tyto výrobky jsou označovány jako analogy, analogové, náhražky, umělé, extrudované, syntetické [4].

Jsou vyráběny smícháním různých jedlých tuků či olejů, bílkovin, dalších přísad a vody do hladké homogenní směsi pomocí tepla, mechanického působení a tavicích solí. V posledních letech se trh analogů poměrně rozrostl v důsledku jednoduchosti jejich výroby a nahrazením mléčných ingrediencí levnějšími rostlinnými surovinami [8]. Prodej sýrových analogů úzce souvisí s vývojem v sektoru pohodlných potravin. Proto se stále více používají kvůli svým nízkým nákladům a efektivnosti, což je dáno právě nahrazením mléčných složek levnějšími a jednoduchostí výroby. Sýrové analogy také rozšiřují nabídku trhu [10].

Produkce a používání analogů tavených sýrů se ve světě liší. V USA je využití analogů poměrně stabilní. Hlavním cílem je snížit náklady na výrobu pizzy, rozvíjet trh s polotovary a rychlým občerstvením. V Evropě však trh s analogy tavených sýrů téměř neexistuje [10].

V USA jsou analogy sýrů rozděleny do dvou kategorií. Jednu skupinu tvoří analogy se stejnou výživovou hodnotou jako náhradní analog a druhou skupinou jsou analogy s nižší výživovou hodnotou známé jako imitace analogů [11].

### 1.3 Výživové hledisko tavených sýrových výrobků

V lidské stravě je sýr již mnoho let, přičemž první pokusy o výrobu sýrů sahají až do roku 5200 př. n. l. Vysoký obsah bílkovin a vápníku v přírodním sýru je osvědčeným zdrojem energie. Vyznačuje se však také nízkou stabilitou, která vedla k výrobě taveného sýra s vyšší stabilitou a sníženou potřebou chlazení. Tavené sýrové výrobky mohou být vyráběny tak, aby měly ve srovnání s přírodním sýrem různé vlastnosti. Například zvýšená tavitelnost, delší trvanlivost, vysoká rozmanitost a snížené požadavky na chlazení. Tavené sýrové výrobky jsou díky těmto vlastnostem vhodným a spolehlivým produktem pro pohostinství, pekárny i rychlé občerstvení. Nedávné studie zjistili, že až 70 % amerických domácností nakupuje tavené sýry pro každodenní konzumaci [11]. Dnes je již jakost tavených sýrů velmi dobrá. Tavené sýry se nevyrábí ze sýrů vyřazených kvůli kvalitě, ale surovinou pro jejich výrobu jsou kvalitní sýry z českého i světového trhu. Jsou významným zdrojem živin, obsahují zejména mléčné bílkoviny, mléčný tuk a některé jsou i s přídavkem vitamínů. Problémem je obsah tavicích solí, které jsou zdrojem kyseliny fosforečné. Podle odborníků fosfor blokuje část přítomného vápníku. Proto jsou přírodní sýry oproti taveným sýrům bohatším zdrojem vápníku. Tavené sýry jsou tedy vhodnou variantou pro doplnění a zpestření jídelníčku [12].



## 1.4 Technologie výroby sýrových omáček

Sýr se používá jako složka v různých potravinách a hotových jídlech nejen kvůli zavedení chuti potraviny, ale také pro funkční a vizuální vlastnosti, jako je například textura, pocit v ústech a barva [14]. Díky trendu „*heat it on*“ se někteří producenti omáček snaží „krémovat“ tradiční produkty.

Sýrové omáčky jsou produkty vyrobené ze sýra, který má specifické znaky a lze jej vyrábět různými způsoby. Tavená sýrová omáčka je poměrně novou potravinou a je atraktivní nejen jako předkrm, ale také jako příloha, složka potraviny či pokrmu, nebo samostatně konzumovaná potravina. Dají se použít k máčení, polevě, grilování, povlaku či jakékoliv jiné aplikaci. Jednou z výhod tavených sýrových omáček je zrychlení přípravy pokrmů [13]. Komerčně jsou sýrové omáčky dostupné v mnoha formách včetně zmrazených, polotekutých nebo sušených [14]. Většina sýrových omáček na trhu obsahuje sýr pouze v podobě prášku nebo příchuti. Naproti tomu taveným sýrovým omáčkám dodává hladší strukturu a rovnoměrnější velikost částic právě sýr použitý pro jejich výrobu [13].

V současné době pro tavené sýrové omáčky neexistují žádné standardy, nebo právní definice. Tyto produkty lze vyrábět aplikací mnoha ingrediencí, jako je přírodní sýr, sýrový prášek, tavený sýr a dalších složek mléčného nebo nemléčného původu. Tavené sýrové omáčky lze popsat jako stabilní emulze oleje ve vodě. Jednou z možností jejich výroby je smíchání přírodního sýra, mléčného tuku, vody, tavících solí a dalších volitelných složek. Obvykle se míchání provádí ve vakuu v přítomnosti tepla v rozmezí od 85 až 110 °C a konstantního působení stříhových sil [15].

### 1.4.1 Základní suroviny

#### Přírodní sýr

Prvním a nejdůležitějším krokem pro úspěšnou produkci tavených sýrových výrobků je výběr kvalitního přírodního sýra. Je možné využít jeden či více druhů, nebo směs sýrů o různé zralosti [4]. V některých zemích je populární výroba tavených sýrových produktů pouze z jednoho druhu sýra. Například ve Velké Británii a Austrálii je oblíbený čedar a v západní Evropě ementál [16]. Přírodní sýr pro výrobu tavených sýrových výrobků se vybírá podle několika kritérií, mezi které patří chuť, textura, konzistence a úroveň kyselosti. Poškozený nebo znehodnocený sýr (zapáchající, mikrobiálně napadený) by neměl být používán pro výrobu tavených sýrových výrobků. Snižuje se tak kvalita finálního produktu

a v některých případech může být kvalita výrobku nepřijatelná [4]. Přípustné je použít sýr, který je poškozený pouze mechanicky [16].

Po řádném výběru suroviny se sýr vyjme z obalu a před dalším zpracováním se oloupe, očistí a nadrtí. Tyto mechanické úpravy usnadňují tavení a umožňují správné mísení přidaných složek a kontakt mezi tavíci soli a sýrovými částicemi [4].

### **Tavící soli**

Tavící soli bývají někdy chybně označovány jako emulgátory. Správný pojem uváděný v odborné literatuře je „tavící činidla nebo soli“ a výstižně popisuje jejich úlohu při tavení [17].

Na tavící soli se vztahuje Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1333/2008 o potravinářských přídatných látkách, v platném znění, které definuje tavící soli jako látky, které převádějí bílkoviny obsažené v sýru do disperzní formy za účelem homogenního rozložení tuků a ostatních složek. Důvodem jejich použití při výrobě tavených sýrů je zamezení oddělování tuku [18].

Obecně tavící soli sestávají z monovalentního kationtu (sodík) a polyvalentního aniontu (fosfát). Tyto soli se přidávají v množství až 3 g/100 g a pro úpravu pH se používá kyselina citronová. Kromě toho se může do směsi sýrů přidávat i chlorid sodný pro úpravu hladiny soli v konečném produktu. Tavící soli nejsou amfifilní a nejsou tedy emulgátory samy o sobě. S pomocí tepla a stříhových sil však podporují řadu fyzikálně chemických změn v sýrové směsi, které v důsledku toho vedou k rehydrataci agregovaného para-kaseinu a přeměnění ho v aktivní emulgátor [4].

Tavící soli také doplňují funkční vlastnosti mléčného proteinu:

- odstraňují ionty vápníku z micel,
- rozpouští protein,
- hydratují a nabobtnávají protein,
- emulgují tuk a stabilizují emulzi,
- kontrolují a stabilizují hladinu pH,
- po ochlazení vytváří vhodnou strukturu taveného sýra.

I když je použití tavicích solí důležité, je nutné se vyvarovat předávkování specifickými tavicími solemi, které způsobují hořkost ve finálním výrobku [4].

Různé funkční vlastnosti tavicích solí nabízí výrobcům tavených sýrových výrobků a jejich analogů prostředek, díky kterému mohou docílit výrobku s požadovanými vlastnostmi, jako je například roztíratelnost, tavitelnost, nebo krájitelnost.

Nejčastěji používané tavicí soli jsou citráty sodné, hydrogenfosforečnany sodné, polyfosforečnany sodné a fosforečnany sodno-hlinité. Potenciálními tavicími solemi jsou také glukonáty, laktáty, maláty, amonné soli, nebo glukonové laktony. Komerčně dodávány jsou nejvíce směsi fosfátů, nebo fosfátů a citrátů, které jsou připravovány na míru tak, aby dodávaly určité funkce finálním výrobkům, kterými mohou být bloky, plátky, nebo roztíratelné výrobky.

Pokud se citrát monosodný používá samostatně, tavené sýrové produkty mají vyšší kyselost, jsou drobivé a mají tendenci uvolňovat tuk, což se děje v důsledku špatné emulgate. Použití citrátu dvojsodného, jako samostatné tavicí soli, vede ke zvýšení kyselosti a oddělování vody během tuhnutí taveniny. Avšak díky kyselým vlastnostem mohou být citráty použity k úpravě pH tavené sýrové směsi, například při použití vysokého podílu velmi zralého přírodního sýra, sýra s vysokým pH, nebo sušeného odstředěného mléka [39].

Draselné soli fosfátů jsou obvykle rozpustnější. Sodné soli jsou však výhodné, protože nezpůsobují hořkost výrobku. Fosforečnan disodný se používá především v bochnících, zatímco citrát trisodný se používá v plátkovaném sýru. Při výrobě taveného sýra je nejčastěji používán citrát trisodný a fosforečnan disodný nebo jejich směsi. Citrát trisodný poskytuje lepší flexibilitu, vyšší lesk a nižší přilnavost plátků k sobě navzájem. Pro docílení měkčí a roztíratelnější konzistence taveného sýru se používá citrát disodný a ortofosforečnan sodný [4].

## Voda

Pro výrobu potravin lze použít pouze „vodu určenou k lidské spotřebě“, která je definována ve směrnici Rady 98/83/ES, o jakosti vody určené k lidské spotřebě jako „veškerá voda používaná v potravinářských zařízeních k výrobě, zpracování, konzervaci nebo uvádění výrobků, nebo látek určených k lidské spotřebě na trh, pokud se příslušné vnitrostátní orgány neujistí, že jakost této vody nemůže ovlivnit zdravotní nezávadnost potravin v jejich konečné podobě“ [36].

### Složky nemléčného původu

Hlavním cílem ochucených tavených produktů je poskytnout spotřebiteli širokou nabídku výrobků na trhu. Pro tavené sýrové produkty je povolena řada aromatických látek.

Dalšími přídatnými látkami, které mohou být použity pro výrobu tavených sýrových výrobků, jsou konzervanty obecně známé jako bakteriociny. Jedná se o polypeptidové sloučeniny produkované mnoha bakteriemi mléčného kvašení. Bakteriociny mohou inhibovat růst patogenních a nežádoucích mikroorganismů v mléčných produktech. Jedním z komerčně používaných bakteriocinů je nisin produkovaný určitými kmeny *Lactococcus lactis subsp. lactis*. Byla prokázána jeho antibakteriální aktivita proti Gram-pozitivním bakteriím, které jsou sporotvorné a odolné vůči teplotě [4].

### Složky mléčného původu

Standardy pro tavené sýrové produkty umožňují kromě přírodních sýrů použít i jiné mléčné přísady, kterými může být sušené odstředěné mléko, sušená syrovátka, koncentrát syrovátkové bílkoviny, nebo izolát syrovátkové bílkoviny. Všechny tyto suroviny jsou významným zdrojem syrovátkových bílkovin a laktózy, proto je nutné formulace upravit s ohledem na tuto skutečnost.

Přidáním koncentráту syrovátkové bílkoviny výrobek získá jemnější chuť a v případě roztíratelných tavených výrobků se přidáním sušené formy těchto bílkovin zlepšuje tavitelnost a roztíratelnost. Prostřednictvím mléčných složek se zvyšuje také obsah laktózy. Laktóza je redukující cukr a podílí se na Maillardových reakcích, které vedou ke vzniku některých aromatických sloučenin. Přítomnost laktózy v nadměrném množství by mohla vést ke vzniku nežádoucí barvy a chuti v konečném produktu [4].

#### 1.4.2 Technologický postup

Mezi základní výrobní operace patří:

- výběr přírodního sýra,
- výpočet složek,
- míchání,
- drcení,
- přidání tavicích solí,

- tepelné ošetření (tavení),
- homogenizace,
- balení,
- chlazení,
- skladování [16].

### **Prvotní ošetření**

Vytřízené bochníky sýra se nejprve pečlivě mechanicky očistí. Odstraní se poškozená místa a tvrdá místa kůry. Jinak se sýr zpracovává i s kůrou. Tvrdá místa kůry se odstraňují speciálním strojem, který odřízne jemnou vrstvu, tím je zároveň nahrazeno mytí sýra. Ztráty okrajováním se odhadují na 5 – 6 %.

Po očištění se bochníky sýra krájí na menší kusy buď ručně (dráty či noži), nebo strojně (řezačky). Dále se drtí protlačováním přes otvory matrice a sýrová hmota se pak zjemňuje na kamenných válkách. Rozemletí sýrové hmoty na válkách je velmi důležité pro zkrácení doby tavení, a také tím zaručíme, že hmota bude bez všech hrubých částí sýra.

Takto upravená sýrová hmota se uloží do nádrží z nerezavějící oceli, odkud se navažuje pro jednotlivé dávky k tavení sýra. Rozemletá surovina by však neměla být skladována do příštího dne, protože je náchylná ke zkáze. Pokud část hmoty zůstane, musí být do příští směny uchována v chladírně. V některých případech se využívá tzv. předtavení, které může ovlivnit reologické vlastnosti taveniny [19].

### **Tepelné ošetření (tavení)**

Cílem tavení je přeměna suroviny v tavený sýr. Při tavení dochází ke koloidním a disperzním změnám, takže má proces tavení především fyzikálně chemický charakter. Podstatou je spojit surovinu s vodou a přídatnými látkami za působení tepla, intenzivního míchání a přídatku tavících solí [19].

Pro ošetření sýrové hmoty se používá teplota v rozmezí 72 – 145 °C, takže jsou tyto produkty pasterované, nebo sterilované.

Obecně výrobky, které jsou sterilovány, mají vyšší aktivitu vody, což vyžaduje použití vyšší teploty k eliminaci klostridiálních spor, které mohou klíčit a růst během skladování pokud

není produkt chlazen. Sterilované tavené sýrové produkty se obvykle zahřívají na teplotu 140 °C po dobu 10 sekund.

Pasterované výrobky jsou ošetřované teplotou mezi 72 – 95 °C přímým vstřikováním páry pod vakuem. Důležitá je minimální teplota 72°C při plnění, aby byla zajištěna odpovídající pasterizace obalu.

Důležitá je kombinace času a teploty. Čím vyšší teplotu použijeme, tím kratší dobu musí tato teplota působit na produkt. Tyto produkty mají tedy dvě ochranné bariéry, vysoká teplota zpracování a chlazení produktu během skladování. [4].

K tavení se používají převážně dvoukotlové vakuové tavící soupravy tzv. tavičky. Jeden kotel slouží k tavení a druhý se ve stejném čase vyprazdňuje a připravuje na další dávku. Dalším zařízením používaným pro tavení je kutr [19].

### **Homogenizace**

Homogenizace je proces, při kterém dochází ke zmenšování tukových kuliček řádově pod 1 µm. Kromě toho dochází ke zvýšení viskozity hmoty [20].

Zařízení používané pro výrobu tavených sýrových výrobků nevyžaduje homogenizaci roztavené sýrové směsi, protože je navrženo tak, aby poskytovalo vynikající stříhový efekt pro produkci emulze tukových kapiček ve vodné fázi. Tavičky s vysokým stříhem v podstatě simulují homogenizační účinek a poskytují výrobu extrémně jemných tukových kapiček. Pokud by byl homogenizační stupeň vyžadován, následoval by v technologickém procesu za tavením [4].

### **Balení, chlazení, skladování**

Tavenina, jejíž teplota nesmí před balením klesnout pod 65 – 70 °C, aby nedošlo k poškození konzistence hotového výrobku, je dopravována čerpadlem, nebo samospádem do formovacího stroje, dále do balícího zařízení, kde se naplní obal taveninou a hermeticky se uzavře. Nakonec se výrobky opatří etiketou [19]. Pro balení tavených sýrových produktů se používají různé druhy materiálů, jako jsou skleněné nádoby, kovové plechovky, vrstvené hliníkové miniové fólie, laminované plastové nádoby, stlačitelné plastové lahve, a další [4].

Zabalené výrobky je nutné zchladit, čímž se inhibuje kontaminující mikroflóra. Chlazení se provádí ve větrané chladné místnosti nebo v chladícím tunelu. Čím pomaleji se tavené

sýrové výrobky chladí, tím je tužší konzistence. Teploty chlazení se pohybují mezi 25 – 30 °C a výstupní teplota výrobku by měla být 20 – 24 °C.

Tavené sýrové výrobky se skladují v chladárnách při teplotě do 10 °C, avšak výrobky by neměly být nikdy zmrazeny. Zmrazením by došlo k poškození jejich konzistence.

Trvanlivost tavených sýrových výrobků je velmi proměnlivá. Záleží také na konzistenci výrobku, přičemž platí, čím měkčí sýr, tím kratší trvanlivost. V průměru je trvanlivost těchto výrobků 10 měsíců [19].

## 2 KASEINOVÉ BÍLKOVINY

### 2.1 Struktura a vlastnosti kaseinů

Kasein je často považován za přirozeně nestrukturovaný protein bez specifických sekundárních struktur. Skládá se ze čtyř frakcí,  $\alpha_{S1}$ -,  $\alpha_{S2}$ -,  $\beta$ -,  $\kappa$ - kaseinů, které jsou charakterizovány jako fosfoproteiny s molárním poměrem 4:1:4:1 v kravském mléce. Tyto čtyři proteinové frakce jsou amfifilní s molárními hmotnostmi mezi 19 a 25 kDa a průměrným izoelektrickým bodem mezi 4,1 a 5,3 [21]. Kromě zmíněných 4 frakcí kaseinů se v literatuře objevuje i pojem  $\gamma$ -kasein, který nepatří mezi 4 základní frakce kaseinu, ale je proteolytickým štěpem  $\beta$ -kaseinu [20].

Sušina hovězích kaseinových micel tvoří asi 94 % proteinu a 6 % tvoří nízkomolekulární sloučeniny známé jako koloidní fosforečnan vápenatý, které jsou vázány na fosfoserinové zbytky postranních řetězců kaseinu [21]. Kasein je fosfoprotein, který ve své molekule obsahuje až 1 % fosforu, přičemž každá frakce kaseinu obsahuje jiný počet atomů fosforu. Přítomnost fosforu má význam při sladkém srážení mléka, zvyšuje hydrofilní vlastnosti kaseinových frakcí a hraje roli ve schopnosti vázat bivalentní a polyvalentní ionty, což ovlivňuje technologické i nutriční vlastnosti [20].

#### $\alpha_{S1}$ -kasein

Frakce  $\alpha_{S1}$ -kaseinu má molekulovou hmotnost 23,6 kDa a obsahuje 199 aminokyselinových a 8 fosfoserinových zbytků. Většina fosfoserinových zbytků je uložena mezi 40. a 80. aminokyselinou, tato oblast vykazuje hydrofilní vlastnosti. Segmenty mezi 1. – 44. a 90. – 113. aminokyselinou jsou spíše hydrofobní.  $\alpha_{S1}$ -kasein je nejvíce citlivá frakce kaseinu vůči vápenatým iontům a v jejich přítomnosti tvoří nerozpustnou sůl.

#### $\alpha_{S2}$ -kasein

Molekulová hmotnost  $\alpha_{S2}$ -kaseinu je 24,0 kDa, tato frakce obsahuje 207 aminokyselin.  $\alpha_{S2}$ -kasein obsahuje 11 fosfoserinových zbytků. Díky velkému množství fosfoserinových zbytků a také přítomnosti kyseliny glutamové tato frakce vykazuje největší hydrofilní vlastnosti.  $\alpha_{S2}$ -kasein má také schopnost vytvářet v přítomnosti vápenatých iontů nerozpustnou sůl, ale ve srovnání s  $\alpha_{S1}$ -kaseinem, je citlivost vůči těmto iontům menší.



### **β-kasein**

β-kasein má molekulovou hmotnost 23,6 kDa, obsahuje 209 aminokyselin a většina fosfoserinových zbytků je lokalizována mezi 1. a 20. aminokyselinou, takže je v tomto úseku frakce nejvíce hydrofilní. Frakce β-kaseinu je z větší části hydrofobní a jedná se o nejvíce hydrofobní část kaseinu. Nerozpustnou sůl v přítomnosti vápenatých iontů tvoří při teplotě nad 20°C. Z β-kaseinu vznikají činností plazminu proteolytické štěpy označované jako γ-kaseiny.

### **κ-kasein**

Frakce κ-kaseinu má nejmenší molekulovou hmotnost 19 kDa, obsahuje 169 aminokyselin a pouze jeden fosfoserinový zbytek. Od ostatních frakcí kaseinu se liší přítomností sacharidické složky, která je vázána glykozidickou vazbou na aminokyselinu treonin v poloze 131., 133. a 135. aminokyseliny. Jedná se tedy o glykoprotein. Tato frakce kaseinu se v přítomnosti vápenatých iontů nesráží. Příčinou je přítomnost jenom jednoho fosfoserinového zbytku a glykozylace molekuly [20].

#### **2.1.1 Kaseinová micela**

Kaseinové frakce se v mléce vyskytují z 95 % v podobě tzv. kaseinových micel. Kaseinová micela se z 94 % skládá z proteinů a 6 % tvoří nízkomolekulární látky [20]. Přibližně 7 % sušiny micel je složeno z anorganického materiálu, hlavně vápníku a fosfátu. Mléčné sérum obsahuje 40 mg vápníku na 100 g mléčného séra, tj. pouze 32 % celkového vápníku. Zbytek vápníku je spojen s kaseinovou micelou. Podobně je to s fosfátem. Z 203 mg anorganického fosfátu obsaženého ve 100 g mléka, je v séru přítomno pouze 53 % a zbytek je spojen s micelou kaseinu. Micela dále obsahuje citrát a může obsahovat až 7,9 g vody [22]. Jednotlivé kaseinové frakce dokáží mezi sebou asociovat díky vazebným interakcím, zejména hydrofobním interakcím a vodíkovým můstkům. Vznik vazeb mezi kaseinovými frakcemi závisí na koncentraci kaseinových frakcí, teplotě, přítomnosti a koncentraci některých iontů. Frakce se spojují také pomocí vápenatých iontů, resp. koloidního fosforečnanu vápenatého [20].

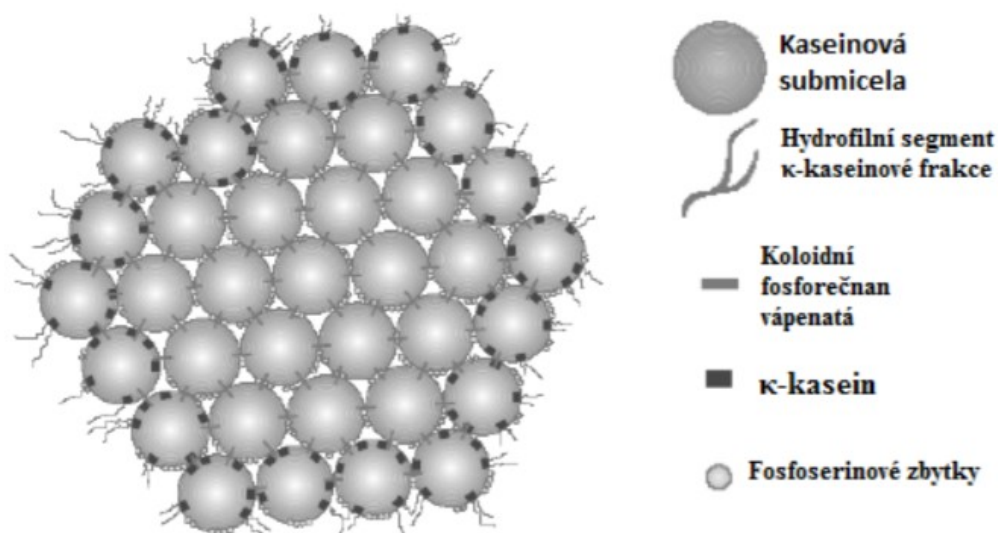
κ-kasein hraje významnou roli během gelace mléka chymozinem. Chymozin štěpí κ-kasein mezi 105. a 106. aminokyselinou na para-κ-kasein a hydrofilní κ-kasein makropeptid. Makropeptidová část je po rozštěpení chymozinem snadno rozpustná a migruje pryč od micely. Para-κ-kasein, bez negativně nabitě makropeptidové části, snadno

koaguluje s jinými para- $\kappa$ -kaseiny a vytváří sraženinu. Proto musí být  $\kappa$ -kasein přítomný na povrchu micely, nebo v jeho blízkosti orientovaný tak, aby byla makropeptidová část snadno přístupná pro štěpení chymozinem. Makropeptid vytváří na povrchu micely tzv. hairy structure, která je velmi důležitá pro stabilizaci kaseinových micel [22]. Struktura kaseinové micely je již několik let předmětem mnoha studií. Nejvíce uznávaný je tzv. „submicelární“ model.

### Model založený na tvorbě submicel

Největší důkazy pro submicely o průměru 8 – 20 nm pochází z porézní povahy micely, která byla prozkoumána pomocí elektronového mikroskopu. Submicely obsahují hydrofobní jádro pokryté hydrofilním pláštěm, který je částečně tvořen polárními skupinami  $\kappa$ -kaseinu [22]. Kaseinová micela má obvykle molekulovou hmotnost přibližně  $10^6$  Da, je tvořena asi 30 kaseinovými frakcemi a v průměru má 10 – 15 nm.

Kaseinové frakce jsou do micely spojovány pomocí koloidního fosforečnanu vápenatého. Vazebnými místy pro fosforečnan vápenatý jsou zejména fosfoserinové zbytky kaseinů. Na povrchu kaseinové micely jsou dislokovány především submicely obsahující převážně  $\kappa$ -kaseinové frakce. Centrální část micely je tvořena naopak submicelami, které obsahují jen malé množství  $\kappa$ -kaseinu [20].

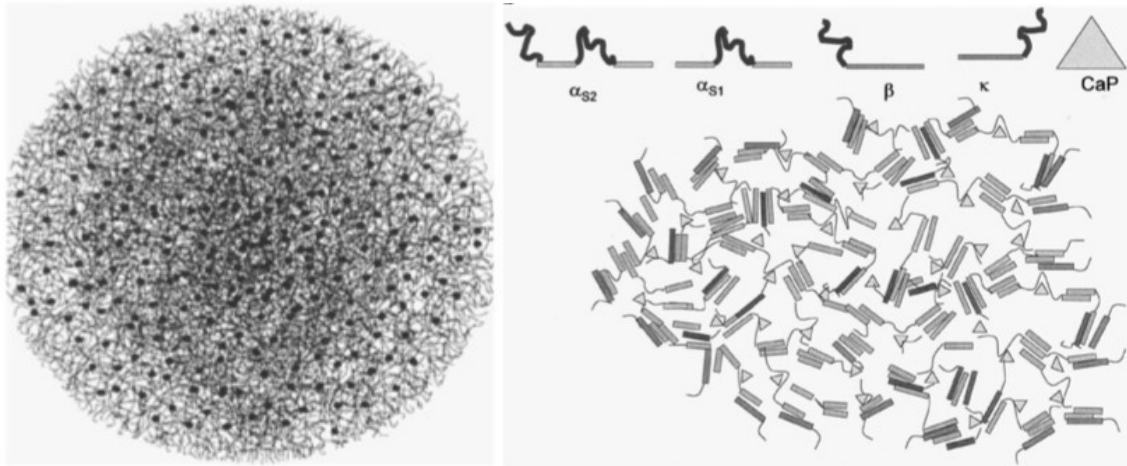


Obrázek 1: *Struktura kaseinové micely podle modelu založeném na tvorbě submicel*  
[upraveno podle 24]

### Holtův model

Dalším uznávaným modelem kaseinové micely je Holtův model. Popisuje kaseinové micely jako homogenní síť kaseinových polymerů obsahujících nanoklastry fosforečnanu

vápenatého. V tomto modelu je řešena biologická role micely [22]. Na rozdíl od výše zmíněného „submicelárního“ modelu je myšlenkou Holtova modelu, že se kaseinové frakce díky různým interakcím spojují přímo do kaseinové micely [20]. Fosfoserinové zbytky  $\alpha_s$ -kaseinů a  $\beta$ -kaseinů interagují s fosforečnanem vápenatým [22].



Obrázek 2: *Struktura kaseinové micely podle Holtova modelu* [upraveno podle 23]

Primární struktura kaseinových bílkovin se liší u jednotlivých druhů savců a dokonce se liší i u různých plemen skotu. Změny v primární struktuře kaseinových bílkovin způsobuje tzv. genetický polymorfismus. Kaseiny mají v primární struktuře vysoký podíl nepolárních aminokyselin, tyto bílkoviny jsou tedy ve vodě obtížně rozpustné. Fosfoserinové zbytky zlepšují jejich rozpustnost ve vodě, u  $\kappa$ -kaseinů zlepšuje tuto rozpustnost také přítomnost sacharidické složky. Mezi segmenty jednotlivých kaseinů probíhají hydrofobní interakce. Při výrobě některých mléčných výrobků vzniká gel kaseinových bílkovin a tyto hydrofobní interakce mohou podporovat stabilitu a sílu gelu [20].

Vzhledem k vysokému obsahu prolinu, které přerušují alfa-helix a beta-skládaný list ve struktuře bílkoviny, je kasein považován za reomorfní protein, který má malou sekundární a terciární strukturu s extrémně otevřenou a flexibilní konformací, a tudíž mají velmi dobrou tepelnou stabilitu [21]. Kaseiny mají v sekundárních a terciárních strukturách nízký podíl aminokyselin, což podporuje emulgační účinky kaseinových frakcí. Kaseinové bílkoviny mají mimo jiné vlastnosti i vysokou schopnost vázat vodu [20].

## 2.2 Získávání kaseinů

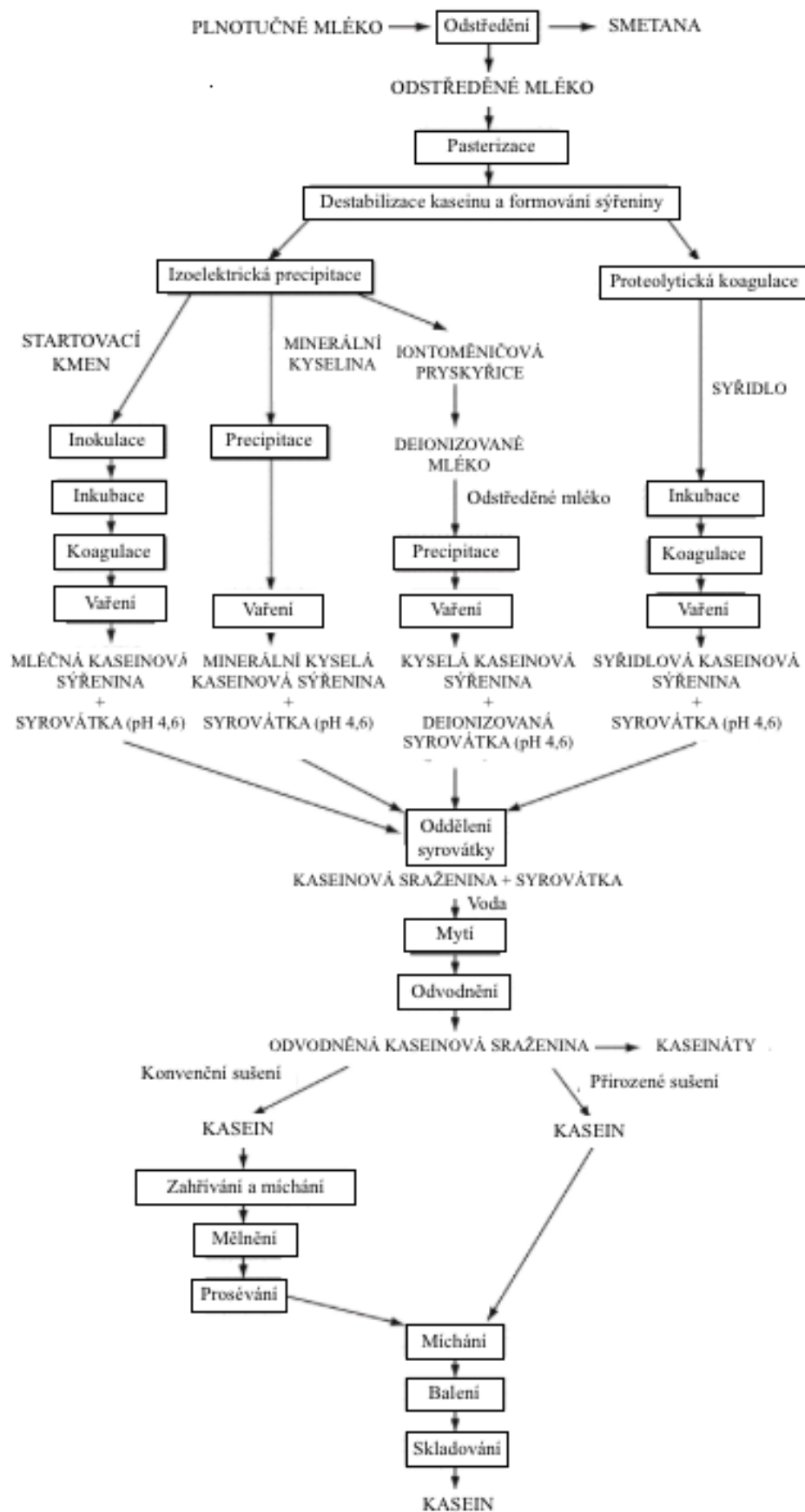
Kasein je jednou z hlavních bílkovin přítomných v mléce. Proto je odstředěné mléko hlavní surovinou pro získávání kaseinů, kaseinátů a syrovátkových bílkovin. Použitím

odstředěného mléka se zajistí dostatečně nízký obsah tuku v kaseinu, aby se minimalizovaly vady chuti, které vznikají poškozením tuků v sušených kaseinových výrobcích [38].

Kasein se získává precipitací mléka při pH 4,6, přičemž supernatant je syrovátková bílkovina, což je další složka mléka. Kasein lze také oddělit od ostatních proteinů elektroforézou, nebo některými druhy filtrace, jako například chromatografická, enzymatická nebo membránová filtrace [21]. Kaseiny, jako hlavní proteinová složka mléka, jsou nerozpustné ve vodě a získané z odstředěného mléka srážením různými způsoby:

- přidáním kyseliny (například kyselina mléčná, citronová, octová),
- mikrobiální acidifikace,
- pomocí syřidla,
- pomocí jiných enzymů srážejících mléko – bez předchozího použití procesů iontové výměny a koncentrace [27].

Při získávání kaseinu se srážení mléka provádí vstřikováním zředěných minerálních kyselin (obvykle se používá HCl) do předehřátého mléka na 25 – 30 °C, které proudí v opačném směru. Tento proces se provádí do dosažení hodnoty pH 4,6. Následně se do okyseleného mléka vstříkuje pára, která zahřeje mléko na teplotu srážení 50 °C. V průběhu výroby kaseinu se pasterované odstředěné mléko naočkuje jedním, nebo více definovanými startovacími kmeny a je inkubováno 14 – 16 hodin při teplotě 22 – 26 °C. Za těchto podmínek startovací kmeny fermentují laktózu na kyselinu mléčnou a tím dochází k poklesu pH směrem k isoelektrickému bodu kaseinu a vytváří se kaseinová gelová síť, tzv. koagulum. Koagulum je následně přečerpáno z koagulačních nádob a vařeno přímým vstřikováním páry. Hodnota pH odstředěného mléka může být také snížena smícháním odstředěného mléka s katexovou pryskyřicí ve vodíkové formě v reakční koloně. Kationty v mléce jsou nahrazeny H<sup>+</sup> a dochází tak ke snižování hodnoty pH [38].



Obrázek 3: Schéma získávání kaseinů [upraveno podle 38]

Výroba kaseinů může být žádoucí z mnoha důvodů. Lidské mléko obsahuje  $\beta$ -kaseiny a  $\kappa$ -kaseiny, ale ne  $\alpha_S$ -kaseiny, díky kterým jsou  $\beta$ -kaseiny atraktivní látkou pro kojeneckou výživu.

Díky vysoké povrchové aktivitě  $\beta$ -kaseinů je protein žádoucím emulgátorem nebo pěnotvorným činidlem. Další uplatnění mohou kaseiny najít jako stabilizátor v některých mléčných výrobcích právě díky tomu, že má  $\kappa$ -kasein schopnost stabilizovat kaseinovou micelu. Využití jednotlivých kaseinových frakcí je v neposlední řadě také předpokladem pro generování a regeneraci bioaktivních peptidů odvozených od kaseinu o vysoké čistotě [25].

V podstatě všechny metody používané pro frakcionaci kaseinů jsou založeny na asociačních vlastnostech jednotlivých kaseinů. Pro oddělování kaseinů je nutné nejprve částečně, nebo úplně narušit micelární strukturu kaseinů.

Kaseinové micely se sdružují prostřednictvím řady sil, včetně hydrofobních. Síla hydrofobních interakcí je závislá na teplotě. Při teplotách nižších než 5 °C hydrofobní interakce slábnou a molekuly  $\beta$ -kaseinu se disociují od komplexu  $\alpha_S$ -/ $\kappa$ -kaseinů a existují v roztoku jako monomery.  $\beta$ -kasein může být také oddělován sýřením kaseinátu vápenatého, nebo sodného při teplotě 4 °C, kdy  $\beta$ -kaseiny zůstávají při těchto podmínkách rozpustné, zatímco  $\alpha_S$ -kaseiny a para- $\kappa$ -kaseiny se vysráží a mohou být oddělené centrifugací [25].

Nejlépe vyhovující technologií pro selektivní separaci kaseinových micel je membránová mikrofiltrace za použití membrány s póry o velikosti 0,1 – 0,2  $\mu\text{m}$  [26].

### 2.3 Vliv kaseinů

Kaseinové frakce hrají při výrobě sýrů zásadní roli díky rozdílům v primární struktuře mezi přežvýkavci a také plemeny zvířat.

Studie z roku 2020, která se zaměřuje na vliv kaseinů na sýřeninu získanou z italského středomořského buvolího mléka, dokazuje, že distribuce čtyř frakcí kaseinu v buvolím mléce vykazovala vyšší procento  $\alpha_{S2}$ -kaseinu a  $\kappa$ -kaseinu (15,8 %) a menší podíl  $\alpha_{S1}$ -kaseinu a  $\beta$ -kaseinu (32,2 %) ve srovnání s kravským mlékem. Genetický polymorfismus mléčných proteinů italského středomořského buvolího mléka byl identifikován několika autory. Tito autoři také popisují možnou roli genu kaseinu na změnu koagulačních vlastností mléka.

Další autoři prokázali, že obsah  $\alpha_1$ -kaseinu a  $\beta$ -kaseinu ovlivňoval dobu koagulace sraženiny a dobu tvrdosti sraženiny. Kromě toho se sýřenina s optimální elasticitou z buvolího mléka získává při pH 4,9 a u kravského mléka se pH pohybuje v rozmezí 5 – 5,2 [28].

Dříve bylo zjištěno, že předvařený sýr používaný v různých tavicích podmínkách přinesl změny funkčních vlastností taveného sýra, zejména struktury kaseinové sítě. Kaseinové síťové struktury jsou ovlivněny procesem výroby sýrů a jakékoli změny v kaseinových strukturách ovlivňují konečné vlastnosti sýrů. Na základě efektu krémování má předvařený sýr dva typy kaseinových síťových struktur. Jedna struktura je náhodný typ struktury před krémovacím efektem a druhý typ má jemná vlákna již od začátku efektu krémování. Pokud se tyto dva typy předvařených sýrů přidají do taveného sýra, finální výrobky budou mít různou viskozitu, mechanické vlastnosti a strukturu kaseinové sítě v závislosti na struktuře kaseinu v použitém předvařeném sýru [29].

Během zrání sýřeniny sýrů, jako je Čedar nebo Gouda, se para- $\kappa$ -kasein enzymatickou činností hydrolyzuje na peptidy a volné aminokyseliny. Hladina intaktního kaseinu, měřená jako hladina celkového dusíku nerozpustného ve vodě při pH 4,6 (isoelektrický bod kaseinu), klesá současně s hydrolyzou para- $\kappa$ -kaseinu. Brzká hydrolyza  $\alpha_1$ -kaseinu chymozinem na peptidové vazbě Phe23 – Phe24 má za následek výrazné oslabení para- $\kappa$ -kaseinové matrice, snížení lomového napětí a pevnosti sýra. Oslabení bylo způsobeno ztrátou peptidu  $\alpha$ -kaseinu, který je silně hydrofobní a dodává  $\alpha_1$ -kaseinu silné asociační a agregační schopnosti v sýrovém prostředí [4].

## 2.4 Kaseináty

Kaseináty jsou soli vznikající srážením kaseinu z mléka a následnou neutralizací a sušením. Některé kaseináty včetně kaseinátu draselného, sodného a vápenatého jsou široce používány jako složky potravin kvůli jejich nutričním a funkčním vlastnostem. Používají se jako pojiva, emulgátory, pěnotvorné látky a proteinové doplňky v potravinách [37].

Kaseinát se vyrábí i ve formě kaseinátu sodného nebo draselného, komerčně nejdostupnější je však kaseinát sodný. Kaseinát sodný má podobné složení jako kaseinová micela, odlišují se v množství fosforečnanu vápenatého, který se během výroby kaseinátu sodného do značné míry odstraňuje. Kaseinát sodný má tedy menší hmotnost a vyšší rozpustnost ve vodě oproti kaseinovým micelám. Tradičně se přidávají do tekutých potravin jako proteinová složka pro zvýšení viskozity výrobku [21].

Kaseinát sodný ve vodném prostředí s neutrálním pH tvoří částice o velikosti 20 – 50 nm, zatímco kaseinát vápenatý tvoří větší částice o velikosti 100 – 300 nm díky vazebnému vlivu dvojmocného vápníku.

Kaseináty jsou velmi účinné emulgátory typu olej ve vodě. Kaseinát se může podílet na tvorbě gelu mnoha způsoby. Kaseinátové gely mají termoreverzibilní charakter. Bylo popsáno, že emulze stabilizované kaseinátem sodným za specifických podmínek podléhají v přítomnosti vápníku termoreverzibilní gelaci při tělesné teplotě.

Ačkoli kaseinát sodný a vápenatý jsou obvykle označovány společně jako „kaseináty“, jejich účinek na strukturu potravin a mechanické vlastnosti nejsou v zásadě podobné, ale kaseinát vápenatý je strukturně ovlivněn dvojmocným kationtem. Jejich účinky na stabilitu emulze, pokud jsou použity jako emulgátory, také nejsou stejné. Zajímavou vlastností kaseinátu vápenatého je jeho schopnost tvořit gel [42].

Kaseináty mají dobré adsorpční vlastnosti v emulzích typu „olej ve vodě“ stabilizovaných proteiny. Bylo studováno adsorpční chování izolátu syrovátkových bílkovin a kaseinátu na povrchu kapičky emulze. Minimální limitující povrchové koncentrace požadované ke stabilizaci emulzí jsou 1 mg/m<sup>2</sup> pro emulze obsahující kaseinát a 1,5 mg/m<sup>2</sup> pro emulze obsahující syrovátkové bílkoviny. U emulze s koncentrací bílkovin ve vodné fázi > 2,25 % hmotnostních byla maximální povrchová koncentrace obou bílkovin (syrovátkové bílkoviny a kaseináty) cca 3,2 mg/m<sup>2</sup>. Pokud je limitujícím faktorem koncentrace bílkovin v emulzi, syrovátkové bílkoviny a kaseináty se adsorbují ve stejném rozsahu. Pokud je však v emulzi přebytek bílkovin, kaseinát se adsorbuje přednostně oproti syrovátkovým bílkovinám. Syrovátkové bílkoviny vykazovaly mimo to také chování svědčící o adsorpci v různých vrstvách [43].

Reologické chování emulze typu olej ve vodě obsahující kaseinát sodný jako emulgátor, je velmi citlivé na celkovou koncentraci proteinu (kaseinátu sodného). Chování lze rozdělit do tří typů v závislosti na poměru protein/olej.

- 1) Emulze obsahující nedostatečné množství bílkovin, pro plné povrchové pokrytí bílkovinami, vyvolávají dočasné zvýšení zdánlivé viskozity.
- 2) Emulze, které mají plné povrchové pokrytí bílkovinami, ale relativně malý přebytek neadsorbovaného kaseinátu sodného v kontinuální fázi, jsou stabilní newtonské kapaliny.



- 3) Emulze obsahující podstatný přebytek neadsorbovaného proteinu vykazují značnou pseudoplasticitu [44].

Stabilita emulze je také závislá na obsahu proteinu, konkrétně kaseinátu sodném. Při nízkém obsahu proteinu (1 % hmotností kaseinátu sodného) se emulze destabilizuje flokulací. Při vyšším obsahu proteinu (2 % hmotnostní), kde jsou jednotlivé kapičky plně chráněny proti flokulaci proteinu nebo koalescenci tlustou adsorbovanou proteinovou vrstvou, má emulze dobrou stabilitu po dobu několika týdnů. S dalším zvýšením obsahu proteinu na 3 % hmotností se stabilita sníží, přičemž rychlost separace séra na dně vzorku se zvýší. Příčinou je flokulace neadsorbovaného kaseinátu sodného. Jakmile ale koncentrace kaseinátu dosáhne hodnoty 6 % hmotnostních, je síla interakcí taková, že vytváří velmi silnou síť kapiček emulze a je mnohem stabilnější vůči separaci séra [45].

## 2.5 Získávání kaseinátů

Nejčastěji používaný kaseinát je již zmíněný kaseinát sodný, který je rozpustný ve vodě. Obvykle se připravuje solubilizací kyselého kaseinu s NaOH. Pro výrobu kaseinátů se používá kaseinová sýřenina získaná srážením odstředěného mléka. Ze sýřeniny se odstraní voda, tak aby sýřenina obsahovala přibližně 45 % pevných látek.

Kaseinová sýřenina se před naplněním do koloidního mlýna nadrtí na malé částice a smíchá se s vodou při 40 °C na obsah pevných částic 25 %. Částice sýřeniny musí být co nejmenší. Jakmile vychází kaseinová kaše (rozemletá sýřenina) z koloidního mlýna, plní se do ní NaOH při teplotě 45°C, což vede k požadovanému finálnímu pH. Směs se přemístí do kádě, kde dochází k solubilizaci, přičemž je směs míchána a zahřívána. Následně se směs přečerpá do druhé vany, kde je solubilizace dokončena. Pomocí přídavku NaOH se reguluje hodnota pH. Kaseinát sodný by měl mít pH v rozmezí 6,6 – 6,8. Poté se roztok přečerpá do sprejové sušárny a pomocí viskozimetru se reguluje přidávání horké vody, čímž se zajišťuje dostatečná atomizace roztoku v sušárně [38].

### 3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VLASTNOSTI TAVENÝCH SÝROVÝCH OMÁČEK A PODOBNÝCH PRODUKTŮ

Tavené sýrové omáčky mají také jisté požadované vlastnosti. Tyto vlastnosti však mohou být ovlivněny několika faktory. Mezi nejdůležitější faktory patří:

- složení použitých surovin,
  - druh a stupeň zralosti přírodního sýra,
  - pH taveného přírodního sýra,
  - sušina a obsah tuku v sušině,
  - typ a koncentrace tavících solí,
  - možná přítomnost hydrokoloidů,
- parametry zpracování,
  - rychlost a doba míchání,
  - doba chlazení a rychlost,
- parametry skladování,
  - doba a teplota skladování,
  - vlastnosti obalového materiálu.

Kromě výše uvedených faktorů jsou při výrobě tavených sýrových omáček a tavených sýrů velmi důležité tavící soli, zejména kvůli jejich schopnosti úpravy pH a schopnosti odštěpovat vápník z kaseinové matrice. Tyto jevy mohou vést k hydrataci a diseminaci proteinů, což je důvodem proč se přítomný kasein může chovat jako emulgátor [15].

#### 3.1 Složení použitých surovin

##### 3.1.1 Přírodní sýr

Hlavní surovinou pro výrobu tavených sýrů nebo tavených sýrových výrobků je přírodní sýr. Už samotné množství přidaného přírodního sýra má vliv na reologické vlastnosti finálních výrobků [30]. Množství přírodního sýra v tavených sýrech se pohybuje od 51 do 80 %.

Několik vědců a studií prokázalo vliv vlastností přírodních sýrů používaných pro výrobu tavených sýrových výrobků na jeho texturu a tavitelnost. Mimo to jsou důležité také

fyzikálně-chemické vlastnosti přírodního sýra, které ovlivňují funkční vlastnosti taveného sýra, jedná se hlavně o pH, obsah Ca a stáří, nebo množství intaktního kaseinu přítomného v přírodním sýru [31].

Zvýšení obsahu přírodního sýru snižuje komplexní modul, mez kluzu a tvrdost taveného sýra, nikoli však chuť. Snížení komplexního modulu způsobuje také rychlé ochlazování roztavené směsi. Výhodou rychlého ochlazení je zlepšení roztíratelnosti, na druhou stranu se zvyšuje lepivost výrobku. Rychlost ochlazování a rozdíly ve zralosti sýrové směsi neovlivňují viskoelastické vlastnosti tavených výrobků [30].

Jedním z dalších důležitých faktorů je pH přírodního sýru. Výsledky jedné ze studií ukazují, že i když bylo konečné pH taveného sýru upraveno na hodnotu 5,4 až 5,5 byl tavený sýr, vyrobený z přírodního sýru s vyšším pH tvrdší a méně tavitelný, ve srovnání s výrobkem vyrobeným z přírodního sýru o nižším pH [31].

Obsah intaktního kaseinu nepřímo souvisí s věkem přírodního sýra. V průběhu zrání přírodního sýra klesá obsah intaktního kaseinu. K tomu dochází kvůli působení enzymů a zbytkových bakterií mléčného kvašení přítomných v sýru, které hydrolyzují proteiny na peptidy. Několik studií také shodně prokazuje, že se zvyšujícím se věkem přírodního sýru klesá pevnost výsledného taveného sýru a tavitelnost sýru se zvyšuje [31].

### 3.1.2 Tavící soli

Tavící soli jsou ve výrobě tavených sýrových výrobků velmi důležité. Mají schopnost štěpit vápník v sýrové matici, což vede ke zlepšení emulgačních vlastností kaseinu. Nahrazením vápníku za sodík v nerozpustném vápník-parakaseinátu vede k tvorbě rozpustného parakaseinátu sodného, který je snadno dispergovatelný a výrazně tak ovlivňuje emulgaci tuku a stabilizaci vody uvnitř vytvořené matrice [32].

Tavený sýr vyrobený z různých fosfátů má rozdílné hodnoty pH a viskoelastické vlastnosti. Pevnost sýrů se zvyšuje v závislosti na použitém typu fosfátu v pořadí: ortofosfáty < polyfosfáty < difosfáty < trifosfáty. Při použití směsi polyfosfátu a ortofosfátu nebo polyfosfátu a difosfátu se s rostoucím obsahem polyfosfátu (až 50 %) ve směsi zvyšuje i tuhost výrobku. Obsah polyfosfátů nad 50 % vede však ke snížení tuhosti taveného sýra [33].

Jednou široce používanou tavící solí ve výrobě tavených sýrových výrobků je difosforečnan tetrasodný. Byl zkoumán vliv různých koncentrací této tavící soli na reologické vlastnosti tavených sýrových výrobků. Indexy tání zpočátku klesaly s rostoucí koncentrací

difosforečnanu tertasodného. Nad kritickou koncentrací (cca 1,0 %) se tavitelnost začala zvyšovat s rostoucí koncentrací difosforečnanu tetrasodného.

V mléčných systémech bylo prokázáno, že nízké hladiny difosforečnanu tetrasodného způsobují zesíťování a gelovatění proteinů, zatímco při vyšších koncentracích této tavící soli je gelování proteinů inhibováno nadměrným odpuzováním náboje z komplexů pyrofosfátu vápenatého. Počáteční snížení tavitelnosti je tedy následkem zesíťování proteinu v závislosti na nízké koncentraci difosforečnanu tetrasodného a příčinou následného zvýšení tavitelnosti je nadměrné odpuzování náboje vlivem zvýšení koncentrace difosforečnanu tetrasodného [34].

### 3.1.3 Hydrokoloidy

Želírovací a zahušťovací vlastnosti hydrokoloidů jsou nezbytné pro regulaci texturních a smyslových vlastností potravin a nápojů. Jsou důležité také z důvodu prodloužení doby použitelnosti produktu. V potravinářském průmyslu byly tyto vlastnosti hydrokoloidů použity primárně k modifikaci viskozity a texturních vlastností potravin, protože modifikací těchto vlastností se docílí také modifikace smyslových vlastností, jako je pocit v ústech [35].

Hydrokoloidy se jako zahušťovadla používají zejména do polévek, pudinků, salátových dresinků nebo omáček. Jako želírující látky se přidávají do potravin jako jsou zmrzlina, pudink, džem, želé nebo výrobky s nízkým obsahem cukru [35].

Standardy pro tavené sýrové výrobky umožňují použití hydrokoloidů až do množství 0,8 g na 100 g konečného produktu. Primární funkcí hydrokoloidů v tavených sýrových výrobcích je zajistit dostatečnou schopnost vázat vodu, viskozitu a také zvýšit tavitelnost. Nejčastěji se používají v sýrech se sníženým obsahem tuku, nízkotučných variantách a napodobeninách, kde je zapotřebí zvýšit vazbu vody, aby se umožnilo snížení tuku ve formulaci [4].

Pektin napomáhá při zvyšování kompaktnosti výrobku a redukuje tvorbu dutin, nemá však vliv na vzhled a chuť produktu. Dále se pak přidávají polysacharidy, např. škroby, a to zejména z důvodu částečného nahrazení přísad a snížení nákladů. Co se týká bílkovinných surovin, výrobky obsahující syrovátkové bílkoviny jsou tvrdší ve srovnání s podobnými produkty obsahujícími kyselý kasein [4].

Studie také ukázaly, že přidávání hydrokoloidů s želírujícími a zahušťujícími účinky ovlivňuje nejen reologické vlastnosti potravin, ale také chuť [35].

## 3.2 Parametry zpracování

### 3.2.1 Čas

S prodloužením doby zpracování při teplotě tavení 80 °C se zvyšuje tuhost a modul smykové pružnosti produktu vychlazeného na 25 °C a snižuje se tok a tekutost zahřátého taveného sýrového výrobku. Současně se také se zahříváním zvyšovala emulgace tuku. Rozsah těchto změn závisí na dalších faktorech, jako jsou např. stříh, teplota, stupeň proteolýzy, nebo hladina vápníku ve zpracovávaném výrobku a také vlhkost produktu.

Faktory, které pravděpodobně přispívají ke změnám textury a tavitelnosti, když se prodlužuje doba výdrže, zahrnují tyto změny.

- Mění se poměr vázané vody k volné vodě v produktu, který se zpočátku zvyšuje a při výdrži po delší dobu (více jak 30 minut při 95 °C) se snižuje.
- Stupeň dispergace a emulgace tuku se také mění. Nejdříve se zvyšuje a s prodlužující dobou výdrže (více jak 1 hodina) se snižuje.
- Dochází ke změně povrchu proteinu v závislosti na stupni emulgace tuků a agregace proteinů.
- Mění se úroveň hydratace kaseinu nebo agregace proteinové fáze.

Příliš dlouhá doba výdrže při vysokých teplotách (75 – 90 °C) může vyvolat tzv. „nadměrné krémování“, přičemž se produkt stává příliš pevným a získává matný vzhled a pudinkovou konzistenci [4].

### 3.2.2 Teplota

Zvýšení teploty tavení ze 70 na 95 °C má za následek zvýšení pevnosti u finálního výrobku vychlazeného na 25 °C. S rostoucí teplotou se také snižuje tekutost roztaveného taveného sýrového výrobku.

Při vyšších teplotách se pravděpodobně mění počet různých sil mezi částicemi kaseinu, např. hydrofobní, elektrostatické interakce. Hydrofobní interakce mají tendenci se zvyšovat s rostoucí teplotou na 60 – 70 °C. Při dosažení této teploty se hydrofobní interakce začnou mírně snižovat, zatímco se elektrostatické interakce zvyšují s dále rostoucí teplotou.

Výsledky z jiné studie ukazují, že při použití UHT ošetření tavených sýrových výrobků s cílem prodloužit trvanlivost výrobku, tzn. použití teplot 130 – 145 °C, výrazně snižuje

viskozitu a zvyšuje tekutost výrobku. To bylo připisováno hydrolýze polyfosfátů, které se používají pro docílení krémové konzistence tavených sýrových výrobků, degradaci kaseinu a rozložení agregátů proteinů. Zajímavé je také, že zvýšení teploty ze 115 na 140 °C významně snižuje schopnost výrobku zadržovat vodu.

Účinky změny teploty tavení jsou ovlivněny faktory, jako jsou koncentrace bílkovin a tuků, stupeň proteolýzy, teplotní oblast, přítomnost syrovátkového proteinu a pH. Mimo uvedené faktory je důležité dát zřetel i na faktory, u nichž se očekává, že ovlivní denaturaci bílkovin, množství bílkovin nebo počet a dostupnost interakcí [4].

### 3.2.3 Stříh (Smykové síly)

Bylo prokázáno, že mechanické působení má vliv na vlastnosti tavených sýrových výrobků. Zvyšování rychlosti míchání během zpracovávání taveného sýrového výrobku z rychlosti 300 na 2700 otáček za minutu výrazně zvyšuje modul pružnosti a pevnost finálního výrobku zchlazeného na 25 °C. Naopak se snižuje hladina toku a tekutost roztaveného výrobku. Dalším mechanickým vlivem jsou smykové síly a třepání, kdy se zvyšováním těchto sil roste i stupeň tukové emulgace a zároveň se zvyšují povrchové plochy proteinů dostupné pro agregaci. Avšak některé studie naopak ukazují malý, nebo žádný účinek rychlosti míchání na vlastnosti taveniny [4].

## 3.3 Parametry skladování

### 3.3.1 Teplota a doba skladování

Při tavení sýra dochází k zahřátí sýra na teplotu kolem 140 až 180 °C. Zahřátím na vysoké teploty a přidáním tavících solí se vytváří stabilnější emulze než u přírodního nebo nezpracovaného sýra. Stává se tak v podstatě pasterovaným produktem. Mikroorganismy způsobující změny v chuti sýra jsou během ošetření do značné míry zničeny a prakticky nedochází k dalšímu vývoji chuti. Proto je maximální přípustná teplota skladování pro tavené sýry vyšší než pro ostatní typy sýrů [40].

Polyfosfátové tavící soli částečně hydrolyzují během tavení sýra a tato hydrolýza pokračuje i během doby skladování, což může ovlivnit pevnost tavených sýrových produktů. Byl proveden experiment, kdy byly tavené sýry skladovány po dobu šesti měsíců při 10, 20 a 30 °C. Bylo prokázáno, že tavený sýr, který byl skladován při 30 °C byl pevnější, což bylo pravděpodobně způsobeno rozsáhlejší hydrolýzou polyfosfátových tavících solí [4].

Sterilizace a dlouhodobé skladování při vyšších než chladících teplotách mohou způsobit významné změny v kvalitě tavených sýrů. V dostupné literatuře není dostatek informací o procesech probíhajících u tavených sýrů během jejich sterilizace a následného dlouhodobého skladování. Při skladování tavených sýrů po dobu dvou let při teplotě 23 °C byly pozorovány intenzivní změny v barvě (žloutnutí). Tavené sýry skladované stejnou dobu při teplotě 8 °C byly výrazně světlejší. U výrobků skladovaných při teplotě 8 °C proběhla naopak rozsáhlejší krystalizace citrátových tavících solí, která byla viditelná pouhým okem. Sensorické hodnocení vzhledu bylo tedy ovlivněno dvěma faktory, barva produktu a krystalizace tavících solí. Krystalizace solí v tavených sýrech zhoršila jejich vzhled intenzivněji než změny jejich barvy [41]. Tyto změny probíhající během doby skladování mohou ovlivnit požadované funkční vlastnosti taveného sýra, např. tavitelnost, roztíratelnost [4].

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 4 CÍL PRÁCE

Cílem mé diplomové práce bylo sledovat vliv přídavku proteinů (kyselý kasein a kaseinát sodný) na viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček. Práce byla rozdělena na následující dílčí cíle.

- Vyrobit modelové vzorky tavených sýrových omáček o obsahu sušiny 30 % (w/w) a obsahu tuku v sušině 66 % (w/w) s přídavkem kyselého kaseinu v koncentracích 0,25 %; 0,5 %; 0,75 %; 1,0 % (w/w).
- Vyrobit modelové vzorky tavených sýrových omáček o obsahu sušiny 30 % (w/w) a obsahu tuku v sušině 66 % (w/w) s přídavkem kaseinátu sodného v koncentracích 0,25 %; 0,5 %; 0,75 %; 1,0 % (w/w).
- Zachovat při výrobě modelových vzorků stejné podmínky zpracování, jako je rychlost míchání 1500 ot./min s dobou výdrže přibližně 60 sekund a tavící teploty 90 °C.
- Provést základní chemickou analýzu, která zahrnovala stanovení hodnoty pH a obsahu sušiny, u všech vzorků tavených sýrových omáček 1. a 7. den po výrobě.
- Provést měření viskoelastických vlastností s využitím dynamické oscilační reometrie a test stability vzorků tavených sýrových omáček ve stejném časovém rozmezí, 1. a 7. den po výrobě.
- Interpretovat výsledky měření a zhodnotit vliv přídavku kyselého kaseinu a kaseinátu sodného a také vliv délky skladování na viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček.

## 5 METODIKA PRÁCE

Dle stanovené surovinové skladby byly vyrobeny dvě řady modelových vzorků tavených sýrových omáček. Jedna řada vzorků byla vyrobena s přidavkem kyselého kaseinu (KA) a druhá s přidavkem kaseinátu sodného (KS). Pro obě řady byly vyrobeny 4 varianty vzorků lišící se množstvím přidaných bílkovin k základní surovinové skladbě, a to v koncentraci 0,25 %, 0,5 %, 0,75 % a 1 % (w/w). Vzorky jsou přehledně uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 Přehled modelových vzorků

	<b>Koncentrace % (w/w)</b>			
<b>Kyselý kasein</b>	0,25	0,5	0,75	1,0
<b>Kaseinát sodný</b>	0,25	0,5	0,75	1,0

Vzorky tavených sýrových omáček byly správně utaveny a rozmíchány do homogenní konzistence. Po naplnění do plastových kelímků byly skladovány při teplotě  $6 \pm 2$  °C a podrobeny chemické a reologické analýze dle časového harmonogramu. Analýzy byly prováděny po 24 hodinách skladování, dále pak 7. den skladování. Součástí chemické analýzy bylo stanovení pH a celkového obsahu sušiny. Dále byl proveden test stability a stanovení dynamické oscilační reometrie.

### 5.1 Výroba modelových vzorků

Pro výrobu modelových vzorků tavených sýrových omáček pro účely této diplomové práce jsme použili následující suroviny:

- EIDAM 30%, polotvrdý sýr [obsah sušiny 50 % (w/w), obsah tuku v sušině 30 % (w/w), výrobce: AGRICOL s. r. o., T. Novákové 521, 572 01, Polička, Země původu: Německo],
- máslo [obsah tuku 82 % (w/w), výrobce: Fude + Serrahn Milchprodukte GmbH & Co. KG, Englische Planke 2, 20459 Hamburg, Německo, datum spotřeby: 31. 3. 2020],
- pitná voda,

- směs tavicích solí [v poměru: 26 % Hydrogenfosforečnan sodný (DSP), 30 % Dihydrogenfosforečnan sodný (MSP), 22 % Difosforečnan tetrasodný (TSPP), 22 % Polyfosforečnan sodný (POLY 68), výrobce: FOSFA, a.s., Břeclav, Česká republika],
- kyselý kasein [v množství 0,25 %, 0,5 %, 0,75 %, 1 % (w/w), výrobce: SIGMA-ALDRICH, s. r. o., Praha, Česká republika],
- kaseinát sodný [v množství 0,25 %, 0,5 %, 0,75 %, 1 % (w/w), výrobce: SIGMA-ALDRICH, s. r. o., Praha, Česká republika],
- MAG/DAG [výrobce: BRENNTAG CR s. r. o., Chropyně, Česká republika]

Modelové vzorky byly vyrobeny na Ústavu technologie potravin, Fakulty technologické, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Pro tavení bylo zvoleno zařízení Stephan UMC-5 (Stephan Machinery GmbH, Německo).

Prvním krokem bylo co nejpřesnější navážení všech surovin podle stanovené receptury. Přírodní sýr byl nakrájen na kostky o velikosti přibližně 2 cm a po navážení vložen do výrobničku, ve kterém byl rozemletý na menší částice. Po rozemletí byly přidány ostatní suroviny – máslo, voda, tavicí soli, kyselý kasein nebo kaseinát sodný. Na tavicí kotel bylo řádně připevněno víko a za pomoci vývěvy a odvzdušňovacího ventilu byl vytvořen podtlak, aby nedošlo ke tvorbě vzduchových bublin a zamezení oxidaci vzorků. Směs byla tavena při 1500 ot./min dokud směs nedosáhla teploty 90 °C. Po dosažení 90 °C se tavicí směs udržovala při této teplotě po dobu 60 sekund. Po utavení byla směs dávkována do plastových kelímků. Kelímky byly následně zažehleny hliníkovou fólií a označeny. Vzorky byly nakonec zchlazeny a skladovány při teplotě  $6 \pm 2$  °C do následující analýzy.

## 5.2 Chemická analýza

Dle stanoveného harmonogramu byla každý odběrový den provedena chemická analýza. Kromě stanovení hodnoty pH modelových tavených sýrových omáček bylo součástí chemické analýzy také stanovení celkového obsahu sušiny.

### 5.2.1 Stanovení celkového obsahu sušiny

Stanovení celkového obsahu sušiny modelových vzorků tavených sýrových omáček bylo provedeno dle postupu, který je uvedený v příslušné technické normě ČSN EN ISO 5534:2005, která je českou verzí evropské normy EN ISO 5534:2004 [46].

Na analytických vahách s přesností na čtyři desetinná místa byly naváženy 3 g vzorku tavené sýrové omáčky do hliníkových misek naplněných předem vysušeným a následně ochlazeným křemenným pískem na laboratorní teplotu. Po navážení se vzorek řádně smíchal s křemenným pískem pomocí skleněné tyčinky. Hliníkové misky s pečlivě promíchaným vzorkem byly vloženy do sušárny, kde probíhalo sušení směsi při teplotě  $102 \pm 2$  °C do konstantního úbytku hmotnosti. Poté byly misky ochlazeny v exsikátoru a znovu byla odečtena hmotnost misky s již vysušeným vzorkem.

Pro výpočet obsahu celkové sušiny WS modelových vzorků, vyjádřené v procentech hmotnosti, byly použity následující vztahy:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} * 100$$

$$WS = 100 - w$$

kde:

w ... obsah vody [% (w/w)]

$m_0$  ... hmotnost hliníkové misky s křemenným pískem [g]

$m_1$  ... hmotnost misky s navázkou vzorku a pískem před sušením [g]

$m_2$  ... hmotnost misky s navázkou vzorku a pískem po sušení [g]

WS ... obsah sušiny [% (w/w)] [46].

### 5.2.2 Stanovení pH

Měření pH bylo provedeno při laboratorní teplotě  $22 \pm 1$  °C pomocí vpichového pH metru (Spear Eutech – pH tester s vpichovou elektrodou, EUTECH INSTRUMENTS The Netherlands, Nijkerk). Každý vzorek tavené sýrové omáčky byl změřen celkem šestkrát na šesti různých místech (n=6), aby byly zohledněny případné odchylky a faktory ovlivňující hodnoty pH při procesu výroby, skladování či jakéhokoliv manipulování se vzorky v průběhu analýz.

### 5.3 Test stability

Stanovení stability tavených sýrových omáček bylo provedeno podle studie z roku 2011 [47]. Do plastové zkumavky bylo na analytických vahách s přesností na čtyři desetinná místa naváženo 5 g modelového vzorku. Zkumavky byly pevně utěsněny plastovými víčky a umístěny do centrifugy (EBA 21 Hettich Zentrifugen, Huttlingen, Německo) při 6000 ot./min. Odstředování probíhalo 20 minut. Poté byla ze zkumavky s odstředěným vzorkem vylitá vodní fáze a sediment byl zvážen. Test stability byl proveden v obou dnech měření u každého vzorku dvakrát. Stabilita (S; % w/w) byla vypočtena dle níže uvedené rovnice:

$$(S) = \left( \frac{F_1}{F_0} \right) * 100.$$

kde:

$F_0$  ... navážka vzorku tavené sýrové omáčky

$F_1$  ... sediment vzniklý odstředěním vzorku.

### 5.4 Dynamická oscilační reometrie

Viskoelastické vlastnosti vyrobených tavených sýrových omáček byly zjišťovány pomocí metody dynamické oscilační reometrie. Metoda je založena na řízené deformaci vzorku tavených sýrových omáček, přičemž je sledováno chování při toku látek. Viskoelastická potravin je vyjadřována jako poměr elastického ( $G'$ ) a ztrátového ( $G''$ ) modulu pružnosti. Elastický modul pružnosti představuje míru elasticity vzorku a ztrátový modul pružnosti je mírou viskozity. Poměrem těchto dvou modulů pružnosti je možné získat tangens fázového posunu, který je vyjádřen následujícím vztahem:

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'}$$

Dále je možné vypočítat podle níže uvedeného vzorce, komplexní modul pružnosti ( $G^*$ ), což je celkový odpor vzorku proti deformaci.

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

Stanovení viskoelastických vlastností tavených sýrových omáček bylo provedeno pomocí rotačního viskozimetru Thermo Scientific TM HAAKE RheoStress 1 (Bremen, Německo). Pro měření byla použita geometrie deska - deska s průměrem 35 mm a výškou štěrbin 1 mm. Reometr byl před každým měřením vytemperován na teplotu  $20 \pm 0,1$  °C pomocí vodní

lázně. Na statickou desku přístroje byl nanesen vzorek tavené sýrové omáčky. Poté byla spuštěna oscilující deska, která byla nastavena tak, aby mezera mezi statickou a oscilující deskou byla 1 mm. Následovala pěti minutová relaxace, po které bylo automaticky spuštěno měření elastického a ztrátového modulu pružnosti. Frekvence oscilace byla v rozmezí 0,1 – 100 Hz. Měření probíhalo v oblasti lineární viskoelastivity vzorků při hodnotě amplitudy smykového napětí 5 Pa. Získaná data pak sloužila k výpočtu elastického ( $G'$ ) a ztrátového ( $G''$ ) modulu, ze kterých byl dopočítán i komplexní modul pružnosti ( $G^*$ ) a tangens úhlu fázového posunu  $\delta$  pro frekvenci 0,1, 1, 10 a 100 Hz [15, 48, 49].

## 6 VÝSLEDKY A DISKUZE

V průběhu jednoho týdne byly vzorky tavených sýrových omáček s obsahem sušiny 30 % w/w a obsahem tuku v sušině 66 % w/w, ke kterým byly přidány dva typy proteinů (kyselý kasein a kaseinát sodný), podrobeny chemické analýze, reologické analýze a testu stability.

### 6.1 Vyhodnocení chemické analýzy

#### 6.1.1 Obsah sušiny

Součástí základní chemické analýzy modelových vzorků tavených sýrových omáček bylo stanovení obsahu sušiny. Pro účely experimentu byly vyrobeny vzorky tavených sýrových omáček o obsahu sušiny 30 % w/w, obsahu tuku v sušině 66 % w/w a s přídavkem kyselého kaseinu nebo kaseinátu sodného o dané koncentraci. Obsah sušiny byl stanoven jednou a to 24 hodin po výrobě modelových vzorků. U kontrolního vzorku, vyrobeného bez přídavku kteréhokoliv proteinu, byl z výsledků dopočítán a stanoven obsah sušiny 31,72 % w/w, což potvrzuje požadovanou sušinu 30 % w/w. Obsah sušiny všech vzorků, vyrobených s přídavkem proteinu, se pohyboval v intervalu od 31,75 % do 31,98 % w/w. Reologické a texturní vlastnosti tavených sýrových omáček jsou ovlivňovány širokým spektrem faktorů, mezi které patří i obsah sušiny, tuk v sušině nebo hodnota pH. Obsah sušiny je důležitý nejen kvůli výsledné konzistenci a struktuře výrobku, která je základem kvality, ale srovnatelný obsah sušiny je nezbytný pro získání vzorků, které lze navzájem porovnávat [30].

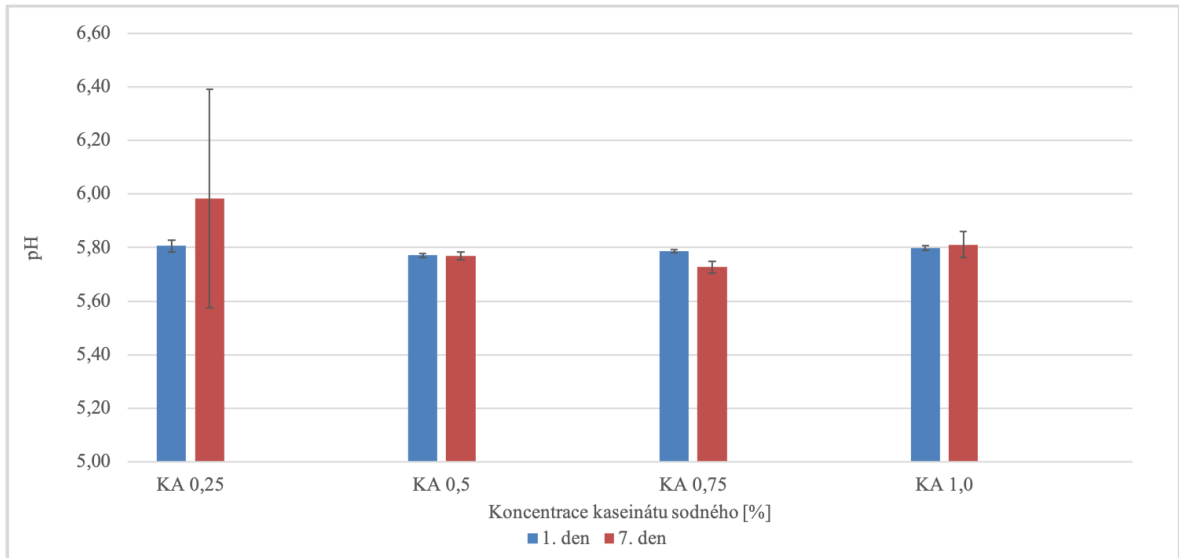
### 6.1.2 Hodnota pH

Rozmezí hodnoty pH se u vzorků tavených sýrových omáček obsahujících určité koncentrace kyselého kaseinu (obrázek 4) pohybovalo mezi hodnotami 5,73 – 5,98. Hodnoty pH těchto vzorků byly po dobu skladování 7 dnů konstantní a koncentrace kyselého kaseinu také neovlivnila vývoj hodnot pH. Odchylna byla zaznamenána pouze u vzorku obsahujícího kyselý kasein v koncentraci 0,25 %. Tato odchylka pravděpodobně vznikla chybou měření, protože z celkem šesti hodnot měření tohoto vzorku byla výrazně vyšší jen jedna naměřená hodnota.

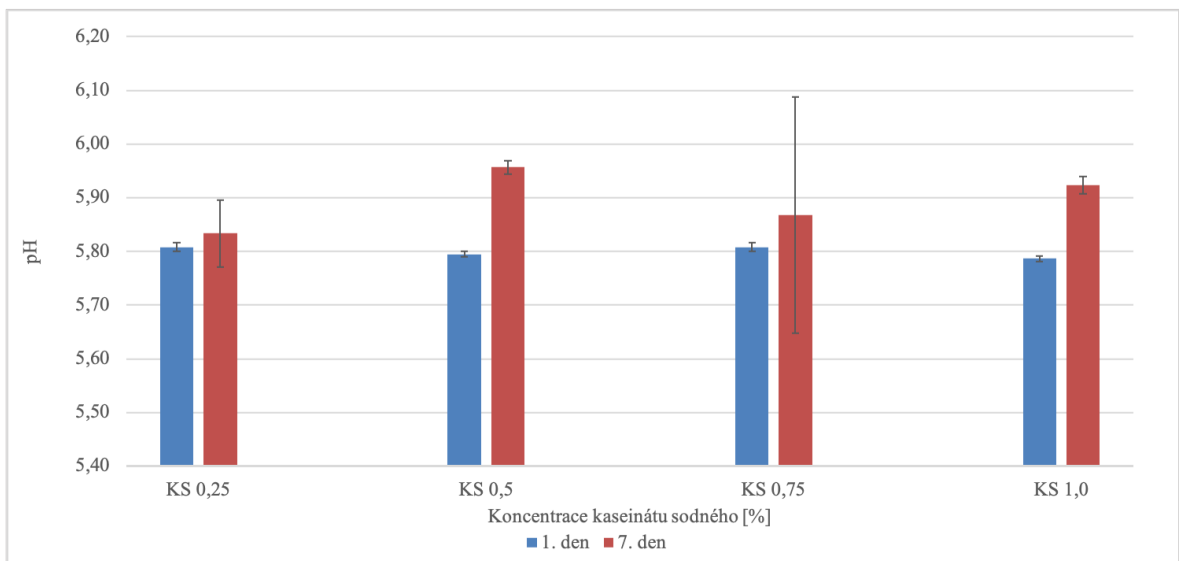
Vzorky s přidavkem kaseinátu sodného měly rozmezí hodnot pH mezi 5,79 – 5,96. Z obrázku 5 je zřejmé, že koncentrace kaseinátu sodného neměla vliv na hodnoty pH a u všech vzorků s jakoukoliv koncentrací kaseinátu sodného byly hodnoty velmi podobné. Avšak hodnoty pH, vzorků s obsahem kaseinátu sodného, naměřené 7. den skladování, byly oproti 1. dnu skladování mírně vyšší. Lze tedy konstatovat, že zvýšení hodnot pH během skladování při teplotě 4 °C může být způsobené vysokou pufrací kapacitou jak tavicích solí, tak i kaseinových bílkovin [57]. Největší rozdíl mezi hodnotami 1. den skladování a 7. den skladování byl zaznamenán u vzorku s koncentrací 0,5 % kaseinátu sodného, kdy 1. den skladování byla naměřena hodnota pH 5,80 a 7. den skladování 5,96.

Studie uvádí hodnoty pH tavených sýrových omáček v rozmezí 5,23 – 6,51 [15]. Hodnota pH kontrolního vzorku byla 1. den skladování 5,77 a 7. den skladování 5,95. Hodnoty všech vzorků, uvedené v grafu na obrázku 4 a 5, jsou srovnatelné s hodnotami kontrolních vzorků a lze tedy usoudit, že koncentrace obou přidaných bílkovin nemá příliš velký vliv na hodnotu pH tavených sýrových omáček. Výsledky všech vzorků tedy korespondují s hodnotami uváděnými v literatuře [15].





Obrázek 4: Závislost hodnoty pH modelových vzorků tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu o různých koncentracích [0,25; 0,5; 0,75 a 1 % (w/w)] na době skladování



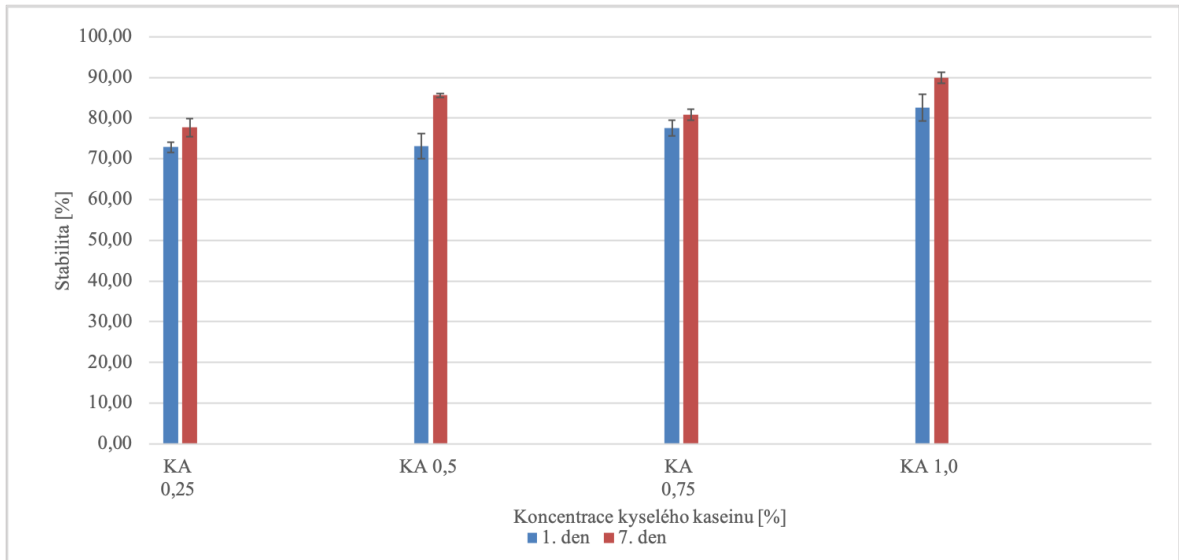
Obrázek 5: Závislost hodnoty pH modelových vzorků tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného o různých koncentracích [0,25; 0,5; 0,75 a 1 % (w/w)] na době skladování

## 6.2 Vyhodnocení testu stability

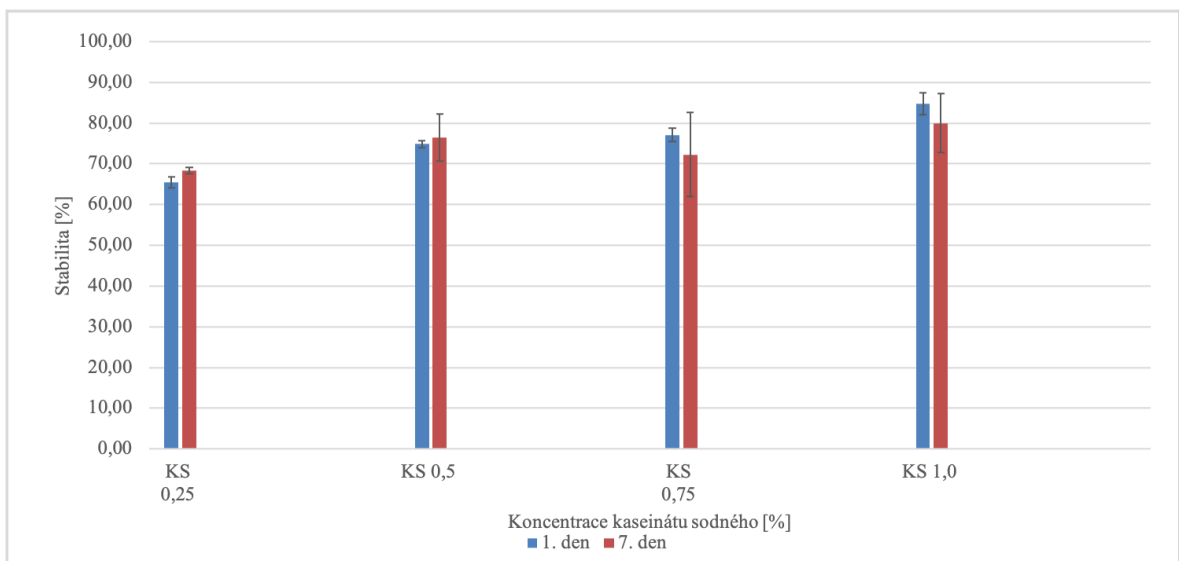
Na obrázku 6 jsou zaneseny hodnoty stability tavených sýrových omáček s obsahem různých koncentrací kyselého kaseinu a v grafu na obrázku 7 jsou zaneseny výsledky modelových vzorků tavených sýrových omáček o různé koncentraci kaseinátu sodného. Na uvedených grafech si lze povšimnout, že u obou řad modelových vzorků se stabilita zvyšovala s narůstající koncentrací dané bílkoviny.

Kaseiny se přirozeně vyskytují ve formě kaseinových micel, na jejichž povrchu jsou fosfoserinové zbytky, které jsou vysoce nabitě a vytváří tzv. „*hairy structure*“. Tato vrstva je velmi účinná při stabilizaci kapiček emulze. Funkčnost kaseinů z hlediska tvorby emulze a stability je do značné míry ovládána  $\beta$ -kaseinem. Nicméně purifikace  $\beta$ -kaseinů je nákladný proces a proto se obvykle používají složené ze směsi kaseinů známých jako kaseináty [59]. Tato skutečnost vysvětluje zvyšování stability našich vzorků se zvyšující se koncentrací kyselého kaseinu a kaseinátu sodného. Dobrou schopnost kaseinů a kaseinátů stabilizovat emulze dokazuje také zmínka v literatuře, která uvádí, že komerčně dostupné kaseiny a kaseináty se používají v potravinách jako stabilizátory pěn a emulzí, protože se jedná o amfifatické proteiny se silnou tendencí k adsorpci na rozhraní vzduch/voda a olej/voda, což snižuje povrchové a mezifázové napětí. Kaseinát sodný a  $\beta$ -kasein jsou také povrchově aktivnější než syrovátkové bílkoviny, sójové bílkoviny a želatina. Jestliže se používají ke stabilizaci emulze, kaseinát sodný má za následek tvorbu menších tukových kuliček s nižším obsahem proteinů na tukovém rozhraní [60].

Hodnoty stability v porovnání s časovým intervalem sedmi dnů u vzorků s obsahem kyselého kaseinu mírně vzrostly a u vzorků s kaseinátem sodným bylo 7. den skladování zaznamenáno drobné kolísání hodnot. To mohlo být způsobeno řadou faktorů, protože emulgační kapacita mléčných proteinových produktů závisí na pH, koncentraci bílkovin a také koncentraci vápníku, což jsou faktory, o kterých je známo, že ovlivňují stupeň agregace [60].



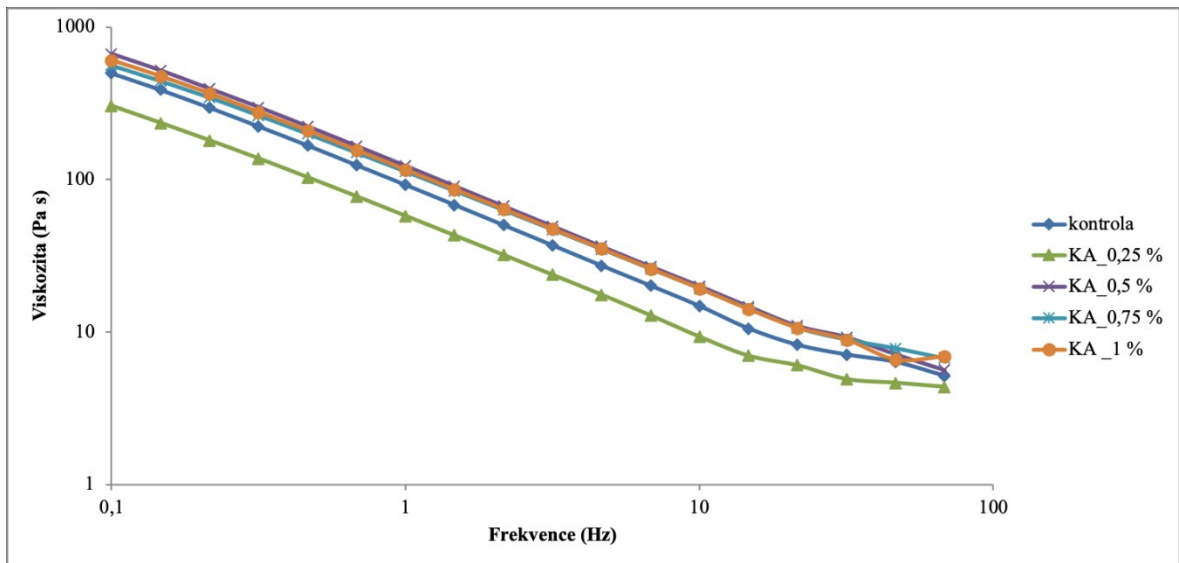
Obrázek 6: Výsledky stanovení stability I. řady modelových vzorků tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu v závislosti na době skladování



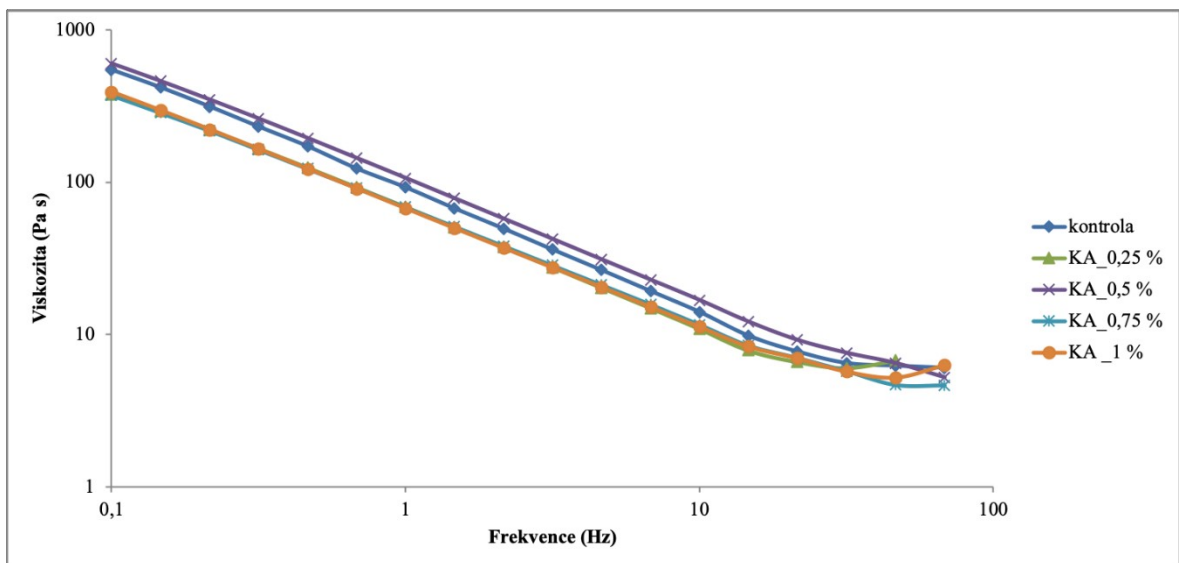
Obrázek 7: Výsledky stanovení stability II. řady modelových vzorků tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného v závislosti na době skladování

### 6.3 Vyhodnocení dynamické oscilační reometrie

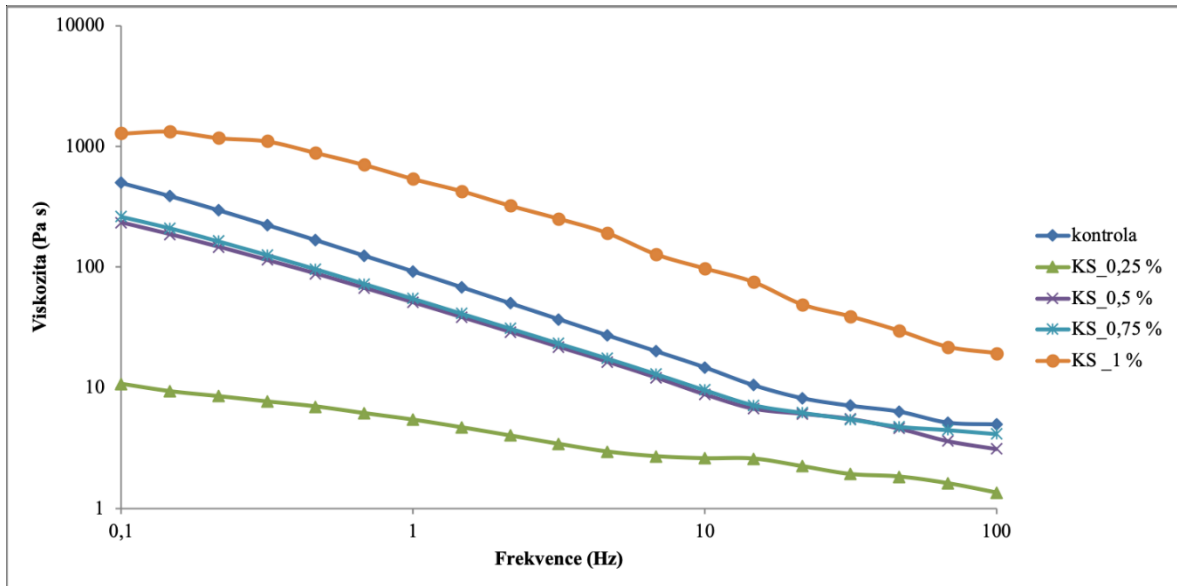
Pro stanovení viskoelastických vlastností modelových vzorků tavených sýrových omáček byla zvolena metoda dynamické oscilační reometrie. Byly naměřeny hodnoty elastického ( $G'$ ) a ztrátového ( $G''$ ) modulu pružnosti modelových vzorků. Následně byl z těchto hodnot dopočítán komplexní modul pružnosti ( $G^*$ ) a tangens úhlu fázového posunu ( $\delta$ ) pro frekvenci 0,1, 1, 10 a 100 Hz. Měření bylo provedeno 1. a 7. den skladování. Výsledky jsou zaneseny v níže uvedených grafech a tabulkách.



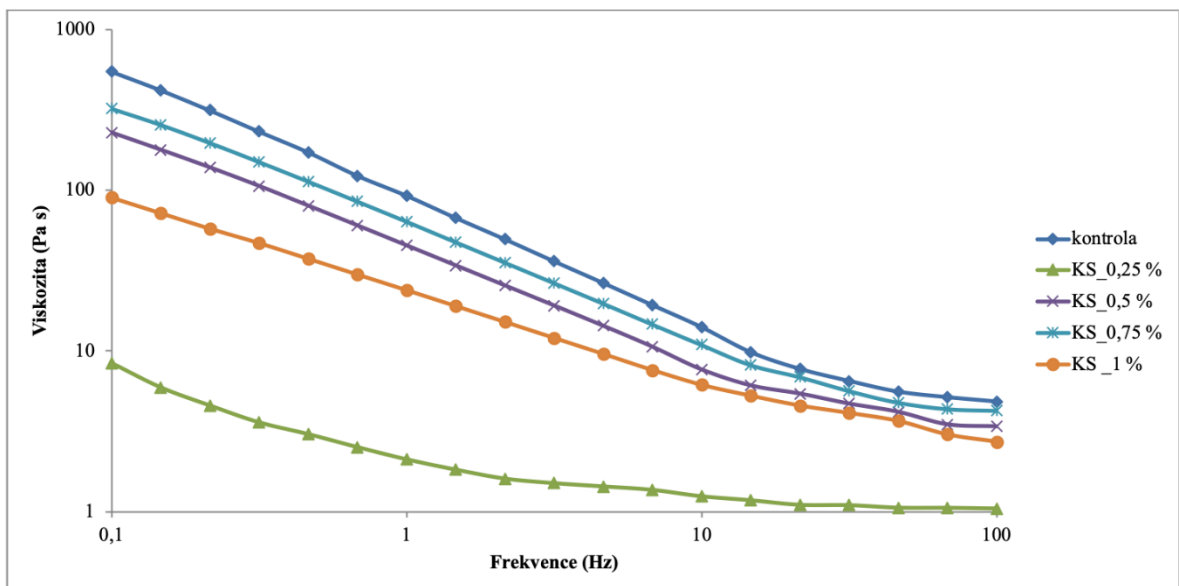
Obrázek 8: Závislost viskozity ( $\eta$ ) na frekvenci pro první řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu 1. den skladování



Obrázek 9: Závislost viskozity ( $\eta$ ) na frekvenci pro první řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu 7. den skladování



Obrázek 10: Závislost viskozity ( $\eta$ ) na frekvenci pro druhou řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného 1. den skladování

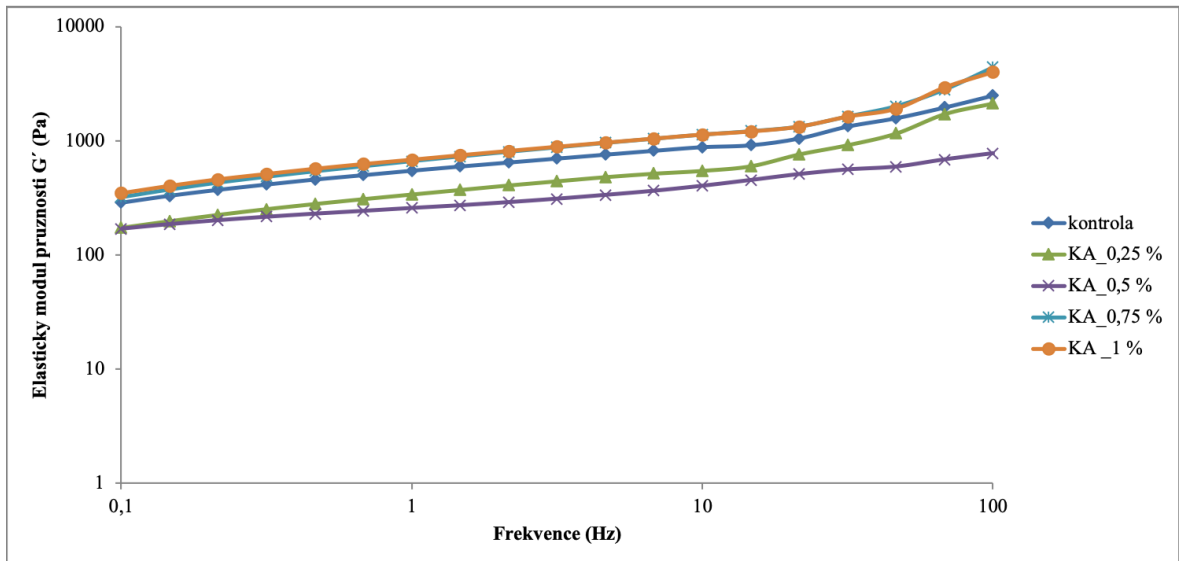


Obrázek 11: Závislost viskozity ( $\eta$ ) na frekvenci pro druhou řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného 7. den skladování

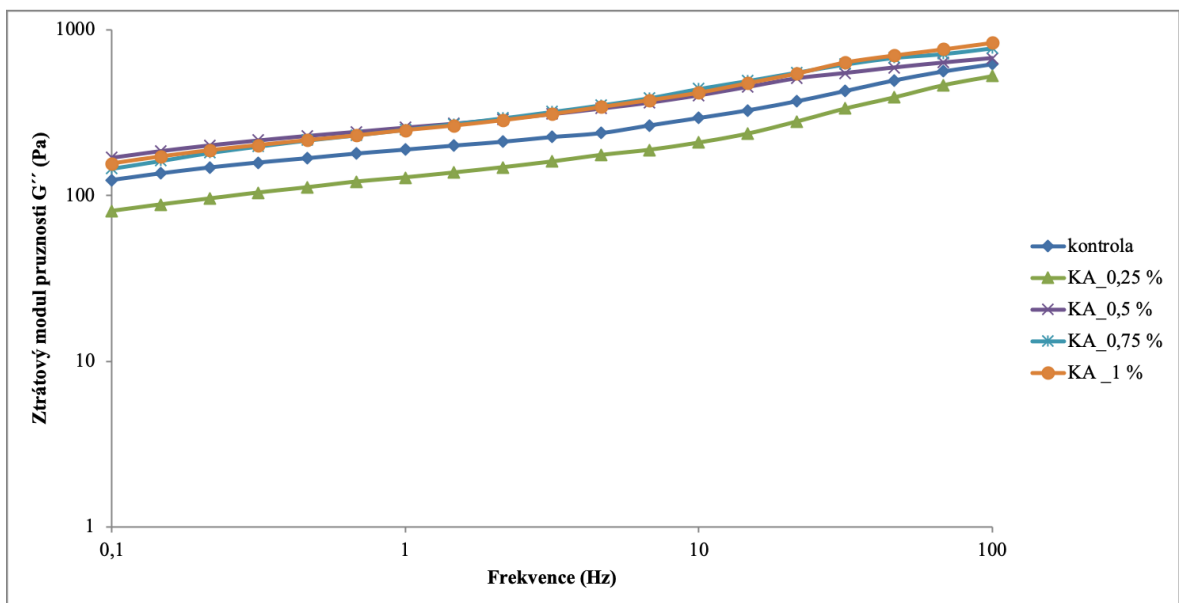
Na obrázku 8 – 11 je znázorněna závislost viskozity na frekvenci pro dvě řady modelových vzorků tavených sýrových omáček. Viskozita kapaliny je definována jako poměr smykového napětí k rychlosti smyku, neboli schopnost kapaliny (materiálu) téct [54].

Z grafu na obrázku 8 a 9, na kterých je vyobrazena závislost viskozity na frekvenci pro vzorky s přídavkem kyselého kaseinu, lze vyčíst, že viskozita klesá se zvyšující se frekvencí. Hodnoty viskozity neprokázaly významnou závislost na koncentraci přidaného kyselého kaseinu. Rovněž nebyly zaznamenány významné změny ani při skladovacím pokusu, hodnoty byly téměř srovnatelné 1. den a 7 den skladování.

U modelových vzorků s přídavkem kaseinátu sodného, vyobrazených na obrázku 10 je zřejmé, že koncentrace přidaného kaseinátu sodného má vliv na viskozitu tavených sýrových omáček. Na grafu můžeme vidět, že se zvyšující se koncentrací kaseinátu sodného se zvyšuje také viskozita výrobku. Hodnoty naměřené v 7. dnu skladování, které byly zaneseny do grafu na obrázku 11 toto tvrzení však nepotvrzují. Corredig a Dalgleish (1999) studovali interakce  $\alpha$ -laktoalbuminu,  $\beta$ -laktoglobulinu, které jsou přirozenou součástí mléka, a kaseinu a prokázali, že tyto proteiny mezi sebou interagují během tepleného zpracování, což vedlo ke zvýšení viskozity tavených sýrových omáček [56].

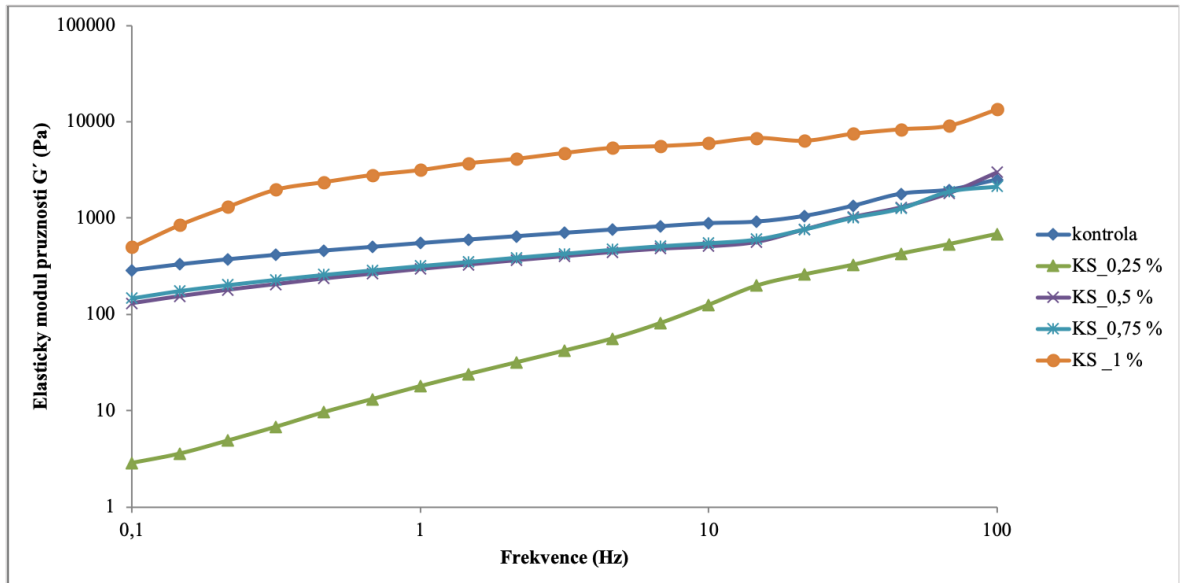


Obrázek 12: Závislost elastického modulu pružnosti ( $G'$ ) na frekvenci pro první řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu 1. den skladování

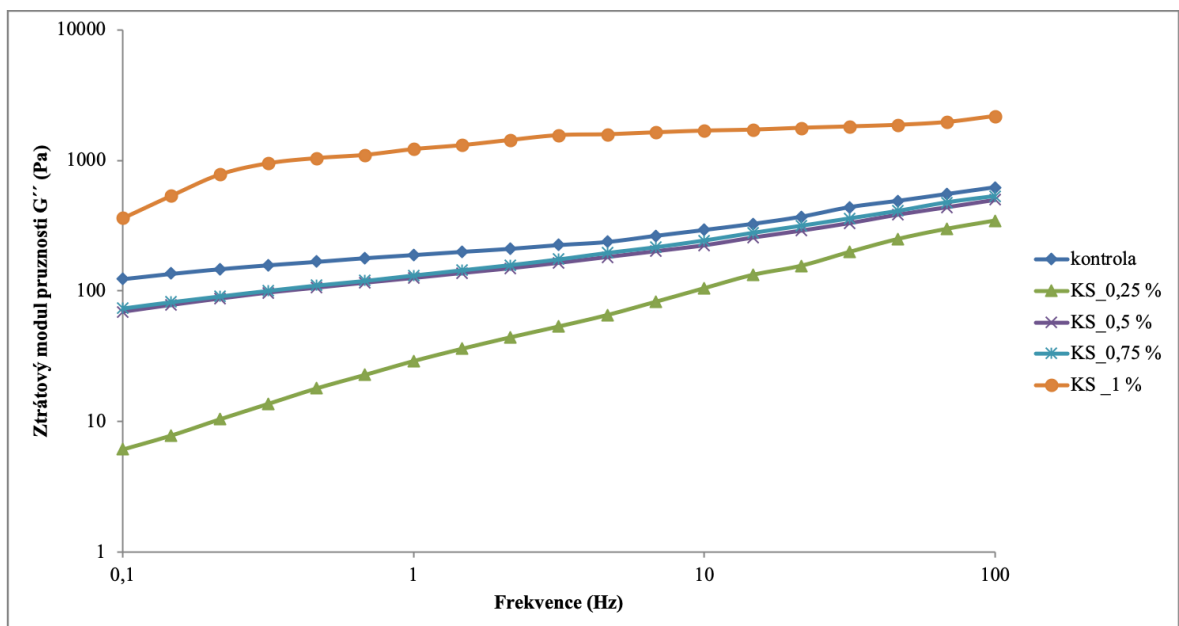


Obrázek 13: Závislost ztrátového modulu pružnosti ( $G''$ ) na frekvenci pro první řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu 1. den skladování





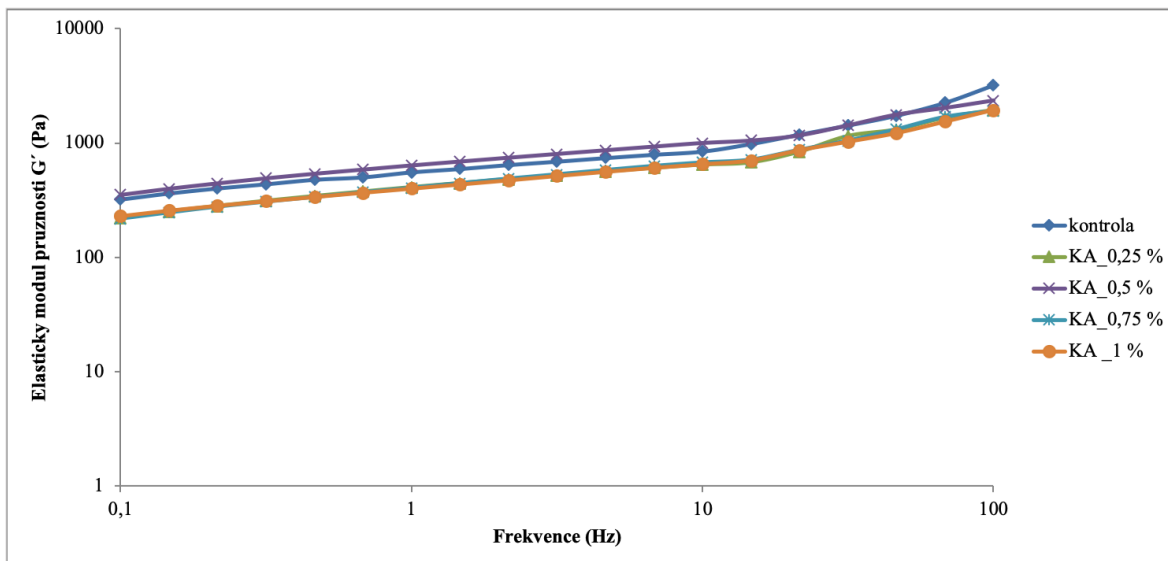
Obrázek 14: Závislost elastického modulu pružnosti ( $G'$ ) na frekvenci pro druhou řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného 1. den skladování



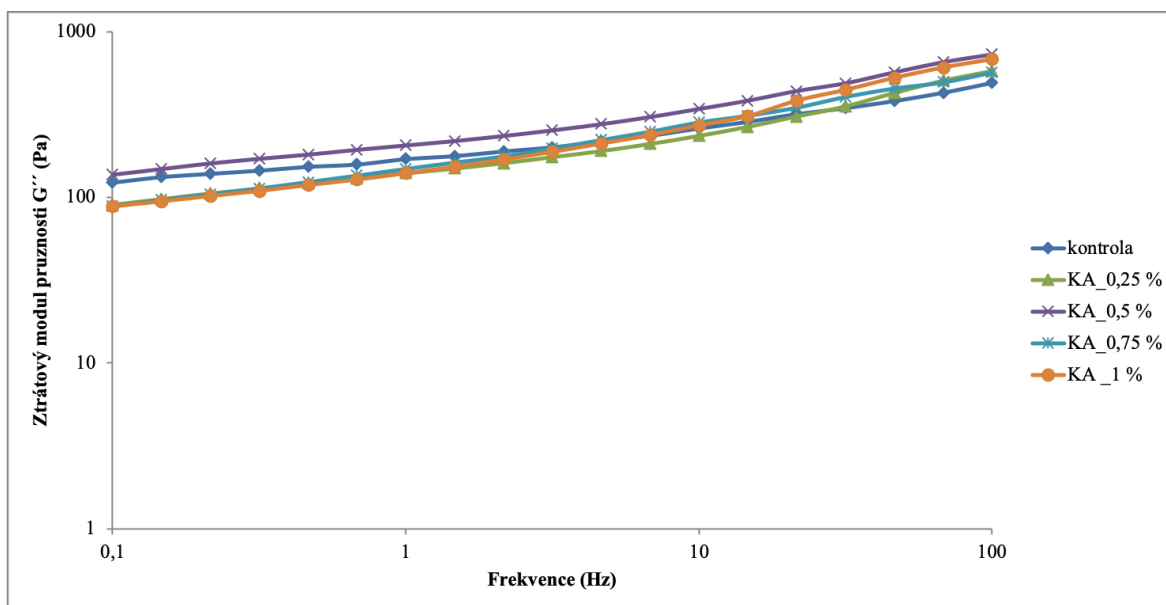
Obrázek 15: Závislost ztrátového modulu pružnosti ( $G''$ ) na frekvenci pro druhou řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného 1. den skladování

Na obrázku 12 a 14 je znázorněna závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci a na obrázku 13 a 15 závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci. Dle Solowiej et al. (2015) platí, že pokud  $G'' > G'$  má vzorek tavených sýrových omáček viskóznější charakter [15]. Pokud je elastický modul pružnosti  $G'$  větší než ztrátový modul pružnosti  $G''$  tavené sýrové výrobky vykazují elastické/gelové vlastnosti [58]. Hodnoty  $G'$ , tedy elastického modulu pružnosti, jsou u všech modelových vzorků s přidavkem kyselého kaseinu i kaseinátu sodného větší než hodnoty  $G''$  (ztrátového modulu pružnosti). Z toho vyplývá, že tavené sýrové omáčky mají spíše charakter gelu [50].

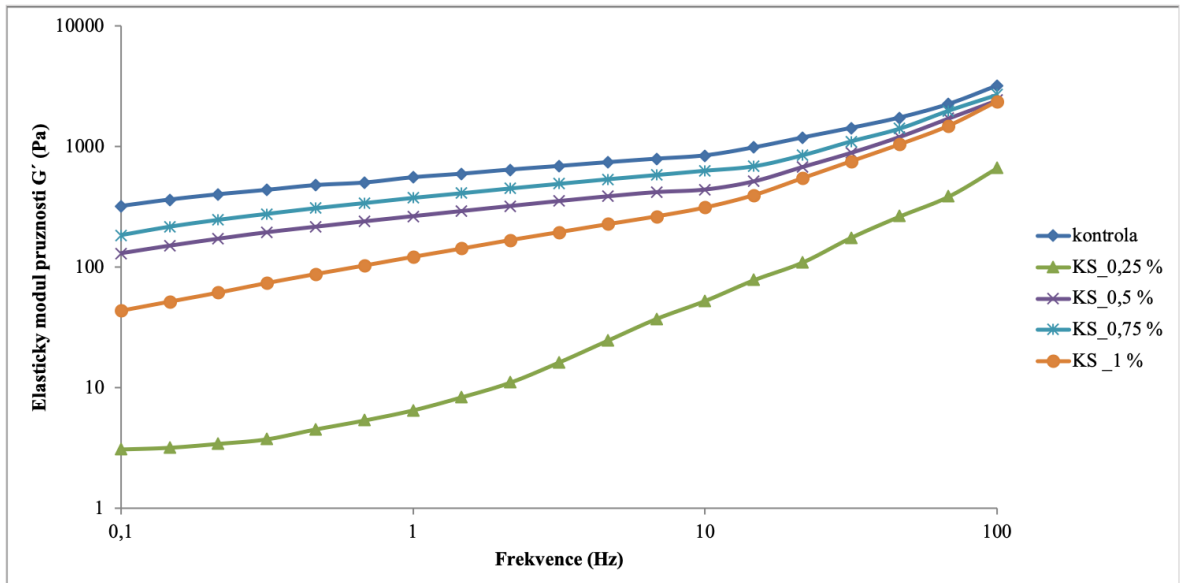
Na grafech lze také vidět, že koncentrace kyselého kaseinu v tavených sýrových omáčkách nemá významný vliv na jejich konzistenci. Avšak u vzorků s přidavkem kaseinátu sodného je zřetelný rozdíl mezi vzorky s různou koncentrací této bílkoviny. Se zvyšující se koncentrací kaseinátu sodného se zvyšuje jak elastický modul pružnosti, tak i ztrátový modul pružnosti. Největší rozdíly jsou mezi vzorkem s koncentrací 0,25 % kaseinátu sodného a vzorkem s koncentrací 1 % kaseinátu sodného. Tuto skutečnost vysvětluje poznatek, že se zvyšující se koncentrací přidané bílkoviny se posiluje gelová struktura tavených sýrových omáček [56].



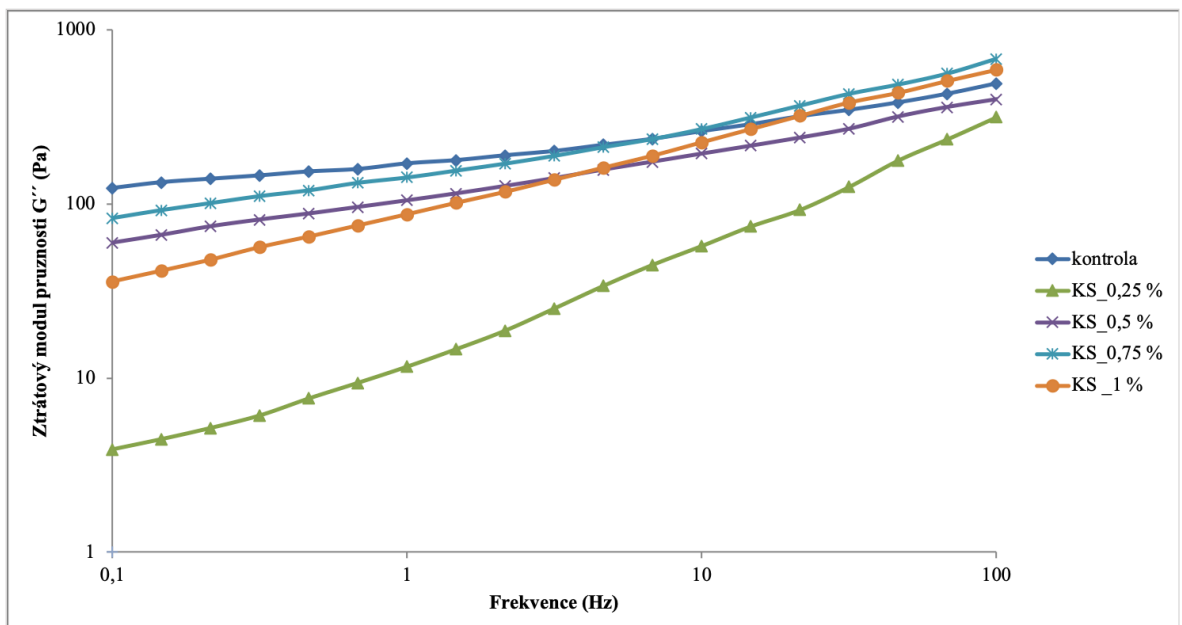
Obrázek 16: Závislost elastického modulu pružnosti ( $G'$ ) na frekvenci pro první řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu 7. den skladování



Obrázek 17: Závislost ztrátového modulu pružnosti ( $G''$ ) na frekvenci pro první řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu 7. den skladování



Obrázek 18: Závislost elastického modulu pružnosti ( $G'$ ) na frekvenci pro druhou řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného 7. den skladování



Obrázek 19: Závislost ztrátového modulu pružnosti ( $G''$ ) na frekvenci pro druhou řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného 7. den skladování

Po týdnu skladování nebyl mezi vzorky s obsahem kyselého kaseinu (obrázek 16 a 17) žádný výrazný rozdíl. Hodnoty  $G'$  byly, podobně jako hodnoty naměřené 1. den skladování, vyšší než hodnoty  $G''$  vyjma vzorků s koncentrací 0,25 % bílkovin. U vzorku obsahujícího 0,25 % kyselého kaseinu a vzorku obsahujícího 0,25 % kaseinátu sodného byly hodnoty  $G'' > G'$ , což znamená, že tyto vzorky byly oproti ostatním vzorkům více viskózní. Rozdílné koncentrace přidaného kyselého kaseinu také nezpůsobily výrazné odchylky mezi naměřenými hodnotami.

V grafech na obrázku 18 a 19 si můžeme povšimnout odchylky ve vývoji spojnice vzorku s přídavkem kaseinátu sodného o koncentraci 1 % změřeného 1. den skladování oproti hodnotám naměřeným 7. den skladování, kdy došlo k výraznému snížení hodnot elastického i ztrátového modulu pružnosti. Skutečnost, že se zvyšující se koncentrací přidané bílkoviny se posiluje gelová struktura tavených sýrových omáček, tzn.  $G' > G''$ , potvrzuje i studie od Szafránska [56].

Tabulka 3: Hodnoty komplexního modulu pružnosti  $G^*$  [Pa] při frekvenci 0,1, 1, 10 a 100 Hz pro I. řadu tavených sýrových omáček s obsahem kyselého kaseinu o různých koncentracích pro 1. a 7. den skladování

<b>I. ŘADA</b>				
<b>Den 1</b>				
<b>Koncentrace kyselého kaseinu</b>	<b><math>G^*</math> 0,1 Hz [Pa]</b>	<b><math>G^*</math> 1 Hz [Pa]</b>	<b><math>G^*</math> 10 Hz [Pa]</b>	<b><math>G^*</math> 100 Hz [Pa]</b>
kontrola	313,43	580,14	929,41	14169,51
KA 0,25 %	191,06	362,59	584,78	5939,87
KA 0,5 %	418,55	771,13	1257,92	9106,29
KA 0,75 %	352,92	710,11	1215,17	6652,49
KA 1,0 %	381,80	727,92	1209,45	5677,22
<b>Den 7</b>				
<b>Koncentrace kyselého kaseinu</b>	<b><math>G^*</math> 0,1 Hz [Pa]</b>	<b><math>G^*</math> 1 Hz [Pa]</b>	<b><math>G^*</math> 10 Hz [Pa]</b>	<b><math>G^*</math> 100 Hz [Pa]</b>
kontrola	344,22	581,58	884,62	13948,68
KA 0,25 %	238,77	432,88	686,60	10741,23
KA 0,5 %	377,82	669,28	1056,81	12879,91
KA 0,75 %	234,60	431,97	732,74	6982,10
KA 1,0 %	246,42	423,77	707,76	5790,20

Tabulka 4: Hodnoty komplexního modulu pružnosti  $G^*$  [Pa] při frekvenci 0,1, 1, 10 a 100 Hz pro II. řadu tavených sýrových omáček s obsahem kaseinátu sodného o různých koncentracích pro 1. a 7. den skladování

<b>II. ŘADA</b>				
<b>Den 1</b>				
<b>Koncentrace kyselého kaseinu</b>	<b><math>G^*</math> 0,1 Hz [Pa]</b>	<b><math>G^*</math> 1 Hz [Pa]</b>	<b><math>G^*</math> 10 Hz [Pa]</b>	<b><math>G^*</math> 100 Hz [Pa]</b>
kontrola	313,43	580,14	929,41	14169,51
KS 0,25 %	6,76	34,14	163,53	479,86
KS 0,5 %	147,34	321,26	555,44	6712,51
KS 0,75 %	164,85	344,89	602,40	6562,70
KS 1,0 %	617,20	3388,15	6125,11	18769,38
<b>Den 7</b>				
<b>Koncentrace kyselého kaseinu</b>	<b><math>G^*</math> 0,1 Hz [Pa]</b>	<b><math>G^*</math> 1 Hz [Pa]</b>	<b><math>G^*</math> 10 Hz [Pa]</b>	<b><math>G^*</math> 100 Hz [Pa]</b>
kontrola	344,22	581,58	884,62	13948,68
KS 0,25 %	5,30	13,33	90,16	7772,52
KS 0,5 %	143,04	284,57	482,06	8334,19
KS 0,75 %	202,65	402,04	687,35	29431,82
KS 1,0 %	56,60	150,40	387,47	10750,39

V tabulce 3 a 4 jsou uvedeny hodnoty komplexního modulu pružnosti  $G^*$  na frekvenčním rozpětí 0,1 – 100 Hz. V tabulce 3 jsou zaneseny hodnoty  $G^*$  pro řadu vzorků s obsahem kyselého kaseinu 1. a 7. den skladování a v tabulce 4 jsou uvedeny hodnoty  $G^*$  řady vzorků s obsahem kaseinátu sodného, rovněž 1. a 7. den skladování. U vzorků s různou koncentrací kyselého kaseinu jsou si hodnoty  $G^*$  velmi podobné. Odchytky mezi hodnotami z 1. dne skladování jsou zaznamenány u vzorku s koncentrací kyselého kaseinu 0,25 %, kde jsou tyto hodnoty nižší v porovnání s ostatními vzorky, jejichž hodnoty jsou téměř stejné. Další odchytky jsou zřejmé u vzorků naměřených při frekvenci 100 Hz, což mohlo být způsobeno nepřesností měření. Z těchto výsledků můžeme tedy usoudit, že koncentrace kyselého kaseinu má vliv na tuhost výrobku. Rozhodující koncentrací, při které dochází ke zvyšování tuhosti tavených sýrových omáček je koncentrace 0,5 % kyselého kaseinu. Tuhost výrobku se však se vzrůstající koncentrací již dále nezvyšuje. Výsledky ze 7. dne skladování vykazují, stejně jako hodnoty naměřené 1. den skladování, zvýšení hodnot  $G^*$  u vzorku s koncentrací 0,5 % kyselého kaseinu. Hodnoty se však s dále zvyšující se koncentrací kyselého kaseinu (0,75 – 1 %) začaly opět snižovat na rozdíl od hodnot naměřených 1. den skladování, kde zůstávaly konstantní.

U vzorků tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného (tabulka 4) se hodnoty  $G^*$  naměřené 1. den skladování konstantně zvyšovaly se zvyšující se koncentrací kaseinátu sodného. Sedmý den skladování docházelo také ke zvyšování hodnot  $G^*$  spolu se zvyšující se koncentrací do obsahu 0,75 % této bílkoviny. U vzorku s koncentrací 1 % kaseinátu sodného došlo k náhlému snížení hodnot. Povrchově aktivní a stabilizační vlastnosti kaseinů jsou již dobře známy a kasein byl dlouho používán jako funkční složka při zpracování potravin. Kaseinát sodný je často používán pro výrobu gelů díky jeho dobrým vlastnostem vytvářet gel [51]. Toto tvrzení potvrzuje i skutečnost vycházející ze získaných výsledků, že kaseinát sodný vytvořil pevnější strukturu výrobku než kyselý kasein. Další studie uvádí, že s použitím kaseinových bílkovin se zvyšuje pevnost tavených sýrových výrobků ve srovnání s použitím například syrovátkových bílkovin, což také potvrzují výsledky našeho experimentu [55]. V jiné studii zase zjistili, že přidání syrovátkového koncentráту zvyšuje tvrdost tavených sýrových výrobků ve srovnání s produkty získanými výhradně z kyselého kaseinu [56].

Tabulka 5: Hodnoty tangenty úhlu fázového posunu  $\delta$  [Pa] při frekvenci 0,1, 1, 10 a 100 Hz pro I. řadu tavených sýrových omáček s obsahem kyselého kaseinu o různých koncentracích pro 1. a 7. den skladování

<b>I. ŘADA</b>				
<b>Den 1</b>				
<b>Koncentrace kyselého kaseinu</b>	<b>tang <math>\delta</math> 0,1 Hz</b> [-]	<b>tang <math>\delta</math> 1 Hz</b> [-]	<b>tang <math>\delta</math> 10 Hz</b> [-]	<b>tang <math>\delta</math> 100 Hz</b> [-]
<b>kontrola</b>	0,4304	0,3448	0,3331	0,1556
<b>KA 0,25 %</b>	0,4646	0,3788	0,3817	1,6736
<b>KA 0,5 %</b>	0,4443	0,3544	0,3378	0,2349
<b>KA 0,75 %</b>	0,4535	0,3770	0,3893	1,0799
<b>KA 1,0 %</b>	0,4476	0,3625	0,3682	0,7741
<b>Den 7</b>				
<b>Koncentrace kyselého kaseinu</b>	<b>tang <math>\delta</math> 0,1 Hz</b> [-]	<b>tang <math>\delta</math> 1 Hz</b> [-]	<b>tang <math>\delta</math> 10 Hz</b> [-]	<b>tang <math>\delta</math> 100 Hz</b> [-]
<b>kontrola</b>	0,3829	0,3067	0,3091	1,5422
<b>KA 0,25 %</b>	0,4091	0,3418	0,3652	1,3221
<b>KA 0,5 %</b>	0,3890	0,3232	0,3419	0,7376
<b>KA 0,75 %</b>	0,4064	0,3665	0,4201	2,4886
<b>KA 1,0 %</b>	0,3841	0,3502	0,4170	0,1392



Tabulka 6: Hodnoty tangentu úhlu fázového posunu  $\delta$  [Pa] při frekvenci 0,1, 1, 10 a 100 Hz pro II. řadu tavených sýrových omáček s obsahem kaseinátu sodného o různých koncentracích pro 1. a 7. den skladování

II. ŘADA				
Den 1				
Koncentrace kyselého kaseinu	tang $\delta$ 0,1 Hz [-]	tang $\delta$ 1 Hz [-]	tang $\delta$ 10 Hz [-]	tang $\delta$ 100 Hz [-]
kontrola	0,4304	0,3448	0,3331	0,1556
KS 0,25 %	2,1486	1,6206	0,8351	0,4520
KS 0,5 %	0,5304	0,4238	0,4393	5,3936
KS 0,75 %	0,5014	0,4129	0,4419	0,8696
KS 1,0 %	0,7272	0,3853	0,2061	0,4136
Den 7				
Koncentrace kyselého kaseinu	tang $\delta$ 0,1 Hz [-]	tang $\delta$ 1 Hz [-]	tang $\delta$ 10 Hz [-]	tang $\delta$ 100 Hz [-]
kontrola	0,3829	0,3067	0,3091	1,5422
KS 0,25 %	1,2904	1,7764	1,1251	0,9402
KS 0,5 %	0,4605	0,3958	0,4401	0,2305
KS 0,75 %	0,4487	0,3767	0,4247	1,4261
KS 1,0 %	0,8175	0,7126	0,7198	0,4899

V tabulce 5 a 6 jsou uvedeny výsledky tangentu úhlu fázového posunu  $\delta$  pro modelové vzorky tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu či kaseinátu sodného. Jestliže je tangens úhlu fázového posunu popisován jako míra tuhosti gelu, lze ze získaných výsledků vyčíst, že modelové vzorky s obsahem kyselého kaseinu mají hodnoty  $\tan \delta$  srovnatelné s kontrolním vzorkem a můžeme tedy říct, že kyselý kasein nemá významný vliv na tuhost tavených sýrových omáček [52]. Hodnoty  $\tan \delta$  se u vzorků s přidavkem kaseinátu sodného zvýšily s koncentrací 0,25 % přidaného kaseinátu sodného, s dále se zvyšující koncentrací hodnoty klesly. U vzorků s koncentrací 1 % kaseinátu sodného hodnota  $\tan \delta$  u některých frekvencí opět mírně vzrostla. Pokud je tangens úhlu fázového posunu větší než 0,1 struktura vzorků má charakter slabého gelu. Taková struktura je typická pro emulze, mezi které patří také tavené sýrové omáčky [53].

## ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá vlivem přídavku kaseinových bílkovin na viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček. Modelové vzorky s obsahem sušiny 30 % (w/w) a obsahem tuku v sušině 66 % (w/w) byly vyrobeny s přídavkem kyselého kaseinu, nebo kaseinátu sodného v koncentraci 0,25 %; 0,5 %; 0,75 % a 1 % (w/w). Byly sledovány změny především reologických vlastností v závislosti na koncentraci přidané bílkoviny.

Ze získaných výsledků a vyhodnocených dat dílčích analýz byly stanoveny následující závěry.

- Přídavky obou typů kaseinových bílkovin (kyselý kasein, kaseinát sodný) o koncentraci 0,25 %; 0,5 %; 0,75 % a 1 % (w/w) neměly vliv na obsah sušiny, ani na hodnoty pH všech modelových vzorků, což umožnilo provést vyhodnocení dalších dat.
- Stabilita všech modelových vzorků rostla se zvyšující se koncentrací kyselého kaseinu i kaseinátu sodného.
- Vliv přídavku kyselého kaseinu na viskozitu modelových vzorků prokázán nebyl, ale přítomnost kaseinátu sodného viskozitu tavených sýrových omáček do značné míry ovlivnila. Viskozita se zvyšovala se zvyšující se koncentrací kaseinátu sodného.
- Hodnoty elastického modulu pružnosti ( $G'$ ) byly po 24 hodinovém skladování u všech modelových vzorků vyšší než hodnoty ztrátového modulu pružnosti ( $G''$ ). Po sedmidenním skladování byly hodnoty ztrátového modulu pružnosti ( $G''$ ), u vzorku s obsahem 0,25 % kyselého kaseinu a vzorku s obsahem 0,25 % kaseinátu sodného, vyšší než hodnoty elastického modulu pružnosti ( $G'$ ).
- Komplexní modul pružnosti ( $G^*$ ) se zvýšil s přídavkem kyselého kaseinu v koncentraci 0,5 %. Dále pak se zvyšující se koncentrací kyselého kaseinu zůstávaly hodnoty  $G^*$  konstantní, nebo došlo k poklesu hodnot. S rostoucí koncentrací kaseinátu sodného (do koncentrace 0,75 %) docházelo k růstu komplexního modulu pružnosti, u koncentrace 1 % kaseinátu sodného došlo k poklesu hodnot.
- Přídavek kyselého kaseinu nemá vliv na hodnoty  $\tan \delta$ . Ke zvýšení tuhosti došlo u vzorku s přídavkem kaseinátu sodného v koncentraci 0,25 %, s dále rostoucí koncentrací se oproti tomuto vzorku tuhost snižovala.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ANONYM. Spotřeba mléka a mléčných výrobků (kg/rok) [tabulka]. In: *eagri* [online]. Ministerstvo zemědělství [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/613295/Komoditni\\_karta\\_Mleko\\_leden\\_2019.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/613295/Komoditni_karta_Mleko_leden_2019.pdf).
- [2] FU, W., NAKAMURA, T. Effects of starches on the mechanical properties and microstructure of processed cheeses with different types of casein network structures. *Food Hydrocolloids* [online]. 2018, 79, 587-595 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.12.001>.
- [3] SOŁOWIEJ, B., CHEUNG I. W. Y., LI-CHAN E. C. Y. Texture, rheology and meltability of processed cheese analogues prepared using rennet or acid casein with or without added whey proteins. *International Dairy Journal* [online]. 2014, 37(2), 87-94 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.03.003>.
- [4] TAMIME, A. Y. Processed cheese and analogues. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2011. *Society of Dairy Technology series*. ISBN 978-1-4051-8642-1.
- [5] ANONYM. Codex general standard for process(ed) cheese and spreadable process(ed) cheese [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: [https://dairyconsultant.co.uk/pdf/codex\\_specification\\_spreadable\\_processed\\_cheese.pdf](https://dairyconsultant.co.uk/pdf/codex_specification_spreadable_processed_cheese.pdf).
- [6] LEE, W. J., HA, H. K., LEE, M. R., et al. Classification and Functional Properties of Processed Cheese. *Journal of Agriculture and Life Science* [online]. Korea, 2013 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://doi.org/10.14397/jals.2013.47.6.219>.
- [7] PROW, L. A., METZGER, L. E. Melt Analysis of Process Cheese Spread or Product Using a Rapid Visco Analyzer. *Journal of Dairy Science* [online]. 2005, 88(4), 1277-1287 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72794-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72794-6).
- [8] CUNHA, C. R., DIAS, A. I., VIOTTO, W. H. Microstructure, texture, colour and sensory evaluation of a spreadable processed cheese analogue made with vegetable fat. *Food Research International* [online]. 2010, 43(3), 723-729 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.11.009>.
- [9] ČESKO. Vyhláška č. 397/2016 Sb., o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje, v platném znění.

- [10] BACHMANN, H. P. Cheese analogues: a review. *International Dairy Journal* [online]. 2001, 11(4-7), 505-515 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00073-5](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00073-5).
- [11] TALBOT-WALSH, G., KANNAR, D. a SELOMULYA, C. A review on technological parameters and recent advances in the fortification of processed cheese. *Trends in Food Science & Technology* [online]. 2018, 81, 193-202 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.023>.
- [12] KUBCOVÁ BERÁNKOVÁ, Mgr. J. Tavené sýry a pohled na zdravou výživu. *Informační centrum bezpečnosti potravin* [online]. Ministerstvo zemědělství, 2018 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.bezpecnostpotravin.cz/tavene-syry-a-pohled-na-zdravou-vyzivu.aspx>.
- [13] EL-MAHDI, L. D., SAAD, S. A., HASSAN, Z. M. R., AWAD, R. A. Starch and other stabilizers combinations asthickening agents in processed cheese sauce manufacture. *Journal of Food and Dairy Sciences* [online]. 2014, 5(11), 827-840 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.21608/jfds.2014.53237>.
- [14] SHALABY, S. M., MOHAMED, A. G., BAYOUMI, H. M. Preparation of a Novel Processed Cheese Sauce Flavored with Essential Oils. *International Journal of Dairy Science* [online]. 2017, 12(3), 161-169 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <http://doi.org/10.3923/ijds.2017.161.169>.
- [15] SALEK, R. N., VAŠINA, M., LAPČÍK, L., ČERNÍKOVÁ, M., LORENCOVÁ, E., LI, P. a BUŇKA, F. Evaluation of various emulsifying salts addition on selected properties of processed cheese sauce with the use of mechanical vibration damping and rheological methods. *LWT* [online]. 2019, 107, 178-184 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.022>.
- [16] CARIĆ, M., KALÁB, M. Processed cheese products [online]. In: *Fox P.F. (eds) Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. 1999, , 467-505 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2800-5\\_15](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2800-5_15).
- [17] BUŇKA, F. & BUŇKOVÁ, L. Úloha tavicích solí při výrobě tavených sýrů. *Potravinářská Revue*, 2009, č. 1, s. 13 – 16. ISSN 1801-9102.

- [18] ANONYM. Přidatné látky (aditiva). *Potraviny na pranýři* [online]. Státní zemědělská a potravinářská inspekce, 2019 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://www.szpi.gov.cz/clanek/pridatne-latky-aditiva.aspx>.
- [19] ŠUSTOVÁ, K., SÝKORA, V. *Mlékárenské technologie*. V Brně: Mendelova univerzita, 2013. ISBN 978-80-7375-704-5.
- [20] BUŇKA, F. *Mlékárenská technologie I*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013. ISBN 978-80-7454-254-1.
- [21] WUSIGALE, LIANG, L., LUO, Y. Casein and pectin: Structures, interactions, and applications. *Trends in Food Science & Technology* [online]. 2020, 97, 391-403 [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.027>.
- [22] ESKIN, N. A. M., SHAHIDI, F. *Biochemistry of foods*. Third edition. Amsterdam: *Academic Press, an imprint of Elsevier*, 2013. ISBN 978-0-12-242352-9.
- [23] FARRELL, H.M., MALIN, E.L., BROWN, E.M., QI, P.X. Casein micelle structure: What can be learned from milk synthesis and structural biology? *Current Opinion in Colloid & Interface Science* [online]. 2006, 11(2-3), 135-147 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2005.11.005>.
- [24] BYLUND G., 1995: Chapter 2. The chemistry of milk – Dairy processing handbook. Tetra Pak Processing Systems AB S–221 86 Lund, Sweden, 13 – 26 s.
- [25] PHILLIPS, G.O., WILLIAMS, P.A.. (2009). Handbook of Hydrocolloids (2nd Edition).(pp. 307-308 ). *Woodhead Publishing*. ISBN 978-1-84569-414-2.
- [26] RIZVI, S. S. H. (2010). Separation, Extraction and Concentration Processes in the Food, Beverage and Nutraceutical Industries. (pp. 355). *Woodhead Publishing*. ISBN 978-1-84569-645-0.
- [27] TAMIME A. Y.. (2009). Dairy Powders and Concentrated Products. (pp. 36). *John Wiley & Sons*. ISBN 978-1-4051-5764-3.
- [28] ZICARELLI, L., DI PALO, R., NAPOLANO, R., TONHATI, H., et al. Influence of  $\alpha$ S1-casein and  $\kappa$ -casein polymorphism on the curd yield of Italian Mediterranean buffalo (*Bubalus bubalis* L.) milk. *International Dairy Journal* [online]. 2020, 100 [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104559>.

- [29] YE, A., HEWITT, S. Phase structures impact the rheological properties of rennet-casein-based imitation cheese containing starch. *Food Hydrocolloids* [online]. 2009, 23(3), 867-873 [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.05.004>.
- [30] PISKA, I., ŠTĚTINA, J. Influence of cheese ripening and rate of cooling of the processed cheese mixture on rheological properties of processed cheese. *Journal of Food Engineering* [online]. 2004, 61(4), 551-555 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00217-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00217-6).
- [31] KAPOOR, R., METZGER, L. E., BISWAS, A. C., MUTHUKUMMARAPPAN, K. Effect of Natural Cheese Characteristics on Process Cheese Properties. *Journal of Dairy Science* [online]. 2007, 90(4), 1625-1634 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3168/jds.2006-746>.
- [32] SALEK, R. N., ČERNÍKOVÁ, M., MADĚROVÁ, S., LAPČÍK, L., BUŇKA, F. The effect of different composition of ternary mixtures of emulsifying salts on the consistency of processed cheese spreads manufactured from Swiss-type cheese with different degrees of maturity. *Journal of Dairy Science* [online]. 2016, 99(5), 3274-3287 [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10028>.
- [33] SÁDLÍKOVÁ, I., BUŇKA, F., BUDINSKÝ, P., VOLDÁNOVÁ, B., PAVLÍNEK, V., HOZA, I. The effect of selected phosphate emulsifying salts on viscoelastic properties of processed cheese. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2010, 43(8), 1220-1225 [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.04.012>.
- [34] SHIRASHOJI, N., AOYAGI, H., JAEGGI, J. J., LUCEY, J. A. Effect of tetrasodium pyrophosphate concentration and cooking time on the physicochemical properties of process cheese. *Journal of Dairy Science* [online]. 2016, 99(9), 6983-6994 [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10968>.
- [35] GRUMEZESCU, A. M. Biopolymers for food design. Waltham, MA: Elsevier, 2018. ISBN 978-0-12-811449-0.
- [36] ČESKO. Směrnice Rady 98/83/ES ze dne 3. listopadu 1998 o jakosti vody určené k lidské spotřebě, ve znění Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1882/2003.

- [37] IFIS. Dictionary of food science and technology. 2nd ed. *Wiley-Blackwell*, 2009. ISBN 978-1-4051-8740-4.
- [38] ARENDT, E., DAL BELLO, F. Gluten - Free Cereal Products and Beverages [online]. *Elsevier*, 2008 [cit. 2020-03-19]. ISBN 978-0-12-373739-7.
- [39] MCSWEENEY, P. Cheese: chemistry, physics and microbiology. *Boston, MA: Elsevier*, 2017. ISBN 978-0-12-417012-4.
- [40] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, Inc. (2014). ASHRAE Handbook - Refrigeration (I-P Edition).(pp. 33 - 13). *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE)*. ISBN 978-1-936504-71-8.
- [41] BUŇKA, F., ŠTĚTINA, J., HRABĚ, J. The effect of storage temperature and time on the consistency and color of sterilized processed cheese. *Eur Food Res Technol* 228, 223–229 (2008). <https://doi-org.proxy.k.utb.cz/10.1007/s00217-008-0926-7>.
- [42] CHEN, J., ROSENTHAL, A. (2015). Modifying Food Texture, Volume 1 - Novel Ingredients and Processing Techniques. (pp. 57). *Elsevier*. ISBN 978-1-78242-333-1.
- [43] HUNT, J. A., DALGLEISH, D. G. Adsorption behaviour of whey protein isolate and caseinate in soya oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids* [online]. 1994, 8(2), 175-187 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(09\)80042-8](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(09)80042-8).
- [44] DICKINSON, E., GOLDING, M. Rheology of Sodium Caseinate Stabilized Oil-in-Water Emulsions. *Journal of Colloid and Interface Science* [online]. 1997, 191(1), 166-176 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1006/jcis.1997.4939>.
- [45] DICKINSON, E., GOLDING, M., POVEY, M. J. W. Creaming and Flocculation of Oil-in-Water Emulsions Containing Sodium Caseinate. *Journal of Colloid and Interface Science* [online]. 1997, 185(2), 515-529 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1006/jcis.1996.4605>.
- [46] ČESKO. ČSN EN ISO 5534:2005, Sýry a tavené sýry – Stanovení obsahu celkové sušiny (Referenční metoda). Praha: Český normalizační institut.

- [47] NIKZADE, V., TEHRANI, M. M., SAADATMAND-TARZJAN, M. Optimization of low-cholesterol–low-fat mayonnaise formulation: Effect of using soy milk and some stabilizer by a mixture design approach. *Food Hydrocolloids* [online]. 2012, 28(2), 344-352 [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.023>.
- [48] KAPOOR, R., METZGER, L. E. Process Cheese: Scientific and Technological Aspects—A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 2008, 7(2), 194-214 [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1541-4337.2008.00040.x>.
- [49] GUNASEKARAN, S., MEHMET AK, M. Dynamic oscillatory shear testing of foods – selected applications. *Trends in Food Science & Technology*, 2000, vol. 11, p. 115–127. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)00058-3](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)00058-3).
- [50] PERRECHIL, F.A., CUNHA, R. L. Oil-in-water emulsions stabilized by sodium caseinate: Influence of pH, high-pressure homogenization and locust bean gum addition. *Journal of Food Engineering* [online]. 2010, 97(4), 441-448 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.041>.
- [51] DICKINSON, E. Structure formation in casein-based gels, foams, and emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* [online]. 2006, 288(1-3), 3-11 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.01.012>.
- [52] MASOTTI, F., CATTANEO, S., STUKNYTĚ, M., DE NONI, I. Status and developments in analogue cheese formulations and functionalities. *Trends in Food Science & Technology* [online]. 2018, 74, 158-169 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.016>.
- [53] MANDALA, I.G, SAVVAS, T. P., KOSTAROPOULOS, A. E. Xanthan and locust bean gum influence on the rheology and structure of a white model-sauce. *Journal of Food Engineering* [online]. 2004, 64(3), 335-342 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.10.018>.
- [54] WELLS, R. E., DENTON, R., MERRILL, E. W. Measurement of viscosity of biologic fluids by cone plate viscometer. *TRANSLATION RESEARCH The Journal of Laboratory and Clinical Medicine* [online]. 1961, , 646-656 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://doi.org/10.5555/uri:pii:0022214361900609>.



- [55] LEE, S. K., HUSS, M., KLOSTERMEYER, H., ANEMA, S. G. The effect of pre-denatured whey proteins on the textural and micro-structural properties of model processed cheese spreads. *International Dairy Journal* [online]. 2013, 32(2), 79-88 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.04.006>.
- [56] SZAFRAŃSKA, J. O., MUSZYŃSKI, S., SOŁOWIEJ, B. G. Effect of whey protein concentrate on physicochemical properties of acid casein processed cheese sauces obtained with coconut oil or anhydrous milk fat. *LWT* [online]. 2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109434>.
- [57] TALBOT-WALSH, G., KANNAR, D., SELOMULYA, C. PH effect on the physico-chemical, microstructural and sensorial properties of processed cheese manufactured with various starches. *LWT* [online]. 2019, 111, 414-422 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.036>.
- [58] SOŁOWIEJ, B. G., NASTAJ, M., SZAFRAŃSKA, J. O., MUSZYŃSKI, S., et al. Effect of emulsifying salts replacement with polymerised whey protein isolate on textural, rheological and melting properties of acid casein model processed cheeses. *International Dairy Journal* [online]. 2020, 105 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104694>.
- [59] CORREDIG, M. (2009). Dairy Derived Ingredients - Food and Nutraceutical Uses. (pp. 549-550). *Woodhead Publishing*. ISBN 978-1-84569-465-4.
- [60] MULVIHILL, D.M., MURPHY, P. C. Surface active and emulsifying properties of caseins/caseinates as influenced by state of aggregation. *International Dairy Journal* [online]. 1991, 1(1), 13-37 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0958-6946\(91\)90025-4](https://doi.org/10.1016/0958-6946(91)90025-4).

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

DAG	1,2-diacylglycerol
DSP	Hydrogenfosforečnan sodný
G'	Elastický modul pružnosti
G''	Ztrátový modul pružnosti
G*	Komplexní modul pružnosti
KA	Kyselý kasein
KS	Kaseinát sodný
MAG	1-monoacylglycerol
MSP	Dihydrogenfosforečnan sodný
TSP	Difosforečnan tetrasodný
POLY 68	Polyfosforečnan sodný

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: <i>Struktura kaseinové micely podle modelu založeném na tvorbě submicel [upraveno podle 24].....</i>	26
Obrázek 2: <i>Struktura kaseinové micely podle Holtova modelu [upraveno podle 23].....</i>	27
Obrázek 3: <i>Schéma získávání kaseinů [upraveno podle 38].....</i>	29
Obrázek 4: <i>Závislost hodnoty pH modelových vzorků tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu o různých koncentracích [0,25; 0,5; 0,75 a 1 % (w/w)] na době skladování.....</i>	49
Obrázek 5: <i>Závislost hodnoty pH modelových vzorků tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného o různých koncentracích [0,25; 0,5; 0,75 a 1 % (w/w)] na době skladování.....</i>	49
Obrázek 6: <i>Výsledky stanovení stability I. řady modelových vzorků tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu v závislosti na době skladování.....</i>	51
Obrázek 7: <i>Výsledky stanovení stability II. řady modelových vzorků tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného v závislosti na době skladování.....</i>	51
Obrázek 8: <i>Závislost viskozity (<math>\eta</math>) na frekvenci pro první řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu 1. den skladování.....</i>	53
Obrázek 9: <i>Závislost viskozity (<math>\eta</math>) na frekvenci pro první řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu 7. den skladování.....</i>	53
Obrázek 10: <i>Závislost viskozity (<math>\eta</math>) na frekvenci pro druhou řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného 1. den skladování.....</i>	54
Obrázek 11: <i>Závislost viskozity (<math>\eta</math>) na frekvenci pro druhou řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného 7. den skladování.....</i>	54
Obrázek 12: <i>Závislost elastického modulu pružnosti (<math>G'</math>) na frekvenci pro první řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu 1. den skladování.....</i>	56
Obrázek 13: <i>Závislost ztrátového modulu pružnosti (<math>G''</math>) na frekvenci pro první řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu 1. den skladování.....</i>	56
Obrázek 14: <i>Závislost elastického modulu pružnosti (<math>G'</math>) na frekvenci pro druhou řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného 1. den skladování.....</i>	57
Obrázek 15: <i>Závislost ztrátového modulu pružnosti (<math>G''</math>) na frekvenci pro druhou řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného 1. den skladování.....</i>	57
Obrázek 16: <i>Závislost elastického modulu pružnosti (<math>G'</math>) na frekvenci pro první řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu 7. den skladování.....</i>	59
Obrázek 17: <i>Závislost ztrátového modulu pružnosti (<math>G''</math>) na frekvenci pro první řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kyselého kaseinu 7. den skladování.....</i>	59
Obrázek 18: <i>Závislost elastického modulu pružnosti (<math>G'</math>) na frekvenci pro druhou řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného 7. den skladování.....</i>	60
Obrázek 19: <i>Závislost ztrátového modulu pružnosti (<math>G''</math>) na frekvenci pro druhou řadu tavených sýrových omáček s přidavkem kaseinátu sodného 7. den skladování.....</i>	60

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1. <i>Povolené složky jiné než sýry pro výrobu tavených sýrů a tavených sýrových výrobků</i> .....	13
Tabulka 2 <i>Přehled modelových vzorků</i> .....	42
Tabulka 3: <i>Hodnoty komplexního modulu pružnosti <math>G^*</math> [Pa] při frekvenci 0,1, 1, 10 a 100 Hz pro I. řadu tavených sýrových omáček s obsahem kyselého kaseinu o různých koncentracích pro 1. a 7. den skladování</i> .....	62
Tabulka 4: <i>Hodnoty komplexního modulu pružnosti <math>G^*</math> [Pa] při frekvenci 0,1, 1, 10 a 100 Hz pro II. řadu tavených sýrových omáček s obsahem kaseinátu sodného o různých koncentracích pro 1. a 7. den skladování</i> .....	62
Tabulka 5: <i>Hodnoty tangentu úhlu fázového posunu <math>\delta</math> [Pa] při frekvenci 0,1, 1, 10 a 100 Hz pro I. řadu tavených sýrových omáček s obsahem kyselého kaseinu o různých koncentracích pro 1. a 7. den skladování</i> .....	64
Tabulka 6: <i>Hodnoty tangentu úhlu fázového posunu <math>\delta</math> [Pa] při frekvenci 0,1, 1, 10 a 100 Hz pro II. řadu tavených sýrových omáček s obsahem kaseinátu sodného o různých koncentracích pro 1. a 7. den skladování</i> .....	65