

# **Vliv syrovátkových proteinů na viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček**

Bc. Nikola Bechná

---

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. Nikola Bechná**  
Osobní číslo: **T18253**  
Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Technologie potravin**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Vliv syrovátkových proteinů na viskoelastické vlastnosti tavených syrových omáček**

### Zásady pro vypracování

1. Tavené syrové omáčky a podobné produkty – charakteristika
2. Bílkoviny a jejich vliv na vlastnosti tavených syrových omáček
3. Tavené syrové omáčky a podobné produkty – reologické vlastnosti
4. Vyrobté vzorky tavených syrových omáček za přídavku syrovátkových bílkovin
5. Provedte vybrané analýzy
6. Vyhodnotte výsledky a zformulujte závěry

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] SHALABY, S.M., MOHAMED, A.G., BAYOUMI, H.M. 2017. Preparation of a novel processed cheese sauce flavored with essential oils. *International Journal of Dairy Science*, 12, 161-169.
- [2] DIMITRELI, G., THOMAREIS, A. S. 2009. Instrumental textural and viscoelastic properties of processed cheese as affected by emulsifying salts and in relation to its apparent viscosity. *International Journal of Food Properties*, 12, 261-275.
- [3] MLEKO, S., LUCEY, J.A. 2003. Production and properties of processed cheese with reduced lactose whey. *Milchwissenschaft*, 58, 9-10.
- [4] LEE, S.K., BUWALDA, R.J., EUSTON, S.R., FOEGEDING, E.A., MCKENNAN, A.B. 2003. Changes in the rheology and microstructure of processed cheese during cooking. *LWT. Food Science and Technology*, 36, 339-345.

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

### Prohlašuji,

- že jsem 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**

Hlavním cílem této diplomové práce bylo zkoumat a posoudit vliv přídavku syrovátkových proteinů na viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček. Na výrobu modelových vzorků byly použity přídavky syrovátkového koncentrátu a syrovátkového izolátu v koncentracích 1,0 % a 3,0 % (w/w). U modelových vzorků, kde byla i kontrolní skupina bez přídavku syrovátkových proteinů, byly 1., 7., 14., 30., a 40. den po výrobě sledovány změny hodnot pH. Po základní chemické analýze byl proveden test stability a reologických vlastností. Z výsledků lze vyvodit, že přídavek syrovátkových proteinů neměl vliv ani na hodnotu pH ani na obsah sušiny. Naopak bylo prokázáno ovlivnění stability a reologických vlastností modelových vzorků. Nejvýraznější změny byly pozorovány u 3,0 % (w/w) přídavku syrovátkového koncentrátu, kdy docházelo k zvyšování pevnosti a stability modelových vzorků.

Klíčová slova: tavená sýrová omáčka, viskoelastické vlastnosti, syrovátkové proteiny

## **ABSTRACT**

The main goal of this diploma thesis was to examine and assess the effect of the addition of whey proteins on the viscoelastic properties of processed cheese sauce. For the production of the model samples, were used whey concentrate and whey isolate in concentrations 1,0 % a 3,0 % (w/w). For these model samples (inter alia, there was also a control sample with no added whey proteins), the changes in pH values were visible on the 1st, 7th, 14th, 30th, and 40th day after the production. Therefore, basic chemical analysis a test of stability and rheological properties evaluation were performed. Based on our results it can be concluded that the addition of whey proteins did affect neither pH value nor the dry matter content values. On the contrary, the influence of added whey proteins on the stability and the monitored rheological properties of the model samples were proved. The most significant changes were observed with 3,0 % (w/w) addition of whey concentrate, which resulted in an increased of the elastic modulus and stability of the produced model samples.

Keywords: processed cheese sauce, viscoelastic properties, whey proteins

Na tomto místě bych chtěla velice poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Richardosovi Nikolaosovi Salekovi, Ph.D., za jeho odborné vedení, poskytnuté materiály, cenné rady, připomínky a především čas, který mi věnoval a pomohl mi tak se zpracováním této diplomové práce.

Dále bych také chtěla poděkovat mé rodině, za pevné nervy a veškerou podporu ve studiu. A paní laborantce Ing. et Ing. Ludmile Zálešákové a jejím kolegyním za pomoc při výrobě modelových vzorků.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>9</b>
<b>1 TAVENÉ SÝROVÉ OMÁČKY</b> .....	<b>10</b>
1.1 SUROVINY PRO VÝROBU TAVENÝCH SÝRŮ A TAVENÝCH SÝROVÝCH OMÁČEK .....	12
1.2 TECHNOLOGIE VÝROBY TAVENÝCH SÝROVÝCH OMÁČEK .....	14
1.3 POROVNÁNÍ SÝROVÝCH ANALOGŮ S TAVENÝMI SÝRY .....	17
<b>2 PROTEINY MLÉKA</b> .....	<b>18</b>
2.1 STRUKTURA PROTEINŮ .....	19
2.2 PROTEINY V MLÉCE .....	20
2.2.1 Syrovátkové bílkoviny .....	21
2.2.2 Kaseinové bílkoviny.....	25
<b>3 REOLOGICKÉ VLASTNOSTI</b> .....	<b>29</b>
3.1 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ REOLOGICKÉ VLASTNOSTI TAVENÝCH SÝROVÝCH OMÁČEK .....	30
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>34</b>
<b>4 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>35</b>
<b>5 MATERIÁL A METODY</b> .....	<b>36</b>
5.1 VÝROBA MODELOVÝCH VZORKŮ TAVENÝCH SÝROVÝCH OMÁČEK.....	36
5.2 CHEMICKÁ ANALÝZA .....	37
5.3 TEST STABILITY.....	38
5.4 DYNAMICKÁ OSCILAČNÍ REOMETRIE .....	39
<b>6 VÝSLEDKY A DISKUZE</b> .....	<b>41</b>
6.1 VYHODNOCENÍ CHEMICKÉ ANALÝZY .....	41
6.2 VYHODNOCENÍ TESTU STABILITY .....	43
6.3 VÝSLEDKY DYNAMICKÉ OSCILAČNÍ REOMETRIE .....	43
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>58</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>59</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>66</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>67</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>69</b>

## ÚVOD

Tavené sýry patří již několik let mezi oblíbené mléčné výrobky. U zákazníků jsou vyhledávány díky snadnému použití nebo díky rozmanitému výběru chutí, tvarů a konzistence. Od 70. let 20. století se na trhu začaly objevovat analogy tavených sýrů. Jsou to výrobky popsány jako imitace nebo náhražky tavených sýrů, u kterých byl přírodní sýr z části nebo zcela nahrazen levnější surovinou, většinou rostlinného původu. Technologie výroby tavených sýrů i tavených sýrových analogů je podobná, její největší rozdíl je v surovinové skladbě. Mezi tyto výrobky patří také tavená sýrová omáčka, kterou je možno zařadit mezi obě komodity.

V současné době neexistuje legislativní předpis, který by přesně upravoval definici těchto omáček, ani jak tyto omáčky vyrábět a jaké suroviny jsou povoleny při jejich výrobě.

Tavené sýrové omáčky můžeme charakterizovat jako emulze typu olej ve vodě, kde je olejová fáze stabilizovaná vrstvou proteinů. Oproti taveným sýrům se vyznačují vyšším obsahem vody a pH což může mít za následek vznik méně stabilní emulze a separace tukové tkáně. Proto často dochází k přidavku složek, jejichž úkolem je stabilizovat systém.

Tavené sýrové omáčky jsou na českém trhu minoritní komoditou. Jejich větší množství můžeme nalézt v zahraničí, například v Německu či USA. Využití tavených sýrových omáček je především v zařízeních s rychlým občerstvením, kde slouží jako zvýrazňovače chuti, omáčky k pokrmům nebo jako základ pro výrobu bešamelu, polévek či zálivek.

Cílem diplomové práce bylo sledovat vlastnosti tavených sýrových omáček s přidavkem syrovátkových proteinů. Problematika tavených sýrových omáček se v odborné literatuře vyskytuje zcela výjimečně a dosud nebyla publikována souhrnná studie, která by popisovala základní charakteristiku výrobků. Proto bylo toto téma zvolené v rámci diplomové práce.

Práce je rozdělena do šesti kapitol. První kapitola věnuje teorii, složení a technologii výroby tavených sýrových omáček. Další kapitola se věnuje proteinům (bílkovinám) mléka a jejich rozdělení. A nakonec jsou v teoretické části popsány faktory ovlivňující reologické vlastnosti tavených sýrů a tavených sýrových omáček. Druhá polovina (praktická část) diplomové práce je věnována popisu experimentu, vymezení cílů a v závěru se nacházejí výsledky práce a diskuze.



## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 TAVENÉ SÝROVÉ OMÁČKY

Výroba tavených sýrů je řazena k nejmladším oborům mlékařství, které se začalo provozovat před sto lety. Jejich výroba začala v Evropě pravděpodobně s cílem prodloužení trvanlivosti přírodních sýrů. Mezi další přednosti tavených sýrů patří možnost snížení nákladů na transport a skladování, produkce velké škály výrobků rozdílných v typu a intenzitě aroma, možnost použití různých obalových materiálů a tvarů nebo méně intenzivní jakostní změny probíhající během skladování [1, 2, 3].

Dle vyhlášky č. 397/2016 Sb. lze tavený sýr definovat jako sýr, který byl tepelně upraven za přítomnosti tavicích solí. Dále vyhláška dělí tavené sýry na nízkotučné, jejichž obsah tuku je v sušině nejvíce 30 % hmotnostních a vysokotučné, které obsahují nejméně 60 % hmotnostních tuku v sušině. Jako tavený sýrový výrobek je označen mléčný výrobek, který byl tepelně ošetřen tavením a obsahuje minimálně 5 % hmotnostních laktózy a sýr v něm tvoří minimálně 50 % hmotnostních sušiny tohoto výrobku. Mezi tavené sýrové výrobky můžeme zařadit i tavené sýrové omáčky. A jako tavený mléčný výrobek je označen výrobek, který byl tepelně ošetřen tavením a obsahuje minimálně 5 % hmotnostních laktózy [1, 8, 12].

Codex Alimentarius charakterizuje tavený sýr jako produkty vyráběné mletím, mícháním, tavením a emulgací za pomoci tepla a emulgačních činidel s použitím jednoho či více druhů sýrů s přidavkem nebo bez přidavku mléčné složky či jiných surovin. Pro účel aromatizace taveného sýra lze přidávat do směsi i nemléčné složky jako sůl, ocet a koření [69].

V literatuře lze najít i dělení tavených sýrů dle obsahu tuku v sušině (TVS), kdy jsou rozlišovány tavené sýry nízkotučné, které obsahují nejvíce 30 % (w/w) TVS, polotučné s obsahem 30 – 45 % (w/w) TVS, plnotučné s obsahem 45 – 55 % (w/w) TVS a vysokotučné s 60 – 70 % (w/w) TVS. Dle konzistence jsou tříděny tavené sýry na sýry s lomivou konzistencí, pevnou konzistencí, tavené sýry snadno roztíratelné nebo krémovité a husté. Dále je možné odlišit tavené sýry dle použitých surovin (přírodních sýrů) na druhově pojmenované a druhově nepojmenované [70].

Ve spojených státech jsou dle Code of Federal Regulation (CFR) tavené sýry děleny dle množství a druhu použité složky při výrobě do 4 skupin:

- pasteurized blended cheese (pasterované směsné sýry),

- processed cheese blocks (tavené sýry),
- processed cheese food (tavené sýrové výrobky),
- processed cheese spreads (tavené sýrové pomazánky) [71].

V posledních letech se výrobci zaměřují na výrobu levnějších alternativ tavených sýrů s širokou škálou funkčních vlastností, jako jsou změny textury a roztíratelnosti, které by mohly zvýšit uživatelskou a aplikaci tavených sýrů do dalších produktů. Týká se to tzv. analogů (imitací) tavených sýrů (processed cheese analoges). Jejich výroba začala před více než 40 lety ve Spojených státech amerických a k nám se jejich produkce dostala až v posledních letech. Codex Alimentarius popisuje analogy tavených sýrů jako produkty, které vypadají jako sýr, ale mléčný tuk v nich byl částečně nebo zcela nahrazen jinými tuky, převážně rostlinného původu [1, 12, 64, 68].

Díky náhradě mléčného tuku rostlinnými oleji výroba umožňuje produkci výrobků se sníženým obsahem tuku a zvýšeným obsahem nenasycených kyselin, čímž je redukován obsah nasycených mastných kyselin a cholesterolu. Ke snížení energetické hodnoty mohou být přidávány náhrady tuku na bázi hydrokoloidů, některé rostlinné gummy, modifikované škroby nebo různé druhy proteinů jako například syrovátkové bílkoviny [49, 72].

Hlavní předností analogů tavených sýrů je snížení nákladů na surovinu, kdy je relativně dražší mléčná bílkovina a tuk nahrazována levnějšími rostlinnými zdroji. K výrobě jsou používány především kaseináty, bílkoviny jiného než mléčného původu, tavicí soli, rostlinné oleje nebo látky určené k aromatizaci. Analogy tavených sýrů jsou systematicky děleny na mléčné, částečně mléčné nebo nemléčné výrobky. Ve Spojených státech jsou rozděleny do dvou kategorií, na analogový sýr se stejnou nutriční hodnotou jako tavený sýr (náhradní analog) a analogy s nižší nutriční hodnotou (tzv. imitace analogů) [49, 68, 71].

Využití analogy nachází především v provozovnách fast-foodu a kuchyních, kde jsou například součástí pizz, lasagní, paniny nebo dezertů [2].

V nedávných letech se na trhu začaly objevovat i tavené sýrové omáčky. Vzhledem k nedostatku definice legislativou mohou být tavené sýrové omáčky vyrobeny s použitím mnoha přísad, jako je například tavený sýr, přírodní sýr, sýrový prášek a další složky mléčného i nemléčného původu. Lze je charakterizovat jako komplexní systém obsahující bílkoviny, tuk, škrob a stabilizátory. Vyznačují se poměrně nízkým obsahem sušiny v rozmezí 18 až 24 % (w/w) a stejně jako tavený sýr jsou popsány jako stabilní emulze olej ve vodě. Tyto výrobky jsou využívány zejména v provozovnách rychlého občerstvení, jako

součástí masových či těstovinových pokrmů a dipů. Nalézt je můžeme na okolním trhu v mražené, sušené či polotekuté formě. Technologie výroby tavených sýrů, jejich analogů a tavených sýrových omáček je velmi podobná a jejich největší rozdíl je v surovinové skladbě [40, 48, 66, 67].

Pro tavené sýrové omáčky v současné době neexistuje legislativní standart nebo definice a proto může být k jejich přípravě využito mnoho přísad a technologických postupů.

Guinee at. al [2] je klasifikuje jako sýrové imitace nebo substituty, které částečně nebo zcela imitují nebo substituují klasické sýry, ve kterých je mléčný tuk nebo mléčná bílkovina částečně nebo zcela nahrazena nemléčnou složkou, zejména z rostlinného zdroje. Výhodou těchto produktů je, že jsou díky využití rostlinných tuků místo mléčných a nižší prodejní ceně kaseinů a kaseinátů mimo Evropskou Unii, oproti stejnému množství kaseinu v syrovém mléku, výrazně levnější než přírodní sýry [5, 2,14, 48].

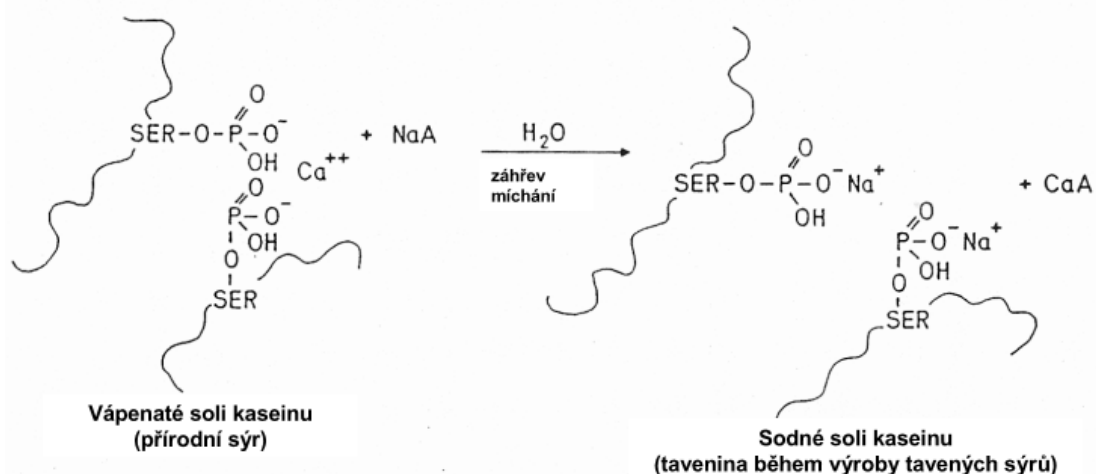
### **1.1 Suroviny pro výrobu tavených sýrů a tavených sýrových omáček**

Do základních a zároveň tradičních surovin na výrobu tavených sýrů patří přírodní sýr, tavicí soli a voda. Další suroviny použité na výrobu mohou být například tvaroh, máslo, nátavek (rework), přísady ovlivňující chuť a barvu, sušená syrovátka, sušené odstředěné mléko, kasein a kaseináty nebo látky na bázi polysacharidů. Analogy tavených sýrů jsou tvořeny kombinací proteinových zdrojů, tavicích solí, vody a tuků a olejů [1, 7, 12].

Přírodní sýr je definován jako mléčný výrobek vyrobený vysrážením mléčné bílkoviny z mléka působením syřidla nebo jiných koagulačních činidel s následným prokysáním a oddělením podílu syrovátky. Vhodný výběr přírodního sýra je důležitý pro výrobu tavených sýrů a souvisejících produktů, kdy je za důležité kritérium považováno stáří sýra, jeho chuť, pH, obsah kaseinu a vápníku. Tyto parametry ovlivňují výsledné funkční vlastnosti finálního produktu. V zahraničí je pro výrobu tavených sýrů používán například přírodní sýr typu Čedar, Mozzarella, Gouda nebo sýr Colby. V České republice je pro výrobu používána především Eidamská cihla a blok nebo Primátor a Moravský blok. K výrobě lze použít i sýry s různými vadami, obzvláště mechanickými, které by jinak nebylo možné uvádět do oběhu pro přímý prodej zákazníkům. Příkladem mohou být odřezky vznikající při porcování a krájení sýrů. Kromě mechanických vad to mohou být také odchylky v obsahu sušiny, případně tuku. Kvůli zajištění zdravotní nezávadnosti se ovšem nedoporučuje využívat sýry s mikrobiologickými vadami, zejména pokud by se jednalo o sporulující mikroorganismy, které dokáží přežít tavicí teploty a mohou

opětovně v sýru vyklíčit a znehodnotit ho. Kvůli možné produkci mykotoxinů jsou nebezpečné i suroviny kontaminované plísněmi [5, 6, 11, 18].

Mezi nejběžněji používané tavicí soli patří soli vícesytných aniontů (fosfáty, polyfosfáty a citráty) s monovalentními alkalickými kovy (sodík). Nejvíce jsou používané sodné soli fosforečnanů a v menším množství soli draselné, jejichž použití je omezené z důvodu možného vzniku hořké chuti taveného sýra. Sodné soli fosforečnanů váží větší množství vápníku, a proto jsou používány pro výrobu roztíratelných tavených sýrů, na rozdíl od citrátových solí, které mají menší schopnost vázat vápník z bílkovin a jsou využívány na výrobu sýrů s tužší lomivou konzistencí. Minoritně jsou využívány jako tavicí soli také monoacylglyceroly a diacylglyceroly. Jejich klíčovou úlohou je přichystat prostředí v tavené směsi tak, aby přítomné proteiny mohly uplatnit své přirozené vlastnosti emulgátorů. Dále zvyšují rozpustnost bílkovin, zamezují jejich srážení (jsou schopny vázat vápník ze sýra a v průběhu tavení nastává výměna  $\text{Ca}^{2+}$  iontů na  $\text{Na}^+$  ionty), emulgují mléčný tuk a upravují pH tavených sýrů. Bez jejich přídavku by byly nejprve rozrušeny membrány pokrývající povrch tukových kuliček, tukové kuličky by se shlukovaly do větších celků a vlivem nízkého pH a vysoké teploty by nastala agregace a kontrakce kaseinů, čímž by došlo k uvolnění vody, oddělení hydrofilní a hydrofobní fáze a tím vzniku heterogenní směsi [7, 8, 10].



Obrázek 1: Schématické vyjádření iontů sodíku za ionty vápníku při tavení přírodních sýrů (A - anion tavicí soli, SER - serinové zbytky [16])

Další možnou používanou surovinou je tvaroh, který je do směsi přidáván z důvodu zvýšení tukuprosté sušiny a snížení pH. Pro zvýšení obsahu tuku může být přidáváno také

máslo nebo ke zjemnění výrobku smetana. Dále může být přidáván tzv. rework, což je utavený sýr z předešlé výroby. Rework může vznikat cíleně pro výrobu taveného sýra, nebo se jím mohou stát tavené sýry, které byly původně určeny do tržní sítě, ale z důvodů nesprávného obsahu sušiny nebo tuku v sušině nebo nesprávně hmotnosti balení nebyly uvolněny na trh. Důvodem přidání reworku může být kromě ekonomických důvodů také dosažení jemnější konzistence, lepší tavitelnosti nebo vyšší závěrečné pevnosti výrobku. Základní surovinou je i pitná voda, která je přidávána pro úpravu sušiny. U sýrů s příchutí jsou přidávány přísady ovlivňující chuť a barvu jako je například zelenina, šunka, bylinky nebo houby. Ke zvýšení viskozity, zlepšení vazby vody a celkové dotvoření textury taveného sýra mohou být přidávány hydrokoloidy (karagenan, xantanová guma nebo guánová guma). U tavených sýrových analogů mohou být na konci výroby přidávány regulátory kyselosti jako je kyselina mléčná, fosforečná, citronová, jablečná nebo octová, které snižují pH výrobku z rozmezí 8,0 – 9,0 na nižší hodnoty typické pro tavené sýry, které mají pH kolem 6,0 – 6,6. Hodnoty se mohou lišit v závislosti na aplikaci finálního výrobku. Kromě antimikrobních účinků může, v případě použití správné koncentrace dle typu kyseliny, okyselení přispívat i ke zlepšení chuti. Nejpoužívanější kyselina citronová nebo mléčná je přidávána v koncentraci 0,2 – 1,0 % (w/w) [1, 2, 15, 19].

V současné době, kdy je cílem výrobců snižovat náklady na suroviny je velmi často nahrazováno část přírodních sýrů mléčnými koncentráty jako je sušené podmáslo, sušená syrovátka nebo sušené odstředěné mléko [2].

## 1.2 Technologie výroby tavených sýrových omáček

Technologie výroby tavených sýrových omáček se velmi neliší od technologie výroby tavených sýrů. Výroba je zahájena výběrem základních surovin, které zásadně ovlivňují vlastnosti a jakosti výsledného produktu. U poměru jednotlivých složek musí být brán v potaz požadovaný výsledný obsah sušiny a tuku v sušině, pH a texturní vlastnosti. Při použití mladých sýrů do výroby je kromě nižších úspor v nákladech na surovinu zajištěna vyšší vaznost vody a tužší konzistence výsledného produktu. Mezi jejich nevýhody, ale může být prázdnější chuť výrobku a možnost tvorby vzduchových bublin s nadměrným bobtnáním. Plné aroma a snadná tavitelnost je naopak získána při použití zralých sýrů. K jejich nevýhodám je řazena možnost tvorby příliš ostré chuti, nebezpečí nadměrně měkké a rozbředlé konzistence nebo snížená stabilita emulze. Proto je často používána směs přírodních sýrů o různém stupni zralosti [7, 10, 19].

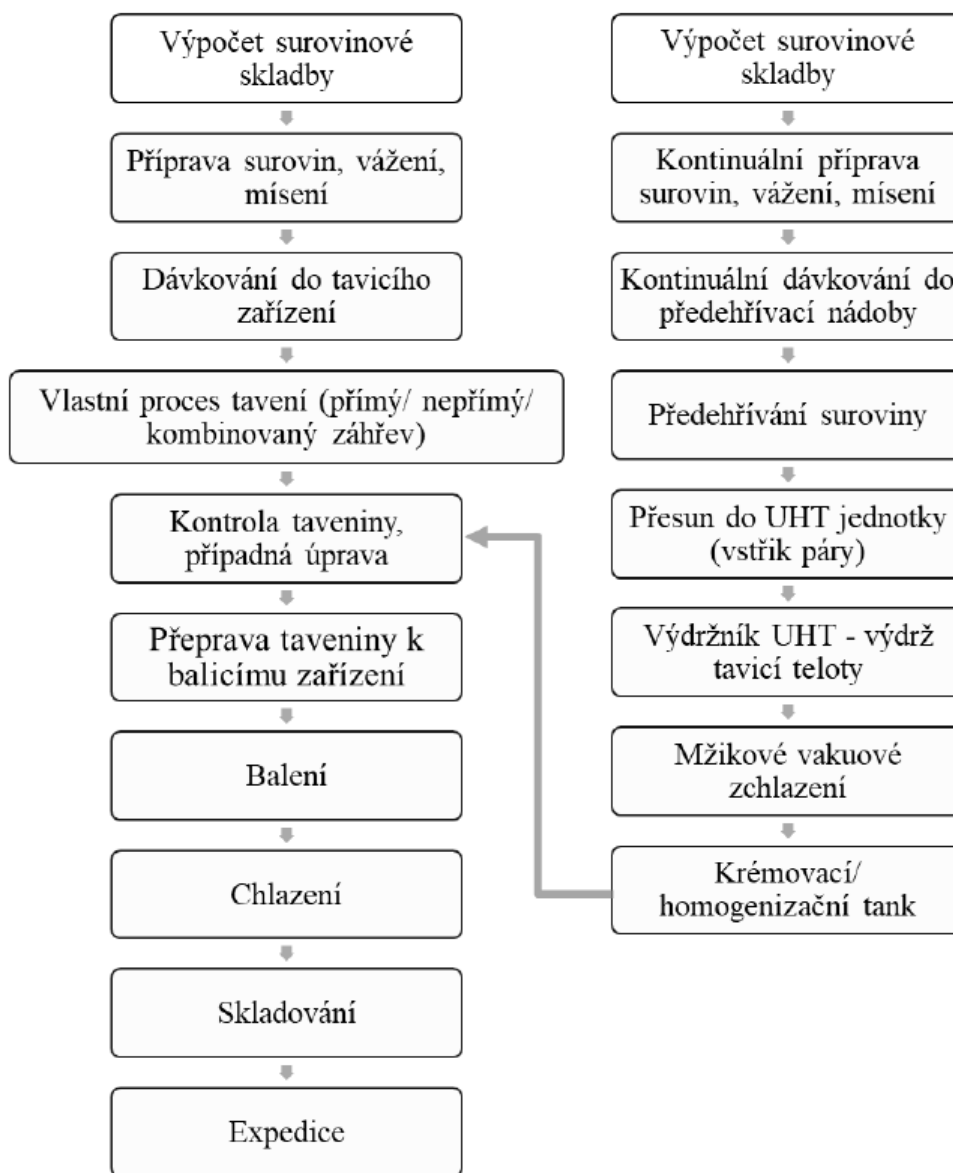
Vstupní suroviny jsou nejprve očištěny, nakrájeny nebo rozemlety a navázeny na potřebné množství. Následně jsou za přídavku tavicích solí nadávkovány do tavicího kotle. Tavení probíhá v několika fázích. Nejprve je připravena směs na tavení, přidají se tavicí soli a probíhá vlastní tavení směsi. Následně formování a tuhnutí taveniny. Důležitou podmínkou zajištění neporušení rovnováhy mezi jednotlivými složkami (uvolňování tuku, vody nebo vysrážení bílkovin) je přídavek tavicích solí. Ty jsou dle požadovaných vlastností sýra a charakteru suroviny přidávány v rozmezí 2 – 3 % hmotnosti surovinové skladby. V případě použití vyšších koncentrací by mohlo docházet ke vzniku nežádoucí konzistence sýra nebo vzniku hořké chuti. Při výrobě tavených sýrů a tavených sýrových omáček není většinou používána jen jedna tavicí sůl, ale směs několika tavicích solí. Přesné složení a míscí poměry komerčně prodávaných směsí jsou předmětem obchodního tajemství a výrobci zpravidla charakterizují tavicí soli pouze pomocí účinnosti výrobku ve výměně iontů, krémování a úprav pH [7, 10].

Proces tavení přichystané směsi může probíhat buď kontinuálním, nebo diskontinuálním procesem. V České republice je používána především diskontinuální výroba v tavicích kotlích, jako jsou například kotle typu Vögele a Stephan. Po nadávkování surovin je tavicí kotel uzavřen a začíná vlastní proces tavení, kdy dochází ke snížení tlaku v relativně krátkém čase a zvýšení teploty až na tzv. tavicí teplotu, které je udržována řádově po několik minut. Použitá teplota se pohybuje v intervalu od 80 do 120 °C, obvykle mezi 90 až 100 °C a doba tavení je od počátku záhřevu od 5 do 15 minut. Samotná doba výdrže tavicí teploty je 1 – 3 minuty. Ohřev je v tavicích kotlích zajištěn zpravidla přímým vstříkem páry do tavené směsi. Dále je kotel vybaven pláštěm, míchadlem s regulací a armaturou (vývěva), která vytváří v kotli podtlak 0,04 – 0,05 MPa a odsává pach a vzduch, který může tvořit bublinky [7, 9, 10,].

Na rozdíl od diskontinuálního procesu, který zajišťuje obvykle pouze pasterační efekt, kontinuální proces, za předpokladu následného aseptického balení, zajišťuje efekt sterilizační. Proces tavení je prováděn v antikoročních ocelových trubkách za použití teplot 130 – 145 °C po dobu 2 – 3 sekund. Vyšší teploty zajišťují usmrcení nežádoucí mikroflóry včetně sporů a tím zajišťují delší trvanlivost výrobku [3, 12].

Po procesu tavení následují dokončovací operace jako je fáze balení, chlazení, skladování a expedice. Způsob balení finálního produktu a volba obalového materiálu je volena výrobcem dle konzistence taveniny, požadovanou dobou trvanlivosti, přání zákazníka a dle požadované velikosti (hmotnosti) spotřebitelského obalu. Podmínky pro skladování,

expedici a uvádění na trh jsou řízeny platnými právními předpisy. Vyhláška č. 397/2016 Sb. udává, že podmínky skladování tavených sýrů určuje výrobce potravin, nestanovuje tedy přesnou teplotu skladování a uvádění na trh pro tavené sýry. Standardně je však používána teplota skladování 2 – 8 °C a doba minimální trvanlivosti se pohybuje mezi 2 – 6 měsíci [7, 8, 9].

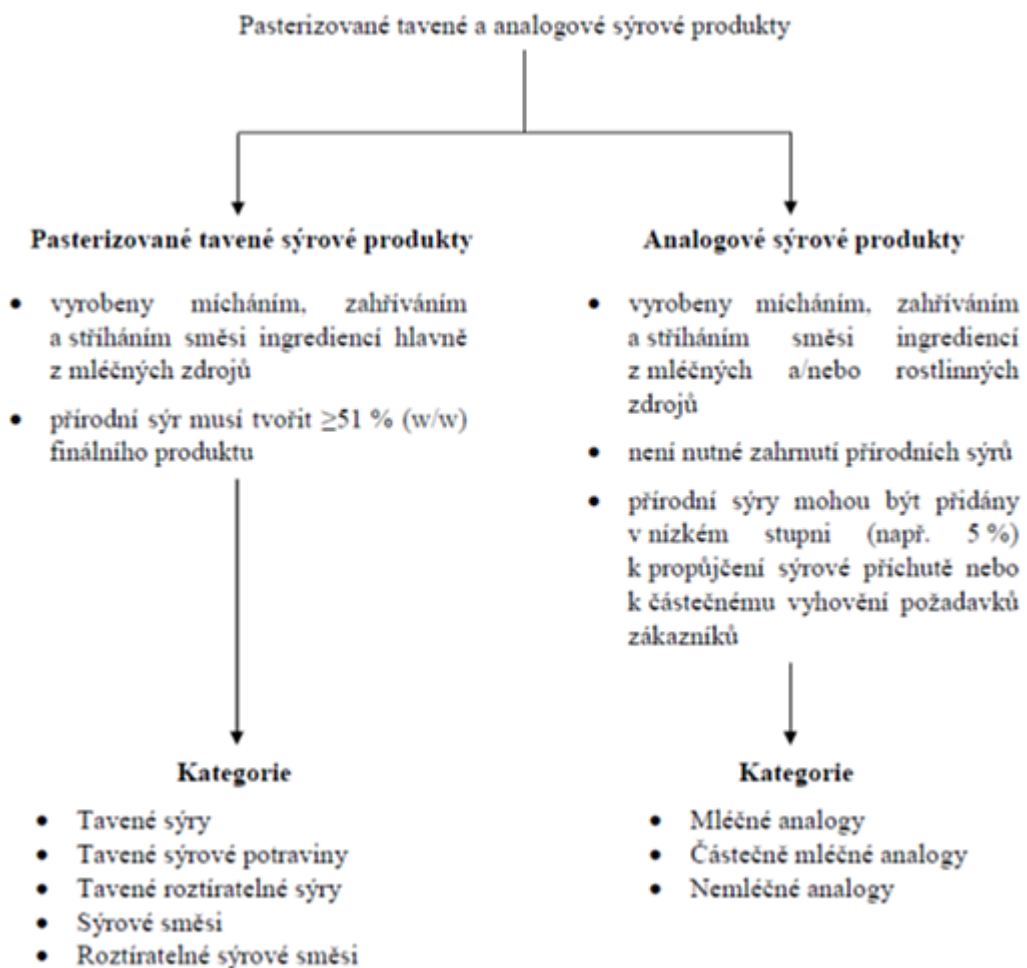


Obrázek. 2: Obecné schéma výroby tavených sýrů diskontinuálním a kontinuálním způsobem [19]



### 1.3 Porovnání sýrových analogů s tavenými sýry

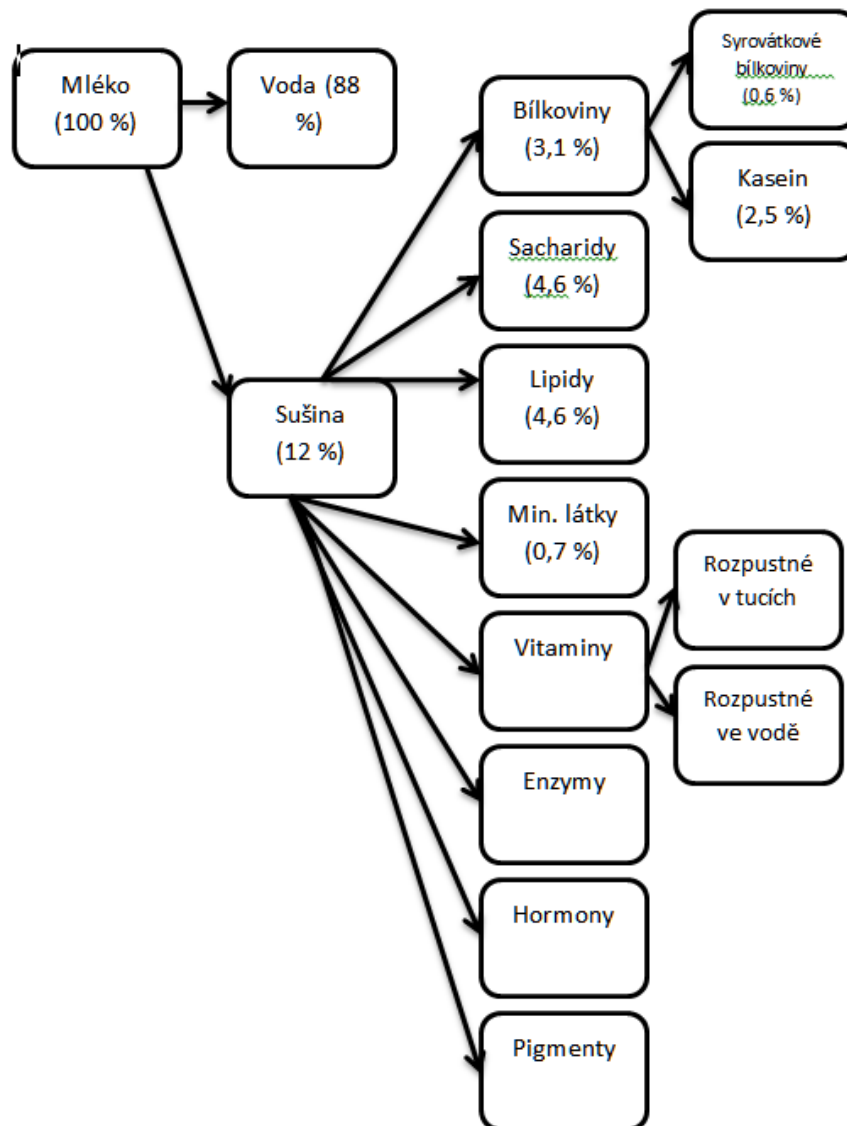
Sýrové analogy se od klasických tavených sýrů liší především ve svém složení. Základní suroviny na výrobu tavených sýrů jsou mléčný tuk, mléčné proteiny, laktosa a sýrový základ (přírodní sýr). Naopak do základních surovin pro výrobu sýrových analogů patří mléčné a/nebo rostlinné proteiny, mléčný tuk, rostlinné tuky a škroby. Klasické přírodní sýry jsou do sýrových analogů přidávány pouze jako příchutěová látka. Proces výroby klasických tavených sýrů a tavených sýrových analogů se nijak zvlášť neliší. U obou procesů jsou nejprve vybrány vhodné suroviny, ty jsou následně rozmělněny, míchány, zahřívány a taveny za přídavku tavicích solí a dalších přídatných látek a následně baleny za horka a chlazeny [12, 20].



Obrázek 3: Schéma zobecněné klasifikace tavených sýrů a sýrových analogů [20]

## 2 PROTEINY MLÉKA

Již od nepaměti je mléko jednou z nejzákladnějších potravin určených lidské výživě. Základní definice mléka uvedená v Codex Alimentarius popisuje mléko jako sekret mléčné žlázy zvířat produkujících mléko získané dojením, do kterého nebylo nic záměrně přidáno ani odebráno a je určeno pro přímou konzumaci v tekutém stavu, nebo je určeno pro další zpracování. Hlavní složku mléka 86 – 88 % (w/w) tvoří voda a 12 – 14 % (w/w) sušina. Sušina je dále dělena na tukuprostou sušinu a tuk v sušině. Do tukuprosté sušiny jsou řazeny zbylé složky jako laktóza, hormony, enzymy, vitamíny, minerální látky a nebílkovinné látky dusíkaté povahy. Obsah jednotlivých složek se liší dle druhu mléka a dalších faktorů jako je například stádium laktace, vliv sezóny, zdravotní stav nebo plemeno a stáří dojnice [17, 21]



Obrázek 4: Průměrné složení kravského mléka (v hm. %) [10]

## 2.1 Struktura proteinů

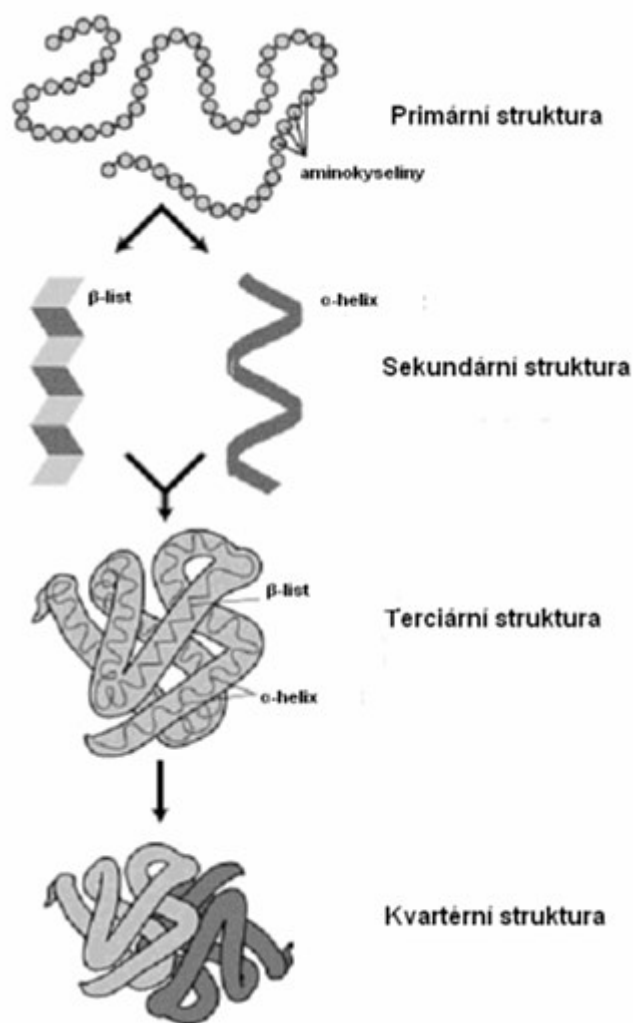
Proteiny (bílkoviny) se vyskytují ve čtyřech strukturách: primární, sekundární, terciální a kvartérní. Primární struktura je dána pořadím a počtem aminokyselin v polypeptidovém řetězci. Jedná se tedy o sekvenci aminokyselin, která se uvádí od N-konce k C-konci hlavního řetězce ve směru proteolýzy. Primární struktura kaseinových i sérových (syrovátkových) bílkovin je u jednotlivých druhů savců odlišná a změny primární struktury se označují jako genetický polymorfismus [21, 23].

Sekundární struktura vyjadřuje prostorové uspořádání (konformaci) molekul v polypeptidovém řetězci. Konformace je dána primární strukturou a je fixována ne vazebnými interakcemi funkčních skupin aminokyselin. Nejvýznamnějším typem sekundární struktury jsou helikální struktury, které mají tvar šroubovice a vznikají stočením řetězce nebo jeho části do helixu. Až na výjimky se v přírodě vyskytují jako pravotočivé. Základní sekundární struktury dělíme na:

- a) pravidelné ( $\alpha$ -helix,  $\beta$ -list)
- b) nepravidelné ( $\beta$ -ohyb)

Dle sekundární struktury jsou bílkoviny dále rozdělovány na globulární a fibrilární [10, 21, 23].

Jednotlivé úseky v řetězci bílkovin nejsou rovinné útvary, ale mohou být různě prohnuté, svinuté a navzájem propojené. K jejich popisu je používána terciální struktura, která určuje celou prostorovou konformaci polypeptidového řetězce a jeho postranních řetězců. Některé molekuly mohou tvořit kvartérní strukturu. Pokud nejsou tvořeny pouze jedním polypeptidovým řetězcem, ale několika identickými nebo odlišnými, pak tyto řetězce tvoří komplexní strukturu, tzv. kvartérní. Kvartérní strukturou se tedy rozumí počet a prostorové uspořádání podjednotek v molekule, vznikající vlivem kovalentních vazeb, především disulfidických a ne vazebných interakcí [10, 23, 24].



Obrázek 5: Struktura proteinů [24]

## 2.2 Proteiny v mléce

Proteiny mléka spoluurčují fyzikálně-chemické vlastnosti mléka i jeho nutriční hodnotu. Mléčný protein je složen z velkého množství proteinů s odlišnou molekulovou hmotností. Z větší části jsou proteiny mléka specifické produkty mléčné žlázy, které jsou syntetizovány sekrečními epiteliálními buňkami a vylučovány do mléka, do lumina alveolů. Aminokyseliny, jako substrát syntézy mléčného proteinu, přecházejí do mléčné žlázy z krve dojnice. Jejich transport je přes bazolaterální membránu usnadňován pomocí aminokyselinového transportu, který je závislý i nezávislý na sodíku. Některé proteiny jsou schopny přecházet z krevní plazmy. Aminokyseliny jsou v molekule proteinu vázány především peptidovou vazbou a na vytváření struktury se podílejí i vazby disulfidové, esterové a amidové [3, 17, 21].

Z celkového obsahu dusíkatých látek, které se v kravském mléce vyskytují v obsahu 3,3 – 3,6 % hmotnostních, připadá přibližně 90 – 95 rel. % celkového dusíku na tzv. čisté

bílkoviny. Mezi zbytek dusíkatých látek patří například močovina, kyselina močová, kreatin, amoniak, lipoproteiny, enzymy aj. Dle rozpustnosti při pH prostředí kolem 4,6, kdy je stanoven isoelektrický bod kaseinu při 30 °C, rozdělujeme bílkoviny mléka na nerozpustné kaseinové a rozpustné syrovátkové (sérové). Kaseinové bílkoviny tvoří přibližně 80 % čistých bílkovin a zbytek je tvořen syrovátkovými (20 %). V mléce jsou syrovátkové bílkoviny přítomny ve formě rozpustných látek, na rozdíl od kaseinů, které jsou v micelární podobě [9, 17, 21].

Význam mléčných bílkovin spočívá:

- v jejich nutriční hodnotě (zdroj esenciálních aminokyselin),
- ve fyziologické úloze, kterou vykonávají některé z proteinů mléka, jako imunoglobuliny, laktoferin, vitamíny vázící protein, biologicky aktivní peptidy aj.,
- a v technologických procesech. Například při výrobě sýrů a kysaných mléčných výrobků, kdy podminují správný vývoj technologických procesů, reologické vlastnosti a vazbu vody. Nebo při výrobě UHT, pasterovaných a sterilizovaných mléčných výrobků, kdy je důležitá tepelná stabilita mléčných proteinů [17, 21, 25].

### 2.2.1 Syrovátkové bílkoviny

Syrovátkové bílkoviny, neboli globulární, se v mléce vyskytují ve formě koloidního roztoku. Jsou snadno stravitelné a mají vysokou nutriční hodnotu (vyšší než frakce kaseinu). Z aminokyselin obsahují vysoký obsah cysteinu a tryptofanu, méně pak methioninu [6, 21].

Mezi syrovátkové bílkoviny řadíme především:

- $\alpha$ -laktalbumin (přibližně 25 % sérových bílkovin)
- $\beta$ -laktoglobulin (přibližně 50 % sérových bílkovin)
- sérový albumin
- imunoglobuliny
- laktoferin
- transferin
- proteózo-peptony

Syrovátkové bílkoviny se vyskytují ve třech formách koncentrované, izolované a hydrolyzované. Koncentrované proteiny mají nízký obsah cholesterolu a tuku, ale mají vyšší obsah bioaktivních látek a sacharidů (laktózy). Izolované proteiny neobsahují tuk a laktózu a mají nižší obsah bioaktivních látek. Nejlépe stravitelné jsou hydrolyzované proteiny, jejichž cena je ale poměrně vysoká [23].

Ke vzniku syrovátkových bílkovin dojde po vysrážení kaseinu při okyselení mléka na izoelektrický bod při pH 4,6. Jde o hydrofilní část mléčných bílkovin, které se přesouvají do roztoku. V nativní formě se tyto bílkoviny vyskytují v globulární konformaci, která se během tepelného ošetření mění. Dochází k její denaturaci, neboli k jejímu rozvinutí. Denaturace probíhá při teplotách kolem 60 – 70 °C. Díky rozbalení terciální struktury dochází k odkrytí funkčních skupin aminokyselin, hlavně thiolových, které můžou po tepelném ošetření vyvolávat vařivou chuť mléka [6, 21].

Frakce	Obsah v g.kg <sup>-1</sup> mléka	Charakteristika
α-laktalbumin	1,2	
β-laktoglobulin	3,2	Teplená denaturace, vazba na κ-kasein; zdroj thiolové skupiny pro chemické reakce
Imunoglobuliny	0,8	Antibakteriální účinky; aglutininy (slouží proti shlukování tukových kuliček, urychlení vyvstávání mléčného tuku v chladu)
Sérový albumin	0,4	
Proteoso-peptonová frakce	0,8	Heterogenní produkty hydrolýzy kaseinu, tepelně stabilní
Laktoferin	0,1	Váže Fe, inhibice některých sporotvorných bakterií
Transferin	0,1	

Obrázek 6: Přehled bílkovin mléčného séra skotu [6]

### 2.2.1.1 α-laktalbumin

Alfa-laktalbumin představuje zhruba 20 – 25 % sérových bílkovin a asi 4 – 5 % celkového proteinu kravského mléka. Je rozpustný ve vodě a slabých zásadách a kyselinách. Stejně

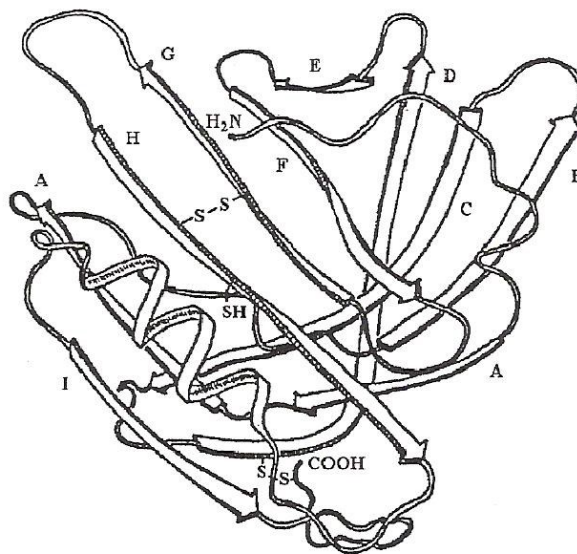
jako  $\beta$ -laktoglobulin je syntetizován v mléčné žláze. V genetické variantě B obsahuje 123 aminokyselin a jeho molekulová hmotnost je 14,2 kDa. Díky vysokému obsahu esenciálních aminokyselin jako cystin, tryptofan a lysin má vysokou biologickou hodnotu. Oproti  $\beta$ -laktoglobulinu je rozpustný ve vodě a je stabilnější proti působení tepla. V důsledku vázaného vápníku v molekule, který stabilizuje strukturu vůči tepelnému záhřevu je relativně stabilní a denaturuje až při teplotách nad 100 °C. Výjimka nastává v případě, že je pH sníženo pod 5,0, kdy dochází k protonizaci zbytků kyseliny asparagové a ztrátě vápenatého iontu a k denaturaci tím tak může dojít velmi snadno i při nižších teplotách [21, 61].

$\alpha$ -laktalbumin je součástí enzymatické soustavy, jejímž úkolem je syntéza laktózy a spolu s galaktosyltransferázou vytváří enzym laktázu. Mléka masožravců a všežravců obsahují, oproti mléku produkovanému býložravci (kráva), vyšší zastoupení tohoto syrovátkového proteinu. Proto jsou také tato mléka často označována jako mléka albuminová [21, 57, 62].

### 2.2.1.2 $\beta$ -laktoglobulin

Beta-laktoglobulin představuje zhruba 50 % sérových bílkovin a asi 10 % celkového proteinu kravského mléka. Je to globulární bílkovina, která přechází do mléka pravděpodobně z krve. Je nerozpustný ve vodě a zředěných kyselinách a jeho molekulová hmotnost je 18,3 kDa. Existuje 13 geneticky určených forem  $\beta$ -laktoglobulinu, z nichž se nejčastěji objevuje varianta A nebo B. V genetické variantě A obsahuje  $\beta$ -laktoglobulin řetězec 162 aminokyselin. Má vysokou nutriční hodnotu a z aminokyselin převažuje především lysin, valin a cystein [21, 58, 59]

V mléce se  $\beta$ -laktoglobulin přirozeně vyskytuje ve formě dimeru. Obě molekuly jsou spojeny díky hydrofobním interakcím, které se rozpadají až za účinku vysokých teplot. Při poklesu hodnot pH běžného mléka (pH  $\approx$  6,6) na hodnoty pH 3,5 až 5,5 se vytváří oktamery  $\beta$ -laktoglobulinu s molekulovou hmotností  $\approx$  144kDa. Při extrémních změnách hodnot pH pod 3,5 nebo nad 7,5 disociují struktury  $\beta$ -laktoglobulinu do monomerní formy. Při teplotě nad 70 °C nevratně denaturuje a maximální koagulace nastává při pH = 4,78 – 4,80. Denaturace je zahájena při teplotě 40 °C disociací dimerní struktury na monomery a následným rozštěpením disulfidických vazeb a přeměnou konformace polypeptidu.  $\beta$ -laktoglobulin je tvořen vazebnými místy pro minerály a vitamíny rozpustné v tucích a může být využit k zabudování lipofilních látek jako tokoferolu a vitamínu A do nízkotučných produktů [21, 58, 59, 61, 63].



Obrázek 7: Struktura  $\beta$ -laktoglobulinu kravského mléka [27]

### 2.2.1.3 *Imunoglobuliny*

Imunoglobuliny jsou minoritní, ale biologicky důležité proteiny mléka, tvořící množství do 3 % celkového obsahu proteinu. Vyšší množství imunoglobulinů se nachází v mlezivu (až 10 %). Zvýšený obsah tohoto proteinu v normálním mléku může být indikátorem zánětlivého onemocnění dojnice a vede ke zhoršení kysací schopnosti mléka. Imunoglobuliny jsou vysokomolekulární globulární glykoproteiny a mají heterogenní strukturu. Jde o několik proteinů, jejichž molekulová hmotnost je v závislosti na dané frakci 100 – 1000 kDa [6, 21].

Jejich hlavní funkcí je účast při přenosu imunitního systému z matky na mládě, prostřednictvím kolostra. Jsou také součástí antibakteriálního systému mléka a zpomalují růst kontaminující mikroflóry v mléce, které bylo čerstvě nadojené. U savců byly prokázány 4 třídy imunoglobulinů: IgG1, IgG2, IgA a IgM. Imunoglobulin A se vyskytuje především u člověka a primátů, v menším množství u přežvýkavců. U přežvýkavců jsou naopak ve větším množství imunoglobuliny G a M. Všechny výše zmíněné třídy imunoglobulinů nalezneme jako polymery i monomery. IgG je nejčastěji vyskytující se typ imunoglobulinu, který je přítomen v krvi i tkáňovém moku. Jako jediný isotop dokáže přecházet přes placentu a chránit tak plod před choroboplodnými zárodky. Je schopen vázat a ničit viry a bakterie. IgA imunoglobulin tvoří přibližně 15 až 20% celkových sérových imunoglobulinů. Jako protilátka pomáhá bojovat proti patogenům, které pronikly na vnější nebo i vnitřní povrch těla. IgM imunoglobulin je velká, těžko rozpustná molekula,



která se vyskytuje hlavně v krevním séru a tělních sekretech. Je to dobrý aktivátor komplementu, jeho aktivita se ale ruší zahřátím [6, 21, 61].

Imunoglobuliny jsou syntetizovány během imunitní odpovědi a vylučovány plasmatickými buňkami, diferencovanými B-lymfocyty. Jejich molekula má tvar písmene Y a je složena ze dvou identických lehkých řetězců a ze dvou těžkých řetězců, které jsou navzájem propojeny pomocí disulfidových můstků. Část řetězce směrem k N-konci je nazývána jako variabilní oblast a úsek řetězce směrem k C-konci jako oblast konstantní. Součástí molekuly jsou dvě identická reaktivní místa určená pro napojení specifického antigenu, který je do tohoto vazebného místa zapojený celý nebo jen jeho část [6, 21, 61, 62].

#### **2.2.1.4 Laktoferin**

Laktoferin je syrovátková bílkovina schopná vázat železité ionty. Běžně se vyskytuje nejen v mlezivu a mléce, ale také v sekretech různých mukózních tkáních a v nepatrném množství v séru. Má vysoce vypracovanou sekundární a terciální strukturu s molekulovou hmotností 80 kDa. Je součástí antioxidantního systému mléka, zlepšuje parametry obranyschopnosti, má protirakovinné a bakteriostatické účinky. Zvyšuje fagocytózu a řídí vypouštění prozánětlivých cytokinů. V žaludku je metabolizován na laktoferricin [21, 60, 61, 73].

#### **2.2.1.5 Sérum albumin**

Sérový albumin tvoří přibližně 1 % celkového proteinu kravského mléka a v mléce krav je obsažen přibližně v množství 0,24 až 0,60 g/l. Jeho molekulová hmotnost je 66 kDa a je tvořen řetězcem 582 aminokyselin. Jeho zvýšené hladiny se vyskytují při zánětlivých onemocněních. Po imunologické i fyzikální stránce je stejný s krevním sérovým albuminem. Molekula má eliptický tvar a obsahuje 17 thiolových vazeb [21, 60].

### **2.2.2 Kaseinové bílkoviny**

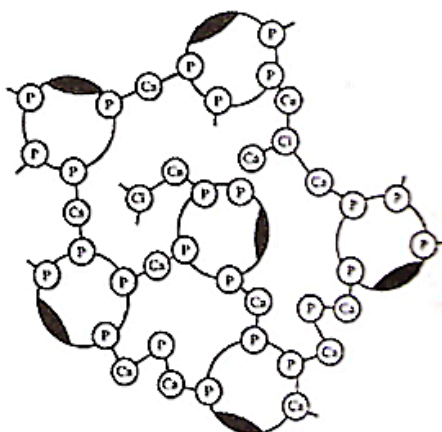
Kasein, jako hlavní bílkovina mléka, je ze strukturního hlediska komplex fosfoproteinů. Je složen z několika frakcí, které se navzájem liší strukturou. Obsah kaseinu v mléce z krav je 26 – 37 g.l<sup>-1</sup> a v kozím mléku je tato hodnota nižší 22 – 28 g.l<sup>-1</sup>. K základním frakcím kaseinového komplexu řadíme následující čtyři proteiny:

- $\alpha_{s1}$ -kasein (přibližně 38 – 42 % kaseinových bílkovin)
- $\alpha_{s2}$ -kasein (přibližně 9 – 11 % kaseinových bílkovin)

- $\beta$ -kasein (přibližně 32 – 35 % kaseinových bílkovin)
- $\kappa$ -kasein (přibližně 10 – 15 % kaseinových bílkovin)

V literatuře se také objevují tzv.  $\gamma$ -kaseiny, které jsou proteolytickými štěpy  $\beta$ -kaseinu a nepatří tak mezi základní frakce (cca 4% čistých bílkovin). Všechny kaseinové frakce jsou schopny vázat na svůj povrch vápník, jehož obsah přímo závisí na množství fosfoproteinových zbytků v molekule. Z tohoto důvodu kapacita vazby jednotlivých kaseinů postupně klesá od  $\alpha$ s2-kaseinu, po  $\alpha$ s1-kasein,  $\beta$ -kasein až po  $\kappa$ -kasein [24, 25].

Kaseiny jsou v mléce agregovány do kaseinových komplexů a micel. K této agregaci molekul kaseinů do sférických částic (micel) dochází při teplotách nad 5 °C. Nejprve jsou molekuly kaseinů uspořádány do tzv. submicel, které mají tvar rotačního elipsoidu. Do centra submicely jsou orientovány nepolární části molekul, kde jsou uplatňovány hydrofobní interakce. Polární části molekul kaseinů, jako fosfoserinové zbytky  $\alpha$ s-kaseinu a  $\beta$ -kaseinu a threoninový zbytek s vázanými oligosacharidy v molekule  $\kappa$ -kaseinu, interagují s vápenatými ionty a vodou. Následně se prostřednictvím fosfátových (fosfoserinových) skupin  $\alpha$ s-kaseinu a  $\beta$ -kaseinu a vápenatých iontů jednotlivé submicely vzájemně spojují do micel. Micela kravského mléka obsahuje asi 20 000 molekul kaseinů, přičemž micelu tvoří zhruba z 93 % kaseiny, 3% hmotnosti jsou  $\text{Ca}^{2+}$  ionty, 3 % tvoří anorganický (volný) fosfát, 2 % fosfát vázaný jako fosfoserin, 0,4 % citrát a 0,5 % Na, K a Mg ionty. Kasein má vysoký obsah aminokyseliny lysinu, méně má naopak cysteinu a tryptofanu [17, 22, 24].



Obrázek 8: Vzájemné spojení submicel prostřednictvím fosfátů (P),

vápenatých iontu (Ca) a citrátu (Ci) [26]

### 2.2.2.1 $\alpha_s$ -kaseiny

Hlavní součást kaseinové frakce tvoří  $\alpha_s$ -kaseiny. Při teplotě 20 °C se sráží roztokem chloridu vápenatého ( $\text{CaCl}_2$ ) a mají nejvyšší obsah fosforu. V mléce se vyskytují dva druhy fosfoproteinů  $\alpha_{s1}$ -kasein a  $\alpha_{s2}$ -kasein, které se od  $\kappa$ -kaseinu liší výrazným sklonem k tvoření sraženin za přítomnosti vápenatých iontů [24].

$\alpha_{s1}$ -kasein se vyskytuje v osmi genetických variantách, A až H. V kravském mléce je nejvíce zastoupena frakce B, která je u skotu pseudodominantní. Primární struktura  $\alpha_{s1}$ -kaseinu ve variantě B je složena ze 199 aminokyselin a její molekulová hmotnost je 23,6 kDa. Molekula obsahuje osm fosfoserinových zbytků, které jsou vázány na aminokyselinu serin. Většina vázané kyseliny fosforečné se nachází mezi 40. a 80. aminokyselinou. V této kyselé oblasti  $\alpha_{s1}$ -kaseinu, která je zodpovědná za velmi pevnou vazbu s vápníkem a fosforem, je kasein hydrofilní (více než  $\beta$ -kasein). Ostatní části se označují jako hydrofobní. Díky vysokému obsahu vázané kyseliny fosforečné je  $\alpha_{s1}$ -kasein citlivý k vápenatým iontům, kdy v jejich přítomnosti dochází k vysrážení kaseinu (vytvoření nerozpustné soli). Přičemž frakce  $\alpha_{s1}$ -kaseinu je ve srovnání se 4 základními frakcemi nejvíce citlivá vůči vápenatým iontům. Část molekuly  $\alpha_{s1}$ -kaseinu se vyskytuje v jednodušších sekundárních a terciálních strukturách [9, 21, 57].

Primární struktura  $\alpha_{s2}$ -kaseinu je složena z 207 aminokyselin. Obsahuje 11 fosfoserinových a 10 prolinových zbytků. Zbytky kyseliny fosforečné, které jsou estericky vázané na aminokyselinu serin se nachází mezi 1. a 20. aminokyselinou a mezi 50. a 70. aminokyselinou v peptidickém řetězci. Z toho plyne, že tato má kaseinová frakce dva hydrofilní a dva hydrofobní segmenty.  $\alpha_{s2}$ -kasein obsahuje nejvyšší podíl fosforu z ostatních frakcí a má také nejvyšší hydrofilnost. Je méně citlivý na přítomnost vápenatých iontů než  $\alpha_{s1}$ -kasein, přesto se však v jeho přítomnosti sráží. Jeho molekulová hmotnost je 24,0 kDa [9, 12, 21, 57].

### 2.2.2.2 $\beta$ -kasein

Frakce  $\beta$ -kaseinu obsahuje 209 aminokyselin s molekulovou hmotností 23,6 kDa. Většina fosfoserinových zbytků je lokalizována v polohách 1. až 20. aminokyseliny, kde vykazuje  $\beta$ -kasein hydrofilní povahu. Ze 4 základních kaseinových frakcí se jedná o nejvíce hydrofilní kasein. Při teplotách nad 20 °C tvoří  $\beta$ -kasein nerozpustnou sůl, sráží se. Výjimkou jsou teploty pod 1 °C, kdy s vápenatými ionty tvoří rozpustné soli. Působením proteolytických enzymů vznikají z  $\beta$ -kaseinu proteolytické štěpy, které se označují jako  $\gamma$ -

kaseiny.  $\gamma_1$ -kasein je frakce obsahující aminokyseliny 29 – 209 s molekulovou hmotností 20,5 kDa.  $\gamma_2$ -kasein je frakce obsahující aminokyseliny 106 – 209 s molekulovou hmotností 11,8 kDa a  $\gamma_3$ -kasein je frakce obsahující aminokyseliny 108 – 209 s molekulovou hmotností 11,6 kDa. Během sladkého i kyselého srážení zůstávají  $\gamma$ -kaseiny díky jejich hydrofilní povaze ve sraženině. Zbylá část  $\beta$ -kaseinu po odštěpení  $\gamma$ -kaseinů, je označována jako proteoso-pepton [9, 12, 21].

### 2.2.2.3 $\kappa$ -kasein

$\kappa$ -kasein je protein, který představuje 10-12 % celkového kaseinu.  $\kappa$ -kasein se vyskytuje v 11 genetických variantách. Ve variantě B obsahuje 169 aminokyselin s molekulovou hmotností 19,0 kDa. Na rozdíl od ostatních kaseinových frakcí je  $\kappa$ -kasein glykoprotein a obsahuje pouze 1 fosfoserinový zbytek. Tato skutečnost je považována za hlavní příčinu toho, že se  $\kappa$ -kasein v přítomnosti vápenatých iontů nesráží. V skutečnosti se  $\kappa$ -kasein chová jako tzv. ochranný koloid, který chrání ostatní frakce v micelách před jejich vysrážením s vápenatými ionty. Molekuly  $\kappa$ -kaseinu se vyskytují jako oligomery, které jsou pospojované pomocí disulfidických můstků. Sacharidická složka v  $\kappa$ -kaseinu je vázána glykosidickou vazbou na aminokyselinu treonin v poloze 131., 133. nebo 135. aminokyseliny. Sacharidická složka je tvořena D-galaktopyranosou, N-acetyl-D-galaktosaminem (vazebný sacharid) nebo N-acetylneuraminovou kyselinou společně s galaktózou. V kravském mléce je sacharidická složka trisacharidem nebo tetrasacharidem, který je složený z výše zmíněných sacharidů a jejich derivátů [9, 21, 54].

K významným místům v molekule  $\kappa$ -kaseinu patří aminokyseliny fenylalanin a metionin v polohách 105 a 106, mezi kterými je štěpena peptidová vazba za působení syřidla (enzymu chymosinu). Tato reakce je důležitá při procesu tzv. sladkého srážení mléka. V první části vzniká hydrofobní para- $\kappa$ -kasein (segment 1-105), který zůstává ve sraženině (sýřenině). A dále vzniká hydrofilní  $\kappa$ -kaseinmakropeptid (segment 106 – 169), který obsahuje sacharidickou složku a uniká do syrovátky [9, 12, 21,].

### 3 REOLOGICKÉ VLASTNOSTI

Reologie je, v doslovném řeckém překladu, věda o toku. Věnuje se studiu proudění a deformací látek a pokouší se definovat vztah mezi napětím působícím na daný materiál a výslednou deformací nebo tokem, ke kterému dochází. Reologické vlastnosti jsou stanoveny měřením síly a deformací jako funkce času. Vlastnosti tvaru a toku mají vliv na způsob výroby, skladování a přepravy finálního produktu. A také hrají úlohu v hodnocení kvality výrobku. Nejdůležitější reologické vlastnosti u tavených sýrových omáček jsou viskozita a elasticita, které mají vliv na jejich senzorické vlastnosti [22].

Viskozita stanovuje odpor materiálu vůči působení vnější síly. Je definována Newtonovým zákonem vztahu smykového napětí  $\tau$  a rychlostí smykové deformace  $\dot{\gamma}$ . Deformace, vzniká působením síly na těleso, které následně mění svůj tvar. Zatížením se protahuje a působením kroutícího momentu nastává deformace nebo smyk vyvolaný posuvem jedné vrstvy po druhé díky smykovému napětí. Síla vyvolávající deformaci, je napětí kolmé nebo tečné a vztahuje se na jednotku plochy. V případě, že se látka po ukončení působení napětí vrátí do původního stavu, hovoříme o deformaci elastické. Pokud zůstane ve změněném stavu, do kterého byla působením sil přivedena, jedná o deformaci trvalou [22, 32].

Elastická látka má definovaný tvar a deformací pomocí vnější síly přechází do nového rovnovážného stavu. Po odstranění této vnější síly, se její tvar vrací do původního stavu, oproti viskózní látce, která se deformací rozptýlí. Ideální elastická ani viskózní látka neexistují. Tavené sýrové omáčky (tavené sýry a sýrové analogy) se řadí mezi viskoelastické látky, které splňují vlastnosti elastických i viskózních materiálů. U viskoelastického materiálu je část vložené mechanické energie při harmonickém namáhání využita k odlehčení tohoto materiálu, zbytek je rozptýlen a nevratně přeměněn. Napětí předbíhá poměrnou deformaci, přičemž fázový posun mezi těmito dvěma veličinami leží v intervalu  $\delta = (0, \pi/2)$ . V reologii tavených sýrových omáček míru elasticity vyjadřuje elastický modul pružnosti  $G'$  a míru viskozity ztrátový modul pružnosti  $G''$  [22, 32, 33].

K měření reologických vlastností viskoelastických látek je využíváno různých geometrií např. kužel – deska, deska – deska a válec – válec, pro tekuté materiály. Pro tavené sýrové omáčky je používána dynamická oscilační reometrie s geometrií deska – deska, kdy jedna z nich osciluje - vyvolává harmonický průběh smykového namáhání vzorku.

Odezvou je harmonický průběh smykové deformace, která je vlivem nevratné deformace způsobené viskozitní složkou reologického chování posunuta o fázový úhel  $\delta$ . Velikost úhlu fázového posunu udává míru viskoelastičnosti materiálu. Ideální elastický materiál má hodnotu  $\delta = 0^\circ$  a ideálně viskózní materiál má  $\delta = 90^\circ$ . V případě, že  $\delta = 1$  platí, že materiál je stejně tak kapalinou jako pevnou látkou. Hodnota  $\tan \delta$  charakterizuje chování daného vzorku materiálu. Pokud je  $\tan \delta < 1$  chová se materiál více jako pevná látka, a v případě, že je  $\tan \delta > 1$  chová se více jako kapalina. Celkový odpor vzorku proti deformaci vyjadřuje komplexní modul pružnosti ve smyku  $G^*$  [32, 33].

### 3.1 Faktory ovlivňující reologické vlastnosti tavených sýrových omáček

Na reologické vlastnosti tavených sýrů a tím i tavených sýrových omáček má vliv složení surovinové směsi, jako je např. vliv obsahu sušiny/vlhkosti, složení tavicích solí a jejich koncentrace, obsah tuku a proteinů, prozrálost přírodního sýra, koncentrace iontů vápníků a fosfátů, vliv hodnoty pH taveniny nebo použití hydrokoloidů. Kromě surovinové skladby reologické vlastnosti ovlivňuje samotná výroba, použitá technologie a způsob skladování výrobku. Všechny tyto faktory se navzájem ovlivňují, ať už jsou mezi nimi synergické či antagonistické účinky a nepůsobí odděleně ale současně [30, 34, 39].

Strukturu a chuť výsledného taveného sýra výrazně ovlivňuje množství, stáří a složení přírodního sýra. Při výrobě je používán jeden či více druhů sýra v různém stupni zrání. U jeho výběru je nutné brát v úvahu jeho chuť, celkovou konzistenci, obsah vápníku, pH a množství intaktního kaseinu. V průběhu procesu zrání přírodních sýrů je bílkovinná složka hydrolyzována na peptidy a volné aminokyseliny. A činností enzymů zákysových i nezákysových bakterií mléčného kvašení dochází k proteolýze kaseinu. Poměr zhydrolyzovaného a intaktního (nerozštěpeného) kaseinu je důležitý parametr ovlivňující konzistenci tavených sýrů. Při použití vyzrálějšího sýra získáme jemnější a roztíratelnější konzistenci. Výrobek má plnější chuť a směs je lépe tavitelná. Použitím méně uzrálého sýra naopak získáme pevnější a pružnější strukturu. Sýr se ale hůře taví a je zde možnost vzniku gumovitého produktu s prázdnější chutí [7, 12, 49].

Vlastnosti tavených sýrových omáček lze ovlivnit i například přidáním tvarohu, pro upravení sušiny nebo přidávkem másla ke zvýšení obsahu tuku. Pro úpravu konzistence můžou být do směsi přidávány hydrokoloidy, které zlepšují vaznost vody a zamezují jejímu uvolňování během skladování. Hydrokoloidy se díky dlouhému řetězci hydroxylových skupin řadí mezi sloučeniny schopné vytvářet viskózní roztoky, pseudogely nebo gely ve

vodě. Hydrokoloidy mohou být sacharidického nebo proteinového typu, karagenany, nativní či modifikované škroby nebo různě esterifikované pektiny. Jejich výběr do surovinové skladby je volen dle rozpustnosti, hydratačního chování, slučitelnosti s mléčnými proteiny, dle hydratačního chování a optimálního rozmezí pH [7, 16, 28, 50].

Přídavek vody do směsi za účelem snížení tvrdosti a pevnosti taveného sýra, napomáhá také rozpouštění tavicích solí a hydrataci proteinů. Ze studií zabývajících se vlivem obsahu složek na konzistenci tavených sýrů lze vyvodit, že s klesajícím obsahem tukuprosté sušiny se zvyšuje tuhost výrobků. Dále se zvyšujícím se obsahem tuku v sušině, při konstantním obsahu sušiny a za stejných podmínek, dosáhneme roztíratelnějšího taveného sýra a naopak. Vliv na výslednou konzistenci má i obsah bílkovin a vápenatých iontů. Čím vyšší je jejich obsah (za jinak stejných podmínek), tím můžeme očekávat tužší konzistenci taveného sýra a naopak [2, 7, 16, 28, 50].

Dle použité kombinace tavicích solí jsou vyrobeny tavené sýrové výrobky s různou konzistencí, od snadno roztíratelných až k tuhým s různými funkčními vlastnostmi. Velkým faktorem při jejich výběru je často i jejich cena. Do méně prozrálých sýrů je nutný vyšší přídavek tavicích solí než do uzrálejších sýrů, z důvodu vyššího obsahu intaktního kaseinu a nerozpustného vápníku. Je také dokázáno, že zvýšení koncentrace tavicích solí snižuje tavitelnost a naopak zvyšuje pevnost tavených sýrů při stejném pH. Obecně při použití ortofosfátů, citrátů a sodnohlinitých fosfátů získáme tavené sýry relativně měkké, s mírným sklonem k vylučování tuku při zahřívání a s dobrými tavicími vlastnostmi. Naproti tomu při použití pyrofosfátů dosáhneme sýrů tvrdších, se špatnými tavicími vlastnostmi a matným a suchým povrchem s tvorbou kůrky [2, 16, 20, 49].

Jedním z faktorů, který je v praxi velmi pečlivě sledován a který značným způsobem ovlivní konzistenci taveného sýra a jeho analogů, je kyselost. Obecně platí, že klesající pH taveniny zvyšuje tuhost finálního výrobku. Optimální pH taveného sýra je v intervalu 5,6 až 6,0. Při podstatně nižším pH 4,8 až 5,2, jehož hodnota se blíží isoelektrickému bodu přítomných kaseinů, získáme sýr suchý, drobný a s možnou tendencí k vylučování tuku. Naopak při významně vyšším pH taveniny 6,5 až 6,7, dochází ke snížení elektrostatických interakcí z důvodu rostoucího negativního náboje přítomných proteinů, což má za následek jejich odpuzování. U takto oslabeného gelu je možné očekávat měkčí konzistenci. Při vysokém pH často nastávají i mikrobiologické problémy a problémy s minimální dobou trvanlivosti. Posun hodnot pH lze využívat pro výrobu některých specifických výrobků. U

blokových tavených sýrů se hodnoty pH pohybují v intervalu 5,0 – 5,5, vyšší hodnoty pH 6,5 – 7,0 jsou používány u tavených sýrových omáček [7, 16, 20].

Ovlivnit texturu konečného výrobku může interakcemi s ostatními surovinami ovlivnit i použití přídatných surovin mléčného původu, které jsou do směsi přidávány zejména kvůli snížení výrobních nákladů. Příkladem může být kasein, kaseinát nebo koncentráty a izoláty syrovátkových bílkovin. Zmíněné principy působení jednotlivých složek nejsou ještě zcela objasněny. Nicméně dle studie Guinee et. al. přidavek bílkovinných koncentrátů obecně zvyšuje tuhost finálního výrobku a zhoršuje jeho tavicí schopnosti. Tento jev je pravděpodobně způsoben vyšším obsahem intaktního kaseinu. Kromě toho mají syrovátkové proteiny schopnost tvorby agregátů s parakaseiny, čímž se vytvoří pseudogel [20, 53].

Ke snížení tuhosti a lepší roztíratelnosti taveného sýra použil ve své studii Carić et. al. přidavek laktosy (do 5 % w/w). Ta byla do směsi přidána ve formě přídatku sušené syrovátky a sušeného odstředěného mléka. Přebytek laktosy ovšem může zvýšit náchylnost ke krystalizaci a Maillardově reakci během skladování [20, 54, 56].

Na následné vlastnosti výrobku má velký vliv i způsob zpracování taveniny. Vliv má použitá teplota a délka tavby, včetně rychlosti a intenzity míchání a následného ochlazení. Výsledky studií ukazují, že s rostoucí teplotou tavení dochází ke zvýšení tuhosti taveného sýra. Tuto domněnku potvrdil ve své studii například Lee et. al., který vyráběl tavený sýr při čtyřech různých teplotách (80, 100, 120 a 140 °C) nebo Buňka et. al., který uvádí tavicí teplotu 100 °C. Zvyšování tuhosti tavených sýrů s prodlužující se dobou výdrže zaznamenala ve své práci také Černíková et. al. [16, 19, 39, 46]

I u tavených sýrových analogů byly provedeny studie na zvýšení teploty a doby tavení. Dle Kapoora a Metzgera se zvyšuje jejich tvrdost a pevnost, přičemž se ale snižuje jejich tavitelnost. Intenzitou a dobou míchání imitací tavených sýrů se zabývali Noronha et.al. Jejich výsledky dokazují, že se zvyšujícím se počtem otáček během tavení roste tuhost finálního výrobku. Zároveň se zvyšuje jeho kohezivnost, vzrůstá elastický modul  $G'$  a dochází ke zmenšení velikosti tukových kuliček. Je třeba ale dát pozor na tzv. překrémování výrobku, způsobené příliš dlouhým procesem tavení s vysokými teplotami, při kterých by mohlo dojít k reakcím dehydratace a agregace proteinů, které by mohly mít za následek příliš tuhý výsledný produkt s nestabilně vázaným tukem a vodou [9, 39, 51].



Při procesu chlazení ovlivňuje vlastnosti výsledného produktu především rychlost chlazení. Čím pomaleji se tavenina chladí, tím můžeme očekávat tužší a hůře roztíratelnou konzistenci. Oproti rychlému chlazení, u kterého byla pozorována lepší roztíratelnost a měkčí konzistence [9, 52].

Změny jakosti při skladování tavených sýrových omáček jsou ovlivňovány především podmínkami při skladování a tavení výrobku, složením taveného sýra a obalovým materiálem. Během skladování může docházet k uvolňování vody, hydrolýze polyfosforečanů, Maillardovým reakcím, enzymatickým a oxidačním změnám, změně iontové rovnováhy, mírnému snížení pH nebo krystalizaci. Hlavní reakcí, která probíhá během skladování je hydrolýza polyfosfátových tavicích solí. Během ní dochází k postupnému uvolňování vápenatých iontů z tavicích solí a jejich zařazování do zesíťované proteinové matrice, čímž dochází k tuhnutí tavených sýrů. Tato hydrolýza začíná během procesu tavení a po 7 až 10 týdnech skladování jsou hydrolyzovány téměř všechny přítomné polyfosfáty. Lze tedy vyvodit, že s vyšší teplotou a délkou skladování roste intenzita tuhnutí tavených sýrů. Oproti tomu skladování při nižších teplotách může způsobit tvorbu krystalů tavicích solí, popř. krystalů laktosy, laktátů nebo tyrosinu [16, 53, 54].

Během skladování dochází i ke změně aromatických vlastností sýrů, které jsou způsobeny měnící se koncentrací těkavých látek. Hlavní prekursorů pro jejich vznik jsou především lipidy, laktosa a proteiny, ze kterých vznikají aldehydy, ketony a alkoholy. Jakost výrobku může ovlivnit i oxidace lipidů, neboli tzv. žluknutí. Jedná se o autooxidační procesy, kdy účinkem vzdušného kyslíku a světla vznikají z nenasycených MK příslušné peroxidy [23, 55].

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem této práce bylo zhodnotit vliv přídavku syrovátkových proteinů na viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček. Práce byla rozdělena na dílčí cíle:

- Vyrobit modelové vzorky tavených sýrových omáček o obsahu sušiny 30 % (w/w) a obsahu tuku v sušině 66 % (w/w) s přídavky syrovátkových proteinů - syrovátkového koncentrátu (WPC) a syrovátkového izolátu (WPI) o koncentracích 1,0 % a 3,0 % (w/w),
- Vyrobit modelové vzorky tavených sýrových omáček o obsahu sušiny 30 % (w/w) a obsahu tuku v sušině 66 % (w/w) bez přídavku syrovátkových proteinů jako kontrolní vzorek,
- Provést základní chemickou analýzu u vzorků v podobě stanovení hodnot pH 1., 7., 14., 30., a 40. den po výrobě, stanovení sušiny 1. a 7. den po výrobě a zhodnotit stabilitu vzorků 1., 7., 14., 30., a 40. den po výrobě,
- Pomocí dynamické oscilační reometrie sledovat vliv přídavku syrovátkových proteinů na reologické vlastnosti tavených sýrových omáček,
- Interpretovat výsledky a stanovit závěry.

## 5 MATERIÁL A METODY

Metoda výroby tavených sýrových omáček je velmi málo popsáný proces, a proto byl využita stejný postup jako při výrobě tavených sýrů. Dle zadané surovinové skladby byly vyrobeny tři druhy modelových vzorků tavených sýrových omáček. S přidavkem dvou typů syrovátkových proteinů (syrovátkového izolátu a koncentrátu) v koncentracích 1,0 % a 3,0 % (w/w) a bez jejich přidavku. Všechny vzorky byly stejně a správně utavené a dle časového harmonogramu skladování byly 1., 7., 14., 30., a 40. den po výrobě podrobeny chemické a reologické analýze. Všechny vzorky byly po výrobě uchovány při teplotě  $6 \pm 2$  °C.

### 5.1 Výroba modelových vzorků tavených sýrových omáček

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

- přírodní sýr eidamská cihla - 7-týdenní zralost; obsah sušiny 50 % a obsah tuku v sušině 30 % (w/w), výrobce: AGRICOL Polička, s.r.o., Česká republika,
- máslo - obsah sušiny 50 % a obsah tuku v sušině 30 % (w/w), výrobce: MADETA, a.s., Česká republika,
- pitná voda,
- směs tavicích solí - jejich poměrové zastoupení: 30 % dihydrogenfosforečnan sodný (MSP), 26 % hydrogenfosforečnan sodný (DSP), 22 % difosforečnan tetrasodný (TSPP), 22 % sodná sůl polyfosforečnanu (P20), výrobce: FOSFA a.s., Břeclav, Česká republika,
- MAG a DAG, výrobce: BRENNTAG, Praha, Česká republika,
- syrovátkové proteiny (1 % a 3 % (w/w)) - Bulk Powders Pure Whey Protein (WPC) - 100% syrovátkový proteinový koncentrát obsahující 82 % (w/w) proteinu a My Protein Impact Whey Isolate (WPI) - 100% syrovátkový proteinový izolát obsahující minimálně 90 % (w/w) proteinu, Výrobce: MYPROTEIN, Velká Británie

Výroba modelových vzorků tavených sýrových omáček byla provedena na Ústavu technologie potravin, Fakulty technologické, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně pomocí zařízení Stephan UMC-5 (Stephan Machinery GmbH, Německo).

Nejdříve byl přírodní sýr nakrájen na kostičky o hraně cca 2 cm, dále byl vsypán do výrobníku a pomocí rotačních nožů přístroje Stephan byl při 3000 ot. /min rozmělněn. K nasekanému sýru byly následně přidány další suroviny jako máslo, směs TS, MAG a DAG, syrovátkové bílkoviny ve zvoleném typu a koncentraci a voda. Po upevnění víka, vývěvy a uzavřeného odvzdušňovacího ventilu byl vytvořen podtlak k regulaci úrovně vlhkosti a zamezení přítomnosti pachu a tvorbě vzduchových bublin. Následně byla směs tavena při 1500 ot. /min. Po dosažení požadované teploty 90 °C v kotli, byla teplota v tavicí směsi udržována po dobu 1 minuty. Po utavení byl sýr nadávkován do plastových vaniček, které byly zažehleny hliníkovými víčky. Označené kelímky s modelovými vzorky tavených sýrových omáček byly postupně zchlazeny a skladovány při teplotě  $6 \pm 2$  °C až do okamžiku analýz.

## 5.2 Chemická analýza

U modelových vzorků tavených sýrových omáček byla během každého odběrového dne provedena základní chemická analýza, kromě obsahu sušiny, která byla stanovena pouze po jednodenním a týdenním skladování. Při chemické analýze byl sledován obsah celkové sušiny, hodnota pH. a proveden byl také test stability.

### 5.2.1 Stanovení celkového obsahu sušiny

Stanovení celkového obsahu sušiny byl u všech modelových vzorků tavených sýrových omáček proveden dle normy ČSN EN ISO 5534:2004. Na analytických vahách, s přesností na čtyři desetinná místa, byly do hliníkové misky naváženy přibližně 3 g vzorku tavené sýrové omáčky. Po promíchání vzorku s předem vysušeným křemenným pískem byla hliníková miska vložena do sušárny (Venticell, Brněnská Medicínská technika a. s. Česká republika), ve které proběhlo sušení při teplotě  $102 \pm 2$  °C po dobu přibližně 3 hodin až do konstantního úbytku hmotnosti. Následně byly misky pro ochlazení vloženy do exsikátoru a po ochlazení zváženy na analytických vahách. Stejný postup byl u každého vzorku opakován třikrát [35].

Výpočet obsahu sušiny byl zjištěn z následujících dvou rovnic:

$$w = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100$$

$$WS = 100 - w$$

kde:

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

m<sub>1</sub> ... hmotnost hliníkové misky s křemenným pískem [g]

m<sub>2</sub> ... hmotnost misky s navázkou vzorku a pískem před sušením v [g]

m<sub>3</sub> ... hmotnost misky s navázkou vzorku a pískem po sušení [g]

WS ... obsah sušiny [% (w/w)] [36].

### 5.2.2 Stanovení pH

Hodnoty pH byly naměřeny pomocí vpichového pH metru (Spear Eutech – pH tester s vpichovou elektrodou, Eutech Instrument, Nizozemsko) při laboratorní teplotě 22 ± 1 °C.

Elektroda kalibrovaného pH metru byla šestkrát vsunuta do různých a náhodně vybraných míst kelímku. Opakování bylo prováděno zejména kvůli možnosti vnesení odchylek a faktorů, které by mohly pH modelových vzorků ovlivnit, ať už při výrobě, skladování či samotných analýzách. Sonda byla po každém měření očištěna a omyta destilovanou vodou. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány.

Měření pH bylo prováděno v 1., 7., 14., 30., a 40. den po výrobě modelových vzorků tavených sýrových omáček.

### 5.3 Test stability

Test stability byl proveden dle studie Nikzade et al. [37], kdy bylo s přesností na 4 desetinná místa naváženo 5 g modelového vzorku tavené sýrové omáčky do plastové zkumavky a utěsněno víčkem. Zkumavky byly následně na 30 minut vloženy do centrifugy (EBA 21 Hettich Zentrifugen, Huttlingen, Německo) při 5000 ot. /min. Vzniklý sediment byl zvážen a stabilita (S; % w/w) byla stanovena dle následujícího vztahu:

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

Testy stabilit byly měřeny v 1., 7., 14., 30., a 40. den po výrobě modelových vzorků tavených sýrových omáček.

## 5.4 Dynamická oscilační reometrie

Pomocí dynamické oscilační reometrie byly zjišťovány viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček. U této metody je především sledována lineární viskoelastická odezva na velmi malou oscilační deformaci. Během dynamické oscilační reometrie dochází k řízené deformaci vzorku, při které je sledováno chování při toku látek. Viskoelasticitu popisuje elastický ( $G'$ ) a ztrátový ( $G''$ ) modul pružnosti. Elastický modul vyjadřuje míru elasticity a ztrátový modul míru viskozity vzorku. Podíl těchto dvou složek představuje úhel fázového posunu, s jehož klesající hodnotou roste podíl elastické složky měřeného vzorku. Úhel fázového posunu je vyjádřen jako:

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

Pro charakterizaci vzorků je také používán komplexní modul pružnosti (celkový odpor vzorku proti deformaci), který je dán vztahem:

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

Pro stanovení viskoelastických vlastností modelových vzorků tavených sýrových omáček byl použit rotační viskozimetr Thermo Scientific<sup>TM</sup> RheoStress 1 (Výrobce: Haake, Brémy, Německo) a jako geometrie byla zvolena deska-deska o průměru 35 mm. Před každým měřením byl pomocí vodní lázně rotační viskozimetr temperován na teplotu  $20,0 \pm 0,1$  °C. Po nanesení příslušného množství vzorku na statickou desku přístroje, byla spuštěna oscilující deska. Mezera mezi statickou a oscilující deskou přístroje byla 1 mm. V případě potřeby byl odstraněn přebytečný vzorek, aby nedošlo k posunu desky. Frekvence oscilace byla v intervalu od 0,1 – 10 Hz s amplitudou smykového napětí 5 Pa. Ze získaných hodnot elastického a ztrátového modulu pružnosti byl následně vypočítán tangens úhlu fázového posunu a komplexní modul pružnosti pro každý vzorek se zvolenou referenční hodnotou 1 Hz [28, 29].



Obrázek 9: Rheo Stress [38]



## 6 VÝSLEDKY A DISKUZE

V rámci této práce byly vyrobeny 3 skupiny vzorků tavených sýrových omáček. Jako první byla vyrobena skupina modelových vzorků tavených sýrových omáček s přidavkem syrovátkového proteinu – syrovátkového koncentrátu (WPC) v přidavku 1 a 3 % (w/w). Dále byla vyrobena skupina modelových vzorků tavených sýrových omáček s přidavkem syrovátkového proteinu – syrovátkového izolátu (WPI) v přidavku 1 a 3 % (w/w). U třetí skupiny vzorků pak bylo provedeno totéž s tím rozdílem, že modelové vzorky byly vyrobeny bez přidavku syrovátkových proteinů.

V určitých časových intervalech byly vzorky podrobeny chemické a reologické analýze a byl proveden test stability.

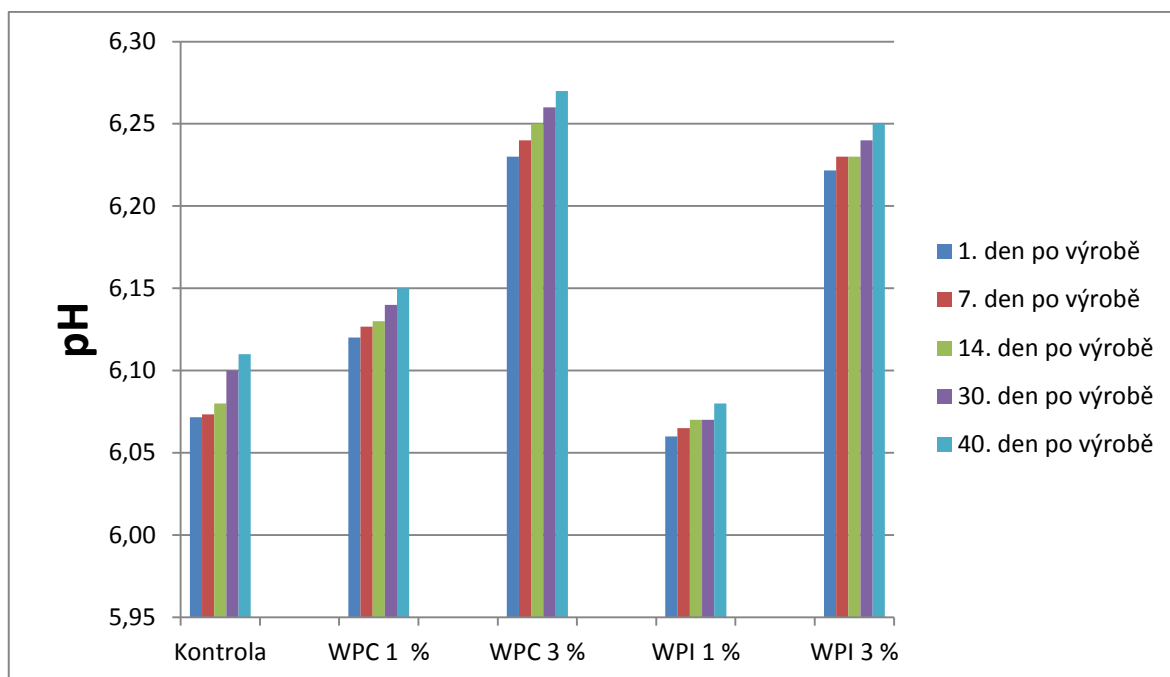
### 6.1 Vyhodnocení chemické analýzy

U modelových vzorků o obsahu sušiny 30 % w/w a obsahu tuku v sušině 66 % w/w s přidavkem určité koncentrace syrovátkových bílkovin (WPC a WPI) byla provedena základní chemická analýza. Měření hodnot pH bylo realizováno 1., 7., 14., 30., a 40. den po výrobě a stanovení obsahu sušiny 1. a 7. den po výrobě.

Naměřené výsledky celkového obsahu sušiny potvrdily požadovanou sušinu 30 % w/w, kde se hodnoty sušiny u všech modelových vzorků tavených sýrových omáček během skladování pohybovaly v rozmezí 29,57 - 30,31 % w/w.

Aby bylo možné vzorky mezi sebou porovnávat, je nutné, aby modelové vzorky měly srovnatelné hodnoty obsahu sušiny, z důvodu, že obsah sušiny ovlivňuje jak texturní, tak reologické vlastnosti [39, 40].

Další zkoumanou veličinou byla v rámci chemické analýzy hodnota pH. U naměřených hodnot, které jsou uvedeny na obrázku 10, je vidět, že se se zvyšující koncentrací syrovátkových proteinů ani s dobou skladování hodnota pH v rámci jednotek výrazně neměnila. Na základě získaných dat lze vyvodit, že se pH modelových tavených sýrových omáček po dobu 40denního skladování pohybovala v rozmezí 6,07 – 6,27.



Obrázek 10: pH modelových vzorků tavených sýrových omáček po 1., 7., 14., 30., a 40. dnech po výrobě

Některé pokusy uvádějí, že tavené sýrové omáčky obecně vykazují vyšší pH než tavené sýry, konkrétně je úroveň hodnot od 6,5 až 7. Díky zvýšení pH na tuto hodnotu dochází ke zvýšení nárůstu negativního náboje proteinů, které se následně odpuzují a vzniká tekutá konzistence [30]. Což se v této práci nepotvrdilo. Vyšších hodnot pH, na dosažení těchto hodnot, by mohlo být docíleno výběrem jiných tavicích solí, zralejším přírodním sýrem nebo vyšším obsahem vody [7, 19, 30].

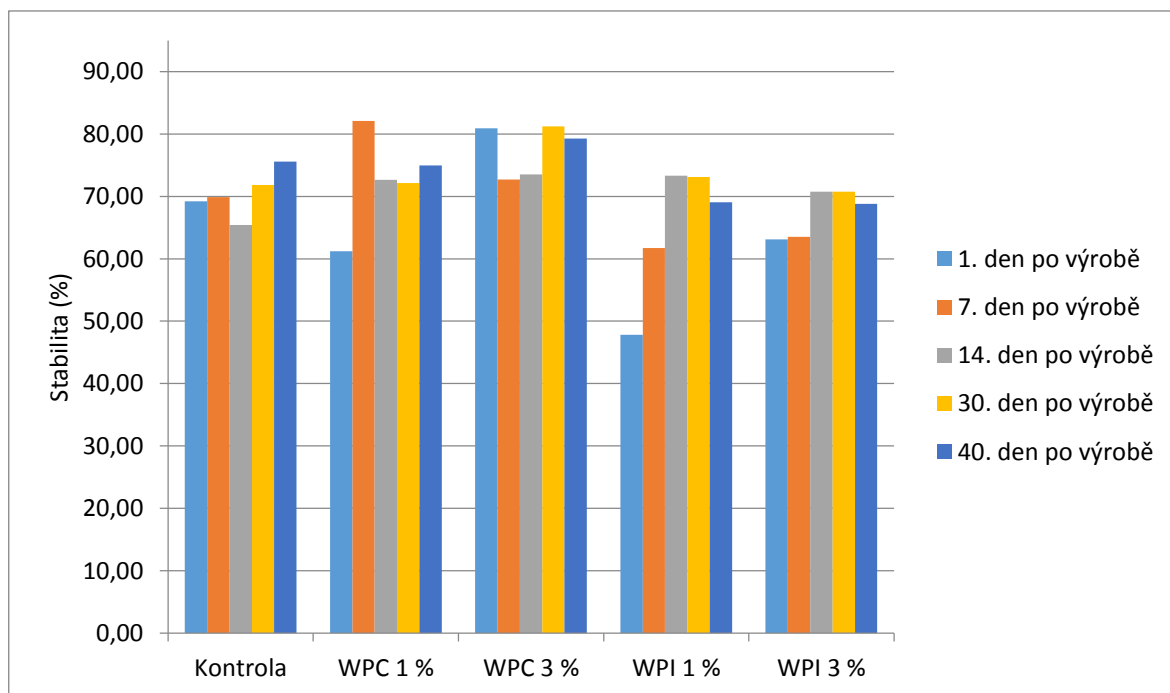
Všechny vzorky s 3 % (w/w) přidavkem syrovátkových bílkovin (WPC i WPI) vykazovaly lehce vyšší hodnoty pH než vzorky pouze s 1 % (w/w) přidavkem. Naměřený rozdíl byl ovšem v řádech desetinných čísel.

Výsledky skladovacího pokusu nám ukazují značnou nerovnoměrnost. Ta může být způsobena tavicími solemi, které jsou hydrolyzovány již během procesu tavení. Rychlost hydrolyzy je závislá na použité technologii a procesu skladování, dále na druhu použitého fosforečnanu, koncentraci složek, přítomnosti vápníku, teplotě a čase [41, 42].

Autoři článků Buňka [40] a Černíková [19] uvádí, že skladováním dochází k mírnému snížení pH. To potvrzuje i Awad et. al. [43], který si snížení pH vysvětluje hydrolyzou fosforečnanových tavicích solí v průběhu skladování. Všechny tyto pokusy, ale měly odlišnou surovinovou skladbu a nezmiňují použití syrovátkových proteinů. Také se zabývali studiem tavených sýrů, které mají nižší hodnoty pH než tavené sýrové omáčky.

## 6.2 Vyhodnocení testu stability

Pomocí centrifugy byla u modelových vzorků tavených sýrových omáček určena tepelná stabilita vzorků. K měřením došlo po 1., 7., 14., 30., a 40. dnech po výrobě. Výsledky jsou znázorněny v následujícím obrázku číslo 11.



Obrázek 11: Výsledky stanovení stability modelových vzorků tavených sýrových omáček po 1., 7., 14., 30., a 40. dnech po výrobě

Ze získaných výsledků je patrné, že vzorky tavených sýrových omáček s přídatkem 3 % (w/w) syrovátkových proteinů měly vyšší stabilitu než s přídatkem 1 % (w/w). Dále pak můžeme vyvodit, že vzorky s přídatkem syrovátkového koncentrátu (WPC) vykazovaly mírně vyšší stabilitu než vzorky s přídatkem syrovátkového izolátu (WPI).

Test stability modelových vzorků byl proveden z toho důvodu, že tavené sýrové omáčky jsou emulze typu olej ve vodě, při jejichž skladování může docházet k rozdělení hydrofilní a hydrofobní fáze. Dle studie Thanasukarn et al. [44] může stabilita emulze významně ovlivňovat reologické a texturní vlastnosti, zejména pak viskozitu [45].

## 6.3 Výsledky dynamické oscilační reometrie

Cílem práce bylo zhodnotit, zda má přídatek syrovátkových proteinů vliv na viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček. Měření bylo provedeno v 1., 7., 14., 30., a 40. den po výrobě.

Pomocí dynamické oscilační reometrie byly naměřeny hodnoty elastického ( $G'$ ) a ztrátového ( $G''$ ) modulu pružnosti, ze kterých byl vypočítán komplexní modul pružnosti ( $G^*$ ). Měření bylo prováděno při frekvenci v rozsahu od 0,1 do 10 Hz. Dále byly viskoelastické vlastnosti vzorků charakterizovány pomocí tangentu úhlu fázového posunu ( $\tan \delta$ ), který byl vypočítán pro referenční frekvenci 1 Hz. Výsledky hodnot byly zaneseny do tabulek a následně vyneseny do grafů.

Tabulka 2: Hodnoty elastického modulu pružnosti  $G'$  [Pa], ztrátového modulu pružnosti  $G''$  [Pa], komplexní viskozity [Pa.s] a tangentu úhlu fázového posunu  $\delta$  [-] při frekvenci 1 Hz tavených sýrových omáček po 1. a 7. den po výrobě

Vzorek	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\eta$ [Pa.s]	$\tan \delta$ [-]
<b>1. den po výrobě</b>				
<b>Kontrola</b>	20,78 ± 2,23	23,05 ± 4,42	4,94 ± 0,76	1,11
<b>WPC 1 %</b>	54,57 ± 10,66	44,41 ± 8,84	11,20 ± 2,2	0,81
<b>WPC 3 %</b>	373,77 ± 17,25	102,06 ± 3,57	61,67 ± 2,8	0,27
<b>WPI 1 %</b>	210,87 ± 12,04	70,81 ± 1,49	35,40 ± 1,89	0,34
<b>WPI 3 %</b>	308,10 ± 53,78	97,39 ± 9,39	51,43 ± 8,61	0,32
<b>7. den po výrobě</b>				
<b>Kontrola</b>	18,42 ± 1,79	19,22 ± 0,44	4,24 ± 0,25	1,04
<b>WPC 1 %</b>	27,01 ± 3,53	22,62 ± 2,35	5,61 ± 0,67	0,84
<b>WPC 3 %</b>	477,87 ± 0,95	119,15 ± 0,55	78,38 ± 0,17	0,25
<b>WPI 1 %</b>	106,67 ± 21,54	43,21 ± 4,21	18,32 ± 3,43	0,41
<b>WPI 3 %</b>	229,69 ± 39,97	76,31 ± 10,02	38,52 ± 6,54	0,33

Tabulka 3: Hodnoty elastického modulu pružnosti  $G'$  [Pa], ztrátového modulu pružnosti  $G''$  [Pa], komplexní viskozity [Pa.s] a tangentu úhlu fázového posunu  $\delta$  [-] při frekvenci 1 Hz tavených sýrových omáček pro 14., 30. a 40. den po výrobě

Vzorek	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\eta$ [Pa.s]	$\tan \delta$ [-]
<b>14. den po výrobě</b>				
<b>Kontrola</b>	15,45 ± 3,80	16,47 ± 2,74	3,60 ± 0,73	1,07
<b>WPC 1 %</b>	62,51 ± 29,14	39,62 ± 8,49	11,82 ± 4,62	0,63
<b>WPC 3 %</b>	397,12 ± 64,01	101,77 ± 15,85	65,25 ± 10,46	0,26
<b>WPI 1 %</b>	214,00 ± 43,41	64,65 ± 9,89	35,58 ± 7,07	0,30
<b>WPI 3 %</b>	676,27 ± 69,76	162,70 ± 14,06	110,70 ± 11,32	0,24
<b>30. den po výrobě</b>				
<b>Kontrola</b>	24,83 ± 19,24	21,08 ± 12,29	5,20 ± 3,59	0,85
<b>WPC 1 %</b>	75,93 ± 10,13	38,12 ± 1,61	13,53 ± 1,55	0,50
<b>WPC 3 %</b>	728,38 ± 63,13	168,30 ± 14,56	118,98 ± 11,09	0,23
<b>WPI 1 %</b>	194,43 ± 64,29	55,74 ± 14,69	32,19 ± 10,48	0,29
<b>WPI 3 %</b>	197,04 ± 4,17	65,81 ± 3,11	33,06 ± 0,79	0,33
<b>40. den po výrobě</b>				
<b>Kontrola</b>	14,48 ± 5,20	15,83 ± 4,02	3,30 ± 1,04	1,02
<b>WPC 1 %</b>	64,13 ± 8,57	32,78 ± 3,66	11,46 ± 1,48	0,51
<b>WPC 3 %</b>	452,72 ± 34,73	116,44 ± 9,76	74,40 ± 5,74	0,26
<b>WPI 1 %</b>	142,82 ± 19,94	44,47 ± 5,05	23,81 ± 3,27	0,31
<b>WPI 3 %</b>	222,30 ± 41,01	73,27 ± 6,13	37,26 ± 6,50	0,33

Na obrázcích 12. až 16. je vyobrazena závislost komplexní viskozity na frekvenci pro modelové vzorky tavených sýrových omáček během celého skladovacího pokusu.

Viskozita znázorňuje schopnost tavených sýrových omáček téct a důležitým parametrem pro jejich výrobu je optimální obsah sušiny, který by mohl ovlivnit jejich viskozitu [3, 40].

Všechny vzorky s přidanými syrovátkovými proteiny vykazovaly vyšší viskozitu než kontrolní vzorek bez jejich přídavku. Viskozita se zvyšovala i se zvyšující se koncentrací přídavku syrovátkových proteinů, kdy nejvyšších hodnot dosahovala při přídavku 3 % (w/w) syrovátkového koncentrátu (WPC). Zároveň při měření bylo dokázáno, že během 40 denního skladovacího pokusu postupně docházelo ke zvyšování viskozity. Zvýšení viskozity ve vzorcích s přídavkem syrovátkových proteinů potvrdil ve své studii i Solowiej et. al., který uvádí, že viskozita sýrových analogů se výrazně zvýšila se zvyšující se koncentrací proteinu [64].

U všech modelových vzorků se během skladovacího pokusu zvyšovala hodnota elastického i ztrátového modulu pružnosti. Tato skutečnost se shoduje s ostatními autorskými publikacemi tavených sýrů, které dokazují, že doba skladování má vliv na zvyšování tuhosti taveného sýru [75, 76].

Na obrázcích číslo 17. až 21. je vidět, že s rostoucí koncentrací syrovátkových proteinů došlo k významnému nárůstu  $G'$  v celém frekvenčním rozsahu, což nám dokazuje, že syrovátkové proteiny mění vlastnosti gelu, který vykazuje vyšší tuhost v porovnání s kontrolním vzorkem bez přídavku syrovátkových proteinů. Z čehož vyplývá, že syrovátkové proteiny mají schopnost tvořit pevnější struktury.

Ačkoli syrovátkové proteiny neinteragují s tavicími solemi, dochází díky jejich vzájemných interakcí s kaseinovými molekulami při zvýšené teplotě ke zvýšení tuhosti tavených sýrů [28, 77].

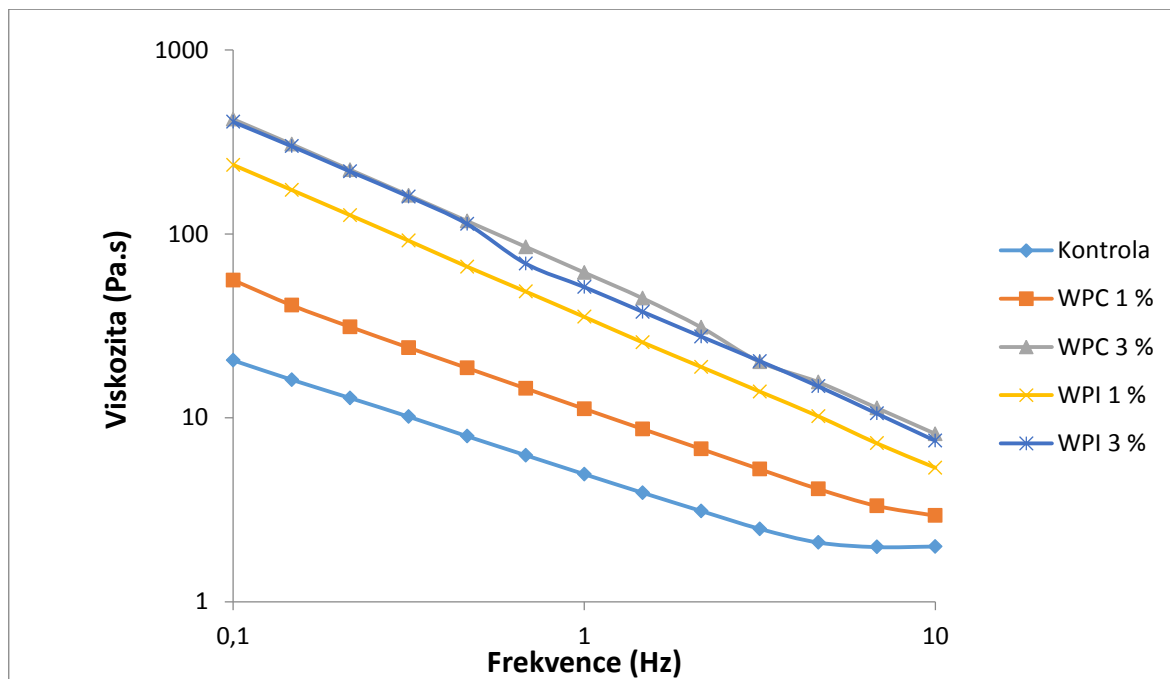
To bylo potvrzeno i ve studii, kterou provedl Gupta et. al. [77], který nahradil při výrobě taveného sýra část čedaru koncentrátem syrovátkových proteinů získaným ultrafiltrací syrovátky. Kdy se zvyšujícím se obsahem proteinu ve vzorku došlo ke zvýšení tuhosti vzorku ve srovnání se vzorkem vyrobeným pouze z čedaru.

Z výsledků lze zjistit, že u všech kontrolních vzorků tavených sýrových omáček je ztrátový modul pružnosti  $G''$  vyšší než elastický modul pružnosti  $G'$ . Tento jev značí chování systému jako zředěného roztoku [78]. Ve studii Solowiej et. al. [64] uvádí, že v případě  $G''$  vyššího než  $G'$  tavené sýrové omáčky vykazují viskózní charakter.

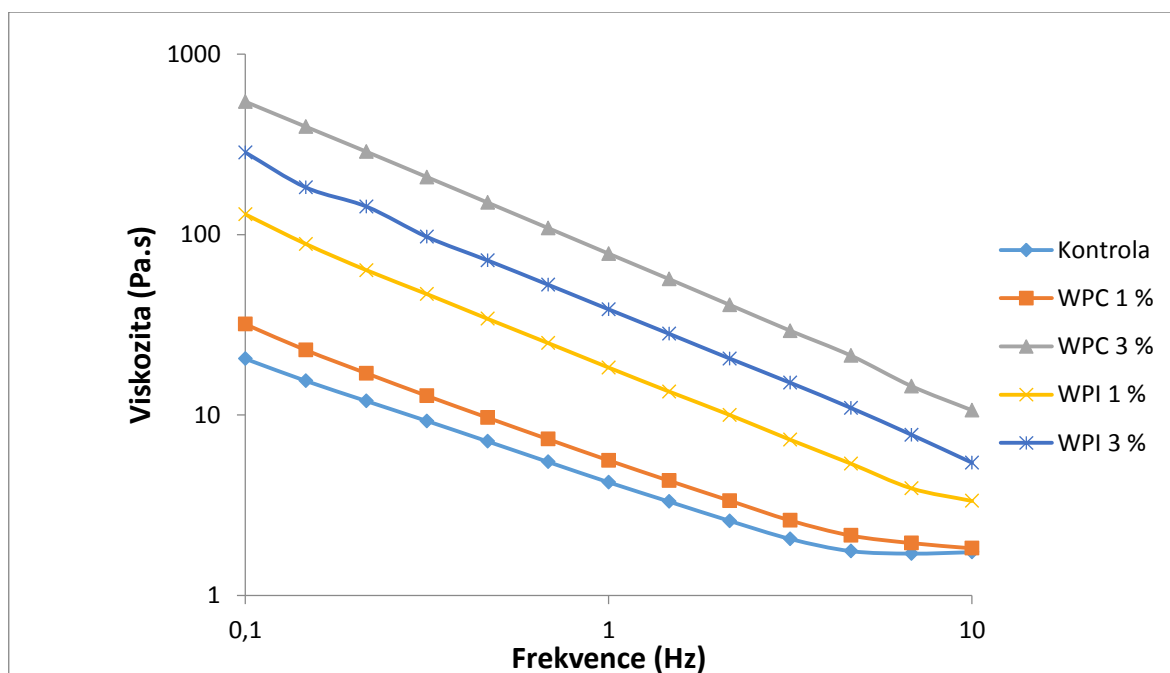
U modelových vzorků s přídavkem syrovátkového proteinu byla naopak zaznamenána vyšší hodnota elastického modulu pružnosti  $G'$  než ztrátového modulu pružnosti  $G''$ , což značí chování systému více jako gelu [78].

Je-li hodnota tangentu úhlu fázového posunu ( $\tan \delta$ ) popsána jako míra tuhosti gelu, pak z tabulky: 2. a 3. vyplývá, že přidavek syrovátkových proteinů ve všech koncentracích zvýšily tuhost tavených sýrových omáček v porovnání s kontrolním vzorkem [78].

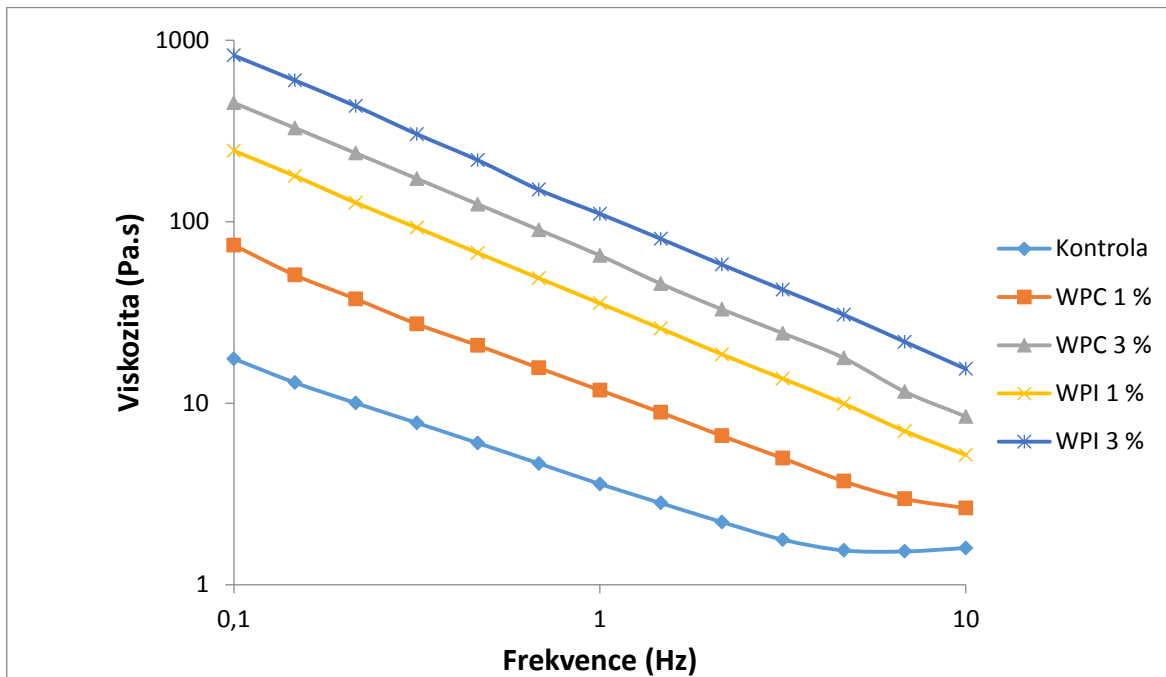
Mandala et. al. ve své studii [79] uvádí, že v případě tangentu úhlu fázového posunu ( $\tan \delta$ ) většího než je hodnota 0,1 mají vzorky strukturu mezi koncentrovaným roztokem a gelem. Lze je tedy charakterizovat jako slabé gely, mezi které tavené sýrové omáčky patří.



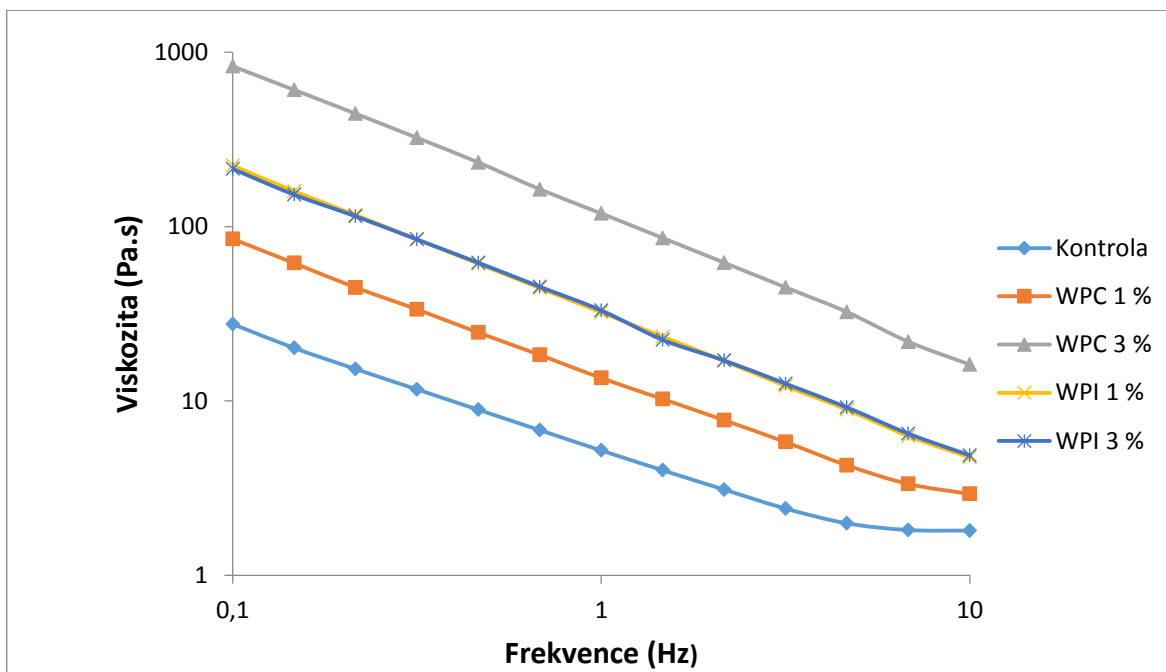
Obrázek 12: Závislost komplexní viskozity na frekvenci pro modelové vzorky po 1 dnu od data výroby



Obrázek 13: Závislost komplexní viskozity na frekvenci pro modelové vzorky po 7 dnech od data výroby

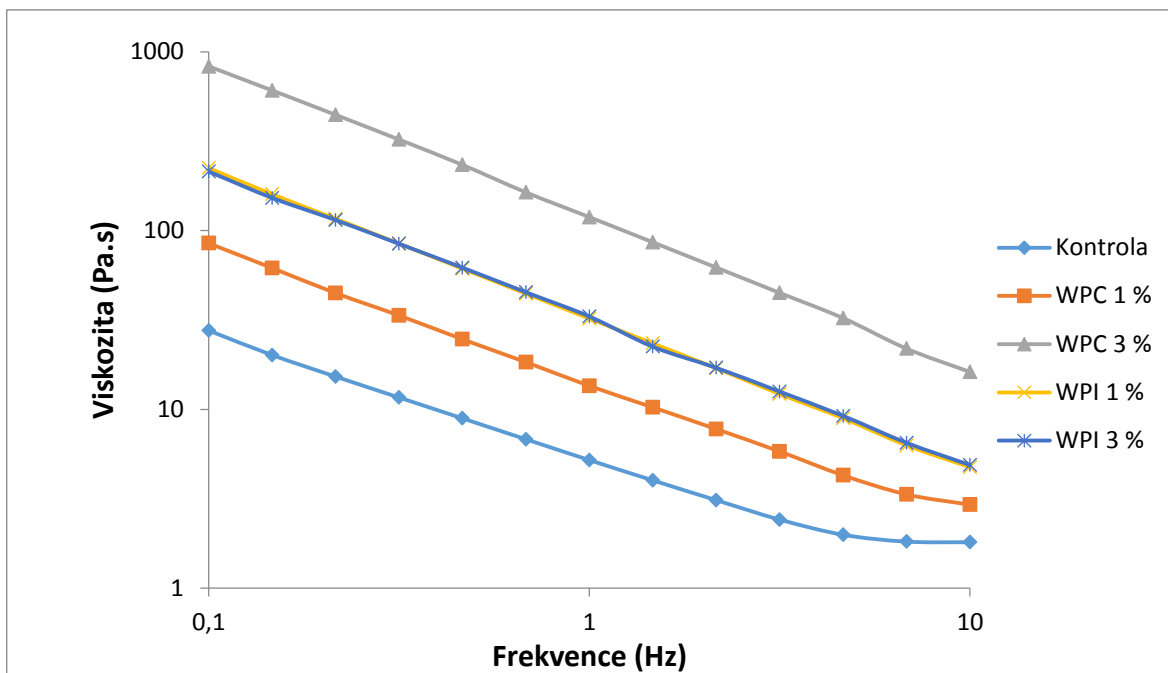


Obrázek 14: Závislost komplexní viskozity na frekvenci pro modelové vzorky po 14 dnech od data výroby

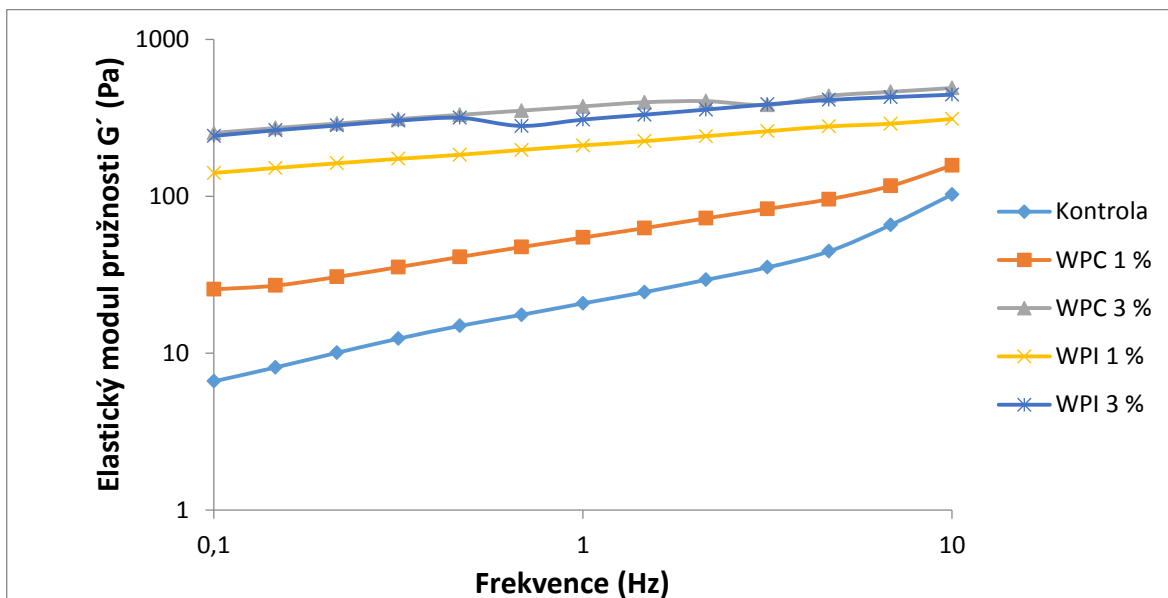


Obrázek 15: Závislost komplexní viskozity na frekvenci pro modelové vzorky po 30 dnech od data výroby

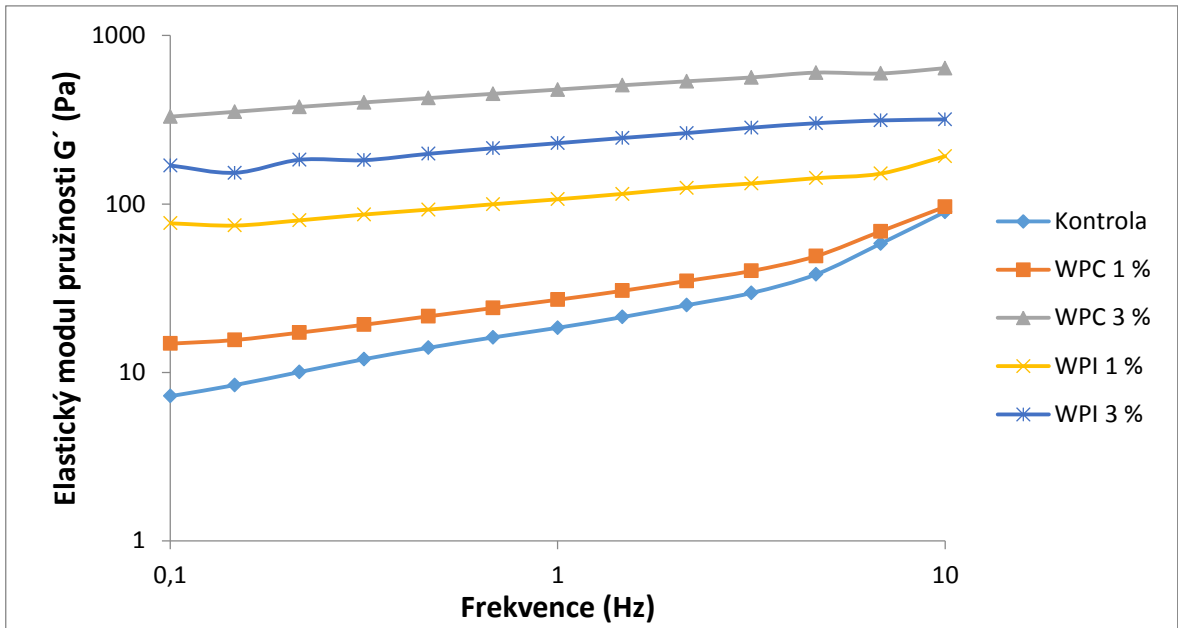




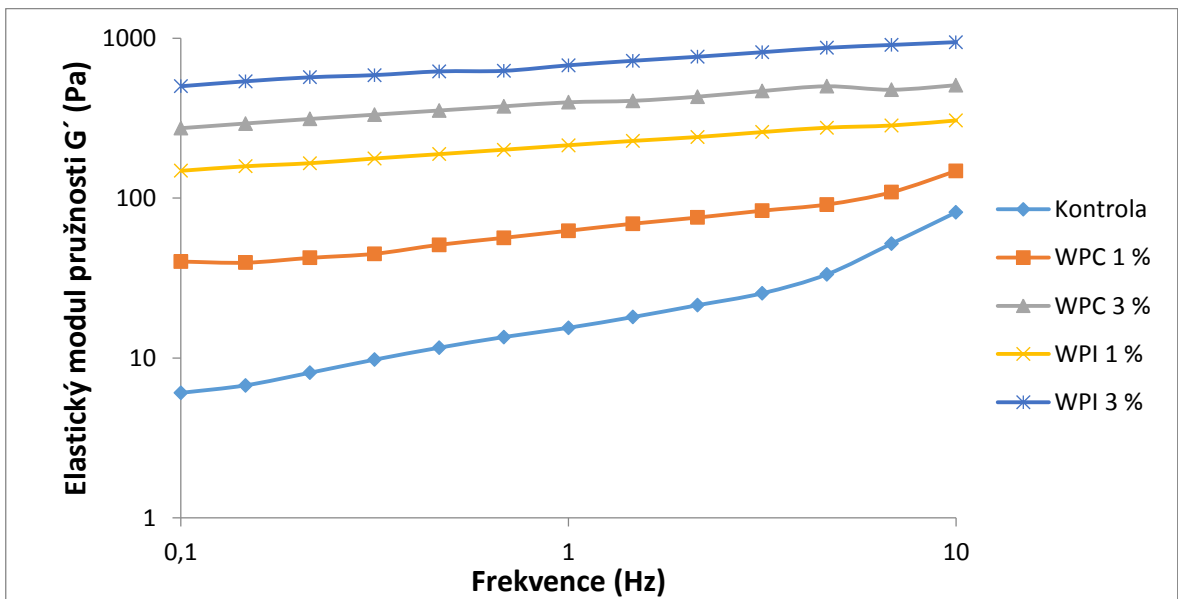
Obrázek 16: Závislost komplexní viskozity na frekvenci pro modelové vzorky po 40 dnech od data výroby



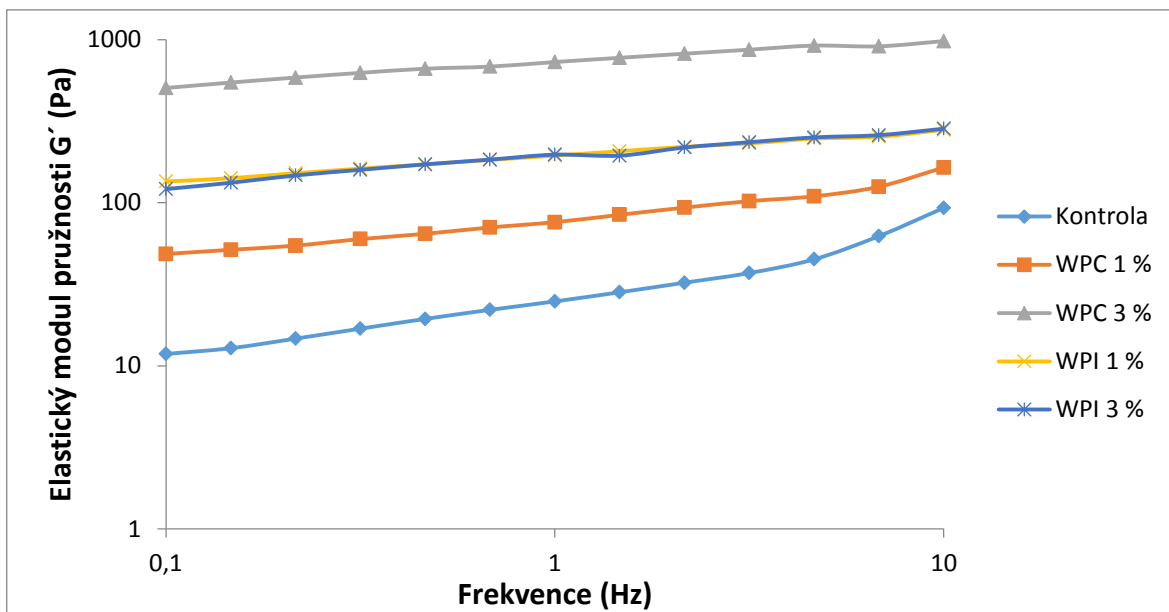
Obrázek 17: Závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 1 dnu od data výroby



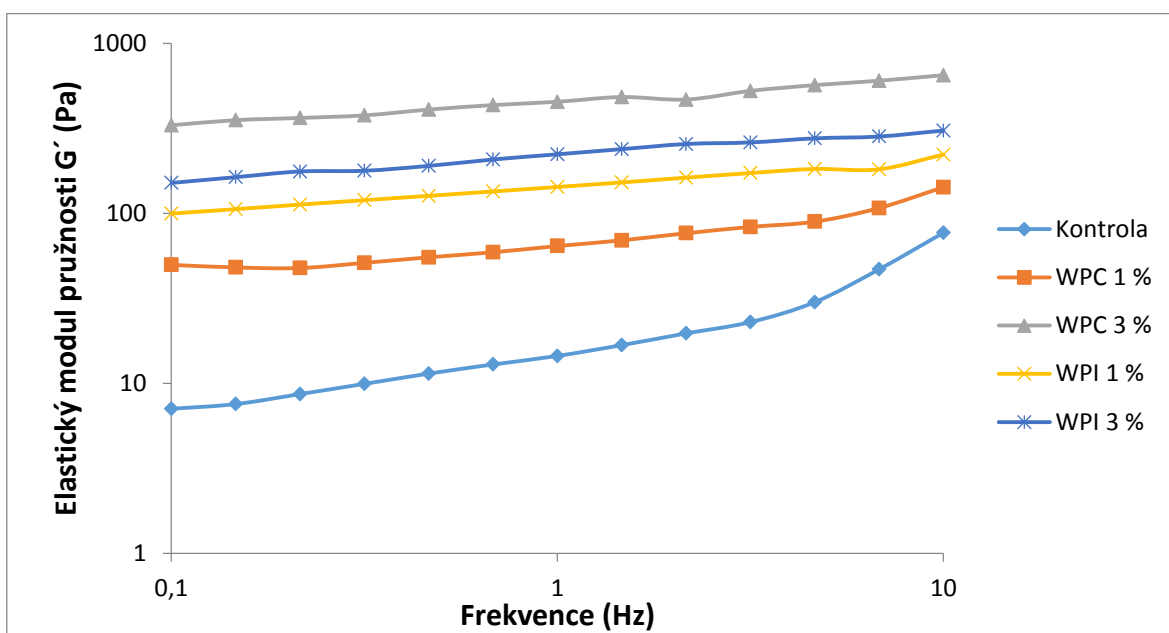
Obrázek 18: Závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 7 dnech od data výroby



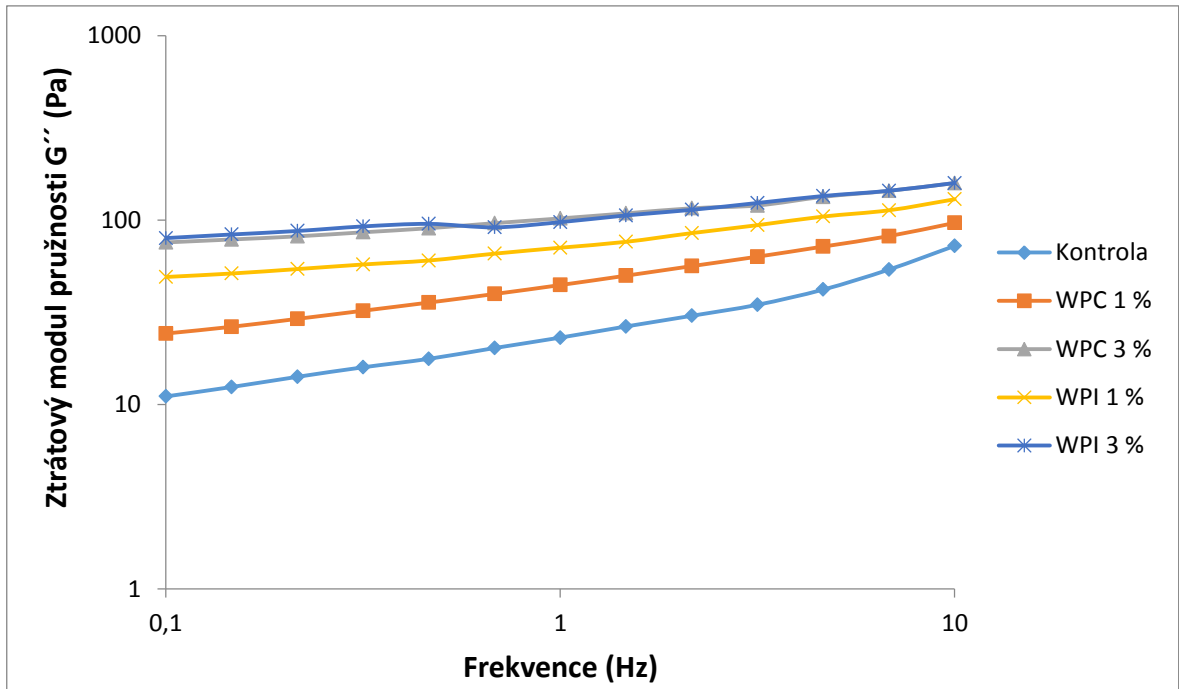
Obrázek 19: Závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 14 dnech od data výroby



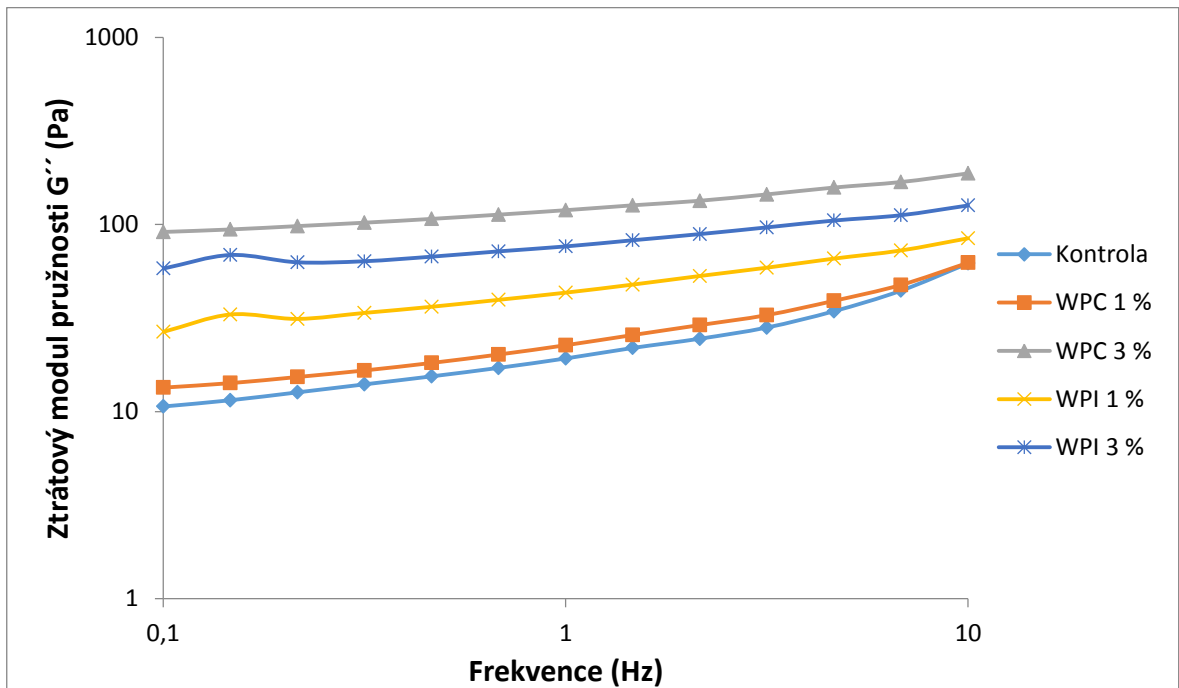
Obrázek 20: Závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 30 dnech od data výroby



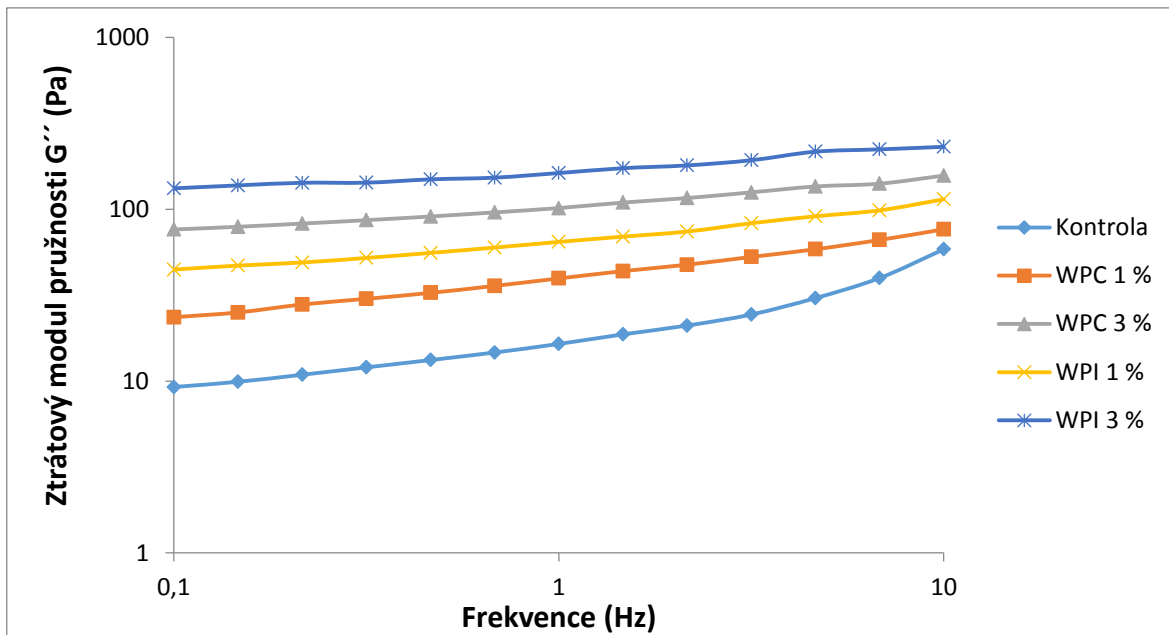
Obrázek 21: Závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 40 dnech od data výroby



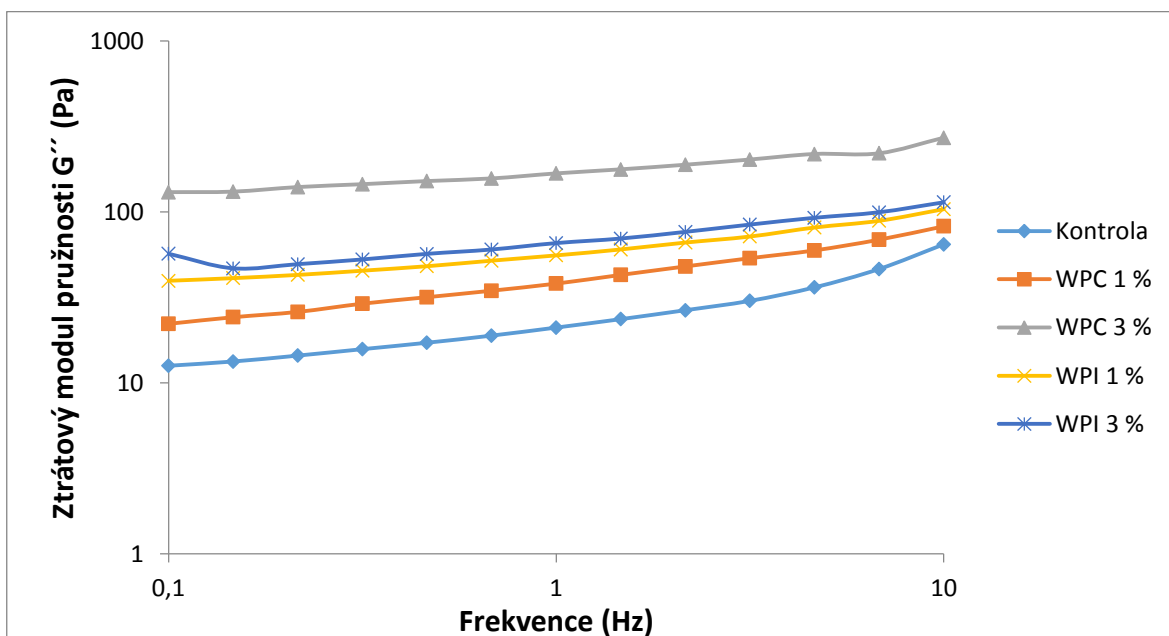
Obrázek 22: Závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 1 dnu od data výroby



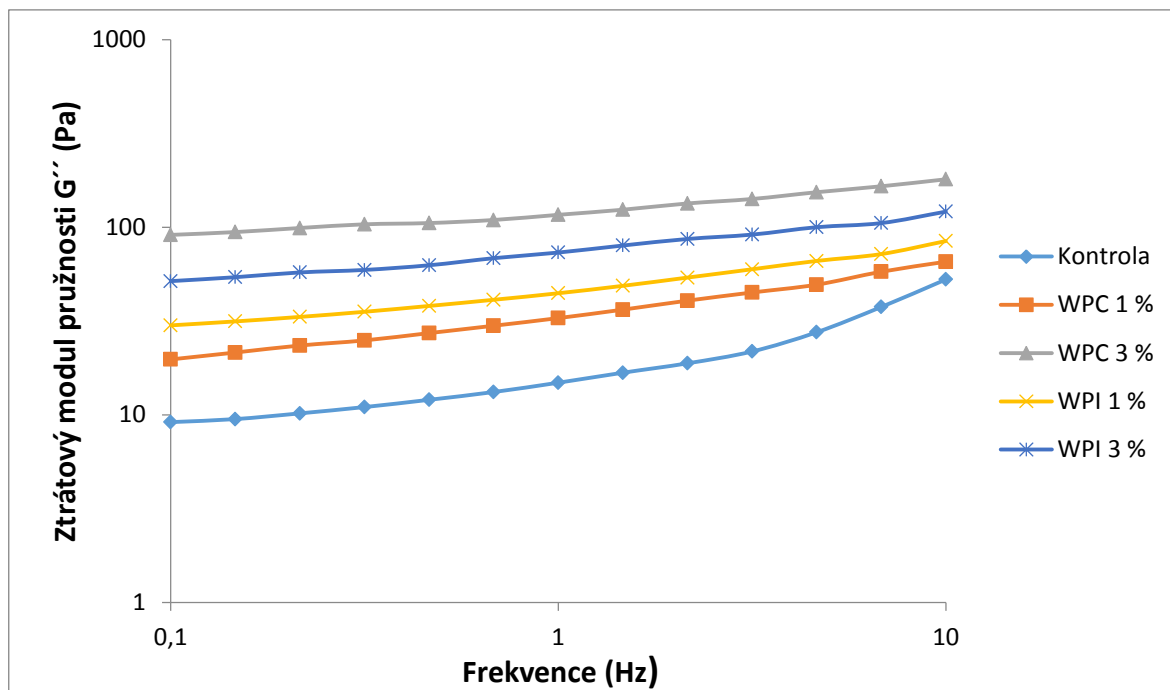
Obrázek 23: Závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 7 dnech od data výroby



Obrázek 24: Závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 14 dnech od data výroby



Obrázek 25: Závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 30 dnech od data výroby

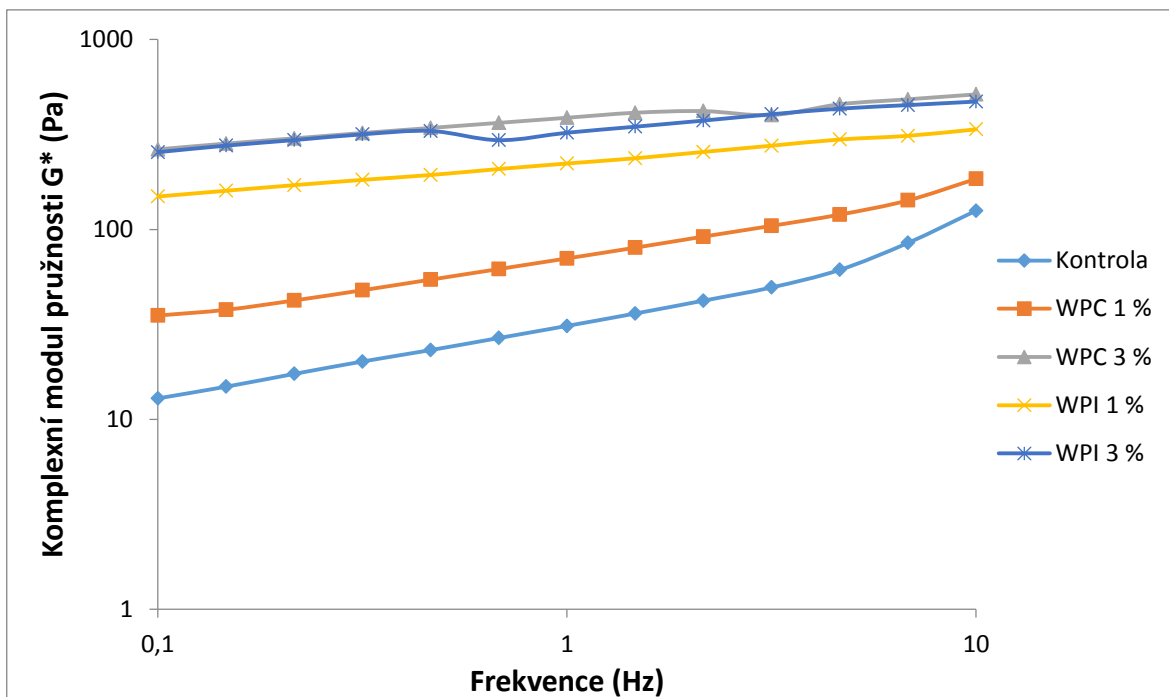


Obrázek 26: Závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 40 dnech od data výroby

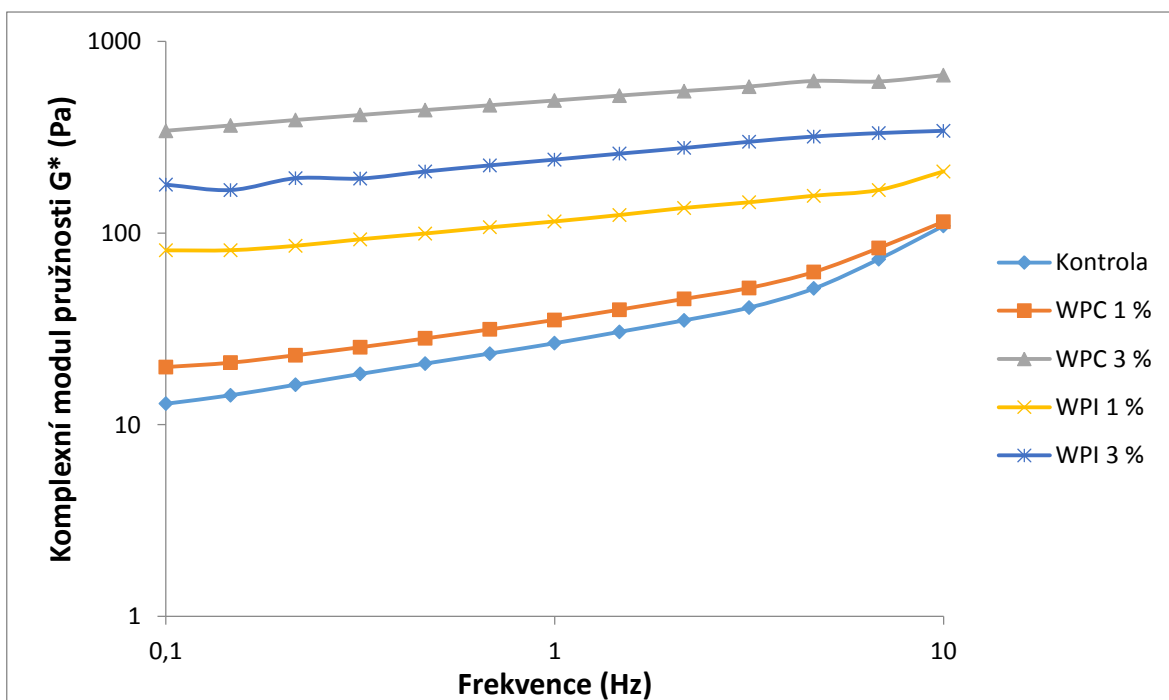
Pro určení celkové tuhosti vzorku byl sestaven graf závislosti komplexního modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky. Výsledky jsou znázorněny na obrázcích 27. až 31.

Z uvedených obrázků lze vidět, že u každé koncentrace syrovátkového proteinu docházelo se vzrůstajícím přídatkem k jeho zvyšování, což ukazuje rostoucí tuhost vzorků. Nejvyšší tuhost vykazovaly vzorky s přídatkem syrovátkového koncentrátu v přídatku 3 % (w/w) a naopak nejnižší hodnoty byly u kontrolního vzorku bez přídatku syrovátkových proteinů.

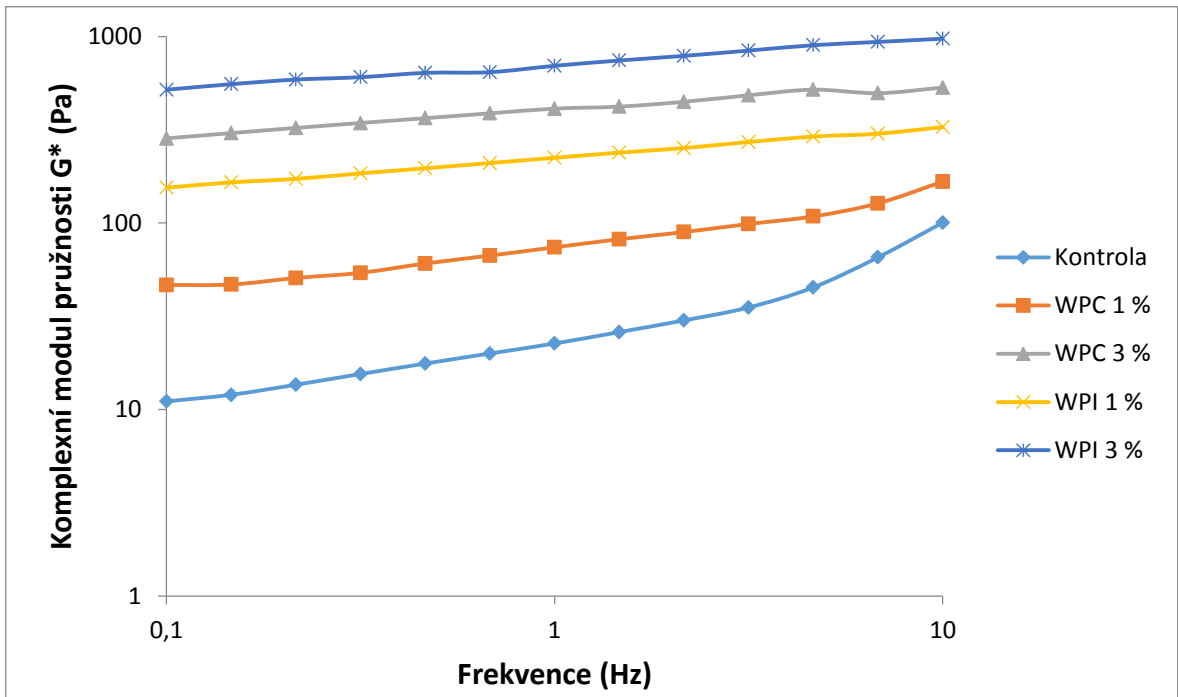
V průběhu 40 denního skladování tavených sýrových omáček je vidět trend mírného zvýšení  $G^*$ . S výjimkou výsledků 7. dne po výrobě, kdy došlo k mírnému poklesu. To znamená, že se hodnota  $G^*$ s prodlužující dobou skladování zvyšovala. Zvýšení tuhosti je v souladu s tvrzeními autorů Buňka et. al. [76] a Sádliková [80], kteří ve svých výzkumech uvádí, že s prodlužující se délkou skladování roste tuhost tavených sýrů.



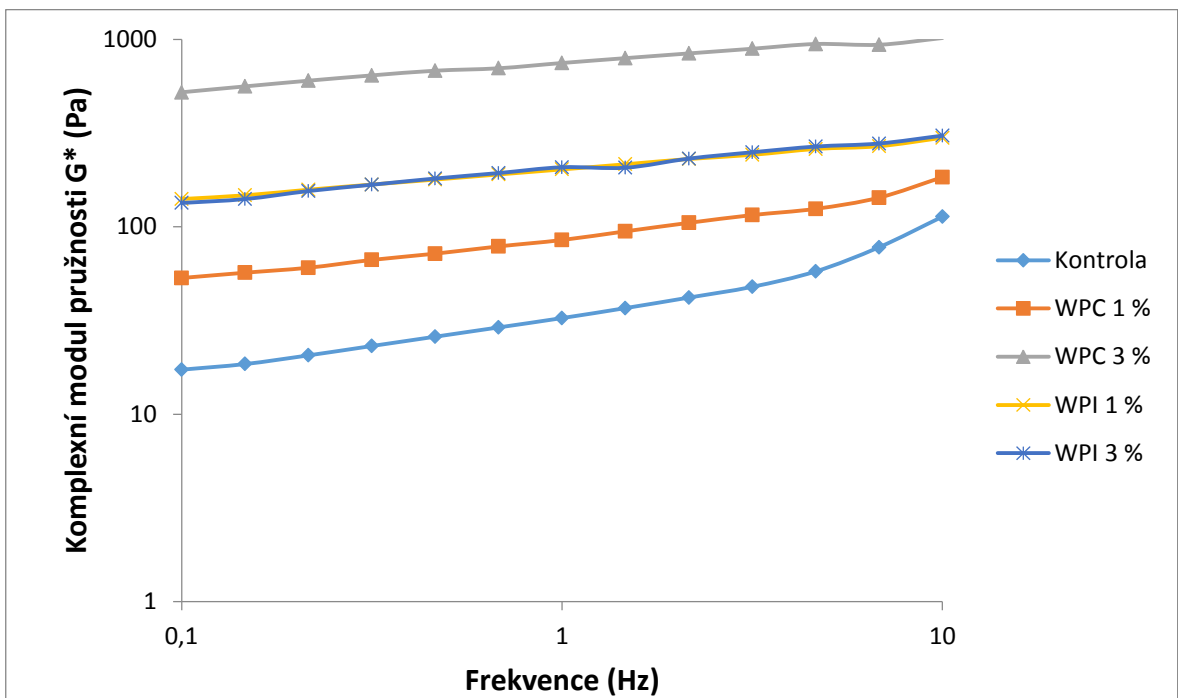
Obrázek 27: Závislost komplexního modulu pružnosti  $G^*$  na frekvenci modelových vzorků 1. den po výrobě



Obrázek 28: Závislost komplexního modulu pružnosti  $G^*$  na frekvenci modelových vzorků 7. den po výrobě

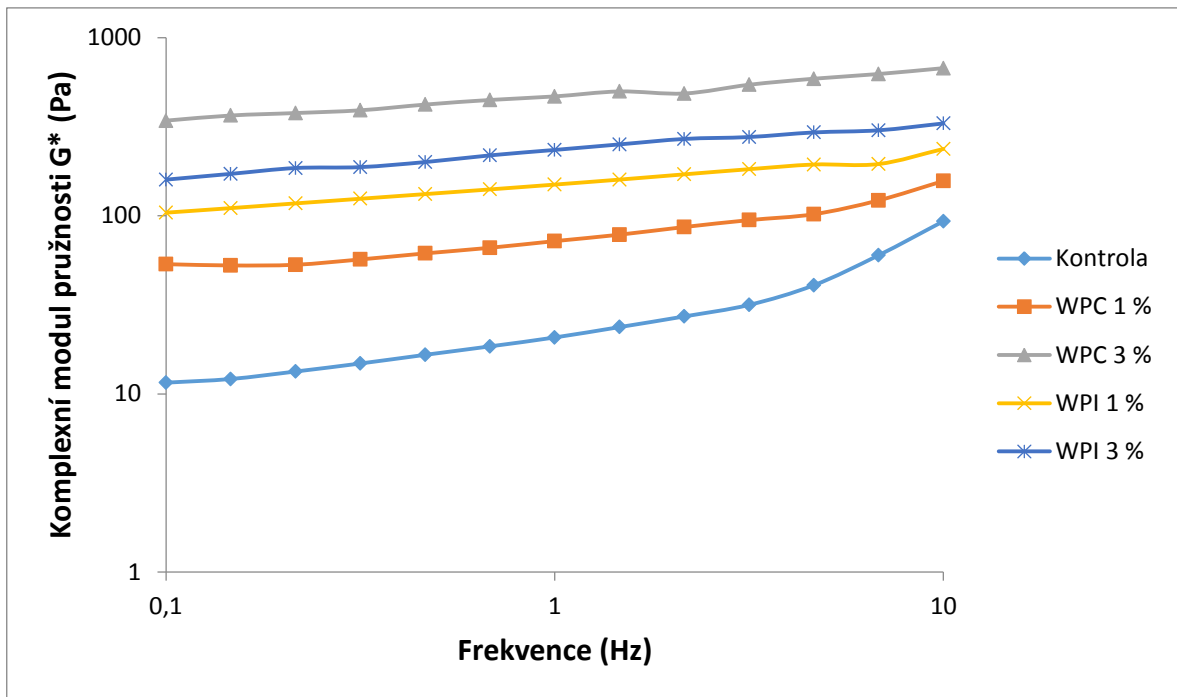


Obrázek 29: Závislost komplexního modulu pružnosti  $G^*$  na frekvenci modelových vzorků 14. den po výrobě



Obrázek 30: Závislost komplexního modulu pružnosti  $G^*$  na frekvenci modelových vzorků 30. den po výrobě





Obrázek 31: Závislost komplexního modulu pružnosti  $G^*$  na frekvenci modelových vzorků 40. den po výrobě

## ZÁVĚR

Cílem práce bylo posoudit vliv přídavku syrovátkových proteinů na viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček o obsahu sušiny 30 % (w/w) a obsahu tuku v sušině 66 % (w/w) v průběhu 40denního skladování při  $6 \pm 2$  °C. Výroba modelových vzorků byla uskutečněna bez přídavku i s přídavkem 2 typů syrovátkových proteinů.

Ze zpracovaných dat a vyhodnocených výsledků jednotlivých analýz modelových tavených sýrových omáček lze vyvodit následující:

- Přídavky obou typů syrovátkových proteinů (WPC a WPI) v koncentraci 1 % a 3 % (w/w) neměly vliv na obsah sušiny ani pH u všech modelových vzorků po celou dobu skladování 40 dnů, což umožnilo vyhodnocení dat získaných při dynamické oscilační reometrii.
- Oba typy syrovátkových bílkovin (WPC a WPI) ovlivňují viskoelastické vlastnosti modelových vzorků v závislosti na jejich koncentraci – se zvyšující se koncentrací stoupá tuhost tavených sýrových omáček.
- Oproti kontrolnímu vzorku byl u obou typů syrovátkových bílkovin (WPC a WPI) v koncentracích 1 % a 3 % (w/w) pozorován viditelný nárůst tuhosti.
- Z použitých syrovátkových bílkovin ovlivnil viskoelastické vlastnosti nejvíce syrovátkový koncentrát (WPC) v koncentraci 3 % (w/w). Výsledný vzorek měl nejvyšší hodnoty elastického i ztrátového modulu pružnosti, komplexní viskozity i tangentu úhlu fázového posunu  $\delta$ .

Tento experiment přinesl dosud nezjištěné závěry v oblasti tavených sýrových omáček. Bylo zjištěno, že přídavek syrovátkových proteinů má vliv na viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček, kdy se s jejich rostoucí koncentrací zvyšuje tuhost hotových výrobků.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] CALLEC, Christian. *Encyklopedie sýrů*. Čestlice: Rebo Productions, 2002. ISBN 80-723-4225-8.
- [2] TAMIME, A. Y. *Processed cheese and analogues*. Ames: Wiley-Blackwell, 2011. Society of dairy technology. ISBN 978-1-4051-8642-1.
- [3] GUINEE, T. P., CARIĆ, M. and KALÁB, M., *Cheese: chemistry, physics and microbiology*. Vol. 2, London: Elsevier, 2004, pp. 349-394. ISBN 0-1226-3653-8.
- [4] RANKEN, M. D., KILL, R. C., BAKER, C. G. J.: *Food Industries Manual*. Great Britain: Chapman & Hall, 1997. 653pp. ISBN 0-7514-0404-7
- [5] BACHMANN, H-P.: Cheese analogues: a review. *International Dairy Journal*. July 2001, Vol. 11, No. 4-7, pp. 505-515. ISSN 0958-6946.
- [6] KADLEC, Vladimír. *Technologie potravin II*. Praha: VŠCHT, 2002, ISBN 80-7080-510-2.
- [7] BUŇKA, František, Leona BUŇKOVÁ a Stanislav KRÁČMAR. *Základní principy výroby tavených sýrů*. Brno, 2009. ISBN 987-80-7375-336-8. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.
- [8] Vyhláška 397/2016 Sb., kterou se stanoví požadavky pro mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje, v platném znění
- [9] GAJDUŠEK, Stanislav. *Mlékařství II*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1998. ISBN 80-715-7342-6
- [10] HRABĚ, Jan, František BUŇKA, Ignác HOZA a Pavel BŘEZINA. *Technologie výroby potravin živočišného původu*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2007. ISBN 80-731-8405-2.
- [11] BUŇKA, František., PACHLOVÁ, Vendula, BUŇKOVÁ, Lona, HRABĚ, Jan. *Změny jakosti v průběhu zrání polotvrdých sýrů*. In: SÝRY: Perspektivy výroby sýrů a hodnocení jejich jakosti. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2012. ISBN: 978-80-7454-231-2.
- [12] ROGINSKI, H., FUQUAY, J. W., FOX, P. F.: *Encyclopedia of Dairy Science*. London: Academic Press, 2002. pp. 428-434. ISBN 0-12-227235-8
- [13] TAMIME, A. Y., SHENANA, M. E., MUIR, M. E., KALAB, M., DAWOOD, A. H.: *Processed Cheese Analogues Incorporating Fat-Substitutes 2. Rheology, Sensory Perception of Texture and Microstructure*. Lebensmittel-Wissenschaft und- Technologie. February 1999, vol. 32, No. 1, p. 50-59. ISSN 0023-6438.

- [14] SCHÄR, W., BOSSET, J. O.: *Chemical and Physico-chemical Changes in Processed Cheese and Ready-made Fondue During Storage*. A Review. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 2002, vol. 35, p. 15-20. ISSN 0023-6438.
- [15] MASOTTI, F., CATTANEO, S., STUKNYTĚ, M., DE NONI, I. *Status and developments in analogue cheese formulations and functionalities – a review*. *Trends in Food Science*. 2018, vol. 74, p. 158-169. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.016>.
- [16] BUŇKA, F. *Tavené sýry a faktory ovlivňující jejich konzistenci: Processed cheese and factors influencing its consistency*: Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2017. ISBN 978-80-214-5460-6.
- [17] LUKÁŠOVÁ, Jindra a Gabriela BOŘILOVÁ. *Hygiena a technologie mléčných výrobků: návody na cvičení*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita, 2001. ISBN 80-730-5415-9.
- [18] BUŇKOVÁ, L., BUŇKA, F. *Microflora od Processed Cheese and Factors Affecting It*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017, vol 57, no. 11, p. 2392-2403. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1060939>.
- [19] ČERNÍKOVÁ, Michaela. *Vybrané faktory působící na konzistenci tavených sýrů*. Zlín, 2017. Habilitační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [20] GUINEE, T. P., CARIĆ, M., KALÁB, M.: *Pasteurized Processed cheese and Substitute/Imitation cheese products*. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. 2004, Vol. 2, No. 3, p. 349-394. ISBN 0-1226-3653-8.
- [21] BUŇKA, František, Vendula PACHLOVÁ, Leona BUŇKOVÁ a Michaela ČERNÍKOVÁ. *Mlékárenská technologie I*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013. ISBN 978-80-7454-254-1.
- [22] Viskoelasticita materiálů. *Ústav fyziky a materiálového inženýrství* [online]. Zlín, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_06.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_06.pdf)
- [23] HOZA, Ignác. *Potravinářská biochemie I*. Vyd. 2. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011. ISBN 978-80-7318-936-5.
- [24] VELÍŠEK, Jan. *Chemie potravin*. Havlíčkův Brod: OSSIS, 2009. ISBN 80-866-5902.
- [25] NAVRÁTILOVÁ, Pavlína. *Hygiena produkce mléka*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2012. ISBN 978-80-7305-624-7.
- [26] GOMEZ-RUIZ, J., A., RAMOS, M., RECIO, I., *International Dairy Journal*, vol. 12, 2002, p. 697
- [27] PIHLANTO-LEPPÄLÄ, A., PAAKKARI, I., RINTA-KOSKI, M., & ANTILA, P. (1997). *Bioactive peptide derived from in vitro proteolysis of bovine  $\beta$ -lactoglobulin and its effect on smooth muscle*. *Journal of Dairy Research*, 64(1), p. 149-155. Dostupné z: <https://doi.org/10.1017/S0022029996001926>

- [28] KAPOOR, R. & METZGER, L. E. *Process Cheese: Scientific and Technological Aspects* — A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2008, 7(2), p. 194–214. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2008.00040.x>
- [29] GUNASEKARAN, S. and M. MEHMET. *Dynamic oscillatory shear testing of foods — selected applications*. 2000, 11(3), p. 115-127. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224400000583>
- [30] BUŇKA, František. Tavené sýry a faktory ovlivňující jejich konzistenci: *Processed cheese and factors influencing its consistency: teze přednášky k profesorskému jmenovacímu řízení v oboru Potravinářská chemie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2017. ISBN 978-80-214-5460-6.
- [31] SOLOWIEJ, Bartożs. *Effect of pH on rheological properties and meltability of processed cheese analogs with whey products*. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2017, 57(3), p. 125-128. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/259872332\\_Effect\\_of\\_pH\\_on\\_rheological\\_properties\\_and\\_meltability\\_of\\_processed\\_cheese\\_analogs\\_with\\_whey\\_products](https://www.researchgate.net/publication/259872332_Effect_of_pH_on_rheological_properties_and_meltability_of_processed_cheese_analogs_with_whey_products)
- [32] GUNASEKARAN, S. *Cheese rheology and texture*. Boca Raton: CRC Press LLC, 2003. 437 s. ISBN 1-58716-021-8.
- [33] WEIN, O. *Úvod do reologie*. 1. vyd. Brno: Malé Centrum, 1996. 84 s. ISBN 80-238-0928-8
- [34] CUNHA, C. R., GRIMALDI, R., ALCÂNTARA, M. R. and W. H. VIOTTO. *Effect of the type of fat on rheology, functional properties and sensory acceptance of spreadable cheese analogue*. *International Journal of Dairy Technology*, 2013, vol. 66, p. 54. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2012.00876.x>
- [35] ČESKO. ČSN EN ISO 5534:2005, Sýry a tavené sýry – Stanovení obsahu celkové sušiny (Referenční metoda). Praha: Český normalizační institut.
- [36] SALÁKOVÁ, Alena a Gabriela BOŘILOVÁ. *Technologie a hygiena potravin živočišného původu: návody na cvičení*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2014. ISBN 978-80-7305-730-5.
- [37] NIKZADE, V., TEHRANI, M., SAADATMAND-TARZJAN, M. *Optimization of low cholesterol–low fat mayonnaise formulation*. *Food Hydrocolloids*. 2012, vol. 28, no. 2, p. 344-352. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.023>.
- [38] Rheo Stress. In: *Pragolab.cz* [online]. Dostupné z: [https://www.pragolab.cz/images/products/3\\_rs1.jpg](https://www.pragolab.cz/images/products/3_rs1.jpg)
- [39] ČERNÍKOVÁ, M., SALEK R. N., KOZÁČKOVÁ, D., BĚHALOVÁ, H., LUŇÁKOVÁ, L., BUŇKA, F. *Effect of selected processing parameters on viscoelastic properties of model processed cheese spreads*. *International Dairy Journal*. 2017, vol. 66, p. 84-90. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.11.007>

- [40] SALEK, R., S., VAŠINA, M., LAPČÍK, L., ČERNÍKOVÁ, M., LORENCOVÁ, E., LI, P., 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*, 2019, vol. 107, p. 178-18. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.022>.
- [41] BERGER, W., KLOSTERMEYER, H., MERKENICH, K. and UHLMANN, G.: *Processed Cheese Manufacture*. A JOHA Guide. BK Giulini Chemie GmbH & Co. OHG Ladenburg, 2002, 238 p.
- [42] FOX, P. F., GUINEE, T. P., COGAN, T. M. a MCSWEENEY, P. L. H., *Fundamentals of cheese science*. New York, NY: Springer Science Business Media, 2016. ISBN 9781489976796.
- [43] AWAD, R., ABDEL-HAMID, L.B., EL-SHABRAWY, S., SINGH, R.K. *Texture and Microstructure of Block Type Processed Cheese with Formulated Emulsifying Salt Mixtures.* *LWT – Food Science and Technology*, 2002, vol. 35, vol. 1, p. 54-61. Dostupné z: <https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0828>
- [44] THANASUKARN, P., PONGSAWATMANIT, R., MCCLEMENTS, D. J. *Influence of emulsifier type on freeze-thaw stability of hydrogenated palm oil-in-water emulsions.* *Food Hydrocolloids*, 2004, vol. 18, no. 6, p. 1033-1043. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.04.010>.
- [45] 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*, 2004, vol. 64, no. 3, p. 335-342. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.10.018>.
- [46] LEE, S. K., BUWALDA, R. J., EUSTON, S. R., FOEGEDING, E. A., MCKENNA, A. B. (2003). *Changes in the rheology and microstructure of processed cheese during cooking.* *LWT - Food Science and Technology*, vol. 36(3), p. 339-345. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00012-4](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00012-4)
- [47] DIMITRELI, G., THOMAREIS, A. S. *Instrumental textural and viscoelastic properties of processed cheese as affected by emulsifying salts and in relation to its apparent viscosity.* *International Journal of Food Properties*, 12, p. 261-275. <https://doi.org/10.1080/10942910802256164>
- [48] SHALABY, Samah M., A. G. MOHAMED a Hala M. BAYOUMI. *Preparation of a Novel Processed Cheese Sauce Flavored with Essential Oils.* *International Journal of Dairy Science*. 2017, 12(3), p. 161-169. DOI: 10.3923/ijds.2017.161.169. Dostupné také z: <http://www.scialert.net/abstract/?doi=ijds.2017.161.169>
- [49] BACHMANN, H. P. *Cheese analogues: A review.* *International Dairy Journal*, 2001, vol. 11, p. 505–515. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00073-5](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00073-5)
- [50] ČERNÍKOVÁ, M., NEBESÁŘOVÁ, J., SALEK, R. N., ŘIHÁČKOVÁ, L., BUŇKA, F. *Microstructure and textural and viscoelastic properties of model processed cheese with*

*different dry matter and fat in dry matter content.* Journal of Dairy Science. 2017, vol. 100, no. 6, p. 4300-4307. Dostupné z: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12120>.

[51] NORONHA, N., O'RIORDAN, E. D., O'SULLIVAN, M. *Influence of processing parameters on the texture and microstructure of imitation cheese.* European Food Research and Technology. 2008, vol. 226, p. 385–393. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0549-9>

[52] 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. 2004, vol. 61, no. 4, p. 551-555. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00217-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00217-6).

[53] BUŇKA, František. *Vliv sterilačního záhřevu na jakost tavených sýrů určených pro krizové situace.* Disertační práce. Vyškov: Vysoká vojenská škola pozemního vojska, 2004, 109 s.

[54] CARIC, M., KALÁB, M. *Processed cheese products.* Cheese: Chemistry, Physics and Mikrobiology, vol. 2. Major Cheese Groups., London and New York: Elsevier Applied Science, 1997. Dostupné z: [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2648-3\\_15](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2648-3_15)

[55] SUNESEN, L. O., LUND, P., SØRENSEN, J., HØLMER, G. *Development of volatile compounds in processed cheese during storage.* Lebensm.-Wiss. u. Technol., 2002, vol. 35, p. 128-134. Dostupné z: <https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0815>

[56] O'BRIEN, J., MORRISEY, P. A. *Nutritional and Toxicological Aspects of the Maillard Browning Reaction in Foods.* Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 1989, vol. 28, issue 3, p. 211-248. ISSN 1040-8398.

[57] FORMAGGIONI, P., SUMMER, A., MALACARNE, M. MARIANI, P., *Milk protei polymorphism: Detection and diffusion aft he genetic variants in Bos genus.* 1999, vol. 29 p. 127–165. Dostupné z: <http://www.unipr.it/arpa/facvet/annali/1999/formaggioni.htm>.

[58] WALSTRA, P., WOUTERS, J. T. M., GEURTS, T. J., 2006: *Dairy science and technology.* Taylor and Francis Group, New York, 782 s. ISBN 1420028014

[59] SNEŽANA, J., MIROLJUB, B., OGNJEN, M.. *Whey proteins Properties and Possibility of Application.* Mljekarstvo. 2005, vol. 55, no. 3, p. 215–233, ISSN 0026-704X

[60] FOX, P., MCSWEENEY, P., *Dairy chemistry and biochemistry.* Blackie Academic, New York, 2015, p. 584. ISBN 978-3-319-14892-2

[61] TSUTSUMI, R., TSUTSUMI, Y. M. *Peptides and Proteins in Whey and Their Benefits For Human Health,* Austin Journal of Nutrition and Food Sciences, 2013, vol. 1, ISSN 2381-8980

[62] JONES, E. M., SMART, A., BLOOMBERG, G., MILLAR, M. R., *Lactoferricin, a new antimicrobial peptide,* J.Appl.Bacteriol., 1994, vol. 77, p. 208-214, Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1994.tb03065.x>

[63] PETROTOS, K., TSAKALI, E., ALESSANDRO, A. G., *Casein and Whey Proteins in Human Health*, Milk and Dairy Products as Functional Foods, 2014, vol. 3, p. 94-146.

[64] SOŁOWIEJ, B., IMELDA W. Y. CH., EUNICE C. Y. L., *Texture, rheology and meltability of processed cheese analogues prepared using rennet or acid casein with or without added whey proteins*. International Dairy Journal, 2014, vol. 37, no. 2, p. 87-94. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.03.003>.

[65] FERRÃO, L., R SILVA, H. et al. *Strategies to develop healthier processed cheeses – a review*. Food Research International, 2016, vol. 86, p. 93-102. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.034>.

[66] LI, L., SINGH, R. K. LEE, J. H. *Process Conditions Influence on Characteristics of Holding Tube Fouling Due to Cheese Sauce*. LWT – Food Science and Technology. 2004, vol. 37, no. 5, p. 565-572. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.01.002>

[67] CHILDS, J., YATES, M., DRAKE, M. *Sensory properties and consumer perception of wet and dry cheese sauces*. Journal of Food Science. 2009, vol. 74, no. 6, p. 205-216. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01187.x>

[68] MASOTTI, F., CATTANEO, S., STUKNYTE, M., DE NONI, I. *Status and developments in analogue cheese formulations and functionalities – a review*. Trends in Food Science [online]. 2018, vol. 74, p. 158-169. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.016>.

[69] ANONYM. Codex General Standard for process(ed) cheese and spreadable process(ed) cheese. [online]. Dostupné z: [http://www.dairyconsultant.co.uk/pdf/codex\\_specification\\_spreadable\\_processed\\_cheese.pdf](http://www.dairyconsultant.co.uk/pdf/codex_specification_spreadable_processed_cheese.pdf)

[70] FORMAN, L. *Mlékárenské technologie II.*, 2. vydání, Praha, VŠCHT, 1996. ISB 80-7080-250-2.

[71] TALBOT-WALSH, G., KANNAR D., SELOMULYA, C. Review on technological parameters and recent advances in the fortification of processed cheese. Trends in Food Science. 2018, vol. 81, p. 193-202. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.023>.

[72] 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, 2010, vol. 43, p. 723-729. ISSN 0963-9969.

[73] OPLETAL, Lubomír. *Přírodní látky a jejich biologická aktivita*. Praha: Karolinum, 2010. ISBN 978-80-246-1884-5.

[74] SAAD, A. S., EL-MAHDI, L., AWAD, R. A., HASSAN Z. M., *Processed cheese sauces with different preservative systems*, Integrative Food, Nutrition and Metabolism, 2015, vol. 2, p. 136-141. ISSN: 2056-8339



- [75] SÁDLÍKOVÁ, I., F. BUŇKA, P. BUDINSKÝ, B. VOLDÁNOVÁ, V. PAVLÍNEK, HOZA, I. *The Effect of Selected Phosphate Emulsifying Salts on Viscoelastic Properties of Processed Cheese*. LWT - Food Science and Technology. 2010, vol. 43, p. 1220-1225.
- [76] BUŇKA, F., ŠTĚTINA, J. a HRABĚ, J. *The Effect of Storage Temperature and Time on the Consistency and Color of Sterilized Processed Cheese*. European Food Research and Technology. 2008, vol. 228, p. 223-229.
- [76] GUPTA, V. K., REUTER, H. *Firmness and melting quality of processed cheese foods with added whey protein concentrates*. Lait, 1993, vol. 73, no. 4, p. 381-388.
- [77] GUINEE, T. P., CARIĆ, M., KALÁB, M. *Pasteurized Processed Cheese and substitute/Imitation Cheese Products*. In Fox, P.F. (Ed.) *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. vol. 2, Elsevier Applied Science, London and New York, 2004. p. 349-394. ISBN 0-1226-3653-8.
- [78] PERRECHIL, F., CUNHA, R. *Oil-in-water emulsions stabilized by sodium caseinate*. *Journal of Food Engineering*, 2010, vol. 97, no. 4, p. 441-448. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.041>
- [79] 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*, 2004, vol. 64, no. 3, p. 335-342. Dostupné z: <https://10.1016/j.jfoodeng.2003.10.018>.
- [80] 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. 2010, vol. 43, no. 8, p. 1220-1225 ISSN 0023-6438. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2010.04.012>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

TS	Tavicí soli
$G'$	Elastický modul pružnosti
$G''$	Ztrátový modul pružnosti
$G^*$	Komplexní modul pružnosti
tzv.	tak zvané/ý/á
$^{\circ}\text{C}$	stupně Celsia
et. al	a jiní/a další

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Schématické vyjádření iontů sodíku za ionty vápníku při tavení přírodních sýrů .....	13
Obrázek 2 Obecné schéma výroby tavených sýrů diskontinuálním a kontinuálním způsobem .....	16
Obrázek 3 Schéma zobecněné klasifikace tavených sýrů a sýrových analogů.....	17
Obrázek 4 Průměrné složení kravského mléka .....	18
Obrázek 5 Struktura proteinů.....	20
Obrázek 6 Přehled bílkovin mléčného séra skotu.....	24
Obrázek 7 Struktura $\beta$ -laktoglobulinu kravského mléka .....	24
Obrázek 8 Vzájemné spojení submicel prostřednictvím fosfátů (P), vápenatých iontu (Ca) a citrátu (Ci).....	26
Obrázek 9 Rheo Stress .....	40
Obrázek 10 pH modelových vzorků tavených sýrových omáček po 1., 7., 14., 30., a 40. dnech po výrobě.....	42
Obrázek 11 Výsledky stanovení stability modelových vzorků tavených sýrových omáček po 1., 7., 14., 30., a 40. dnech po výrobě .....	43
Obrázek 12 Závislost komplexní viskozity na frekvenci pro modelové vzorky po 1 dnu od data výroby .....	47
Obrázek 13 Závislost komplexní viskozity na frekvenci pro modelové vzorky po 7 dnech od data výroby .....	47
Obrázek 14 Závislost komplexní viskozity na frekvenci pro modelové vzorky po 14 dnech od data výroby .....	48
Obrázek 15 Závislost komplexní viskozity na frekvenci pro modelové vzorky po 30 dnech od data výroby .....	48
Obrázek 16 Závislost komplexní viskozity na frekvenci pro modelové vzorky po 40 dnech od data výroby .....	49
Obrázek 17 Závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 1 dnu od data výroby .....	49
Obrázek 18 Závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 7 dnech od data výroby.....	50
Obrázek 19 Závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 14 dnech od data výroby.....	50
Obrázek 20 Závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 30 dnech od data výroby.....	51
Obrázek 21 Závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 40 dnech od data výroby.....	51
Obrázek 22 Závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 1 dnu od data výroby .....	52

Obrázek 23 Závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 7 dnech od data výroby .....	52
Obrázek 24 Závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 14 dnech od data výroby .....	53
Obrázek 25 Závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 30 dnech od data výroby .....	53
Obrázek 26 Závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci pro modelové vzorky po 40 dnech od data výroby .....	54
Obrázek 27 Závislost komplexního modulu pružnosti $G^*$ na frekvenci modelových vzorků 1. den po výrobě.....	55
Obrázek 28 Závislost komplexního modulu pružnosti $G^*$ na frekvenci modelových vzorků 7. den po výrobě.....	55
Obrázek 29 Závislost komplexního modulu pružnosti $G^*$ na frekvenci modelových vzorků 14. den po výrobě.....	56
Obrázek 30 Závislost komplexního modulu pružnosti $G^*$ na frekvenci modelových vzorků 30. den po výrobě.....	56
Obrázek 31 Závislost komplexního modulu pružnosti $G^*$ na frekvenci modelových vzorků 40. den po výrobě.....	57

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Výsledky stanovení celkového obsahu sušiny v % (w/w) po 1. a 7. Dnech od data výroby .....	41
Tabulka 2 Hodnoty elastického modulu pružnosti $G'$ [Pa], ztrátového modulu pružnosti $G''$ [Pa], viskozity [Pa.s] a tangentu úhlu fázového posunu $\delta$ [-] při frekvenci 1 Hz tavených sýrových omáček pro 1. a 7. den po výrobě .....	44
Tabulka 3 Hodnoty elastického modulu pružnosti $G'$ [Pa], ztrátového modulu pružnosti $G''$ [Pa], viskozity [Pa.s] a tangentu úhlu fázového posunu $\delta$ [-] při frekvenci 1 Hz tavených sýrových omáček pro 14., 30. a 40. den po výrobě .....	45

