

Vliv dvoustupňového přidávání vody na viskoelastické a tribologické vlastnosti taveného sýra

Bc. Anna Vincová

Diplomová práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Anna Vincová
Osobní číslo: T20090
Studijní program: N0721A210004 Technologie potravin
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Vliv dvoustupňového přidávání vody na viskoelastické a tribologické vlastnosti taveného sýra

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část

1. Základní charakteristika tavených sýru.
2. Vliv surovinové skladby a procesních parametru na jakost tavených sýru.
3. Tribologie a její aplikace na potravinové matrice.

II. Praktická část

1. Vyrobté modelové vzorky tavených sýrů.
2. Provedte vybrané analýzy.
3. Vyhodnotte získané výsledky a zformulujte závěry.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] Fu, W., & Nakamura, T. (2018). Effects of starches on the mechanical properties and microstructure of processed cheeses with different types of casein network structures. *Food Hydrocolloids*, 79, 587-595
- [2] Pluta-Kubica, A., Černíková, M., Dimitreli, G., Nebesářová, J., Exarhopoulos, S., Thomareis, A. S., Salek, R. N., & Buňka, F. (2021). Influence of the melt holding time on fat droplet size and the viscoelastic properties of model spreadable processed cheeses with different compositions. *International Dairy Journal*, 113
- [3] Ningtyas, D. W., Bhandari, B., Bansal, N., & Prakash, S. (2017). A tribological analysis of cream cheeses manufactured with different fat content. *International Dairy Journal*, 73, 155-165
- [4] Nguyen, P. T. M., Bhandari, B., & Prakash, S. (2016). Tribological method to measure lubricating properties of dairy products. *Journal of Food Engineering*, 168, 27-34

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martina Polášková, Ph.D.**
Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání diplomové práce: **31. prosince 2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2022**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 18. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, zda dvoustupňový přídavek vody během výroby tavených sýrů má vliv na jejich viskoelastické a tribologické vlastnosti. V praktické části studie byly vyrobeny modelové vzorky tavených sýrů o obsahu sušiny 45 % (hm/hm) a obsahu tuku v sušině 50 % (hm/hm). Voda potřebná na výrobu byla rozdělena na 2 díly, kdy první díl vody byl přidán na začátku tavicího procesu a druhý díl vody byl dodán po 4 min tavení. Množství vody bylo přidáváno v různých poměrech, a to 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 a 10:90. Všechny vzorky byly během 60denního skladování 6 ± 2 °C, kromě reologického a tribologického stanovení, podrobeny také základní chemické analýze, zahrnující stanovení celkového obsahu sušiny a pH, dále texturní profilové analýze, stanovení barvy, stanovení aktivity vody, diferenciální skenovací kalorimetrii a rovněž byla provedena i senzorická analýza. Na základě zpracovaných výsledků nebyly stanoveny významné rozdíly mezi jednotlivými vzorky tavených sýrů. Tento dvoustupňový technologický postup přídavku vody během výroby tavených sýrů tedy neměl výrazný vliv na viskoelastické a tribologické vlastnosti.

Klíčová slova: tavený sýr, voda, konzistence, doba skladování, viskoelastické vlastnosti, tribologické vlastnosti.

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis was to determine whether the two-stage addition of water during the production of processed cheeses has an effects on their viscoelastic and tribological properties. In the practical part of the study, model samples of processed cheeses with a dry matter content of 45 % (w/w) and a fat content in dry matter of 50 % (w/w) were produced. The water needed for production was divided into 2 parts, where the first part of water was added at the beginning of the melting process and the second part of water was delivered after 4 minutes of melting. The amount of water was added in different proportions, namely 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 and 10:90. In addition to rheological and tribological determinations, all samples were subjected to basic chemical analysis during 60-day storage at 6 ± 2 °C, including dry matter and pH determination, texture profile analysis, color determination, water activity determination, differential scanning calorimetry, and also sensory analysis. Based on the processed results, no significant differences were determined between individual samples of processed cheeses. This two-stage technological process of water addition during the production of processed cheeses didn't have a significant effect on the viscoelastic and tribological properties.

Keywords: processed cheese, water, consistency, storage time, viscoelastic properties, tribological properties.

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych ráda poděkovala všem, kteří se na mé diplomové práci podíleli. Děkuji vedoucí mé diplomové práce Ing. Martině Poláškové, Ph.D. za cenné a odborné rady, ochotu a vstřícnost při konzultacích k diplomové práci. Velké poděkování patří především panu doc. Ing. Richardosovi Nikolaosovi Salekovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc při zpracování diplomové práce, užitečné rady a připomínky, materiály potřebné k vypracování a spolupráci při realizaci mé diplomové práce. Poděkování patří také panu Ing. Martinu Stěničkovi, Ph.D. za poskytnutí pomoci při zpracování tribologické analýzy. Dále bych ráda poděkovala paní Ing. Vendule Kůrové a kolegyním za pomoc při výrobě modelových vzorků tavených sýrů. V neposlední řadě bych ráda poděkovala také rodině za neustálou podporu ve studiu.

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

OBSAH

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ÚVOD | 10 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 12 |
| 1 TAVENÉ SÝRY | 13 |
| 1.1 HISTORIE TAVENÝCH SÝRŮ | 13 |
| 1.2 CHARAKTERISTIKA TAVENÝCH SÝRŮ | 14 |
| 1.2.1 Právní předpisy týkající se tavených sýrů | 14 |
| 1.2.2 Sortiment tavených sýrů | 16 |
| 1.3 SUROVINY PRO VÝROBU TAVENÝCH SÝRŮ | 17 |
| 1.3.1 Přírodní sýr pro výrobu tavených sýrů | 18 |
| 1.3.2 Tavicí soli a princip jejich působení | 19 |
| 1.3.3 Další přídatné látky | 23 |
| 1.4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP | 24 |
| 1.4.1 Diskontinuální výroba tavených sýrů | 24 |
| 1.4.2 Kontinuální výroba tavených sýrů | 25 |
| 1.4.3 Fyzikálně-chemické principy výroby tavených sýrů | 27 |
| 1.5 TAVENÉ SÝRY VE VÝŽIVĚ ČLOVĚKA | 30 |
| 2 VLIV SUROVINOVÉ SKLADBY A PROCESNÍCH PARAMETRŮ NA JAKOST TAVENÝCH SÝRŮ | 32 |
| 2.1 VLIV SUROVINOVÉ SKLADBY NA KVALITU TAVENÝCH SÝRŮ | 32 |
| 2.1.1 Vliv stupně prozrálosti přírodních sýrů | 32 |
| 2.1.2 Vliv hodnoty pH | 34 |
| 2.1.3 Vliv chemického složení | 34 |
| 2.1.4 Vliv přídavku hydrokolidů | 36 |
| 2.1.5 Vliv přídavku vody | 37 |
| 2.1.6 Vliv tavicích solí | 37 |
| 2.1.7 Vliv skladování na kvalitu tavených sýrů | 38 |
| 2.2 VLIV PROCESNÍCH PARAMETRŮ NA KVALITU TAVENÝCH SÝRŮ | 39 |
| 3 REOLOGIE, TRIBOLOGIE A JEJICH APLIKACE NA POTRAVINOVÉ MATRICE | 41 |
| 3.1 REOLOGICKÁ ANALÝZA | 41 |
| 3.1.1 Rozdíl mezi reologií a tribologií | 42 |
| 3.2 TRIBOLOGICKÁ ANALÝZA | 43 |
| 3.3 TRIBOLOGIE V POTRAVINÁŘSKÉM PRŮMYSLU | 45 |
| 3.3.1 Tribometr | 46 |
| 3.3.2 Tribologie taveného sýra | 46 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 47 |
| 4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE | 48 |
| 5 MATERIÁL A METODIKA | 49 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------|------------|
| 5.1 | VÝROBA MODELOVÝCH VZORKŮ TAVENÝCH SÝRŮ | 49 |
| 5.1.1 | Dvoustupňové přidávání vody | 50 |
| 5.2 | ZÁKLADNÍ CHEMICKÁ ANALÝZA | 51 |
| 5.2.1 | Stanovení celkového obsahu sušiny | 51 |
| 5.2.2 | Stanovení pH | 53 |
| 5.3 | TEXTURNÍ PROFILOVÁ ANALÝZA | 54 |
| 5.4 | STANOVENÍ VISKOELASTICKÝCH VLASTNOSTÍ | 57 |
| 5.5 | TRIBOLOGICKÁ ANALÝZA | 58 |
| 5.6 | ANALÝZA BARVY | 60 |
| 5.7 | STANOVENÍ AKTIVITY VODY | 61 |
| 5.8 | DIFERENCIÁLNÍ SKENOVACÍ KALORIMETRIE (DSC) | 63 |
| 5.9 | SENZORICKÁ ANALÝZA..... | 64 |
| 6 | VÝSLEDKY A DISKUZE | 65 |
| 6.1 | VYHODNOCENÍ ZÁKLADNÍ CHEMICKÉ ANALÝZY | 65 |
| 6.1.1 | Vyhodnocení celkového obsahu sušiny | 65 |
| 6.1.2 | Vyhodnocení hodnot pH | 65 |
| 6.2 | VYHODNOCENÍ TEXTURNÍ PROFILOVÉ ANALÝZY | 66 |
| 6.2.1 | Vyhodnocení tvrdosti..... | 66 |
| 6.2.2 | Vyhodnocení relativní lepivosti | 68 |
| 6.2.3 | Vyhodnocení soudržnosti (kohezivnosti) | 69 |
| 6.2.4 | Vyhodnocení pružnosti (elasticity)..... | 70 |
| 6.2.5 | Vyhodnocení žvýkatelnosti a gumovitosti..... | 71 |
| 6.3 | VYHODNOCENÍ VISKOELASTICKÝCH VLASTNOSTÍ | 73 |
| 6.4 | VYHODNOCENÍ TRIBOLOGICKÉ ANALÝZY | 80 |
| 6.5 | VYHODNOCENÍ AKTIVITY VODY | 85 |
| 6.6 | VYHODNOCENÍ BARVY | 86 |
| 6.7 | VYHODNOCENÍ DIFERENCIÁLNÍ SKENOVACÍ KALORIMETRIE | 87 |
| 6.8 | VYHODNOCENÍ SENZORICKÉ ANALÝZY..... | 92 |
| | ZÁVĚR | 94 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 97 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 109 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 110 |
| | SEZNAM TABULEK | 112 |
| | SEZNAM PŘÍLOH | 113 |

ÚVOD

Tavené sýry představují oblíbenou skupinu mléčných výrobků, které jsou řazeny mezi nejmladší skupinu sýrů. Pokročilejší postupy výroby tavených sýrů jsou datovány na počátek 20. století, kdy hlavním cílem jejich výroby bylo poskytnout produkty o delší trvanlivosti a nepodléhající rychlému kažení při skladování (Guinee a kol., 2004). Právě prodloužená trvanlivost je jeden z mnoha důvodů oblíbenosti této potraviny mezi konzumenty. Dalšími přednostmi tavených sýrů jsou zejména přijatelná cenová dostupnost, široké uplatnění, variace chutí či rozmanité texturní vlastnosti. Tyto aspekty jsou pro zákazníky rozhodující při výběru tavených sýrů.

Výroba tavených sýrů spočívá v tepelné úpravě přírodních sýrů, o různém stupni prozrání, spolu s máslem, vodou, tavicími solemi a dalšími mléčnými i nemléčnými surovinami. Vzhledem k tomu, že při výrobě dochází k řadě složitým fyzikálně chemickým procesům, neustále přibývají nové vědecké studie či výzkumy prohlubující a rozvíjející poznatky výroby tavených sýrů (El-Bakry a Mehta, 2022).

Na trhu je možné najít tavené sýry různých tvarů a s různou konzistencí, např. od výrobků pevných a lomivých až po snadno roztíratelné a tekuté (Kapoor a Metzger, 2008). Na konzistenci má vliv celá řada faktorů, mezi které patří hlavně druh a prozralost přírodního sýru, dále i ostatní suroviny jako je voda či tavicí soli a v neposlední řadě také procesní parametry výroby (Černíková, 2018). Konzumenti preferují především roztíratelné tavené sýry, proto jsou některé výzkumy zaměřeny na měření textury, viskoelastických vlastností, ale i na instrumentální metody, kterými jsou spektrofotometrie nebo diferenciální skenovací kalorimetrie (Macků, 2009).

Hlavním účelem této diplomové práce bylo zjistit, zda dvoustupňové přidávání vody během výroby tavených sýrů má vliv na jejich viskoelastické a tribologické vlastnosti, včetně sledování změn v průběhu skladování. Problematika dvoustupňového přidávání vody při výrobě tavených sýrů se v odborné literatuře příliš nevyskytuje. Proto byla provedena řada fyzikálně chemických analýz vedoucí k vyhodnocení a odhalení, zda tento neobvyklý postup výroby tavených sýrů ovlivňuje finální produkty.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část se týká tavených sýrů, jejich výroby, vlivu surovinové skladby a procesních parametrů na konzistenci tavených sýrů a pojednává o reologii, tribologii a jejich aplikací na potravinové matrice. V praktické části je popsána výroba modelových vzorků tavených sýrů pomocí

dvoustupňovým přidáváním vody. Takto získané tavené sýry byly podrobeny základní chemické analýze, texturní profilové analýze, stanovení viskoelastických vlastností, tribologické analýze, stanovení aktivity vody a barvy, diferenciální skenovací kalorimetrii a rovněž i senzorické analýze.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TAVENÉ SÝRY

1.1 Historie tavených sýrů

V technologické výrobě mléčných výrobků bylo využito mnoho vědeckých poznatků pro studium výroby tavených sýrů, poněvadž jejich výroba představuje složitý průběh fyzikálně chemických pochodů (Šustová a Sýkora, 2013). Důvodem výroby tavených sýrů bylo především docílit prodloužení trvanlivosti přírodních sýrů s možností přepravy na delší vzdálenosti a vyvinout nový typ sýru, jako roztíratelný výrobek s různými ochucujícími složkami a s jemnější a stabilnější strukturou (Tamime, 2011).

První zmínka výroby tavených sýrů pochází z 19. století z Evropy, kde proběhly snahy o výrobu tohoto produktu, avšak v té době nebyly dostatečně prozkoumány funkce tavicích solí. Komerční výroba tavených sýrů se datuje v letech 1910 až 1920 a výrobní techniky byly založeny na sýru typu čedar. Švýcarská firma Gerber byla jako první firma na světě, kde se v roce 1911 podařilo vyrobit první tavený sýr. Vzhledem k tomu, že jako tavicí sůl se využil citronan sodný, připraven z kyseliny citronové ve vodném roztoku, nebyly tyto experimenty dostačující. Následně bylo ověřeno, že aplikace hydrogenufosforečnanu disodného výrazně ovlivnila výrobu taveného sýru, neboť jeho vlastnost výměny iontů byla větší než u citronanu (Guinee a kol., 2004).

Kvalitní tavené sýry se podařilo vyrobit až ve 30. letech 20. století v Německu, kdy J. A. Benckieser na trh uvedl jako tavicí soli polyfosforečnany, které se staly vhodnou surovinou pro výrobu jemně roztíratelných sýrů, jelikož příznivě ovlivnily konzistenci taveniny (Zadrazil, 2002).

Firma Bloch (Vodňany) byla jedinou firmou v tehdejším Československu, které se podařil vyrobit v roce 1923 první tavený sýr pod značkou Simplon a Ladislav Hertl byl u nás prvním průkopníkem. Postupně se zájem o tavené sýry začal rozvíjet a v roce 1932 vzniklo v Trojské mlékárně Sdružení pro výrobu tavených sýrů. V roce 1933 se v Československu zabývalo tavenými sýry 27 firem, nicméně jen 4 z nich se skutečně zabývaly jejich výrobou (Likler, 2011).

Postupem času se začaly modernizovat a vylepšovat přístrojová vybavení s cílem zajistit rovnoměrné zahřívání a míchání taveniny, čímž se dosáhlo kvalitnějších finálních výrobků (De Oliveira a kol., 2011).

1.2 Charakteristika tavených sýrů

Podle platné legislativy, resp. vyhlášky o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje Ministerstva zemědělství České republiky č. 274/2019 Sb. je „tavený sýr“ definován jako sýr, který byl tepelně upraven tavením a jako „tavený sýrový výrobek“ se označí mléčný výrobek, který je tepelně ošetřen tavením, obsahuje více než 5 % laktózy a v němž sýr tvoří nejméně 50 % hm. sušiny tohoto výrobku (Česká republika, 2019).

Obecně lze tavené sýry definovat jako vícesložkový mléčný systém, který představuje emulzi typu olej ve vodě. Z hlediska fyzikálně – chemického jsou tavené sýry definovány jako disperze tukových kuliček v síťové proteinové matici (Hasenhuettl a Hartel, 2008). Tavené sýry představují poměrně velkou kategorii sýrů, které jsou připravované rozmělněním, smícháním a roztavením za vakua jednoho nebo více druhu přírodních sýrů, vody, tavicích solí a dalších složek do hladké a homogenní směsi pomocí tepelného zahřevu a mechanického namáhání (Tamime, 2011).

Tavené sýry jsou rozšířené po celém světě a jejich použití v potravinářském průmyslu je všestranné. Patří mezi oblíbenou potravinu jak k přímému konzumu, tak v gastronomii (Kapoor a kol., 2008). Na základě kombinace surovinové skladby je možné vyrobit tavené sýry s různou konzistencí, např. roztíratelné tavené sýry, blokové tavené sýry vhodné k plátkování nebo tavené sýrové omáčky. V souladu s rozvojem mlékárenského průmyslu jsou technologické postupy výroby tavených sýrů neustále prohlubovány, rozvíjeny a začaly se vyrábět i tavené sýry prospěšné pro lidské zdraví. V současnosti se vyrábí tavené sýry se sníženým obsahem cholesterolu, sodíku nebo tuku (De Oliveira a kol., 2011; Sołowiej a kol., 2020).

1.2.1 Právní předpisy týkající se tavených sýrů

Dodržování legislativy týkající se potravin je základním cílem k zajištění poctivých obchodních praktik, zabránění klamání spotřebitele a zabezpečení zdravotní nezávadnosti potravin. K zachování bezpečnosti a kvality potravin přispívají veškeré právní předpisy včetně norem, potravinářských standardů a Codex Alimentarius. Většina zemí si vytvořila vlastní národní legislativu, proto požadavky na surovinovou skladbu, použité přísady nebo označování tavených sýrů se mohou v jednotlivých zemích lišit. Nicméně základní odborné pojmy a definice týkající se tavených sýrů vychází z Codex Alimentarius a jsou predikcí k národním předpisům ostatních zemí (Koca a kol., 2022).

Dle Codex Alimentarius jsou tavené sýry klasifikovány do 2 základních skupin, a to tavené sýry a roztíratelné tavené sýry. Hlavní rozdíl mezi těmito skupinami je především v jejich obsahu sušiny, která následně vede k odlišným reologickým vlastnostem. V Codex Alimentarius lze nalézt i další požadavky týkající se výroby tavených sýrů, např. povolené mléčné a nemléčné přísady, minimální teploty tavení, podmínka minimálně 51 % hm. sušiny použitého přírodního sýra, obsah sušiny a tukuprosté sušiny a další (El-Bakry a Mehta, 2022).

Vyhláška o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje Ministerstva zemědělství České republiky č. 274/2019 Sb. rozděluje sýry na několik skupin a podskupin (viz. Tabulka 1). Rovněž vyhláška stanovuje přehled povolených složek jiných než sýry pro výrobu tavených sýrů a tavených sýrových výrobků a tavených mléčných výrobků (viz. Tabulka 2) (Česká republika, 2019).

Tabulka 1 Členění sýru na druhy, skupiny a podskupiny (Česká republika, 2019)

| Druh | Skupina | Podskupina |
|------|-----------------------|-----------------------|
| Sýr | Přírodní | Čerstvý |
| | | Zrající |
| | | Zrající pod mazem |
| | | Zrající v celé hmotě |
| | | S plísní na povrchu |
| | | S plísní uvnitř hmoty |
| | | Dvouplísňový |
| | | V solném nálevu, bílý |
| | | Pařený |
| | | |
| | | Tvrdý |
| | | Polotvrdý |
| | | Poloměkký |
| | | Měkký |
| | Tavený | Roztíratelný s lomem |
| | Tavený sýrový výrobek | |
| | Tavený mléčný výrobek | |
| | Syrovátkový | |

Tabulka 2 Přehled povolených složek jiných než sýry pro výrobu tavených sýrů
(Česká republika, 2019)

| Složka jiná než sýr | Tavený sýr a tavený roztíratelný sýr | | Tavený sýrový výrobek a tavený mléčný výrobek |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| | Druhově pojmenovaný | Druhově nepojmenovaný | |
| Máslo, máselný tuk, smetana, máselný koncentrát | Pouze pro standardizaci obsahu tuku | Ano | Ano |
| Ostatní mléčné složky | Ne | Ano Obsah nejvýše 5 % hm. laktózy ve finálním TS | Ano |
| Jedlá sůl | Ano | Ano | Ano |
| Bakteriální kultury | Ano | Ano | Ano |
| Enzymy ^{*)} | Ano | Ano | Ano |
| Cukry (sacharidy se sladícím účinkem) | Ne | Ne | Ano |
| Koření a sezónní zelenina | Podle druhu výrobku a v množství, které postačuje, aby dodalo konečnému výrobku charakteristickou chuť | | |
| Ostatní zdravotně nezávadné potraviny | Ano | | Ano |

^{*)} zdravotně nezávadné se specifickými účinky“.

1.2.2 Sortiment tavených sýrů

Sortiment tavených sýrů je v dnešní době velmi rozšířen. Na trhu se můžeme setkat s tavenými sýry, které byly vyrobeny kombinací několika druhů přírodních sýrů, nebo které mají v surovinové skladbě zastoupeny složky mléčného či nemléčného původu. Na základě složení (obsahu tuku v sušině, tavicích solí, suroviny) a způsobu technologické výroby, včetně tavení, je možné vyrobit tavené sýry o různé konzistenci, avšak je nezbytně nutné, aby konzistence byla homogenní, celistvá a hladká. Pokud tavené sýry vykazují konzistenci krupičkovitou nebo písčitou, jsou zcela nevyhovující. Je možné se setkat s tavenými sýry, které jsou pevné, lomivé, snadno roztíratelné, krémové či hustě tekuté. Ovšem na trhu jsou upřednostňovány tavené sýry s dobře roztíratelnou a měkkou konzistencí. Konzistenci tavených sýrů mohou rovněž ovlivnit i další faktory, jako je např. přítomnost vyššího obsahu tavicích solí, které se podílí na tužší konzistenci nebo vyšší obsah tuku, poněvadž vysokotučné sýry jsou zpravidla měkké a roztíratelné (Pavelka, 1996; Mulsow a kol., 2007; Kapoor a Metrger, 2008).

1.3 Suroviny pro výrobu tavených sýrů

Pro dosažení optimálních kvalitativních parametrů tavených sýrů je důležité pro výrobu zajistit vhodné a vysoce kvalitní suroviny. Při výběru přírodního sýru je třeba zohlednit, o jaký druh sýra se jedná, jeho stupeň prozrálosti, jakost a složení. Nejdůležitějšími faktory pro volbu surovin jsou v první řadě mikrobiologické vlastnosti, úroveň hygieny, vysoký obsah bílkovin a stupeň kyselosti (Šustová a Sýkora, 2013).

Mezi základní suroviny pro výrobu tavených sýrů patří přírodní sýr, voda, máslo a tavicí soli. V některých případech je v základní surovinové skladbě přítomen také tvaroh. Tvaroh se přidává za účelem jednak zvýšení tukuprosté sušiny, ale i pokud surovinová skladba obsahuje přezrálý přírodní sýr. V takovém případě úloha tvarohu představuje obohacení taveniny o kasein, resp. intaktní kasein, který neprošel hydrolyzou. Pro dosažení jemnější konzistence taveného sýru je možné surovinovou skladbu doplnit krémem tzv. již utaveným sýrem, neboli nátavkem „rework“ (Boháč, 1960; Pijanowsky, 1978; Forman a kol., 1996; Buňka a Hrabě, 2006; Kapoor a Metzger, 2008). Konkrétněji se nátavkem myslí taveninu, která již byla podrobena tepelnému ošetření spolu s tavicími solemi (Černíková a kol., 2018).

Využívají se i některé další mléčné bílkovinné složky např. sušené mléko, sušené odstředěné mléko, sušená syrovátka nebo sušené podmásli. Použití těchto produktů je stanoveno legislativním předpisem, resp. je omezen obsah laktózy na max. 5 % ve finálním výrobku. Pokud je obsah laktózy vyšší, jedná se o tavený sýrový výrobek, nikoli o tavený sýr (Česká republika, 2019). Důvod použití těchto sušených výrobků je v první řadě snížení nákladů na výrobu (Kapoor a Metzger, 2008).

Přídavek vody hraje během výroby tavených sýrů poměrně zásadní roli. Množství vody na surovinovou skladbu je vyjádřeno ze sušiny tavicí hmoty a ze sušiny finálního taveného sýru. Je známo více způsobů, kdy vodu do technologického postupu zařadit. Obvyklý postup je jednorázový přídavek vody spolu s ostatními surovinami. Další možností je rozdělení vody na dva nebo více dílů a v různých časových úsecích vodu doplnit do tavicího procesu. Pokud je polovina vody přidána na začátku tavení a zbylá polovina je přidána během nebo na konci tavicího procesu, dochází k příznivému vlivu na konzistenci tavených sýrů, poněvadž kasein je lépe začleněn do taveniny a vícekrát ovlivněn tavicími solemi (Šustová a Sýkora, 2013).

1.3.1 Přírodní sýr pro výrobu tavených sýrů

Nezbytnou surovinou pro výrobu tavených sýrů jsou tradičně vyráběné tvrdé a polotvrdé přírodní sýry. Na výrobu jsou však použity různé přírodní sýry dle tradičních technologických postupů po celém světě. Česká republika, spolu s přilehlými státy, používají k výrobě tavených sýrů zpravidla sýry holandského typu s nízkodohřivanou sýřeninou např. Eidamskou cihlu s 30 % obsahu tuku v sušině. Sýry švýcarského typu s vysokodohřivanou sýřeninou mohou být také na výrobu tavených sýrů využity, avšak tato surovina je využívána jen zřídka (Carić a kol., 1985; Guinee a kol., 2004; Kapoor a Metzger, 2008; Buňka a kol., 2009). Obzvláště v anglicky mluvících zemích, např. ve Spojených státech amerických, Velké Británii, Austrálii a na Novém Zélandu, jsou na výrobu využívány především sýry čedar a mozzarella. Naproti tomu na Balkáně a některé státy na Blízkém a Středním Východě uplatňují do výroby tavených sýrů bílé sýry zrající v solném nálevu (Moatsou a Govaris, 2011; Černíková a kol., 2017; Salek a kol., 2020). Vlastnosti přírodních sýrů mají výrazný vliv na konzistenci výsledných tavených sýrů, jelikož na výrobu jsou zahrnuty sýry s odlišným stupněm prozrálosti (Buňka, 2017).

Stejně jako u každé výroby potravinářského produktu, tak i u tavených sýrů platí zásada použít na výrobu pouze kvalitní suroviny, které jsou podmínkou vysoké jakosti finálního produktu. V podstatě kvalitu tavených sýrů určuje zejména kvalita použitého přírodního sýru (Šustová a Sýkora, 2013). Pro naprostou většinu výrobců jsou kvalitní suroviny naprosto zásadní, nicméně není vyloučeno i zpracování surovin horší kvality. Jde např. o přírodní sýry se vzhledovými vadami, jako jsou mechanické deformace, vzniklé při výrobě, při lisování nebo při nevhodné manipulaci. U takových přírodních sýrů není možný přímý prodej. Mechanické nedostatky nepředstavují riziko, jestliže je surovina bezpečná, zdravotně nezávadná, a také v kombinaci s vhodně zvolenou surovinovou skladbou mohou být mechanické vady eliminovány. Pokud by se jednalo o přírodní sýr s vadou konzistence, jsou takové vady akceptovatelné do té míry, kdy tyto vady nemají vliv na jakost sýra (Berger, 1998; Tamime, 2011).

Mírné vady chuti či vůně přírodních sýrů zanikají díky tepelné úpravě, proto mohou být takové sýry nevhodné k přímému konzumu tímto způsobem zužitkovány. Ovšem zřetel je kladen při přejímání suroviny na hořkou chuť přírodních sýrů, neboť během tavení se nežádoucí hořká chuť výrazněji projevuje. Ostrá chuť vznikající vlivem přezrání sýrů není závadou a mohou být tyto sýry rovněž přidány do výroby spolu se sýry mladšími a neprozralými (Šustová a Sýkora, 2013).

Ovšem nežádoucí je použití přírodních sýrů, pokud obsahují mikrobiologickou vadu, resp. obsahují sporulující mikroorganismy, jejichž spory nejsou tepelnou úpravou usmrceny (Carić a Milanović, 2006). Jedná se zejména o aerobní a anaerobní sporulující mikroorganismy, nejčastěji rodu *Bacillus*, *Geobacillus*, *Clostridium*. U sýru např. s pozdním duřením se vyskytuje bakterie *Clostridium tyrobutyricum* nebo u bílé hniloby je přítomna bakterie *Clostridium sporogenes*. Teploty tavení při výrobě tavených sýrů jsou obvykle 90 – 105 °C a nestačí k inaktivaci spor, jsou usmrceny pouze vegetativní formy mikroorganismů. Spory v taveném sýru vyklíčí i na základě hodnoty pH, které se pohybuje kolem 5,0 – 6,0 a dojde ke znehodnocení výrobku a poškození zdravotní nezávadnosti (Carić a kol., 1985; Guinee a kol., 2004; Kapoor a Metzger, 2008; Buňková a Buňka, 2017). Jako prevence před vznikem mykotoxinů jsou ze surovinové skladby vyřazeny přírodní sýry kontaminované plísněmi nebo sýry kontaminované bakteriemi z čeledi *Enterobacteriaceae*, které vykazují riziko vzniku bakteriálních toxinů (Moss, 2002; Magan a Olsen, 2004).

1.3.2 Tavicí soli a princip jejich působení

Tavicí soli jsou zpravidla slabě alkalické soli silné zásady nebo slabé kyseliny s jednomocným kationtem a vícemocným aniontem. Pro výrobu tavených sýrů se obvykle používají sodné a draselné soli kyseliny citronové a fosforečné. Nicméně draselné soli se na výrobu tavených sýrů běžně nepoužívají, poněvadž způsobují výskyt hořké chuti (Kadlec a kol., 2009; Černíková, 2018).

Odborná literatura nabízí mnoho definic týkající se tavicích solí, avšak dle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1333/2008 o potravinářských přídatných látkách se „tavicími solemi“ rozumějí látky, které převádějí bílkoviny obsažené v sýru do disperzní formy za účelem homogenního rozložení tuků a ostatních složek. Nařízení rovněž stanovuje limitní přídavek tavicích solí, který nesmí překročit 2 – 3 % hm. finálního výrobku (Evropa, 2008).

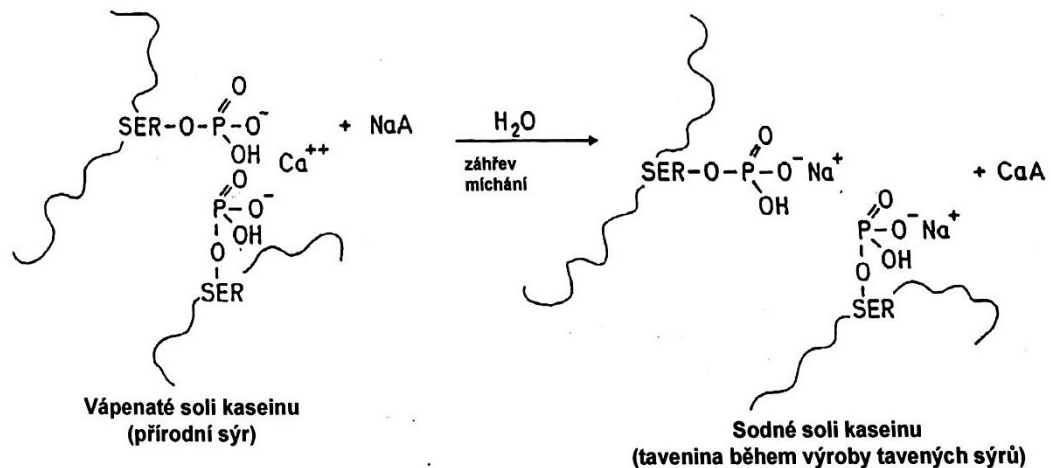
Tavicí soli bývají nesprávně nazývány jako emulgátory. V podstatě se o pravé emulgátory nejedná, protože nejsou povrchově aktivními látkami. Odborná literatura označuje tavicí soli jako emulgační činidla či soli (emulsifying agents or emulsifying salts) a takové pojmenování lépe vyjadřuje jejich funkci během tavení, poněvadž tavicí soli podporují emulgační účinek kaseinu a nahrazují v proteinové matici přírodního sýra dvojmocný vápník za jednomocný sodík (Lazárková a kol., 2010).

Během zahřívání přírodních sýrů na teplotu kolem 85 °C dochází k rozdělení přírodního sýru na 3 fáze: vysráženou bílkovinu na dně, vodní fázi ve střední vrstvě a volný tuk na povrchu. Právě až přidavek tavicích solí zajistí úspěšnou výrobu tavených sýrů a vytvoření homogenní směsi (Zadrazil, 2002). Pokud by se surovinová skladba bez tavicích solí zahřívala, lze očekávat sled reakcí, které vedou ke vzniku nehomogenní struktury. V první řadě dojde k rozkladu membrán lipoproteinu, které obalují tukové kuličky. Poté dojde k integraci tukových kuliček do větších komplexů bez obsahu lipoproteinové membrány. Vyšší teplota a pH surovinové skladby mají za následek vznik agregace kaseinových bílkovin pocházející z přírodních sýrů a také úbytek vody, čímž vzniká heterogenní směs s oddělenými hydrofilními a hydrofobními fázemi (Caric a kol., 1985; Guinee, 2003). Aby se zapříčinilo takovému výsledku a naopak dosáhlo hladké homogenní struktury, je třeba mít v surovinové skladbě zahrnuté efektivní a funkční emulgátory. Přírodní sýry právě výše zmíněné emulgátory obsahují, jedná se o čtyři kaseinové frakce α_{s1} – kasein, α_{s2} – kasein, β – kasein a κ - kasein. Tyto kaseiny obsahují hydrofobní a hydrofilní segmenty a jejich klíčovou vlastností je emulgační schopnost. Problémem kaseinových frakcí je jejich neschopnost pohybu a orientace v prostředí přírodního sýru vlivem vzájemného propojení vápenatých můstků v síti. Na základě této překážky je emulgační schopnost kaseinových frakcí podstatně snížena (Dalglish, 1992; Ginger a Grigor, 1999; Fox, 2001; Kwak a kol., 2002; Farrell a kol., 2004; Buňka a kol., 2009).

Pro výrobu tavených sýrů je nezbytně nutné obohatit surovinovou skladbu o potravinářskou přídatnou složku, která zajistí odštěpení vápenatých iontů z matrice přírodních sýrů. Touto schopností disponují tavicí soli. V procesu tavení rovněž tavicí soli zajistí výměnu Ca^{2+} iontů za Na^+ (popřípadě K^+) ionty, umožní rozpouštění bílkoviny a zapříčiní jejich srážení pomocí částečného navázání vápníku, emulgaci mléčného tuku, úpravu pH a hydrataci, resp. vazbu vody. Vlivem iontové výměny jsou tavicí soli poměrně důležitou složkou, poněvadž změní prostředí přírodních sýrů a díky tomu kaseinové frakce mohou uplatnit své emulgační schopnosti. Obrázek 1 tuto iontovou výměnu detailně zobrazuje (Shirashoji a kol., 2006; Kawasaki, 2008; Buňka, 2017).

Tavicí soli mají tedy při výrobě tavených sýrů dvě základní funkce. První důležitou funkcí je „sekvestrace vápníku“, kdy tavicí soli působí na proteinovou síť, vázanou na vápník a fosfáty v přírodním sýru, a během výroby tuto síť naruší. Druhou vlastností tavicích solí je „úprava pH“. Tyto základní funkce přispívají k hydrataci kaseinů, které se

nachází v přírodním sýru. Vlivem hydratace jsou schopny snadno interagovat s vodnou a tukovou fází, což má za následek vznik homogenní emulze taveného sýra a rovněž tavicí soli zabrání oddělování tuku od sýra (Kapoor a Metzger, 2008).



Obr\u00e1zek 1 Sch\u00e9ma v\u00fdm\u00e9ny iont\u016f sod\u00edku za ionty v\u00e1pn\u00edku b\u011bh\u00e9m taven\u00ed, A – anion tavic\u00ed soli, SER – serinov\u00e9 zbytky (*Upraveno podle Cari\u0107 a Kal\u00e1b, 1997*)

V praxi se nej\u010dast\u011bj\u00ed na v\u00fdrobu taven\u00fdch s\u00fdr\u016f pou\u017e\u00edv\u00e1j\u00ed citronany, fosfore\u010dnany a polyfosfore\u010dnany. Jejich z\u00e1kladn\u00ed vlastnosti pot\u0159ebn\u00e9 na v\u00fdrobu jsou p\u0159edev\u0161\u00edm dostate\u010dn\u00e1 v\u00fdm\u00e9na iont\u016f, rozpustnost ve vod\u011b, zdravotn\u00ed nezávaznost \u010di bezpe\u010dnost a vykazovat neut\u0159aln\u00ed sensorick\u00e9 vlastnosti. Jednotliv\u00e9 druhy tavic\u00edch sol\u00ed maj\u00ed r\u016fznorod\u00e9 vlastnosti, proto se zpravidla vol\u00ed vhodn\u00e9 kombinace sol\u00ed o r\u016fzn\u00e9m procentu\u00e1ln\u00edm zastoupen\u00ed. Nicm\u00e9n\u011b p\u0159\u00eddavek tavic\u00edch sol\u00ed nesm\u00ed p\u0159ekro\u010dit 3 % hm. na surovinu. V p\u0159\u00edpad\u011b v\u00fd\u0161\u00edch d\u00e1vek tavic\u00edch sol\u00ed doch\u00e1z\u00ed k odlu\u010dov\u00e1n\u00ed tuku (Mizuno a Lucey, 2005; Vega a kol., 2005).

Citronany p\u0159edstavuj\u00ed soli kyseliny citronov\u00e9 vyu\u017e\u00edvaj\u00edc\u00ed se jako tavic\u00ed soli a k \u00farprav\u011b kyselosti. Nej\u010dast\u011bj\u00ed se do v\u00fdroby taven\u00fdch s\u00fdr\u016f pou\u017e\u00edv\u00e1 citronan sodn\u00fd, kter\u00fd se vyzna\u010duje p\u0159ijatelnou pufrovac\u00ed a tavic\u00ed vlastnost\u00ed. Ov\u0161em citronany jsou \u0159azeny mezi soli s ni\u017e\u0161\u00ed schopnost\u00ed iontov\u00e9 v\u00fdm\u00e9ny Ca^{2+} iont\u016f, resp. m\u00e9n\u011b v\u00e1\u017eou v\u00e1pn\u00edk z b\u00edlkovin, z tohoto d\u016fvodu jsou sou\u010d\u00e1st\u00ed receptury pro v\u00fdrobu tu\u017e\u0161\u00edch a kr\u00e1jiteln\u00fdch taven\u00fdch s\u00fdr\u016f. Citronany se nej\u010dast\u011bj\u00ed pou\u017e\u00edv\u00e1j\u00ed v p\u0159\u00edpad\u011b, kdy je na v\u00fdrobu pou\u017e\u00edt p\u0159ezr\u00e1l\u00fd p\u0159\u00edrodn\u00ed s\u00fdr s vysokou hodnotou pH a je nutn\u00e9 zajistit korekci pH (Hrab\u011b a kol., 2006; Lucey a kol., 2011). V\u0161eobecn\u011b plat\u00ed, \u017ee pro doc\u00edlen\u00ed vhodn\u00e9 konzistence jsou citronany kombinov\u00e1ny s fosfore\u010dnany (Giunee a kol., 2004; Mizuno a Lucey, 2005).

Dalšími důležitými tavicími solemi jsou fosforečnany, což jsou soli kyseliny trihydrogenfosforečné. Na výrobu tavených sýrů se nejvíce uplatňují jejich sodné soli s jednou skupinou fosforečnanového iontu $(\text{PO}_4)^{3-}$. Oproti citronanům jsou schopny vázat relativně velké množství vody a vápníku. Fosforečnany používané pro výrobu tavených sýrů jsou uvedeny v Tabulce 3. Nejvyšší afinitu k vápníku vykazují polyfosforečnany. Jejich hlavní úloha je korekce pH, kdy pro roztíratelné sýry je optimální pH 5,6 – 5,8. Mají rovněž dobrou pufrční schopnost, čili schopnost zajistit stabilitu pH před nepříznivými okolními vlivy. Nejvhodnější pufrční schopnost vykazují ortofosforečnany, protože čím je kratší délka lineárního řetězce, resp. nízký počet fosforečnanových jednotek v polymeru, tím je pufrční schopnost vyšší (Molins, 1991; Guinee a kol., 2004). Další významnou vlastností fosforečnanů, která je zásadní pro správnou výrobu tavených sýrů, je možnost odštěpit a následně na sebe navázat monovalentní a polyvalentní kationty kovů. Tato vlastnost podpoří lepší navázání vody a ovlivní tvorbu gelu (Mizuno a Lucey, 2005). Vzhledem k tomu, že různé skupiny fosforečnanů mohou mít odlišné pH i funkci je kladen důraz především na správný výběr kombinací fosforečnanů a tím se i zabezpečí optimální pH ve výsledném výrobku (Molins, 1991; Guinee a kol., 2004).

Tabulka 3 Fosforečnany používané pro výrobu tavených sýrů
(Upraveno podle Guinee a kol., 2004)

| Skupina | Látka | Vzorec | Obsah P_2O_5 (%) | E-kód | pH 1 % vodného roztoku |
|------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|-------|------------------------|
| Ortofosforečnany | Dihydrogenfosforečnan sodný | NaH_2PO_4 | 59,15 | E339 | 4,50 |
| | Monohydrogenfosforečnan sodný | Na_2HPO_4 | 50,00 | E339 | 9,10 |
| | Fosforečnan sodný | Na_3PO_4 | 43,94 | E339 | 11,90 |
| Difosforečnany (pyrofosforečnany) | Dihydrogendifosforečnan sodný | $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ | 63,95 | E450 | 4,10 |
| | Difosforečnan sodný | $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ | 53,38 | E450 | 10,20 |
| Trifosforečnany | Trifosforečnan sodný | $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ | 57,88 | E451 | 9,70 |
| Polyfosforečnany | Polyfosforečnan sodný (Grahamova sůl) | $(\text{NaPO}_3)_n$ | 69,61 | E452 | 6,60 |

Při výběru nejvhodnější tavicí soli na výrobu tavených sýrů je sledováno mnoho požadavků, např. druh a prozrálost použitých přírodních sýrů. Čím více je sýr vyztáhlý, tím menší dávka tavicích solí se použije, protože u vyztáhlého přírodního sýru je nižší obsah

intaktního kaseinu (Janštová, 2012). Kromě toho se tavicí soli volí na základě konečných vlastností taveného sýru, zejména na požadované chuti a vůni, konzistence či barvě. Vhodné tavicí soli jsou vybírány i podle technologického postupu zpracování, podle způsobu tavení nebo podle druhu obalového materiálu finálního produktu. Nejvhodnější způsob dávkování tavicích solí je v podobě prášku, ale mohou být dodány i ve formě roztoku (Šustová a Sýkora, 2013).

1.3.3 Další přídatné látky

Dalšími přídatnými látkami, které se ve výrobě aplikují, jsou např. hydrokoloidy (proteiny a polysacharidy), antimikrobiální látky (bakteriocin nisin) popřípadě barviva, stabilizující složky nebo ochucující přísady (Forde a Fitzgerald, 2000).

Surovinová skladba bývá často obohacena o hydrokoloidy, které mají stabilizační funkci a také mají příznivý vliv na konzistenci. Na výrobu tavených sýrů je možné aplikovat velkou škálu hydrokoloidů, avšak nejčastěji se využívá např. kappa karagenan, xantanová či lokustová guma, dále pak arabská guma, pektiny nebo modifikované škroby (Buňka a kol., 2009).

Mezi ochucující složky, které se při výrobě tavených sýrů používají, patří např. různé druhy koření, uzeniny včetně šunky, maso, ryby, houby nebo zelenina. Tyto ochucující ingredience se do základní surovinové skladby dávkuje před tavicím procesem a následně musí projít tepelným ošetřením (Šustová a Sýkora, 2013). Příměsi, které se nesmí do výroby přidávat, jsou především chemické konzervační látky nebo různé typy esencí. Výjimkou jsou však kyselina sorbová, sorbát draselný a vápenatý, které se mohou přidávat v povoleném množství. Povolenou složkou pro úpravu barvy jsou pouze sýrařská barviva např. karoten, bixin či norbixin a opět v limitním množství (Gajdůšek, 1998; Forde a Fitzgerald, 2000). Vyhláška o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje Ministerstva zemědělství České republiky č. 274/2019 Sb. stanovuje povolené složky jiných než sýry pro výrobu tavených sýrů.

1.4 Technologický postup

Obečným principem výroby tavených sýrů je výroba taveniny, postupným mícháním za vakua při tepelném zahřevu v rozmezí 85 – 120 °C, tavením již hotových přírodních sýrů v různých stupních zralosti spolu s tavicími solemi 2 – 3 % hm/hm a dalšími základními složkami dle použité surovinové skladby. Během tavicího procesu musí být směs neustále míchána a je částečně pod vakuem, k zabránění vzniku vzduchových bublin v tavenině, až do vzniku požadované hladké a homogenní konzistence. K vytvoření této konzistence lze dosáhnout pomocí tavicích solí, které zajišťují odštěpení vápníku z kaseinové matrice a nahrazení sodíkem, což má za následek podpoření emulgačních schopností proteinů v přírodním sýru (Amamcharla a Metzger, 2015).

Běžným technologickým postupem výroby tavených sýrů je diskontinuální způsob, který celosvětově převládá. Nicméně je možné vyrábět tavené sýry i kontinuálním způsobem (Buňka, 2017). Schéma výroby tavených sýrů diskontinuálním a kontinuálním způsobem znázorňuje Obrázek 2.

Při výrobě je kladen důraz na různé faktory, které by mohly ovlivnit konzistenci finálního produktu a docílit jednak optimální roztíratelnosti, nebo až krájitelnosti. Mezi tyto faktory se řadí zejména výběr vhodné tavicí soli či kombinace solí (fosforečnany, polyfosforečnany, citronany) a výběr suroviny z hlediska technologických parametrů (např. cílová teplota tavení, doba výdrže, rychlost otáček či rychlost chlazení) (Dostálová a kol., 2014).

1.4.1 Diskontinuální výroba tavených sýrů

V první fázi diskontinuálního postupu je na základě použité receptury stanoven výběr složek a jejich příprava (např. očištění, omytí a navážení). V následujících krocích dochází k rozemletí přírodního sýru v tavicím kotli, přidání vody, másla a tavicích solí. Jakmile jsou veškeré suroviny přidány a kotel je uzavřen následuje vlastní tavicí proces, který zahrnuje promíchání a tavení. Během tavicího procesu je za sníženého tlaku (0,04 – 0,05 MPa) a v rychlém časovém intervalu zvyšována teplota až na tavicí teploty 90 – 105 °C. Doba výdrže této teploty tavení se pohybuje kolem pár desítek sekund, přičemž celková doba tavení bývá obvykle 10 min. Pro dosažení tavicích teplot je využíváno ohřevu pomocí mezipláště nebo se častěji používá přímé vstříkávání páry do díla. Přímé vstříkávání páry do díla je prováděno se zřetelem k přidavku vody do surovinové skladby, jelikož pára v tavené směsi zkondenzuje, proto je nutné vzít v úvahu

i vodu zkondenzovanou jako součást výrobku. (Forman a kol., 1996; Gajdůšek, 1998; Buňka a Hrabě, 2006).

Pokud je výsledná tavenina po tavicím procesu příliš řídká, je nutné provést opětovné vymíchávání nebo se provede korekce konzistence přidávkem dalších tavicích solí. U směsi s přijatelnou a homogenní konzistencí následuje formování, balení a skladování (Buňka, 2017).

Poslední fází výroby je balení, které se provádí nejčastěji do lakovaných hliníkových fólií s odtrhávacím proužkem o různých tvarových typech. V současnosti existují baličky již na vyšší úrovni, které jsou schopny strojním mechanismem hliníkovou fólií zavařit a podpořit tak zvýšení trvanlivosti. Tavené sýry mohou být rovněž baleny do laminovaných hliníkových obalů, plastových kelímků, vaniček či tub, nebo se používají i sklenice, konzervy apod. Během balení musí být teplota taveniny co nejvyšší (obvykle kolem 60 – 70 °C) zejména pro dosažení nižší viskozity a jednak z důvodu zabránění sekundární kontaminace. Následně jsou výrobky chlazeny a skladovány. Tavené sýry se skladují v suchu s cirkulací vzduchu při chladírenských teplotách 4 – 8 °C a jejich trvanlivost je zhruba 3 – 5 měsíců (Awad, 2004; Buňka, 2017).

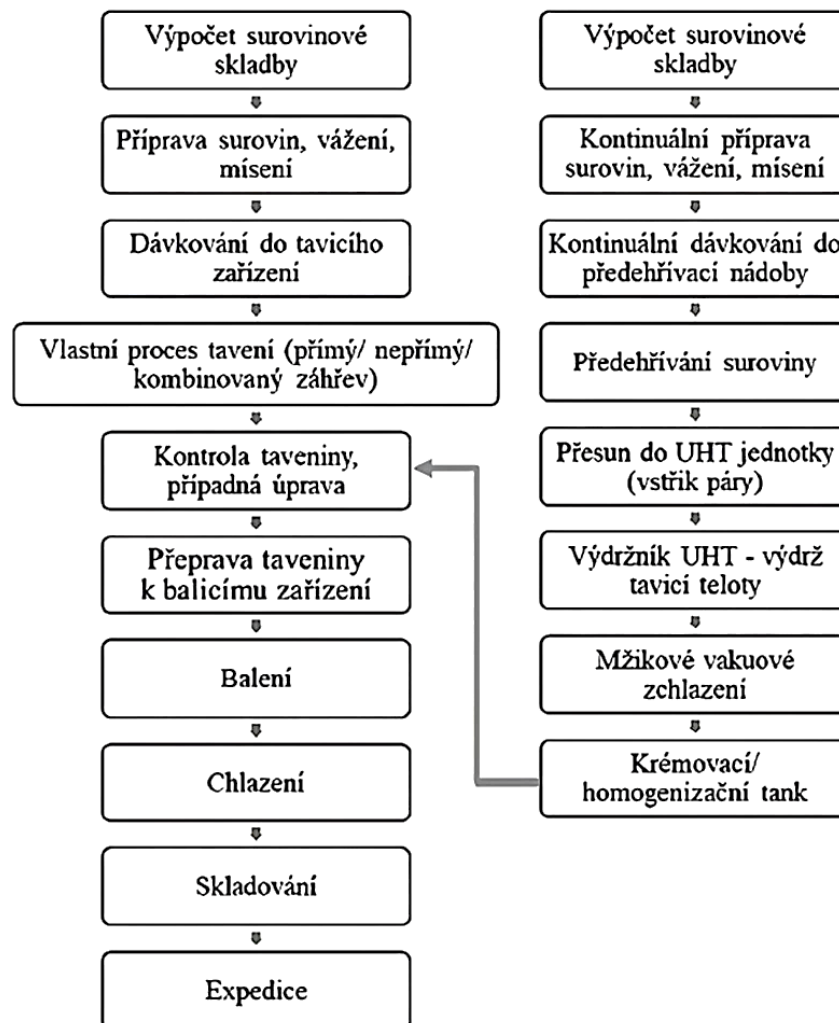
1.4.2 Kontinuální výroba tavených sýrů

Příprava surovinové skladby při kontinuální výrobě je shodná s diskontinuální výrobou. Ovšem surovinová skladba je při kontinuálním postupu výroby nejprve zahřívána na 70 – 90 °C, následně jsou suroviny posunuty do UHT – jednotky, kde následuje ohřev pomocí přímého vstřiku do páry až do dosažení tavicích teplot. Oproti diskontinuálním teplotám tavení jsou při kontinuální výrobě použity vyšší tavicí teploty, a to zhruba 135 – 145 °C. Směs z UHT – jednotky pokračuje na výdržník, ve kterém tavenina přetrvává 2 – 3 s a poté dochází k rychlému chlazení za vakua na teplotu v rozmezí 80 – 90 °C. V předposlední fázi probíhá kontrola viskozity u výsledné taveniny. Hotový výrobek nesmí být příliš lepkavý a musí být homogenní (Tamime 2011; Biswas a kol., 2015).

Diskontinuální výroba, vzhledem k teplotám tavení, představuje pouze pasterační efekt. Naproti tomu při kontinuálním procesu dochází ke sterilačnímu účinku. Díky vyšším teplotám záhřevu jsou usmrceny nežádoucí vegetativní formy mikroorganismů, včetně spor, pocházející např. z přírodních vyzrálých sýrů (Carić a Kaláb, 1997; Buňka a kol., 2009). Během tavicího procesu u kontinuálního způsobu výroby dochází jednak

k rozrušení vápenatých mŕstvků, a také k hydrofobním interakcím. Jelikož celý kontinuální proces trvá krátkou dobu než diskontinuální, je potřeba zařadit do výroby také homogenizaci – vymíchávání, aby výsledná konzistence byla dostatečně krémová. K homogenizaci dochází při chladnutí a při stálém míchání (Klostermeyer, 1990).

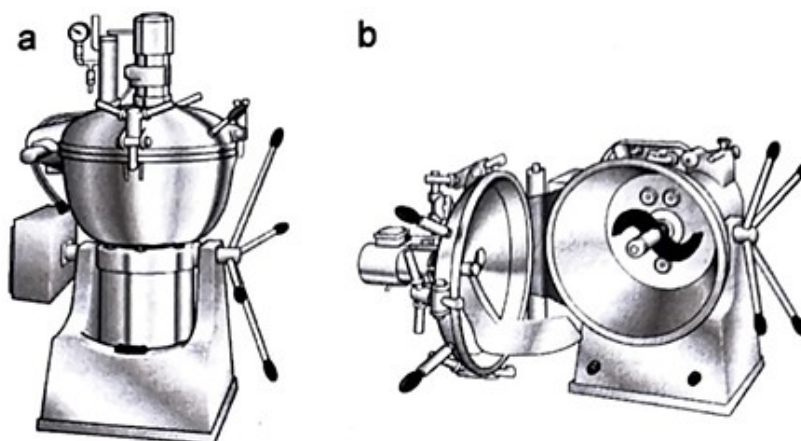
Poslední fáze představuje balení výrobku, které musí být stejně jako u diskontinuální výroby co nejdříve ihned po tavení a za vysoké teploty. Pro zachování sterility výrobku je důležité, aby balení probíhalo za aseptických podmínek, a také je třeba brát v úvahu i výběr druhu obalového materiálu, jelikož vlastnosti obalu mohou ovlivnit trvanlivost i sterilovaného výrobku (Buňka a kol., 2009). U sýrů, kde byl použit sterilační záhřev, může být trvanlivost poměrně delší a sýry mohou být skladovány při pokojových teplotách (Dostálová a kol., 2014).



Obrázek 2 Schéma výroby tavených sýrů diskontinuálním a kontinuálním způsobem
(Upraveno podle Černíková, 2018)

1.4.3 Fyzikálně-chemické principy výroby tavených sýrů

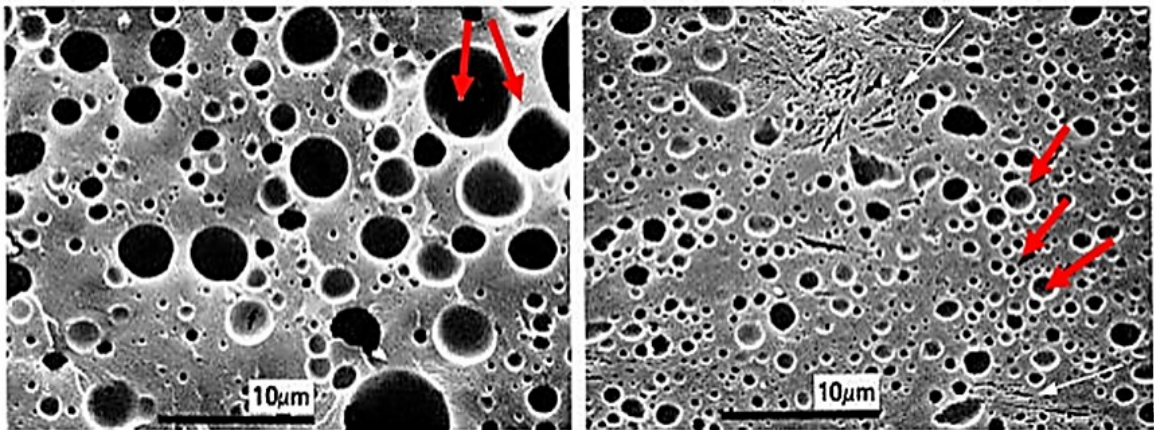
Jak už bylo zmíněno, tavení představuje důležitý krok pro výrobu tavených sýrů. K tomuto procesu je zapotřebí tzv. tavička (viz Obrázek 3), která se skládá z parou vyhřívaného pláště, nože, který se podílí na míchání či rozemletí, a z uzavíratelného otvoru pro přidávek vody. Tento proces probíhá za vakua o teplotě v rozmezí 80 – 105 °C a přibližně 4 – 15 min. Pro dosažení optimální roztíratelnosti je zapotřebí působit vyšší teplotou tavení s intenzivním mícháním (Kadlec a kol., 2009).



Obrázek 3 Tavička pro tavené sýry, a – uzavřená, b – otevřená
(Upraveno podle Bylund, 1995)

Tavicí proces představuje složitý sled fyzikálně-chemických reakcí. Přírodní sýry použité na výrobu tavených sýrů jsou tvořené trojrozměrnou sítí obsahující proteiny, které jsou složeny z navzájem spojených kaseinových agregátů. Uvnitř sítě jsou rovněž zachyceny voda a tuk. Část vápníku je zde ve formě fosforečnanu vápenatého navázána na kaseinovou matici a také je část ve formě vápenatých můstků spojující parakasein. Během tavení dochází k desintegraci proteinové matrice. Vlivem působení vysokých teplot a stálého míchání během tavení dochází k postupnému odštěpení vápenatých iontů a k emulgaci tuku. Anionty buď sodné, nebo draselné tavicích solí zaujímají místo po Ca^{2+} a vlivem jejich dobré vaznosti vody dochází k růstu viskozity taveniny, až k tzv. krémování (creaming process). Přítomné tukové kuličky jsou díky vysoké teplotě tavení a neustálému míchání zbaveny ochranné membrány, zmenšeny a rozptýleny v proteinové síti (viz Obrázek 4). Bílkoviny, které podlely desintegraci, následně obalí povrch tukových kuliček, čímž se podílí na emulgaci a stabilitě systému (Carić a Kaláb, 1997; Brickley a kol., 2007).

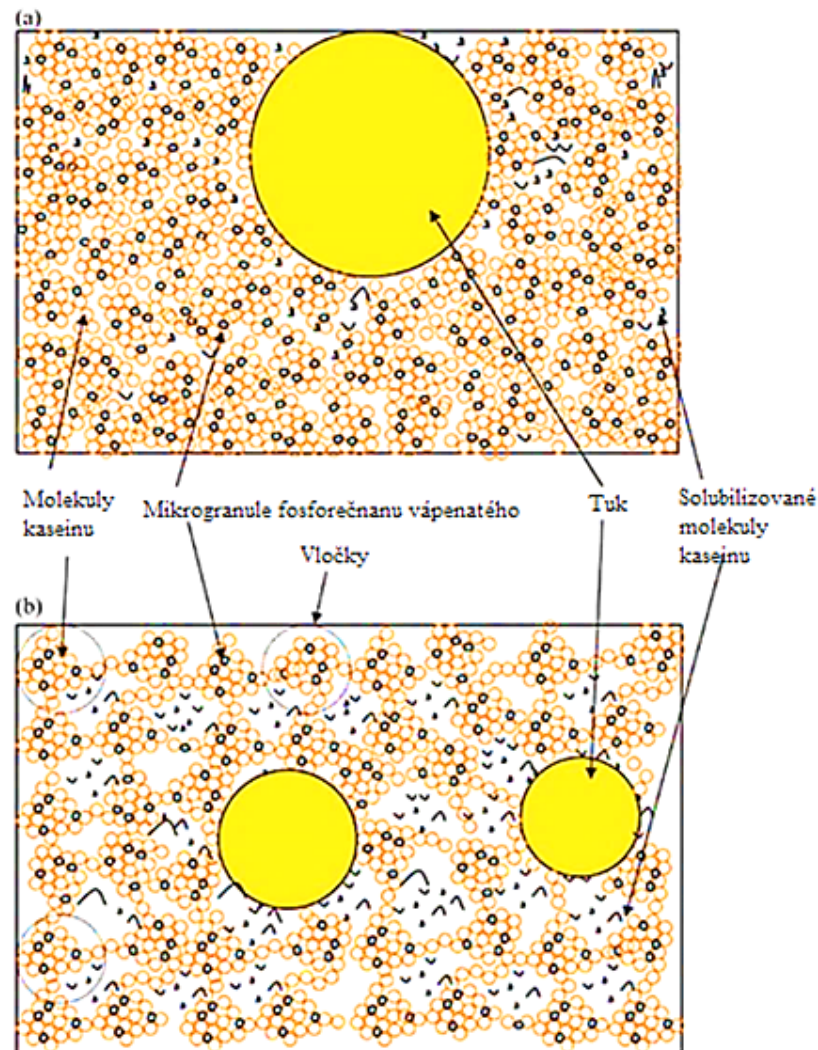
Účinky tavicích solí během tavicího procesu způsobí mírné zvýšení pH (z 5,2 – 5,5 na 5,6 – 6,0) a také zapříčiní zvýšení záporného náboje proteinů a peptidů, což také podpoří desintegraci proteinové matrice (Mizuno a Lucey, 2005).



Obrázek 4 Struktura matrice taveného sýra. Vlevo – tavenina na začátku procesu tavení, vpravo – po ukončení tavicího procesu. Tukové kuličky jsou označeny červenými šipkami (Guinee a kol., 2004)

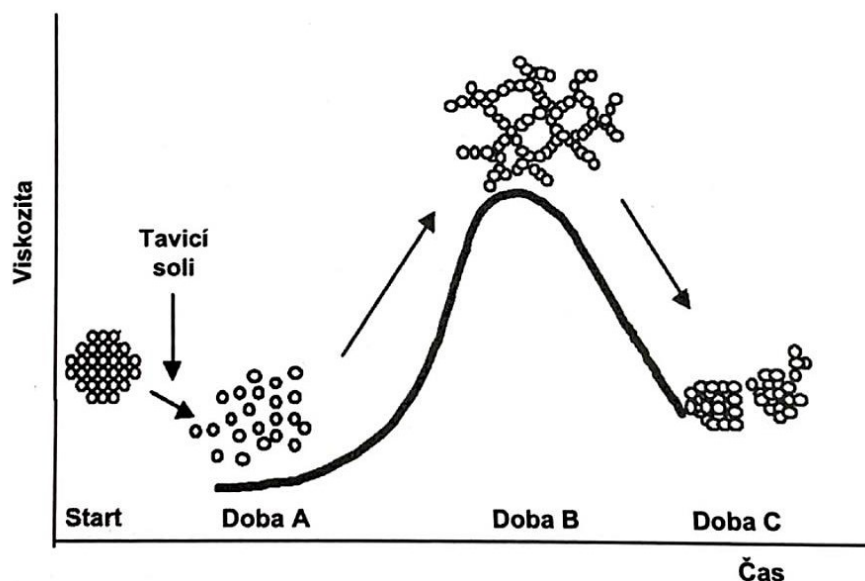
Výsledná trojrozměrná struktura taveného sýra vzniká až při chlazení a z tohoto hlediska je nutné zajistit chlazení co nejrychleji. V opačném případě by byl proces krémování přerušeno a mohlo by dojít ke zhoršení zdravotní nezávadnosti sýra a ke vzniku nežádoucí Maillardovy reakce, při které dochází k reakci redukujících sacharidů (laktózy) s aminosloučeninami za vzniku hnědých pigmentů tzv. melanoidinů. S rychlostí chlazení souvisí i výsledná konzistence tavených sýrů, neboť pomalejší chlazení má za následek sýry s tuhou konzistencí (Kristensen a kol., 2001; Černíková a kol., 2010).

Mikrostruktura taveného sýra je ve srovnání s přírodními sýry mírně odlišná. Procesní parametry během výroby tavených sýrů hrají důležitou roli při vytváření emulze a mikrostruktury sýrové matrice (Mehta, 2018). Struktura taveného sýra je před a po procesu tavení značně změněna (viz Obrázek 4). Tavený sýr obsahuje v hydratované proteinové matici rozptýlené tukové kuličky o velikosti 0,3 – 5 μm a spolu s parakaseinovými částicemi jsou zde rovnoměrně rozloženy. Oproti přírodnímu sýru jsou tyto tukové kuličky menší a jsou od sebe více vzdáleny (viz Obrázek 5) (Kapoor a Metzger, 2008).



Obrázek 5 Schéma mikrostruktury přírodního sýra (a) a taveného sýra (b)
(Kapoor a Metzger, 2008)

Krémování a veškeré změny, které vznikají při výrobě tavených sýrů, resp. při vytváření požadované struktury, je možné znázornit prostřednictvím schématu (viz Obrázek 6). Na počátku tavení (doba A) nejprve dojde k rozptýlení proteinů, vlivem tavicích solí, míchání a vyšší teploty. Následující fáze tavení (doba B) zahrnuje další působení teplot a míchání, což má za následek nabobtnání rozptýlených proteinů, hydrataci a tvorbu síťové struktury. Během doby B je viskozita taveniny zvýšena. Nicméně v opačném případě může viskozita taveniny klesat (doba C). Důvodem jsou např. poměrně silné interakce v proteinové matici, vlivem dlouhého tavení. V takovém případě dochází k agregaci s následujícím kolapsem až ke konečné dehydrataci struktury. Doba C se rovněž označuje jako překrémování (Lee a kol., 2003).



Obrázek 6 Schéma procesu krémování, změny struktury a viskozity během tavení
(Upraveno podle Lee a kol., 2003)

1.5 Tavené sýry ve výživě člověka

Přestože jsou tavené sýry řazeny mezi oblíbenou skupinu mléčných výrobků, z nutričního hlediska spadají tyto sýry mezi méně hodnotné potraviny. Hlavními důvody jsou jednak tavicí soli, které nepříznivě ovlivňují poměr vápníku a fosforu, a také poměrně vysoký obsah sodíku nebo fosforu v konečném výrobku (Anděl a kol., 2012).

Nicméně hlavní bílkovinnou složkou v tavených sýrech, s vysokou biologickou hodnotou, je kasein. Druhou podstatnou živinou převládající v tavených sýrech je mléčný tuk, ale na základě vzájemného poměru mastných kyselin obsahuje značně velké množství nasycených mastných kyselin než nenasycených (Dostálová, 2005).

Oproti ostatním mléčným výrobkům mají tavené sýry nižší množství laktózy a syrovátkových bílkovin. Problémem tavených sýrů je rovněž vysoký obsah fosfátu, tudíž jsou tyto výrobky naprosto nevhodnou stravou pro pacienty s poruchou funkce ledvin (Anděl a kol., 2012).

Dalším diskutabilním tématem je nízký přísun vápníku a s tím spojená různá onemocnění, kdy doporučené množství této živiny je optimálně pro průměrného člověka 800 – 1200 mg za den (Hrubý, 1999). Nejlepším zdrojem vápníku jsou zajisté mléko a mléčné výrobky. Pokud by se jednalo o vápník pocházející z tavených sýrů, jsou pro tuto skutečnost různé teorie, které naznačují, že tavené sýry obsahují mnohem méně vápníku

než ostatní mléčné výrobky. Tyto názory vychází především z horšího poměru obsahu fosforu a vápníku. U tavených sýrů je takový poměr zhruba 1,8:1, avšak za správný poměr se považuje 1:1. Využitelnost vápníku v tavených sýrech klesá právě s použitím fosforečnanových tavicích solí (Buratto, 2010).

Ovšem tavené sýry disponují i pozitivními účinky, poněvadž obsahují vitamíny rozpustné v tucích (A, D a E) a také jsou zdrojem riboflavinu. Mezi minerální látky nacházející se v tavených sýrech patří především hořčík a jód (Anděl a kol., 2012).

Ačkoli tavené sýry mají některé nutriční nedostatky, není nezbytně nutné je vyřazovat z našeho jídelníčku. Pokud tyto sýry nejsou v naší stravě ve velkém nadbytku, není důvod se jím záměrně vyhýbat (Buňka a kol., 2009).

2 VLIV SUROVINOVÉ SKLADBY A PROCESNÍCH PARAMETRŮ NA JAKOST TAVENÝCH SÝRŮ

Jakost a kvalita tavených sýrů mohou být ovlivněny řadou faktorů. U tavených sýrů je nejvíce zkoumána a sledována jejich konzistence, na kterou mají vliv 3 hlavní kategorie faktorů. Prvním faktorem je složení surovinové skladby použité pro výrobu. Jako další důležité faktory jsou procesní parametry při výrobě tavených sýrů, jde především o rychlost míchání směsi, doba výdrže v tavicím kotli, teplota tavení a v neposlední řadě rychlost chlazení. Posledními důležitými faktory ovlivňující konzistenci jsou podmínky skladování hotového výrobku, resp. teplota a délka skladování (Buňka, 2017).

Nicméně výše uvedené faktory jsou těmi nejzákladnějšími. Existuje celá řada dalších faktorů ovlivňující konzistenci, avšak některé z nich nejsou ještě zdaleka prozkoumány a publikovány (Forman a kol., 1996; Gajdůšek, 1998; Guinee a kol., 2004). Během sledování konzistence tavených sýrů je zapotřebí poukázat i na skutečnost, že ovlivňující faktory účinkují současně a kromě toho mohou navzájem působit buď antagonisticky, nebo synergicky (French a kol., 2002; Guinee a kol., 2004).

Poslední dobou intenzivně přibývají nové studie a výzkumy zaměřující se na vlivy ovlivňující reologické vlastnosti tavených sýrů. Mezi nejsledovanější vlivy se řadí např. obsah sušiny, množství tuku a proteinů, kombinace a koncentrace tavicích solí, stupeň prozrálости přírodních sýrů, hodnota pH nebo aplikované hydrokoloidy (Buňka, 2017).

2.1 Vliv surovinové skladby na kvalitu tavených sýrů

2.1.1 Vliv stupně prozrálости přírodních sýrů

Jak už bylo zmíněno, přírodní sýry jsou základem pro konvenční výrobu tavených sýrů. Vhodným výběrem této suroviny je možné cíleně ovlivnit texturu finálních výrobků. Přírodní sýry jsou tedy vybírány na základě jejich druhu, dle stupně prozrálости, na základě jejich složení (obsahu sušiny, tuku, bílkovin či vápníku) a dle jejich hodnoty pH, resp. podle požadovaných organoleptických nebo funkčních vlastností konečného produktu (Salek a kol., 2022). Přesný výběr přírodního sýru tedy nejen že ovlivní texturní znaky, ale podílí se i na chemických a funkčních vlastnostech produktu (Guinee a kol., 2004; Salek, 2017).

Prozrálý přírodní sýr obsahuje vyšší množství hydrolyzovaného kaseinu, resp. nižší množství intaktního kaseinu. Pokud je tedy do výroby použit přírodní sýr s vyšším

stupněm prozrálosti, dochází k poklesu tvrdosti výsledného produktu a lze tedy očekávat výrobky s velmi dobrou roztíratelností. Stupeň intaktního kaseinu pro vyhovující konzistenci a roztíratelnost se pohybuje v rozmezí 60 – 75 %. Na výrobu roztíratelných tavených sýrů jsou tedy upřednostňovány přírodní sýry s vyšší prozrálostí. Příznivým efektem těchto přírodních sýrů není jen podpora roztíratelnosti, ale rovněž obsahují určité množství sensoricky aktivních látek dodávající taveným sýrům intenzivnější chuť. Samozřejmě je důležité stupně prozrálosti dodržovat, protože použití velmi vyžralého přírodního sýru vede až ke konzistenčním vadám. Může například nastat nedostatečná emulgate tuku nebo výrazně zrnitá konzistence. Vzhledem k eventuálním výrobním vadám se ve výrobních technologiích používají směsi přírodních sýrů s různými stupni prozrálosti (Guinee a kol., 2004; Purna a kol., 2006; Lu a kol., 2008).

Naproti tomu použití méně vyžralých sýrů umožňuje výrobu s nižšími náklady a také zajišťuje tvorbu stabilních matric. Nicméně výsledné tavené sýry disponují tuhou až gumovou konzistencí s horšími sensorickými vlastnostmi. Mezi další nevýhody „mladých“ sýrů patří horší schopnost tavení, riziko nadbytečného bobtnání nebo nebezpečí výskytu vzduchových bublin. Mladé sýry jsou proto preferovány na výrobu blokových tavených sýrů (Acharya a Mistry, 2007). To jsou další důvody, proč výrobci hledají optimum a vyváženost množství prozralých a mladých přírodních sýrů. Pokud je potřeba přidat více prozralé suroviny, surovinová směs se obohatí o tvaroh, který navýší množství intaktního kaseinu a napomůže k vytvoření stabilní bílkovinné matrice (Buňka, 2017).

2.1.1.1 Intaktní kasein

Intaktní kasein v sýru představuje „nepoškozený“ kasein, který nebyl hydrolyzován během procesu zrání. Pomocí intaktního kaseinu je možné provést nespecifickou analýzu pro měření proteolýzy sýra. Intaktní kasein ve výsledném taveném sýru rovněž souvisí s reologickými a funkčními vlastnostmi sýra. Jinými slovy je intaktní kasein stanoven dle rozdílu mezi celkovým proteinem a proteinem rozpustným při pH 4,6 (Kapoor a Metzger, 2008).

Proteolýza je důležitý biochemický proces během zrání sýra vedoucí k fyzikálním, chemickým, chuťovým a funkčním změnám přírodního sýra. K proteolýze dochází, pokud různé enzymy hydrolyzují proteiny v sýru během zrání. V pravém slova smyslu nastává hydrolyza parakaseinové složky na peptidy a volné aminokyseliny. Podmínkou je obsah sušiny a tuku v sušině 43 - 56 % hm/hm a sýr musí zrát alespoň 60 dní. Poměr štěpeného

a prakticky neštěpeného kaseinu je důležitým kritériem ovlivňující konzistenci tavených sýrů (Kapoor a Metzger, 2008).

Tavený sýr je tvořen hlavně intaktním kaseinem, tudíž by vyšší množství intaktního kaseinu mohlo být indikátorem většiny interakcí mezi přítomnými bílkovinami a tukem. Obecně platí, že tavený sýr tvořený přírodním sýrem s nižším obsahem intaktního kaseinu je převážně měkký, zatímco s vyšším obsahem intaktního kaseinu bývá tuhý a pevný (Salek a kol., 2022).

2.1.2 Vliv hodnoty pH

Konzistence tavených sýrů může být podstatně ovlivněna i hodnotou pH, proto je tento znak pečlivě monitorován. Základním pravidlem je, že nízké pH taveniny podporuje tuhost taveného sýru a naproti tomu tavenina s vysokým pH má za následek měkkou konzistenci (Macků, 2009). Pokud je hodnota pH přibližně stejná jako hodnota izoelektrického bodu kaseinu ($\text{pH} \approx 4,6$), dochází k intenzivnějšímu vyrovnání kladných a záporných nábojů na proteinech, což má za následek vyšší intermolekulární interakce proteinů a značnou agregaci. Výsledný produkt by se vyznačoval suchou až drobivou konzistencí. Nejprůzračnější hodnota pH pro tavené sýry s roztíratelnou konzistencí se pohybuje v rozmezí 5,6 – 5,8. V případě příliš vysokých hodnot pH (6,5 – 6,7) je u tavených sýrů sledována kašovitá či vodnatá konzistence a jsou takové sýry náchylné k mikrobiologickému kažení (Marchesseau a kol., 1997; Lee a Klostermeyer, 2001). V podstatě dochází k růstu záporného náboje na proteinech, tím se zahájí odpuzování a klesají elektrostatické interakce (Guinee a kol., 2004; Buňka a kol., 2009).

Typ tavicích solí, druh a zralost přírodního sýru použitého při výrobě tavených sýrů mají výrazný vliv na výsledné pH taveného sýru (Kapoor a Metzger, 2008). Studie poukazují na skutečnost, že přírodní sýry s vysokým pH použité na výrobu taveného sýru, zajistí tuhou konzistencí finálního výrobku s obtížnou roztíratelností (Salek, 2017).

2.1.3 Vliv chemického složení

Mezi další rozhodující faktory ovlivňující viskoelastické vlastnosti tavených sýrů patří zejména obsah sušiny a obsah tuku v sušině, obsah proteinů, obsah laktózy, množství dusíkatých látek, obsah vápníků a obsah tavicích solí (Upreti a kol., 2006; Buňka, 2017).

Nejdůležitějšími faktory podmiňující konzistenci jsou obsah sušiny a obsah tuku v sušině. Přírodní sýry s nízkým obsahem tuku v sušině, jakožto surovina na výrobu

nízkotučných tavených sýrů, zaručí tuhost konečného produktu. Naproti tomu přírodní sýry s vyšší tučností podpoří jemně roztíratelnou konzistenci. Lze tedy konstatovat, že s vyšším množstvím obsahu tuku se zvětšuje průměr tukových kuliček a zároveň klesá tuhá konzistence produktu (Guinee a O'Callaghan, 2013). Vysvětlení je následující, pokud jsou v taveném sýru přítomny větší tukové kuličky, soudržnost proteinové matrice je narušena a vzniká měkká a roztíratelná struktura. V případě velkého množství malých tukových kuliček jsou tavené sýry především tuhé a obtížně roztíratelné (Černíková a kol., 2017).

Výzkum sledující vliv obsahu proteinů na konzistenci tavených sýrů vyhodnotil skutečnost, že tvrdost taveného sýra se výrazně zvýšila díky vyššímu obsahu proteinů a nižšímu obsahu tuku (Lee a kol., 2015). V podstatě vyšší obsah bílkovin vede ke zvýšení emulgační schopnosti ve struktuře taveného sýru, což se projeví zmenšením tukových kuliček a zvýšením pevnosti produktu (El-Bakry a Mehta, 2022).

Stojí za zmínku i vzájemný vztah mezi sušinou a tukem v sušině např. při výrobě nízkotučných tavených výrobků. Obecně platí, že čím vyšší je obsah sušiny, tím je zpravidla i vyšší tuhost výrobku a stejně je tomu tak i v opačném případě (Černíková a kol., 2022). Jak už bylo zmíněno, vyšší tuk v sušině dává tavenému sýru lepší roztíratelnost. Při výrobě nízkotučných tavených sýrů je možné tedy docílit přijatelné roztíratelnosti snížením obsahu sušiny. Nicméně poměry obsahu sušiny a obsahu tuku v sušině má svá pravidla, tudíž nelze očekávat, že nízkotučný tavený sýr bude dokonale roztíratelný, jako sýr vysokotučný (Buňka, 2017).

Dalším kritériem pro viskoelastické vlastnosti je např. obsah dusíkatých látek. Rostoucí obsah dusíkatých látek v přírodním sýru se podílí na zhoršení roztíratelnosti a zvýšení tuhé konzistence taveného sýru (Brickley a kol., 2007; Buňka a kol., 2010). Zvýšená tuhost je dána především intenzivnějším zesíťováním proteinu a rozvinutím proteinové sítě v taveném sýru. Dusíkaté látky jsou převážně síťové sloučeniny a mají tendenci narazit na jiné molekuly proteinu, pro podporu interakcí a agregace (Černíková a kol., 2022).

Vápník představuje v tavených sýrech důležitý minerální prvek. Nicméně obsah vápenatých iontů může výrazně ovlivnit texturní vlastnosti tavených sýrů, poněvadž vápník je dvojmocný kationt a reaguje s tavicími solemi. Platí zde pravidlo, že s vyšším obsahem těchto vápenatých iontů, dochází ke zvýšení tuhosti tavených sýrů. Podobně jako u obsahu dusíkatých látek je důvodem vyšší tuhosti především tvorba proteinové matrice a zasíťování struktury. Celkový obsah vápníku v taveném sýru ovlivňuje i jeho konečné

funkční vlastnosti. Příliš vysoký obsah vápenatých iontů v přírodním sýru vede k obtížím při výrobě, může narušit jeho tavitelnost a lze očekávat intenzivní agregaci kaseinu, což má za následek vznik nestabilní struktury (Mizuno a Lucey, 2007). Nicméně i snížený obsah vápníku může ovlivnit reologické vlastnosti taveného sýra a v takovém případě bude výsledný produkt vykazovat nízké hodnoty při lomové zkoušce, deformaci a tvrdosti. Takové produkty se vyznačují měkkou a křehkou strukturou (El-Bakry a Mehta, 2022).

Tavené sýry vyrobené ze surovin mléčného původu, např. ze sušeného odstředěného mléka, ze sušené syrovátky nebo ze smetany či tvarohu, jsou typické s jemnou chutí a konzistencí. Obsah laktózy působí na konzistenci příznivě, neboť s rostoucím obsahem laktózy dochází ke zmírnění tuhosti a výrobky se vyznačují dobrou roztíratelností (Buňka, 2017). Účinek laktózy zpravidla zajistí rozrušení celistvosti proteinové matrice, což se projeví snížením tuhosti a optimální roztíratelností (Carić a Kaláb, 1997). Ovšem výrobci jsou povinni zajistit pouze povolené limity obsahu laktózy, protože nadměrná hladina laktózy může zapříčinit krystalizaci s tvorbou krystalů v taveném sýru během skladování nebo dokonce vznik Maillardovy reakce během tavení s nežádoucí změnou barvy a chuti. Ke krystalizaci dochází na základě množství koncentrace laktózy rozpustné ve vodní fázi taveného sýra. Aby se zabránilo krystalizaci, musí být tato laktóza ve vodní fázi dodržena na limitní hodnotu max. 17 % při 20 °C (Schär a Bosset, 2002; Kapoor a Metzger, 2008).

2.1.4 Vliv přídavku hydrokoloidů

Hydrokoloidy jsou vysokomolekulární látky patřící mezi polymery, které mají výrazný vliv na strukturu a svým působením mohou ovlivnit stabilitu gelu. Jejich hlavní schopnost je vysoká vaznost vody a některé hydrokoloidy jsou známé tvorbou trojrozměrné matrice. V potravinářství se uplatňují jako zahušťovadla či stabilizátory textury a jejich příznivou funkcí je zabránění úniku vody v potravinách během skladování (Buňka, 2017). Vzhledem k pozitivním funkcím hydrokoloidů, jsou tyto látky součástí surovin pro výrobu tavených sýrů. Jako nejčastější hydrokoloidy se na výrobu používají karagenany, které slouží zejména ke zmírnění lepivosti sýru, dále např. xantanová, arabská či lokustová guma a mnoho dalších (Černíková a kol., 2008). Pokud jsou hydrokoloidy sledovány z hlediska vlivu na konzistenci tavených sýrů, tak výzkumy poukazují na skutečnost, že hydrokoloidy, i když jsou přítomny v nízkých koncentracích (max. 1 % hm/hm), se podílí na vyšší tuhosti konečných výrobků (Buňka a kol., 2009).

Výrobci, kteří hydrokoloidy uplatňují ve své výrobě, jsou povinni se řídit evropskou legislativou, resp. Nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1333/2008 o potravinářských přídatných látkách a zabezpečit limitní hodnoty hydrokoloidů, z důvodu eventuálních nežádoucích interakcí s kaseinem (El-Bakry a Mehta, 2022).

2.1.5 Vliv přídavku vody

Voda je do výroby tavených sýrů přidávána hlavně z důvodu docílení požadované sušiny. Podle množství přidané vody je možné ovlivnit konzistenci tavených sýrů a v podstatě i díky tomu snížit náklady na výrobu. Během výroby hraje voda určitou roli, podílí na uvolnění vápníku, na hydrataci, na rozptýlení přítomných proteinů a na zvýšení vlhkosti, což se projevuje sníženou tvorbou proteinových matic. Voda má charakter změkčovadla a snižuje pevnost. Proteiny jsou během výroby hydratovány, vážou vodu a s rostoucím přídavkem vody rovněž dochází i k vyššímu bobtnání proteinů. Během chlazení dochází k imobilizaci molekul vody a struktura výrobku je oslabena (Salek, 2017).

2.1.6 Vliv tavicích solí

Jak už bylo zmíněno, na výrobu tavených sýrů se převážně používají směsi tavicích solí od specializovaných společností. Součástí těchto směsí bývají obvykle 2 – 3 komponenty, nejčastěji sodné soli citronanů, fosforečnanů a polyfosforečnanů. Někteří výrobci pro svou výrobu preferují více směsí, tudíž v závěru jsou tavené sýry vyrobeny ze směsi směsí tavicích solí (Buňka, 2017). Tavicí soli, přesněji jejich množství a mísící poměry, se rovněž podílejí na utváření konzistence. Každá tavicí sůl se vyznačuje svými určitými vlastnostmi nebo účinky, proto se mohou dle možných kombinací vytvářet odlišné typy textury. Lze konstatovat, že vlivem nárůstu obsahu tavicích solí buď soli fosforečnanové, nebo citranové (do 3 hm. %) mají finální tavené sýry častěji vyšší tuhost. Důvodem může být vyšší iontová výměna a efektivní solubilizace proteinů během tavení (Shirashoji a kol., 2006). Schopnosti tavicích solí rovněž zahrnují i úpravu pH, přičemž normální hodnota pH přírodního sýru je 5,0 – 5,5 a po přidání tavicích solí se hodnota zvýší cca na 5,6 – 6,1. Vlivem změny pH dochází ke zvýšení záporného náboje kaseinu, odpuzování proteinové matrice a tím vznikne otevřená síť se schopností vázat vodu s lepším emulgačním účinkem (Bowland a Foegeding, 2001; Salek, 2017). Jednoznačně vlivy směsí tavicích solí na konzistenci výsledného produktu nebyly donedávna zcela

objasněny. Nicméně v posledních letech přibývá více studií zkoumající různá složení směsí tavicích solí na viskoelastické vlastnosti tavených sýrů (Buňka, 2017).

Iontovou výměnu nemají všechny tavicí soli stejně silnou. S rostoucím obsahem P_2O_5 roste i výměna fosforečnanových iontů v tomto pořadí monofosforečnany < difosforečnany < trifosforečnany < polyfosforečnany. Výzkum, který se zabýval porovnáním pevnosti tavených sýrů s použitím odlišných tavicích solí, odhalil, že tavené sýry vyrobené z hydrogenfosforečnanu sodného mají měkkou konzistenci. Nicméně v případě, kdy polyfosforečnany převládají v binárních a ternárních směsích, je naopak tvrdost výrobku vyšší (Salek a kol., 2015). Nejvyšší tvrdosti výrobku je docíleno pomocí přídatku tavicích solí hydrogenfosforečnanu sodného (DSP) a difosforečnanu tetrasodného (TSPP) v poměru 1:1 (Weiserová a kol., 2011). Tento specifický poměr je běžný, ovšem lze ovlivnit přídatkem citronanu trojsodného (TSC), kdy jeho postupným zvýšením a současným snížením DSP a TSPP lze docílit poklesu tvrdosti (Salek a kol., 2017).

Výzkum, zabývající se srovnáním samostatných tavicích solí, odhalil, jaký mají tavicí soli vliv na úroveň tvrdosti tavených sýrů. Nejvyšší tvrdost vykazoval tavený sýr vyrobený pomocí sodné soli polyfosforečnanů (P20). Pomocí reologické analýzy byly výsledné tvrdosti tavicích solí v následujícím pořadí $P20 > TSPP \approx TSC > DSP$ (Weiserová a kol., 2011; Salek a kol., 2016). Tento výsledek reologické analýzy rovněž potvrzuje schopnost difosforečnanů podílet se na tvorbě trojrozměrné sítě a emulgaci tuku (Awad a kol., 2004).

2.1.7 Vliv skladování na kvalitu tavených sýrů

Během skladování prochází tavené sýry určitými změnami. Příkladem může být změna struktury a chuti, které mohou být ovlivněny zejména jejich složením, podmínkami při tavení a při skladování nebo dle použitého obalového materiálu. Základním pravidlem je, že s rostoucí pevností produktu je udržitelnost delší, než u produktů snadno roztíratelných s vyšším obsahem vody (Schär a Bosset, 2002). Za zmínku stojí i poměrně diskutované téma, a to hydrolýza polyfosforečnanových tavicích solí. Obecně platí, že hydrolýza nastává již během tavicího procesu a zhruba do 10 týdne skladování jsou zhydrolyzovány téměř všechny přítomné polyfosforečnany. Vzhledem k hydrolýze polyfosforečnanů dochází ke snížení vazby vápenatých iontů a ty jsou následně uvolněny z tavicích solí. Volné vápenaté ionty se postupně mohou podílet na síťování proteinové matrice, což je důvodem zvyšující se tuhosti během skladování (Schär a Bosset, 2002).

Avšak s touto problematikou rovněž souvisí i teplota skladování, kdy s rostoucí teplotou a délkou skladování produktů, roste i jejich pevnější konzistence (Buňka a kol., 2009). Nicméně vyšší teplota skladování tavených sýrů se podílí i na ztmavnutí barvy způsobené neenzymovým hnědnutím nebo na nárůstu těkavých látek, což se projeví horší sensorickou jakostí a změnou aroma výsledného produktu (Contarini a kol., 1997). Naproti tomu tavené sýry skladovány při příliš nízkých teplotách (pod 4 °C) mohou ve své struktuře obsahovat krystaly tavicích solí, které vytváří tzv. písčitou strukturu taveného sýru (Carić a Kaláb, 1997). Optimální teplota skladování tavených sýrů, vyrobených diskontinuálním způsobem, je okolo 4 – 8 °C (Salek, 2017).

2.2 Vliv procesních parametrů na kvalitu tavených sýrů

V oblasti technologie výroby tavených sýrů patří mezi procesní parametry čtyři hlavní skupiny. Jedná se o celkovou dobu výdrže tavicí teploty, rychlost otáček a míchání, teplotu tavení a rychlost chlazení hotového výrobku. Procesní parametry hrají důležitou roli při utváření konzistence produktů a je možné tyto kritéria dle potřeby regulovat (De Oliveira a kol., 2011; Guinee, 2017).

Teploty tavení, okolo 100 °C, mají podstatný vliv na konzistenci tavených sýrů. Studie uvádí, že vyšší teplota tavení zapříčiní vznik vyšší tuhosti taveného sýru, poněvadž vysoká teplota způsobí snížení viskozity a zmenší průměr tukových kuliček (Dimitreli a Thomareis, 2004).

Na tukové kuličky mohou mít vliv i další faktory, ovšem největším vlivem je rychlost a intenzita míchání během tavicího procesu. S rostoucím počtem otáček nožů je surovinová skladba mnohem více namáhána a zejména dochází k rozkládání bílkovin. Průměr tukových kuliček je tedy výrazně zmenšen a jejich počet je mnohonásobně zvýšen (Noronha a kol., 2008). V takovém případě opět vzniká tavený sýr s tužší konzistencí. Proces homogenizace se rovněž podílí na kvalitě produktu, jelikož příznivě ovlivňuje emulgaci tuku a právě u přírodních sýrů s vyšším obsahem tuku je tento proces vyžadován (De Oliveira a kol., 2011).

S rostoucí výdrží tavicí teploty je průměr tukových kuliček též zmenšený, nicméně k tomuto poklesu dochází pouze v prvních pěti až deseti minutách tavení. Po uplynutí této doby jsou tukové kuličky stabilní a nemění svoji velikost (Pluta-Kubica a kol., 2021).

Doba zpracování suroviny může také vést ke změně struktury výsledného taveného sýru. Literatura uvádí, že delší doba zpracování taveniny, za konstantní rychlosti otáček, má za následek tvorbu taveného sýru o vyšší tuhosti a pevnosti gelu (Bowland a Foegeding (1999; Černíková a kol., 2018; Pluta-Kubica a kol., 2021).

Poslední faktor, který se též podílí na utváření výsledné konzistence taveného sýru, je rychlost chlazení taveniny. Pokud je výsledná horká tavenina chlazená v co nejkratším časovém intervalu, lze předpokládat konečný výrobek více lepivý, avšak s měkkou konzistencí a optimální roztíratelností (Piska a Štětina, 2004).

3 REOLOGIE, TRIBOLOGIE A JEJICH APLIKACE NA POTRAVINOVÉ MATRICE

3.1 Reologická analýza

Reologie je v řeckém překladu věda o toku, používá se ke studiu deformace či proudění tekutin a definuje vztah mezi napětím daného materiálu a jeho následnou deformací. Pro potravinářskou výrobu je reologická analýza klíčová, protože poskytne kvantitativní výsledky o mechanických vlastnostech potravin a lze podle ní charakterizovat konzistenci daného výrobku (Joyner, 2018). Pro tavené sýry jsou nejdůležitějšími reologickými vlastnostmi viskozita a elasticita, poněvadž většina tavených sýrů patří mezi viskoelastické látky a je v nich tedy zastoupena jak elastická, tak i viskózní složka. Tyto vlastnosti jsou velmi důležité a mají vliv na senzorické vlastnosti výrobků (Gunasekaran, 2003).

Viskozita vlivem působící síly určuje odpor materiálu vůči toku a je dána dle Newtonova zákona, který stanovuje vztah mezi smykovým napětím τ a rychlostí smykové deformace $\dot{\gamma}$. Díky působící síle mění analyzovaný materiál svůj tvar a dochází k deformaci. Deformace nastává vlivem zatížení a působením kroučícího momentu. Posuvem jedné vrstvy po druhé a vlivem smykového napětí dochází ke smyku. Pokud se analyzovaný materiál po ukončení působení napětí vrátí zpět do původního tvaru, jedná se o deformaci elastickou. V případě, že setrvá ve změněném stavu, do kterého byl působením sil přiveden, jde o deformaci trvalou (plastickou). Látka elastická má určitý tvar a vlivem deformace pomocí vnější síly přechází do nového rovnovážného tvaru. Jakmile je vnější síla uvolněna, dočasný tvar se vrátí do původního stavu. Naproti tomu plastická látka podléhá změnám a vlivem působící síly se nevratně deformuje (Gunasekaran, 2003). Při reologické analýze tavených sýrů lze míru elasticity stanovit pomocí elastického modulu pružnosti G' a míry viskozity ztrátového modul pružnosti G'' (Wein, 1996).

Pro stanovení viskoelastických vlastností se používají reometry s různým typem geometrie např. kužel – deska, deska – deska a válec – válec. Sledovaný vzorek se vkládá mezi ně. Každá ze jmenovaných geometrií má své výhody a nevýhody. Pro měření viskoelastických vlastností tavených sýrů byla použita geometrie deska – deska, jejíž hlavní výhodou je snadné plnění a čištění. Horní z obou desek osciluje, čímž vyvolává harmonický průběh smykového namáhání vzorku. Následkem je harmonický průběh smykové deformace, která je vzhledem k nevratné deformaci viskózní složky posunuta o

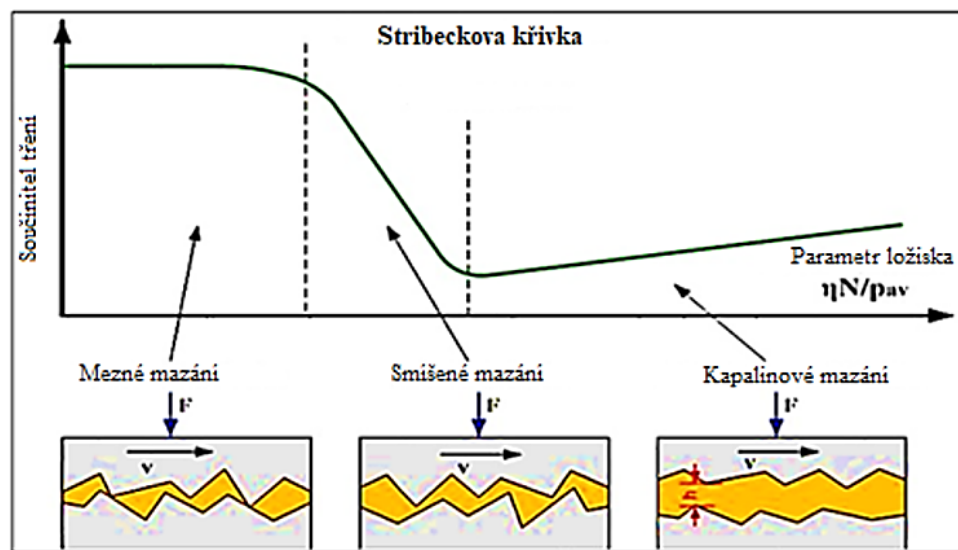
fázový úhel δ . Míra viskoelastičnosti měřeného materiálu závisí právě na velikost úhlu fázového posunu a celkový odpor vzorku proti deformaci lze vyjádřit pomocí komplexního modulu pružnosti ve smyku G^* (Wein, 1996; Piska a kol., 2002).

3.1.1 Rozdíl mezi reologií a tribologií

Reologická analýza potravin slouží především pro studium viskoelastických vlastností potravin a je rozhodujícím faktorem pro potravinářské výrobky a jejich výsledné vlastnosti. Úpravy reologických parametrů např. viskozity či viskoelasticity vedou k jednoduššímu zpracování a zvýšení kvality výrobku. I když pomocí reologické analýzy potravin lze upravit konzistenci výrobku na přání zákazníka, reologie není účinnou analýzou k poskytnutí přesného pocitu v ústech a ke zjištění určitých vlastností výrobku, jako je krémovost nebo hladkost (Kew a kol., 2021). Tyto vlastnosti lze lépe vyhodnotit pomocí tribologické analýzy, kde hlavním parametrem je koeficient tření. Tribologie přispívá jednak k odhalení texturních vlastností potravin, a také k predikci pocitu v ústech, jelikož se zabývá jak reologickými vlastnostmi, tak i povrchovými vlastnostmi interagujících substrátů (Chen a Stokes, 2012).

Při konzumaci potravin jsou v prvotní fázi snímány reologické vlastnosti, zatímco tribologické vlastnosti jsou vnímány až v pozdějším zpracování potravin v ústech (Sudhakar a kol., 2020). Procesem žvýkání během konzumace lze tuto skutečnost vysvětlit. Během žvýkání je potravina neustále měněna, a proto vnímání textury potravin v pozdější fázi je od toho počátečního velmi rozdílné (Chen a Stokes, 2012). V přední části dutiny ústní jsou při konzumaci vnímány především objemové vlastnosti, resp. deformační vlastnosti pro pevné látky a celkový tok tekutin, jelikož mezi jazykem a ústním patrem dominuje poměrně velká mezera. Postupným zpracováním potravin v ústech dochází ke smáčení pomocí slin, začlenění slin a shlukování částic potravy, mačkání a hromadění mezi povrchem jazyka a patra. Takové chování lze určit pomocí tribologické analýzy. Tribologie tedy vyhodnocuje koeficient tření proti parametru viskozity, rychlost pohybu a zatížení, kde výsledkem je Stribeckova křivka (Schädle a kol., 2022).

Stribeckova křivka (viz Obrázek 7) vyjadřuje závislost součinitele tření na rychlosti, přičemž vodorovná osa znázorňuje i viskozitu kapaliny (η), relativní rychlost pohybu povrchu (V) a povrchové zatížení (PL). Svislá osa je zároveň koeficientem tření (Sethupathy a kol., 2020).



Obrázek 7 Stribeckova křivka (Sudhakar a kol., 2020)

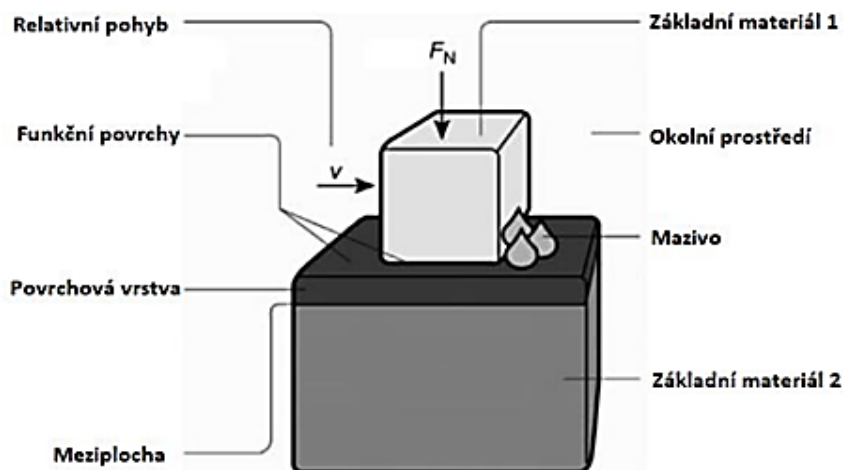
3.2 Tribologická analýza

Tribologie je vědní obor zabývající se chováním interagujících povrchů při relativním pohybu. Tribologie rovněž zkoumá dílčí oblasti tření, opotřebení a mazání. Jedná se o vědu, která popisuje veškeré změny struktur a chování tribologických systémů (Habig a Woydt, 2020).

Existuje mnoho vědeckých poznatků o studiu tribologie, kde pojem tribologie je odvozen od řeckého slova „tribos“, označující tření nebo klouzání. Nicméně v minulosti nebylo tak dobře výkonné přístrojové vybavení jako dnes, tudíž tehdy nebylo možné nalézt určité pochopení podstaty tribologie. Tribologie je relativně mladý vědní obor, který byl definován až v roce 1967 výborem Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (Stachowiak a Batchelor, 2014).

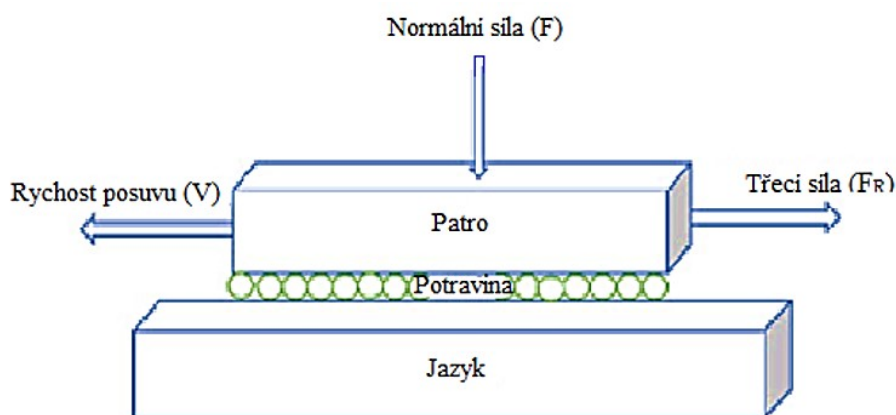
Tribologie našla uplatnění téměř ve všech technologických odvětvích, jelikož se třením, opotřebením a mazáním souvisí většina technických oborů. Lze ji uplatnit např. v nanotechnologiích, v automobilovém průmyslu, v polymerních technologiích, ve strojírenství, v lékařství, ve farmacii při výrobě kosmetických přípravků nebo i v potravinářství, kde se zabývá hodnocením senzorické a texturní vlastností potravy (Paul a kol., 2022).

Tribologický systém (viz Obrázek 8) představuje určitou tribologickou soustavu, která se skládá ze dvou těles, sousedící plochy nebo látky ležící mezi nimi, a také z blízkého okolí. Tyto tribologické systémy mohou být přírodního rázu, např. pohybový aparát u člověka nebo umělé vytvořené technické systémy usnadňující práci, nebo zvyšující účinnost a výkon (Blaškovič a kol., 1990).



Obrázek 8 Schéma tribologického systému (Mang a kol., 2011)

Pojem tření značí určitý odpor proti pohybu, který se vytváří vlivem dotyku dvou těles. Zároveň tření představuje úbytek mechanické energie (Blaškovič a kol., 1990).



Obrázek 9 Schéma vyjadřující tření mezi dvěma interagujícími povrchy (Upraveno podle Prakash a kol., 2013)

3.3 Tribologie v potravinářském průmyslu

Konzumací jídla se začínají postupně spouštět signály z úst, prostřednictvím chuťových receptorů, až do mozku, kde je pokrm vyhodnocen. Jídlo, nacházející se v našich ústech, již poskytne určitý dojem chuti jídla, avšak hodnocení potravin při sensorické analýze vyžaduje poměrně odbornou praxi. Zpracování pokrmu v ústech a důkladný odhad jeho texturních vlastností je stále vědecky zkoumáno, nicméně je více využíváno tribologických analýz ke studiu této problematiky (Paul a kol., 2022).

Žvýkáním potravy v ústech dochází k nepřetržitému, zrychlenému pohybu, při kterém vzniká deformace potravin. Jak už bylo zmíněno, tribologická analýza představuje vzájemné interakce dvou povrchů, které vlivem pohybu vytváří tření a mazání. Z tohoto důvodu se tribologie používá k imitaci zpracování pokrmu v ústech a k vyhodnocení textury a chuti. Materiál se vyhodnotí z koeficientu tření, který se vypočítá na základě poměru třecí síly vůči průměrnému zatížení. Pomocí tribologie je možné získat informace o analyzované potravine, zejména o texturních vlastnostech, např. zda potravina vykazuje určitou hladkost, kluzkost či krémovost (Sudhakar a kol., 2020).

Tribologie je v potravinářství poměrně novou metodou k vyhodnocení texturních vlastností výrobků. Principem tribologické analýzy jsou dva vzájemně působící povrchy. Při konzumaci potravin je jedním z těchto povrchů jazyk a druhým povrchem je patro ústní dutiny. Tribologii lze tedy vysvětlit, jako tření, které vykazuje potravina po stlačení dvou navzájem pohyblivých povrchů, a to jazyku a patra (Prakash a Chen, 2013). V dnešní době lze nalézt několik studií zabývajících se tribologií mléčných výrobků a je objasněno, že mléčné výrobky s vyšším obsahem tuku mají nižší koeficient tření než výrobky nízkotučné (Ningtyas a kol., 2017).

Pomocí tribologie lze v potravinách také detekovat kontaminanty a jedním z nich je např. melamin, který bývá přidáván do mléčné kojenecké výživy ke zvýšení obsahu proteinů. V dnešní době lze různé nežádoucí látky detekovat jinými metodami, např. hmotnostní spektrofotometrií či kapalinovou chromatografií, ovšem tyto metody se vyznačují časovou a finanční náročností. Z těchto důvodů je poslední dobou upřednostňována tribologie, neboť patří mezi jednodušší a levnější analýzu (Sethupathy a kol., 2020).

3.3.1 Tribometr

Tribologické měření probíhá na přístroji tribometru, sloužící pro měření texturních a mazacích vlastností (nejen) potravin. Jinými slovy, tribometr imituje ústní dutinu pro získání texturních vlastností jídla, dále se využívá ke kontrole složení potravin a k detekci kontaminantů (Paul a kol., 2022). Tribometr musí být navržen tak, aby byl vhodný pro tření, vyhodnocení síly, rychlosti a pohybu na základě výběru povrchů (Hofmanová a kol., 2021).

3.3.2 Tribologie taveného sýra

Tribologické měření ovlivňuje především obsah tuku v analyzovaném výrobku. Pokud výrobek disponuje nižším obsahem tuku, jeho pevná struktura bude vykazovat horší roztíratelnost, v důsledku malých tukových kuliček v proteinové matici a při tribologickém měření je takový výrobek spojen s vyšším třením (Ningtyas a kol., 2017). V případě vyššího obsahu tuku dochází k prudkému poklesu tření, neboť přítomný tuk dává vzniku hraničního filmu, který podporuje příznivé podmínky pro roztíratelnost výrobku. Přítomnost tuku ovlivňuje objemovou emulzi, čímž se podílí na nízkém koeficientu tření. (Coutouly a kol., 2014). Navíc velké částice tukových kuliček zvyšují hydrostatický tlak oddělující jazyk a patro a díky tomu je tření též snižené. Zvýšené tření pak nastává i vlivem většího množství proteinu, které oproti tuku zhoršují mazání výrobku (Dresselhuis a kol., 2008).

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo vyrobit modelové vzorky tavených sýrů pomocí dvoustupňového přidávání vody a zjistit, zda se u těchto vzorků vyskytují rozdíly v konzistenci. Na základě reologické a tribologické analýzy byly sledovány změny v konzistenci jednotlivých vzorků tavených sýrů. Ke splnění stanovených cílů byla tato diplomová práce rozdělena na teoretickou a praktickou část.

Teoretická část zahrnuje literární přehled, týkající se:

- Základní charakteristiky tavených sýrů včetně výroby a funkce tavicích solí.
- Dále popisuje jaký vliv má surovinová skladba a procesní parametry na jakost tavených sýrů.
- A nedílnou součástí literární rešerše je kapitola týkající se reologie, tribologie a jejich aplikace na potravinové matrice, včetně tavených sýrů.

Praktická část diplomové práce obsahuje dílčí cíle, zahrnující:

- Výrobu modelových vzorků tavených sýrů s obsahem sušiny 45 % (hm/hm) a s obsahem tuku v sušině 50 % (hm/hm).
- Dodržení technologických podmínek během výroby tavených sýrů, především rychlost míchání směsi (3 000 ot/min) a teplotu tavení 93 °C s výdrží 3 min.
- Dodržení technologického postupu dvoustupňového přidávání vody na začátku a v průběhu tavicího procesu.
- Vybrané analýzy modelových vzorků vždy 1., 14., 30. a 60. den od výroby. Mezi vybrané analýzy patří chemická analýza, zahrnující stanovení sušiny a pH, texturní profilová analýza, reologická analýza, tribologie, stanovení barvy, vodní aktivity, diferenciální skenovací kalorimetrie a rovněž i senzorická analýza.
- Vyhodnocení a prodiskutování získaných výsledků, včetně popisu rozdílů viskoelastických a tribologických vlastností a formulaci závěru.

5 MATERIÁL A METODIKA

5.1 Výroba modelových vzorků tavených sýrů

První fáze experimentální části diplomové práce byla zahájena výrobou modelových vzorků tavených sýrů pomocí dvoustupňového přidavku vody během tavení. Výroba byla uskutečněna za laboratorních podmínek na Ústavu technologie potravin, Fakulty technologické, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Surovinová skladba se skládala ze základních surovin tak, aby výsledné vzorky obsahovaly 45 % (hm/hm) sušiny a 50 % (hm/hm) tuku v sušině.

Surovinová skladba zahrnovala:

- Eidamskou cihlu s 30 % (hm/hm) obsahu tuku v sušině, 50 % (hm/hm) obsahu sušiny a o zralosti 7 týdnů, výrobce: Lacrum Velké Meziříčí s.r.o., ČR
- Čerstvé máslo s obsahem mléčného tuku 82 % (hm/hm), výrobce: Madeta a.s. České Budějovice, ČR
- Pitnou vodu
- Směs tavicích solí, výrobce: Fosfa a.s., Břeclav, ČR

Na_2HPO_4 – Hydrogenfosforečnan sodný (DSP)

NaH_2PO_4 – Dihydrogenfosforečnan sodný (MSP)

$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ – Difosforečnan tetrasodný (TSPP)

P20 – Polyfosforečnan s průměrnou délkou řetězce $n = 20$

Pro výrobu tavených sýrů byly suroviny nejprve naváženy na základě požadovaných vlastností finální taveniny. Výroba zahrnovala několik po sobě jdoucích kroků, přičemž v první řadě bylo nutné potřebné množství Eidamského sýru a másla nakrájet na menší kusy. Následně byl sýr umístěn do tavicího přístroje NIROMIX (od výrobce: Nirosta s.r.o., Chlumeck nad Cidlinou, ČR) a mechanickým namáháním rozmělněn při 3000 ot/min. po dobu 60 s. Poté byly do tavičky k dostatečně rozmělněnému sýru přidány ostatní suroviny, a to máslo, směs tavicích solí a voda. Tavicí proces probíhal při 93 °C s dobou výdrže 3 min a celková doba tavení pro jednotlivé vzorky byla 8 – 10 min. Pro diplomovou práci bylo vyrobeno celkem 10 vzorků tavených sýrů a u 9 z nich se použilo dvoustupňové přidávání vody.

5.1.1 Dvoustupňové přidávání vody

Principem dvoustupňového přidávání vody, během tavicího procesu, bylo rozdělení určité dávky pitné vody na 2 díly, kdy první díl vody byl přidán na začátku tavicího procesu s ostatními surovinami a druhý díl vody byl dodán po 4 min tavení. U 9 vzorků byla voda přidávána v různých poměrech, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90. Desátý vzorek (označen 100) byl jako jediný vyroben běžným technologickým postupem bez dvoustupňového přidávání vody. Poměr 90:10 představuje jednoduché vysvětlení, a to takové, že 90 % množství pitné vody bylo přidáno na začátku tavicího procesu a zbylých 10 % vody bylo přidáno v průběhu tavicího procesu, resp. po 4 min od začátku tavení. Celkové množství vody pro výrobu tavených sýrů bylo 1000 ml, čili v případě poměru 90:10 představovala první dávka vody 900 ml a druhá 100 ml. Stejným principem se postupovalo i u ostatního poměrového zastoupení vody až do konečného poměru 10:90, kdy první díl vody obsahoval 100 ml a druhý 900 ml.



Obrázek 10 Hotová tavenina (*Zdroj: autorka, 2022*)

Následně byla u každého vzorku hotová horká tavenina rozlévána do připravených 100 g plastových hliníkových misek kulatého tvaru o průměru 7,5 cm (viz Obrázek 10) a zatavena uzavíratelnými plastovými víčky. Hotové vzorky byly řádně označeny a po vychlazení na laboratorní teplotu byly ihned zchlazeny na 6 ± 2 °C. Při této teplotě byly vzorky skladovány a uchovány do následujících vybraných analýz.



Obrázek 11 Modelové vzorky tavených sýrů 10:90 – 50:50 (Zdroj: autorka, 2022)



Obrázek 12 Modelové vzorky tavených sýrů 60:40 – 100 (Zdroj: autorka, 2022)

5.2 Základní chemická analýza

Všechny vzorky tavených sýrů byly podrobeny základní chemické analýze v různých časových intervalech. Vždy 1., 14., 30. a 60. den od výroby modelových vzorků byla stanovena pouze hodnota pH. Stanovení celkového obsahu sušiny proběhlo 1. a 60. den od výroby. Veškeré laboratorní analýzy byly vykonány za laboratorních podmínek na základě stanovených předpisů.

5.2.1 Stanovení celkového obsahu sušiny

Postup stanovení obsahu sušiny byl realizován na základě normy ČSN EN ISO 5534:2005 o stanovení obsahu celkové sušiny pro tavené sýry. Analýzy proběhly u každého vzorku vždy první a poslední den po výrobě a jednalo se o gravimetrickou analýzu.

Cílem stanovení obsahu sušiny bylo vysušení každého vzorku tavených sýrů do konstantního poklesu hmotnosti pomocí nasávací hmoty, kterou představoval křemenný písek. Pro stanovení sušiny bylo potřeba odvážit zhruba $3 \text{ g} \pm 1,1 \text{ mg}$ každého vzorku tavených sýrů do předem vysušených hliníkových misek s pískem. Navážení proběhlo na analytických vahách s přesností na čtyři desetinná místa od každého vzorku celkem třikrát. Vzorky se s pískem důkladně promíchaly a vložily do sušárny s odklopeným víčkem. Každé sušení trvalo až do dosažení konstantního úbytku hmotnosti (přibližně 5 h) při teplotě $102 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Po vysušení byly vzorky vyjmuty ze sušárny a pro zajištění ochlazení byly umístěny do exsikátoru. Postup stanovení celkového obsahu sušiny je vyobrazen na Obrázku 13. Vysušené vzorky byly následně opět zvaženy na analytických vahách a veškeré hodnoty byly důkladně zaznamenány. Celkový obsah sušiny tavených sýrů v hmotnostních procentech byl vypočten z níže uvedené rovnice a pro vyhodnocení byly použity průměrné hodnoty (ISO, 2005). Obsah sušiny se vyjadřuje v hmotnostních procentech (% hm/hm) nebo jako hmotnostní podíl.

$$w_s = 100 - \left[\frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 \% \right]$$

kde:

w_s ... obsah sušiny [% (hm/hm)]

m_1 ... hmotnost misky s pískem a tyčinkou [g]

m_2 ... hmotnost misky s pískem, tyčinkou a vzorkem před sušením [g]

m_3 ... hmotnost misky s pískem, tyčinkou a vzorkem po sušení [g]



Obrázek 13 Stanovení celkového obsahu sušiny (Zdroj: autorka, 2022)

5.2.2 Stanovení pH

Stanovení pH bylo měřeno pomocí vpichového kalibrovaného pH metru se skleněnou elektrodou (viz Obrázek 14) při laboratorních podmínkách. Vpichový pH metr Foodcare HI 99161 (od výrobce: Hanna Instruments) se používá pro stanovení hodnoty pH v potravinách a byl použit na měření hodnoty pH u vzorků tavených sýrů. Měření hodnoty pH bylo provedeno ve všech čtyřech experimentálních dnech vpichem elektrody do 6 náhodných míst každého reprezentativního vzorku taveného sýra. Důvodem měření hodnoty pH na 6 náhodných místech bylo zabránění vzniku eventuálních odchylek. Měření bylo provedeno po třech opakováních, tedy $n = 18$ a pro vyhodnocení byly použity průměrné hodnoty.

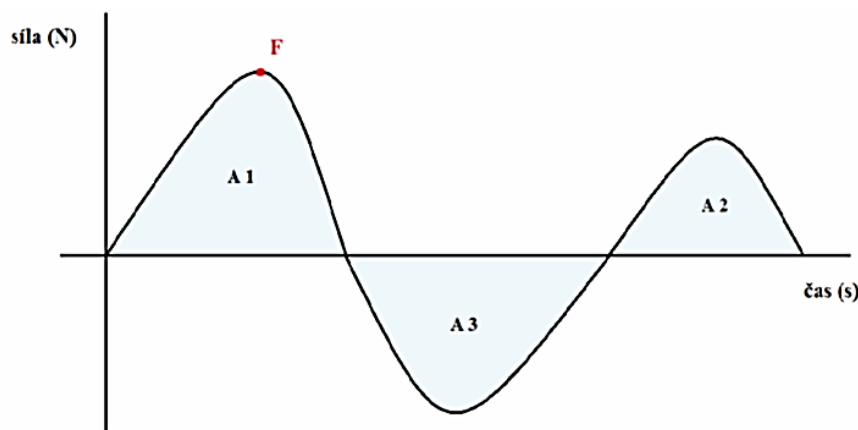


Obrázek 14 pH metr Foodcare HI 99161 (výrobce: Hanna Instruments) (Zdroj: google)

5.3 Texturní profilová analýza

Dle normy ČSN ISO 11036 se texturou rozumí mechanické, geometrické a povrchové vlastnosti výrobku, vnímatelné prostřednictvím mechanických, dotkových, případně zrakových a sluchových receptorů (ISO, 2020). Texturní profilová analýza představuje základní metodu, díky které lze charakterizovat texturu výrobků. Tato metoda pracuje na principu penetrace analyzovaného vzorku a rovněž spočívá ve dvou opakujících se průniků do analyzovaného vzorku pomocí mechanického zařízení. Textura potravin je jednak důležitým faktorem pro stanovení vlastností výrobků během skladování, ale také ukazatelem odolnosti vůči mechanickým vlivům, např. v kontextu sledování chování potravin během konzumace (Salek a kol., 2020).

Metoda pro měření texturní profilové analýzy napodobuje žvýkání potravin v ústech a na základě jeho analýzy jsou vyhodnoceny texturní parametry výrobku, kterými jsou křehkost, přilnavost, kohezivnost, elasticita, plastičnost, tvrdost, gumovost a žvýkatelnost. Ovšem tyto texturní parametry mohou být ovlivněné širou škálou faktorů, mezi které patří hodnota pH, prozrálost použitého přírodního sýru, směs tavicích solí a mimo jiné i způsob zpracování taveniny (Lee a Klostermeyer, 2001; Szczesniak, 2002).



Obrázek 15 Grafické znázornění křivky texturní profilové analýzy. Závislost síly deformace [N] na čase [s] (Hladká, 2012)

Pro diplomovou práci byly texturní profilovou analýzou měřeny následující parametry: tvrdost, kohezivnost, lepivost, pružnost, žvýkatelnost a gumovitost modelových vzorků tavených sýrů. Obrázek 15 zobrazuje křivku texturní profilové analýzy vyjadřující závislost síly potřebné k deformaci [N] na čase [s], pomocí které byly texturní parametry vyhodnoceny.

První texturní vlastností, která byla sledována, byla tvrdost (pevnost) tavených sýrů. Tvrdost představuje sílu potřebnou k zajištění deformace či penetrace analyzovaného výrobku. Z hlediska senzorické analýzy je tvrdost dána stlačením potravin v ústech mezi zuby a patro. Z křivky texturní profilové analýzy lze tvrdost výrobku stanovit na základě hodnoty maximálního píku (A1). Pokud jsou hodnoty maximálního píku vyšší, výrobek vykazuje vyšší tvrdost a k deformaci taveného sýra je zapotřebí více síly (Szczesniak, 2002).

Kohezivnost, neboli soudržnost, byla rovněž při texturní profilové analýze sledována. Jedná se o další texturní vlastnost a lze ji charakterizovat jako sílu vnitřních vazeb tvořící určitou potravinu. Kohezivnost je možné určit na základě poměru plochy A2 a A1 z křivky texturní profilové analýzy (Lee a Klostermeyer, 2001).

Mezi další základní texturní parametr patří relativní lepivost charakterizující práci, která je potřebná k překonání přitažlivých sil mezi povrchem potravin a povrchem sondy. V podstatě se jedná o sílu, která je potřebná k odstranění ulpívající látky k nějakému materiálu, např. usazeného sousta potravin k zubům či patru dutiny ústní. Opět je tento parametr možné stanovit pomocí poměru ploch píků v křivce texturní profilové analýzy,

a to poměrem absolutní hodnoty záporného píku plochy A3, ke kladné ploše píku A1 (Lee a Klostermeyer, 2001).

Ostatními texturními parametry jsou pružnost, která je dána na základě rychlosti vrácení zdeformovaného materiálu do původního tvaru. Žvýkatelnost, která vyjadřuje energii důležitou pro rozžvýkání tuhých potravin do takového stavu, aby ji bylo možné přijatelně polknout. A gumovitost představující energii, která je potřebná k ideálnímu rozmělnění potravin v ústech (Salek a kol., 2020).

Všechny vzorky tavených sýrů byly podrobeny texturní profilové analýze a měření byla realizována 1., 14., 30. a 60. den od výroby vzorků po třech po sobě jdoucích opakováních. Pro měření byl použit analyzátor textury TA.XT plus (od firmy Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Velká Británie). Vzorky tavených sýrů byly měřeny v plastových miskách po odtržení uzavíratelného víčka válcovou nerezovou sondou o průměru 20 mm (viz Obrázek 16). Analýza byla provedena na základě dvojí penetrace sondou do každého vzorku do hloubky 10 mm při rychlosti $2 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, počáteční síly 5 g a s deformací 20 %. Během měření a penetrace se vytvářel graf s píky, vyjadřující zátěžovou křivku texturních parametrů odpovídající analyzovanému vzorku taveného sýru.



Obrázek 16 Analyzátor textury TA.XT plus (Zdroj: google, autorka, 2022)

5.4 Stanovení viskoelastických vlastností

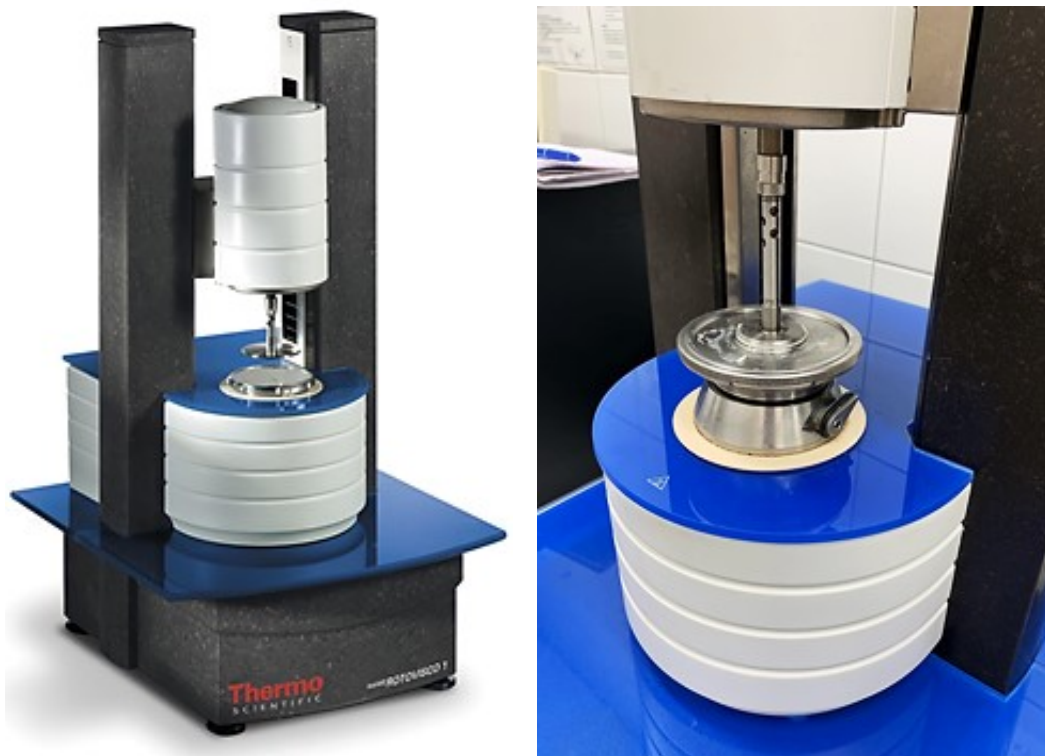
Stanovení viskoelastických vlastností je vhodnou analýzou k měření reologických vlastností tavených sýrů, jelikož obsahují jak viskózní, tak i elastické vlastnosti. Principem této metody je řízená deformace modelového vzorku s následným pozorováním chování při toku látek. Při těchto měřeních dochází ke zjištění elastického (G') a ztrátového (G'') modulu pružnosti, kdy modul elastický představuje míru elasticity a modul ztrátový vyjadřuje míru viskozity analyzovaného vzorku. Na základě podílu těchto dvou modulů je možné stanovit úhel fázového posunu, přičemž s jeho rostoucí hodnotou klesá podíl elasticity ve vzorku. Úhel fázového posunu lze stanovit z následujícího vztahu:

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

Nicméně pro analýzu vzorků tavených sýrů byl použit tzv. komplexní modul pružnosti G^* , který vyjadřuje celkový odpor analyzovaného vzorku proti deformaci a lze vypočítat z níže uvedeného vztahu (Černíková a kol., 2017).

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

Pro diplomovou práci byly viskoelastické vlastnosti všech modelových vzorků tavených sýrů naměřeny pomocí rotačního viskozimetru Thermo ScientificTM RheoStress 1 (firmy HAAKE Brémy, Německo). Pro stanovení byla využita geometrie typu deska – deska o průměru 35 mm s šířkou štěrbiny 1 mm a všechny analýzy probíhaly při teplotě $20,0 \pm 0,1$ °C. Amplituda smykového napětí byla 20 Pa a veškerá měření proběhla v oblasti lineární viskoelasticity. Tomuto stanovení byly podrobeny všechny modelové vzorky tavených sýrů vždy 1., 14., 30. a 60. den po výrobě, vždy po třech opakováních. Každý vzorek byl nanesen na dolní desku, resp. mezi statickou a oscilující desku reologického přístroje. Po nanesení definovaného množství vzorku byla horní oscilující deska spuštěna a přitlačena ke spodní statické desce (viz Obrázek 17). Přebytečné množství sýru bylo opatrně odstraněno. V další fázi proběhla pěti minutová relaxace a po ní následovalo měření elastického a ztrátového modulu pružnosti. Ze získaných naměřených hodnot od každého analyzovaného vzorku byly vypočteny úhly fázových rozhraní a komplexní moduly pružnosti.



Obrázek 17 Rotačního viskozimetru Thermo Scientific™ RheoStress 1
(Zdroj: google, autorka, 2022)

5.5 Tribologická analýza

Jak už bylo zmíněno, podstatou tribologie je studium tření, opotřebení a mazání během vzájemného dotyku povrchů v relativním pohybu. Tribologická měření proběhla na nano – mechanického tribometru UMT TriboLab, Bruker při laboratorní teplotě. Za účelem maximálního napodobení chování taveného sýra při kontaktu s jazykem byla odlita podložka opatřena dezénovaným povrchem. Tato podložka byla vyrobena z polyuretanu smícháním polyolu a izokyanátu (viz Obrázek 18).

Před každým měřením byla na podložku o velikosti cca 30 x 30 mm nanесena stejně silná, rovnoměrně rozetřená vrstva taveného sýra. Podložka se vzorkem byla následně umístěna na spodní, pohyblivý modul tribometru. Do vrstvy sledovaného sýra byla v dalším kroku definovanou silou přitlačena ocelová kulička (viz Obrázek 19). Po ustálení síly byl spuštěn cyklický pohyb, což zajistilo smykové tření v relativním přímočarém pohybu. Přitom byla měřena třecí síla v tangenciálním směru, která posloužila k výpočtu koeficientu tření.

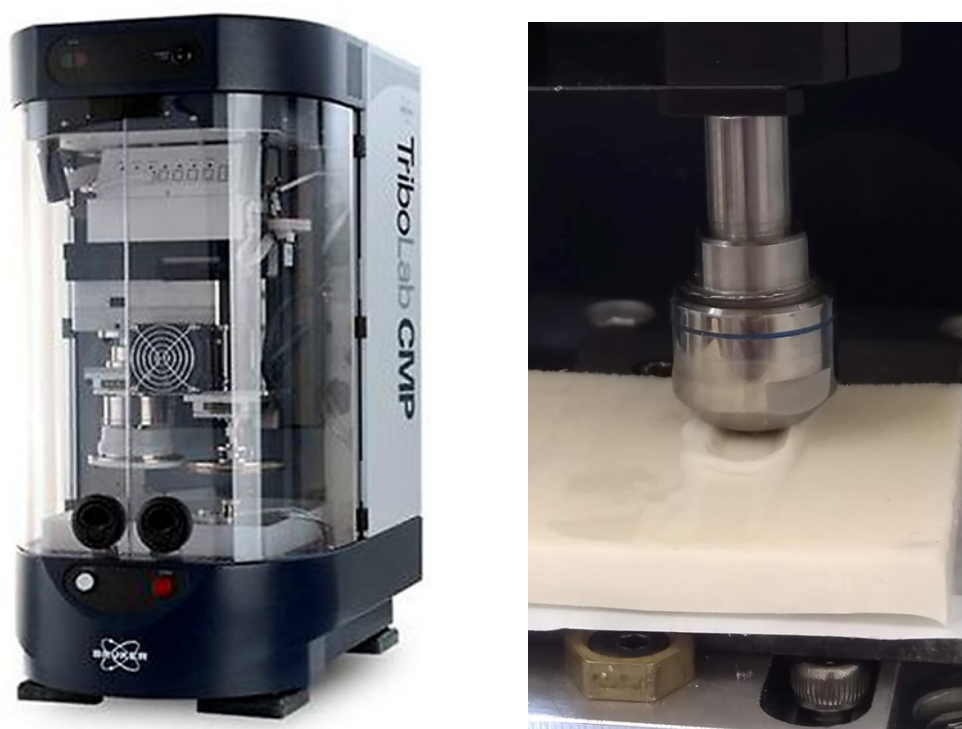


Obrázek 18 Podložka z elastického odlévacího polyuretanu pro tribologickou analýzu
(Zdroj: autorka, 2022)

Výsledkem tribologického měření pak grafické znázornění závislosti koeficientu tření na dráze, resp. na počtu jednotlivých cyklů měření. Všechny modelové vzorky tavených sýrů byly podrobeny tribologické analýze ve třech opakováních a pro vyhodnocení se použily jejich průměrné hodnoty. Detaily měření jsou uvedeny v přehledové Tabulce 4.

Tabulka 4 Podmínky tribologické analýzy modelových vzorků tavených sýrů

| Podmínky tribologické analýzy | |
|--------------------------------------|---------------|
| Průměr hrotu | 5 mm |
| Přítlačná síla | 2 N |
| Frekvence | 0,1 Hz |
| Dráha | 10 mm |



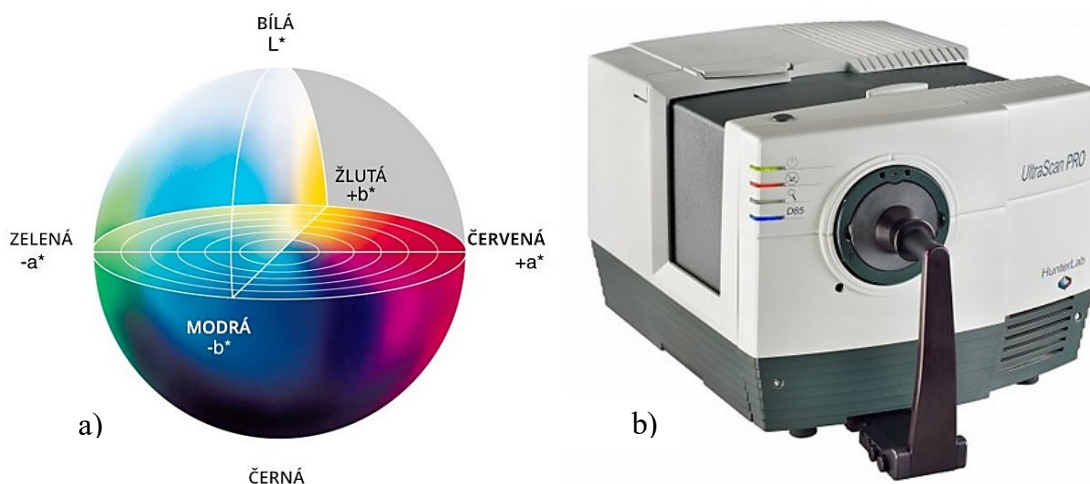
Obrázek 19 Tribometr UMT TriboLab (Zdroj: google, autorka, 2022)

5.6 Analýza barvy

Barva z fyzikálního hlediska představuje směs záření o různých vlnových délkách. Barva potravin se určuje pomocí subjektivního hodnocení, resp. senzorní analýzy nebo objektivního hodnocení, čili pomocí přístrojů měřící fyzikální vlastnosti (absorbanci, reflektanci či transmitanci). Instrumentální měření barvy je oproti senzorní analýze výrazně přesnější, poněvadž není závislé na lidském vnímání a v takovém případě jsou rozdíly barvy ve vzorku potravin lépe určeny. Pro stanovení barvy potravin se nejčastěji využívají spektrofotometry a kolorimetry. Barvu lze identifikovat pomocí řady číselných stupnic v tzv. barevném prostoru. Běžně používaným barevným prostorem je CIE $L^*a^*b^*$, kdy světlosti L^* (jasu) odpovídají hodnoty v rozpětí 0 – 100 (0 – černá, 100 – bílá) a souřadnice a^* , b^* představují určité části spektra vlnových délek nacházející se v horizontální ose určující odstín a sytost barvy. Parametr a^* udává spektrum červené až zelené barvy (od zelené – a^* po červenou $+a^*$) a parametr b^* udává spektrum žluté až modré barvy (od modré $-b^*$ po žlutou $+b^*$) (Kuehni, 1996; Wang a Sun, 2003).

Analýza barvy tavených sýrů byla měřena při laboratorních podmínkách pomocí spektrofotometru UltraScan PRO od firmy HunterLab (viz Obrázek 20b). Pro stanovení byl

použit trojrozměrný prostor CIE $L^*a^*b^*$ (viz Obrázek 20a). Před měřením byla nutná kalibrace přístroje na černý ($L^* = 0$) a bílý ($L^* = 100$) standard a také na denní světlo D65. Výsledné hodnoty souřadnic, pro jednotlivé vzorky, byly získány pomocí změn intenzity procházejících paprsků. Pro diplomovou práci byly všechny vzorky tavených sýrů analyzovány 30. den od výroby, po třech opakováních a pomocí barevného prostoru CIE $L^*a^*b^*$ byly naměřené hodnoty vyhodnoceny.



Obrázek 20 a) Barevný prostor CIE $L^*a^*b^*$ (Andersen, 2013)

b) Spektrofotometr UltraScan PRO od firmy Hunter Lab (Zdroj: google, 2022)

5.7 Stanovení aktivity vody

Vodní aktivitu (a_w) lze definovat jako poměr parciálního tlaku vodních par potravin (p) k parciálnímu tlaku par destilované vody (p_0) při určité teplotě. Aktivita vody určuje množství vody dostupné pro chemické reakce mikrobiálních buněk a vychází ze vztahu:

$$a_w = \frac{p}{p_0}$$

Přítomnost vody v potravinách je pro růst mikroorganismů nezbytnou podmínkou, přičemž k mikrobiálnímu kažení potravin dochází při vodní aktivitě vyšší než 0,91. Nicméně např. plísně mohou růst i při $a_w = 0,80$. Obvyklá vodní aktivita tavených sýrů se pohybuje v rozmezí 0,91 – 0,96. Takové rozpětí hodnot zamezuje růstu některých kmenů *Clostridium botulinum* a je prevencí pro vznik jejich toxinu (botulotoxinu) (Jay, 2000; Glass a Doyle, 2005).

V experimentální části diplomové práce byly všechny modelové vzorky tavených sýrů podrobeny stanovení aktivity vody vždy 1. a 60. den od výroby. Pro měření a_w byl použit přístroj AquaLab 4TE (výrobce: QI Analytical), který byl před každým měření nakalibrován dle návodu od výrobce. Přístroj pro stanovení a_w je vyobrazen na Obrázku 21. Před samotným měřením byl každý homogenní vzorek naplněn a důkladně rozetřen do plastových misek, určených k této analýze, asi do výšky 1 cm (viz Obrázek 22). Miska s připraveným vzorkem se umístila do měřicí komory a cca po 15 min bylo možné výslednou hodnotu a_w na displeji zaznamenat. V přístrojové měřicí komoře došlo k vyrovnání vlhkosti, resp. k dosažení rovnovážného stavu, kdy vlhkost v prostoru komory odpovídala vlhkosti uvnitř měřeného vzorku. Vodní aktivita byla měřena při referenční teplotě cca 25 °C a každý vzorek se měřil po třech opakováních. Výsledné hodnoty jsou vždy průměrné z jednotlivých měření.



Obrázek 21 Přístroj pro měření aktivity vody (AquaLab 4TE) (Zdroj: google)



Obrázek 22 Vzorky pro měření vodní aktivity (Zdroj: autorka, 2022)

5.8 Diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC)

Jedná se o termickou analýzu, která se zabývá pozorováním změn chemických a fyzikálních vlastností látek vlivem působícího zánřevu a chlazení. Princip DSC spočívá v lineárním vyhřívání dvou termostatů, jeden obsahuje analyzovaný vzorek a druhý vzorek referenční. Za normálních podmínek mají oba termostaty stejnou teplotu. Ovšem v případě nějaké působící změny ve vzorku (tání či var) dochází buď ke spotřebování tepla vzorkem (fázové přechody, sublimace), nebo k uvolnění tepla (krystalizace, oxidace). Mezi analyzovaným a referenčním vzorkem nastává narušení energetické rovnováhy (Gallagher a kol., 2003; Behlau a Widmann, 2003).

Stav vody v potravinářských emulzích poskytuje cenné informace o absorpčních, difúzních a permeačních vlastnostech hydrofilních materiálů. Při absorpci vody se mohou organoleptické, reologické a fyzikální vlastnosti výrazně změnit v důsledku modifikace struktury. DSC je pro takové studie běžně používanou metodou (Anonym, 2022).

Hlavním cílem této diplomové práce bylo charakterizovat mikroskopický stav vody v tavených sýrech ve vztahu k přidavku vody během tavicího procesu. DSC analýza snadno poskytuje vyhodnocení množství zmrazitelné vody a molekul vody, které nejsou schopny krystalizovat v důsledku specifické interakce se studovanou maticí. Množství vody, které zmrzne během chlazení potraviny se běžně a snadno určí z entalpie tání ledu vzniklého při chlazení (cooling cyklus) (Gliguem a kol., 2009). Vodná fáze sýrových matic získaných různým výrobním procesem byla monitorována na základě tepelných událostí, spojených se zamrznutím vody a táním ledu za definovaných podmínek pomocí DSC.

ΔH představuje změnu entalpie při fázovém přechodu, např. entalpie tání či výparná entalpie, a za konstantního tlaku je rovna změně vnitřní energie a objemu (1. termodynamický zákon):

$$\Delta H = \Delta U + p\Delta V \quad (p = \text{konst.})$$

ΔH vyjadřuje množství tepla, které soustava při chemické reakci buď přijímá ($\Delta H > 0$) - endotermická reakce, nebo odevzdává ($\Delta H < 0$) - exotermická reakce. V důsledku zvyšujícího se obsahu nízkomolekulárních látek, např. sacharidů a solí, dochází ke snížení bodu tuhnutí patřící mezi koligativní vlastnosti (Brune, 2020).

DSC analýza byla provedena 30. den od výroby pomocí přístroje DSC 250 Discovery (TA Instruments, USA) s Tzero technologií měření (T1) za laboratorních

podmínek. V první fázi experimentu došlo k navážení $10,0 \pm 1,1$ mg modelových vzorků tavených sýrů do hermetických uzavíratelných pánviček a následně byly vzorky zalisovány víčkem s pinem 1 mm. Měření probíhalo v atmosféře N_2 50 ml/min a rychlost chlazení byla $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ v rozmezí teplot $25 \text{ }^\circ\text{C}$ až $-80 \text{ }^\circ\text{C}$. Poté následoval izotermický krok při teplotě $-80 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 1 min. Ohřev byl zaznamenáván při rychlosti $5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ v rozmezí teplot od $-80 \text{ }^\circ\text{C}$ do $80 \text{ }^\circ\text{C}$. U jednotlivých termogramů byl vyhodnocen krystalizační pík T_p a teplota tání ledu T_{onset} . Příslušné entalpie těchto procesů - ΔH je možné vypočítat integrací plochy pod termogramem a vyjadřují se jako měrná entalpie v J/g (normalized enthalpy). Měrná entalpie za konstantního tlaku odpovídá vnitřní energii systému, tzn. vazebným silám ve vzorku a souvisí s počtem vazeb, které jsou potřebné k udržení vzorku v jeho nativní (složené) konformaci (Xing Du a kol., 2016).

5.9 Senzorická analýza

Senzorické hodnocení tavených sýrů se uskutečnilo v senzorické laboratoři 14. den od výroby za účasti 12 vyškolených hodnotitelů (zaměstnanci Ústavu technologie potravin, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně) podle příslušné normy ČSN EN ISO 8586. Senzorická analýza modelových vzorků tavených sýrů byla provedena na základě sedmibodové jakostní ordinální stupnice, která je uvedena v příloze 1. Pro diplomovou práci bylo posuzováno celkem 7 senzorických znaků, a to vzhled a barva, konzistence, tuhost, roztíratelnost, chuť a vůně, hořká chuť a přítomnost cizích pachů a pachutí. Hodnocení vzorků bylo uskutečněno v senzorických kabinách, na základě normy ČSN EN ISO 8589, a každému hodnotiteli byly postupně předkládány vzorky o hmotnosti 100 g anonymně (čtyřmístné kódy) a v náhodném pořadí. Vzorky byly posuzovatelům podávány při pokojové teplotě ($22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) a na bílých talířích.

6 VÝSLEDKY A DISKUZE

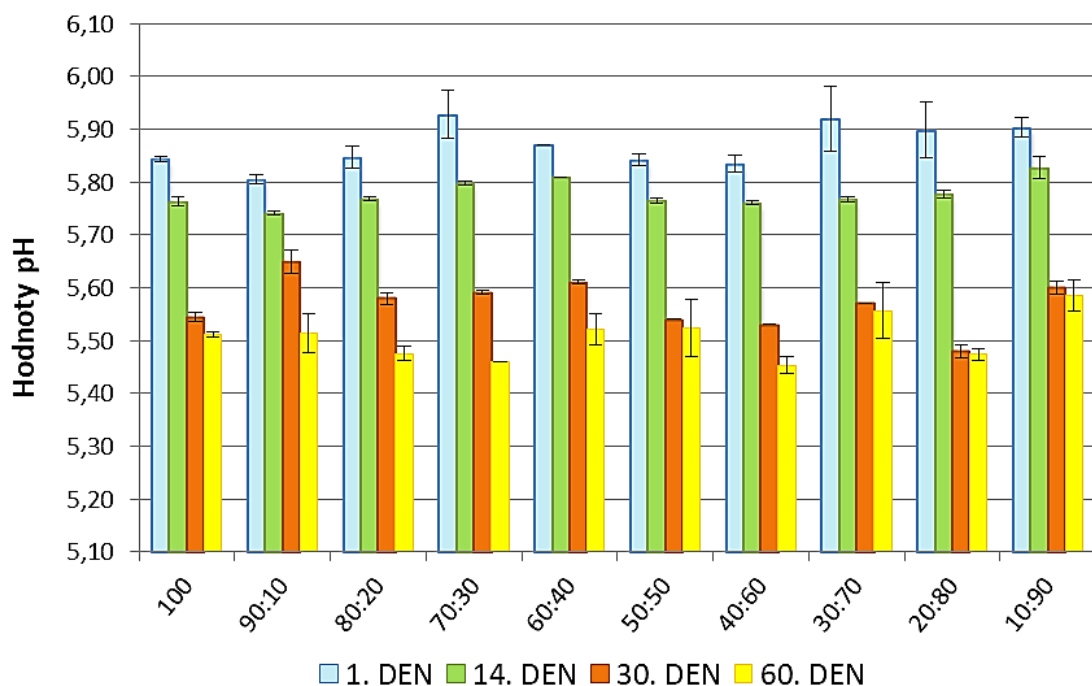
6.1 Vyhodnocení základní chemické analýzy

6.1.1 Vyhodnocení celkového obsahu sušiny

V praktické části diplomové práce bylo cílem vyrobit modelové vzorky tavených sýrů o obsahu sušiny 45 % (hm/hm) a obsahu tuku v sušině 50 % (hm/hm). Cílem stanovení celkového obsahu sušiny bylo zjistit, zda vzorky tavených sýrů tuto hodnotu skutečně obsahují. Měření proběhlo u každého modelového vzorku taveného sýrů třikrát a pro vyhodnocení byly použity jejich průměrné hodnoty. Výsledky celkového obsahu sušiny pro 1. analyzovaný den od výroby se pohybovaly v rozmezí 44,77 – 46,23 % (hm/hm). Podobné rozpětí hodnot bylo vyhodnoceno také 60. den od výroby, a to v intervalu 44,56 – 46,86 % (hm/hm). Rozpětí výsledných hodnot obou analyzovaných dní byly v souladu s požadovanou cílovou hodnotou obsahu sušiny a odpovídaly také i vhodně zvolené surovinové skladbě modelových vzorků tavených sýrů. Pro tuto diplomovou práci bylo stanovení celkového obsahu sušiny poměrně zásadní, jelikož výsledný obsah sušiny ovlivňuje texturní a reologické vlastnosti tavených sýrů (Weiserová a kol., 2011).

6.1.2 Vyhodnocení hodnot pH

Stanovení hodnot pH modelových vzorků tavených sýrů proběhlo ve všech analyzovaných dnech, čili 1., 14., 30. a 60. den od výroby. Pro vyhodnocení byly použity průměrné hodnoty pH jednotlivých vzorků tavených sýrů. Optimální hodnota pH pro tavené sýry s roztíratelnou konzistencí se pohybuje v rozmezí 5,6 – 5,8 (Lee a Klostermeyer, 2001). Na Obrázku 23 je možné vidět výsledné hodnoty pH pro jednotlivé vzorky tavených sýrů. Hodnoty pro 1. analyzovaný den se pohybovaly v intervalu 5,83 – 5,93 a lze tedy vyhodnotit, že modelové vzorky tavených sýrů stanovené rozpětí hodnot pH splňovaly. Na základě grafického znázornění (viz Obrázek 23) byla rovněž potvrzena skutečnost, že s rostoucí délkou skladování hodnota pH klesá. S touto skutečností je spojena i tvrdost tavených sýrů, jelikož během skladování tato texturní vlastnost výrazně roste (Macků, 2009). Z naměřených a zpracovaných dat bylo možné vyhodnotit, že dvoustupňový postup přidávání vody neměl vliv na výsledné hodnoty chemické analýzy.



Obrázek 23 Graf vyjadřující hodnoty pH modelových vzorků tavených sýrů v průběhu skladování

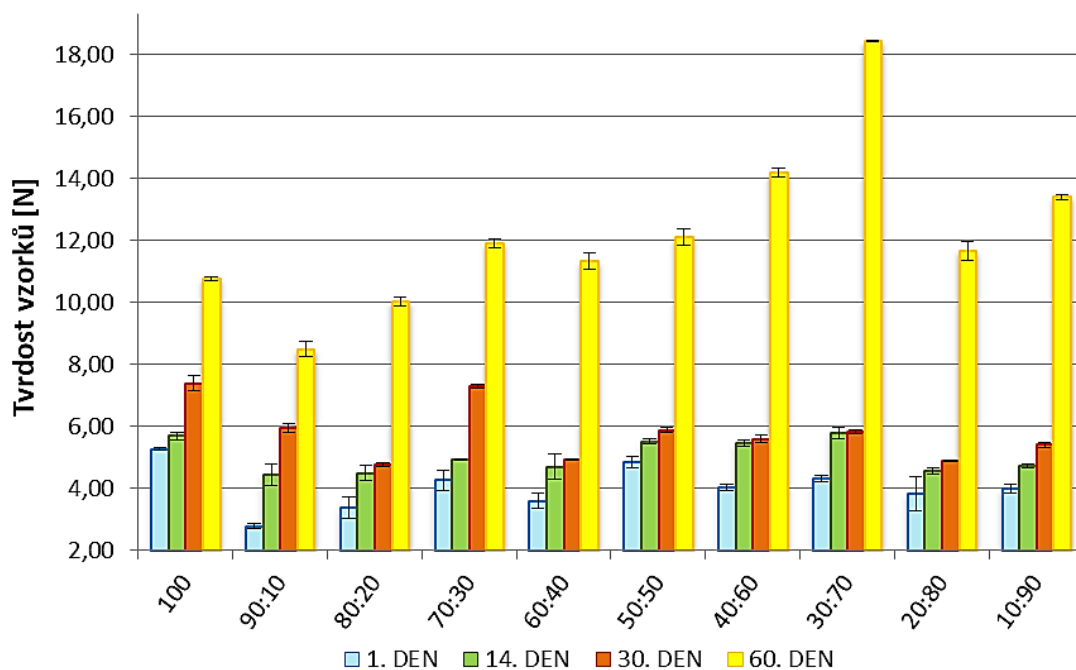
6.2 Vyhodnocení texturní profilové analýzy

Tavené sýry podléhají v průběhu výroby a skladování texturním změnám, při kterých dochází především k tuhnutí výrobků. Z tohoto důvodu jsou tavené sýry vhodné pro sledování změn sýrové matrice (Schär a Bosset, 2002). V diplomové práci byla texturní profilová analýza modelových vzorků tavených sýrů měřena ve všech analyzovaných dnech, tedy 1., 14., 30. a 60. den po výrobě. Vzorky tavených sýrů byly měřeny třikrát a pro vyhodnocení byly použity jejich průměrné hodnoty. Při texturní profilové analýze byly u jednotlivých vzorků tavených sýrů sledovány hodnoty tvrdosti (pevnosti), lepivosti (relativní lepivosti), soudržnosti (kohezivnosti), pružnosti (elasticity), žvýkatelnosti a gumovitosti.

6.2.1 Vyhodnocení tvrdosti

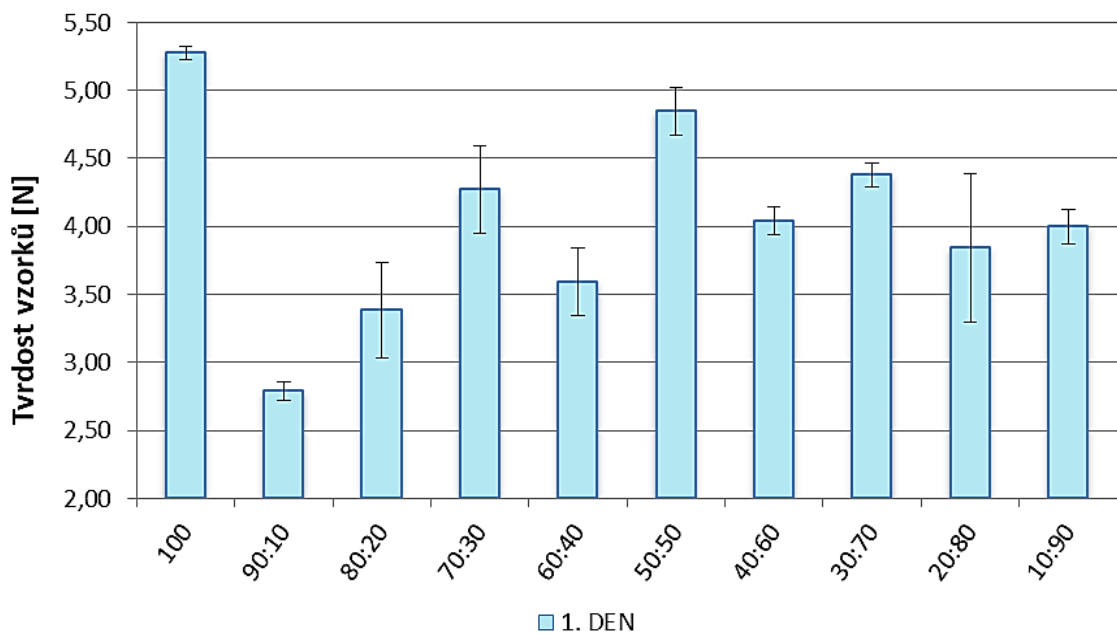
Vývoje tvrdosti zkoumaných vzorků tavených sýrů byly sledovány na základě průběhu skladování a na vlivu dvoustupňového přidávání vody. Výsledky vývoje tvrdosti v závislosti na průběhu skladování jsou graficky znázorněny na Obrázku 24. Z výsledného grafu lze vyhodnotit, že během 60denního skladování došlo u vzorků tavených sýrů k intenzivnímu nárůstu tvrdosti. Nejvyšší tvrdost vykazoval vzorek 30:70, čili pro svou

deformaci vyžadoval větší potřebnou sílu. Vzhledem k výsledným hodnotám byla potvrzena literatura Salek a kol. (2020), která ve své studii popisuje, že tvrdost tavených sýrů roste na základě rostoucí délky skladování. Schär a Bosset (2002) rovněž ve své studii uvádí, že nárůst tuhosti je způsoben díky hydrolyze polyfosforečnanových tavicích solí vedoucí k uvolnění vápenatých iontů, které se postupně podílí na síťování proteinové matrice. Zvýšená tuhost tavených sýrů může být zapříčiněna i postupným uvolňováním vody, vlivem zvýšených teplot, vedoucí k narušení hydrofobních interakcí (Buňka, 2004).



Obrázek 24 Grafické vyjádření výsledků tvrdosti tavených sýrů během skladování

Výsledky vývoje tvrdosti, v závislosti na použití dvoustupňového přídavku vody při výrobě tavených sýrů, jsou graficky znázorněny na Obrázku 25. Z grafu je patrné, že nejvyšší tvrdost vykazoval vzorek 100, který byl vyroben běžným technologickým postupem, resp. bez dvoustupňového přídavku vody. Ostatní vzorky, již s dvoustupňovou výrobou, podléhaly mírným změnám v tvrdosti. Nicméně tavený sýr o nejnižší tvrdosti představoval vzorek 90:10, kdy 90 % vody bylo přidáváno na začátku tavicího procesu a zbylých 10 % po 4 min tavení. Opačný vzorek 10:90 vykazoval naopak tuhost vyšší než výše zmíněný vzorek. Lze tedy usoudit, že voda hraje při výrobě důležitou roli a podílí se na snížení tvrdosti výrobků. Takové tvrzení je v souladu s poznatky Salek (2017), který poukazuje na sníženou tvorbu proteinových matic vlivem působící vody a vlhkosti.

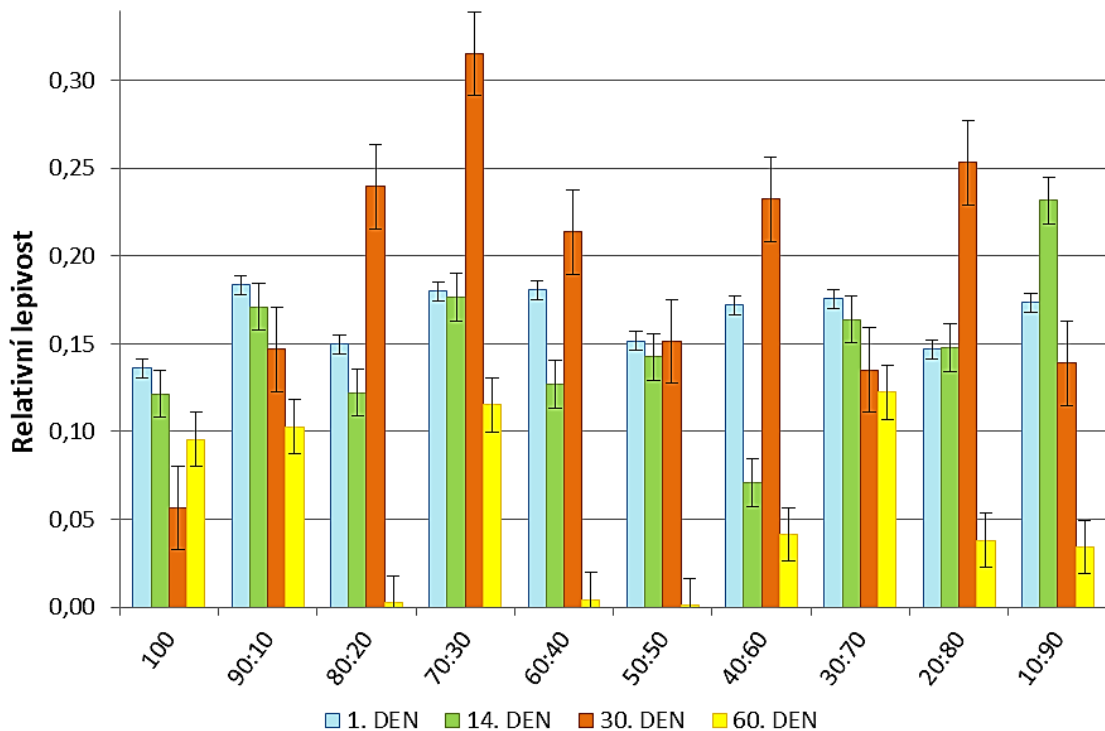


Obrázek 25 Grafické vyjádření výsledků tvrdosti tavených sýrů na základě dvoustupňového přídavku vody

6.2.2 Vyhodnocení relativní lepivosti

Obrázek 26 prezentuje výsledné hodnoty relativní lepivosti modelových vzorků tavených sýrů zjištěné texturní profilovou analýzou. V průběhu skladování byl pozorován spíše klesající trend relativní lepivosti, ovšem u vzorků 80:20; 70:30; 60:40; 50:50; 40:60 a 20:80, naměřené 30. den po jejich výrobě, došlo k prudkému nárůstu lepivosti, která v následujících 30 dnech skladování opět klesala. Nejvyšší hodnotu relativní lepivosti vykazoval po 30denním skladování tavený sýr 70:30, kdy 70 % vody bylo přidáváno na začátku tavicího procesu a zbylých 30 % po 4 min tavení. U tohoto vzorku byla pozorována vysoká lepivost a vzhledem k jeho vysoké přilnavosti, vzorek ulpíval na hliníkovou folii obalového materiálu. U vzorků 80:20 a 60:40 byl sledován nejvyšší pokles lepivosti v rámci 30denního skladování. Lze tedy zhodnotit, že doba skladování měla významný vliv na texturní vlastnosti vzorků tavených sýrů, jelikož hodnoty lepivosti získané na konci měření byly u všech vzorků nižší, než tomu bylo na počátku měření. Vědecký zdroj Awad a kol. (2002) uvádí, že změny relativní lepivosti souvisí jednak s dobou skladování, nebo s účinkem tavicích solí na peptizaci kaseinu, jehož výsledkem je konečná struktura tavených sýrů více či méně elastická. Literatura Henelly a kol. (2005) zmiňuje, že obsah vody, resp. sušiny ovlivňuje texturní vlastnosti tavených sýrů.

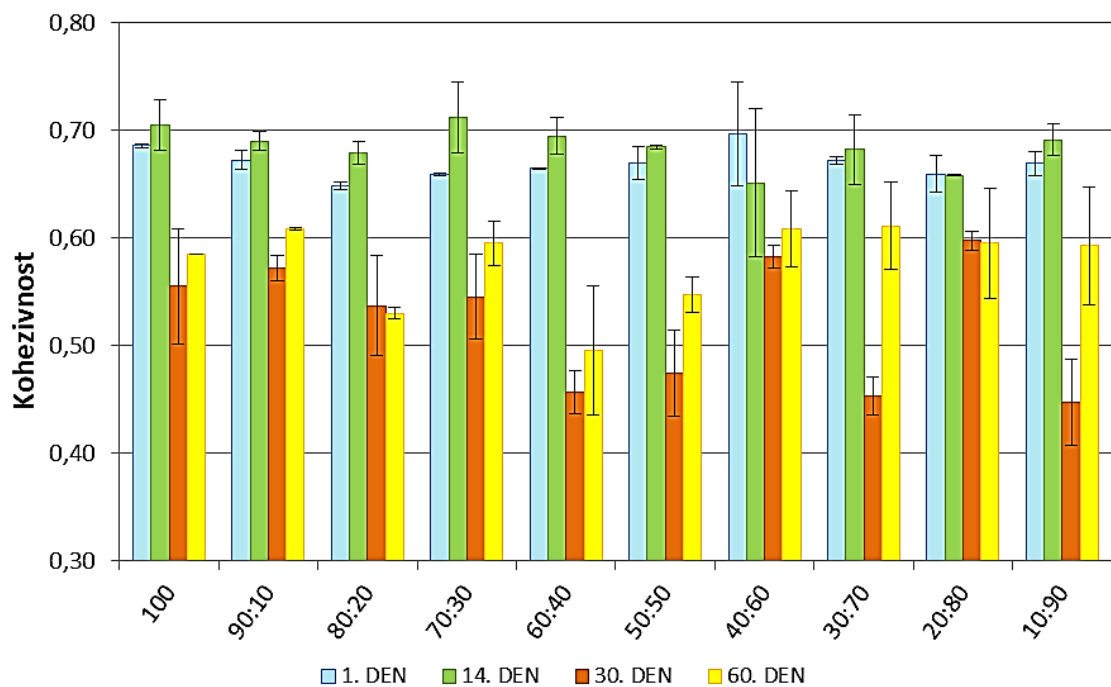
Taková skutečnost byla prokázána v případě stanovení tvrdosti. Ovšem při sledování relativní lepivosti v rámci jednotlivých vzorků tavených sýrů, vyrobené jiným než běžným technologickým postupem, nebyly shledány příliš velké rozdíly. Výroba tavených sýrů dvoustupňovým přidavkem vody tedy neměla vliv na relativní lepivost.



Obrázek 26 Grafické vyjádření výsledků relativní lepivosti tavených sýrů během skladování

6.2.3 Vyhodnocení soudržnosti (kohezivnosti)

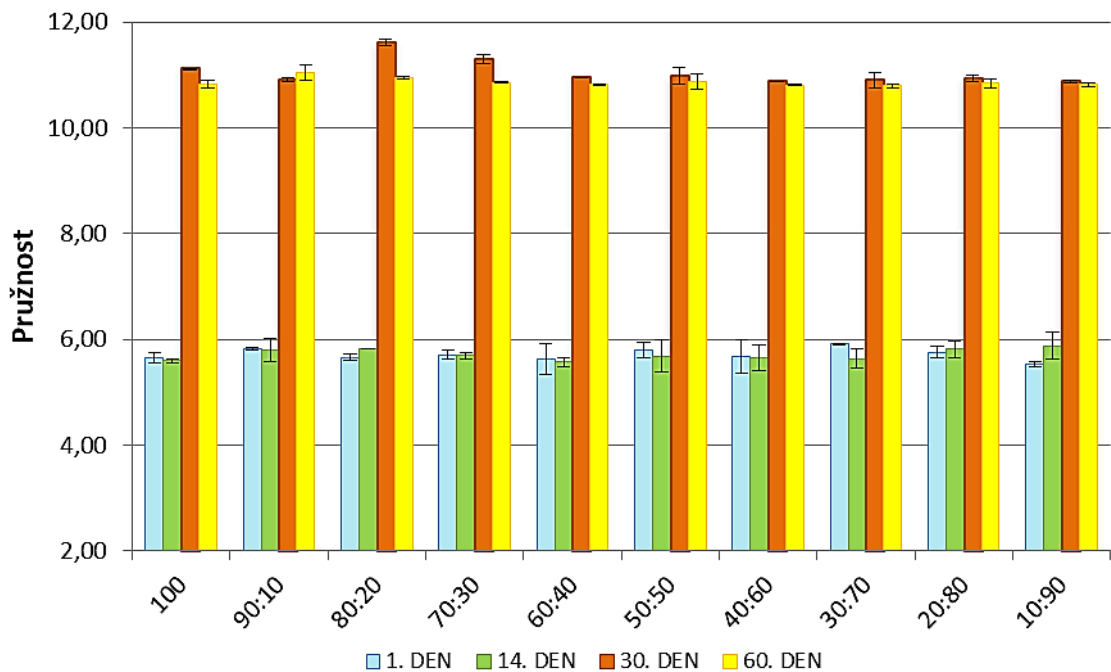
Dalším sledovaným texturním znakem byla soudržnost, tedy pevnost vnitřních vazeb ve vzorcích tavených sýrů. Z výsledných hodnot (viz Obrázek 27) je patrné, že mezi vzorky tavených sýrů nebyly výrazné rozdíly v soudržnosti. Stejně jako u relativní lepivosti, neměl postupný přidavek vody během výroby na tuto texturní vlastnost prokazatelný vliv. Z grafu lze rovněž vidět klesající trend soudržnosti s rostoucí délkou skladování. U každého vzorku taveného sýru byly nižší hodnoty soudržnosti naměřeny poslední 2 analyzované dny. Nicméně nejnižší hodnoty soudržnosti byly zaznamenány 30. den skladování (6 ± 2 °C) u vzorků 30:70 a 10:90, ovšem v následujících 30 dnech došlo opět k mírnému zvýšení hodnot soudržnosti.



Obrázek 27 Grafické vyjádření výsledků soudržnosti (kohezivnosti) tavených sýrů během skladování

6.2.4 Vyhodnocení pružnosti (elasticity)

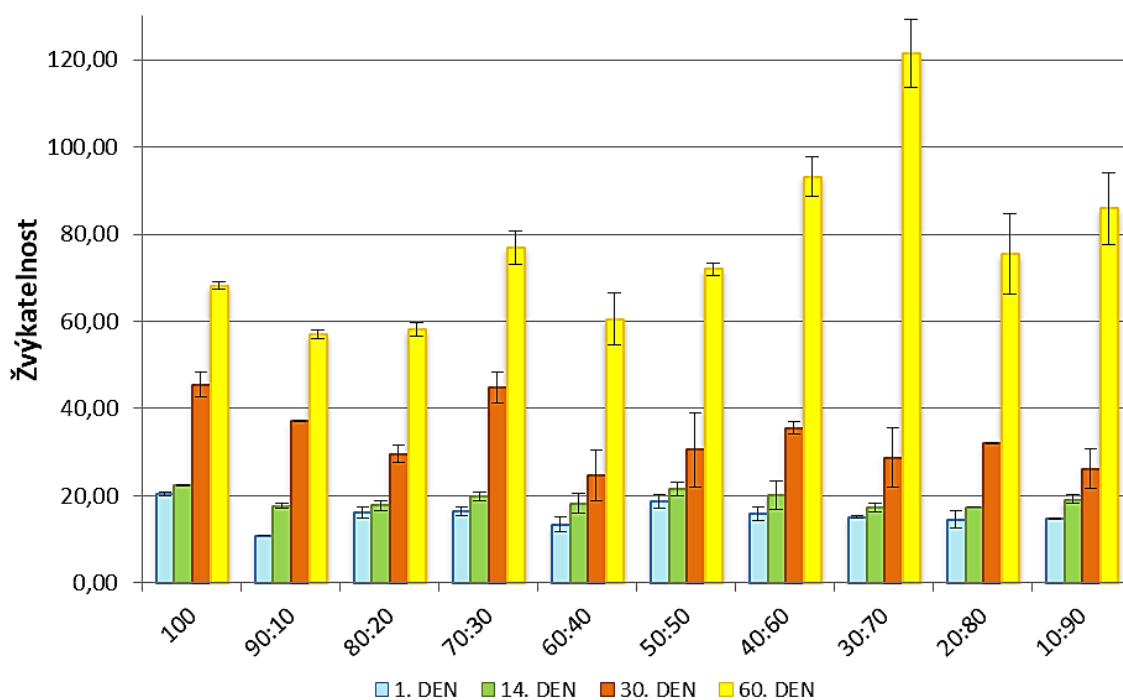
Následujícím sledovaným texturním parametrem byla pružnost, která je dána na základě rychlosti vrácení zdeformovaného materiálu do původního tvaru. Výsledné hodnoty pružnosti jsou graficky vyjádřeny (viz Obrázek 28). Z výsledných hodnot lze konstatovat, že mezi vzorky tavených sýrů opět nebyly výrazné rozdíly v pružnosti. Stejně jako u relativní lepivosti a soudržnosti, neměl postupný přídavek vody během výroby na tuto texturní vlastnost prokazatelný vliv. Nicméně u všech modelových vzorků tavených sýrů došlo k prudkému nárůstu pružnosti 30. den skladování.



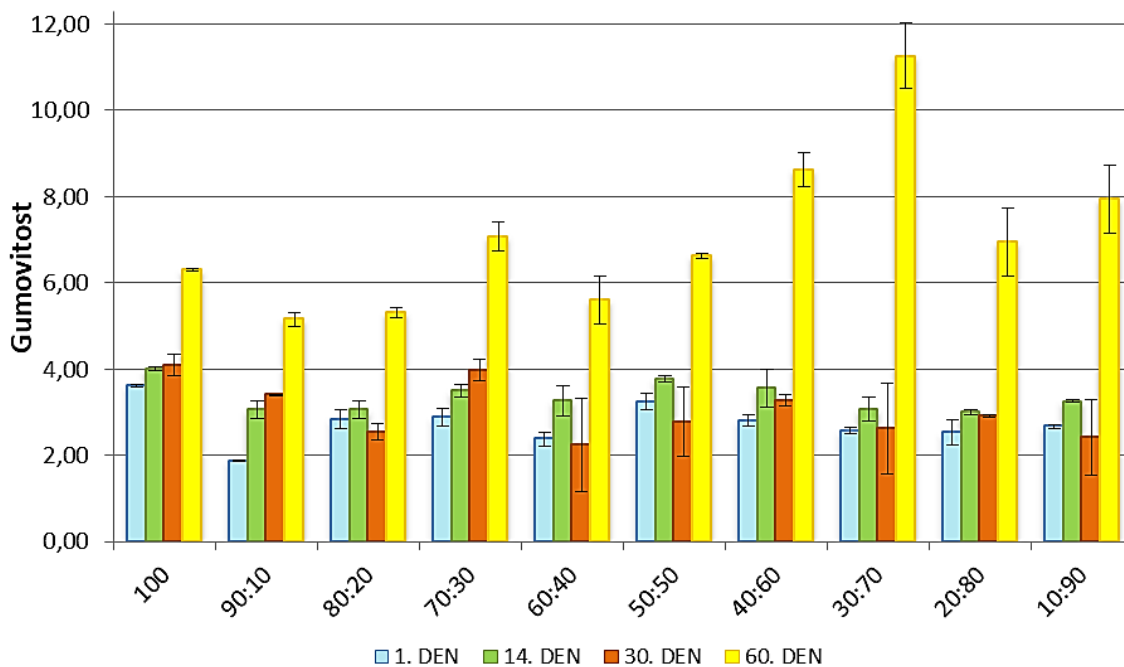
Obrázek 28 Grafické vyjádření výsledků pružnosti tavených sýrů během skladování

6.2.5 Vyhodnocení žvýkatelnosti a gumovitosti

Posledními dvěma texturními znaky sledované v diplomové práci byly žvýkatelnost a gumovitost, které jsou často řazeny mezi vedlejší texturní parametry. Oba tyto parametry souvisí s energií potřebnou jednak k rozžvýkání, ale i k rozmělnění potravin (Salek a kol., 2020). Hodnoty žvýkatelnosti (viz Obrázek 29) i gumovitosti (viz Obrázek 30) u jednotlivých vzorků tavených sýrů s rostoucí délkou skladování výrazně narůstaly. V obou případech byl pozorován nejvyšší nárůst 60. den u vzorků taveného sýru 30:70. Jednalo se tedy o tavený sýr, který oproti ostatním vzorkům vyžadoval největší energii potřebnou k rozžvýkání a rozmělnění. Z výsledných hodnot žvýkatelnosti a gumovitosti lze konstatovat, že tyto dva parametry korelují s tvrdostí, jelikož vzorek 30:70 byl vyhodnocen jako tavený sýr o vysoké tvrdosti. Stejný případ byl pozorován u vzorku 90:10, který naopak vykazoval nejnižší hodnoty žvýkatelnosti, gumovitosti a taktéž i tvrdosti. Co se týká vlivu dvoustupňového přídavku vody na žvýkatelnost a gumovitost, nebyly mezi jednotlivými vzorky tavených sýrů výrazné rozdíly.



Obrázek 29 Grafické vyjádření žvýkatelnosti tavených sýrů během skladování



Obrázek 30 Grafické vyjádření gumovitosti tavených sýrů během skladování

6.3 Vyhodnocení viskoelastických vlastností

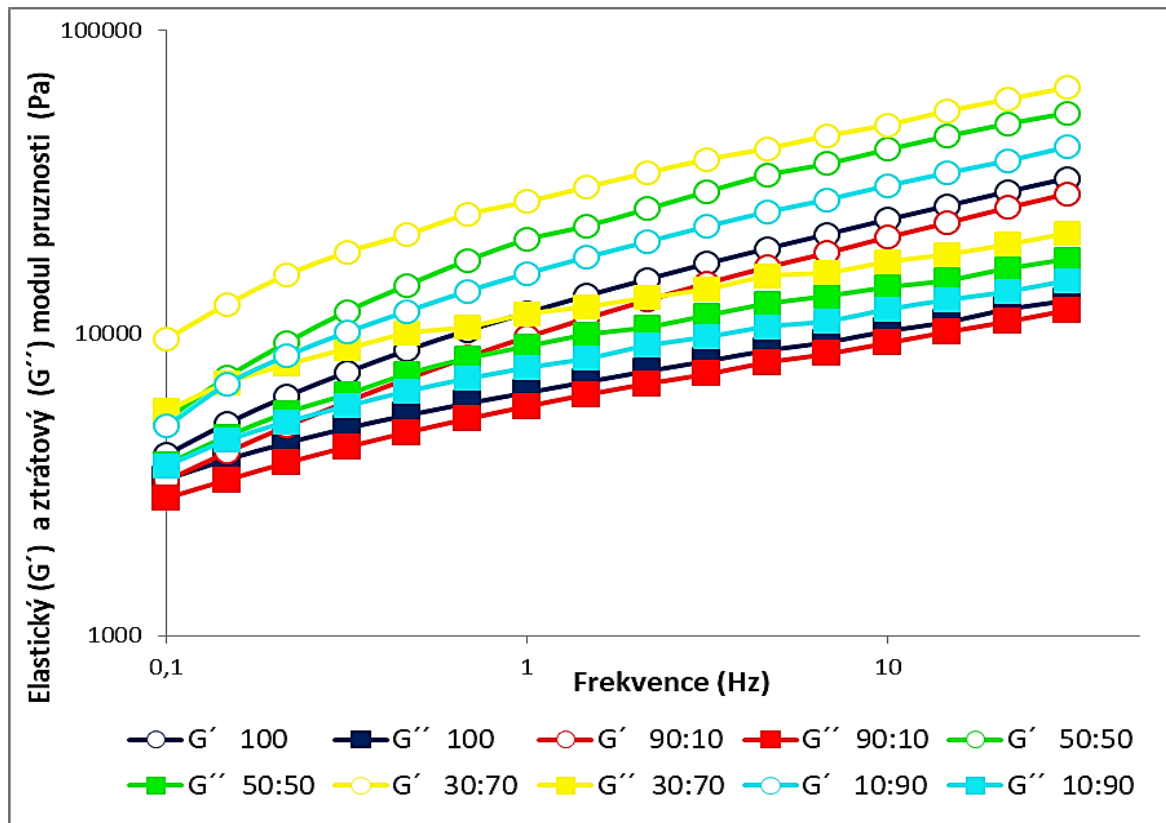
Jeden z hlavních cílů této diplomové práce bylo zjistit, zda neobvyklý technologický postup výroby tavených sýrů, při kterém byl určitý poměr vody přidáván ve dvou intervalech, měl vliv na tokové, resp. viskoelastické vlastnosti. Měření viskoelastických vlastností všech modelových vzorků tavených sýrů bylo uskutečněno 1., 14., 30. a 60. den po výrobě po třech po sobě jdoucích opakováních. Pomocí této metody byly získány hodnoty komplexní viskozity, elastického (G') a ztrátového (G'') modulu pružnosti. Měření bylo sledováno v testované oblasti při frekvenci 0,1 až 50 Hz. Na základě těchto získaných hodnot bylo možné vypočítat komplexní modul pružnosti (G^*) a také tangens úhlu fázového posunu ($\tan \delta$). Tyto získané hodnoty umožňují charakterizovat fyzikální a viskoelastické vlastnosti analyzovaného výrobků (Tamime a kol., 2011).

Vzhledem k tomu, že z reologického hlediska jsou tavené sýry viskoelastické, čili obsahují jak viskózní, tak i elastické vlastnosti, je tato metoda běžně používána. Viskoelastické chování tavených sýrů závisí především na vlastnostech převažující složky, která vytváří proteinovou síť. Proteinové vazby jsou primárně zodpovědné za elastické chování tavených sýrů (Schädle a kol., 2022).

Z výsledných hodnot reologické analýzy je možné vyhodnotit i např. tuhost daného výrobku. Komplexní modul pružnosti (G^*), vyhodnocen dle (G') a (G''), umožňuje tuhost výrobku stanovit, kdy zvyšující hodnoty G^* odpovídají rostoucí tuhosti analyzovaného vzorku. Naměřený modul je obrazem chování vzorku. Čím je vzorek elastičtější, tím vyšší bude změřený elastický modul pružnosti (G'). Ke stejnému trendu dochází i v případě ztrátového modulu pružnosti (G''), kdy s rostoucími hodnotami (G'') roste viskózní složka analyzovaného výrobku. Podíl složky viskózní a elastické určuje $\tan \delta$, kdy v případě jeho rostoucích hodnot elastická složka vzorku klesá (Macků, 2009).

Obrázek 31 pro představu znázorňuje závislost elastického G' a ztrátového G'' modulu pružnosti na frekvenci pro vybrané tavené sýry. Z grafického vyjádření vyplývá, že u modelových vzorků tavených sýrů převládala elastická složka nad viskózní (plastickou), a to v oblasti nízkých i vysokých frekvencí. Dále je možné usoudit, že nižší množství vody přidávané na začátku tavicího procesu způsobilo mírný nárůst hodnot elastického a ztrátového modulu. Winter a Chambon (1986) ve své publikaci poukazují, že rostoucí hodnoty G' , G'' a G^* souvisejí s vyšší tuhostí výrobku. Dle této studie je možné usoudit, že nižší přídavek vody na začátku tavicího procesu než v průběhu tavení měl za

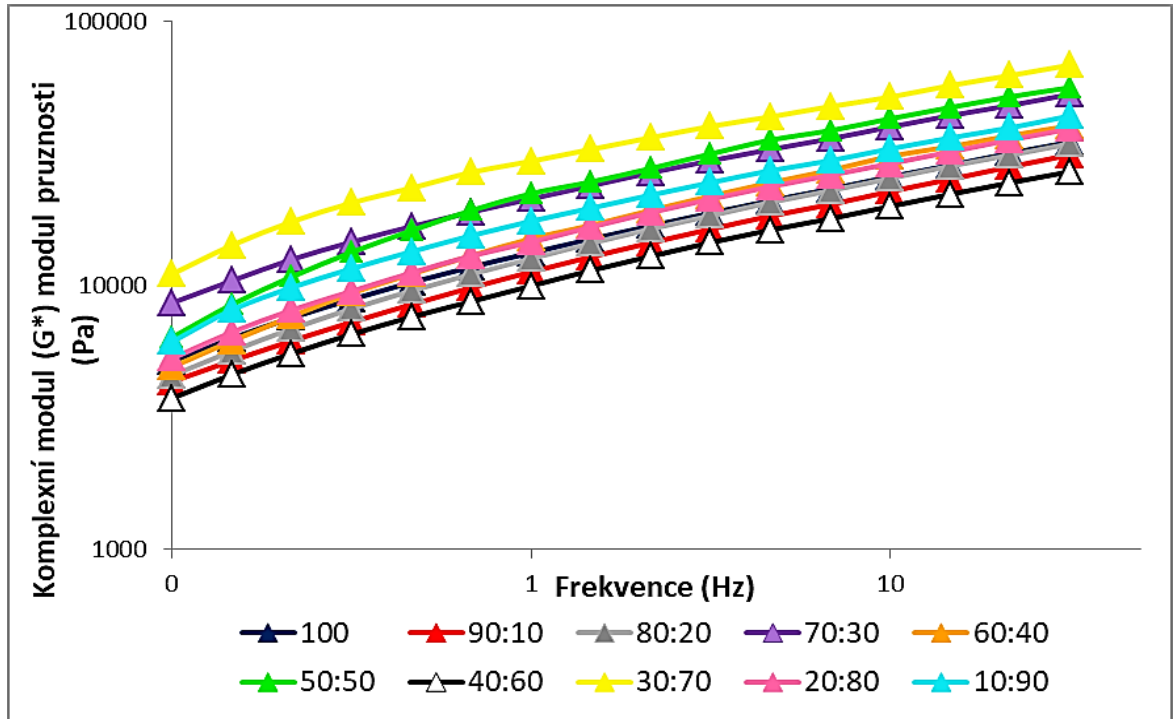
následek nepatrný nárůst tuhosti výsledných vzorků tavených sýrů. Takový trend byl, až na výjimky, v souladu s TPA. Obrázek 25 vyjadřuje určité náznaky těchto výsledků, nicméně vzhledem k nižší citlivosti této metody, byly výsledky prokázány až reologickou analýzou.



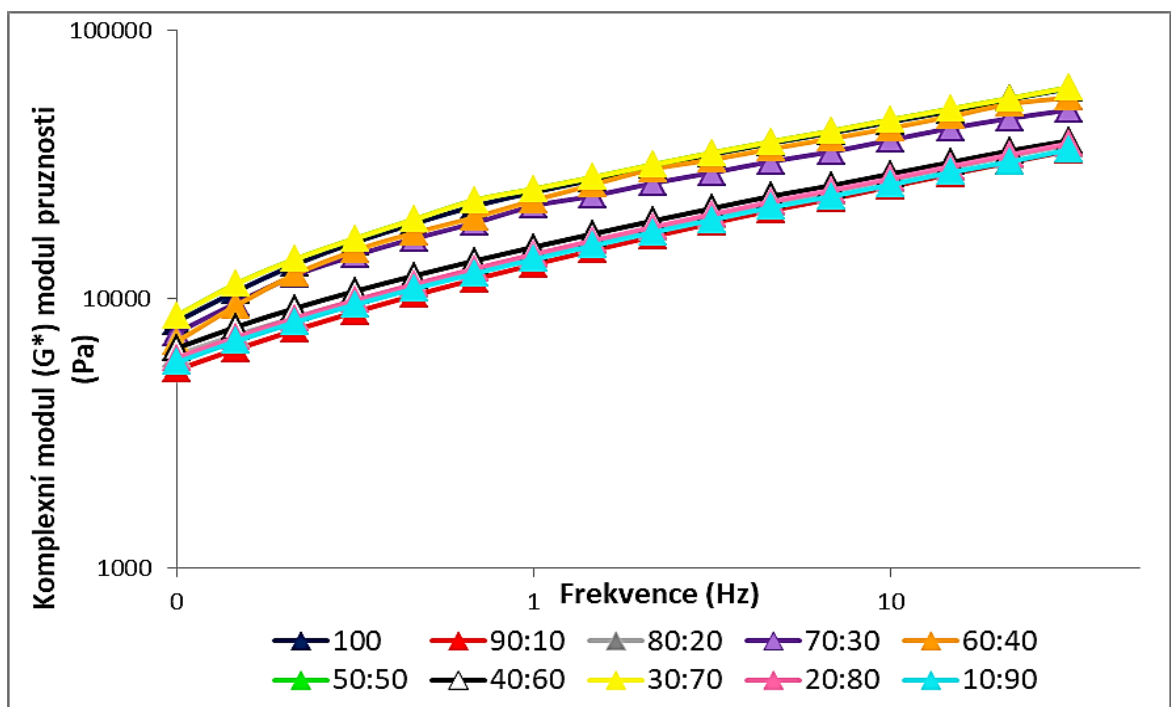
Obrázek 31 Závislost elastického G' a ztrátového G'' modulu pružnosti na frekvenci pro vybrané tavené sýry

Na základě rostoucího komplexního modulu pružnosti G^* s rostoucí frekvencí roste tuhost analyzovaného výrobku. Z tohoto hlediska byly pro sledování změn konzistence použity výsledné hodnoty G^* (viz Obrázek 32). Z grafu je patrné, že s rostoucí frekvencí (0,1 – 50 Hz) hodnoty komplexního modulu pro všechny vzorky tavených sýrů narůstaly. Nejvyšší modul komplexní pružnosti vykazoval vzorek 30:70 a jednalo se o tavený sýr s nejvyšší tuhostí. U tohoto vzorku bylo 30 % vody přidáno na začátku tavicího procesu a 70 % vody po 4 min tavení. U ostatních vzorků tavených sýrů nebyly shledány příliš velké rozdíly. Studium reologických vlastností tavených sýrů se zabývalo velké množství autorů např. Sołowiej a kol., (2020) nebo Lee a kol., (2003), ovšem doposud nejsou publikovány žádné studie poukazující na vlivy dvoustupňového přidávání vody. Nicméně s touto problematikou může souviset studie Hamad a Ismail (2009), kteří ve svém výzkumu přidávali do výroby tavených sýrů různé % zastoupení vody a došli k závěru, že zvyšující se množství vody během výroby zajistí zvýšené hodnoty pH. Tato skutečnost

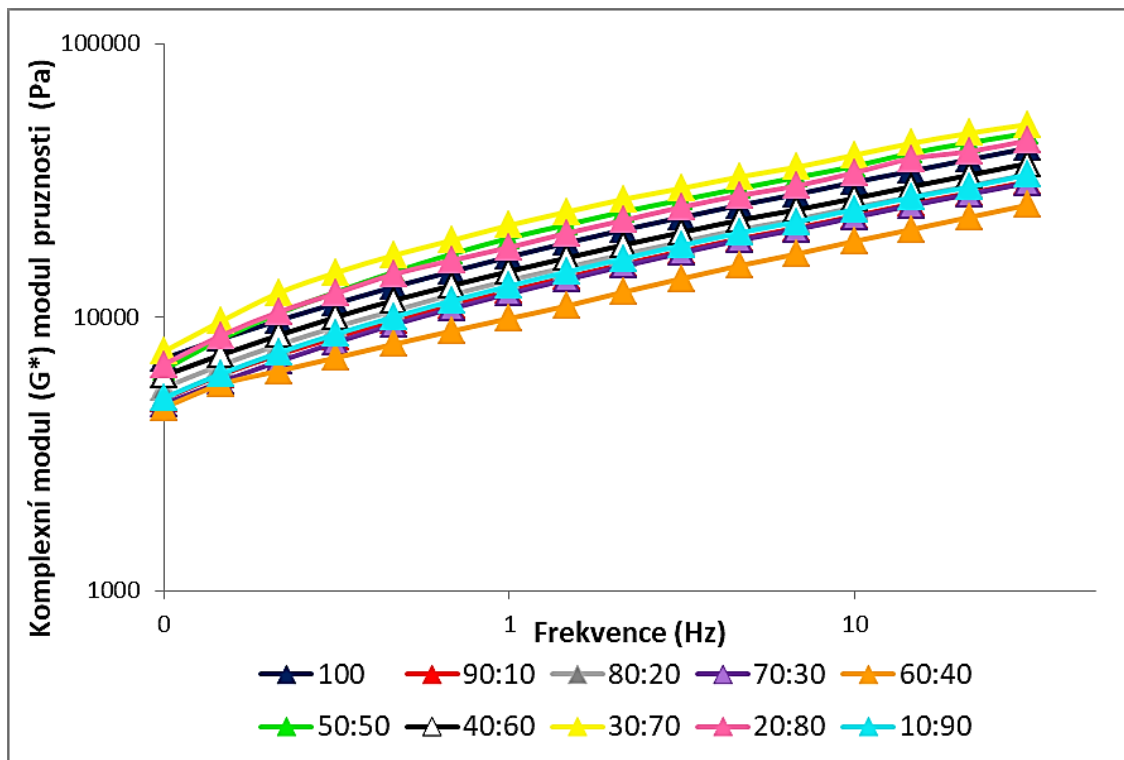
nebyla v diplomové práci potvrzena, jelikož bylo při výrobě modelových vzorků použito stejné množství vody. Obrázky 33 – 35 pak zobrazují závislosti komplexního modulu pružnosti (G^*) na frekvenci pro jednotlivé tavené sýry během skladování.



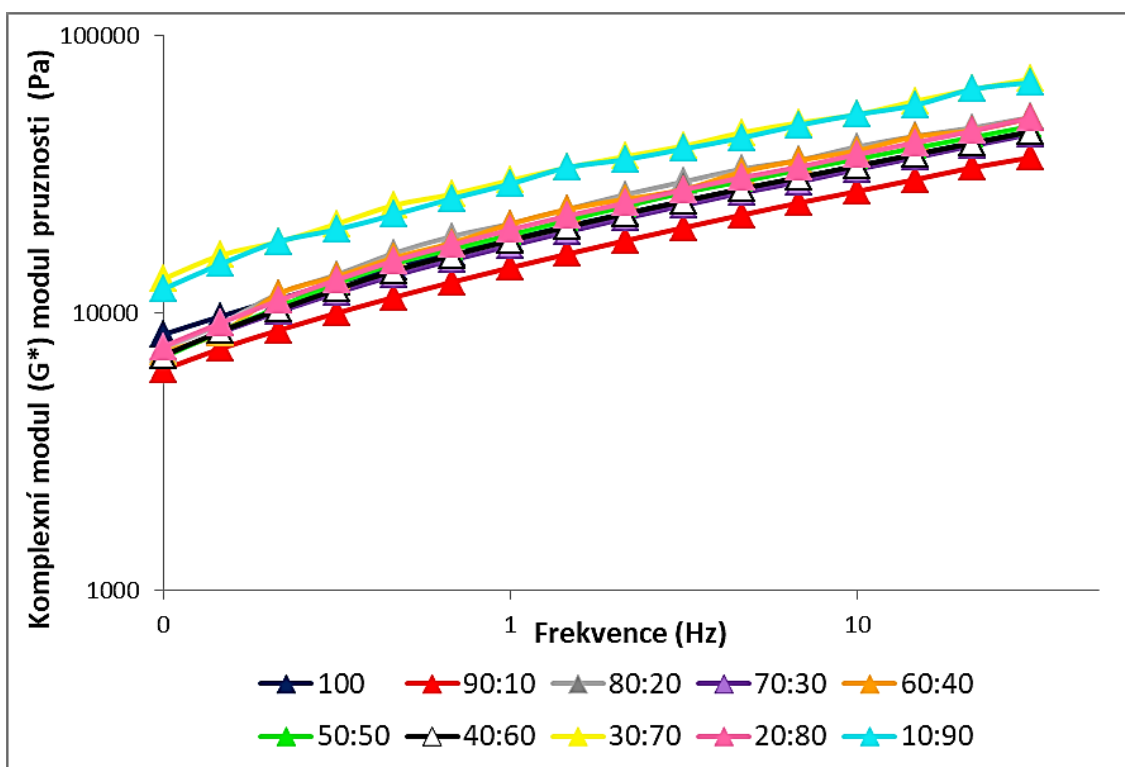
Obrázek 32 Závislost komplexního modulu pružnosti (G^*) na frekvenci pro jednotlivé tavené sýry po 1. dni skladování



Obrázek 33 Závislost komplexního modulu pružnosti (G^*) na frekvenci pro jednotlivé tavené sýry po 14. dni skladování



Obrázek 34 Závislost komplexního modulu pružnosti (G^*) na frekvenci pro jednotlivé tavené sýry po 30. dni skladování



Obrázek 35 Závislost komplexního modulu pružnosti (G^*) na frekvenci pro jednotlivé tavené sýry po 60. dni skladování

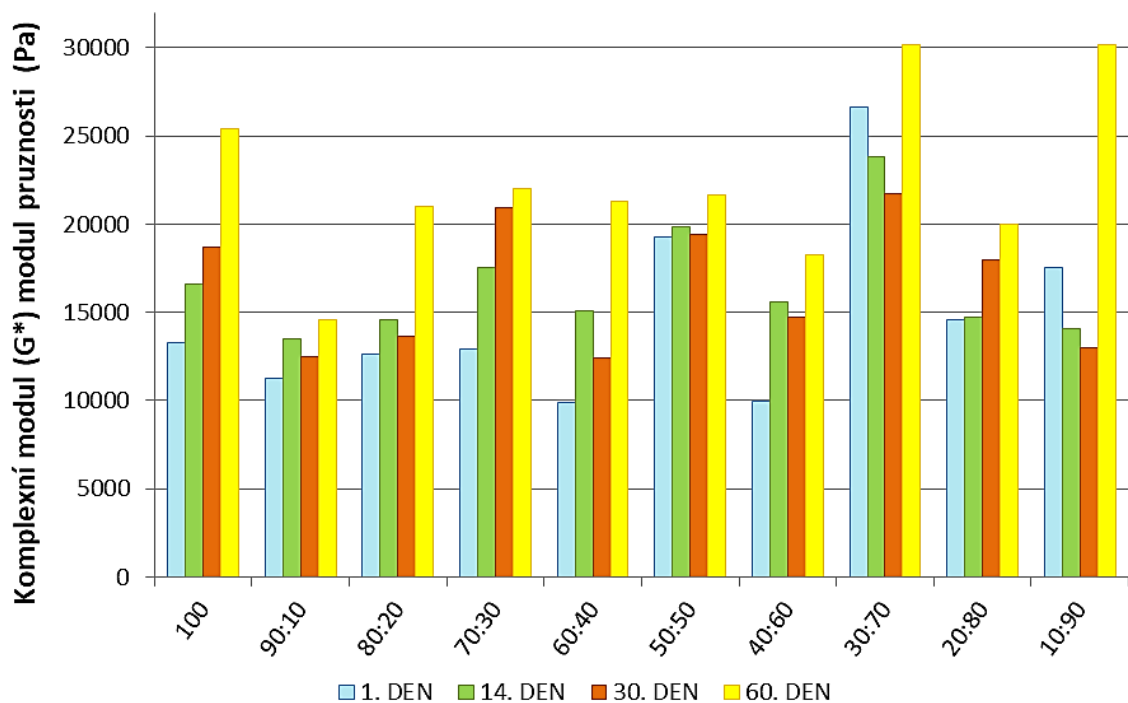
Viskoelastické vlastnosti modelových vzorků tavených sýrů byly také stanoveny pomocí tangentu úhlu fázového posunu ($\tan \delta$) a pro lepší porovnání byla zvolena referenční frekvence 1 Hz. Rovněž byly pro tuto frekvenci vypočteny hodnoty komplexního modulu pružnosti (G^*). V Tabulce 5 jsou pro lepší přehlednost uvedeny výsledné hodnoty komplexního modulu pružnosti a hodnoty tangentu úhlu fázového posunu pro jednotlivé vzorky tavených sýrů. Výsledné hodnoty komplexního modulu pružnosti byly mezi jednotlivými vzorky mírně odlišné a mezi sebou nevykazovaly pravidelný trend. Nicméně lze na základě výsledků zhodnotit, že nejvyšší hodnoty G^* vykazoval vzorek 30:70 a jednalo se o velmi tuhý tavený sýr. Nejméně tuhé vzorky byly na základě stanovení viskoelastických vlastností vyhodnoceny ty, u kterých byl přídavek vody v poměru 90:10 a 40:60.

Velikost úhlu fázového posunu určuje míru viskoelastičnosti taveného sýru. Pokud je hodnota $\delta = 0^\circ$ jedná se o ideálně elastický výrobek, v případě $\delta = 90^\circ$ výrobek je ideálně viskózní (Piska a kol., 2002). Tato literatura rovněž charakterizuje materiál pro hodnotu $\tan \delta = 1$, který se ve stejné míře chová jako pevná i kapalná látka (viskoelastické látky). V případě hodnot $\tan \delta < 1$ jedná se o materiál elastický (pseudoplastický) a chová se jako pevná látka. Naproti tomu hodnoty $\tan \delta > 1$ jde o materiál viskózní (dilatantní), čili se chová více jako kapalina. Výsledné hodnoty $\tan \delta$ jednotlivých vzorků uvedené v Tabulce 5 byly pod hodnotu 1, tudíž podle studie Piska a kol. (2002) vykazovaly všechny analyzované vzorky tavených sýrů elastické chování.

Tabulka 5 Hodnoty komplexního modulu G^* (Pa) a hodnoty $\tan \delta$ modelových vzorků tavených sýrů při frekvenci 1 Hz v závislosti na různých poměrech přidavku vody během výroby stanovené pro 1., 14. 30. a 60. den skladování (při 6 ± 2 °C)

| vzorek | Doba skladování (počet dní) | | | | | | | |
|--------|-----------------------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | 1. den | | 14. den | | 30. den | | 60. den | |
| | G^* [Pa] | $\tan \delta$ [-] | G^* [Pa] | $\tan \delta$ [-] | G^* [Pa] | $\tan \delta$ [-] | G^* [Pa] | $\tan \delta$ [-] |
| 100 | 13300,9 | 0,544 | 16601,8 | 0,509 | 18674,3 | 0,478 | 25381,1 | 0,426 |
| 90:10 | 11265,5 | 0,590 | 13466,8 | 0,537 | 12492 | 0,506 | 14606,0 | 0,511 |
| 80:20 | 12647,1 | 0,553 | 14581,4 | 0,529 | 13628,2 | 0,631 | 21012,3 | 0,451 |
| 70:30 | 12928,2 | 0,339 | 17528,5 | 0,461 | 20923,4 | 0,442 | 22025,3 | 0,445 |
| 60:40 | 15050,5 | 0,514 | 12397,3 | 0,298 | 9886,8 | 0,544 | 21273,9 | 0,434 |
| 50:50 | 19292,5 | 0,466 | 19810,8 | 0,475 | 19448,0 | 0,462 | 21675,6 | 0,439 |
| 40:60 | 9965,6 | 0,574 | 15620,6 | 0,513 | 14707,1 | 0,511 | 18277,8 | 0,462 |
| 30:70 | 26631,5 | 0,340 | 23802,7 | 0,425 | 21711,2 | 0,408 | 30171,6 | 0,409 |
| 20:80 | 14608,2 | 0,520 | 14686,6 | 0,531 | 17989,1 | 0,522 | 20013,0 | 0,473 |
| 10:90 | 17540,6 | 0,488 | 14068,1 | 0,549 | 12993,6 | 0,522 | 30181,7 | 0,399 |

Při porovnání jednotlivých měření v průběhu 60denního skladování tavených sýrů (viz Obrázek 36) je možné vidět až na výjimky rostoucí hodnoty G^* (pro frekvenci 1 Hz), které, jak už bylo zmíněno, souvisí s nárůstem tuhosti výrobků. Takové výsledky jsou v souladu s autory Winter a Chambon (1986) nebo Sádliková a kol. (2010), kteří tvrdí, že prodlužující se doba skladování zvyšuje hodnoty G^* a tedy i tuhost tavených sýrů. Takové vyhodnocení souvisí s celou řadou procesů působící během skladování. Příkladem lze zmínit pokles hodnot pH, hydrolyzu fosforečnanových tavicích solí či změny krystalické struktury. Nicméně množství přídavku vody nemělo vliv na viskoelastické vlastnosti tavených sýrů.



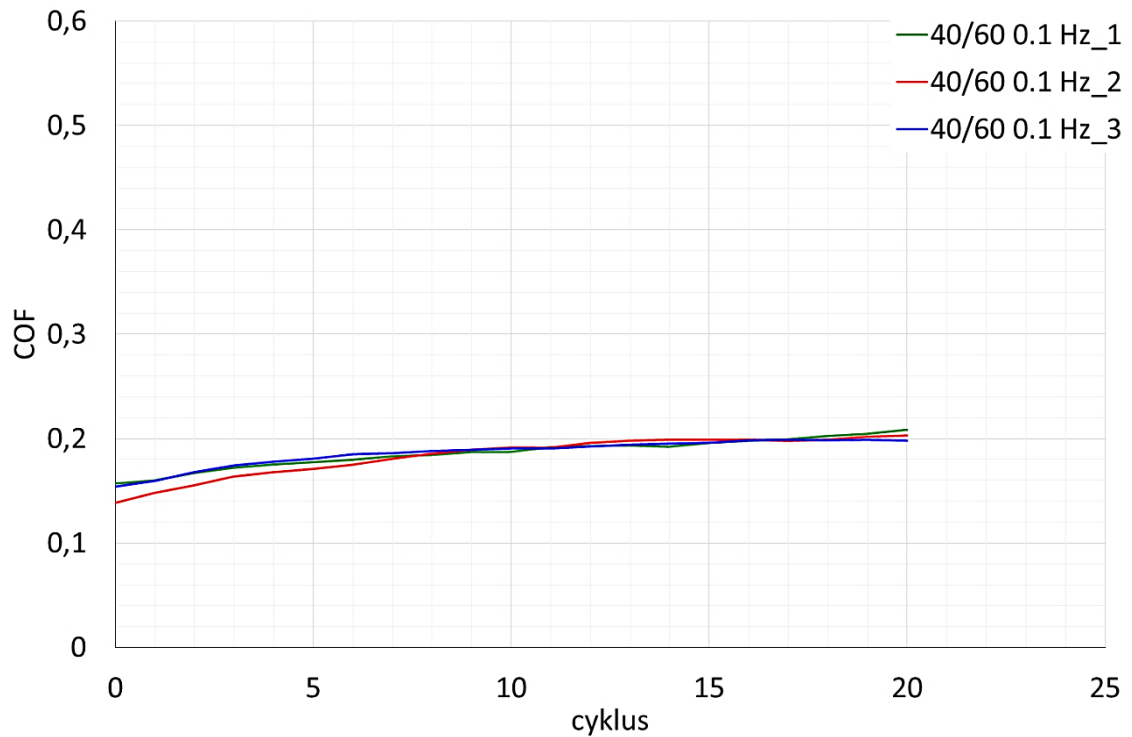
Obrázek 36 Závislost komplexního modulu pružnosti G^* modelových vzorků tavených sýrů pro frekvenci 1 Hz na délce skladování

6.4 Vyhodnocení tribologické analýzy

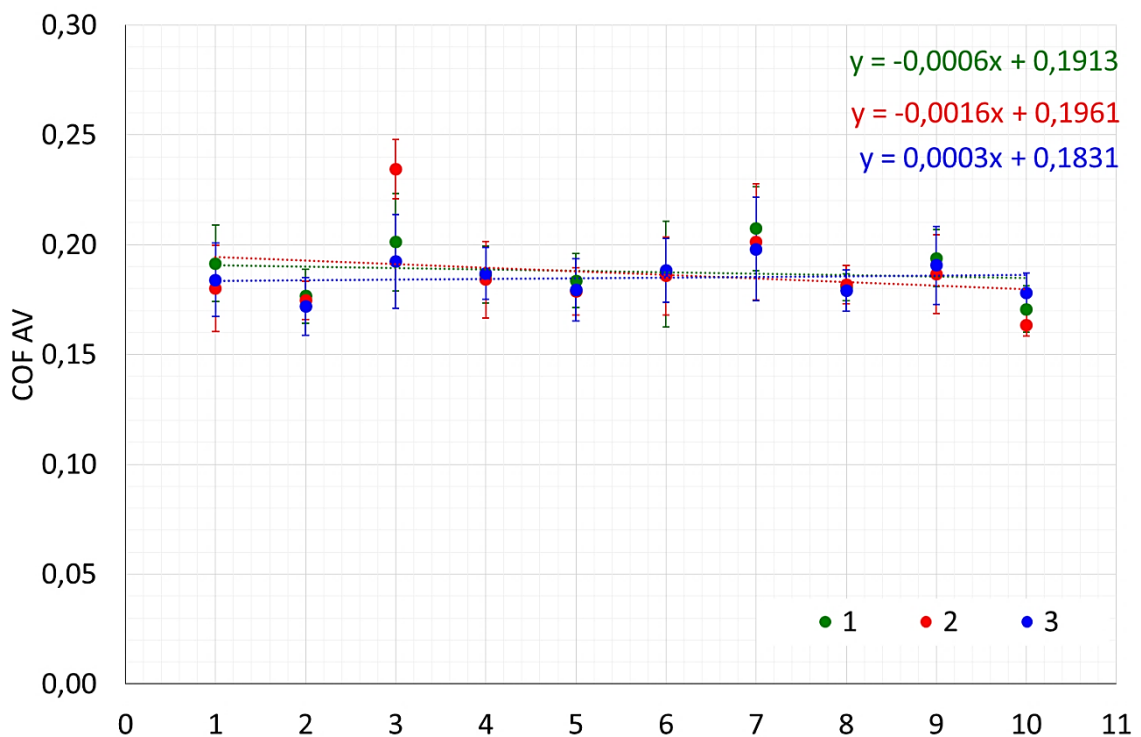
Dalším hlavním cílem této diplomové práce bylo zjistit, zda pomocí tribologického měření budou odhaleny určité rozdíly mezi jednotlivými vzorky tavených sýrů vyráběné dvoustupňovým přidáváním vody v různých poměrech. Důvodem použití této metody byl další přínos k pochopení zpracování potravin v ústech, jelikož se jedná o disciplínu zahrnující měření jak reologických vlastností, tak i sledování interagujících povrchů při relativním pohybu (Chen a Stokes, 2012).

Poslední dobou přibývají nové studie zabývající se tribologickou analýzou potravin. Nicméně je třeba zmínit, že tribologie se v potravinářství teprve rozvíjí a není ještě zdaleka detailně prozkoumána. Ovšem lze nalézt některé autory podílejících se na publikacích související s tribologickou analýzou potravin. Jednou z nich je např. studie Schädle a kol. (2022), která se zabývala tribologickým chováním tavených sýrů se sníženým obsahem tuku, kdy byl tuk nahrazen vodou. Autoři došli k závěru, že nahrazení části tuku vodou ve vzorcích tavených sýrů má za následek nižší tuhost finálních výrobků. Naproti tomu publikace Ningtyas a kol. (2017) upozorňuje na důležitost tuku ve struktuře tavených sýrů, protože podporuje tvorbu hraničního filmu a tím i poskytuje vhodné podmínky pro mazání.

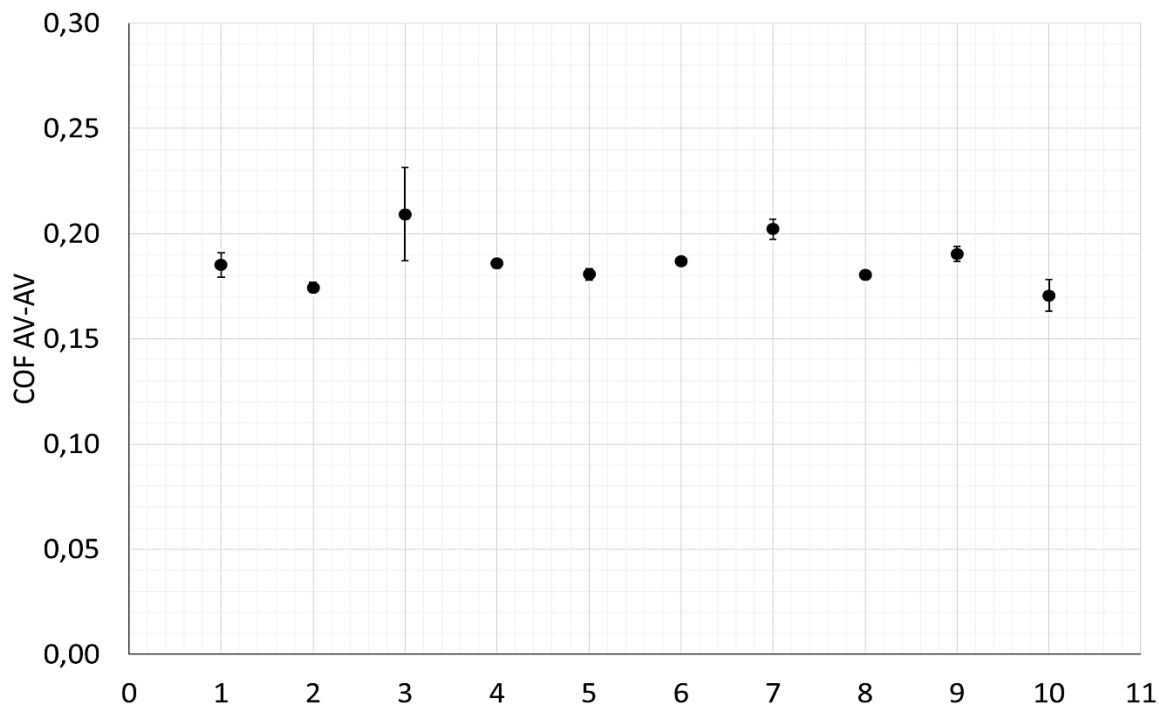
Pro diplomovou práci byla tribologická analýza všech modelových vzorků tavených sýrů uskutečněna 30. den. Pro stanovení byla použita přítláčná síla 2 N při frekvenci 0,1 Hz. Pro ilustraci jsou na Obrázku 37 vyobrazeny výsledné hodnoty tribologického testu pro vzorek 40:60. Výsledné hodnoty tribologické analýzy všech měření pro jednotlivé vzorky tavených sýrů jsou uvedeny na Obrázku 38 a pro průměrné hodnoty na Obrázku 39. Na základě obou výsledných grafů lze konstatovat, že nejvyšší koeficient tření vykazoval vzorek taveného sýru 30:70. Literatura Dresselhuis a kol. (2008) tvrdí, že vyšší hodnoty tření u tavených sýrů souvisí s vyšším množstvím proteinů a tím i tedy s vyšší tuhostí a horší roztíratelností výrobku. Stejného výsledku bylo dosaženo i v případě stanovení viskoelastických vlastností, což jen potvrdilo fakt, že tyto dvě metody spolu navzájem korelují, jak uvádí Ningtyas a kol. (2017).



Obrázek 37 Grafické vyjádření hodnot koeficientu tření pro vzorek TS 40:60



Obrázek 38 Grafické vyjádření hodnot koeficientu tření pro jednotlivé modelové vzorky TS (1 – 6 počet měření). Osa x: 1 – 10:90; 2 – 20:80; 3 – 30:70; 4 – 40:60; 5 – 50:50; 6 – 60:40; 7 – 70:30; 8 – 80:20; 9 – 90:10; 10 – 100

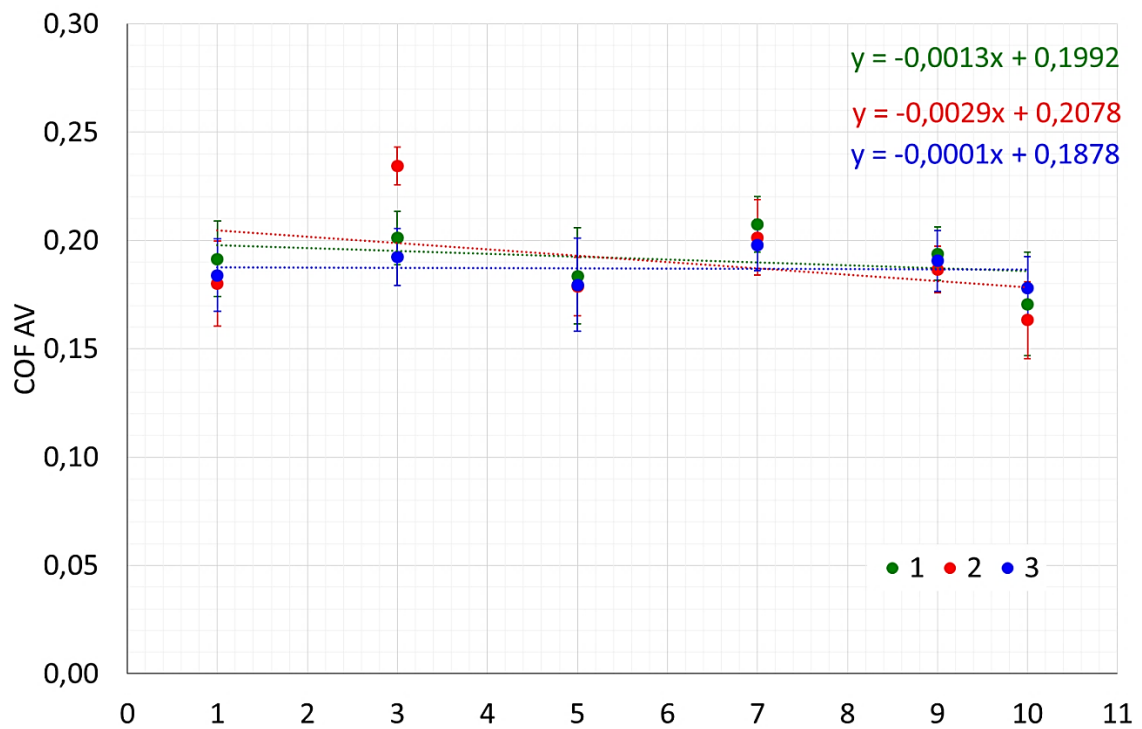


Obrázek 39 Grafické vyjádření průměrných hodnot koeficientu tření pro jednotlivé modelové vzorky TS.

Osa x: 1 – 10:90; 2 – 20:80; 3 – 30:70; 4 – 40:60; 5 – 50:50; 6 – 60:40; 7 – 70:30; 8 – 80:20; 9 – 90:10; 10 – 100

Pro lepší přehlednost a odhalení, zda se mezi jednotlivými vzorky tavených sýrů vyskytují rozdíly, resp. zda neobvyklý postup výroby tavených sýrů dvoustupňovým přidáváním vody měl vliv na tribologické vlastnosti, byl vytvořen graf s vybranými vzorky (viz Obrázek 40). Z grafu je patrné, že vzorky nevykazovaly výrazné rozdíly v koeficientu tření.

Výsledné hodnoty koeficientu tření pro jednotlivé vzorky taveného sýru znázorňuje Tabulka 6. U všech vzorků bylo provedeno měření ve třech po sobě jdoucích opakováních. Avšak dle výsledků (viz Tabulka 6) nebyly nalezeny výrazné rozdíly mezi jednotlivými vzorky tavených sýrů. Jiný technologický postup výroby tavených sýrů neměl tedy vliv na jejich tribologické vlastnosti.



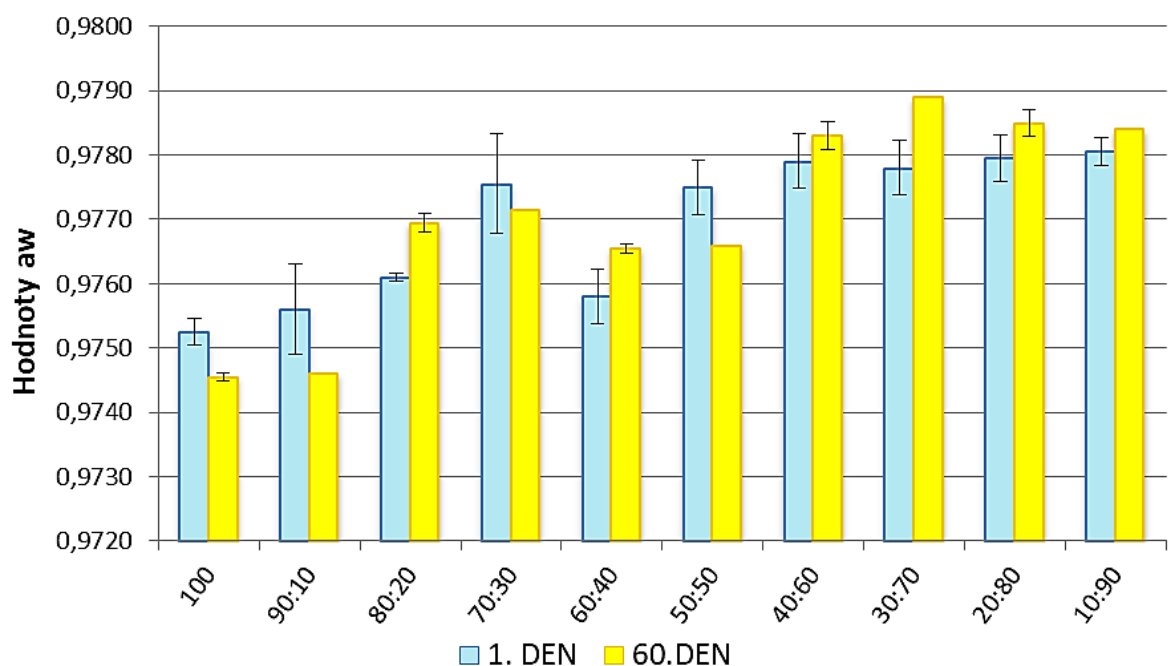
Obrázek 40 Grafické vyjádření hodnot koeficientu tření pro vybrané vzorky TS (1 – 3 počet měření). Osa x: 1 – 10:90; 3 – 30:70; 5 – 50:50; 7 – 70:30; 9 – 90:10; 10 – 100

Tabulka 6 Hodnoty koeficientu tření pro jednotlivé vzorky tavených sýrů

| Vzorek | Hodnoty koeficientu tření | | | ± | | | Průměr | ± |
|--------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | |
| 10:90 | 0,192 | 0,180 | 0,184 | 0,017 | 0,020 | 0,017 | 0,185 | 0,006 |
| 20:80 | 0,177 | 0,175 | 0,172 | 0,012 | 0,009 | 0,013 | 0,174 | 0,002 |
| 30:70 | 0,201 | 0,234 | 0,192 | 0,022 | 0,014 | 0,021 | 0,209 | 0,022 |
| 40:60 | 0,186 | 0,184 | 0,187 | 0,013 | 0,017 | 0,012 | 0,186 | 0,002 |
| 50:50 | 0,184 | 0,179 | 0,179 | 0,012 | 0,011 | 0,014 | 0,181 | 0,003 |
| 60:40 | 0,187 | 0,186 | 0,188 | 0,024 | 0,018 | 0,015 | 0,187 | 0,001 |
| 70:30 | 0,207 | 0,201 | 0,198 | 0,019 | 0,027 | 0,024 | 0,202 | 0,005 |
| 80:20 | 0,181 | 0,182 | 0,179 | 0,006 | 0,009 | 0,009 | 0,181 | 0,001 |
| 90:10 | 0,194 | 0,187 | 0,191 | 0,013 | 0,018 | 0,018 | 0,190 | 0,004 |
| 100 | 0,171 | 0,163 | 0,178 | 0,011 | 0,005 | 0,009 | 0,171 | 0,007 |

6.5 Vyhodnocení aktivity vody

Stanovení aktivity vody modelových vzorků tavených sýrů proběhlo 1. a 60. den po jejich výrobě. Každý vzorek byl podroben měření po třech opakováních a pro vyhodnocení byly použity průměrné hodnoty a_w . Výsledné hodnoty a_w (viz Obrázek 41) se u jednotlivých vzorků tavených sýrů příliš nelišily. Rozpětí výsledných hodnot a_w se pohybovalo v rozmezí 0,9753 - 0,9781. Z grafu lze rovněž vyčíst, že naměřené hodnoty a_w se během skladování příliš nezměnily, jelikož hodnoty 60. dne se pohybovaly v rozmezí 0,9746 – 0,9789. Podle studie Glass a Doyle (2005) se obvyklá vodní aktivita tavených sýrů pohybuje v rozmezí 0,91 – 0,96 a takové hodnoty zamezují růstu některých bakterií. Na základě této studie je možné zhodnotit, že hodnoty vodní aktivity jednotlivých modelových vzorků tavených sýrů lze považovat za akceptovatelné.



Obrázek 41 Grafické vyjádření výsledných hodnot aktivity vody tavených sýrů pro 1. a 60. den skladování

6.6 Vyhodnocení barvy

Barva modelových vzorků tavených sýrů byla měřena pomocí instrumentální spektrofotometrické metody v barevném systému CIE $L^*a^*b^*$. Cílem tohoto měření bylo zjistit, zda dvoustupňový přírůstek vody při výrobě měl vliv na barvu jednotlivých vzorků tavených sýrů. Barva tavených sýrů je odvozena na základě mléka použitého při výrobě přírodních sýrů, jako hlavní surovinové skladby tavených sýrů. Mléčné výrobky převážně vykazují bílou až slabě krémovou barvu, která je dána na základě mléčného tuku a přirozeně se vyskytujících barviv (retinol, karotenoidy) (Kristensen a kol., 2001; Osthoff a kol., 2011). Nicméně studie Awad a kol. (2004) uvádí, že skladování tavených sýrů při vyšších teplotách (20 ± 2 °C) má výrazný vliv na jejich barvu. Studie rovněž prokázala, že vzorky tavených sýrů skladované při vyšších teplotách vykazovaly tmavé zabarvení.

Wang a Sun (2003) popisují hodnoty jasů (L^*) v rozpětí 0 – 100 (0 – černá, 100 – bílá), souřadnice a^* spektrum červené až zelené barvy a b^* žluté až modré barvy. Z výsledných hodnot L^* (viz Tabulka 7) vyplývá, že všechny vzorky se blížily hodnotě 100, tudíž se jednalo o výrobky s vysokým jasnem a byla potvrzena studie Kristensen a kol. (2001). Výsledné hodnoty parametru a^* , čili přechod z oblasti zelené do červené barvy, se příliš nelišily a pohybovaly se v rozmezí od -0,5233 do -0,3867. Nejnižší hodnotu ($-0,5233 \pm 0,0737$) vykazoval vzorek 80:20 a nejvyšší hodnota ($-0,3867 \pm 0,0611$) byla u vzorku 20:80. Na základě těchto výsledků lze usoudit, že všechny vzorky spadaly do zelené oblasti spektra ($-a^*$). Tyto výsledky jsou také v souladu s poznatky Awad a kol. (2004), kteří popisují určitou závislost hodnoty a^* na teplotě. Tím, že vzorky tavených sýrů pro diplomovou práci nebyly podrobeny sterilačnímu záhřevu a byly skladovány při nízkých teplotách, byly výsledné hodnoty jednotlivých vzorků v záporných číslech a nevykazovaly posun do červené oblasti a^* . Hodnoty parametru b^* , čili přechod z oblasti modré do žluté barvy, se u jednotlivých vzorků taktéž příliš nelišily. Rozpětí hodnot bylo v intervalu 12,5333 – 15,4967 z čehož vyplývá, že všechny vzorky díky kladným hodnotám spadaly do žluté oblasti (b^*). Nejvyšší hodnota b^* ($15,4967 \pm 0,6438$) byla u vzorku 100, který představoval běžný způsob výroby tavených sýrů bez dvoustupňového přírůstku vody. Lze tedy usoudit, že dvoustupňový přírůstek měl nepatrný vliv na parametr b^* , jelikož ostatní vzorky této hodnoty nedosahovaly.

Tabulka 7 Výsledky spektrofotometrického měření barvy u vzorků tavených sýrů

| Vzorek | L* | | a* | | b* | |
|--------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | průměr | ± | Průměr | ± | průměr | ± |
| 100 | 90,8333 | 0,3427 | -0,4400 | 0,0100 | 15,4967 | 0,6438 |
| 90:10 | 91,3867 | 0,1721 | -0,4833 | 0,0289 | 13,6333 | 0,2055 |
| 80:20 | 91,6000 | 0,1947 | -0,5233 | 0,0737 | 12,7800 | 0,0346 |
| 70:30 | 91,6933 | 0,0153 | -0,4533 | 0,0231 | 12,9200 | 0,1300 |
| 60:40 | 91,6467 | 0,2173 | -0,4667 | 0,0321 | 12,7333 | 0,2802 |
| 50:50 | 91,4867 | 0,2775 | -0,4000 | 0,1473 | 12,6900 | 0,1706 |
| 40:60 | 91,5033 | 0,0945 | -0,4867 | 0,0208 | 13,2033 | 0,5196 |
| 30:70 | 91,6567 | 0,1115 | -0,4500 | 0,0265 | 12,5333 | 0,2060 |
| 20:80 | 91,7667 | 0,1185 | -0,3867 | 0,0611 | 13,0400 | 0,1646 |
| 10:90 | 91,7267 | 0,1888 | -0,4467 | 0,0058 | 13,1400 | 0,0400 |

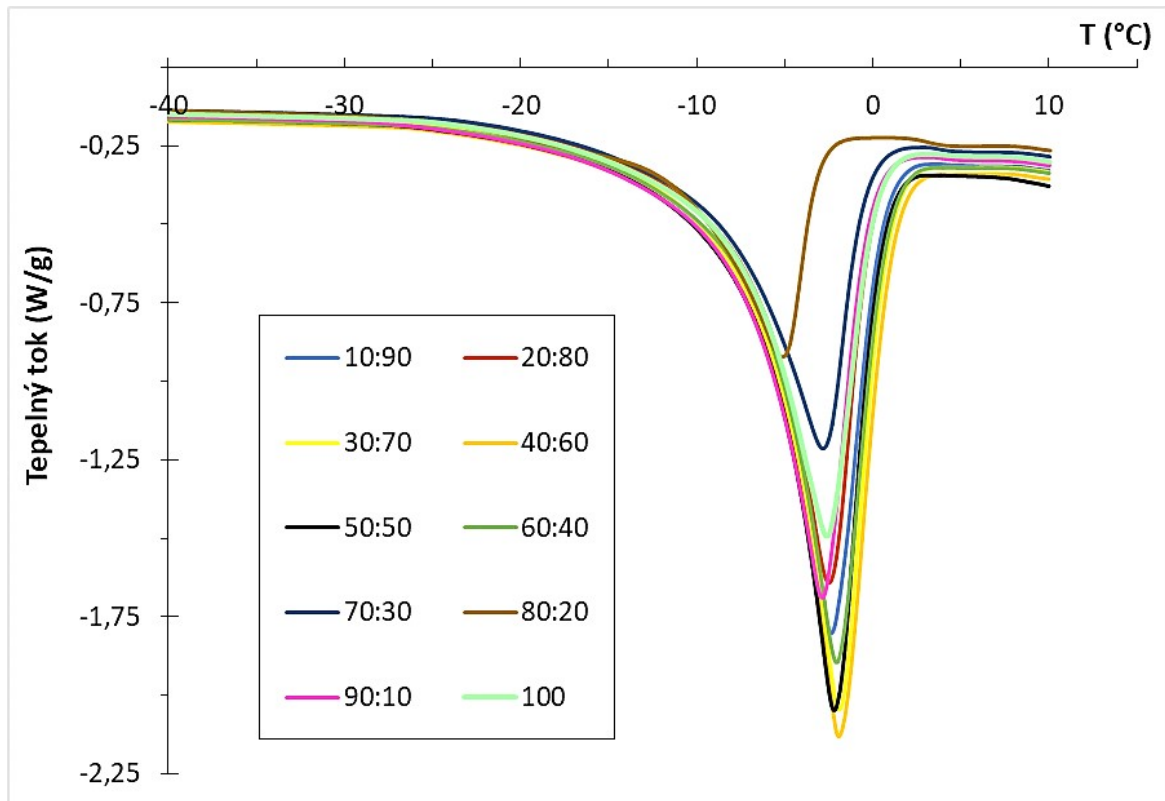
6.7 Vyhodnocení diferenciální skenovací kalorimetrie

Hlavním důvodem vyhodnocení DSC tavených sýrů pro diplomovou práci byla skutečnost, že vázaná a volná voda mají vliv na kvalitu potravin a léčiv. Čím více vázané vody je ve vzorku, tím více je daný výrobek organolepticky a senzoricky hodnotnější.

DSC termogramy představují krystalizační chování (cooling) vázané a volné vody přítomné ve vzorku. Při interakci mezi vodou, solemi a molekulami biopolymerů (proteinů a lipidů) pozorujeme tři formy vody, a to nemrzoucí voda, mrznoucí vázaná voda a mrznoucí voda volná. Nemrzoucí vázaná voda úzce souvisí s polymerní maticí a nevykazuje fázový přechod stanovený kalorimetrickou analýzou. Mrznoucí vázaná voda je méně vázaná na matici, vykazuje tání a krystalizační teplotu, která se výrazně liší od teploty krystalizace objemové vody. Volná voda je voda, která vykazuje podobné hodnoty tání či krystalizace jako objemová voda (Anonym, 2022).

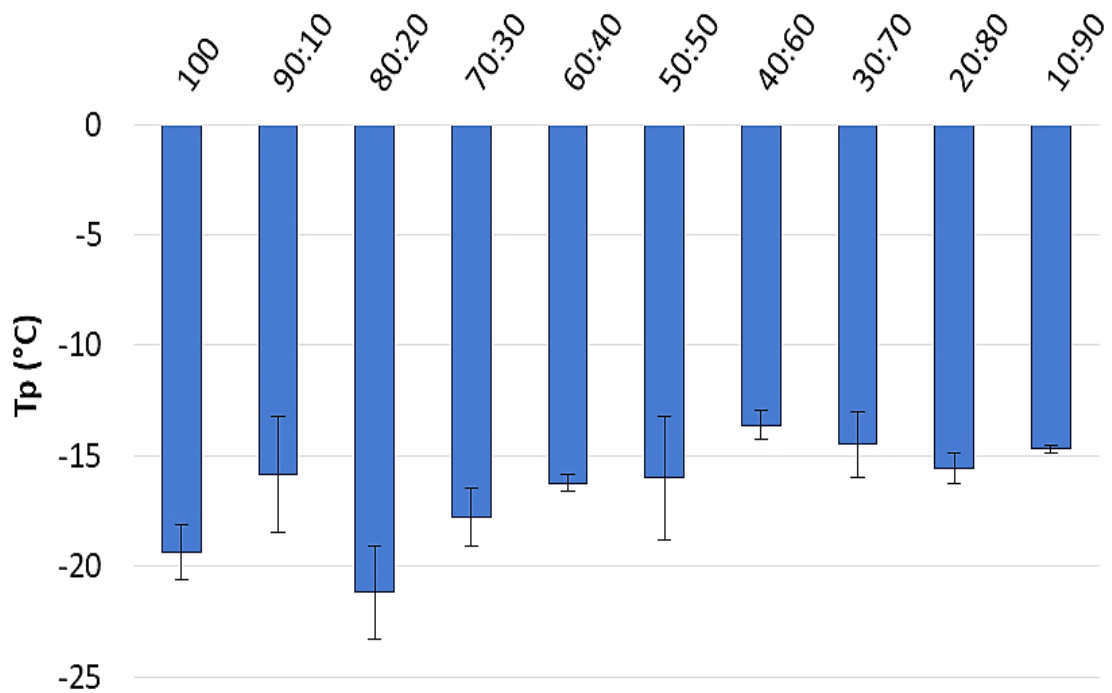
DSC analýze byl podroben každý vzorek taveného sýru třikrát a pro vyhodnocení byly použity průměrné hodnoty. V průběhu DSC analýzy byl vzorek taveného sýru vystaven klesajícím teplotám od 25 °C do -80 °C s rychlostí chlazení 10 °C/min. Obrázek 42 pro lepší představu vyjadřuje závislost tepelného toku na teplotě pro jednotlivé

vzorky tavených sýrů. Z grafického vyjádření DSC píku tání ledu lze určit, že nejnižší hodnoty vykazoval vzorek 80:20 a nejvyšší 40:60.

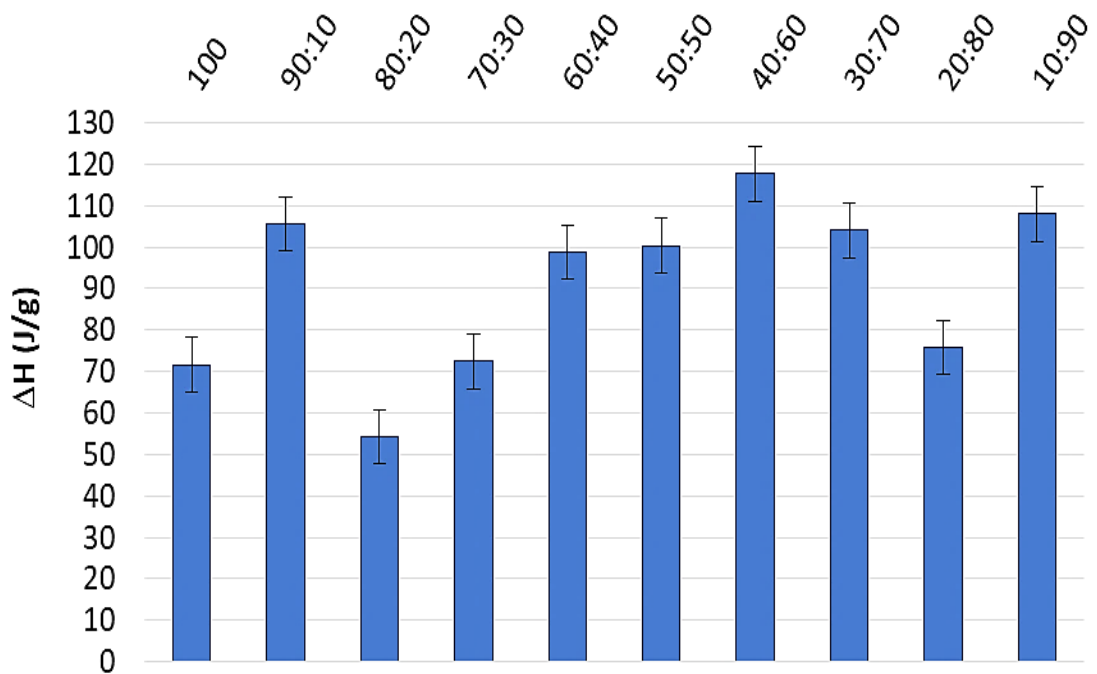


Obrázek 42 DSC píky tání ledu (ohřev)

Na DSC křivce lze pozorovat strmý krystalizační pík vyjadřující velmi rychlý proces krystalizace a významná část energie se uvolňovala v poměrně krátkém čase. Voda, která byla přítomna ve vzorku, začala krystalizovat při teplotách od -14 °C do -21 °C v závislosti na poměrech vody přidané na počátku experimentu a v čase 4 min. Z výsledků je patrné (viz Obrázek 43), že u vzorku 80:20 byla voda nejvíce vázána, hodnota teploty krystalizačního píku byla $-21,2\text{ °C}$ a ΔH se rovnala $56,02\text{ J/g}$ (viz Obrázek 44). V závislosti na přídavku vody v čase experimentu 4 min nebyl pozorován výrazný trend.



Obrázek 43 Grafické vyjádření hodnot krystalizace pro jednotlivé vzorky tavených sýrů



Obrázek 44 Grafické vyjádření měrné entalpie ΔH pro jednotlivé vzorky tavených sýrů

Tabulka 8 Výsledky diferenciální skenovací kalorimetrie pro jednotlivé vzorky tavených sýrů

| Vzorek | Chlazení | | Ohřev | |
|--------------|---------------------|----------|-------------------------|----------|
| | T _p (°C) | ΔH (J/g) | T _{onset} (°C) | ΔH (J/g) |
| 100 | -19,36 | 71,64 | -9,05 | 72,65 |
| 90:10 | -15,82 | 105,66 | -7,19 | 109,50 |
| 80:20 | -21,17 | 54,328 | -10,71 | 56,02 |
| 70:30 | -17,80 | 72,45 | -8,56 | 74,20 |
| 60:40 | -16,24 | 98,81 | -6,80 | 104,55 |
| 50:50 | -16,01 | 100,40 | -6,87 | 100,02 |
| 40:60 | -13,61 | 117,65 | -6,32 | 122,03 |
| 30:70 | -14,48 | 104,028 | -7,06 | 106,21 |
| 20:80 | -15,55 | 75,918 | -7,70 | 77,92 |
| 10:90 | -14,69 | 107,95 | -6,68 | 117,19 |

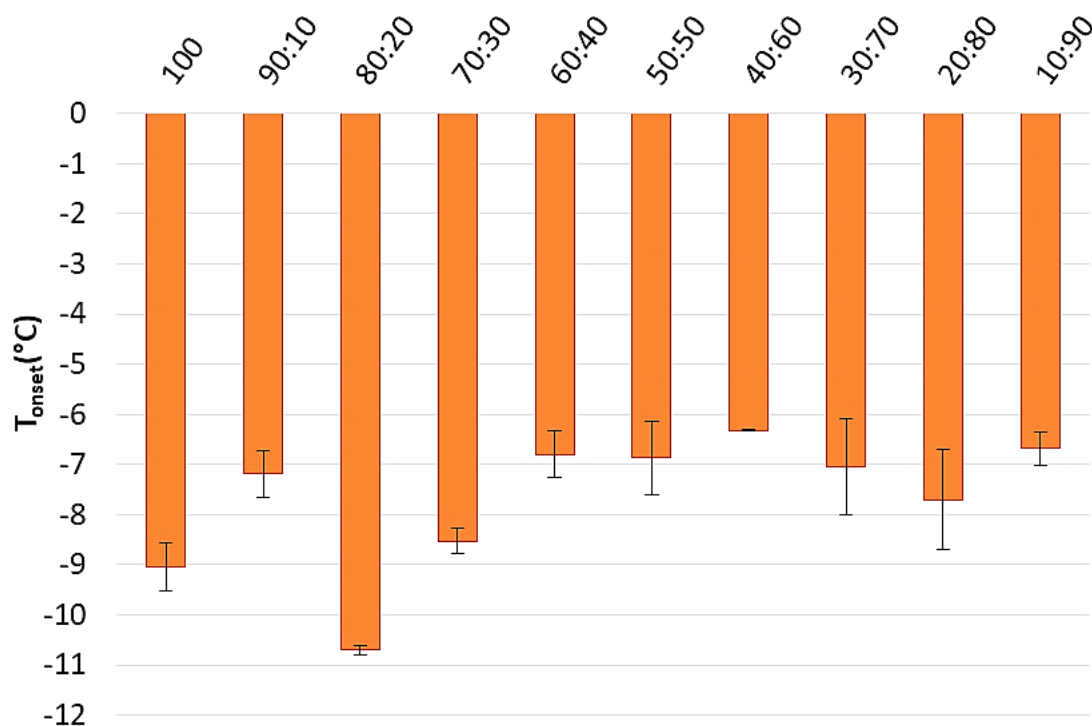
Endotermní pík (ohřev) pozorovaný při teplotách T_{onset} = -6 °C až -11 °C představoval teplotu tání zmrzlé vody vázané ve vzorcích tavených sýrů (viz Obrázek 45). Pík tání vody při nižších teplotách než při 0 °C se připisuje tání zmrzlé volné vodě „Freezing point depression“ a je obvykle nižší než volná objemová voda v důsledku přítomnosti tavicích solí ve vzorku. Křivka ohřevu opět potvrzovala, že vzorek 80:20 vykazoval nejlépe vázanou vodu ve vzorku (viz Tabulka 8). Hodnoty teploty tání ledu a entalpie tání pro vzorek 80:20 byly nejnižší, což lze potvrdit následujícím výpočtem:

$$W_{f,s} (\%) = \frac{\Delta H_{hydrogel}}{\Delta H_{m.H_2O}^0}$$

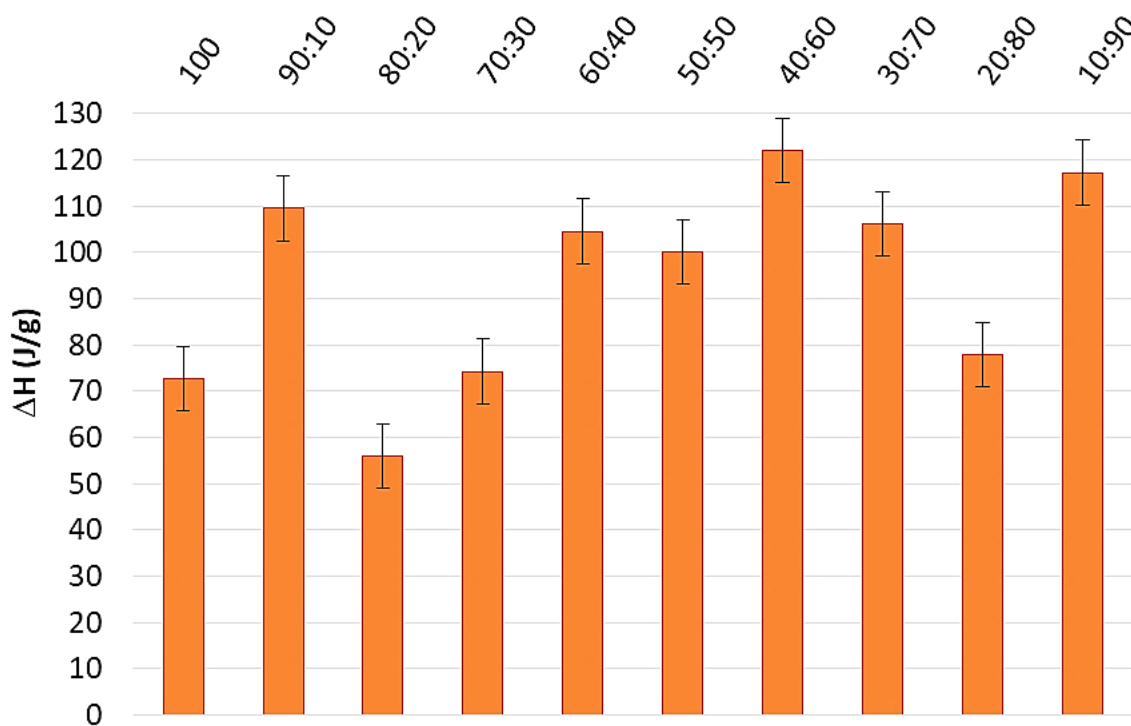
Kde $W_{f,s}$ vyjadřuje množství zmrzlé volné vody „freezable water“, $\Delta H_{hydrogel}$ je entalpie tání vody ve vzorku pozorována při ohřevu a $\Delta H_{m.H_2O}^0 = 333,5$ J/g je entalpie tání ledu.

Výsledek $W_{f,s}$ pro vzorek 80:20 byl 16,69 % a pro vzorek 40:60 (jehož hodnota entalpie tání byla nejvyšší, viz Obrázek 46) byl 36,37 %. Lze tedy konstatovat, že vzorek 80:20 (80 % vody na začátku a 20 % vody po 4 min tavení) se zdál být nejlepší pro

přípravu tavených sýrů z hlediska jejich stability a organoleptických vlastností. Důvodem je množství volné vody, které bylo u tohoto vzorku nejnižší.



Obrázek 45 Grafické vyjádření teplot tání zmrzlé vody vázané ve vzorcích tavených sýrů



Obrázek 46 Grafické vyjádření entalpie tání ΔH pro jednotlivé vzorky tavených sýrů

6.8 Vyhodnocení sensorické analýzy

Senzorické analýza modelových vzorků tavených sýrů byla realizována 14. den skladování (6 ± 2 °C). Sensorické analýzy se zúčastnilo celkem 12 hodnotitelů, kterým bylo předkládáno 10 vzorků tavených sýrů. Cílem hodnocení bylo sledovat, zda budou posuzovatelé schopni odhalit rozdíly mezi jednotlivými vzorky tavených sýrů vyrobených pomocí dvoustupňového přidávání vody. Hodnocení sensorické analýzy bylo provedeno na základě sedmibodové ordinální stupnice hédonického typu (viz příloha 1), kde stupeň jedna odpovídá úrovni „vynikající“ a stupeň sedm úrovni „nepříjemný“. Pro diplomovou práci bylo hodnocení zaměřeno na celkem 7 sensorických znaků, a to vzhled a barva, konzistence, tuhost, roztíratelnost, chuť a vůně, hořká chuť a přítomnost cizích pachů a pachutí.

Prvními sledovanými znaky byly vzhled a barva. Všechny vzorky tavených sýrů byly ohodnoceny velice kladně a dosahovaly vynikajícího vzhledu a barvy. Barva každého taveného sýru byla smetanově bílá, stejnorodá, bez cizích odstínů s hladkým a lesklým povrchem. Barva tavených sýrů byla kromě sensorického hodnocení měřena také instrumentální spektrofotometrickou metodou, která poskytla přesnější hodnoty zabarvení vzorku. Nicméně charakterizaci a popis barvy bylo možné získat pouze pomocí sensorického hodnocení. Dle sensorického hodnocení nebyly mezi jednotlivými vzorky rozdíly ve vzhledu ani v barvě.

Dalším sledovaným znakem byla konzistence. Nejlépe ohodnocen, z hlediska konzistence, byl vzorek taveného sýru 50:50, kdy 50 % vody bylo přidáváno na začátku tavicího procesu a dalších 50 % po 4 min tavení. Tento vzorek vykazoval dobrou konzistenci, byl mírně tužší a slabě lepivý. Vzhledem k takovému výsledku lze usoudit, že byla potvrzena studie Šustová a Sýkora (2013), která tvrdí, že pokud je polovina vody přidána na začátku tavení a zbylá polovina je přidána během nebo na konci tavicího procesu, dochází k příznivému vlivu pro konzistenci tavených sýrů, poněvadž kasein je lépe začleněn do taveniny a vícekrát ovlivněn tavicími solemi. Z výsledků sensorické analýzy lze dále konstatovat, že postupný přídavek vody během technologického postupu měl vliv na konzistenci tavených sýrů. Vzorky, u kterých bylo přidáváno více vody na začátku tavicího procesu a méně v průběhu, byly hodnoceny jako sýry s lepší konzistencí, než vzorky s opačným množstvím přidáváním vody. Jednalo se tedy o tavené sýry 100; 90:10; 80:20; 70:30 a 60:40. Zbývající vzorky tavených sýrů, 40:60; 30:70; 20:80

byly hodnoceny hůře a vzorek 10:90 dokonce nepřijatelně. Tavený sýr (10:90) vykazoval velmi tuhous až drobivous, silně lepivous, rozbředlous a nehomogenní konzistenci.

Stejně jako u předchozího sledovaného znaku, tak i u tuhosti byly mezi jednotlivými vzorky tavených sýrů určité rozdíly. Posuzovatelé zhodnotili, že vzorky 30:70 a 10:90 vykazovaly nejvyšší tuhost. Takové hodnocení koresponduje s TPA, jelikož analýza tvrdosti měřena v rámci TPA 14. den (viz Obrázek 24) rovněž vyhodnotila vzorek 30:70 s vysokou tvrdostí. Zároveň se opět potvrdil, stejně jako u konzistence, vliv dvoustupňového přidávání vody na tuhost tavených sýrů, jelikož vzorky 100; 90:10; 80:20 a 70:30 byly vyhodnoceny jako tavené sýry s mírnou tuhostí. Ostatní vzorky tavených sýrů byly na základě sensorické analýzy hodnoceny o stupeň hůře, tedy jako tuhé.

Roztíratelnost byla dalším sledovaným znakem v rámci sensorické analýzy a opět vzorek 30:70 byl ohodnocen nejhůře, tedy nebyl vůbec roztíratelný. Co se týká ostatních vzorků, tak žádný z nich neměl optimální roztíratelnost. Pouze vzorky 100; 90:10; 80:20 a 50:50 vykazovaly známky roztíratelnosti, ovšem horšího charakteru. Roztíratelnost souvisí s konzistencí. Důvody horší roztíratelnosti nebo konzistence mohou být různé, např. nevhodně zvolená surovinová skladba (prozálost přírodního sýru), dále pak procesní parametry výroby nebo podmínky skladování. Nicméně tyto faktory jsou těmi nejzákladnějšími. Existuje celá řada dalších faktorů ovlivňující konzistenci, avšak některé z nich nejsou ještě zdaleka prozkoumány a publikovány (Forman a kol., 1996; Gajdůšek, 1998; Guinee a kol., 2004). Je zapotřebí poukázat i na skutečnost, že ovlivňující faktory účinkují současně a kromě toho mohou navzájem působit buď antagonisticky, nebo synergicky (French a kol., 2002; Guinee a kol., 2004).

Posledními sledovanými znaky v rámci sensorické analýzy byly chuť a vůně, hořkost a přítomnost cizích pachutí. U všech modelových vzorků tavených sýrů byly tyto sensorické znaky hodnoceny velice kladně. Všechny vzorky dosahovaly vynikajících jemně smetanových a sýrových chutí, naprosto bez cizích pachutí a naprosto žádné hořkosti. Vůně každého vzorku byla čistá a velmi harmonická. Příčinou nevyskytující se hořkosti byla především vhodně zvolená kombinace sodných tavicích solí na výrobu modelových vzorků tavených sýrů. Hořkou chuť totiž způsobují převážně soli draselné, a proto se do výroby tavených sýrů běžně nepoužívají (Černíková, 2018).

ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na vliv dvoustupňového přidávání vody na viskoelastické a tribologické vlastnosti tavených sýrů. Cílem této práce bylo vyrobit tavené sýry pomocí přidávání vody ve dvou intervalech a posoudit, zda má tento technologický postup vliv na reologické a tribologické vlastnosti. Bylo vyrobeno 10 modelových vzorků tavených sýrů o obsahu sušiny 45 % (hm/hm) a obsahu tuku v sušině 50 % (hm/hm). Voda potřebná na výrobu byla rozdělena na 2 díly, kdy první díl vody byl přidán na začátku tavicího procesu s ostatními surovinami a druhý díl vody byl dodán po 4 min tavení. U 9 vzorků byla voda přidávána v následujících poměrech, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90. Desátý vzorek (označen 100) byl jako jediný vyroben běžným technologickým postupem bez dvoustupňového přidávání vody. V průběhu 60denního skladování při 6 ± 2 °C byla hodnocena základní chemická analýza (obsah sušiny, pH), texturní profilová analýza, reologická analýza a vodní aktivita. 14. den skladování proběhla senzorická analýza a 30. den pak následovala analýza tribologie, stanovení barvy a diferenciální skenovací kalorimetrie.

Na základě naměřených dat a zpracovaných výsledků jednotlivých analýz, lze vyvodit následující závěry:

- Výsledný obsah sušiny jednotlivých vzorků tavených sýrů se pro 1. analyzovaný den pohyboval v rozmezí 44,77 – 46,23 % (hm/hm) a pro 60. den od výroby byl v intervalu 44,56 – 46,86 % (hm/hm). Rozpětí výsledných hodnot odpovídalo požadované cílové hodnotě obsahu sušiny, a to 45 % (hm/hm).
- Hodnoty pH modelových vzorků tavených sýrů splňovaly limitní rozpětí optimálních hodnot pH. U všech vzorků tavených sýrů byl pozorován pokles hodnot pH s rostoucí délkou skladování. Nicméně dvoustupňový postup přidávání vody neměl vliv na výsledné hodnoty této chemické analýzy.
- V případě stanovení tvrdosti, vykazoval nejvyšší hodnoty vzorek 100 bez dvoustupňového přidávání vody, čili byla vyvinuta největší síla k deformaci tohoto výrobku. Ostatní vzorky podléhaly mírným změnám v tvrdosti, kdy nejnižší tvrdost byla naměřena u vzorku 90:10. V průběhu skladování byl u všech vzorků tavených sýrů pozorován nárůst tvrdosti a nejvyšších hodnot dosahoval vzorek 30:70.

- U stanovení relativní lepivosti, v rámci jednotlivých vzorků tavených sýrů vyrobené dvoustupňovým přidáváním vody, nebyly shledány příliš velké rozdíly. Změny lepivosti byly projeveny až v průběhu 30denního skladování, kdy nejvíce lepivý sýr byl vzorek 70:30. Lepivost v následujících dnech klesala až nižším hodnotám, než tomu bylo na počátku měření.
- Stejně jako u relativní lepivosti, neměl postupný přídavek vody vliv ani na soudržnost tavených sýrů. Nicméně byl prokázán vliv doby skladování, kdy u všech vzorků tavených sýrů byl s rostoucí délkou skladování pozorován pokles hodnot soudržnosti.
- Podobných výsledků bylo dosaženo v případě stanovení pružnosti, kdy opět dvoustupňový postup přidávání vody během výroby tavených sýrů neměl prokazatelný vliv. V případě pozorování změn během skladování, došlo u všech vzorků tavených sýrů k prudkému nárůstu pružnosti 30. den skladování.
- Dvoustupňová výroba tavených sýrů neměla významný vliv ani na žvýkatelnost a gumovitost. Ovšem výsledné hodnoty obou stanovení korelovaly s tvrdostí a bylo potvrzeno, že vzorek 30:70 vykazoval nejvyšší hodnoty žvýkatelnosti a gumovistosti, tudíž byla pro tento vzorek potřebná větší síla k jeho rozmělnění.
- Na základě výsledných hodnot reologické analýzy bylo zjištěno, že všechny modelové vzorky tavených sýrů vykazovaly elastické chování. Dle výsledků elastického a ztrátového modulu pružnosti byl pozorován jistý trend, kdy vzorky s nižším množstvím vody na začátku tavicího procesu měly mírně vyšší hodnoty G' a G'' , resp. vyšší tuhost. Ovšem příliš velké rozdíly mezi jednotlivými vzorky tavených sýrů nebyly pozorovány, až na vzorek taveného sýru 30:70. Tento tavený sýr stejně jako u texturní profilové analýzy, vykazoval nejvyšší hodnoty a byl tedy ze všech vzorků nejtušší.
- Při měření tribologické analýzy bylo docíleno podobného závěru jako u stanovení viskoelastických vlastností, čili dvoustupňová výroba tavených sýrů neměla vliv na tribologické vlastnosti. Důvodem může být stejné množství tuku v surovinové skladbě. Nicméně i v případě tribologické analýzy bylo potvrzeno, že mírně vyšší hodnoty tuhosti vykazoval vzorek 30:70, jelikož hodnoty koeficientu tření u tohoto taveného sýru byly nejvyšší.

- Výsledné hodnoty aktivity vody pro modelové vzorky tavených sýrů se pohybovaly 1. analyzovaný den v rozmezí 0,953 – 0,9781 a 60. den 0,9746 – 0,9789. Ve srovnání s limitními hodnotami byly výsledky aktivity vody jednotlivých vzorků tavených sýrů akceptovatelné.
- Co se týká vyhodnocení barvy, všechny vzorky měly vysokou hodnotu L^* , čili vykazovaly vysoký jas, dále patřily do zelené oblasti spektra ($-a^*$) a spadaly i do žluté oblasti (b^*) spektra. Příliš velké rozdíly se mezi jednotlivými vzorky nevyskytovaly, jen vzorek 100 měl nejvyšší hodnoty b^* .
- Z výsledků diferenciální skenovací kalorimetrie bylo vyhodnoceno, že u vzorku 80:20 byla voda nejvíce vázaná a zdál se být nejlepší pro přípravu tavených sýrů z hlediska jejich stability a organoleptických vlastností. Naproti tomu nejnižších hodnot dosahoval vzorek taveného sýru 40:60.
- Hodnotitelé při sensorické analýze rozpoznali jako nejtuzší vzorky tavených sýrů 30:70 a 10:90. Vzorek 30:70 byl rovněž pomocí reologické a tribologické analýzy vyhodnocen jako tavený sýr s vysokou tuhostí. Hodnotitelé dále ohodnotili vzorek 50:50, jako tavený sýr o nejlepší konzistenci. Roztíratelnost tavených sýrů nebyla u žádného vzorku optimální, dokonce vzorek 30:70 vykazoval v porovnání s ostatními vzorky roztíratelnost nejhorší. Všechny modelové vzorky tavených sýrů byly vynikajících chutí a vůní, bez známek cizích pachutí.

Celá diplomová práce přinesla určité závěry, které byly doposud neověřené. Z výsledků plyne, že dvoustupňový přídavek vody nemá vliv na reologické a tribologické vlastnosti tavených sýrů. Podobný závěr lze vyvodit i z výsledků ostatních provedených analyz. Tato diplomová práce může být výchozí studií pro další navazující experimenty, které by se mohly více zaměřit na rozdílnou surovinovou skladbu, vyšší přídavek vody nebo na rozdílné množství tukové složky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ACHARYA, M. R., MISTRY, V. *Influence of processing conditions on Cheddar cheese meltability*. *Milchwissenschaft*, 2007, 62. 170-174. ISSN 0026-3788.

AMAMCHARLA, J. K., METZGER, L. E. Prediction of process cheese instrumental texture and melting characteristics using dielectric spectroscopy and chemometrics. *Journal of Dairy Science* [online]. 2015, 98(9), 6004-6013 [cit. 2022-04-07]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2015-9739.

ANDĚL, Michal a kol. *Sýry a tvarohy ve výživě*. Praha: Česká technologická platforma pro potraviny, (2012). Publikace České technologické platformy pro potraviny. ISBN 978-80-905096-2-7.

ANDERSEN, Carl. *Daytime Color Appearance of Retroreflective Traffic Control Sign Materials*, Publication No. FHWA-HRT-13-018, April 2013.

ANONYM. Thermal Analysis to Determine Various Forms of Water Present in Hydrogels. *TA Instruments* [online]. 2022 [cit. 2022-04-23].

AWAD, R. A., ABDEL-HAMID, L. B., EL-SHABRAWY, S. A., SINGH, R. K. Physical and sensory properties of block processed cheese with formulated emulsifying salt mixtures. *International Journal of Food Properties*. 2004, 7, s. 429-448. ISSN 1094-2912.

AWAD, R. A., ABDEL-HAMID, L. B., EL-SHABRAWY, S. A. and SINGH, R. K. Texture and Microstructure of Block Type Processed Cheese with Formulated Emulsifying Salt Mixtures. *LWT-Food Science and Technology*, 2002, vol. 35, no. 1, p. 54-61. ISSN 0023-6438.

BEHLAU, L. & WIDMANN, G. (2003). *Collected Applications: Thermal Analysis*. Food Handbook. Mettler-Toledo.

BERGER, Wolfgang. *Process cheese manufacture*. Ladenberg Germany: BK GIULINI CHEMIE GmbH & Co., 1998. ISBN 978-2951281400.

BISWAS, Ananya C, Kasiviswanathan MUTHUKUMARAPPAN, Chenchaiiah MARELLA a Lloyd E METZGER. Understanding the role of natural cheese calcium and phosphorous content, residual lactose and salt-in-moisture content on block-type processed cheese functional properties: C heese hardness and flowability/meltability. *International Journal of Dairy Technology* [online]. 2015, 68(1), 44-53 [cit. 2022-04-07]. ISSN 1364-727X. Dostupné z: doi:10.1111/1471-0307.12167.

BLAŠKOVIČ, Pavel, Jozef BALLA a Marián DZIMKO. *Tribológia*. Bratislava: Alfa, 1990. Edícia strojárскеj literatúry. ISBN 80-05-00633-0.

BOHÁČ, V., 1960: *Tavené sýry*. 1. Vyd. Praha: SNTL.

BOWLAND, E. L., FOEGEDING, E. A. Small Strain Oscillatory Shear and Microstructural Analyses of a Model Processed Cheese. *Journal of Dairy Science* [online].

2001, 84(11), 2372-2380 [cit. 2022-04-07]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.S0022-0302(01)74686-3.

BOWLAND, E. L., FOEGEDING, E. A. Factors determining large-strain (fracture) rheological properties of model processed cheese. *Journal of Dairy Science*. 1999, 82, 1851-1859. ISSN: 0022-0302.

BRICKLEY, C. A., AUTY, M. A. E., PIRAINO, P., MCSWEENEY, P. L. H. The Effect of Natural Cheddar Cheese Ripening on the Functional and Textural Properties of the Processed Cheese Manufactured There from. *Journal of Food Science*, 2007, vol. 72, p. 483-490. ISSN 0022-1147.

BRUNE, William H. *First Law of Thermodynamics*. E-Education Institute [online]. College of Earth and Mineral Sciences, 2020 [cit. 2022-04-23].

BUŇKA, F., HRABĚ, J. Tavené sýry. *Potravinářská revue*, 2006, 3, 13-16. ISSN 1801-9102.

BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L., ČERNÍKOVÁ, M., HLADKÁ, K.. Základní charakteristika tavených sýrů a jejich analogů. *Potravinářská revue*, 2010. ISSN 1801-9102.

BUŇKA, F. *Vliv sterilačního záhřevu na jakost tavených sýrů určených pro krizové situace*. Vyškov, 2004. 110 s. Disertační práce na Fakultě ekonomiky a managementu Vysoké vojenské školy pozemního vojska na Katedře materiálu a služeb. Vedoucí disertační práce prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.

BUŇKA, F., BUŇKOVÁ L., KRÁČMAR, S. *Základní principy výroby tavených sýrů*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. ISBN 978-80-7375-336-8.

BUŇKA, F. *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.

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>.

BURATTO, Tessa. *Mastering Mascarpone: What it takes to make a perfect batch of Mascarpone Cheese* [online]. 12-2010, 1-42. Dostupné z: <https://digitalcommons.calpoly.edu/dscisp/40>.

BYLUND, G. *Dairy processing handbook*. Lund: Tetra Pak Processing Systems AB, 1995. 436 p.

CARIĆ, M., KALÁB, M. *Processed cheese products*. In: Fox, P. F. (ed.) *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Volume 2. Major Cheese Groups, 2. ed. Elsevier Applied Science, London and New York, 1997. 467-505.

CARIĆ, M., GANTAR, M., KALÁB, M. (1985). *Effects of emulsifying agents on the microstructure and other characteristics of processed cheese – A review*. *Food Microstructure*, 4, 297 - 312.

CARIĆ, M., MILANOVIĆ, S. *Processed Cheese*. In Hui, Y. H. *Handbook of Food Science, Technology and Engineering*. Vol. 4. New York: Taylor & Francis Group, 2006. ISBN 0-8493-9849-5.

CONTARINI, G., POVOLO, M., LEARDI, R. a TOPPINO, P.M. (1997). Influence of Heat Treatment on the Volatile Compounds of Milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 3171-3177.

ČERNÍKOVÁ, M., BUŇKA F., SALEK, R. N. Technological aspects of processed cheese: Properties and structure. *Processed Cheese Science and Technology*. United Kingdom: Elsevier, 2022, 211-248.

ČERNÍKOVÁ, Michaela, František BUŇKA, Matej POSPIECH, Bohuslava TREMLOVÁ, Kristýna HLADKÁ, Vladimír PAVLÍNEK a Pavel BŘEZINA. Replacement of traditional emulsifying salts by selected hydrocolloids in processed cheese production. *International Dairy Journal* [online]. 2010, 20(5), 336-343 [cit. 2022-04-05]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2009.12.012.

ČERNÍKOVÁ, Michaela, František BUŇKA, Vladimír PAVLÍNEK, Pavel BŘEZINA, Jan HRABĚ a Pavel VALÁŠEK. Vliv použitého typu karagenanu na viskoelastické vlastnosti taveného sýra. *Food Hydrocolloids*. 2008, vol. 22, iss. 6, s. 1054-1061.

ČERNÍKOVÁ, Michaela, Jana NEBESÁŘOVÁ, Richardos Nikolaos SALEK, Lada ŘIHÁČKOVÁ a František BUŇKA. Microstructure and textural and viscoelastic properties of model processed cheese with different dry matter and fat in dry matter content. *Journal of Dairy Science* [online]. 2017, 100(6), 4300-4307 [cit. 2022-04-10]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2016-12120.

ČERNÍKOVÁ, Michaela, Jana NEBESÁŘOVÁ, Richardos Nikolaos SALEK, Romana POPKOVÁ a František BUŇKA. The effect of rework content addition on the microstructure and viscoelastic properties of processed cheese. *Journal of Dairy Science* [online]. 2018, 101(4), 2956-2962 [cit. 2022-04-05]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2017-13742.

ČERNÍKOVÁ, Michaela, Richardos Nikolaos SALEK, Dana KOZÁČKOVÁ a František BUŇKA. The effect of different agitations and temperature maintainings on viscoelastic properties of full-fat processed cheese spreads. *LWT* [online]. 2018, 89, 244-247 [cit. 2022-04-06]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2017.10.054.

ČERNÍKOVÁ, Michaela. *Vybrané faktory působící na konzistenci tavených sýrů: Selected factors influencing the processed cheese consistency : teze habilitační práce*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2018. ISBN 978-80-7454-728-7.

ČSN EN ISO 11036 (560034): *Senzorická analýza - Metodologie - Profil textury*. Česká technická norma, 2020.

ČSN EN ISO 5534 (571003): *Sýry a tavené sýry - Stanovení obsahu celkové sušiny (Referenční metoda)*. Česká technická norma, 2005, 12 s.

DALGLEISH, D. G. (1992). Bovine milk protein properties and the manufacturing quality of milk. *Livestock Production Science*, 35, 75-93.

DE OLIVEIRA, M. Nogueira, Z. USTUNOL a A. Y. TAMIME. Manufacturing Practices of Processed Cheese. TAMIME, A. Y., ed. *Processed Cheese and Analogues* [online]. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2011, 2011-05-25, s. 148-178 [cit. 2022-04-07]. ISBN 9781444341850. Dostupné z: doi:10.1002/9781444341850.ch6.

DIMITRELI, G., THOMAREIS, A. S. Effect of temperature and chemical composition on processed chesse apparent viscosity. *Journal of Food Engineering*. 2004, 64, 265-271. ISSN: 0260-8774.

DOSTÁLOVÁ, J. *Výživová doporučení Společnosti pro výživu pro obyvatelstvo České republiky*. Potravinářská revue, 2005, 1, 17-19. ISSN 1801-9102.

DOSTÁLOVÁ, J., KADLEC P., a kol. *Potravinářské zboží: technologie potravin*. Ostrava: Key Publishing, 2014. Monografie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-208-2.

DRESSELHUIS, D. M, E. H. A. DE HOOG, M. A. Cohen STUART, M. H. VINGERHOEDS, G. A. van AKEN. The occurrence of in-mouth coalescence of emulsion droplets in relation to perception of fat. *Food Hydrocolloids*, 22 (2008), pp. 1170-1183.

EL-BAKRY, Mamdouh a Bhavbhuti M. MEHTA. *Processed Cheese Science and Technology*. United Kingdom: Woodhead Publishing, 2022. ISBN 978-0-12-821445-9.

FARRELL, H. M., JIMENEZ-FLORES, R., BLECK, G. T., BROWN, E. M., BUTLER, J. E., CREAMER, L. K., HICKS, C. L., HOLLAR, C. M., NG-KWAI-HANG, K. F., SWAISGOOD, H. E. (2004). Nomenclature of the proteins of cow's milk sixth revision. *Journal of Dairy Science*, 87, 1641 – 1674.

FORDE, A. a GF. FITZGERALD. Biotechnological approaches to the understanding and improvement of mature cheese flavour.: Current Opinion in Biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*. 2000, 11(5), 484-489. ISSN 0958 1669. Dostupné z: doi:10.1016/s0958-1669(00)00130-0.

FORMAN, Ladislav a kol. *Mlékárenská technologie II*. Vyd. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1996. ISBN 80-7080-250-2.

FOX, P. F. Milk proteins as food ingredients. *International Journal of Dairy Technology*, 2001, 54, 41 – 55.

FRENCH, S. J., LEE, K. M., DECASTRO, M., HERPER, W. J. Effect of Different Protein Concentrates and Emulsifying Salt Conditions on the Characteristics of a Processed Cheese Product. *Milchwissenschaft*, 2002, vol. 57, no. 2, p. 79-83. ISSN 0026-3788.

GAJDŮŠEK, S. *Mlékařství II*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1998. ISBN 80-7157-342-6.

GALLAGHER, Patrick K., Michael E. BROWN a Richard B. KEMP. *Handbook of thermal analysis and calorimetry*. New York: Elsevier, 2003. ISBN 978-044-4820-853.

GINGER, M. R., GRIGOR, M. R. (1999). Comparative aspects of milk caseins. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*, 124, 133 – 145.

GLASS, K. a DOYLE, M. E. *Safety of processed cheese*. Madison, Wisconsin: FRI Briefings, Food Research Institute, University of Wisconsin, 2005.

GLIGUEM, Hela, Dorra GHORBEL, Cécile GRABIELLE-MADELMONT, Benoît GOLDSCHMIDT, Sylviane LESIEUR, Hamadi ATTIA, Michel OLLIVON a Pierre LESIEUR. Water behaviour in processed cheese spreads. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* [online]. 2009, 98(1), 73-82 [cit. 2022-04-25]. ISSN 1388-6150. Dostupné z: doi:10.1007/s10973-009-0376-x.

GUINEE, T. P. *Pasteurized processed cheese products*. In: Roginski, H., Fuquay, J. W., Fox, P. F. (ed.) *Encyclopedia of Dairy Science*, 2003. Volume 1. London: Elsevier Science, 411-418.

GUINEE, T. P., CARIĆ, M., KALÁB, M. *Pasteurized Processed Cheese and Substitute/Imitation Cheese Products*. In Fox, P. F. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Vol. 2. 3rd ed. London: Elsevier Science, 2004. pp. 349–394. ISBN 0-1226-3653-8.

GUINEE, T.P. a D.J. O'CALLAGHAN. Effect of increasing the protein-to-fat ratio and reducing fat content on the chemical and physical properties of processed cheese product. *Journal of Dairy Science*. 2013, 96, 6830-6839.

GUINEE, Timothy P. *Pasteurized Processed and Imitation Cheese Products*. Cheese [online]. Elsevier, 2017, s. 1133-1184 [cit. 2022-04-07]. ISBN 9780124170124. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-417012-4.00046-6.

GUNASEKARAN, S. *Cheese rheology and texture*. Boca Raton: CRC Press LLC, 2003. 437 s. ISBN 1-58716-021-8.

HABIG K. H., WOYDT M. (2020) *Tribologie*. In: Bender B., Göhlich D. (eds) *Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau 1: Grundlagen und Tabellen*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59711-8_33.

HAMAD M. N. a M. M., ISMAIL, (2009). Effect of moisture content on the quality of processed cheese spread. *Egyptian J. Dairy Sci.* 37. 255-262.

HASENHUETTL, Gerard L. a Richard W. HARTEL, ed. *Food Emulsifiers and Their Applications* [online]. New York, NY: Springer New York, 2008 [cit. 2022-04-04]. ISBN 978-0-387-75283-9. Dostupné z: [doi:10.1007/978-0-387-75284-6](https://doi.org/10.1007/978-0-387-75284-6).

HENNELLY, P. J., DUNNE, P. G., O'SULLIVAN, M., O'RIORDAN, D. Increasing the moisture content of imitation cheese: effects on texture, rheology and microstructure. *European Food Research and Technology*, 220, 2005, 415–420. ISSN 1438-2377.

HLADKÁ, Kristýna. *Studium tavených sýrů vyrobených bez použití tradičních tavicích soli fosforečnanového a citranového typu*. Zlín, 2012. Disertační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.

HOFMANOVÁ, J.K., J. MASON a H.K. BATCHELOR. Tribology provides an in vitro tool that correlated to in vivo sensory data on the mouthfeel of coated tablets. *International Journal of Pharmaceutics*. 2021, 597. 120323. [10.1016/j.ijpharm.2021.120323](https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.120323).

HRABĚ, Jan, Pavel BŘEZINA a Pavel VALÁŠEK. *Technologie výroby potravin živočišného původu: bakalářský směr*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2006. ISBN 80-7318-405-2.

CHEN, Jianshe a Jason R STOKES, 2012. Rheology and tribology: Two distinctive regimes of food texture sensation. *Trends in Food Science & Technology* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, 25(1), 4–12. ISSN 0924-2244. Dostupné z: [doi:10.1016/j.tifs.2011.11.006](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.11.006).

JANŠTOVÁ, Bohumíra. *Technologie mléka a mléčných výrobků*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2012. ISBN 978-80-7305-635-3.

JAY, J. M. *Modern Food Microbiology*, Maryland: Aspen publication, 2000, 767 s. ISBN 0-8342-1671-X.

JOYNER (MELITO), Helen S. Explaining food texture through rheology. *Current Opinion in Food Science* [online]. 2018, 21, 7-14 [cit. 2022-04-07]. ISSN 22147993. Dostupné z: [doi:10.1016/j.cofs.2018.04.003](https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.04.003).

KADLEC, P, MELZUCH, K, VOLDŘICH, M. *Co byste měli vědět o výrobě potravin?: technologie potravin*. Ostrava: Key Publishing, 2009. Monografie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-051-4.

KAPOOR, R., METZGER, L. E. Process cheese: Scientific and Technological Aspects – A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2008, vol. 7, no. 2, pp. 194–214. ISSN 1541-4337.

KAWASAKI, Yoshihiro. "Influence of creaming on the properties of processed cheese and changes in the structure of casein during cheese making." *Milchwissenschaft-milk Science International*. 63 (2008): 149-152.

KEW, B., HOLMES, M, STIEGER, M et al. (1 more author) (2021) Oral tribology, adsorption and rheology of alternative food proteins. *Food Hydrocolloids*, 116. 106636. ISSN 0268-005X.

KLOSTERMEYER, H., 1990: Zur struktur des Schmelzkäses – Fakten und Hypothesen. *Die Molkerei-Zeitung Welt der Milch*, 44, 214-219.

KOCA, Nurcan, Zafer ERBAY a Müge URGU ÖZTÜRK. Regulations and legislations on processed cheese. *Processed Cheese Science and Technology* [online]. Elsevier, 2022, s. 449-490 [cit. 2022-04-04]. ISBN 9780128214459. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-821445-9.00004-2.

KRISTENSEN, Dorthe, Eva HANSEN, Allan ARNDAL, Rikke Appelgren TRINDERUP a Leif H SKIBSTED. Influence of light and temperature on the colour and oxidative stability of processed cheese. *International Dairy Journal*. 2001, 11(10), 837-843. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/S0958-6946(01)00105-4.

KUEHNI, R. G. *Color: An Introduction to Practice and Principles*. New York: John Wiley and Sons, 1996, pp. 186. ISBN 0-471-14566-1.

KWAK, H. S., CHOI, S. S., AHN, J., LEE, S. W. (2002). Casein hydrolyzate fraction act as emulsifiers in process cheese. *Journal of Food Science*, 67, 821 – 825.

LAZÁRKOVÁ, Z., BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L., VALÁŠEK, P., KRÁČMAR, S., HRABĚ, J. Application of different sterilising modes and the effects on processed cheese quality. *Czech Journal of Food Sciences*, 2010, 28(3), 168-176. ISSN 12121800.

LEE, S. K., BUWALDA, R. J., EUSTON, S. R., FOEGEDING, E. A., MCKENNA, A. B. Changes in the rheology and microstructure of processed cheese during cooking. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 2003, vol. 36, 339-345. ISSN 0023-6438.

LEE, S. K., KLOSTERMEYER, H. The Effect of pH on the Rheological Properties of Reduced-fat Model Processed Cheese Spreads. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 2001, vol. 34, 288 – 292.

LEE, S. K., KLOSTERMEYER, H., ANEMA, S. Effect of fat and protein-in-water concentrations on the properties of model processed cheese. *International Dairy Journal*. Elsevier, 2015. Dostupné z: doi:0958-6946.

LIKLER, Ladislav. Firma Gerber - vynálezce tavených sýrů. Sběratel. Praha, 2011.

LU, Y., N. SHIRASHOJI a J.A. LUCEY. Effects of pH on the Textural Properties and Meltability of Pasteurized Process Cheese Made with Different Types of Emulsifying Salts. *Journal of Food Science*. 2008, 73(8), E363-E369. ISSN: 0022-1147.

LUCEY, J.A., A. MAURER-ROTHMANN a S. KALIAPPAN. *Functionality of Ingredients: Emulsifying Salts*. TAMIME, A. Y., ed. *Processed Cheese and Analogues* [online]. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2011, s. 110-132 [cit. 2022-04-07]. ISBN 9781444341850. Dostupné z: doi:10.1002/9781444341850.ch4.

MACKŮ, I. *Viskoelastické a senzorické vlastnosti tavených sýrů s přidavkem pektinu*. Zlín, 2009. 100 s., 8 s. příloh. Disertační práce na Fakultě technologické Univerzity 120 Tomáše Bati ve Zlíně na ústavu Chemie a technologie potravin. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Jan Hrabě, Ph.D.

MAGAN, N. a OLSEN, M., 2004: *Mycotoxins in food. Detection and control*. Boca Raton: CRC Press.

MANG, Theo, Kirsten BOBZIN a Thorsten BARTELS. *Industrial tribology: tribosystems, friction, wear and surface engineering, lubrication*. Weinheim: Wiley-VCH, c2011. ISBN 978-3-527-32057-8.

MARCHESSEAU, S., GASTALDI, E., LAGAUDE, A., CUQ, J. L. Influence of pH on Protein Interactions and Microstructure of Process Cheese. *Journal of Dairy Science*, 1997, vol. 80, p. 1483 – 1489.

MEHTA, B. M., 2018. *Microstructure of Cheese Products*. In: ElBakry, M., Sanchez, A., Mehta, B.M. (Eds.), *Microstructure of Dairy Products*. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, UK, pp. 145–180.

MIZUNO, R., LUCEY, J. A. Properties of Milk Protein Gels Formed by Phosphates. *Journal of Dairy Science*. 2007, 90, 4524-4531. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.3168/jds.2007-0229.

MIZUNO, R., LUCEY, J.A. Effects of Emulsifying Salts on the Turbidity and Calcium Phosphate-Protein Interactions in Casein Micelles. *J. Dairy Sci.*, 2005, vol. 88, no. 9, p. 3070-3078.

MOATSOU, G. a A. GOVARIS, 2011. *White brined cheeses: a diachronic exploitation of small ruminants milk in Greece*. *Small Ruminant Res* 101 (1-3), 113–121.

MOLINS, R. A. *Phosphates in food*. Boca Raton: CRC Press, 1991. 261 p. ISBN 0-8493-4588-X.

MOSS, M., 2002: Toxigenic fungi. In Blackburn, C. W., McClure, P. J. (ed.) *Foodborne pathogens*, CRC Press, 479-488. ISSN 1535-3141.

MULSOW, B. B., JAROS, D., ROHM, H. *Processed Cheese and Cheese Analogues*. TAMIME, Adnan, ed. *Structure of Dairy Products*. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2007, p. 210-235.

NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 1333/2008 ze dne 16. prosince 2008 o potravinářských přídatných látkách. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32008R1333>.

NINGTYAS, Dian, Bhandari, BHESH, Bansal, NIDHI, Prakash, SANGEETA. (2017). A tribological analysis of cream cheeses manufactured with different fat content. *International Dairy Journal*. 73. 10.1016/j.idairyj.2017.06.005.

NORONHA, Nessa, O'RIORDAN, Dolores & O'SULLIVAN, Michael. (2008). Influence of processing parameters on the texture and microstructure of imitation cheese. *European Food Research and Technology*. 226. 385-393. 10.1007/s00217-006-0549-9.

OSTHOFF, G., E. SLABBER, W. KNEIFEL a K. DÜRRSCHMID. Flavours and Flavourants, Colours and Pigment. TAMIME, A. Y., ed. *Processed Cheese and Analogues* [online]. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2011, 2011-05-25, s. 133-147 [cit. 2022-05-09]. ISBN 9781444341850. Dostupné z: doi:10.1002/9781444341850.ch5.

PAUL, Veena, Tripathi, ABHISHEK, Agarwal, APARNA, Kumar, PANKAJ, Rai, DINESH. (2022). *Tribology – Novel oral processing tool for sensory evaluation of food*. LWT. 160. 113270. 10.1016/j.lwt.2022.113270.

PAVELKA, Antonín. *Mléčné výrobky pro vaše zdraví*. Brno: Litera, 1996. ISBN 80-85763-09-5.

PIJANOWSKY, E., 1978: *Základy chémie a technológie mliekárstva II*. 1. Vyd. Bratislava: Príroda.

PISKA, I, ŠTĚNINA, J., IPSEN, R.H., QWIST, K.B. *Mikrostruktura a reologické vlastnosti vysokotučného taveného sýry*. In Sborník Celostátní přehlídky sýrů 2002. Praha: Česká společnost chemická, 2002, s.192 - 196. ISBN 80-86238-21-0.

PISKA, I., ŠTĚTINA, J. Influence of cheese ripening and rate of cooling of the process cheese mixture on rheological properties of processed cheese. *Journal of Food Engineering*, 2004, vol. 61, no. 4, p. 551-555. 10.1016/S0260-8774(03)00217-6.

PLUTA-KUBICA, Agnieszka, Michaela ČERNÍKOVÁ, Georgia DIMITRELI, Jana NEBESÁŘOVÁ, Stylianos EXARHOPOULOS, Apostolos S. THOMAREIS, Richardos-Nicolaos SALEK a František BUŇKA. Influence of the melt holding time on fat droplet size and the viscoelastic properties of model spreadable processed cheeses with different compositions. *International Dairy Journal* [online]. 2021, vol. 113 [cit. 2022-03-24]. ISSN 0958-6946. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958694620302508>.

PRAKASH, S., D. D. Y. TAN, J. CHEN. Applications of tribology in studying food oral processing and texture perception. *Food Research International*, 54 (2) (2013), pp. 1627-1635, 10.1016/j.foodres.2013.10.010.

PURNA, S. K. Garimella, A. POLLARD a L. E. METZGER. Effect of Formulation and Manufacturing Parameters on Process Cheese Food Functionality—I. Trisodium Citrate. *Journal of Dairy Science*. 2006, 89(7), 2386-2396. ISSN 0022-0302.

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>.

SALEK, R. N., ČERNÍKOVÁ, M., LORENCOVÁ, E., PACHLOVÁ, V., KŮROVÁ, V., ŠENKÝŘOVÁ, J., BUŇKA, F., 2020. The impact of Cheddar or white brined cheese with various maturity degrees on the processed cheese consistency: a comparative study. *Int. Dairy J.*

SALEK, Richardos N., František BUŇKA a Michaela ČERNÍKOVÁ. The use of different cheese sources in processed cheese. EL-BAKRY, Mamdouh a Bhavbhuti M. MEHTA. *Processed Cheese Science and Technology*. United Kingdom: Woodhead Publishing, 2022. ISBN 978-0-12-821445-9.

SALEK, Richardos N., M. ČERNÍKOVÁ, S. MADĚROVÁ, L. LAPČÍK, F. BUŇKA. The effect of different composition of ternary mixtures of emulsifying salts on the consistency of processed cheese spreads manufactured from Swiss-type cheese with different degrees of maturity. *Journal of Dairy Science*, 99 (2016), pp. 3274-3287.

SALEK, Richardos Nikolaos, Eva LORENCOVÁ, Zuzana MÍŠKOVÁ, Zuzana LAZÁRKOVÁ, Vendula PACHLOVÁ, Richard ADÁMEK, Karla BEZDĚKOVÁ a František BUŇKA. The impact of Chios mastic gum on textural, rheological and melting properties of spread-type processed cheese during storage. *International Dairy Journal* [online]. 2020, 109 [cit. 2022-04-09]. ISSN 09586946. Dostupné z: [doi:10.1016/j.idairyj.2020.104755](https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104755).

SALEK, Richardos Nikolaos, Michaela ČERNÍKOVÁ, Gabriela NAGYOVÁ, Dalibor KUCHAR, Helena BAČOVÁ, Lucie MINARČÍKOVÁ a František BUŇKA. The effect of composition of ternary mixtures containing phosphate and citrate emulsifying salts on selected textural properties of spreadable processed cheese. *International Dairy Journal* [online]. 2015, 44, 37-43 [cit. 2022-04-06]. ISSN 09586946. Dostupné z: [doi:10.1016/j.idairyj.2014.12.009](https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.12.009).

SALEK, Richardos Nikolaos, Michaela ČERNÍKOVÁ, Vendula PACHLOVÁ, Zuzana BUBELOVÁ, Veronika KONEČNÁ a František BUŇKA. Properties of spreadable processed Mozzarella cheese with divergent compositions of emulsifying salts in relation to the applied cheese storage period. *LWT* [online]. 2017, 77, 30-38 [cit. 2022-04-06]. ISSN 00236438. Dostupné z: [doi:10.1016/j.lwt.2016.11.019](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.019).

SALEK, Richardos Nikolaos. *Selected properties of dairy model systems containing ternary mixtures of phosphate and citrate salts*. Zlín: Tomas Bata University in Zlín, 2017. Doctoral thesis summary. ISBN 978-80-7454-642-6.

SETHUPATHY. P, J.A. MOSES, C. ANANDHARAMAKRISHNAN. Food oral processing and tribology: Instrumental approaches and emerging applications. *Food Reviews International*, 37 (5) (2020), pp. 538-571, 10.1080/87559129.2019.1710749.

SHIRASHOJI, N., JAEGGI, J.J., LUCEY, J.A. Effect of Trisodium Citrate Concentration and Cooking Time on the Physicochemical Properties of Pasteurized Process Cheese. *J. Dairy Sci.*, 2006, vol. 89, no.1, p. 15-28. ISSN 0022-0302. Dostupné z: doi:doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72065-3.

SCHÄDLE, Christopher N., Stephanie BADER-MITTERMAIER a Solange SANAHUJA. The Effect of Corn Dextrin on the Rheological, Tribological, and Aroma Release Properties of a Reduced-Fat Model of Processed Cheese Spread. *Molecules* [online]. 2022, 27(6) [cit. 2022-04-01]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules27061864.

SCHÄR, W., BOSSET, J.O. Chemical and Physicochemical Changes in Processed Cheese and Ready-made Fondue during Storage. A Review. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2002, vol. 35, no. 1, p. 15-20.

SOŁOWIEJ, Bartosz G., Maciej NASTAJ, Jagoda O. SZAFRAŃSKA, Siemowit MUSZYŃSKI, Waldemar GUSTAW, Marta TOMCZYŃSKA-MLEKO a Stanisław MLEKO. Effect of emulsifying salts replacement with polymerised whey protein isolate on textural, rheological and melting properties of acid casein model processed cheeses. *International Dairy Journal* [online]. 2020, 105 [cit. 2022-04-07]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2020.104694.

STACHOWIAK, G. W. a A. W. BATCHELOR. *Engineering tribology*. 4th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014. ISBN 978-0-12-397047-3.

SUDHAKAR, Anjali, Jithender, BHUKYA, Mishra, ALKA. Importance of tribology in food and dairy industries: An overview. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9 (1) (2020), pp. 418-422.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*. 2002, vol. 13, issue 4, s. 215-225. DOI: 10.1016/S0950-3293(01)00039-8.

ŠUSTOVÁ, Květoslava a Vladimír SÝKORA. *Mlékárenské technologie*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova univerzita, 2013, 223 s. ISBN 978-80-7375-704-5.

TAMIME, A. Y., D. D. MUIR, M. WSZOLEK, et al. Quality Control in Processed Cheese Manufacture. TAMIME, A. Y., ed. *Processed Cheese and Analogues* [online]. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2011, 2011-05-25, s. 245-340 [cit. 2022-04-26]. ISBN 9781444341850. Dostupné z: doi:10.1002/9781444341850.ch10.

TAMIME, A. Y. *Processed Cheese and Analogues*. 1. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2011. ISBN 978-1-4051-8642-1.

UPRETI, P., L. L. MCKAY a L. E. METZGER. Influence of Calcium and Phosphorus, Lactose, and Salt-to-Moisture Ratio on Cheddar Cheese Quality: Changes in Residual Sugars and Water-Soluble Organic Acids During Ripening. *Journal of Dairy Science* [online]. 2006, 89(2), 429-443 [cit. 2022-04-07]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72107-5.

VEGA, C., D. G. DALGLEISH a H. D. GOFF. Effect of κ -carrageenan addition to dairy emulsions containing sodium caseinate and locust bean gum. *Food Hydrocolloids* [online]. 2005, 19(2), 187-195 [cit. 2022-04-07]. ISSN 0268005X. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodhyd.2004.05.003.

VYHLÁŠKA č. 274/2019 Sb.: o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje. In: 2019. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2019-274>.

WANG, H.-H., SUN, D.-W. Assessment of Cheese Browning Affected By Baking Conditions Using Computer Vision. *Journal of Food Engineering*. 2003, vol. 56, pp. 339–345. ISSN 0260-8774.

WEIN, O. *Úvod do reologie*. 1. vyd. Brno: Malé Centrum, 1996. 84 s. ISBN 80-238-0928-8.

WEISEROVÁ, E., DOUDOVÁ, L., GALIOVÁ, L., ŽÁK, L., MICHÁLEK, J., JANIŠ, R., et al. The effect of combinations of sodium phosphates in binary mixtures on selected texture parameters of processed cheese spreads. *International Dairy Journal*, 21 (2011), pp. 979-986.

WINTER, H.H., CHAMBON, F. Analysis of Linear Viscoelasticity of a Crosslinking Polymer at the Gel Point. *J. Rheol.*, 1986, vol. 30, no. 2, p. 367-382.

XING DU, Yi LI, Yuan-Ling XIA, Shi-Meng AI, Jing LIANG, Peng SANG, Xing-Lai JI a Shu-Qun LIU. Insights into Protein–Ligand Interactions: Mechanisms, Models, and Methods. *International Journal of Molecular Sciences* [online]. 2016, 17(2) [cit. 2022-04-23]. ISSN 1422-0067. Dostupné z: doi:10.3390/ijms17020144.

ZADRAŽIL, Karel. *Mlékařství: (přednášky)*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita, Agronomická fakulta, 2002, 127 s. ISBN 80-86642-15-1.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|----------------|----------------------------------------------------------------------|
| TS | Tavený sýr |
| DSP | Hydrogenfosforečnan sodný |
| TSPP | Difosforečnan tetrdasodný |
| TSC | Citronan trojsodný |
| P20 | Sodná sůl polyfosforečnanů s průměrnou délkou řetězce $n \approx 20$ |
| TPA | Texturní profilová analýza |
| G' | Elastický modul pružnosti |
| G'' | Ztrátový modul pružnosti |
| G^* | Komplexní modul pružnosti |
| τ | Smykové napětí |
| $\dot{\gamma}$ | Rychlost smykové deformace |
| $\tan \delta$ | Tangens úhlu fázového posunu |
| a_w | Aktivita vody |
| DSC | Diferenciální skenovací kalorimetrie |
| ΔH | Změna entalpie při fázovém přechodu |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázek 1 Schéma výměny iontů sodíku za ionty vápníku během tavení, A – anion tavicí soli, SER – serinové zbytky (<i>Upraveno podle Carić a Kaláb, 1997</i>)..... | 21 |
| Obrázek 2 Schéma výroby tavených sýrů diskontinuálním a kontinuálním způsobem (<i>Upraveno podle Černíková, 2018</i>)..... | 26 |
| Obrázek 3 Tavička pro tavené sýry, a – uzavřená, b – otevřená | 27 |
| Obrázek 4 Struktura matrice taveného sýra. Vlevo – tavenina na začátku procesu tavení, vpravo – po ukončení tavicího procesu. Tukové kuličky jsou označeny červenými šipkami (<i>Guinee a kol., 2004</i>)..... | 28 |
| Obrázek 5 Schéma mikrostruktury přírodního sýra (a) a taveného sýra (b) | 29 |
| Obrázek 6 Schéma procesu krémování, změny struktury a viskozity během tavení (<i>Upraveno podle Lee a kol., 2003</i>)..... | 30 |
| Obrázek 7 Stribeckova křivka (<i>Sudhakar a kol., 2020</i>) | 43 |
| Obrázek 8 Schéma tribologického systému (<i>Mang a kol., 2011</i>)..... | 44 |
| Obrázek 9 Schéma vyjadřující tření mezi dvěma interagujícími povrchy | 44 |
| Obrázek 10 Hotová tavenina (<i>Zdroj: autorka, 2022</i>) | 50 |
| Obrázek 11 Modelové vzorky tavených sýrů 10:90 – 50:50 (<i>Zdroj: autorka, 2022</i>)..... | 51 |
| Obrázek 12 Modelové vzorky tavených sýrů 60:40 – 100 (<i>Zdroj: autorka, 2022</i>)..... | 51 |
| Obrázek 13 Stanovení celkového obsahu sušiny (<i>Zdroj: autorka, 2022</i>)..... | 53 |
| Obrázek 14 pH metr Foodcare HI 99161 (výrobce: Hanna Instruments) (<i>Zdroj: google</i>) | 54 |
| Obrázek 15 Grafické znázornění křivky texturní profilové analýzy. Závislost síly deformace [N] na čase [s] (<i>Hladká, 2012</i>)..... | 55 |
| Obrázek 16 Analyzátor textury TA.XT plus (<i>Zdroj: google, autorka, 2022</i>)..... | 56 |
| Obrázek 17 Rotačního viskozimetr Thermo Scientific™ RheoStress 1 (<i>Zdroj: google, autorka, 2022</i>)..... | 58 |
| Obrázek 18 Podložka z elastického odlévacího polyuretanu pro tribologickou analýzu (<i>Zdroj: autorka, 2022</i>)..... | 59 |
| Obrázek 19 Tribometr UMT TriboLab (<i>Zdroj: google, autorka, 2022</i>)..... | 60 |
| Obrázek 20 a) Barevný prostor CIE $L^*a^*b^*$ (<i>Andersen, 2013</i>) | 61 |
| Obrázek 21 Přístroj pro měření aktivity vody (AquaLab 4TE) (<i>Zdroj: google</i>)..... | 62 |
| Obrázek 22 Vzorky pro měření vodní aktivity (<i>Zdroj: autorka, 2022</i>) | 62 |
| Obrázek 23 Graf vyjadřující hodnoty pH modelových vzorků tavených sýrů v průběhu skladování | 66 |
| Obrázek 24 Grafické vyjádření výsledků tvrdosti tavených sýrů během skladování | 67 |
| Obrázek 25 Grafické vyjádření výsledků tvrdosti tavených sýrů na základě dvoustupňového přídatku vody | 68 |
| Obrázek 26 Grafické vyjádření výsledků relativní lepivosti tavených sýrů během skladování..... | 69 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázek 27 Grafické vyjádření výsledků soudržnosti (kohezivnosti) tavených sýrů během skladování..... | 70 |
| Obrázek 28 Grafické vyjádření výsledků pružnosti tavených sýrů během skladování | 71 |
| Obrázek 29 Grafické vyjádření žvýkatelnosti tavených sýrů během skladování | 72 |
| Obrázek 30 Grafické vyjádření gumovitosti tavených sýrů během skladování | 72 |
| Obrázek 31 Závislost elastického G' a ztrátového G'' modulu pružnosti na frekvenci pro vybrané tavené sýry..... | 74 |
| Obrázek 32 Závislost komplexního modulu pružnosti (G^*) na frekvenci pro jednotlivé tavené sýry po 1. dni skladování..... | 75 |
| Obrázek 33 Závislost komplexního modulu pružnosti (G^*) na frekvenci pro jednotlivé tavené sýry po 14. dni skladování..... | 75 |
| Obrázek 34 Závislost komplexního modulu pružnosti (G^*) na frekvenci pro jednotlivé tavené sýry po 30. dni skladování..... | 76 |
| Obrázek 35 Závislost komplexního modulu pružnosti (G^*) na frekvenci pro jednotlivé tavené sýry po 60. dni skladování..... | 76 |
| Obrázek 36 Závislost komplexního modulu pružnosti G^* modelových vzorků tavených sýrů pro frekvenci 1 Hz na délce skladování..... | 79 |
| Obrázek 37 Grafické vyjádření hodnot koeficientu tření pro vzorek TS 40:60 | 81 |
| Obrázek 38 Grafické vyjádření hodnot koeficientu tření pro jednotlivé modelové vzorky TS (1 – 6 počet měření). Osa x: 1 – 10:90; 2 – 20:80; 3 – 30:70; 4 – 40:60; 5 – 50:50; 6 – 60:40; 7 – 70:30; 8 – 80:20; 9 – 90:10; 10 - 100..... | 81 |
| Obrázek 39 Grafické vyjádření průměrných hodnot koeficientu tření pro jednotlivé modelové vzorky TS. | 82 |
| Obrázek 40 Grafické vyjádření hodnot koeficientu tření pro vybrané vzorky TS (1 – 3 počet měření). Osa x: 1 – 10:90; 3 – 30:70; 5 – 50:50; 7 – 70:30; 9 – 90:10; 10 - 100... | 83 |
| Obrázek 41 Grafické vyjádření výsledných hodnot aktivity vody tavených sýrů pro 1. a 60. den skladování..... | 85 |
| Obrázek 42 DSC píky tání ledu (ohřev)..... | 88 |
| Obrázek 43 Grafické vyjádření hodnot krystalizace pro jednotlivé vzorky tavených sýrů | 89 |
| Obrázek 44 Grafické vyjádření měrné entalpie ΔH pro jednotlivé vzorky tavených sýrů | 89 |
| Obrázek 45 Grafické vyjádření teplot tání zmrzlé vody vázané ve vzorcích tavených sýrů | 91 |
| Obrázek 46 Grafické vyjádření entalpie tání ΔH pro jednotlivé vzorky tavených sýrů | 91 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabulka 1 Členění sýru na druhy, skupiny a podskupiny (<i>Česká republika, 2019</i>) | 15 |
| Tabulka 2 Přehled povolených složek jiných než sýry pro výrobu tavených sýrů | 16 |
| Tabulka 3 Fosforečnany používané pro výrobu tavených sýrů | 22 |
| Tabulka 4 Podmínky tribologické analýzy modelových vzorků tavených sýrů | 59 |
| Tabulka 5 Hodnoty komplexního modulu G^* (Pa) a hodnoty $\tan \delta$ modelových vzorků tavených sýrů při frekvenci 1 Hz v závislosti na různých poměrech přídatku vody během výroby stanovené pro 1., 14. 30. a 60. den skladování (při $6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) | 78 |
| Tabulka 6 Hodnoty koeficientu tření pro jednotlivé vzorky tavených sýrů | 84 |
| Tabulka 7 Výsledky spektrofotometrického měření barvy u vzorků tavených sýrů | 87 |
| Tabulka 8 Výsledky diferenciální skenovací kalorimetrie pro jednotlivé vzorky tavených sýrů | 90 |

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha PI: Hodnotitelské schéma pro tavené sýry

Příloha PII: Protokol pro sensorické hodnocení tavených sýrů

PŘÍLOHA P I

HODNOTITELSKÉ SCHÉMA PRO TAVENÉ SÝRY

Vzhled a barva

1. **Vynikající** - barva smetanově bílá, stejnorodá, bez cizích odstínů. Sýr hladký, lesklý.
2. **Výborná** - nepatrná odchylka, bez cizích odstínů, homogenní. Změny barvy způsobené osycháním sýru, oxidačními změnami vyloučeny. Vzhled bez jakýchkoliv známek deformace, čistý, hladký, lesklý.
3. **Velmi dobrá** - mírná odchylka, bez cizích odstínů, homogenní. Změny barvy způsobené osycháním sýru, oxidačními změnami jen nepatrně. Vzhled bez jakýchkoliv známek deformace, na povrchu sýra čistý, hladký, lesklý.
4. **Dobrá** - barva odpovídá druhu taveného sýra, je homogenní s vyloučením mramorování barvy. Vzhled vykazuje odchylky způsobené mírnou deformací tvaru, drobnější závady v hladkosti povrchu, povrch sýra je nepatrně matný, stále však hladký.
5. **Méně dobrá** - barva odpovídá druhu taveného sýra, je homogenní s nepatrnými náznaky mramorování barvy. Vzhled vykazuje odchylky způsobené deformací tvaru, drobnější závady v hladkosti povrchu, povrch sýra je mírně matný, mírné odchylky v hladkosti.
6. **Nevyhovující** - barva mírně nehomogenní (mramorovitá), povrch sýra matný bez lesku, na povrchu mírně barevné změny v důsledku oxidativních změn.
7. **Nepřijatelný** - barva na povrchu i v těstě nehomogenní, silné oxidativní změny na povrchu, výskyt plísně, značná deformace povrchu, vzhled narušen duřením sýru, vytavený, oddělený tuk.

Konzistence

1. **Vynikající** - lehce roztíratelná, plastická, dokonale utavená, bez vzduchových dutin, homogenní, bez výskytu neutavených kousků sýra.
2. **Výborná** - konzistence výborně roztíratelná, jemná, nelepivá.
3. **Velmi dobrá** - roztíratelnost velmi dobrá, nepatrně tužší nebo měkčí.
4. **Dobrá** - roztíratelnost dobrá, mírně tužší nebo měkčí, slabě lepivá.
5. **Méně dobrá** - roztíratelnost horší, tužší, pastovitá nebo měkčí, lepivá.
6. **Nevyhovující** - lepivá, tuhá, řídká, nehomogenní, špatně roztíratelná.
7. **Nepřijatelná** - velmi tuhá až drobivá, silně lepivá, rozbředlá, nehomogenní s oddělujícím se tukem, zduřelá s výskytem provzdušnění, silně krupičkovitá, roztékavá.

Tuhost

1. Tavený sýr velmi tuhý
2. Tavený sýr tuhý
3. Tavený sýr mírně tužší
4. Tuhost taveného sýra optimální
5. Tavený sýr mírně měkký než jeho optimum
6. Tavený sýr měkký
7. Tavený sýry velmi měkký

Roztíratelnost

1. Tavený sýr není roztíratelný
2. Tavený sýr je obtížně roztíratelný
3. Tavený sýr je hůře roztíratelný
4. Roztíratelnost je typická, optimální
5. Tavený sýr je velmi roztíratelný až mírně řídký
6. Tavený sýr je roztékavý
7. Tavený sýr má tekutý charakter

Chuť a vůně

1. **Vynikající** – chuť jemná, mléčně sýrová, nebo máslová, smetanová, jemně sýrově nasládlá, výrazná. Vůně čistá velmi harmonická, cizí příchutě jsou vyloučeny.
2. **Výborná** – nepatrné odchylky od vynikající chuti a vůně, chuť a vůně harmonická, sýrová, nebo máslová, smetanová, jemně mléčně nakyslá nebo nasládlá, typická, cizí příchutě vyloučeny.
3. **Velmi dobrá** – mírné odchylky od vynikající chuti a vůně, přesto harmonická, odpovídající deklarovanému druhu, přirozeně mléčně nakyslá nebo nasládlá, typická, cizí příchutě vyloučeny.
4. **Dobrá** – chuť a vůně typická pro smetanový tavený sýr s odchylkami ne zásadního charakteru, avšak charakteristická a čistá pro deklarovaný druh.
5. **Méně dobrá** – výskyt cizích příchutí ve velmi malé intenzitě, méně harmonická, slabě nahořklá nebo slanější, slabá příchut' po tavicích solích, mírně kyselejší, dílčí odchylky v chuti, slabě nečistá, slabě kvasničná.
6. **Nevyhovující** – výskyt cizích příchutí, méně harmonická, nahořklá, slanější, příchut' po tavicích solích, kyselejší, mírně oxidovaná, dílčí odchylky v chuti, mírně nečistá, mírně kvasničná.
7. **Nepřijatelná** – nečistá, žluklá, slaná, hořká, cizí, netypická, silně oxidovaná (žluklá), zatuchlá, kvasnicová, ostře kyselá aj.

Hořká chuť

1. Naprosto nehořký
2. Velmi málo hořký
3. Dosti málo hořký
4. Zřetelně hořký
5. Dosti hořký
6. Velmi hořký
7. Nesmírně hořký

Přítomnost cizích pachů a pachutí:

1. Výrobek naprosto bez cizích pachů a pachutí
- 2.
- 3.
4. Mírný náznak cizích pachů a pachutí, stále však akceptovatelný výrobek
- 5.
- 6.
7. Vysoká přítomnost cizích pachů a pachutí

