

# **Vliv draselných tavicích solí na viskoelastické vlastnosti taveného sýra během skladování**

Bc. Eva Janošíková

---

Diplomová práce  
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická  
Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2020/2021

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

Jméno a příjmení:	Bc. Eva Janošiková
Osobní číslo:	T19468
Studijní program:	N0721A210004 Technologie potravin
Studijní obor:	Technologie potravin
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Vliv draselných tavících solí na viskoelastické vlastnosti taveného sýra během skladování.

### Zásady pro vypracování

#### I. Teoretická část

1. Základní charakteristika tavených sýrů.
2. Funkce tavících solí při výrobě tavených sýrů.
3. Faktory působící na kvalitu tavených sýrů.

#### II. Praktická část

1. Vytvořte modelové vzorky tavených sýrů.
2. Proveďte vybrané analýzy.
3. Vyhodnoťte získané výsledky a zformulujte závěry.

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

**Seznam doporučené literatury:**

- [1] Hoffmann, W., Gärtner, J., Lück, K., Johannsen, N., & Maurer, A. (2012). Effect of emulsifying salts containing potassium on the quality of block-type processed cheese. *International Dairy Journal*, 25(1), 66-72
- [2] El-Bakry, M., Duggan, E., 2019; Riordan, E. D., 2019; Sullivan, M. (2011). Effect of cation, sodium or potassium, on casein hydration and fat emulsification during imitation cheese manufacture and post-manufacture functionality. *LWT – Food Science And Technology*, 44(10), 2012-2018
- [3] Gullet, M. D., Saricay, Y., Harte, F. M. (2017). The effect of emulsifying salts on the turbidity of a diluted milk system with varying pH and protein concentration. *Journal Of Dairy Science*, 100(6), 4241-4252

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

**Datum zadání diplomové práce:** **31. prosince 2020**

**Termín odevzdání diplomové práce:** **14. května 2021**

L.S.

---

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

---

**Ing. Robert Gál, Ph.D.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. února 2021

## **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 mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Hlavním cílem této práce bylo vybrat nejvhodnější koncentraci draselných tavicích solí (dihydrogenfosforečnan draselný, hydrogenfosforečnan draselný, difosforečnan draselný, trifosforečnan pentadraselný a komerční fosfátová směs Carnesal 150) pro výrobu taveného sýra požadované konzistence a chuti. Použití solí na bázi draslíku bylo zejména ze snahy o redukci obsahu sodíku v sýrech, avšak toto nahrazení je rizikové kvůli možnému vzniku hořké nebo kovové chuti. Pro posouzení kvality tavených sýrů bylo prováděno měření textury a reologických vlastností. Měření probíhalo během 28 dní skladování ( $6 \pm 2$  °C) s následným porovnáním jednotlivých tavicích solí. Ze zjištěných výsledků je patrné, že jednotlivé druhy draselných tavicích solí měly vliv na hodnoty pH i na viskoelastické vlastnosti zkoumaných vzorků tavených sýrů. Naměřené hodnoty ovlivňoval nejen typ tavicí soli, ale i jejich koncentrace a délka skladování. Obecně lze ze získaných výsledků shrnout, že vzorky s odlišnými tavicími solemi měly odlišné texturní a reologické vlastnosti.

Klíčová slova: tavený sýr, draselné tavicí soli, textura, reologické vlastnosti

## **ABSTRACT**

The main goal of this work was to select the most suitable concentration of potassium melting salts (potassium dihydrogen phosphate, potassium hydrogen phosphate, potassium diphosphate, pentapotassium triphosphate and commercial phosphate mixture Carnesale 150) for the production of processed cheese of the desired consistency and taste. The use of potassium-based salts has been mainly in an effort to reduce the sodium content of cheeses, but this substitution is risky due to the possible formation of a bitter or metallic taste. To assess the quality of processed cheeses, measurements of texture and rheological properties were performed. Measurements were performed during 28 days of storage ( $6 \pm 2$  °C) followed by comparison of individual melting salts. The results show that the individual types of potassium melting salts had an effect on the pH values and viscoelastic properties of the examined samples of processed cheeses. The measured values were influenced not

only by the type of melting salt, but also by their concentration and length of storage. In general, it can be concluded from the obtained results that the samples with different melting salts had different textural and rheological properties.

Keywords: processed cheese, potassium melting salts, texture, rheological properties

Poděkování:

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé diplomové práce, Ing. Richardosovi Nikolaosovi Salekovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, cenné rady a připomínky.

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

## OBSAH

ÚVOD .....	10
TEORETICKÁ ČÁST .....	11
<b>I ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA TAVENÝCH SÝRŮ.....</b>	<b>12</b>
1.1 Historie taveného sýra .....	12
1.2 Parametry taveného sýra .....	13
1.3 Klasifikace tavených sýrů.....	13
1.4 Nutriční hodnota tavených sýrů .....	15
<b>II FUNKCE TAVICÍCH SOLÍ PŘI VÝROBĚ TAVENÝCH SÝRŮ .....</b>	<b>16</b>
2.1 Bakteriostatické účinky tavicích solí.....	18
2.2 Citrátové soli.....	18
2.3 Fosfátové soli .....	19
2.4 Sodné a draselné tavicí soli.....	21
2.5 Výroba tavených sýrů bez přídavku tavicích solí .....	21
<b>III VÝROBA TAVENÝCH SÝRŮ .....</b>	<b>23</b>
3.1 Příprava surovin pro výrobu tavených sýrů .....	24
3.1.1 PŘÍRODNÍ SÝRY .....	24
3.2 Formulace sýrové směsi.....	25
3.3 Čištění a zmenšení velikosti sýra .....	26
3.4 Předmíchání formulační směsi .....	26
3.5 Tepelné zpracování směsi.....	26
3.5.1 CHEMICKÉ ZMĚNY PROBÍHAJÍCÍ BĚHEM ZÁHŘEVU .....	28
3.6 Homogenizace.....	28
3.7 Balení a chlazení.....	29
<b>IV FAKTORY PŮSOBÍCÍ NA KVALITU TAVENÝCH SÝRŮ .....</b>	<b>30</b>
4.1 Výběr surovin a volitelných přísad .....	30
4.2 Vybrané procesní parametry .....	31
4.3 Balení výrobku .....	32
4.4 Senzorická kvalita .....	32
4.5 Texturní vlastnosti .....	33
<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>34</b>
<b>V CÍL PRÁCE .....</b>	<b>35</b>
<b>VI MATERIÁL A METODIKA .....</b>	<b>36</b>
6.1 Suroviny pro výrobu tavených sýrů .....	36



6.1.1	DIHYDROGENFOSFOREČNAN DRASELNÝ ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) .....	36
6.1.2	HYDROGENFOSFOREČNAN DRASELNÝ ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) .....	36
6.1.3	DIFOSFOREČNAN DRASELNÝ ( $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) .....	36
6.1.4	TRIFOSFOREČNAN PENTADRASELNÝ ( $\text{K}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) .....	37
6.1.5	CARNESAL 150 .....	37
<b>6.2</b>	<b>Výroba vzorků tavených sýrů.....</b>	<b>37</b>
<b>6.3</b>	<b>Základní chemická analýza.....</b>	<b>38</b>
<b>6.4</b>	<b>Texturní profilová analýza.....</b>	<b>39</b>
<b>6.5</b>	<b>Dynamická oscilační reometrie.....</b>	<b>40</b>
<b>VII</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE.....</b>	<b>41</b>
<b>7.1</b>	<b>Výsledky základní chemické analýzy .....</b>	<b>41</b>
<b>7.2</b>	<b>Výsledky texturní analýzy .....</b>	<b>42</b>
7.2.1	VÝSLEDKY TVRDOSTI .....	42
7.2.2	VÝSLEDKY RELATIVNÍ LEPIVOSTI .....	46
7.2.3	VÝSLEDKY SOUDRŽNOSTI .....	50
<b>7.3</b>	<b>Výsledky reologické analýzy .....</b>	<b>51</b>
<b>ZÁVĚR.....</b>		<b>71</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>		<b>72</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>		<b>79</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>		<b>80</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>		<b>82</b>

## ÚVOD

Tavené sýry jsou skupinou mléčných výrobků, které našly své uplatnění zejména díky své cenové dostupnosti, delší trvanlivosti, nutriční hodnotě a široké rozmanitosti. Právě myšlenka vyšší trvanlivosti vedla k počátku jejich vzniku. Dnes se tyto výrobky řadí mezi jedny z předních světových druhů sýra. [1, 2]

Mezi hlavní suroviny, které se používají při výrobě, se řadí různé druhy přírodních sýrů, mající vliv hlavně na konzistenci a chuť finálního produktu, tavicí soli, tvořící výslednou homogenní strukturu, a další volitelné přísady. Na tvorbu hladké emulze, bez oddělování fází, se podílí kromě tavicích solí i podmínky zpracování, jako je teplota tavení a mechanická energie. [1, 2, 3]

Účelem diplomové práce bylo zjistit, zda mají draselné tavicí soli vliv na výsledné viskoelastické vlastnosti tavených sýrů během jejich skladování. Teoretická část se zabývá především základní charakteristikou tavených sýrů, hlavními funkcemi tavicích solí, výrobou či faktory, které působí na výslednou kvalitu. Mezi hlavní cíle praktické části bylo vyrobit tavené sýry se zvyšujícími se přísadami (v rozmezí 1 - 3 % s koncentračním stupněm 0,5 %) různých draselných tavicích solí (dihydrogenfosforečnan draselný, hydrogenfosforečnan draselný, difosforečnan draselný, trifosforečnan pentadraselný a fosfátová směs Carnesal 150). Vyrobené vzorky pak byly 1., 7. a 30. den po zpracování analyzovány na viskoelastické vlastnosti a chemické parametry.

Tato práce se snaží nalézt co nejvhodnější způsob pro výrobu tavených sýrů, jež zajistí, aby byl výsledný produkt co nejvíce oceněn konzumenty.

# **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA TAVENÝCH SÝRŮ

Tavený sýr je mléčný výrobek získán procesem mletí, tavení a emulzací směsi přírodních sýrů s různým stupněm zralosti a volitelných přísad, jako jsou mléčné bílkoviny (kasein) a mléčný tuk, chlorid sodný, okyselující činidla, voda a mnoho dalších, za vzniku homogenní hmoty za pomoci tepla, mechanické energie a tavicích solí (převážně fosforečnan sodný, polyfosfáty, citráty a / nebo jejich kombinace). Použitím tepla se inaktivují organismy startovacích kultur a dalších bakterií, včetně enzymů přítomných v přírodních sýrech, a dochází tak k vytvoření produktu s prodlouženou trvanlivostí. Kasein, jež je přirozeně přítomný v přírodních sýrech, jeví emulgační schopnosti, avšak bez použití tavicích solí by nebylo možné dosáhnout stability taveného sýra. [1, 2, 3]

Výroba obvykle probíhá stálým mícháním za vakua při teplotě v rozmezí 90 – 100 °C, za vzniku hladké emulze typu olej ve vodě s požadovanými vlastnostmi. Ke tvorbě této matrice přispívají zejména tavicí soli, které zlepšují emulgační kapacitu proteinů, jež jsou přirozeně obsaženy v sýrech, uvolněním vápníku z kaseinové matrice a jeho nahrazením sodíkem, čímž se posilňují kaseinové proteiny. [1, 2]

Dnes lze na trhu nalézt mnoho druhů tavených sýrů a souvisejících produktů, včetně plátků, bochníků, plev, dipů či omáček. Rozvojem mlékárenského průmyslu a měnícím se preferencím spotřebitelů se výroba tavených sýrů neustále vyvíjí, například snížením obsahu sodíku, tuku a cholesterolu nebo změnou teplot výhřevnosti. Tavené sýry mohou být také sušeny jako sýrové prášky, které se pak za sucha mísí s dalšími přísadami. Sýrové prášky jsou součástí instantních polévek, směsi omáček, hotových jídel a dalších. [3, 4, 5, 6, 7]

## 1.1 Historie taveného sýra

Počátky výroby taveného sýra začaly v Evropě kolem roku 1890. Prvotní myšlenkou byla snaha o prodloužení trvanlivosti přírodních sýrů, která se může pohybovat od několika týdnů do několika let v závislosti na mnoha faktorech (obsah vlhkosti, hygienické podmínky během výroby nebo skladovací podmínky produktu). [3, 8] Ačkoli je přesný původ taveného sýra nejasný, předpokládá se, že pochází ze švýcarského sýrového fondu, německého Kochkäse a francouzského Cancoillotte / Canquillote. [4]

Komerční výroba taveného sýra začala v Evropě a v USA mezi lety 1910–1920. Výroba byla založena na technice výroby čedaru a jako tavicí soli se aplikovaly především citráty. Tyto první pokusy o výrobu kvalitního taveného sýra měly omezený úspěch, avšak změna nastala v letech 1930 rozšířením druhů tavicích solí a přidáváním dalších mléčných i

nemléčných přísad regulovaných zákonnými předpisy v každé zemi výroby. [4, 8] V průběhu let se také postupně vylepšovaly úpravy vařičů pro lepší a rovnoměrnější zahřívání a míchání, což vedlo k jednotnější kvalitě produktů. V roce 1950 byly zavedeny standardy pro tavené sýry a bylo rovněž považováno, aby byly na etiketě uvedeny volitelné přísady. [4]

## 1.2 Parametry taveného sýra

Parametry taveného sýra se mohou značně odlišovat, rozmezí pH bývá mezi 4,7 – 6,3 (nejčastěji však 5,8 - 6,0), vlhkost se pohybuje přibližně kolem 50 – 70 % a obsah solí se také mění. Přídavek tavicích solí činí ve finálním výrobku 1 - 3 %. K ovlivnění struktury produktu a ke snížení vodní aktivity u taveného sýra se zejména používají potravinářské hydrokoloidy (např. guma z rohovníku, guarová guma, xanthanová guma, želatina nebo karagenan). [1, 2, 3]

Emulgační funkci plní přídavek tavných solí, které dále přispívají ke zvýšení mikrobiologické bezpečnosti a stabilitě taveného sýra. K inhibici růstu sporotvorných bakterií, *Bacillus cereus* a *Clostridium botulinum*, dochází zejména přidáním fosfátových solí. Tyto bakterie jsou klíčovými mikroorganismy ke kontrole těchto sýrů. [2]

## 1.3 Klasifikace tavených sýrů

V současnosti existuje celá řada různých druhů tavených sýrů vyráběných po celém světě. Standardy identity, jež definují produkt, jeho složení a typy a úrovně přísad povolených pro výrobky ze zpracovaných sýrů a jejich analogů, se liší v závislosti na dané zemi. V USA jsou definovány tři hlavní kategorie zpracovaného taveného sýra, které se liší na základě požadavku na minimální obsah tuku, maximální obsah vlhkosti, pH a volitelné přísady. [3, 4]

Na základě Codex Alimentarius se tavené sýry dělí do dvou různých kategorií podle jejich fyzikálních vlastností:

- tavený sýr
- roztíratelný tavený sýr [3, 9, 10]

Hlavním rozdílem mezi taveným sýrem a roztíratelným taveným sýrem je obsah vlhkosti ve výrobku, jež pak ovlivňuje reologické vlastnosti, přičemž roztíratelný typ je měkčí.

Komerční výroba však může zahrnovat bloky, plátky či omáčky, které se pak dělí do samostatných podskupin. [3, 9, 10]

Codex Alimentarius také podrobně popisuje:

- povolené mléčné a potravinářské přísady,
- minimální teplotu zpracování na 70 °C po dobu 30 sekund,
- odrůdu přírodního sýra, která se má použít k popisu druhu taveného sýra,
- přírodní sýr použitý pro výrobu taveného sýra musí tvořit minimálně 51 % jeho hmotnostní sušiny,
- chemické složení produktu vyjádřené jako obsah sušiny a tukuprosté sušiny,
- informace na etiketě. [9, 10]

Podle vyhlášky č. 274/2019 Sb. o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje se jako tavený sýr označuje sýr, který byl tepelně upraven procesem tavení. Jako tavený sýrový výrobek se pak označuje mléčný výrobek, který byl tepelně upraven tavením a obsahuje více než 5 % hmotnostních laktózy a v němž sýr tvoří nejméně 50 % hmotnostních sušiny tohoto výrobku. Tavený mléčný výrobek je vyhláškou definován jako mléčný výrobek, který byl tepelně ošetřen tavením a obsahuje více než 5 % hmotnostních laktózy. Tato vyhláška dále stanovuje povolené složky, jiné než sýry, pro výrobu tavených výrobků, viz tabulka 1. [11]

*Tabulka 1: Přehled povolených složek jiných než sýry pro výrobu tavených výrobků [11]*

Složka jiná než sýr	Tavený sýr a tavený roztíratelný sýr		Tavený sýrový výrobek a tavený mléčný výrobek
	druhově pojmenovaný	druhově nepojmenovaný	
Máslo, máselný tuk, smetana, máselný koncentrát	pouze pro standardizaci obsahu tuku	ano	ano
Ostatní mléčné složky	ne	ano obsah nejvýše 5 % hmot. laktózy ve finálním taveném sýru	ano
Jedlá sůl	ano	ano	ano
Bakteriální kultury	ano	ano	ano
Enzymy <sup>3)</sup>	ano	ano	ano
Cukry (sacharidy se sladícím účinkem)	ne	ne	ano
Koření a sezónní zelenina	podle druhu výrobku a v množství, které postačuje, aby dodalo konečnému výrobku charakteristickou chuť		
Ostatní zdravotně nezávadné potraviny	ano		ano

## 1.4 Nutriční hodnota tavených sýrů

Mezi prvotní surovinu pro výrobu sýrů se řadí mléko, jenž je považováno za dokonalou surovinu, jelikož dodává téměř všechny potřebné živiny a vitaminy. [12]

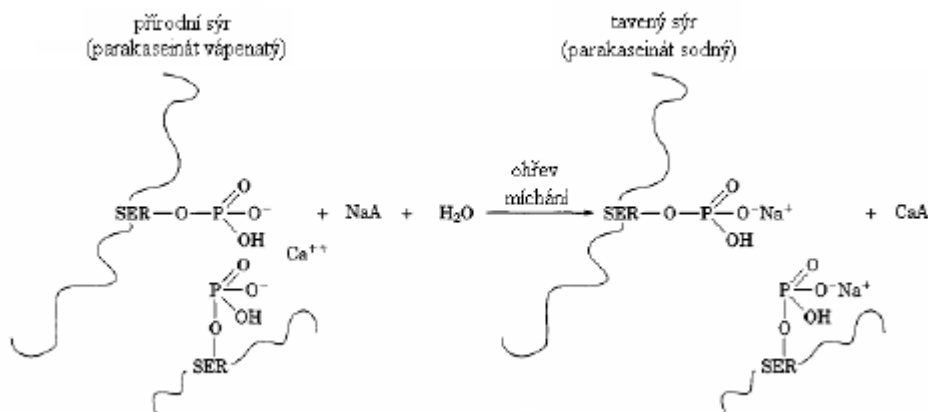
Tavené sýry poskytují dobrý zdroj živin, obzvláště bílkovin, tuků, minerálních látek a vitaminů. [13] Podle obsahu sušiny a tuku se množství bílkovin pohybuje obvykle od 6 % výš s hlavní bílkovinou kaseinem. Jelikož mléčné bílkoviny obsahují všechny esenciální aminokyseliny v dostatečném množství, řadí se mezi bílkoviny plnohodnotné. [14]

Ve srovnání s ostatními mléčnými produkty obsahují tavené sýry nižší množství syrovátkových bílkovin a laktózy, což je dané zejména jejich výrobou. Co se týče množství vápníku, obsahují ho ze všech potravin hned po máku nejvíce. Jeho využitelnost v lidském organismu je v sýrech oproti rostlinným zdrojům vysoká (přibližně 30 %), je to dané především přítomností mléčných bílkovin a volných aminokyselin. Vstřebávání vápníku v rostlinných surovinách brzdí přítomnost kyseliny fytové, šťavelové či vlákniny, tyto látky se v sýrech nevyskytují. Ovšem i v tavených sýrech může docházet ke snížení využitelnosti vápníku, a to především použitím tavicích solí obsahující fosfor. Mezi další přítomné minerální látky patří hořčík nebo jod. [12, 13, 14]

Tavené sýry dále obsahují vitaminy rozpustné v tucích (A, D a E) a některé ve vodě rozpustné, zejména vitamin B2; kyselinu mléčnou, vznikající rozkladem laktózy; a mléčný tuk, který je obsažen v různém množství. Mléčný tuk má vyšší zastoupení nasycených mastných kyselin, proto je vhodná jeho kombinace s kyselinami nenasycenými (možným zdrojem jsou ořechy, ryby a další). Mléčný tuk je žádoucí pro senzoryckou jakost tavených sýrů, pro tvorbu vůně, chuti, barvy i textury. [12, 14]

## 2 FUNKCE TAVICÍCH SOLÍ PŘI VÝROBĚ TAVENÝCH SÝRŮ

Aby se zabránilo oddělování tuku od sýra a aby se poskytlo výslednému produktu požadované tělo a struktura je při výrobě tavených sýrů výběr vhodných tavicích solí považován za jeden z nejdůležitějších aspektů. [5] Přidání tavicích solí přispívá k vytvoření homogenní struktury s požadovanými vlastnostmi konzistence, k zabránění separace tuků od bílkovin a ke vzniku dobře roztíratelné sýrové matrice. K jejich hlavní roli patří hlavně zlepšení emulgační kapacity již přítomných proteinů v přírodním sýru (nebo směsi přírodních sýrů) sekvestrací vápníku z kaseinové matrice. Tím dojde k posílení kaseinových proteinů, které pak fungují jako skutečné emulgátory díky nahrazení vápníku z nerozpustného para-kaseinátu vápenatého (přítomen v přírodním sýru) sodíkem / draslíkem na rozpustný para-kaseinát sodný / draselný, který váže vodu a emulguje volný tuk. [4, 7, 15, 16, 17,] Sodný ion disperguje, hydratuje, peptiduje, způsobuje bobtnání bílkovin a proměnu gelu v sol, zatímco vápenatý ion dehydratuje, kondenzuje a tvoří velké agregáty. [18]



Obrázek 1: Nahrazení vápníku z para-kaseinátu vápenatého pomocí sodné tavicí soli (A...aniont tavicí soli; NaA...sodná sůl tavicí soli; CaA...vápenatá sůl tavicí soli) [19]

Podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 133/2008 se tavicími solemi rozumí látky převádějící bílkoviny, přirozeně obsažené v sýru, do disperzní formy s cílem homogenního rozložení tuků a ostatních složek. Jelikož tyto sloučeniny náleží do skupiny přídatných látek, musí být na obale výrobku označeny číselným kódem, tzv. E-kódem. [20]

Tavený sýr lze charakterizovat jako komplexní vícesložkový systém popisovaný jako stabilní emulze typu olej ve vodě. Jeho složitost je dána interagujícími přísady; mléčného



typu (mléko, máslo, smetana a další) nebo nemléčného typu (stabilizátory, konzervanty, ochucovadla atd.), které se mohou přidávat do výrobní směsi. [3, 5, 6]

Tavicí soli nejsou amfifilní (povrchově aktivní), proto se nepovažují za skutečné emulgátory (jako např. monoglyceridy nebo diglyceridy), avšak pomocí tepla a stříhu podporují řadu fyzikálně-chemických změn ve směsi sýrů, které v důsledku toho vedou k rehydrataci agregovaného para-kaseinu a jeho přeměnu na aktivní emulgátor. Para-kasein se skládá z polární (hydrofilní) části, obsahující fosfoserinové rezidua, a z nepolární (hydrofobní) části. Tavicí soli tak doplňují funkční vlastnosti tohoto mléčného proteinu (kaseinu), odstraňují ionty vápníku ( $\text{Ca}^{2+}$ ) z micely, peptizují a solubilizují proteiny, hydratují bílkoviny, pomáhají emulgovat tuk a stabilizovat emulzi, stabilizují hladinu pH a po ochlazení vytváří stabilní strukturu a mikrostrukturu taveného sýra. I přestože je nezbytné pro výrobu těchto sýrů použít tavicí soli, určité koncentrace mohou vést k hořkosti ve zpracovaných produktech. [3, 13, 21]

Tavicí soli mohou také snižovat velikost tukových kuliček a přispívat tak k lepší emulgaci a k nižší míře odolejování tuku od sýra. Určité naolejování je žádoucí, jelikož brání k vysychání sýra a přispívá k žádoucímu toku, lesku povrchu a šťavnatosti produktu. Nadměrné naolejování však může být neatraktivní a vést k mastnému a promočenému produktu. Ke snížení velikosti globulí mléčného tuku dochází při zvýšení koncentrace tavicích solí a teplot zpracování, dochází zároveň ke zvýšení pevnosti vyrobeného sýra. [3, 4]

Největší využití našly soli na bázi citrátů (citráty sodné) a fosfátů (hydrogenfosforečnany sodné, fosforečnany sodné, difosforečnany a polyfosforečnany). Tavicí soli jsou nejčastěji dodávány jako směs různých fosforečnanů nebo fosforečnanů a citrátů, k docílení určitých vlastností (různý stupeň tavitelnosti, krájitelnost, roztíratelnost) na různé druhy výrobků (bloky, pláty, roztíratelné sýry) vyrobených za různých podmínek. [3, 5, 22] Habicht [23] ve své studii uvedl, že ideální tavicí sůl tvoří kombinace alkalického jednomocného kationtu s polyvalentním aniontem.

V minulosti byla snaha o minimalizaci obsahu tavicích solí nebo jejich úplné nahrazení, a to zejména hydrokoloidy nebo použitím polymerizovaných syrovátkových proteinů. [5] Nahrazením tavicích solí hydrokoloidy dochází ke snížení koncentrace sodíku a ke snížení množství fosforu, jehož přebytek je považován za rizikový faktor pro životní prostředí. Hydrokoloidní látky naopak patří mezi biologicky odbouratelné přísady pocházející z obnovitelných zdrojů, jejichž zavádění do potravin může přinést zdravotní

přínosy. [13] Existuje také snaha o omezení sodných tavicích solí a jejich nahrazení solemi draselnými, avšak při určité koncentraci hrozí vysoké riziko vzniku hořké chuti. [5]

## 2.1 Bakteriostatické účinky tavicích solí

Tepelné zpracování tavených sýrů zahrnuje použití teplot (obvykle 70 – 95 °C po dobu 4 – 15 minut), které sice ničí vegetativní buňky většiny bakterií, kvasinek či plísní, ale ne spory. Tavené sýry tak mohou obsahovat životaschopné spory, zejména rodu *Clostridium*, které mohou pocházet z přírodního sýra, použitých přísad nebo koření. Tavený sýr tvoří příznivé podmínky pro klíčení spor, zahrnující např. tepelnou aktivaci spor při vysokých teplotách zpracování, anaerobní prostředí, relativně vysoké pH, vysokou aktivitu vody či obsah vlhkosti tavených sýrů oproti jiných přírodních sýrů. Mezi hlavní projevy přítomnosti spor patří nafouklá plechovka (v důsledku tvorby plynů), hniloba bílkovin či vznik nežádoucích příchutí. [3,15, 24]

Bakteriální kažení je minimalizováno přidavkem konzervačních látek (jako je nisin, kyselina askorbová, sorbát sodný, dusitan sodný a další), správnou výrobní praxí, minimalizací ruční manipulace s výrobkem, snížením teploty skladování nebo pomocí tavicích solí. [3, 24]

Polyfosfáty a ortofosforečnany inhibují růst různých druhů salmonel a mnoha grampozitivních bakterií, zahrnující *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium sporogenes* nebo *Clostridium botulinum*, přičemž se účinek zvyšuje s přidanou hladinou tavicí soli. Polyfosfáty jsou bakteriostatičtější než ortofosfáty či pyrofosfáty. Bakteriostatický účinek fosforečnanů je dán interakcí s bakteriálními proteiny a sekvestrací vápníku, který slouží jako buněčný kation a kofaktor mikrobiálních enzymů. Oproti tomu citráty bakteriostatické účinky nejeví a mohou dokonce podléhat mikrobiální degradaci, čímž se snižuje kvalita výsledného produktu. [3, 24]

## 2.2 Citrátové soli

Citráty jsou soli kyseliny citronové (2 – hydroxypropan - 1, 2, 3 - trikarboxylová kyselina), které se získávají nahrazením vodíkových kationtů z této trojmocné kyseliny. Neutralizací vodíkových kationtů kyseliny citronové sodíkovými kationty vznikají tři typy solí: mono-, di- a trisodný citrát. [25] Nejčastěji se používá citronan sodný ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ), který ve své molekule obsahuje tři sodíkové atomy. Citrátové soli jsou ve vodě rozpustné s hodnotou pH od 3,8 do 8,2. Při samostatném použití monosodných solí kyseliny citronové se vytváří překyselené tavené výrobky, které jsou moučné a drobivé a mívají tendenci k

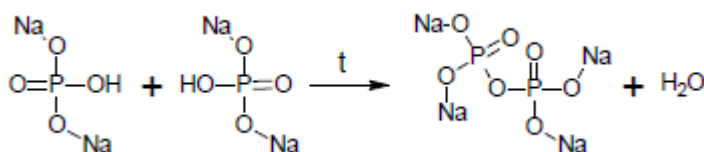
odolejování v důsledku špatné emulgace. Disodné citráty vedou taktéž k vysoké kyselosti a k nedostatečné emulgaci. Jejich použití je vhodné zejména ke korekci pH směsi taveného sýra, např. při použití vysokého podílu přezrálého sýra s vysokým pH. [3, 25]

Oproti fosforečnanům mají soli kyseliny citrónové nižší schopnost vázat vápenaté ionty, a právě proto se používají společně s nimi. [15, 19, 21]

### 2.3 Fosfátové soli

Fosfátové soli vznikají neutralizací kyseliny trihydrogenfosforečné ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) s alkalickými kovovými ionty (sodík, draslík, nebo vápník). Existují dvě skupiny fosfátových solí; jednoduché a kondenzované. Struktura kondenzovaných fosforečnanů může být lineární, cyklická nebo rozvětvená. [26]

Ve své struktuře obsahují atom fosforu, který je obklopen čtyřmi atomy kyslíku. Fosforečnanový iont ( $\text{PO}_4$ )<sup>3-</sup> je schopen vytvořit širokou škálu různých sloučenin výměnou svých vodíkových kationtů za kationty jiné. Tak vznikají ortofosforečnany, které mohou ve své struktuře obsahovat jeden kovový iont a dva vodíkové atomy nebo dva kovové ionty a jeden vodíkový atom či tři kovové kationty. [26] Při spojení dvou ortofosforečnanů vzniká pyrofosforečnan. Pokud by se spojily tři ortofosforečnany, vznikl by trifosforečnan atd. Jako polyfosforečnany se označují ty fosforečnany, které ve své molekule obsahují tři a více fosforečnanových iontů. [8, 26]



Obrázek 2: Vznik pyrofosforečnanu sodného [27]

Sousední skupiny ( $\text{PO}_4$ )<sup>3-</sup> mohou reagovat a sdílet jeden nebo více atomů kyslíku za vytvoření vazeb  $-\text{P}-\text{O}-\text{P}-$  a dát tak za vznik kondenzovaným fosfátům. [26]

Při zpracování tavených sýrů se používají hlavně jejich sodné soli, obsahující jednu skupinu ( $\text{PO}_4$ )<sup>3-</sup>, lineární kondenzované fosfáty a polyfosforečnany. Tyto sloučeniny mají vyšší afinitu vázat vápenaté ionty oproti citrátovým solím a vytváří tak pevné sýry s nízkou teplotou tání. [3, 21, 28, 29]

Tabulka 2: Vzorce fosforečnanových solích používané při výrobě tavených sýrů a jejich E-kódy [3, 15, 19, 25]

Skupina	Vzorec	E-kód
Ortofosforečnany	$\text{NaH}_2\text{PO}_4$	E 339
	$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	
	$\text{Na}_3\text{PO}_4$	
Pyrofosforečnany	$\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$	E 450
	$\text{Na}_3\text{HP}_2\text{O}_7$	
	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	
Polyfosforečnany	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	E 451
	$(\text{NaPO}_3)_n$	E 452

Co se týče srovnání afinity u jednotlivých skupin fosforečnanů, polyfosforečnany mají vyšší afinitu vázat vápenaté kationty než pyrofosforečnany nebo ortofosforečnany. [15, 19, 28] Chelatační vlastnosti běžných tavicích solí jdou podle Guinee *et al.* [15] následovně: polyfosfáty > pyrofosfáty > ortofosfáty > citráty. Schopnost vazby kationtů je však ovlivněna různými faktory. Mezi hlavní patří teplota, se kterou tato vaznost roste. Také s rostoucím počtem fosforečnanových jednotek narůstá jejich afinita ke kationtům a zvyšuje se tím i vaznost vody přítomných proteinů. Tento proces se nazývá tzv. krémování, při kterém dochází k vazbě polyvalentních aniontů na proteiny, tím se zvyšuje jejich hydrofilní charakter, váže se voda a roste viskozita – houstnutí. [13, 28]

Fosfor patří mezi základní živiny, avšak v nadměrném množství může mít negativní účinky na lidský organismus zejména tím, že zhoršuje vstřebávání vápníku v lidském těle. Vápník je nezbytný pro správné pH krve a pokud je ho nedostatek, dochází k jeho uvolňování z kostí a zubů. [13, 28, 22]

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1333/2008 o potravinářských přídatných látkách stanovuje nejvyšší povolené množství kyseliny fosforečné (fosfáty, difosfáty, trifosfáty a polyfosfáty), které je možné přidávat do tavených sýrů na  $20\,000\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (vyjádřeno jako  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). [20] Obvyklá koncentrace tavicí soli se pohybuje okolo 1 - 3 % w / w, vyšší dávka by mohla způsobit nevhodnou konzistenci tavených sýrů, hořkou chuť či tvorbu krystalků. [20]

## 2.4 Sodné a draselné tavicí soli

Sodné soli polyvalentních aniontů, fosfáty a citráty, slouží zejména ke zlepšení emulgačních vlastností kaseinu v přírodních sýrech. Obsah sodíku v tavených sýrech je převážně výsledkem přidání chloridu sodného, ale i přidavkem jednomocného kationtu sodného, který je součástí tavicích solí. Chlorid sodný je považován za charakteristické ochucovadlo v potravinách, jehož maximální denní příjem je stanoven na 5 g. V průmyslově vyspělých zemích je však tento příjem pětikrát až šestkrát vyšší. Zpracované potraviny jsou již nedílnou součástí západní stravy, která obsahuje až třikrát více sodíku než se doporučuje pro každodenní konzumaci. Při nadměrném příjmu sodíku hrozí onemocnění srdce, hypertenze či mrtvice, proto se výrobci potravin snaží obsah solí redukovat. Využití tavicích solí na bázi draslíku bylo zejména ze snahy o snížení obsahu sodíku v sýrech. Draselné soli se ve vhodném poměru mísí se sodnými solemi, aniž by byla ohrožena kvalita výsledného produktu. Při použití draselných tavicích solí dochází k řízené výměně vápníku s draslíkem a k hydrataci para-kaseinu, čímž vznikají funkční a sensorické vlastnosti podobné jako při použití solí na bázi sodíku. Primární omezení nahrazování sodných solí za draselné je vznik hořké nebo kovové chuti. [3, 31, 32] Vhodnou náhražkou byl uznán chlorid draselný, který podle Cruz *et al.* (2011) [30] pomáhá nahradit až 25 % sodných solí bez negativního ovlivnění chuti.

Mezi další přísady, které mohou vytvořit požadovanou strukturu v mléčných pomazánkách, patří želatina, hydrokoloidy (např. škrob, xanthanová guma) a mléčné bílkoviny, zejména ty, které mají dobré vazebné a emulgační vlastnosti. [3]

## 2.5 Výroba tavených sýrů bez přidavku tavicích solí

Při působení tepla (70 – 90 °C) a mechanického namáhání na přírodní sýr bez přidavku tavicích solí dochází ke tvorbě nežádoucí heterogenní, gumovité, pudinkové, těžké hmoty, která podléhá separaci tuku a vody z matrice sýra během výroby a po ochlazení. Při použití tvarohových sýrů dochází k rozsáhlé flokulaci bílkovin a k separaci séra, pokud nejsou stabilizovány. Protože bývá mléko často homogenizováno, tvorba volného tuku nemusí být při zahřívání či ochlazování sýrů patrná. [3, 15, 18] Je známo, že existují kombinace sýrů, které lze zahřát bez použití tavicích solí a u kterých nebude výrazný únik tuku. U jiných kombinací se tuk odděluje rychle a už se nemusí nikdy úplně začlenit do sýrové hmoty. K tomu jevu však dochází při použití správného výběru tavicích solí zřídka. Při jejich použití se tuk může v počátečních fázích procesu oddělit, ale pokračujícím

záhřevem se znovu začleňuje a výsledný produkt je tak homogenní bez známek volného tuku. [33]

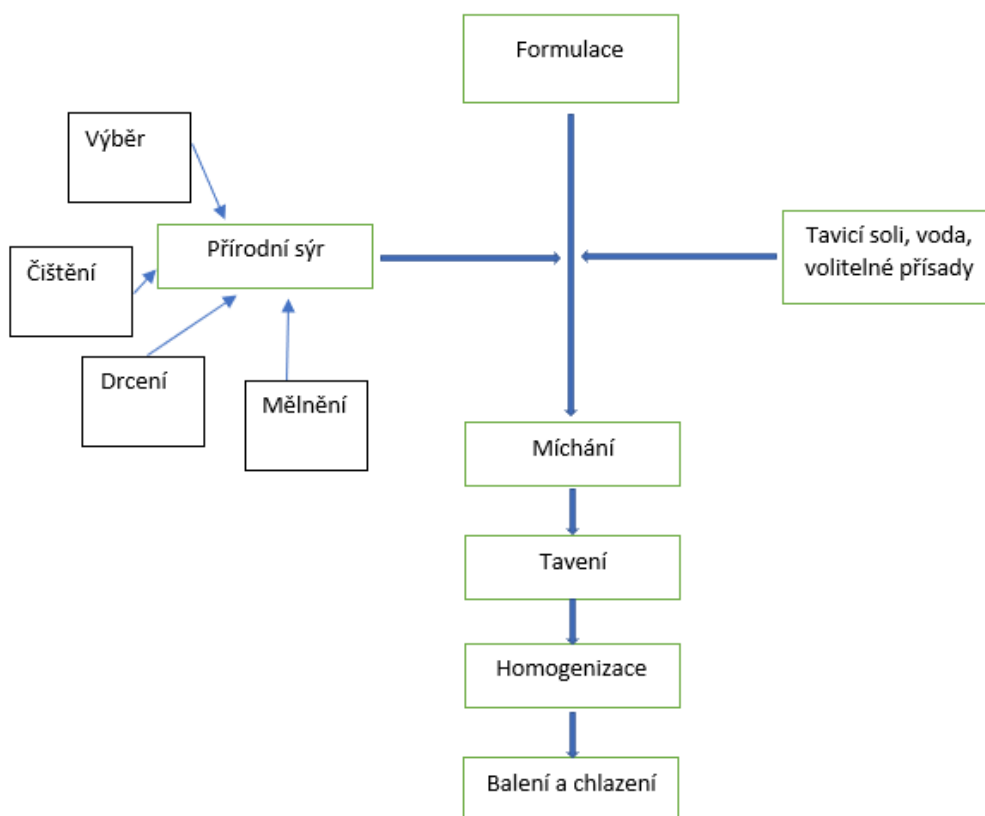
Záhřevem a mechanickým namáháním přírodního sýru bez přidavku tavicích solí dochází dál ke:

- koalescenci neglobulárního tuku,
- agregaci para-kaseinové sítě paralelně s mikrofázovou separací séra,
- zvýšené hydrofobní interakci vyvolané relativně nízkým pH sýra (~ 4,6–5,6) a vysokou teplotou při zpracování,
- srážení rozpustného vápníku a fosfátu,
- poklesu pH a tvorbě záporného náboje. [3, 15, 18]

### 3 VÝROBA TAVENÝCH SÝRŮ

Složitosť výroby tavených sýrů je primárně ovlivněna chemickými interakcemi mezi mléčnými složkami a tavicími solemi. Rychlost těchto reakcí je dána teplotou ohřevu a jeho délkou, rychlostí zpracování a rychlostí smyku aplikovaného během výroby, což vše ovlivní kvalitu konečného produktu. [3, 9]

Pro výrobu tavených sýrů je zásadní přítomnost tavicích solí. Ty zajišťují řízenou destabilizaci nerozpustného para-kaseinátu vápenatého na rozpustný para-kaseinát sodný, který umožňuje přítomným bílkovinám prosadit své emulgační vlastnosti nezbytných pro vytvoření emulze typu olej ve vodě. Para-kaseinát sodný lépe váže vodu, podporuje hydrataci a bobtnání bílkovin, zvyšuje pH, stabilizuje emulzi a tvoří strukturu taveného sýra. [1, 3, 9, 15, 19, 34]



Obrázek 3: Schéma výroby tavených sýrů. Upraveno dle [3]

### 3.1 Příprava surovin pro výrobu tavených sýrů

Tavené sýry nejsou vyráběny přímo z mléka, jejich základní surovinou jsou různé druhy přírodních sýrů v různých stupních zralosti (viz. 3.1.1). Mezi další nezbytné suroviny patří tavicí soli. [3]

Do směsi se dále mohou přidat další složky, např. máslo (zvyšuje se obsah tuku), tvaroh (zvyšuje se obsah tukuprosté sušiny a dochází ke snížení pH), kasein, kaseináty, mléčný tuk, sušené mléko, smetana, podmásli, syrovátkové bílkoviny (vznik jemnější chuti), voda, konzervační látky, barviva, NaCl, hydrokoloidní látky, koření, masné výrobky, zelenina, hříby, ořechy a jiné. [17, 19, 35, 36]

Hydrokoloidy umožňují další navázání vody a zlepšují tavitelnost. Největší využití našly ve formulacích sýrů se sníženým obsahem tuku, kde je potřeba další vazby vody, aby bylo možné snížit obsah tuku. [36, 37]

Přidání sušeného odstředěného mléka má tendenci zlepšovat kvalitu a stabilitu tavených sýrů, doporučenou úroveň obohacení je 10 – 12 g na 100 g výrobku. Kaseináty a koncentráty syrovátkových proteinů se do směsi přidávají v množství 5 – 7 g na 100 g výrobku, větší množství by mohlo mít negativní vliv na stabilitu, chuť a strukturu produktu. Mléčný tuk standardizuje složení, má pozitivní vliv na výsledný flavour (celkový sensorický vjem) a texturu konečného výrobku. Takový produkt je lépe roztíratelný. Lze také přidat rostlinný tuk ke snížení nákladů, ale může dojít ke negativní změně sensorických vlastností. [3, 15, 38, 39]

Primárním cílem používání různých přísad je poskytnout spotřebiteli širší výběr výrobků, což může mít za následek jejich zvýšenou spotřebu. Ke konzervaci se používají obecně bakteriociny, polypeptidové sloučeniny produkované mnoha bakteriemi mléčného kvašení, inhibující růst patogenních a nežádoucích mikroorganismů. Mezi bakteriociny se řadí nisin, produkovaný určitými kmeny *Lactococcus lactis* subs. *lactis*, který má antibakteriální aktivitu vůči grampozitivním bakteriím (např. *Clostridium* spp. a *Bacillus* spp.) [9, 39]

#### 3.1.1 Přírodní sýry

Důležitým aspektem při výrobě tavených sýrů je správná kvalita a výběr přírodních sýrů. Je možné použít jednu nebo více druhů sýrů nebo směsí sýrů s různým stupněm zrání. Kritéria pro výběr zahrnuje jejich věk, chuť, struktura, konzistence, úroveň kyselosti, obsah vápníku a neporušeného kaseinu. Degradovaný sýr, s chemickými (přítomnost



kontaminantů nebo cizorodých látek) či s mikrobiálními vadami (přítomnost patogenů apod.), se nesmí při výrobě používat, jelikož by byla kvalita konečného produktu nepřijatelná. [3, 4, 32]

Zatímco přírodní sýr je živý systém, ve kterém se jeho složky mění katabolickými procesy v důsledku působení mikroorganismů a enzymů, tento proces je při přípravě sýra taveného zastaven tepelným zpracováním. Rozklad taveného sýra je tedy způsoben pouze chemickými změnami jeho složek (pokud nedošlo k sekundární kontaminaci mikroby). [40]

Sýr tvoří hlavní složku tavených sýrů (min. 50 % hmotnostních), což má výrazný vliv na konzistenci a chuť finálního produktu. Často se volí směs různých sýrů, což usnadňuje získání požadované chuti a textury hotového výrobku. Podle dané zemi, ve které se tavený sýr vyrábí, se volí celá řada přírodních sýrů, jako jsou švýcarské, Colby, Gouda, Mozzarella a jiné. V České republice se nejčastěji používá Eidamská cihla či Eidamský blok, Moravský blok, Primátor a podobně. [4, 18] Celosvětově se pro výrobu nejvíce používá čedar, který má relativně vysokou hladinu sušiny a vysoký obsah neporušeného proteinu, jež tvoří strukturu výsledného zpracovaného výrobku. [40]

Výběr přírodních sýrů vyžaduje zkušenosti, mladé sýry poskytují vhodné texturní vlastnosti, mají vysokou vaznost vody a tvoří tužší konzistenci, zatímco zralejší sýry jsou snáze tavitelné a poskytují intenzivnější chuť. Při stárnutí sýra se působením přirozeně se vyskytujících enzymů rozkládají bílkoviny a tuky, dochází ke snížení neporušeného kaseinu a tím i emulgační kapacity během zpracování. Stáří a druh přírodního sýra má také vliv na pH konečného výrobku, hodnota mezi 5,4 – 5,8 je optimální pro maximalizaci struktury a konečných funkčních vlastností taveného sýra. Často se proto zralé sýry s mladými kombinují. [4, 15, 19, 41]

Vybrané sýry se před zpracováním melou, čímž se usnadňuje tání, zajišťuje správné promíchání ingrediencí a zlepšuje se kontakt s tavicími solemi. [32]

### **3.2 Formulace sýrové směsi**

Formulaci zahrnuje výběr a optimalizaci přírodních sýrů (měly by být analyzovány na obsah tuku a vlhkosti), tavicích solí a přísad, k získání taveného sýru s požadovaným složením, strukturálními a funkčními vlastnostmi. Tuk a sušina se stabilizuje přidáním dalších surovin, např. másla, tvarohu či kaseiny. [36]

Tradičně se spoléhalo na minulou historii a zkušenosti s formulací produktů, dnes probíhá provedení pomocí tabulkových počítačových programů, které pomáhají s výběrem přísad podle složení a dle požadovaných vlastností konečného produktu. Vlastnosti

přírodních sýrů se liší zejména podle jejich druhu a stáří, proto se musí k dosažení taveného sýra s požadovanou kvalitou výrobní směs optimalizovat. Výroba vyžaduje také znalosti a zkušenosti s možným dopadem různých přísad na hotové výrobky (např. pH, neporušený obsah kaseinu, poměr vápníku a kaseinu v sýru, typ a úroveň tavicích solí atd.). [3, 4, 32]

### **3.3 Čištění a zmenšení velikosti sýra**

Čištěním se rozumí odstranění jakékoli povrchové kontaminace nebo ztvrdlé kůry pomocí speciálních škrabek. [3, 32]

Velikost sýra se zmenšuje pomocí drtičů na kousky, které jsou pak prostřednictvím mlýnků mlety. Tím se maximalizuje povrchová plocha sýra, což usnadňuje následný přenos tepla a interakci složek během další fáze zpracování. [3, 32]

### **3.4 Předmíchání formulační směsi**

Jemně mletý sýr je dopraven do vařiče, kde je smíchán s tavicími solemi, vodou a volitelnými přísadami bezprostředně před zpracováním. Alternativně je možné smíchat některé přísady ve specializovaných předsměšovačích. Dochází k interakci mezi surovinami a k fyzikálně-chemickým změnám. Hlavním cílem je zajistit homogenitu všech materiálů a jednotný konečný produkt. [3, 32]

U jednotlivých typů přírodních sýrů používaných při zpracování mohou nastat rozdíly ve složení a kvalitě tavených výrobků způsobené proměnlivým složením sýrů (např. obsah bílkovin, pH, poměr kaseinů atd.). Takové odchylky jsou spojeny mimo jiné se změnami ve složení mléka, podmínkami výroby sýra a stupněm zrání. Předmíchání vyrovnává účinek rozdílů ve složení a jeho účinnost je závislá především na typu předmíchače ovlivňující smykovou rychlost a rozsah smyku, kapacitu předmíchače, množství přidané vody a teplotu okolí. [3, 32, 38]

### **3.5 Tepelné zpracování směsi**

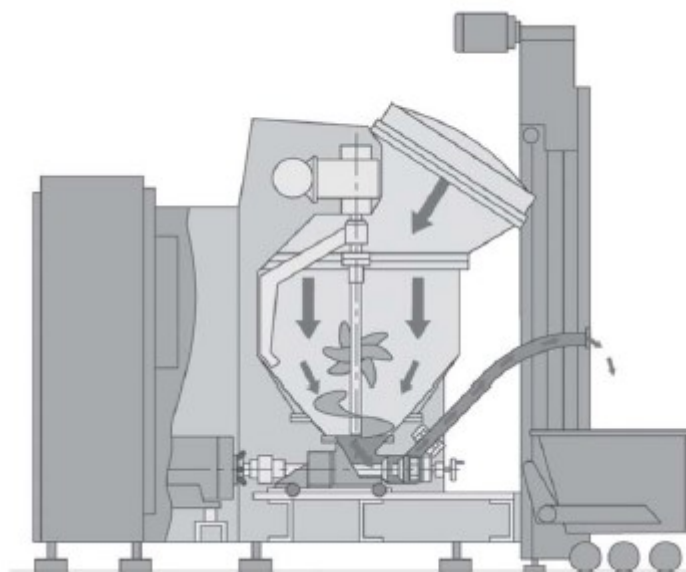
Při vynechání procesu předmíchání se přísady přidávají přímo do vařiče. Pořadí přísad se liší, typické je; voda, mletý sýr, tavicí soli, volitelné mléčné přísady a příchutě. Pokud je doba vaření krátká, mohou se tavicí soli dispergovat v části vody a zbývající voda se poté přidává ručně nebo dávkovacím čerpadlem. Předběžné rozpuštění solí je důležité zvláště ve formulacích obsahující přísady s vysokou koncentrací nerozpustného para-kaseinu vápenatého z důvodu překážky difuze vnějšího rozpouštědla. [3, 15, 32]

Při výrobě existují dva systémy rozpouštědel, (1) vnější, složeného z vody a tavicích solí obklopující kousky syra na začátku zpracování, a (2) vnitřní, odpovídající fázi séra uvnitř sítě para-kaseinu vápenatého. V počátku zpracování může být rozdíl koncentrací mezi systémy rozpouštědel považován za hnací sílu podporující absorpci tavicích solí a solubilizaci para-kaseinu. [3, 32]

Vzhledem ke krátké době zpracování (~3–5 min) může nesprávné přidání tavicích solí, a to přímo do směsi (než první rozpuštění ve vodě) snížit dostupnost těchto solí, což snižuje stupeň chelatace vápníku a solubilizace sýrového proteinu během následného zpracování. Příchutě jsou přidávány později pro minimalizaci ztrát těkavých aromatických látek. [3, 32]

Tepelné zpracování směsi probíhá za teplot mezi 72 a 145 °C, tyto výrobky jsou kategorizovány jako pasterizované nebo sterilizované. Hlavní funkcí je zabít všechny potenciální patogenní mikroorganismy a tím prodloužit trvanlivost produktu a usnadnit fyzikálně-chemické a mikrostrukturální změny, které transformují směs na konečný produkt s požadovanými vlastnostmi. [3, 32, 38]

Zpracování lze provádět v dávkovacích zařízeních (např. Stephan, Damrow, Blentech) nebo v kontinuálních topných systémech (např. KS Heating System UHT) připojených k dodávkám vody, páry a vakua. Použití částečného vakua je volitelné, může regulovat hladinu vlhkosti a také odstraňovat část vzduchu. Působení teploty se v dávkovacím zařízení liší v závislosti na složení směsi, rozsahu míchání, požadované struktury produktu a požadované trvanlivosti. K adekvátní pasterizaci je důležité dodržet minimální teplotu 72 °C. Obecně je tento záhřev dostatečný k usmrcení vegetativních buněk, avšak k eliminaci mikrobiálních spor je nutná ultravysoká teplota (UHT) > 130 °C. Teploty nad 140 °C lze dosáhnout v kontinuálních systémech, kdy je směs obvykle zahřívána na 140 °C po dobu 10 s. Účelem UHT není vyrobit sterilní produkt, ale spíše inaktivovat spory klostridií, potenciálně přítomných v sýrech nebo v jiných přísadách. [3, 4, 15, 32]



Obrázek 4: Příklad dávkovacího zařízení [42]

### 3.5.1 Chemické změny probíhající během záhřevu

V přírodních sýrech jsou proteiny uspořádány do trojrozměrné sítě, složené z kaseinových agregátů, ve které je zakotvena voda a tuk. Přítomný vápník je z největší části ve formě nerozpustného fosforečnanu vápenatého navázaného na kasein (para-kasein vápenatý). Během tavení se působením tavicích solí dezintegruje odštěpením vápenatých iontů proteinová matrice s cílem částečně rozpustit bílkovinu, dochází k vazbě volné vody a k emulgaci volného tuku uvolněného během zpracování. Na místa  $\text{Ca}^{2+}$  se vážou anionty (sodné/draselné) tavicích solí a díky navázání vody roste viskozita díla, tzv. proces krémování. Záhřevem a mícháním se zmenšuje velikost tukových kuliček a dochází k jejich rozptýlení v proteinové síti. [3, 16, 32, 36]

## 3.6 Homogenizace

K zajištění homogennějšího a hladšího konečného produktu se zařazuje proces homogenizace, kdy se horká roztavená hmota podrobuje vysokým tlakům. Tím dochází ke zmenšení velikosti částic, k lepší interakci složek směsi a k jemnějšímu rozptýlení tukových kapiček. [3, 15, 32]

Tento proces se provádí zřídka z důvodu vysokých nákladů. [3]

### 3.7 Balení a chlazení

K balení se používají různé typy obalových materiálů; sklenice, kovové plechovky, laminované hliníkové fólie, plastové tuby, lahve nebo sáčky. Tyto obaly by měly výrobek chránit před ztrátou vlhkosti, kontaminací, ztrátou aromatu, prostupností kyslíku a světla, mechanickým poškozením a dalším. Zpracovaná směs se obvykle dopravuje ze zahřívacího zařízení nebo z homogenizátoru do plnicího stroje. Zabalený výrobek se poté co nejdříve chladí na teplotu pod 10 °C. Chlazení by mělo proběhnout co nejdříve, pomalé ochlazování by mohlo podpořit růst spor. Alternativně může být horký roztavený sýr zchlazen s následným zabalením. [3, 4, 15, 32] Během ochlazování se tvoří konečná trojrozměrná proteinová síť taveného sýra. [13]



Obrázek 5: Ukázky obalů tavených sýrů [43]

## 4 FAKTORY PŮSOBÍCÍ NA KVALITU TAVENÝCH SÝRŮ

Kvalitu jakéhokoli potravinářského výrobku lze definovat na základě široké škály kritérií, chemických, fyzikálních, mikrobiologických a nutričních vlastností nebo podle celkového oslovení potenciálních spotřebitelů. Kvalita produktu musí být posouzena řadou testů s různým stupněm objektivity, se zajištěním toho, aby byl výsledný produkt: [32, 44]

- bezpečný pro lidskou spotřebu z hlediska chemické nebo mikrobiální kontaminace,
- v souladu s jakýmkoli předpisy,
- schopen dosáhnout stanovené trvanlivosti bez znehodnocení,
- nutričně hodnotný,
- senzoricky kvalitní.

Hlavním cílem každého potravinářského průmyslu je dodávat spotřebitelům bezpečné produkty dobré kvality, které mají atraktivní sensorické vlastnosti. Tohoto cíle lze dosáhnout zavedením systému správné výrobní praxe (GMP) a systému analýzy rizika a stanovení kritických kontrolních bodů (HACCP). Mezinárodní legislativní činnost vykonává Komise Codex Alimentarius, kterou zřizuje Organizace pro výživu a zemědělství (FAO) a Světová zdravotnická organizace (WHO). Uplatněním osvědčených postupů ve všech fázích výroby a distribuce se zabezpečí ochrana zdraví spotřebitele, což je jedním z hlavních cílů této Komise. GMP kombinuje výrobní postupy s kontrolou kvality a dohledem, avšak při zajišťování kvalitního produktu hraje roli i správná hygienická praxe (GHP). [32, 44]

Kvalita výroby tavených sýrů se každý rok významně zvyšuje, správná technologie zpracování určuje úspěch daného výrobku. [3]

Kvalitu taveného sýra ovlivňuje odrůda přírodního sýra, druh tavicích solí, vybrané přísady, podmínky zpracování, aplikace teploty, doba ohřevu a zpracování a rychlost smyku aplikovaného během výroby. [3,32]

### 4.1 Výběr surovin a volitelných přísad

Hlavní složkou taveného sýra je jeden či více druhů přírodního sýra v libovolných poměrech a stádiích zralosti. [3] Kvalita suroviny použité pro výrobu zpracovaného sýra má největší dopad na kvalitu konečného produktu. Druh sýra, jeho zralost a fyzikální vlastnosti patří mezi klíčové aspekty, které se musí vzít v úvahu. [40] V současnosti se tavený produkt již vyrábí z kvalitních sýrů, které mohou být ve směsi čerstvých, mladých či zralých sýrů.

Použitím starších sýrů se sice dosahuje silnější chuti výrobku, avšak taková výroba je nákladná a časově náročná. [40, 45, 46]

Ve srovnání s přírodním sýrem, který tvoří komplex chutí, si tavený sýr nikdy nevytvoří samostatnou přírodní příchut', která je účinně zabita tepelným zpracováním. Nedostatek typické sýrové chuti lze částečně zmírnit přidáním umělých sýrových příchutí. Avšak sensorické vady, způsobené fermentací či mikrobiální kontaminací, se záhřevem neopraví. [40]

Ke zvýraznění chuti taveného sýra je obvykle nutný přídavek dalšího koření nebo příchutí, čímž se spotřebitelům poskytuje širší výběr výrobků. Při výrobě tavených sýrů se používá široká škála aromatických materiálů, které mohou mít vliv na jejich výslednou kvalitu. [9, 39]

Přídavek kozího mléka či kaseinu má pozitivní vliv na konzistenci produktu, sýr z buvolího mléka pozitivně ovlivňuje kvalitu výrobku, vaječná bílkovina má vliv na strukturu a tvorbu shluků. Po přidání  $\iota$ -karagenanu se zlepšuje pevnost taveného produktu a pomazánek, s dosažením ještě lepších účinků než při použití  $\kappa$ -karagenanu. [45, 46]

Soo-Yun Kim *et al.* zjistili, že výrobek se sníženým obsahem cholesterolu má významně vyšší gumovitost, křehkost, žlutost, hořkost, pružnost a významně zhoršenou chuť ve srovnání s kontrolním produktem. [47]

## 4.2 Vybrané procesní parametry

Kvalita taveného výrobku závisí také na jeho celkovém zpracování. Teplota tavení, doba tavení a rychlost míchání během výroby patří mezi klíčové faktory pro řízení a tvorbu emulze a funkčních vlastností konečného produktu. Proto je důležité mít tyto parametry pečlivě pod kontrolou. Rychlostí a teplotou míchání se také mění velikost tukových kuliček, při vysoké rychlosti míchání za konstantní teploty a za časových podmínek mají emulgované směsi taveného sýra větší počet malých, rovnoměrně rozložených tukových kuliček ve srovnání se směsmi sýra, které se míchají při rychlostech nízkých. Velké množství malých, rovnoměrně rozložených tukových globulí zvyšuje interakce tuk-protein a protein-voda, čímž se usnadňuje vytvoření silnější sítě. Avšak při zvýšení rychlosti míchání nad optimální hodnotu dochází ke zvyšování interakce protein-tuk a protein-protein do té míry, že molekuly kaseinu koagulují do struktury podobné pudinku. Tento jev je označován jako nadměrné krémování, kdy se tvoří těžká, tuhá konzistence podobná pudinku, výsledný produkt má matný vzhled a je náchylný k oddělování tuku. Tento vývoj je zřejmý převážně až po vychladnutí. Nadměrné krémování je v praxi vysoce nežádoucí, způsobuje problémy

s čerpáním a plněním produktu, dochází ke zhoršení kvality konečného produktu, například ztrátou roztíratelnosti, ztrátou lesklého povrchu, nerovnoměrným mastným vzhledem nebo ztrátou schopnosti tavení. [3, 4, 32, 48]

Zvýšením teploty tavení roste pevnost sýrové emulze a tím i pevnost konečného výrobku. S prodloužením délky záhřevu se zvyšuje pevnost i stupeň pružnosti, ale dochází ke snížení jeho tavitelnosti. [4, 49]

Se zvýšenou rychlostí míchání dochází ke zvýšení viskozity, zvýšení pevnosti a již zmíněné změně velikosti tukových kuliček. Na kvalitu produktu má také vliv zařazení procesu homogenizace, který poskytuje lepší emulgaci tuku. U přírodních sýrů s vysokým obsahem tuku se tento proces doporučuje. [4]

### **4.3 Balení výrobku**

Byl prokázán vliv vybraného obalu na potravinářský výrobek. [9] Ve studii A.Y.Tamine [39] tavený sýr v plechovkách z kovu vykazoval nejméně chemických změn a nejnižší ovlivnění mikrobiologické kvality během skladování (testování při 30 °C a 60 % RH a při -7 °C a 80 % RH) ve srovnání balení v polystyrénových nebo polyetylenových nádobách. Kvalita produktů se zachovala i při použití nádob ze skla, které jsou doporučené pro balení kvůli jejich inertnosti.

Primárním účelem obalů je zajištění toho, aby se výrobek dostal ke spotřebiteli v bezpečném, zdravém a pohodlném stavu. Významnou roli však hraje i estetický vzhled obalu, který je často jedním z rozhodujících faktorů pro spotřebitele při rozhodování, zda si produkt koupit. [50]

### **4.4 Senzorická kvalita**

Senzorické vlastnosti taveného sýra jsou určeny zejména typem použité suroviny, takže se při použití zralejších sýrů získává silná sýrová příchuť. [40] Senzoricky kvalitní tavený výrobek by měl mít typicky sýrovou až máslovou chuť, do určité míry charakteristickou po vybrané odrůdě přírodního sýra, ze kterého byl vyroben. [3, 16, 51]

Barva výrobku by měla být přirozeně smetanově žlutá až oranžová, způsobená pigmenty karotenového typu. Při použití zelených a modrých plísňových sýrů se získává barva špinavě šedá. Barviva mohou fungovat i jako látky zvýrazňující chuť, protože intenzita chuti může spadat do celkového smyslového požitku. Povrch taveného sýra bývá celistvý, hladký a lesklý. Textura bývá tuhá, polotuhá až roztíratelná, podmíněna obsahem sušiny a



tuku. Měla by být homogenní, jemná, hladká bez známek zrnitosti a výskytu ok. Přítomnost ok je nežádoucí a bývá známkou sekundární fermentace, zejména činností bakterií mléčného kvašení. [40, 52, 53, 54]

#### **4.5 Texturní vlastnosti**

Textura tavených sýrů představuje důležitý faktor kvality pro spotřebitele. Tavené sýry obvykle nemají texturní vlastnosti relevantní pro přírodní sýry. Na jejich pevnost má vliv složení přírodních sýrů, obsah vlhkosti, použítá tavicí sůl, podmínky zpracování a teplota skladování. Významnou roli na texturu má stupeň zralosti aplikovaného přírodního sýra, čím zralejší je, tím jemnější a roztíratelnější textura je vytvořena. [4, 15, 18, 19]

Další vliv má obsah vápenatých iontů ve výrobní směsi, jež se zapojují do tvorby proteinové sítě. S rostoucím obsahem se proto zvyšuje tuhost výrobku. Dalším faktorem působícím na texturu finálního produktu má vztah sušiny a tuku v sušině. Čím je obsah sušiny vyšší, tím tužší je sýr. Naopak s rostoucím obsahem tuku se získává roztíratelnější výrobek. Také tavicí soli hrají důležitou roli při vytvoření hladkého homogenního taveného sýra. [4, 41]

Sledovaným faktorem ovlivňující konzistenci produktu je také kyselost. Čím nižší pH taveniny je, tím vzniká tužší produkt. S rostoucí hodnotou pH se získává sýr měkký, při zahřátí snadněji tavitelný. Tavicí soli mají na texturu produktu vliv zejména jejich schopností chelatace a puřovací aktivitou. Použitím ortofosfátů vznikají sýry měkké, dobře tavitelné s mírným vylučováním tuku při záhřevu. Oproti tomu pyrofosfáty tvoří sýry tvrdší, s matným a suchým povrchem, se špatnou tavicí charakteristikou. Použitím mléčných přísad (kasein, kaseináty, syrovátkové bílkoviny a další) dochází k ovlivnění textury interakcí s přítomnými surovinami, kdy se tuhost s přidavkem zvyšuje, nicméně za zhoršení tavicích vlastností. Hlavním důvodem přidavku je snížení výrobních nákladů. [4, 15, 19, 41]

Snížení tuhosti a zlepšení roztíratelnosti dochází přidavkem laktózy do 5 % w/w. Vyšší koncentrace by vedla ke krystalizaci během skladování a k Maillardově reakci. [3, 40, 36]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo zjistit, zda mají vybrané druhy draselných tavicích solí vliv na viskoelastické vlastnosti vyrobených tavených sýrů.

Mezi hlavní cíle teoretické části bylo:

- prostudovat charakteristiku tavených sýrů,
- charakterizovat hlavní funkce tavicích solí, jež se při výrobě tavených sýrů používají,
- popsat výrobu tavených sýrů, která se skládá z několika navazujících kroků,
- prozkoumat faktory působící na kvalitu tavených sýrů.

Mezi hlavní cíle praktické části bylo:

- vyrobit vzorky tavených sýrů o obsahu sušiny 40 % (w/w) a obsahu tuku v sušině 50 % (w/w), s přídavkem vybraných druhů tavicích solí (dihydrogenfosforečnan draselný, hydrogenfosforečnan draselný, difosforečnan draselný, trifosforečnan pentadraselný a komerční směs s názvem Carnesal 150) o koncentraci 1,0 %, 1,5 %, 2,0 %, 2,5 % a 3,0 %,
- dodržet stejné podmínky výroby, konkrétně rychlost míchání 3000 ot./min. s výdrží 1 minuty při tavicí teplotě 90 °C,
- provedení chemické analýzy (stanovení hodnoty pH a sušiny) a měření viskoelastických vlastností jednotlivých vzorků tavených sýrů v časových intervalech 1., 7., 14. a 28. den skladování, kromě toho stanovit první den po výrobě obsah sušiny,
- vyhodnotit zjištěné výsledky a popsat vliv přídavku jednotlivých draselných tavicích solí na texturní a reologické vlastnosti tavených sýrů během skladování.

## 6 MATERIÁL A METODIKA

### 6.1 Suroviny pro výrobu tavených sýrů

Pro výrobu tavených sýrů o požadovaných vlastnostech (40 % hmot. sušiny, 50 % hmot. tuku v sušině) byla použita Eidamská cihla 30 % (polotvrdý sýr, 30 % hmot. tuku v sušině, 50 % hmot. sušiny; výrobce Lacrum Velké Meziříčí, s.r.o., ČR), čerstvé máslo Laktos (obsah mléčného tuku 82 % hmotnostních), pitná voda a tavicí soli (dihydrogenfosforečnan draselný, hydrogenfosforečnan draselný, difosforečnan draselný, trifosforečnan pentadraselný a fosfátová směs Carnesal 150) o hmotnostních koncentracích: 1,0 % (I), 1,5 % (II), 2,0 % (III), 2,5 % (IV) a 3,0 % (V).

#### 6.1.1 Dihydrogenfosforečnan draselný ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )

Dihydrogenfosforečnan draselný je anorganická sloučenina, jež se především používá jako pufovací činidlo (regulace kyselosti), emulgátor nebo stabilizátor. Tento produkt může být ve formě bezbarvého nebo bílého krystalického granulátu či prášku. V potravinářském průmyslu se uplatňuje hlavně jako přísada do emulgačních solí pro výrobky ze zpracovaných sýrů, ale může být přítomen také v masných výrobcích, v pívě či v šampaňských a šumivých vínech. [55]

#### 6.1.2 Hydrogenfosforečnan draselný ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ )

Hydrogenfosforečnan draselný patří mezi anorganické sloučeniny. Plní funkci emulgační a stabilizační, podporuje tvorbu textury, reguluje pH a jeho vlastností je také schopnost chelatace, zejména pro vápník v mléčných výrobcích. Je to bílá nebo bezbarvá pevná látka, jež je ve vodě rozpustná. Jako přísada se používá v potravinách v mléčných výrobcích, nápojích, minerálních doplňcích a ve startovacích kulturách. Využívá se také ke snížení obsahu kyselin a rovněž ke snížení obsahu sodíku ve zpracovaných produktech. [56, 57]

#### 6.1.3 Difosforečnan draselný ( $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ )

Difosforečnan draselný má širokou škálu využití, zejména v průmyslu potravinářském a chemickém. V potravinářství se uplatňuje především pro jeho emulgační, stabilizační, pufovací a texturotvorné vlastnosti. Vyskytuje se jako bezbarvá či bílá pevná látka nebo prášek, jež jeví hygroskopické vlastnosti. [58, 59]

#### 6.1.4 Trifosforečnan pentadraselný ( $K_5P_3O_{10}$ )

Trifosforečnan pentadraselný je bílá nebo bezbarvá pevná látka bez zápachu, která se snadno rozpouští ve vodě. Jeví také silné hygroskopické vlastnosti. Používá se jako regulátor kyselosti, sekvestrant (vazba volných iontů kovů) či zahušťovadlo. [60, 61]

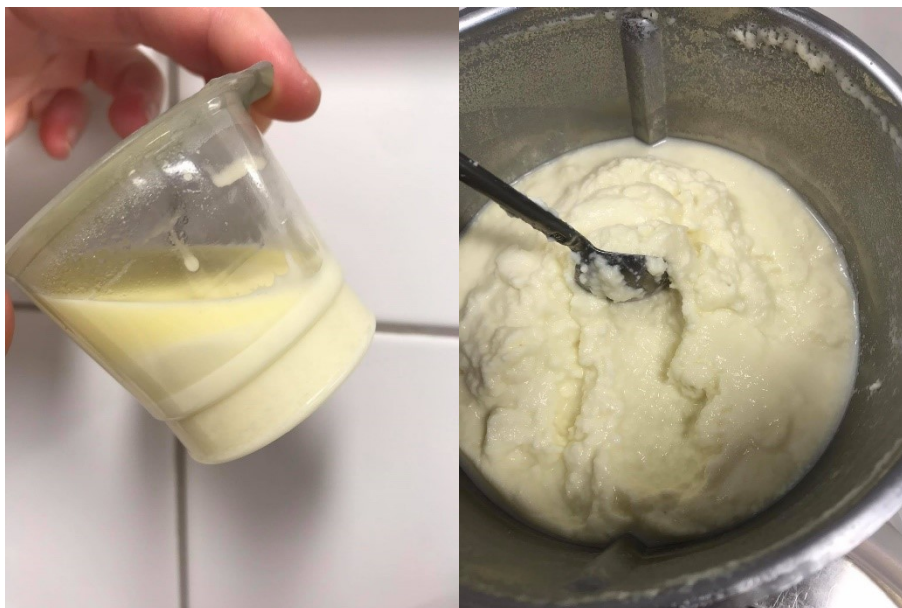
#### 6.1.5 Carnesal 150

Carnesal 150 je směs polyfosfátů s velmi dobrou rychlostí rozpouštění. Tato směs se vyznačuje sníženým obsahem sodíku a díky tomu se snižuje celkový obsah sodíku v konečném produktu. [62]

### 6.2 Výroba vzorků tavených sýrů

Hmotnostní množství surovin pro výrobu modelových vzorků tavených sýrů bylo vypočítáno na základě požadovaných cílových vlastností taveniny. Výroba byla uskutečněna v laboratorních podmínkách za pomoci tavicího přístroje Vorwerk Thermomix TM31. Do přístroje byl nejprve přidán nakrájený přírodní sýr, který se v něm dezintegroval na menší kousky. Následně byly k rozemletému sýru dávkovány ostatní suroviny – čerstvé máslo, vybraná tavicí sůl v definované koncentraci a pitná voda. Tavení probíhalo do dosažení teploty 90 °C s výdrží 1 minuty (celková doba tavení probíhala pro jeden vzorek 10 – 12 minut). Poté byl horký utavený sýr dávkován do předem připravených plastových obdélníkových a válcových vaniček, které byly uzavřeny hliníkovými víčky. Jednotlivé vzorky byly řádně označeny, zchlazeny na teplotu skladování ( $6 \pm 2$  °C) a uchovávány při ní po dobu experimentu.

Pro výrobu bylo použito pět vybraných druhů tavicích solí, z čehož byla každá použita v pěti různých koncentracích. Při použití tavicí soli  $KH_2PO_4$  se tavený sýr neutavil, proto nebyl ani sledován. Sůl  $KH_2PO_4$  tvořila nehomogenní vzorky, které vykazovaly oddělování fází (obrázek 6). Soli  $K_4P_2O_7$  a  $K_5P_3O_{10}$  tvořily nehomogenní vzorky při jejich použití v koncentraci 1,0 %, vyšší množství (od 1,5 %) již tvořilo homogenní taveninu.



Obrázek 6: Nehomogenní tavenina s přidavkem  $\text{KH}_2\text{PO}_4$

### 6.3 Základní chemická analýza

Vyrobené vzorky tavených sýrů byly podrobeny základní chemické analýze, při níž byl sledován obsah sušiny a hodnota pH. Celkový obsah sušiny byl stanoven pouze první den po výrobě, hodnota pH byla měřena každý odběrový den (1., 7., 14. a 28. den).

Obsah celkové sušiny byl proveden podle ČSN ISO 5534 (ISO, 2004) vysušením vzorků tavených sýrů do konstantního úbytku hmotnosti. Sušilo se přibližně 5 g (s přesností na čtyři desetinná místa) homogenního taveného sýra s předem vysušeným křemenným pískem při teplotě  $102 \pm 2$  °C. Po vysušení byly vzorky ochlazeny, vloženy do exsikátoru a zváženy na analytických vahách. Celkový obsah sušiny v hmotnostních procentech byl pak vypočítán pomocí následující rovnice (1). [63]

$$w_s = 100 - \left[ \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 \% \right] \quad (1)$$

kde:

$w_s$  je obsah sušiny [% (w/w)]

$m_1$  je hmotnost misky s pískem a tyčinkou [g]

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

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

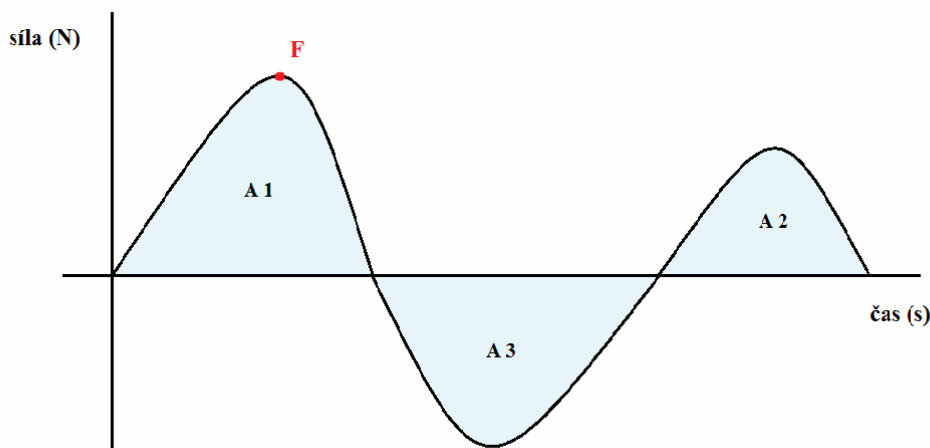
Hodnoty pH byly měřeny pomocí pH metru Spear Eutech s vpichovou skleněnou elektrodou. K zabránění vnesení odchylek byl každý vzorek změřen šestkrát v jeho odlišných místech.

## 6.4 Texturní profilová analýza

Analýza profilu textury je zavedená metoda, která se často označuje jako standardní metoda pro charakterizaci textury. Princip této metody spočívá v penetraci zkušebního vzorku pomocí mechanického zařízení. [6]

Veškerá měření byla provedena pomocí analyzátoru textury TA.XT.plus (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Velká Británie). Modelové vzorky tavených sýrů byly testovány ve vaničkách válcovitého tvaru dvojí penetrací válcovou nerezovou sondou o průměru 20 mm. Byla stanovena síla potřebná k penetraci sondy do hloubky 10 mm při rychlosti 2 mm za 1 s. Tavené výrobky pak byly hodnoceny z hlediska tvrdosti (síla nutná k dosažení dané deformace – s rostoucími hodnotami roste tvrdost produktu), relativní lepivosti (práce nezbytná k překonání přitažlivých sil mezi povrchy výrobku a sondy) a koheze (síla soudržnosti vnitřních vazeb tvořících výsledný produkt). [5]

Měření byla prováděna 1., 7., 14. a 28. den skladování, z toho byl každý vzorek měřen dvakrát. Získaná data byla vyhodnocena pomocí křivek závislosti síly deformace na čase. Maximální síla, jež byla potřebná během první penetraci odpovídala pevnosti taveného výrobku (obrázek 7; hodnota F). Srovnáním plochy pod a první plochy nad hlavní osou byly vyhodnoceny hodnoty relativní lepivosti (obrázek 7; poměr A3 : A1). Porovnáním obou ploch nad hlavní osou byly pak stanoveny hodnoty soudržnosti (obrázek 7; poměr A2 : A1). [5, 64, 65]



Obrázek 7: Graf zátěžových křivek vyobrazující závislost síly deformace [N] na čase [s] [66]

## 6.5 Dynamická oscilační reometrie

Z reologického hlediska je tavený sýr viskoelastickým materiálem a má jak viskózní, tak elastické vlastnosti. Pomocí dynamické oscilační reometrie lze stanovit reologické vlastnosti taveného sýra při různých teplotách (obvyklé rozmezí 25 – 90 °C). [44]

Vzorky tavených výrobků byly měřeny pomocí viskozimetru Thermo Scientific™ HAAKE™ TheoStress™ 1 Rheometer (Bremen, Německo). Tento přístroj byl vybaven geometrií deska – deska o průměru 35 mm a s výškou štěrbin 1 mm. Provedení probíhalo 1., 7., 14. a 28. den skladování v rozsahu frekvencí 0,1 – 10 Hz při teplotě  $20,0 \pm 0,1$  °C. Hodnota amplitudy smykového napětí byla zvolena 20 Pa.

Ze získaných hodnot byla zjištěna komplexní viskozita, elastický ( $G'$ ) a ztrátový ( $G''$ ) modul pružnosti. Následně byl získán podle vztahu (2) tangens úhlu fázového posunu pro 1 Hz:

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad (2)$$

Podle vztahu (3) byl pak vypočítán komplexní modul pružnosti pro 1 Hz:

$$G^* = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2} \quad (3)$$

Získané údaje sloužily k charakterizaci fyzikálních vlastností jednotlivých vzorků tavených sýrů. Viskoelastické vlastnosti byly analyzovány dvakrát pro jeden vzorek. [44, 45]



## 7 VÝSLEDKY A DISKUZE

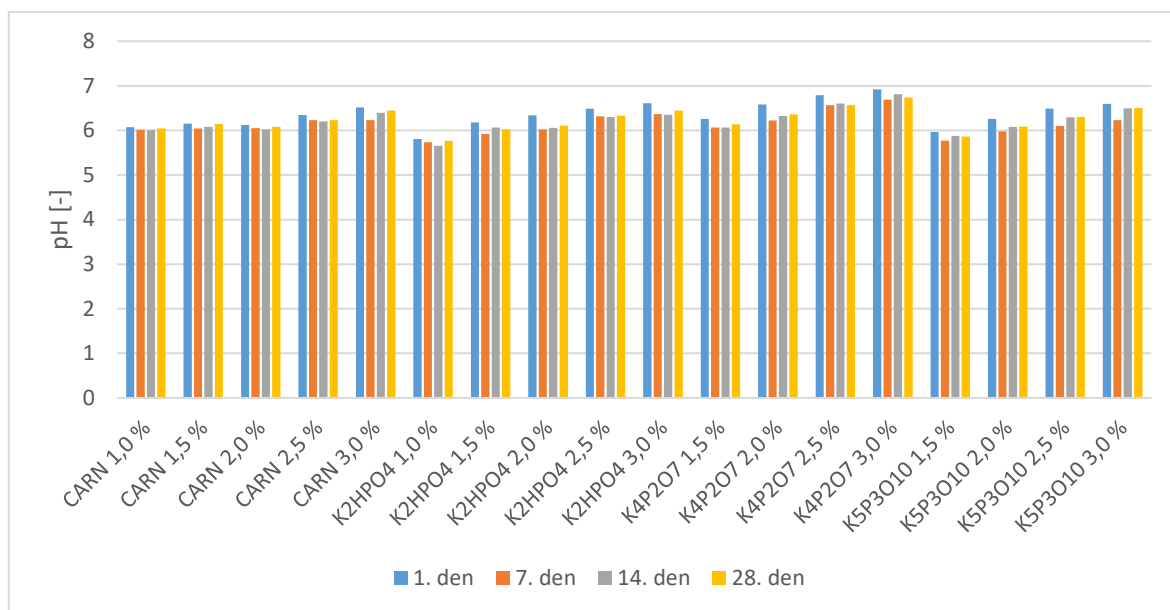
### 7.1 Výsledky základní chemické analýzy

Cílem práce bylo vyrobit vzorky tavených sýrů o obsahu sušiny 40 % (w/w). Obsah sušiny vyrobených sýrů se pohyboval první den skladování od 40,96 do 41,75 % (w/w). Nejnižší hodnota byla zaznamenána u výrobku s 2,0 % přídavkem  $K_2HPO_4$ , a naopak nejvyšší hodnotu sušiny měl tavený sýr s 3,0 % množstvím tavicí soli  $K_4P_2O_7$ . Získané rozmezí hodnot lze považovat ve srovnání s cílovou hodnotou za akceptovatelné.

Dalším faktorem, který může ovlivnit vlastnosti tavených sýrů je hodnota pH. Rozmezí pH hodnot modelových vzorků tavených sýrů se pohybovalo, v závislosti na vybraném druhu tavicí soli a na její koncentraci, od 5,66 do 6,92. Nejvyšší hodnotu pH vykazoval 1. den skladování vzorek sýra s přídavkem  $K_4P_2O_7$  v 3,0 % množství. Naopak nejnižší hodnota pH byla zaznamenána u vzorku taveného výrobku po 1,0 % přídavku  $K_2HPO_4$ .

Ve všech případech použitých tavicích solí (v různých množstvích) se pH tavených výrobků s prodloužením doby skladování mírně snížilo. Tyto výsledky jsou v souladu se zjištěním Shalaby, Mohamed a Bayoumi [67]. Byl zjištěn vliv koncentrace tavicí soli na hodnotu pH. Ve studii C. Cavalier-Salou a J. C. Cheftel [68] bylo uvedeno, že zvyšující se koncentrace tavicích solí vedou k vyššímu pH, což bylo v této práci prokázáno. Příkladem může být přídavek tavicí soli  $K_2HPO_4$ . V 1,0 % množství této soli bylo průměrné pH taveného sýra během skladování 5,74; v 1,5 % množství 6,05; ve 2,0 % množství 6,23; ve 2,5 % množství 6,13 a v jejím 3,0 % přídavku bylo pH výrobku 6,44.

Guinee, T.P. [32] ve své studii uvedl, že se pH taveného výrobku mění s typem použité tavicí soli, a to zejména stupněm disociace tavicích solí a jejich počtem potenciálně aktivních skupin chelatujících vápník. Toto tvrzení bylo v experimentální části práce potvrzeno.



Obrázek 8: Graf výsledků stanovení pH tavených sýrů během skladování

## 7.2 Výsledky texturní analýzy

U modelových vzorků tavených sýrů byla provedena 1., 7., 14. a 28. den texturní analýza. Byly měřeny hodnoty tvrdosti (pevnosti), lepivosti (relativní lepivosti) a soudržnosti (kohezivnosti). Tyto parametry jsou vyobrazeny v následujících grafech.

### 7.2.1 Výsledky tvrdosti

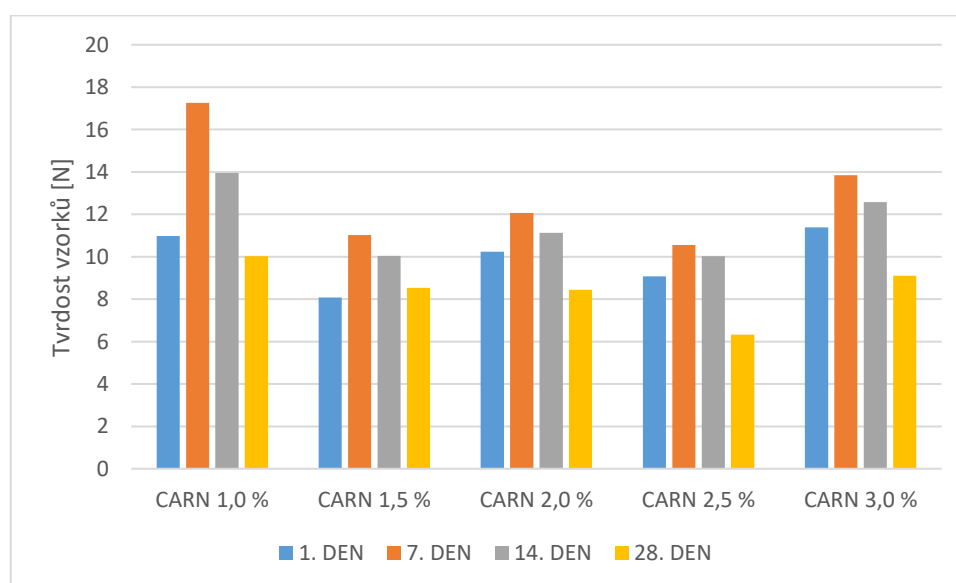
Vzorky tavených sýrů byly hodnoceny z hlediska jejich tvrdosti. Výsledky vývoje tvrdosti zkoumaných vzorků, v závislosti na průběhu skladování a na množství použité tavicí soli, jsou uvedeny na obrázku 9-12. Ze získaných výsledků lze konstatovat, že nejvyšší hodnotu tvrdosti měl vzorek taveného sýra s 1,0 % přídavkem  $K_2HPO_4$  7. den skladování, naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána u vzorku sýra s 2,5 % přídavkem tavicí soli CARN 28. den skladování.

Salek *et al.* [6] ve své studii uvedl, že s rostoucí dobou skladování, bez ohledu na množství přidané sodné tavicí soli, tvrdost všech vzorků roste. Toto tvrzení se potvrdilo pouze u tavených sýrů s přídavky tavicí soli  $K_4P_2O_7$ , jejichž hodnoty tvrdosti byly na konci měření vyšší než první den měření. U ostatních použitých solí k tomuto trendu nedošlo. Důvodem mohlo být to, že Salek *et al.* [6] ve své studii použil sodné tavicí soli a pro tuto práci byly použity tavicí soli draselné.

Rostoucí množství odlišných druhů tavicích solí mělo různé účinky na hodnoty tvrdosti zkoumaných vzorků. Tavicí sůl, která s jejím rostoucím množstvím zvyšovala hodnoty tvrdosti, byla sůl  $K_4P_2O_7$ . Mizuno a Lucey [21] uvádí, že k nárůstu tvrdosti mléčných bílkovin docházelo díky přidavku difosforečnanů, které v jejich optimální koncentraci tvoří pevný gel. Mizuno a Lucey [21] dále tvrdí, že s rostoucím počtem fosforečnanových jednotek dochází ke zvyšování tvrdosti. Opačný trend jeví sůl  $K_2HPO_4$  a  $K_5P_3O_{10}$ , po jejichž narůstajícím přidavku hodnoty parametru klesaly. Rostoucí množství tavicí soli CARN nemělo jednoznačný vliv na změnu tvrdosti tavených sýrů. Získané výsledky jsou v souladu se studií Wolfgang Hoffman *et al.* [69], ve které měly soli s nižším počtem fosforových jednotek stejný trend. Ze studie Salek *et al.* [6] lze dále tvrdit, že na vyšší tvrdost vzorků mohla mít vliv rostoucí délka fosforečnanových řetězců jednotlivých použitých tavicích solí, jež ovlivňují intenzitu iontové výměny uvnitř matrice.

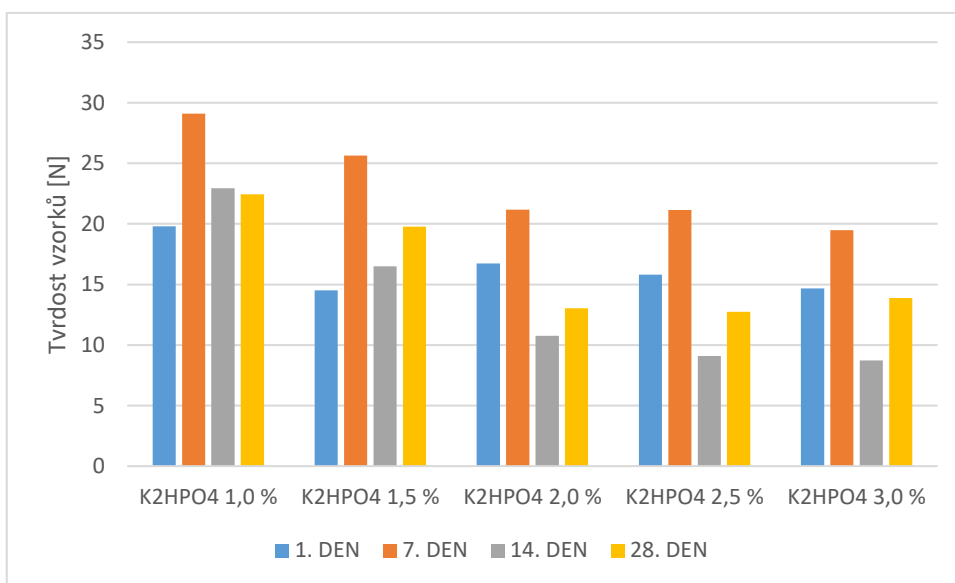
Z vyrobených vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli CARN byla stanovena nejvyšší tvrdost produktu hodnotou 17,26 N po přidání 1,0 % této soli a to 7. den měření. Nejnižší tvrdost, hodnotu 6,33 N, měl výrobek s 2,5 % solí CARN 28. den skladování, což byla nejnižší hodnota ze všech modelových vzorků.

Délka skladování vedla k významným změnám tvrdosti zkoumaných vzorků. Během 7. dne skladování došlo u všech vzorků k růstu tvrdosti, poté již hodnoty klesaly až do 28. dne měření, viz obrázek 9. Zvyšující se množství přidané tavicí soli nemělo jednoznačný vliv na sledovaný parametr.



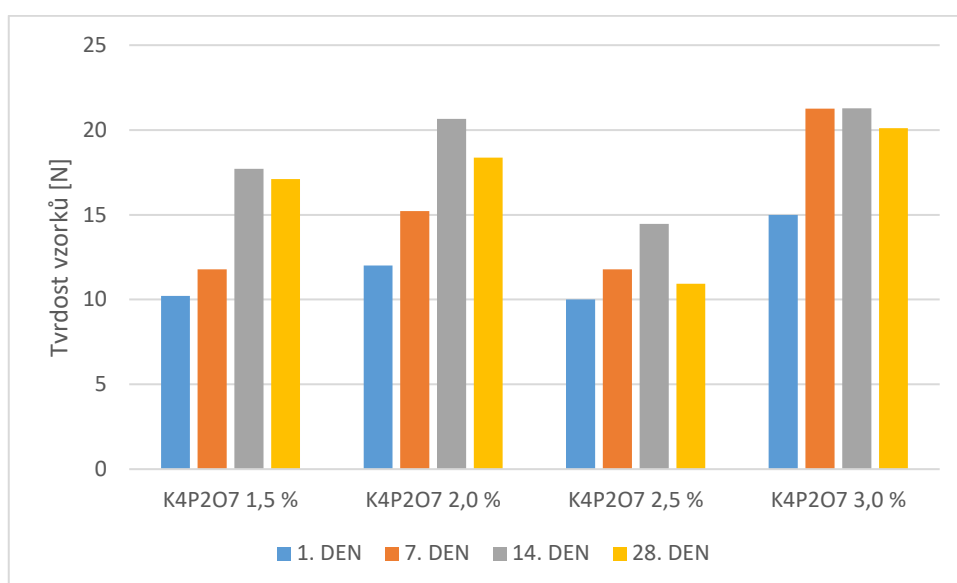
Obrázek 9: Závislost tvrdosti taveného sýra s přidavkem tavicí soli CARN o různých koncentracích (1,0 – 3,0 %) na délce skladování

Tvrdość tavených sýrů s přidavky tavicí soli  $K_2HPO_4$  se pohybovala v rozmezí 8,72 – 29,11 N. Nejnižší hodnotu měl vzorek s přidavkem 3,0 %  $K_2HPO_4$  a nejvyšší hodnotu měl výrobek s 1,0 % množstvím  $K_2HPO_4$ . Vzorek s přidavkem 1,0 %  $K_2HPO_4$  jevil nejpevnější charakter ze všech ostatních zkoumaných vzorků. V průběhu skladování tvrdość modelových sýrů s touto solí rostla až do 7. dne, 14. den došlo u všech vzorků k poklesu a poslední měřicí den tvrdość vzrostla s výjimkou vzorku s 1,0 % koncentrací této soli, viz obrázek 10. Z výsledků lze také tvrdit, že měl rostoucí přidavek  $K_2HPO_4$  vliv na snížení tvrdości vzorků.



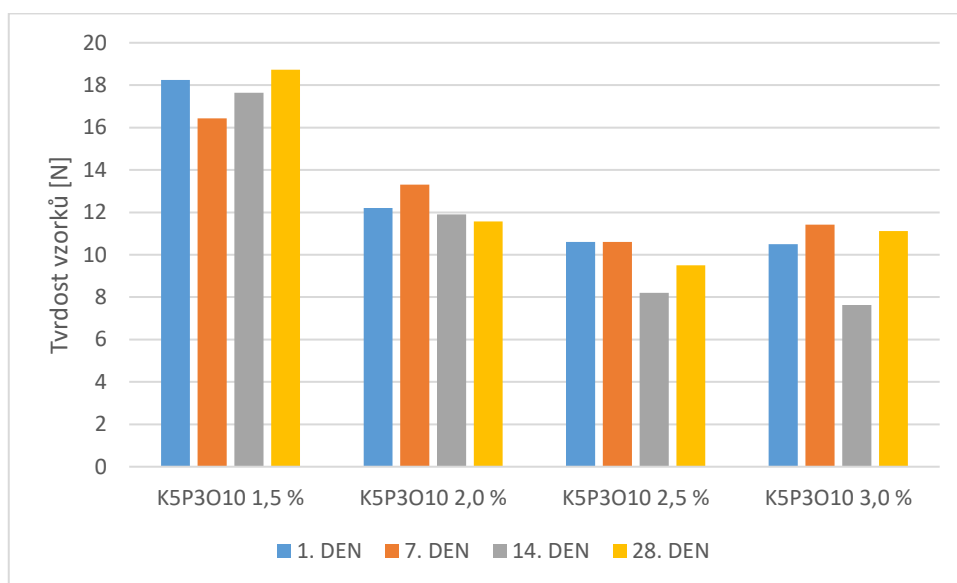
Obrázek 10: Závislost tvrdości taveného sýra s přidavkem tavicí soli  $K_2HPO_4$  o různých koncentracích (1,0 – 3,0 %) na délce skladování

U zkoumaných produktů s přísávkou tavicí soli  $K_4P_2O_7$  byla naměřena tvrdost v rozmezí hodnot 10,00 – 21,27 N. Nejvyšší hodnota byla vyhodnocena při 3,0 % dávkce této soli, naopak nejnižší hodnota byla určena při 2,5 % přísávkce. S délkou skladování rostla hodnota tvrdosti u všech jednotlivých vzorků tavených sýrů s  $K_4P_2O_7$  až do 14. dne skladování. V posledním měřicím dnu (28. den) došlo k mírnému poklesu sledovaného parametru, viz obrázek 11. S narůstajícím množstvím této soli došlo ke zvýšení naměřených hodnot tvrdosti, výjimkou byl tavený sýr s 2,5 % přísávkem, jehož hodnoty tvrdosti byly celkově nejnižší.



Obrázek 11: Závislost tvrdosti taveného sýra s přísávkem tavicí soli  $K_4P_2O_7$  o různých koncentracích (1,5 – 3,0 %) na délce skladování

Z obrázku 12 je patrné, že tvrdost vzorků taveného sýra značně klesala s rostoucím přídatkem tavicí soli  $K_5P_3O_{10}$ . Nejvyšší hodnoty tvrdosti byly zaznamenány u vzorků s 1,0 % přídatkem  $K_5P_3O_{10}$  a nejnižší hodnota byla naměřena s nejvyšší, 3,0 % dávkou této soli. Vliv skladování na sledovaný parametr nelze přesně stanovit, jelikož se u jednotlivých koncentrací této tavicí soli liší. S narůstající dávkou  $K_5P_3O_{10}$  došlo k viditelnému poklesu tvrdosti vzorků.



Obrázek 12: Závislost tvrdosti taveného sýra s přídatkem tavicí soli  $K_5P_3O_{10}$  o různých koncentracích (1,5 – 3,0 %) na délce skladování

### 7.2.2 Výsledky relativní lepivosti

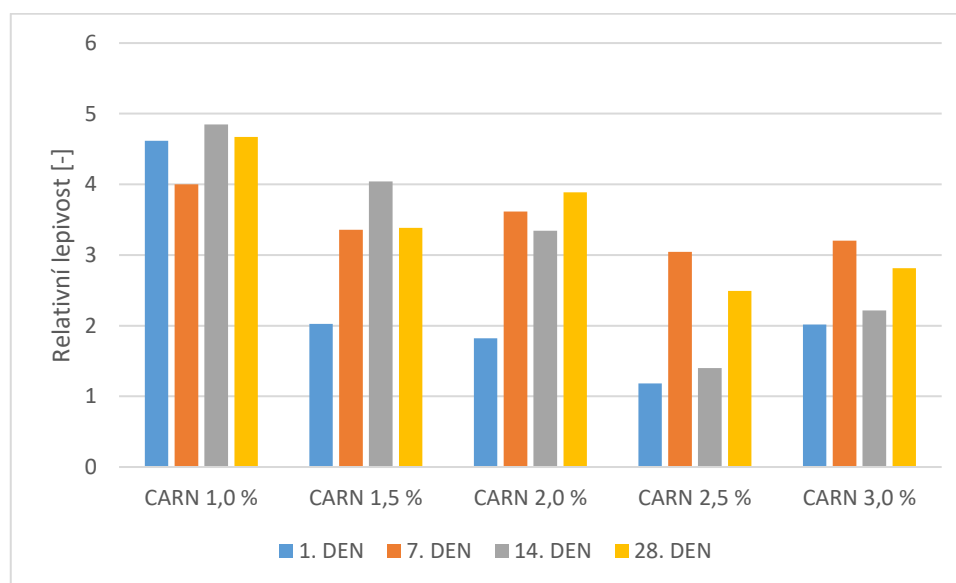
Výsledky relativní lepivosti jsou znázorněny pro tavený sýr s přídatky tavicí soli: CARN na obrázku 13;  $K_2HPO_4$  na obrázku 14;  $K_4P_2O_7$  na obrázku 15 a pro tavicí sůl  $K_5P_3O_7$  na obrázku 16. Naměřené hodnoty se pohybovaly od 1,19 do 7,75. Nejvyšší relativní lepivost byla zjištěna u taveného výrobku s 1,0 % přídatkem  $K_2HPO_4$  7.den skladování, nejnižší relativní lepivost měl výrobek s 2,5 % tavicí solí CARN 1.den po výrobě. Modelové vzorky s přídatkem tavicí soli CARN tvořili nejméně lepivé sýry ze všech použitých tavicích solí.

Zkoumané vzorky tavených sýrů měly, až na výjimky (1,0 %  $K_2HPO_4$  a 2,5 %  $K_5P_3O_{10}$ ), hodnoty relativní lepivosti poslední den měření vyšší, než tomu bylo první den. Z těchto výsledků lze tvrdit, že se s rostoucí délkou skladování konzistence tavených sýrů stávala roztíratelnější. Rostoucí přídatek jednotlivých tavicích solí působil ve většině

případů na snížení lepivosti produktů. Takové závěry byly popsány i ve studii Bartosz G. Sołowiej *et al.* [5].

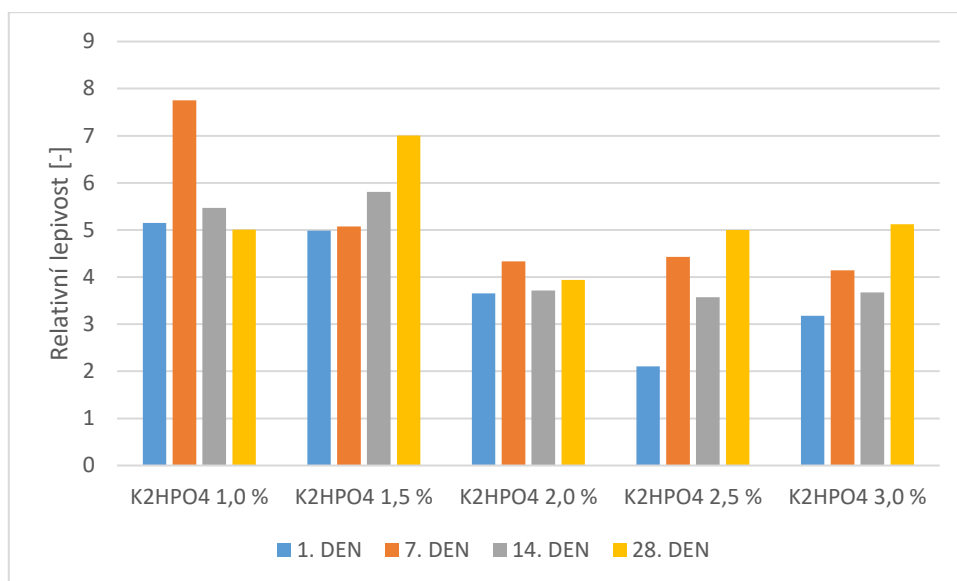
Z vědeckých zdrojů se často uvádí vliv poklesu tvrdosti na nárůst relativní lepivosti vzorků tavených sýrů [5, 37, 48]. Výsledky relativní lepivosti však v této studii nelze korelovat s hodnotami tvrdosti, proto toto tvrzení nebylo potvrzeno.

Z obrázku 13 je patrné, že nejvyšší hodnoty relativní lepivosti měl výrobek s 1,0 % přídavkem tavicí soli CARN. Postupným narůstáním přídavku jmenované soli se snižovala relativní lepivost výrobků, kdy nejnižší hodnoty vykazoval vzorek s 2,5 % množstvím CARN. S dalším přídavkem sýr již nevykazoval další snížení lepivosti, ale naopak mírné zvýšení oproti předešlému vzorku. Závislost sledovaného parametru na délce skladování nelze jednoznačně určit, je však zřejmé, že jeho hodnota byla na konci měření u všech vzorků vyšší, než tomu bylo na počátku měření.



Obrázek 13: Závislost relativní lepivosti taveného sýra s přídavkem tavicí soli CARN o různých koncentracích (1,5 – 3,0 %) na délce skladování

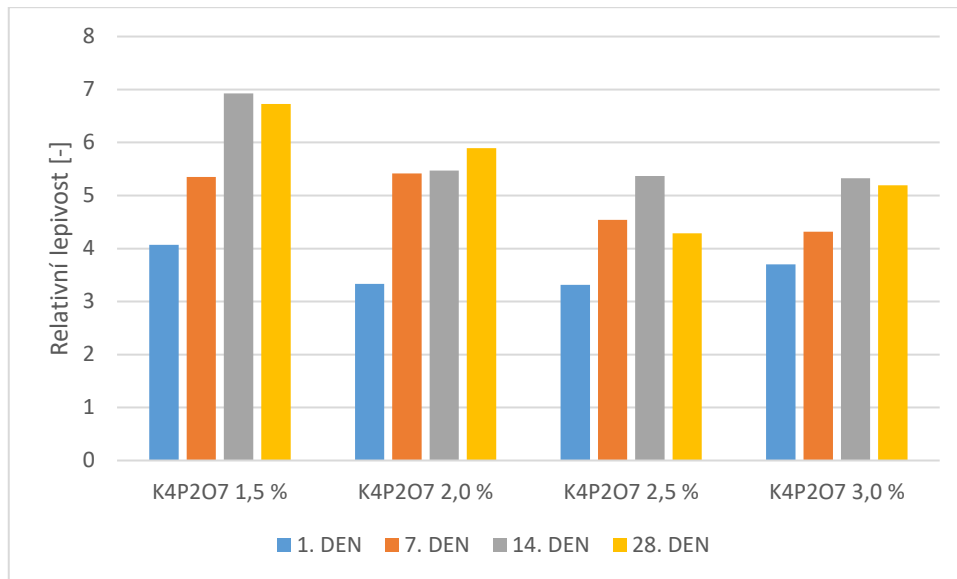
Průběh relativní lepivosti tavených výrobků s narůstajícími přídávky tavicí soli  $K_2HPO_4$  lze vyčíst z obrázku 14. Lze konstatovat, že nejvyšší relativní lepivost měl tavený sýr s 1,0 % přídávkem této soli a to 7. den skladování. Opakem byl výrobek s 2,5 % přídávkem, který vykazoval nejnižší lepivost. Se zvyšující se dávkou  $K_2HPO_4$  se snižovala lepivost výrobků.



Obrázek 14: Závislost relativní lepivosti taveného sýra s přídávkem tavicí soli  $K_2HPO_4$  o různých koncentracích (1,5 – 3,0 %) na délce skladování

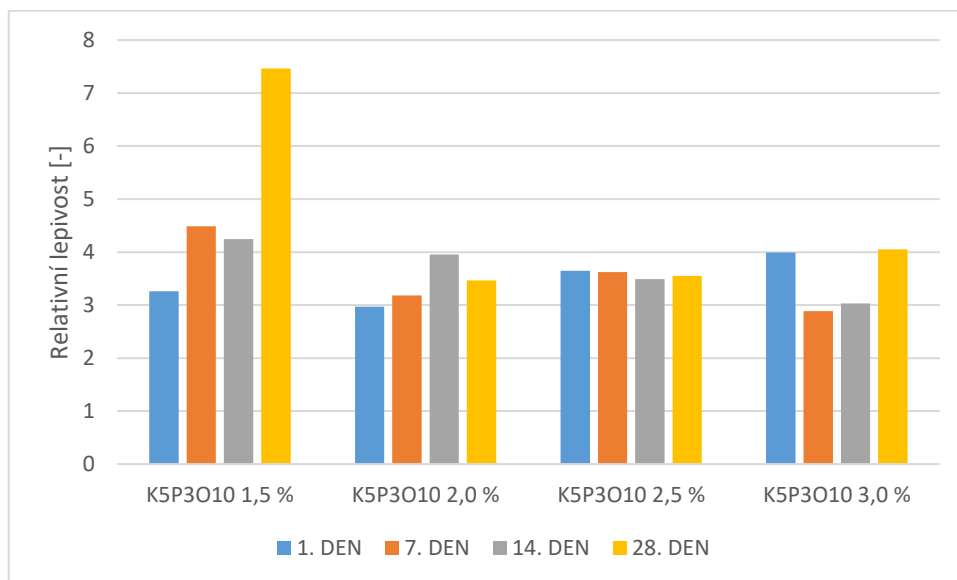


Z obrázku 15 lze vyčíst, že nejvyšší lepivost měl výrobek s 1,5 % přídavkem  $K_4P_2O_7$  a nejnižší lepivost vzorku byla po přídavku 2,5 % tavicí soli  $K_4P_2O_7$ . U všech vzorků tavených sýrů s touto solí byly hodnoty relativní lepivosti poslední den měření vyšší než na počátku. S narůstajícím přídavkem  $K_4P_2O_7$  došlo k mírnému poklesu sledovaného parametru.



Obrázek 15: Závislost relativní lepivosti taveného sýra s přídavkem tavicí soli  $K_4P_2O_7$  o různých koncentracích (1,5 – 3,0 %) na délce skladování

Relativní lepivost vzorků tavených sýrů s definovaným množstvím tavicí soli  $K_5P_3O_{10}$  byla nejvyšší s 1,5 % přídavkem 28. den skladování. Nejnižší relativní lepivost vykazovaly vzorky s 3,0 % přídavkem  $K_5P_3O_{10}$  7. den skladování.



Obrázek 16: Závislost relativní lepivosti taveného sýra s přídavkem tavicí soli  $K_5P_3O_{10}$  o různých koncentracích (1,5 – 3,0 %) na délce skladování

### 7.2.3 Výsledky soudržnosti

Zjištěné hodnoty soudržnosti se u vzorků tavených sýrů pohybovaly v průběhu 28denního skladování mezi 0,298 – 0,661. Během skladování se získaná data u výrobků s přídavkem tavicí soli CARN pohybovala v rozmezí 0,298 – 0,661, tyto hodnoty patří k nejnižším a zároveň k nejvyšším získaným hodnotám ze všech zkoumaných vzorků. Z tabulky 3 lze říct, že u výrobků s použitím soli  $K_2HPO_4$  bylo rozmezí hodnot během skladování mezi 0,442 – 0,588; s  $K_4P_2O_7$  mezi 0,447 – 0,599 a u vzorků s přídavkem  $K_5P_3O_{10}$  se hodnoty pohybovaly mezi 0,420 – 0,632.

Délka skladování měla vliv na tento sledovaný parametr a z jejího pozorování lze říct, že na konci měření měly vzorky tavených sýrů větší soudržnost než na počátku. Toto tvrzení je v souladu se studií Kycia, K. et al. [70], který dále tvrdí, že je soudržnost spojena s pevností vnitřních vazeb ve struktuře sýra. Vyšší soudržnost naznačuje, že struktura sýra se snadno nerozbije.

Zvyšující se přídavek jednotlivých tavicích solí neměl jednoznačně prokazatelný vliv na hodnoty soudržnosti.

Tabulka 3: Střední hodnoty soudržnosti [-] vzorků během 28 dnů skladování

Vzorek	1. den	7. den	14. den	28. den
CARN 1,0 %	0,556	0,625	0,661	0,644
CARN 1,5 %	0,298	0,596	0,462	0,628
CARN 2,0 %	0,378	0,571	0,593	0,609
CARN 2,5 %	0,386	0,582	0,550	0,633
CARN 3,0 %	0,450	0,568	0,576	0,599
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 1,0 %	0,459	0,463	0,485	0,450
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 1,5 %	0,468	0,463	0,482	0,482
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 2,0 %	0,491	0,555	0,552	0,571
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 2,5 %	0,442	0,553	0,541	0,588
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 3,0 %	0,503	0,557	0,580	0,585
K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 1,5 %	0,531	0,515	0,550	0,541
K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 2,0 %	0,447	0,486	0,501	0,491
K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 2,5 %	0,472	0,570	0,599	0,546
K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 3,0 %	0,450	0,504	0,514	0,547
K <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> 1,5 %	0,467	0,511	0,538	0,583
K <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> 2,0 %	0,420	0,526	0,516	0,537
K <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> 2,5 %	0,477	0,554	0,617	0,589
K <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> 3,0 %	0,499	0,564	0,548	0,632

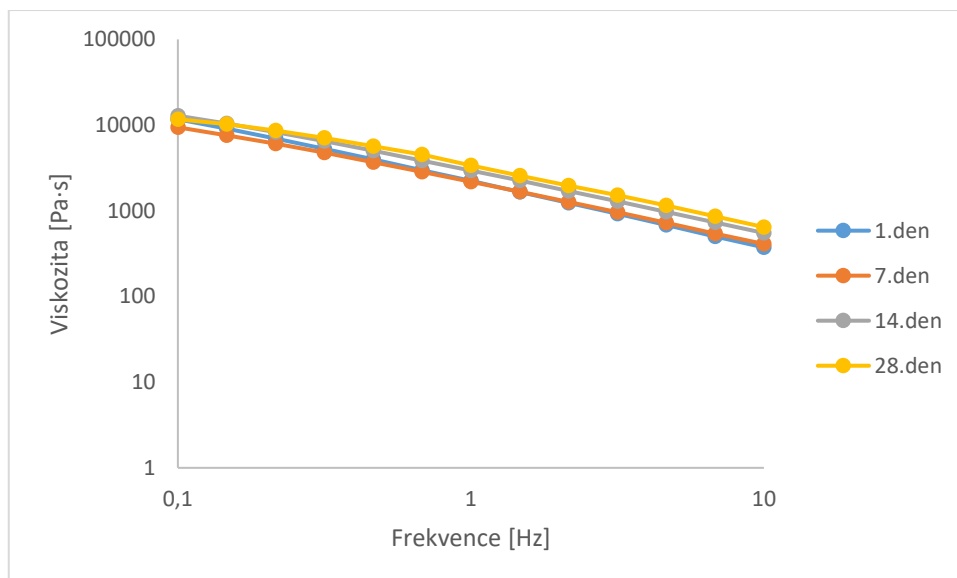
### 7.3 Výsledky reologické analýzy

Cílem práce bylo zjistit, jaký mají jednotlivé draselné tavicí soli o různých koncentracích vliv na viskoelastické vlastnosti tavených sýrů. Hodnoty, které se měřením získaly, byly vneseny do následujících tabulek a grafů.

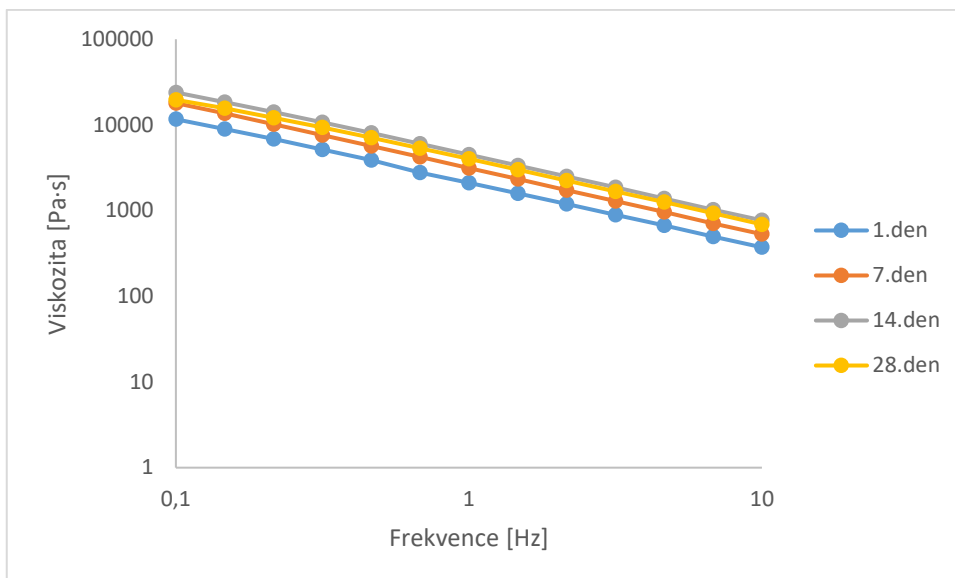
Tavený sýr je z reologického hlediska viskoelastický materiál a má jak viskózní, tak elastické vlastnosti. Pomocí reologické analýzy byla stanovena komplexní viskozita,  $G'$  (elastický modul pružnosti) a  $G''$  (ztrátový modul pružnosti). Z těchto dat lze poté vypočítat  $G^*$  (komplexní modul pružnosti) a  $\tan \delta$  (tangens úhlu fázového posunu). Díky získaným údajům lze pak charakterizovat fyzikální vlastnosti výrobků. [44]

Na obrázku 17-34 jsou znázorněny výsledky závislosti komplexní viskozity na frekvenci pro jednotlivé vzorky tavených sýrů. Viskozita je významným parametrem při popisování schopnosti vzorku téct / proudit. Frekvenční rozmítání vzorků ukázalo rozdíl v jejich viskoelastických vlastnostech. Bylo prokázáno, že se zvyšující se frekvencí viskozita modelových vzorků prudce klesala. Obecně lze ze získaných výsledků shrnout, že se výsledky tavených sýrů lišily podle množství přídavku vybraných tavicích solí, tyto závěry byly popsány i ve studii Salek *et al.* [6]

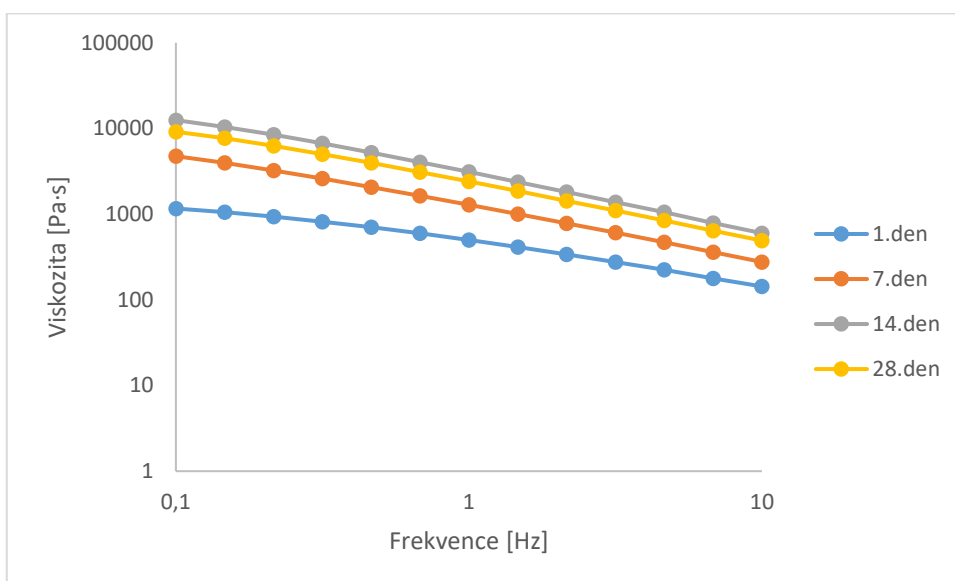
Výsledky závislosti komplexní viskozity na frekvenci pro tavicí sůl CARN o různých koncentracích jsou uvedeny na obrázku 17-21. Nejvyšší viskozitu měl vzorek s 1,5 % tavicí soli CARN 14. den skladování. Tento den měření vykazoval pro všechny vzorky s touto solí nejvyšší hodnoty sledovaného parametru. U všech vzorků byla komplexní viskozita nejnižší jejich 1. den skladování, dalším skladováním viskozita rostla. Viskozita se u těchto vzorků lišila v závislosti na přídavku této soli, na délce skladování a také zvyšující se frekvenci. Stejně řešení bylo ve studii Bartosz G. Sołowiej *et al.* [5] Jak už bylo popsáno výše, s rostoucí frekvencí viskozita všech vzorků klesala. Rostoucí přídavek této soli neměl jednoznačný vliv na sledovaný parametr.



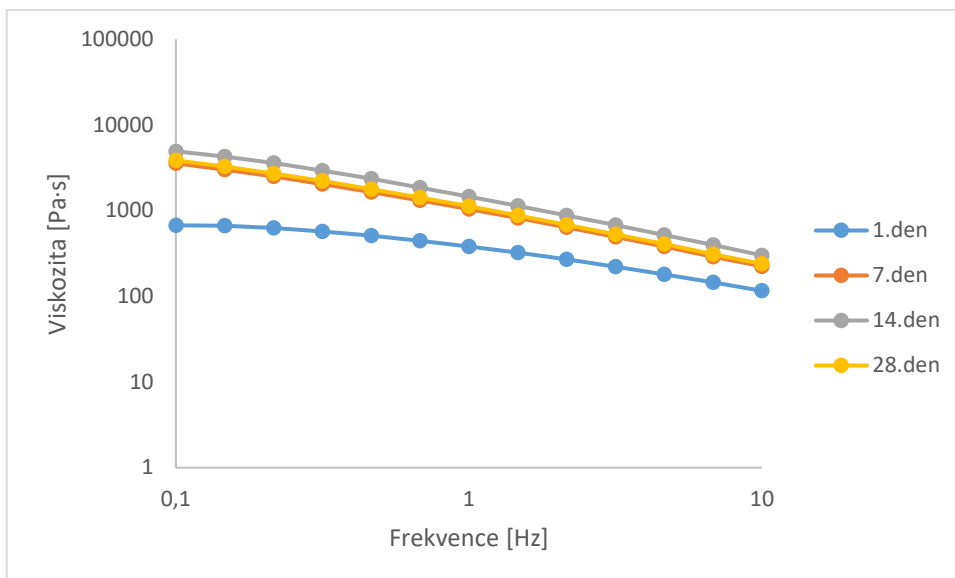
Obrázek 17: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí CARN o množství 1,0 %



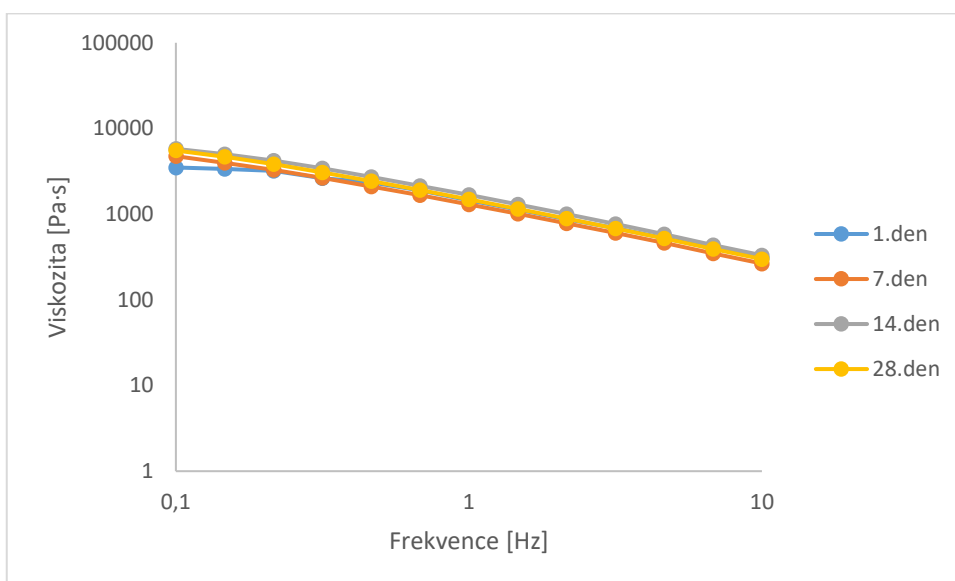
Obrázek 18: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí CARN o množství 1,5 %



Obrázek 19: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí CARN o množství 2,0 %



Obrázek 20: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí CARN o množství 2,5 %

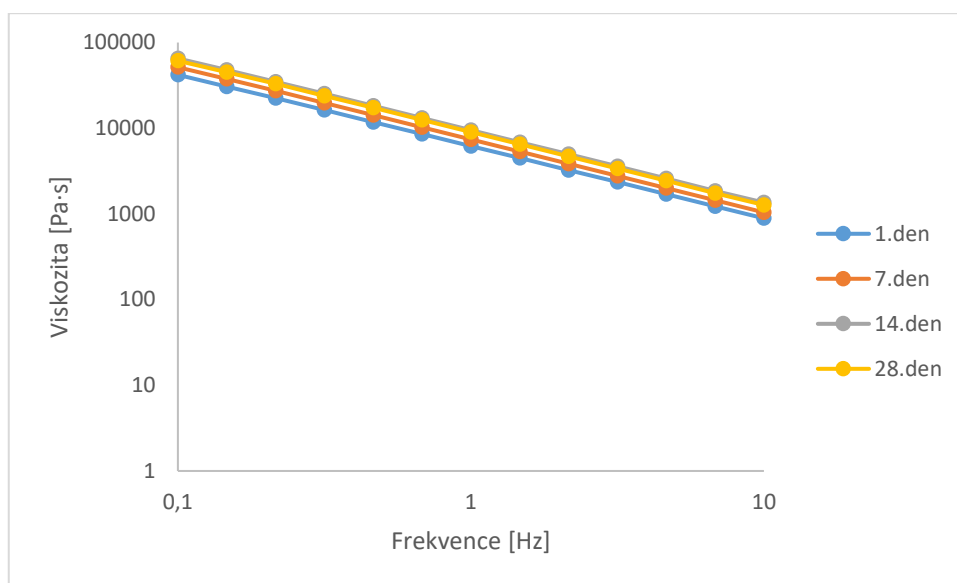


Obrázek 21: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí CARN o množství 3,0 %

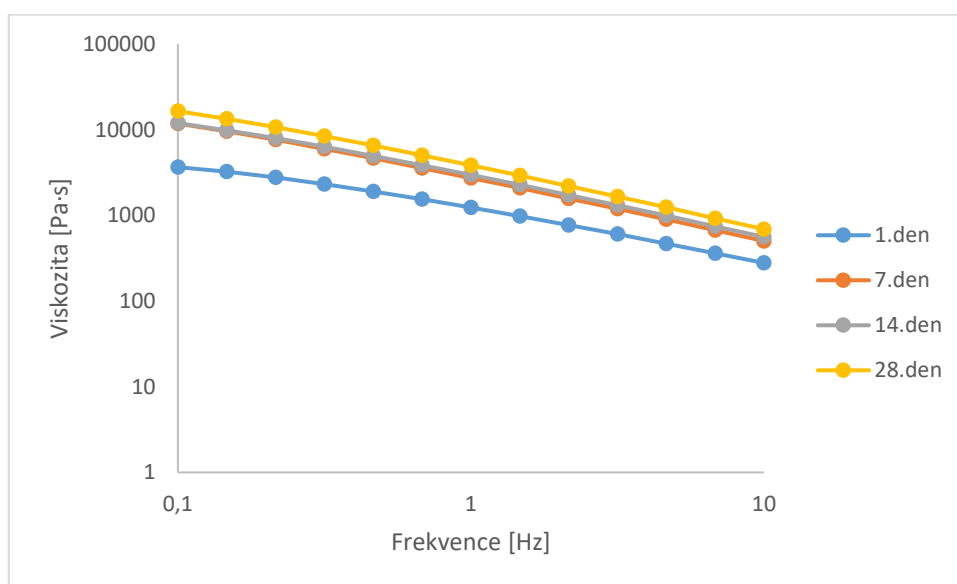
Na obrázku 22-26 je znázorněna závislost komplexní viskozity na frekvenci pro tavicí sůl  $K_2HPO_4$ . Nejvyšší hodnoty byly naměřeny u 1,0 % přídávku této soli. Ostatní dávky (1,5 – 3,0 %) měly podobně vysoké hodnoty, avšak několikanásobně nižší, než hodnoty u soli s 1,0 % přídávkem. Ve studii Glibowski, Zarzycki a Krzepkowska [71] se uvádí, že viskozita a tvrdost vzájemně korelují. V tomto experimentu tvrdost tavených

výrobků s rostoucím množstvím přidané soli klesala, stejných výsledků bylo dosaženo také u parametru pro komplexní viskozitu. Tím byla studie Glibowski, Zarcycki a Krzpekowska [71] potvrzena.

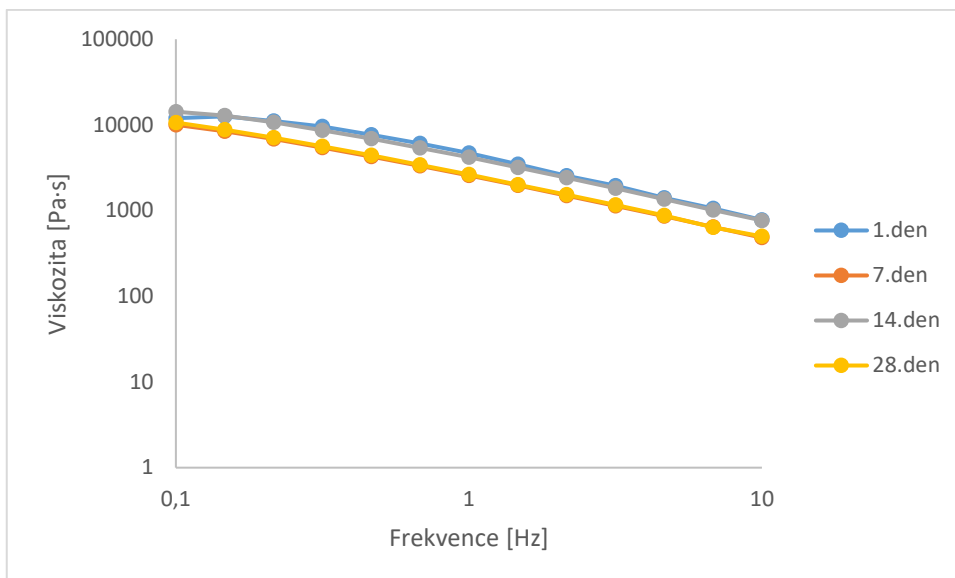
S rostoucí frekvencí tyto hodnoty klesaly, s rostoucí délkou skladování viskozita naopak, až na výjimky ( $K_2HPO_4$  o množství 2,0 %), rostla.



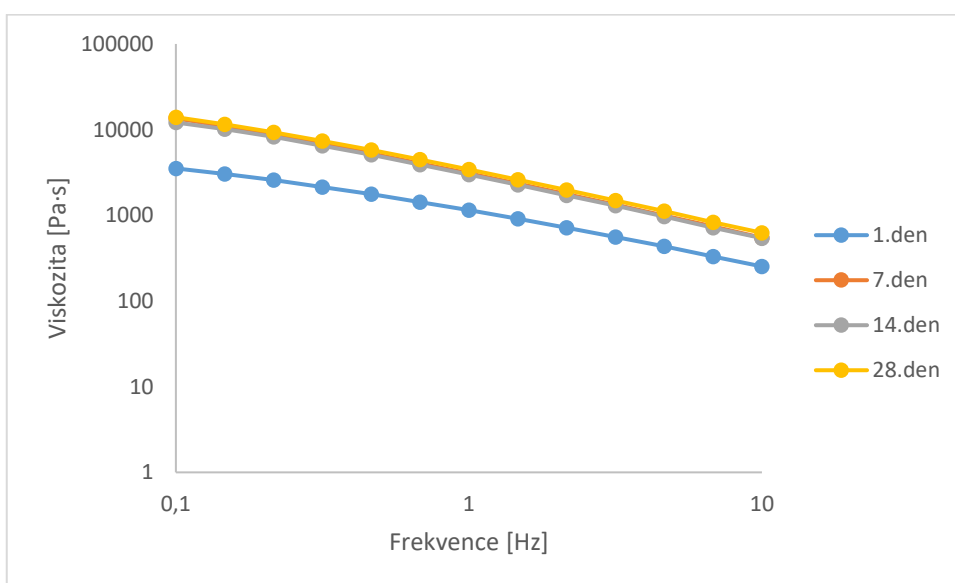
Obrázek 22: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí  $K_2HPO_4$  o množství 1,0 %



Obrázek 23: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí  $K_2HPO_4$  o množství 1,5 %

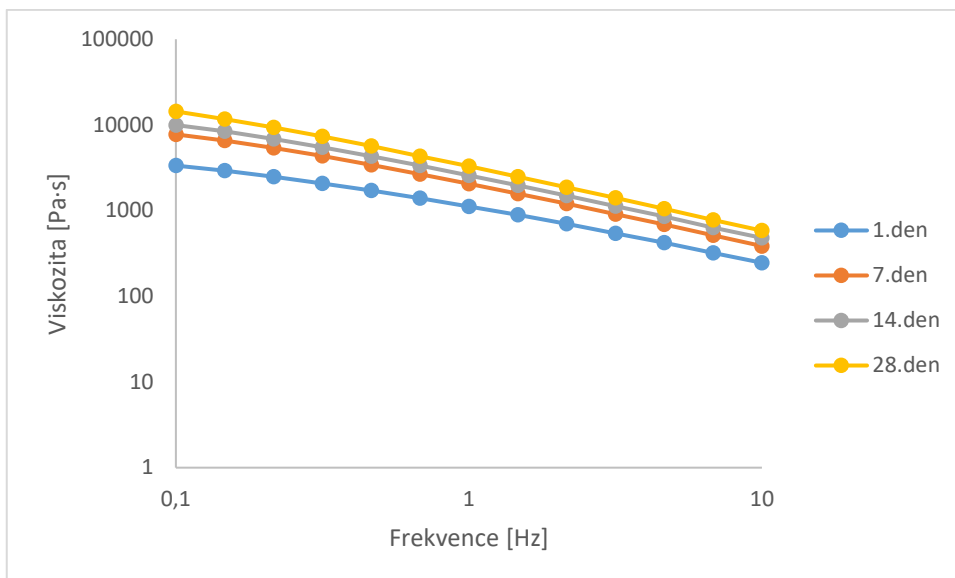


Obrázek 24: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> o množství 2,0 %



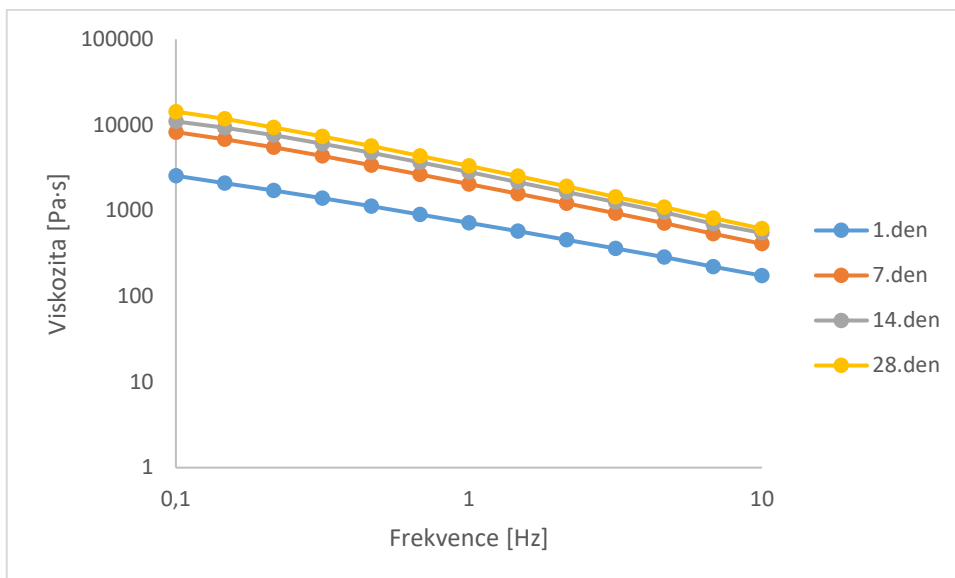
Obrázek 25: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> o množství 2,5 %



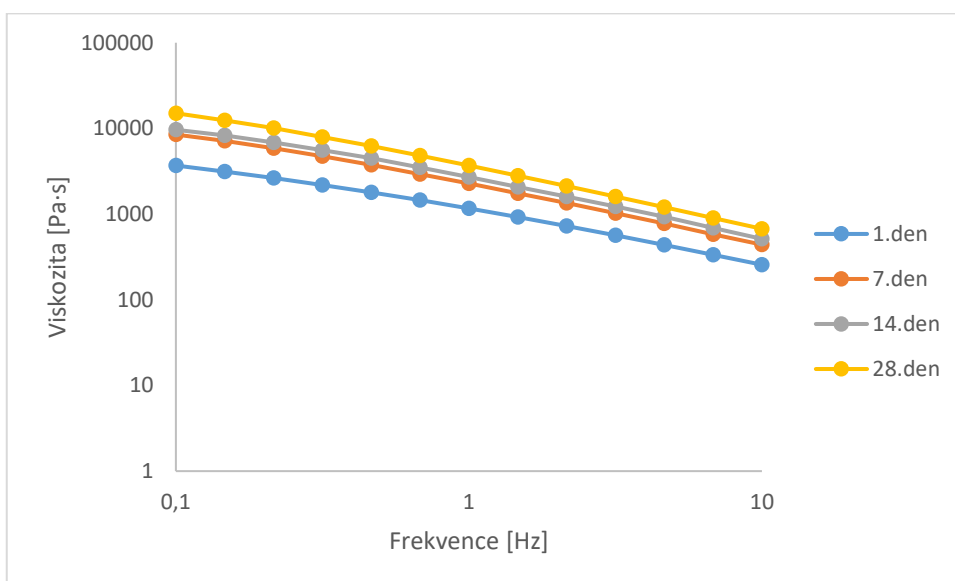


Obrázek 26: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> o množství 3,0 %

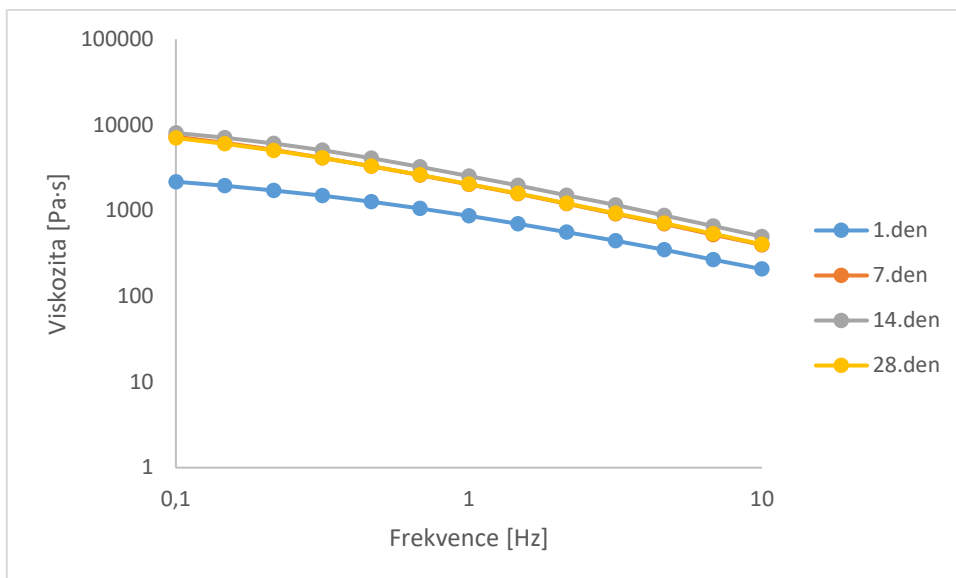
Obrázek 27-30 znázorňuje hodnoty komplexní viskozity pro tavicí sůl K<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. Délka skladování měla na tyto hodnoty viditelný vliv; nejvyšší hodnoty měly vzorky na konci měření. Ze získaných výsledků je patrné, že nejvyšší hodnoty byly naměřeny u vzorků s 3,0 % množstvím této soli, které 14. den experimentu dosahovaly až 18 490,71 Pa·s. U všech vzorků byla stanovena nejnižší viskozita první den měření, s délkou skladování však rostla. Komplexní viskozita byla měřena v různých hodnotách frekvence, s rostoucí frekvencí její úroveň klesala.



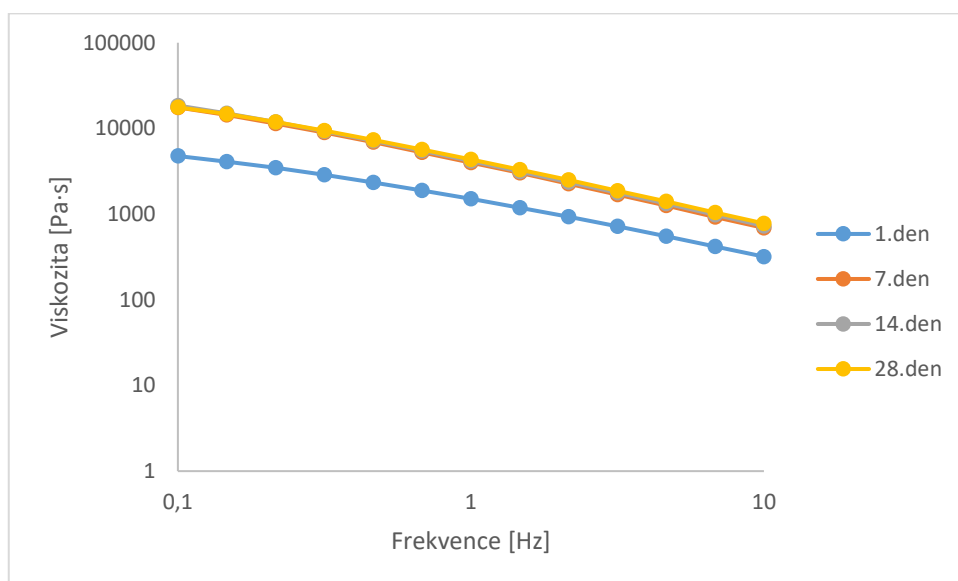
Obrázek 27: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí  $K_4P_2O_7$  o množství 1,5 %



Obrázek 28: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí  $K_4P_2O_7$  o množství 2,0 %



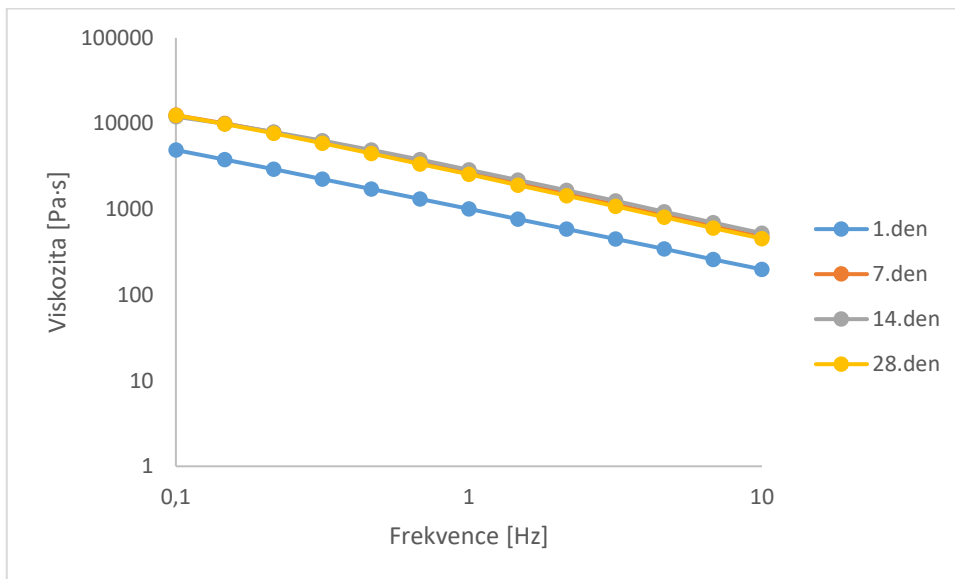
Obrázek 29: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí K<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> o množství 2,5 %



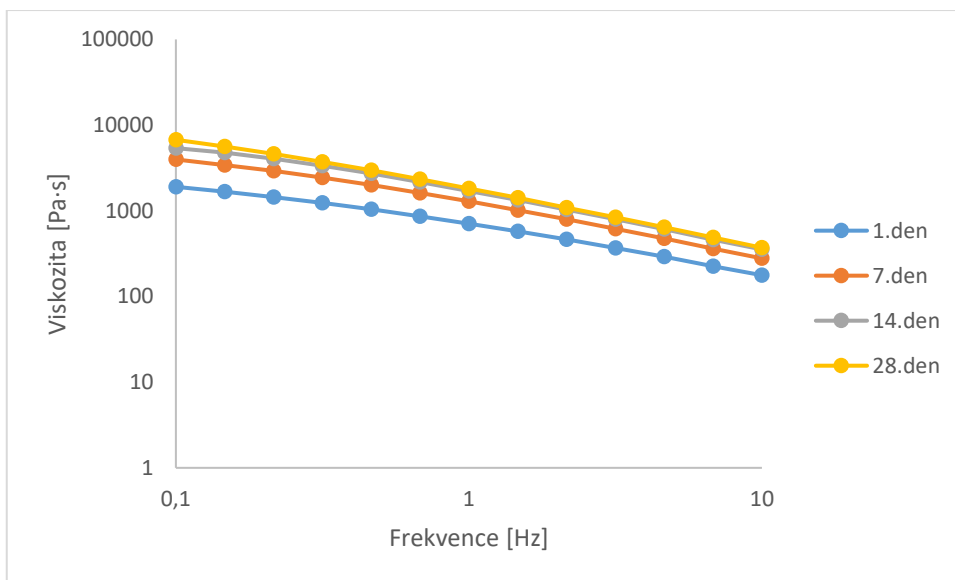
Obrázek 30: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí K<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> o množství 3,0 %

Obrázek 31-34 popisuje komplexní viskozitu pro vzorky s přidavky tavicí soli K<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub>. Tak, jako tomu bylo u předešlých tavicích solí, toto měření probíhalo v různých hodnotách frekvence. S rostoucí hodnotou frekvence viskozita u všech vzorků klesala. Tavené sýry se sledovaly po dobu 28 dní, kdy nejnižší viskozita byla prokazatelná u všech vzorků s K<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub> první den skladování. S délkou skladování sledovaný parametr rostl. Na

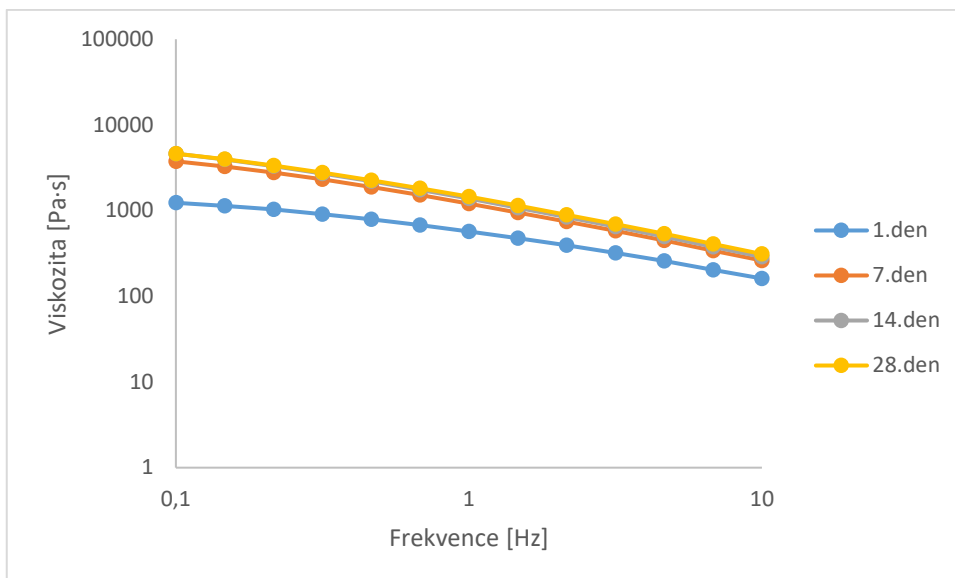
hodnotu komplexní viskozity nebyl zaznamenán jednoznačný vliv rostoucího přídávku této tavicí soli.



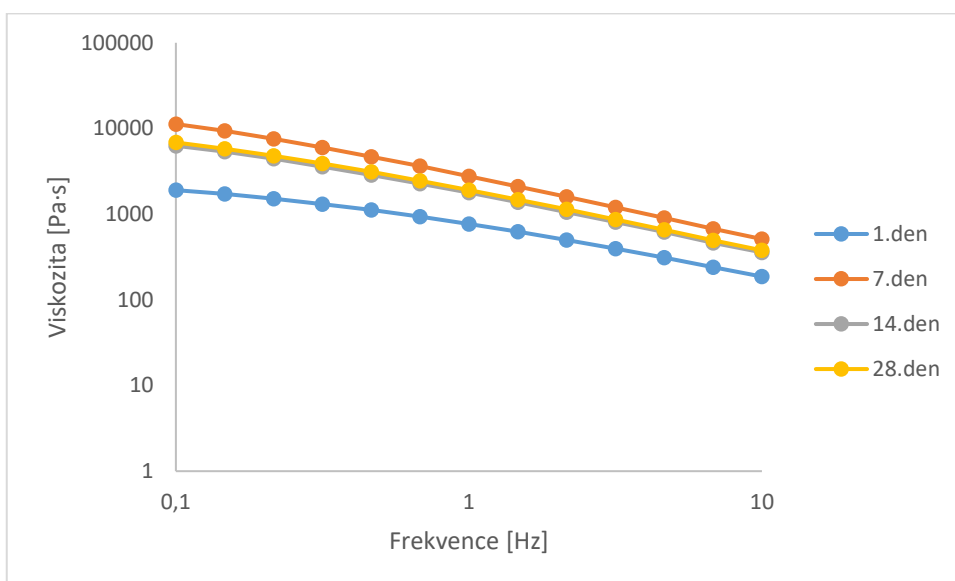
Obrázek 31: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí  $K_5P_3O_{10}$  o množství 1,5 %



Obrázek 32: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí  $K_5P_3O_{10}$  o množství 2,0 %



Obrázek 33: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí  $K_5P_3O_{10}$  o množství 2,5 %



Obrázek 34: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí  $K_5P_3O_{10}$  o množství 3,0 %

Elastický a ztrátový modul pružnosti slouží jako cenné nástroje k vyjádření intenzity elastického a viskózního chování viskoelastických materiálů, jakými jsou právě zkoumané tavené sýry [6]. Pokud má elastický modul pružnosti vyšší hodnoty než ztrátový modul ( $G' > G''$ ), tavené sýry mají elastické vlastnosti. Když je tento vztah inverzní, výsledný produkt má viskózní chování. [5] Údaje z tabulky 4 - 7 ukazují závislost  $G'$  a  $G''$

modelových vzorků tavených sýrů (s vybranými druhy tavicích solí o jejich rostoucím množství).

Byl pozorován vliv jednotlivých množství tavicích solí na pevnost tavených výrobků. Ve studii [68] se uvádí, že při zvyšování koncentrací sodných tavicích solí nad 1,0 % pevnost tavených sýrů klesá, což bylo také potvrzeno při použití draselných solí v této práci. Lu, Y. J., Shirashoji *et al.* [17] tvrdí, že pokud by byla použita velmi nízká koncentrace tavicí soli, byla by hodnota elastického modulu pružnosti u takového taveného sýra nízká. To naznačuje, že nejnižší přidaná dávka tavicích solí byla v této práci dostatečná.

Z výsledků vyjádřených v tabulce 4 je zřejmé, že vzorky tavených sýrů s přídavkem tavicí soli CARN vykazovaly v průběhu skladování elastické chování. To vyplývá z hodnot pro elastický a ztrátový modul pružnosti, kdy právě elastický modul byl, až na dvě výjimky, nad hodnotami ztrátového modulu pružnosti. První den skladování byly vzorky s 2,0 % a 2,5 % přídavky této tavicí soli oproti jiným méně tuhé, naopak vzorky s nejvyšší pevností byly s 1,0 % a 1,5 % množstvím soli CARN. Ze získaných výsledků lze tvrdit, že došlo v průběhu skladování k tuhnutí sýrové matrice. Tento jev byl také popsán ve studii Bartosz G. Sołowiej *et al* [5] a Lucey, J.A. *et al.* [25].

S rostoucím přídavkem této tavicí soli došlo ke snížení  $G'$  a  $G''$  hodnot, což značí, že se gelová struktura vzorku oslabila, a to způsobilo vytvoření méně elastického systému. Sádliková *et al.* [72] uvedli, že méně pevné struktury sýra jsou způsobeny zejména tím, že použité tavicí soli nemají takovou schopnost odštěpení a navázání si na sebe vápenaté ionty, což mohlo být příčinou i u vzorků s přídavky komerční fosfátové směsi CARNESAL. Získané hodnoty však celkově dokazují schopnost tavicí soli CARN tvořit pevné a stabilní gely.

Tabulka 4: Získané hodnoty  $G'$  (elastický modul pružnosti),  $G''$  (ztrátový modul pružnosti) a  $\tan \delta$  (tangens úhlu fázového posunu) při frekvenci 1 Hz u tavených sýrů s tavicí solí CARN během 28 dnů skladování

tavicí sůl	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$G^*$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]
1.den				
CARN 1,0 %	16 165 ± 1 157	5 938 ± 716	15 616 ± 1 271	0,3715 ± 0,0058
CARN 1,5 %	11 596 ± 1 099	4 626 ± 306	12 485 ± 1 134	0,3995 ± 0,0114
CARN 2,0 %	1 898 ± 441	2 050 ± 247	2 795 ± 481	1,0944 ± 0,1237
CARN 2,5 %	1 345 ± 287	1 653 ± 247	2 132 ± 372	1,2374 ± 0,0803
CARN 3,0 %	5 288 ± 375	3 402 ± 145	6 320 ± 392	0,7298 ± 0,0244
7.den				
CARN 1,0 %	11 735 ± 812	5 841 ± 280	13 109 ± 852	0,4981 ± 0,0106
CARN 1,5 %	18 992 ± 688	7 003 ± 274	20 242 ± 741	0,3687 ± 0,0011
CARN 2,0 %	7 436 ± 975	6 458 ± 390	8 775 ± 1034	0,6284 ± 0,0299
CARN 2,5 %	5 639 ± 368	3 788 ± 124	6 794 ± 375	0,6725 ± 0,0219
CARN 3,0 %	7 354 ± 504	4 409 ± 248	8 575 ± 560	0,5998 ± 0,0074
14.den				
CARN 1,0 %	18 860 ± 1 962	8 796 ± 1 177	20 811 ± 2 185	0,4673 ± 0,0110
CARN 1,5 %	27 338 ± 1 099	9 865 ± 136	29 064 ± 1080	0,3610 ± 0,0096
CARN 2,0 %	14 966 ± 1 583	7 797 ± 1 219	16 880 ± 1 740	0,5264 ± 0,0446
CARN 2,5 %	7 408 ± 544	4 704 ± 117	8 777 ± 522	0,6361 ± 0,0308
CARN 3,0 %	8 629 ± 751	4 943 ± 275	9 945 ± 788	0,5736 ± 0,0181
28.den				
CARN 1,0 %	16 493 ± 1 631	8 417 ± 1 388	18 519 ± 1 864	0,5135 ± 0,0289
CARN 1,5 %	22 287 ± 1 837	8 544 ± 710	23 869 ± 1970	0,3833 ± 0,0002
CARN 2,0 %	12 638 ± 844	6 903 ± 477	14 400 ± 969	0,5462 ± 0,0012
CARN 2,5 %	9 107 ± 581	5 107 ± 708	10 457 ± 822	0,5881 ± 0,0109
CARN 3,0 %	9 408 ± 192	5 203 ± 427	10 752 ± 1017	0,5563 ± 0,0324

Z tabulky 5 vyplývá, že vzorky tavených sýrů za použití tavicí soli  $K_2HPO_4$  tvořily pevné a stabilní gely. Nejpevnějším byl vzorek s přídavkem 1,0 % této soli, který během skladování ještě tuhnul. Všechny vzorky vykazovaly poslední den měření vyšší tuhost než na počátku. Ve studii Guinee, T.P. [32] byl popsán vliv zvýšení pH zvyšujícím se přídavkem tavicích solí, který bývá obvykle doprovázen poklesem elastických vlastností a zvýšením tekutosti (projevuje se zvýšením  $\tan \delta$ ) tavených sýrů. V tomto experimentu bylo dokázáno, že se s rostoucími přídavky  $K_2HPO_4$  zvyšovaly hodnoty pH (viz výsledky základní chemické analýzy), a zároveň i hodnoty tangens úhlu fázového posunu, čímž byla tato studie potvrzena.

Tabulka 5: Získané hodnoty  $G'$  (elastický modul pružnosti),  $G''$  (ztrátový modul pružnosti) a  $\tan \delta$  (tangens úhlu fázového posunu) při frekvenci 1 Hz u tavených sýrů s tavicí solí  $K_2HPO_4$  během 28 dnů skladování

tavicí sůl	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$G^*$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]
1.den				
$K_2HPO_4$ 1,0 %	36 598 ± 1 749	8 619 ± 339	37 599 ± 1 780	0,2355 ± 0,0020
$K_2HPO_4$ 1,5 %	7 242 ± 1 391	4 975 ± 542	8 789 ± 1 453	0,6926 ± 0,0582
$K_2HPO_4$ 2,0 %	16 737 ± 1 523	7 406 ± 1 332	18 409 ± 1 564	0,5564 ± 0,0249
$K_2HPO_4$ 2,5 %	6 128 ± 485	4 438 ± 182	7 567 ± 500	0,7252 ± 0,0278
$K_2HPO_4$ 3,0 %	6 555 ± 1 306	4 635 ± 596	8 030 ± 1 410	0,7121 ± 0,0510
7.den				
$K_2HPO_4$ 1,0 %	45 906 ± 826	10 179 ± 212	47 020 ± 582	0,2217 ± 0,0006
$K_2HPO_4$ 1,5 %	14 617 ± 996	7 555 ± 302	16 454 ± 1 023	0,5174 ± 0,0146
$K_2HPO_4$ 2,0 %	14 549 ± 315	7 374 ± 35	16 311 ± 297	0,5069 ± 0,0086
$K_2HPO_4$ 2,5 %	18 261 ± 950	8 365 ± 286	20 085 ± 983	0,4583 ± 0,0082
$K_2HPO_4$ 3,0 %	10 952 ± 646	5 953 ± 252	12 466 ± 688	0,5439 ± 0,0090
14.den				
$K_2HPO_4$ 1,0 %	54 844 ± 496	12 436 ± 1 179	56 236 ± 2 098	0,2267 ± 0,0010
$K_2HPO_4$ 1,5 %	15 857 ± 1 003	8 170 ± 433	17 838 ± 1 090	0,5154 ± 0,0053
$K_2HPO_4$ 2,0 %	19 436 ± 1 361	9 361 ± 953	21 582 ± 1 148	0,4901 ± 0,0514
$K_2HPO_4$ 2,5 %	16 942 ± 110	8 389 ± 238	18 906 ± 205	0,4951 ± 0,0108
$K_2HPO_4$ 3,0 %	14 101 ± 487	7 045 ± 338	15 763 ± 587	0,4995 ± 0,067
28.den				
$K_2HPO_4$ 1,0 %	53 847 ± 1 909	11 867 ± 294	55 139 ± 1 927	0,2204 ± 0,0024
$K_2HPO_4$ 1,5 %	21 935 ± 50	10 150 ± 248	24 171 ± 59	0,4627 ± 0,0124
$K_2HPO_4$ 2,0 %	16 291 ± 1 195	8 149 ± 961	18 216 ± 2 393	0,5008 ± 0,0085
$K_2HPO_4$ 2,5 %	18 747 ± 1 109	8 926 ± 351	20 764 ± 1 152	0,4764 ± 0,0095
$K_2HPO_4$ 3,0 %	17 272 ± 2 253	8 065 ± 551	19 065 ± 2 274	0,4688 ± 0,0292

Ze získaných výsledků pro tavicí sůl  $K_4P_2O_7$  lze tvrdit, že tato sůl tvořila pevné a stabilní výrobky. Hodnoty pro tangens úhlu fázové posunu byly pro každý vzorek do hodnoty 1, z čehož vyplývá, že se tyto modelové vzorky chovaly jako tuhé gely, viz tabulka 6. Skladováním došlo u všech vzorků s  $K_4P_2O_7$  ke zvýšení tuhosti. Navyšováním množství této tavicí soli došlo k poklesu elastických vlastností. Tyto údaje jsou v souladu s údaji [68], kde se tvrdí, že rostoucí přídatky této sodné soli vedly ke tvorbě méně pevné struktury.

Vzorky s přídatky tavicí soli  $K_5P_3O_{10}$  tvořily podle hodnot z tabulky 7 pevné gely. První den skladování byly tyto výrobky nejméně tuhé, avšak jejich tuhost se během



skladování zvýšila. S rostoucím přídavkem tavicí soli  $K_5P_3O_{10}$  bylo dosaženo stejných vlastností vzorků, které byly popsány v minulém odstavci u tavicí soli  $K_4P_2O_7$ .

Tabulka 6: Získané hodnoty  $G'$  (elastický modul pružnosti),  $G''$  (ztrátový modul pružnosti) a  $\tan \delta$  (tangens úhlu fázového posunu) při frekvenci 1 Hz u tavených sýrů s tavicí solí  $K_4P_2O_7$  během 28 dnů skladování

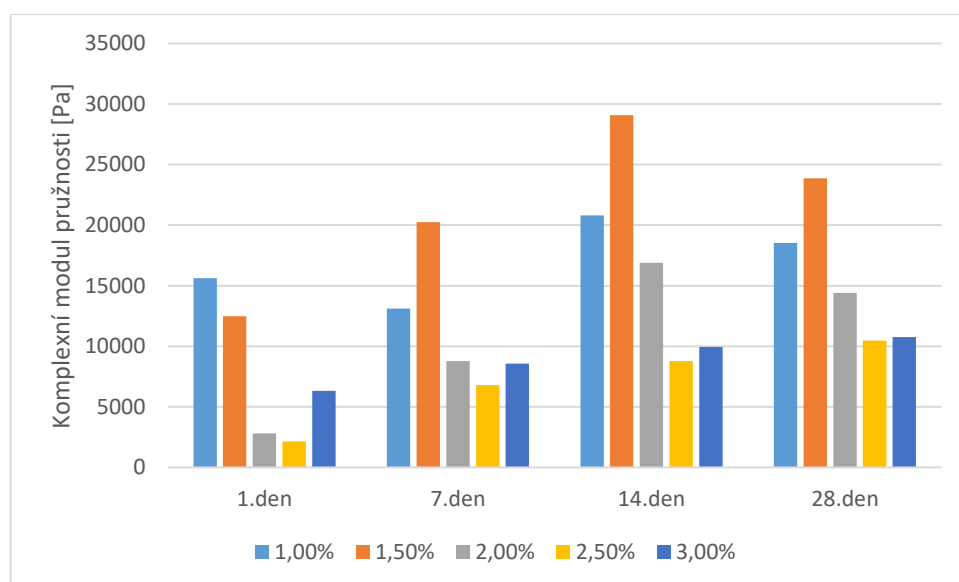
tavicí sůl	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$G^*$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]
1.den				
$K_4P_2O_7$ 1,5 %	18 992 ± 688	7 002 ± 274	20 242 ± 740	0,3687 ± 0,0011
$K_4P_2O_7$ 2,0 %	7 436 ± 975	4 658 ± 390	8 775 ± 1 034	0,6284 ± 0,0299
$K_4P_2O_7$ 2,5 %	5 639 ± 368	3 788 ± 124	6 794 ± 375	0,6725 ± 0,0220
$K_4P_2O_7$ 3,0 %	7 354 ± 504	4 409 ± 248	8 575 ± 560	0,5998 ± 0,0074
7.den				
$K_4P_2O_7$ 1,5 %	12 361 ± 1 039	6 402 ± 519	13 921 ± 1517	0,5190 ± 0,0184
$K_4P_2O_7$ 2,0 %	12 249 ± 281	6 976 ± 78	14 097 ± 283	0,5696 ± 0,0067
$K_4P_2O_7$ 2,5 %	10 403 ± 775	6 270 ± 303	12 147 ± 820	0,6033 ± 0,0159
$K_4P_2O_7$ 3,0 %	21 773 ± 1 057	9 700 ± 455	23 837 ± 1090	0,4461 ± 0,0151
14.den				
$K_4P_2O_7$ 1,5 %	19 201 ± 1 655	8 789 ± 1 471	21 121 ± 1 843	0,4620 ± 0,0354
$K_4P_2O_7$ 2,0 %	15 712 ± 1 079	8 337 ± 468	17 788 ± 1 172	0,5308 ± 0,0067
$K_4P_2O_7$ 2,5 %	13 235 ± 1 013	7 439 ± 331	15 183 ± 1 045	0,5637 ± 0,0181
$K_4P_2O_7$ 3,0 %	24 632 ± 1 182	10 561 ± 48	16 803 ± 1 067	0,4293 ± 0,0226
28.den				
$K_4P_2O_7$ 1,5 %	19 679 ± 1 078	9 019 ± 427	21 648 ± 1 158	0,4584 ± 0,0034
$K_4P_2O_7$ 2,0 %	21 137 ± 564	10 329 ± 193	23 526 ± 592	0,4887 ± 0,0039
$K_4P_2O_7$ 2,5 %	10 831 ± 287	6 479 ± 130	12 621 ± 313	0,5982 ± 0,0039
$K_4P_2O_7$ 3,0 %	26 298 ± 2 052	11 172 ± 107	28 577 ± 1 930	0,4260 ± 0,0292

Tabulka 7: Získané hodnoty  $G'$  (elastický modul pružnosti),  $G''$  (ztrátový modul pružnosti) a  $\tan \delta$  (tangens úhlu fázového posunu) při frekvenci 1 Hz u tavených sýrů s tavící solí  $K_5P_3O_{10}$  během 28 dnů skladování

tavící sůl	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$G^*$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]
1.den				
$K_5P_3O_{10}$ 1,5 %	5 405 ± 388	2 711 ± 143	6 047 ± 411	0,5020 ± 0,0095
$K_5P_3O_{10}$ 2,0 %	2 863 ± 649	2 822 ± 216	4 026 ± 612	1,0030 ± 0,1519
$K_5P_3O_{10}$ 2,5 %	2 924 ± 199	2 923 ± 410	4 136 ± 430	0,9972 ± 0,0724
$K_5P_3O_{10}$ 3,0 %	3 918 ± 551	3 489 ± 293	5 247 ± 606	0,8939 ± 0,0509
7.den				
$K_5P_3O_{10}$ 1,5 %	14 362 ± 637	6 104 ± 540	15 605 ± 1 478	0,4251 ± 0,0031
$K_5P_3O_{10}$ 2,0 %	7 013 ± 499	4 768 ± 211	8 480 ± 531	0,6805 ± 0,0184
$K_5P_3O_{10}$ 2,5 %	5 819 ± 414	4 339 ± 194	7 259 ± 448	0,7463 ± 0,0197
$K_5P_3O_{10}$ 3,0 %	15 040 ± 603	7 830 ± 176	16 957 ± 616	0,5208 ± 0,0092
14.den				
$K_5P_3O_{10}$ 1,5 %	19 628 ± 1 336	8 481 ± 589	21 384 ± 1 546	0,4347 ± 0,0232
$K_5P_3O_{10}$ 2,0 %	9 477 ± 451	5 945 ± 565	11 188 ± 682	0,6266 ± 0,0298
$K_5P_3O_{10}$ 2,5 %	7 147 ± 61	4 866 ± 13	8 647 ± 58	0,6808 ± 0,0039
$K_5P_3O_{10}$ 3,0 %	9 687 ± 187	5 806 ± 74	11 293 ± 199	0,5994 ± 0,0039
28.den				
$K_5P_3O_{10}$ 1,5 %	16 460 ± 1 334	6 710 ± 895	17 775 ± 1 499	0,4079 ± 0,0034
$K_5P_3O_{10}$ 2,0 %	10 154 ± 490	6 080 ± 215	11 835 ± 531	0,5989 ± 0,0078
$K_5P_3O_{10}$ 2,5 %	7 913 ± 496	5 285 ± 226	9 516 ± 538	0,6682 ± 0,0133
$K_5P_3O_{10}$ 3,0 %	10 275 ± 86	6 072 ± 66	11 935 ± 107	0,5910 ± 0,0014

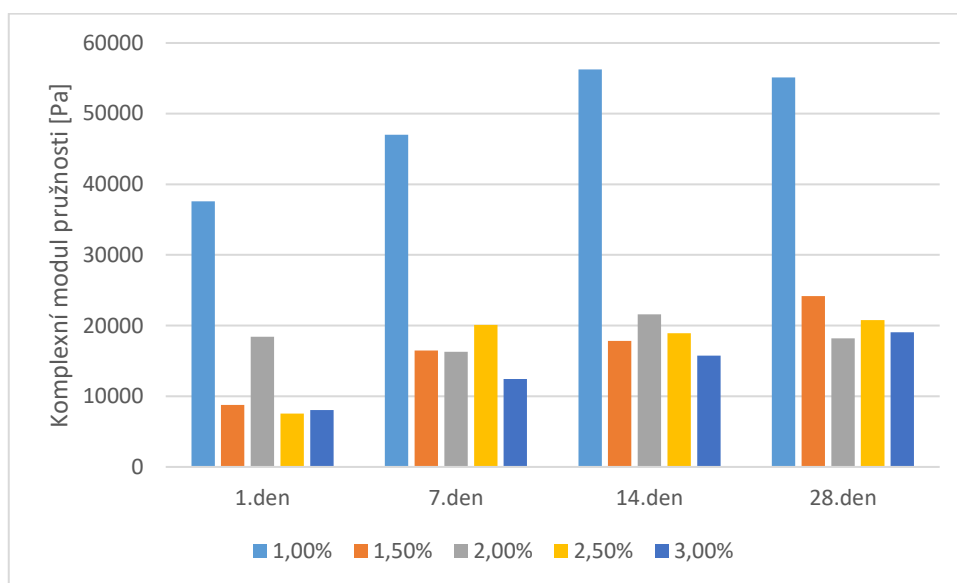
Na obrázku 35-38 lze vidět závislost komplexního modulu pružnosti na době skladování pro vzorky s různými přídávky zvolených tavicích solí. Komplexní modul pružnosti představuje celkový odpor vzorku k dané deformaci.

Vzorky tavených sýrů s přídávky (1 – 3 %) tavicí soli CARN znázorňuje obrázek 35. Nejvyšší hodnoty  $G^*$  měly vzorky s 1,5 % množstvím této soli, podobně vysoké hodnoty měly i vzorky s její 1,0 % dávkou. Na jmenovaném obrázku je patrný trend vzrůstu hodnot komplexního modulu pružnosti u všech koncentrací této soli až do 14. dne skladování, poté došlo k nepatrnému poklesu. Výjimkou byly vzorky s 2,5 % a 3,0 % množstvím soli CARN, u kterých sledovaný parametr rostl do posledního dne měření. Obrázek 35 však dokazuje, že všechny zkoumané vzorky s tavicí soli CARN měly na konci měření vyšší hodnoty komplexního modulu pružnosti, než tomu bylo první den.



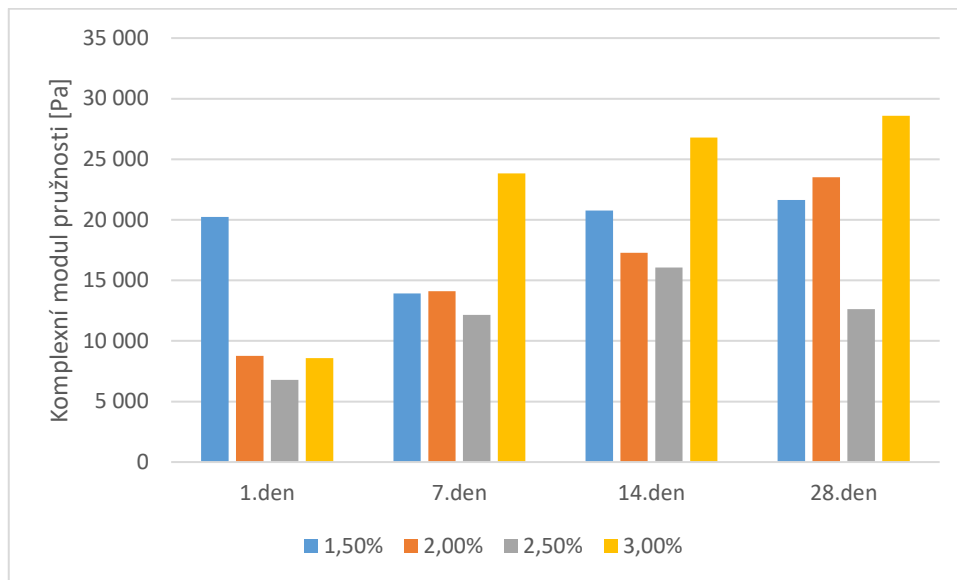
Obrázek 35: Závislost  $G^*$  (komplexní modul pružnosti) modelových vzorků tavených sýrů s přídávkem tavicí soli CARN o různých koncentracích [1,0 %; 1,5 %; 2,0 %; 2,5 % a 3,0 % (w/w)] na době skladování

Na obrázku 36 lze vidět závislost komplexního modulu pružnosti vzorků tavených sýrů s přidavky tavicí soli  $K_2HPO_4$  během 28denního skladování. Nejvyšší hodnoty vykazovaly vzorky s 1,0 % přidavkem této soli, zároveň tyto hodnoty patří k celkově nejvyšším ze všech zkoumaných vzorků. Získané hodnoty komplexního modulu pružnosti pro tavený sýr s přidavkem  $K_2HPO_4$  byly na konci skladování vyšší než první den měření. K výjimce došlo u vzorku s 2,0 % přidavkem této soli, u kterého došlo k poklesu tohoto parametru.



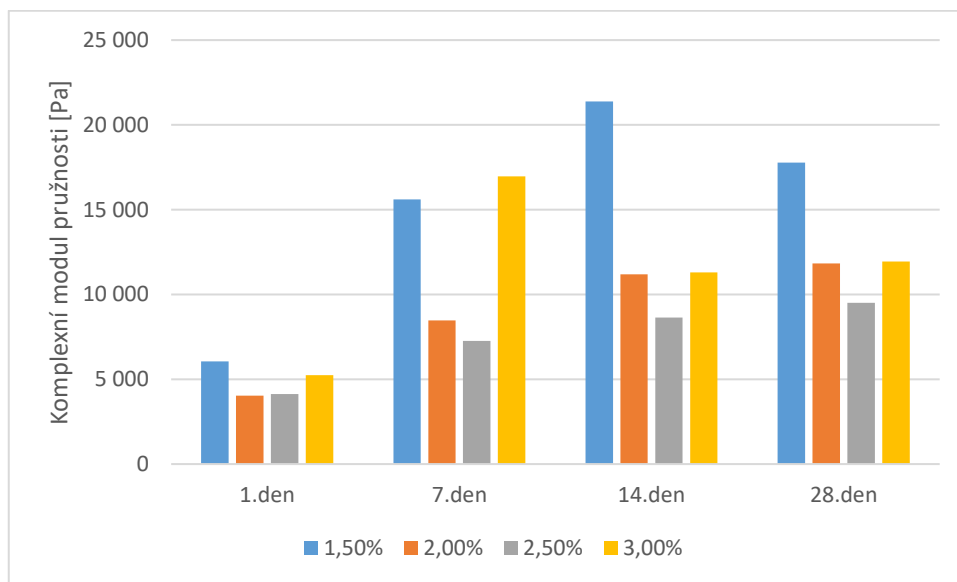
Obrázek 36: Závislost  $G^*$  (komplexní modul pružnosti) modelových vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli  $K_2HPO_4$  o různých koncentracích [1,0 %; 1,5 %; 2,0 %; 2,5 % a 3,0 % (w/w)] na době skladování

Hodnoty  $G^*$  pro tavený sýr s tavicí solí  $K_4P_2O_7$  lze pozorovat na obrázku 37. U všech vyrobených vzorků byl v průběhu skladování patrný trend růstu sledovaného parametru. Zvyšující se přidání množství této soli nemělo jednoznačný vliv na sledovaný parametr.



Obrázek 37: Závislost  $G^*$  (komplexní modul pružnosti) modelových vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli  $K_4P_2O_7$  o různých koncentracích [1,5 %; 2,0 %; 2,5 % a 3,0 % (w/w)] na době skladování

U všech vzorků s přísávkou  $K_5P_3O_{10}$  byly hodnoty posledního dne měření vyšší než v prvním dnu měření. Nejvyšší naměřené výsledky měly vzorky s 1,0 % přísávkou této soli, vliv navyšujícího se množství  $K_5P_3O_{10}$  však nelze jednoznačně určit, viz obrázek 38.



Obrázek 38: Závislost  $G^*$  (komplexní modul pružnosti) modelových vzorků tavených sýrů s přísávkou tavicí soli  $K_5P_3O_{10}$  o různých koncentracích [1,5 %; 2,0 %; 2,5 % a 3,0 % (w/w)] na době skladování

## ZÁVĚR

Cílem práce bylo zjistit, zda mají vybrané druhy draselných tavicích solí vliv na viskoelastické vlastnosti vyrobených tavených sýrů, o požadovaném obsahu sušiny 40 % (w/w) a požadovaném obsahu tuku v sušině 50 % (w/w), během 28denního skladování při  $6 \pm 2$  °C. Výroba zkoumaných vzorků tavených sýrů probíhala zvyšujícím se přidavkem vybraných druhů draselných tavicích solí (dihydrogenfosforečnan draselný, hydrogenfosforečnan draselný, difosforečnan draselný, trifosforečnan pentadraselný a komerční směs s názvem Carnesal 150) v koncentraci 1,0 %, 1,5 %, 2,0 %, 2,5 % a 3,0 % (w/w). Během skladování byl hodnocen obsah sušiny, hodnota pH, texturní profilová analýza (parametry tvrdosti, relativní lepivosti a soudržnosti) a reologická analýza.

Ze získaných výsledků lze vyvodit následující závěry:

- získaný obsah sušiny byl ve srovnání s cílovou hodnotou u všech vzorků tavených sýrů akceptovatelný,
- s rostoucí délkou skladování byl zaznamenán u všech modelových vzorků tavených sýrů pokles hodnot pH, se zvyšující se koncentrací jednotlivých druhů draselných tavicích solí hodnoty pH narůstaly,
- hodnoty tvrdosti byly ovlivněny použitým druhem draselné tavicí soli, tyto hodnoty rostly s délkou skladování pouze u soli  $K_4P_2O_7$ , s rostoucím přidavkem došlo k růstu hodnot pouze u tavicí soli  $K_4P_2O_7$ , hodnoty ostatních druhů draselných tavicích solí za těchto podmínek klesaly,
- relativní lepivost byla ovlivněna použitým druhem draselné tavicí soli, s jejímž rostoucím přidavkem došlo ve většině případů ke snížení těchto hodnot,
- naměřená soudržnost byla u všech vzorků prokazatelně vyšší na konci měření než na počátku,
- výsledky komplexní viskozity se lišily dle vybraného druhu draselných tavicích solí, s rostoucí frekvencí hodnoty tohoto parametru prudce klesaly, s rostoucí délkou skladování komplexní viskozita u všech zkoumaných vzorků vzrostla,
- zvyšováním přidavku jednotlivých druhů draselných tavicích solí došlo k poklesu pevnosti tavených sýrů, s délkou skladování došlo k tuhnutí sýrové matrice, celkově lze všechny vyrobené druhy tavených sýrů charakterizovat jako elastické a pevné gely.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] AMAMCHARLA, J.K. a L.E. METZGER. *Prediction of process cheese instrumental texture and melting characteristics using dielectric spectroscopy and chemometrics* [online]. September 2015 [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2015-9739
- [2] MARTINEZ-RIOS, Veronica a Marie ØSTERGAARD JØRGENSEN. *Growth and growth boundary model with terms for melting salts to predict growth responses of Listeria monocytogenes in spreadable processed cheese* [online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: doi:10.1016/j.fm.2019
- [3] GUINEE, Timothy P. a J.F. MOSTERT. *Pasteurized Processed and Imitation Cheese Products*. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-417012-4.00046-6
- [4] NOGUEIRA DE OLIVEIRA, M., Z. USTUNOL a A.Y. TAMIME. *Manufacturing Practices of Processed Cheese*. Dostupné z: doi:10.1002/9781444341850.ch6
- [5] G. SOŁOWIEJ *et al.*, Bartosz. *Effect of emulsifying salts replacement with polymerised whey protein isolate on textural, rheological and melting properties of acid casein model processed cheeses* [online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2020.104694 0958-6946
- [6] SALEK, Richardos Nikolaos, Eva LORENCOVÁ, Zuzana MÍŠKOVÁ a Zuzana LAZÁRKOVÁ. *The impact of Chios mastic gum on textural, rheological and melting properties of spread-type processed cheese during storage*. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2020.104755 0958-6946
- [7] B.HOUGAAR, Anni, Anna G.SIJBRANDIJ, Camilla VARMING, Ylva ARDÖ a Richard IPSEN. *Emulsifying salt increase stability of cheese emulsions during holding*. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2015.01.006
- [8] HICKEY, M. *Current Legislation on Processed Cheese and Related Products*. Dostupné z: doi:10.1002/9781444341850.ch2
- [9] MULSOW, B.B., JAROS, D., ROHM, H. *Processed Cheese and Cheese Analogues*. In Tamime, A.Y. (Ed.) *Structure of Dairy Products*, 1st ed. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 2007. p. 210-235
- [10] SMITH, B.L. (1990) *Codex Alimentarius: Abridged Version*, pp. 12.10–12.16, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.



- [11] *Vyhláška č. 274/2019 Sb.: Vyhláška o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje.* Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2019-274>
- [12] BURATTO, Tessa. *Mastering Mascarpone: What it takes to make a perfect batch of Mascarpone Cheese*[online]. 12-2010, 1-42 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://digitalcommons.calpoly.edu/dscisp/40>
- [13] ČERNÍKOVÁ, Michaela a František BUŇKA. *Replacement of traditional emulsifying salts by selected hydrocolloids in processed cheese production.* Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2009.12.012
- [14] ANDĚL, Michael, Jana DOSTÁLOVÁ, Pavel DLOUHÝ a Jan DRBOHLAV. *Sýry a tvarohy ve výživě* [online]. [cit. 2021-02-25]. ISBN 978-80-905096-2-7. Dostupné z: <http://www.socr.cz/file/1977/tvarohy-a-syry-ve-vyzive.pdf>
- [15] GUINEE, T. P., CARIC, M., KALÁB, M. *Pasteurized Processed Cheese and Substitute/Imitation Cheese Products.* In Fox, P.F. (Ed.) *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology.* vol. 2, 3rd ed. Elsevier Applied Science, London and New York, 2004. p. 349-394. ISBN 0-1226-3653-8
- [16] MACKŮ, I. *Viskoelastické a senzorické vlastnosti tavených sýrů s přidavkem pektinu.* Disertační práce. Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně na ústavu Chemie a technologie potravin. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Jan Hrabě, Ph.D.
- [17] LU, Y. J., SHIRASHOJI, N., LUCEY, J. A. *Rheological, Textural and Melting Properties of Commercial Samples of Some of the Different Types of Pasteurized Processed Cheese.* *International Journal of Dairy Technology.* 2007, vol. 60, no. 2, pp. 74–80. ISSN 1364-727X.
- [18] PISKA, I. *Rheologické vlastnosti tavených sýrů.* Disertační práce. Fakulta potravinářské a biochemické technologie, Vysoká škola chemicko-technologická na Ústavu technologie mléka a tuků. Vedoucí disertační práce: Ing. Jiří Štětina, CSc.
- [19] CARIC, M., KALÁB, M. *Processed Cheese Products.* In Fox, P.F. (Ed.) *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology.* vol. 2, Major Cheese Groups, 2nd ed. Elsevier Applied Science, London and New York, 1997. p. 467-505.
- [20] *NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 1333/2008 ze dne 16. prosince 2008 o potravinářských přídatných látkách.* Dostupné také z: [https://web.vscht.cz/~kocourev/files/Reg\\_1333-2008-aditiva.pdf](https://web.vscht.cz/~kocourev/files/Reg_1333-2008-aditiva.pdf)

- [21] MIZUNO, R. a J.A. LUCEY. *Effects of Emulsifying Salts on the Turbidity and Calcium-Phosphate-Protein Interactions in Casein Micelles*. Dostupné z: doi:10.3168/jds.S0022-0302(05)72988-X
- [22] CHLUMSKÁ, Lubomíra. *5. Éčka - tavicí soli, sladidla* [online]. 14.12.2016 [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: <https://www.countrylife.cz/dil-4-ecka-tavici-soli-sladidla>
- [23] HABICHT, L. Über die wissenschaftliche Grundlagen des Käse-Schmelzprozesses. *Milchwirtschaftliche Forschungen*, 16: 4, 347-387. 1934.
- [24] ECKNER, K.F., DUSTMAN, W.A., RYS-RODRIGUEZ, A.A., 1994. Contribution of composition, physicochemical characteristics and polyphosphates to the microbial safety of pasteurized cheese spreads. *J. Food Prot.* 57, 295–300
- [25] LUCEY, J.A., A. MAURER-ROTHMANN a S. KALIAPPAN. *Functionality of Ingredients: Emulsifying Salts*. Dostupné z: doi:10.1002/9781444341850.ch4
- [26] NAIDU, A.S. *Natural Food Antimicrobial Systems*. 2020. ISBN 9780367398453.
- [27] KLIMOVIČ, František. FOSFA, A.S. *Technologický reglement pro výrobu tripolyfosfátu, pyrofosfátu a kyselého pyrofosfátu sodného*.
- [28] BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L., *Úloha tavicích solí při výrobě tavených sýrů*, Potravinářská revue č. 1/2009, 13 s.
- [29] KUČERA, J. *Význam mléka a mléčných výrobků ve výživě*. Bakalářská práce, Masarykova univerzita Brno 2008.
- [30] CRUIZ, Adriano G. *et al*, *Cheeses with reduced sodium content: Effects on functionality, public health benefits and sensory properties*. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2011.02.003
- [31] CHAVHAN, G.B., KANAWJIA, S.K., KHETRA, Y. *et al*. Effect of potassium-based emulsifying salts on sensory, textural, and functional attributes of low-sodium processed Mozzarella cheese. *Dairy Sci. & Technol.* **95**, 265–278 (2015). <https://doi.org/10.1007/s13594-014-0207-0>
- [32] GUINEE, T.P. *Effects of Natural Cheese Characteristics and Processing Conditions on Rheology and Texture: The Functionality of Cheese Components in the Manufacture of Processed Cheese*. Dostupné z: doi:10.1002/9781444341850.ch3
- [33] TEMPLETON, Hugh L. a H.H. SOMMER. *Studies on the emulsifying salts used in processed cheese*. Dostupné z: doi:10.3168/jds.S0022-0302(36)93089-8
- [34] 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. *Int. J. Food Prop.*, 2004, vol. 7, no. 3, p. 429-448.

- [35] FOX, P. F., McSweeney, P.L.H Dairy Chemistry and Biochemistry. London: Blackie Academic & Professional, 1998. ISBN0-412-72000-0
- [36] CARIC, M., MILANOVIC, 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.
- [37] SWENSON, B.J., WENDORFF, W.L. & LINDSAY, R.C. (2000) Effect of ingredients on the functionality of fat-free process cheese spreads. *Journal of Food Science*, **65**, 822–825.
- [38] CUNHA, C. R., DIAZ, A. I., VIOTTO, W. H. Microstructure, Texture, Colour and Sensory Evaluation of a Spreadable Processed Cheese Analogue Made with Vegetable Fat. *Food Research International*. 2010, vol. 43, pp. 723–729. ISSN 0963-9969.
- [39] TAMIME, A.Y. *Processed Cheese and Analogues: An Overview*. Dostupné z: doi:10.1002/9781444341850
- [40] OSTHOFF, G., E. SLABBER, W. KNEIFEL a K. DURRSCHMID. *Flavours and Flavourants, Colours and Pigment*. Dostupné z: doi:10.1002/9781444341850.ch5
- [41] BUŇKA, F.: *Vliv sterilizačního 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.
- [42] DIXON, S. *Processed Cheese Plants and Equipment: A Practical Overview*. Dostupné z: doi:10.1002/9781444341850.ch7
- [43] *Mlékárna a tavnírna sýrů Salix* [online]. [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: <https://www.salix-syry.cz/2840/sortiment/>
- [44] TAMIME, A.Y. *Quality Control in Processed Cheese Manufacture*. Dostupné z: doi:10.1002/9781444341850.ch10
- [45] CERNIKOV, M., BUNKA, F., PAVLINEK, V., BREZINA, P., HRABE, J. & KRACMAR, S. (2007) The effect of addition of selected carrageenans on viscoelastic properties of model processed cheese spreads. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, **55**(5), 51–58.
- [46] CERNIKOVA, M., BUNKA, F., PAVLINEK, V., BREZINA, P., HRABE, J. & VALASEK, P. (2008) Effect of carrageenan type on viscoelastic properties of processed cheese. *Food Hydrocolloids*, **22**, 1054–1061

- [47] KIM, S.-Y., HONG, E.-K., AHN, J. & KWAK, H.-S. (2009) Chemical and sensory properties of cholesterol-reduced processed cheese spread. *International Journal of Dairy Technology*, **62**, 348–353
- [48] RAYAN, A.A., Kalab, M. & Ernstrom, C.A. (1980) Microstructure of process cheese. *Scanning Electron Microscopy*, **3**, 635–343. + Berger, W., Klostermeyer, H., Merkenich, K. & Uhlmann, G. (1998) *Process Cheese Manufacture*, B.K. Guilini Chemie GmbH & Co., Ladenberg, Germany
- [49] LEE, B.O., KILBERTUS, G. & ALAIS, C. (1981) Ultrastructural study on process cheesed cheese. Effect of different parameters. *Milchwissenschaft*, **36**, 343–348
- [50] BUYS, E.M., K. DURRSCHMID a J.F. MOSTERT. *Packaging Materials and Equipment*. Dostupné z: doi:10.1002/9781444323740.ch12
- [51] KRKOŠKOVÁ, B. *Textúra potravín*. Bratislava: Alfa–Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1986. 194 s.
- [52] AZARNIA, S., ROBERT, N., LEE, B. Biotechnological Methods to Accelerate Cheddar Cheese Ripening. *Critical Reviews in Biotechnology*.2006, vol. 26, no. 3, pp. 121–143. ISSN0738-8551.
- [53] PACHLOVA, V., BUNKA, F., BUNKOVA, L., WEISEROVA, E., BUDINSKY, P., ZALUDEK, M., KRACMAR, S.The Effect of Three Different Ripening/Storage Conditions on the Distribution of Selected Parameters in Individual Parts of Dutch-type Cheese. *International Journal of Food Science and Technology*.2011, vol. 46, issue 1, pp. 101–108. ISSN0950-5423
- [54] GORI, K., JESPERSEN, L. The Language of Cheese-Ripening Cultures. *Australian Journal of Dairy Technology*.2010, vol. 65, no. 3, pp. 192–194. ISSN 0004-9433.
- [55] *FÉR potravina* [online]. In: [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: [https://www.ferpotravina.cz/seznam\\_ecek/E340\(i\),%20https://www.ulprospector.com/en/na/Food/Detail/12674/351626](https://www.ferpotravina.cz/seznam_ecek/E340(i),%20https://www.ulprospector.com/en/na/Food/Detail/12674/351626) Monopotassium-Phosphate
- [56] BRANEN, A. Larry, P. Michael DAVIDSON, Seppo SALMINEN a John THORNGATE. *Food Additives* [online]. In: [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: doi:0824793439
- [57] PEARSON, Alice. *What Is Dipotassium Phosphate And What Is It Used For?* [online]. In: . [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://us.myprotein.com/thezone/supplements/dipotassium-phosphate-used/>

- [58] *TETRAPOTASSIUM PYROPHOSPHATE* [online]. In: . [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <http://www.inchem.org/documents/icsc/icsc/eics0983.htm>
- [59] *Tetrapotassium pyrophosphate* [online]. In: . [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://echa.europa.eu/cs/substance-information/-/substanceinfo/100.027.986>
- [60] *Pentapotassium triphosphate: Food Additives and Ingredients* [online]. In: . [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Pentapotassium-triphosphate#section=Food-Additives-and-Ingredients>
- [61] *Difosforečnan divápenatý* [online]. In: . [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://esipa.cz/files/get?uuid=c7a58f91686fef102f4f0fd1822c89d997dd6933ac9ed1c057638352dacdc4813eb65b4fde0ddfd019b13e9c15626f16c4b94f118a13c5280a2e35532d1112>
- [62] *FOSFA Life Science* [online]. In: . [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://web.fosfa.cz/en/products/food-applications/meat-and-seafood/?tab=textfield3&produkt=2>
- [63] ISO 5534:2004. *Sýry a tavené sýry - Stanovení obsahu celkové sušiny (Referenční metoda)*. Česká technická norma, 2004.
- [64] BREUIL, P. a J.F. MEULLENET. *A comparison of three instrumental tests for predicting sensory texture profiles of cheese* [online]. [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-4603.2001.tb01033.x>
- [65] FISZMAN, S.M. a M.H. DAMÁSIO. *Instrumental measurement of adhesiveness in solid and semi-solid foods* [online]. [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: doi:10.1111/j.1745-4603.2000.tb00285.x
- [66] HLADKÁ, Kristýna. *Studium tavených sýrů vyrobených bez použití tradičních tavicích solí fosforečnanového a citranového typu*. Zlín, 2012. Disertační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [67] SHALABY, S. M., MOHAMED, A. G., & BAYOUMI, H. M. (2017). *Preparation of a novel processed cheese sauce flavored with essential oils*. International Journal of Dairy Science, 12, 161e169
- [68] CAVALIER-SALOU, C. a J.C. CHEFTEL. *Emulsifying Salts Influence on Characteristics of Cheese Analogs from Calcium Caseinate*.
- [69] HOFFMANN, Wolfgang a Juliane GÄRTNER. *Effect of emulsifying salts containing potassium on the quality of block-type processed cheese* [online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2011.11.010

- [70] KYCIA, K. *Factors moulding the texture of processed cheeses*, 5-17.
- [71] GLIBOWSKI, P., ZARZYCKI, P., & KRZEPKOWSKA, M. (2008). *The rheological and instrumental textural properties of selected table fats*. International Journal of Food Properties, 11, 678e686.
- [72] SÁDLÍKOVÁ, I., BUŇKA, F. *et al.* *The effect of selected phosphate emulsifying salts on Viscoelastic properties of processed cheese*.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

- Sb. Sbíрка
- $G'$  Elastický modul pružnosti
- $G''$  Ztrátový modul pružnosti
- $G^*$  Komplexní modul pružnosti

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Nahrazení vápníku z para-kaseinátu vápenatého pomocí sodné tavicí soli (A...aniont tavicí soli; NaA...sodná sůl tavicí soli; CaA...vápenatá sůl tavicí soli) [19] ..	16
Obrázek 2: Vznik pyrofosforečnanu sodného [27].....	19
Obrázek 3: Schéma výroby tavených sýrů. Upraveno dle [3] .....	23
Obrázek 4: Příklad dávkovacího zařízení [42] .....	28
Obrázek 5: Ukázky obalů tavených sýrů [43] .....	29
Obrázek 6: Nehomogenní tavenina s přidavkem $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .....	38
Obrázek 7: Graf zátěžových křivek vyobrazující závislost síly deformace [N] na čase [s] [66] .....	39
Obrázek 8: Graf výsledků stanovení pH tavených sýrů během skladování .....	42
Obrázek 9: Závislost tvrdosti taveného sýra s přidavkem tavicí soli CARN o různých koncentracích (1,0 – 3,0 %) na délce skladování .....	43
Obrázek 10: Závislost tvrdosti taveného sýra s přidavkem tavicí soli $\text{K}_2\text{HPO}_4$ o různých koncentracích (1,0 – 3,0 %) na délce skladování .....	44
Obrázek 11: Závislost tvrdosti taveného sýra s přidavkem tavicí soli $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ o různých koncentracích (1,5 – 3,0 %) na délce skladování .....	45
Obrázek 12: Závislost tvrdosti taveného sýra s přidavkem tavicí soli $\text{K}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ o různých koncentracích (1,5 – 3,0 %) na délce skladování .....	46
Obrázek 13: Závislost relativní lepidlosti taveného sýra s přidavkem tavicí soli CARN o různých koncentracích (1,5 – 3,0 %) na délce skladování.....	47
Obrázek 14: Závislost relativní lepidlosti taveného sýra s přidavkem tavicí soli $\text{K}_2\text{HPO}_4$ o různých koncentracích (1,5 – 3,0 %) na délce skladování.....	48
Obrázek 15: Závislost relativní lepidlosti taveného sýra s přidavkem tavicí soli $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ o různých koncentracích (1,5 – 3,0 %) na délce skladování.....	49
Obrázek 16: Závislost relativní lepidlosti taveného sýra s přidavkem tavicí soli $\text{K}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ o různých koncentracích (1,5 – 3,0 %) na délce skladování.....	50
Obrázek 17: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí CARN o množství 1,0 % .....	52
Obrázek 18: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí CARN o množství 1,5 % .....	53
Obrázek 19: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí CARN o množství 2,0 % .....	53
Obrázek 20: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí CARN o množství 2,5 % .....	54
Obrázek 21: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí CARN o množství 3,0 % .....	54
Obrázek 22: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí $\text{K}_2\text{HPO}_4$ o množství 1,0 %.....	55



Obrázek 23: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí $K_2HPO_4$ o množství 1,5 %.....	55
Obrázek 24: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí $K_2HPO_4$ o množství 2,0 %.....	56
Obrázek 25: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí $K_2HPO_4$ o množství 2,5 %.....	56
Obrázek 26: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí $K_2HPO_4$ o množství 3,0 %.....	57
Obrázek 27: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí $K_4P_2O_7$ o množství 1,5 %.....	58
Obrázek 28: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí $K_4P_2O_7$ o množství 2,0 %.....	58
Obrázek 29: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí $K_4P_2O_7$ o množství 2,5 %.....	59
Obrázek 30: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí $K_4P_2O_7$ o množství 3,0 %.....	59
Obrázek 31: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ o množství 1,5 %.....	60
Obrázek 32: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ o množství 2,0 %.....	60
Obrázek 33: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ o množství 2,5 %.....	61
Obrázek 34: Závislost komplexní viskozity [Pa·s] na frekvenci [Hz] pro tavené sýry s použitou tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ o množství 3,0 %.....	61
Obrázek 35: Závislost $G^*$ (komplexní modul pružnosti) modelových vzorků tavených sýrů s přídavkem tavicí soli CARN o různých koncentracích [1,0 %; 1,5 %; 2,0 %; 2,5 % a 3,0 % (w/w)] na době skladování.....	67
Obrázek 36: Závislost $G^*$ (komplexní modul pružnosti) modelových vzorků tavených sýrů s přídavkem tavicí soli $K_2HPO_4$ o různých koncentracích [1,0 %; 1,5 %; 2,0 %; 2,5 % a 3,0 % (w/w)] na době skladování.....	68
Obrázek 37: Závislost $G^*$ (komplexní modul pružnosti) modelových vzorků tavených sýrů s přídavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ o různých koncentracích [1,5 %; 2,0 %; 2,5 % a 3,0 % (w/w)] na době skladování.....	69
Obrázek 38: Závislost $G^*$ (komplexní modul pružnosti) modelových vzorků tavených sýrů s přídavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ o různých koncentracích [1,5 %; 2,0 %; 2,5 % a 3,0 % (w/w)] na době skladování.....	70

## SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Přehled povolených složek jiných než sýry pro výrobu tavených výrobků [11]</i>	14
<i>Tabulka 2: Vzorce fosforečnanových solích používané při výrobě tavených sýrů a jejich E-kódy [3, 15, 19, 25]</i>	20
<i>Tabulka 3: Střední hodnoty soudržnosti [-] vzorků během 28 dnů skladování</i>	51
<i>Tabulka 4: Získané hodnoty <math>G'</math> (elastický modul pružnosti), <math>G''</math> (ztrátový modul pružnosti) a <math>\tan \delta</math> (tangens úhlu fázového posunu) při frekvenci 1 Hz u tavených sýrů s tavicí solí CARN během 28 dnů skladování</i>	63
<i>Tabulka 5: Získané hodnoty <math>G'</math> (elastický modul pružnosti), <math>G''</math> (ztrátový modul pružnosti) a <math>\tan \delta</math> (tangens úhlu fázového posunu) při frekvenci 1 Hz u tavených sýrů s tavicí solí <math>K_2HPO_4</math> během 28 dnů skladování</i>	64
<i>Tabulka 6: Získané hodnoty <math>G'</math> (elastický modul pružnosti), <math>G''</math> (ztrátový modul pružnosti) a <math>\tan \delta</math> (tangens úhlu fázového posunu) při frekvenci 1 Hz u tavených sýrů s tavicí solí <math>K_4P_2O_7</math> během 28 dnů skladování</i>	65
<i>Tabulka 7: Získané hodnoty <math>G'</math> (elastický modul pružnosti), <math>G''</math> (ztrátový modul pružnosti) a <math>\tan \delta</math> (tangens úhlu fázového posunu) při frekvenci 1 Hz u tavených sýrů s tavicí solí <math>K_5P_3O_{10}</math> během 28 dnů skladování</i>	66