

# **Ternární směsi fosforečnanů a jejich vliv na texturní vlastnosti tavených sýrů**

Bc. Štěpánka Slavíková

---

Diplomová práce  
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Štěpánka Slavíková**  
Osobní číslo: **T11133**  
Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Technologie, hygiena a ekonomika výroby potravin**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Ternární směsi fosforečnanů a jejich vliv na texturní vlastnosti tavených sýrů**

Zásady pro vypracování:

### I. Teoretická část

1. Stručně popište technologii výroby tavených sýrů
2. Charakterizujte vlastnosti a úlohu tavicích solí v tavených sýrech, se zaměřením na sodné soli fosforečnanů a polyfosforečnanů

### II. Praktická část

1. Realizujte výrobu modelových vzorků tavených sýrů:
  - s použitím různého zastoupení monofosforečnanu, difosforečnanu a polyfosforečnanu sodného
  - s celkovým přídatkem tavicích solí 2% w/w, 2,5% w/w a 3 % w/w
  - bez úpravy i s úpravou pH taveniny
2. U modelových vzorků tavených sýrů provedte 28. den po výrobě texturní analýzu se zaměřením na tvrdost, relativní lepivost a kohezivnost
3. Z výsledků vyvodte závěry

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1] AWAD, R.A., ABDEL-HAMID, L.B., EL-SHABRAWY, S.A a SINGH, R.K. (2004). Physical and Sensory Properties of Block Processed Cheese with Formulated Emulsifying Salt Mixtures. International Journal of Food Properties. volume 7, 429-448.
- [2] GUINEE, T.P., CARIC, M., KALÁB, M. (2004) Pasteurized Processed Cheese and Substitute/Imitation Cheese Products. In Fox, P. F. Fox, P. L. H. Mc Sweeney, T. P. Cogan (Eds), Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology, volume 2, Majore cheese Gross. (3rd ed., pp. 349-394). Elsevier Applied Science, London.
- [3] KAPOOR, R., METZGER, L.E. (2008) Process cheese: Scientific and technological aspects ? A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, volume 7, 194-214.
- [4] LU, Y., SHIRASHOJI, N., a LUCEY, J.A. Effects of pH on the Textural Properties and Meltability of Pasteurized Process Cheese Made with Different Types of Emulsifying Salts. Journal of Food Science, 2008, vol. 73, s. 363-369. ISSN 0022-0302.
- [5] BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L., KRÁČMAR, S.(2009). Základní principy tavených sýrů. 1. vydání Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 69.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. František Buňka, Ph.D.

Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce:

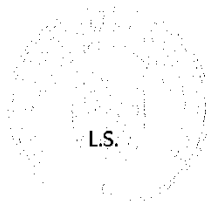
16. ledna 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

2. května 2013

Ve Zlíně dne 4. února 2013

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
děkan



  
doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Slavíková Štěpánka

Obor: THEVP

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou 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 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské 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.

Ve Zlíně 22.4.2013

Slavíková

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) *Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.*

(3) *Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.*

<sup>2)</sup> *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, § 35 odst. 3:*

(3) *Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).*

<sup>3)</sup> *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, § 60 Školní dílo:*

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.*

(2) *Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.*

(3) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

## **ABSTRAKT**

Cílem této diplomové práce bylo studium vlivu složení ternárních směsí tavicích solí na vybrané texturní vlastnosti tavených sýrů. Použité soli byly hydrogenfosforečnan sodný, difosforečnan sodný a polyfosforečnan sodný. Dalšími zkoumanými faktory byly rostoucí přídavek tavicích solí (2,0 %, 2,5 %, 3,0 % (w/w)) a úprava hodnoty pH taveniny za účelem eliminace vlivu hodnoty pH na texturní vlastnosti tavených sýrů. Vzorky byly podrobeny základní chemické analýze (obsah sušiny, hodnota pH) a texturní analýze (tvrdost, kohezivnost, relativní lepivost).

V závislosti na složení ternárních směsí tavicích solí docházelo ke změnám všech texturních vlastností. Rostoucí koncentrace tavicích solí má za následek nárůst tvrdosti, kohezivnosti a pokles relativní lepivosti. Vzorky vyrobené s úpravou hodnoty pH taveniny vykazovaly obdobné trendy jako vzorky bez úpravy hodnoty pH.

Klíčová slova: tavený sýr, tavicí soli, fosforečnany, texturní vlastnosti, tvrdost, kohezivnost, relativní lepivost.

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis was to study the influence of the composition of the ternary mixture of emulsifying salts on selected textural properties of processed cheese. The used emulsifying salts were disodium hydrogenphosphate, tetrasodiumdiphosphate and sodium salt of polyphosphate. Other factors were different addition of emulsifying salts (2,0 %, 2,5 %, 3,0 % (w/w)) and adjustment of the pH value of the samples in order to eliminate the influence of pH on the textural properties of processed cheese. The samples were evaluated using basic chemical analysis (dry matter content, pH), and textural analysis (hardness, cohesiveness, relative adhesiveness).

According on the composition of the ternary mixture of emulsifying salts there have been changes of textural properties. The increasing concentration of emulsifying salts has resulted in an increase of hardness, cohesiveness and decrease in the relative adhesiveness. Samples made with the adjustment of the pH value of the melt showed the same trends as the samples without adjustment of pH.

Keywords: processed cheese, emulsifying salts, phosphates, textural properties, hardness, cohesiveness, relative adhesiveness.

*Poděkování:*

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce, doc. Ing. Františku Buňkovi, Ph.D. za věnovaný čas, odborné konzultace, trpělivost, cenné rady a připomínky. Dále bych ráda poděkovala Ing. Evě Weiserové, Ph.D. a Ing. Ludmile Zálešákové za spolupráci v laboratoři.

*Motto:*

„S úsměvem jde všechno líp.“

Neznámý autor

„Nikdy nic na světě není úplně špatné. I nefungující hodiny ukazují dvakrát denně čas správně.“

Pablo Coelho - Brida

*Prohlášení:*

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 TAVENÉ SÝRY A JEJICH CHARAKTERISTIKA</b> .....	<b>11</b>
1.1    TECHNOLOGIE VÝROBY .....	12
1.1.1    Výběr přírodních sýrů .....	13
1.1.2    Výběr vhodných tavicích solí.....	13
1.1.3    Formulace a výpočet dalších surovin, popř. přídatných látek.....	14
1.1.4    Tavení (ohřev, míchání) .....	15
1.1.5    Balení, chlazení a skladování .....	16
1.2    VYBRANÉ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ KONZISTENCI TAVENÝCH SÝRŮ .....	16
<b>2 TAVICÍ SOLI</b> .....	<b>18</b>
2.1    TAVICÍ SOLI NA BÁZI FOSFOREČNANŮ .....	19
2.2    FUNKCE FOSFOREČNANŮ PŘI VZNIKU STRUKTURY TAVENÝCH SÝRŮ .....	20
2.3    FOSFOREČNANY A HODNOTA PH TAVENÝCH SÝRŮ .....	25
2.4    SMĚSI FOSFOREČNANOVÝCH SOLÍ .....	26
<b>3 MĚŘENÍ TEXTURY POMOCÍ TEXTURNÍ PROFILOVÉ ANALÝZY</b> .....	<b>29</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>33</b>
<b>4 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>34</b>
<b>5 METODIKA ZPRACOVÁNÍ A MĚŘENÍ</b> .....	<b>35</b>
5.1    CHARAKTERISTIKA EXPERIMENTU .....	35
5.2    VÝROBA MODELOVÝCH VZORKŮ.....	35
5.3    ZÁKLADNÍ CHEMICKÁ ANALÝZA .....	37
5.4    TEXTURNÍ PROFILOVÁ ANALÝZA .....	37
<b>6 VÝSLEDKY A DISKUZE</b> .....	<b>38</b>
6.1    VÝSLEDKY CHEMICKÝCH ANALÝZ .....	38
6.2    VÝSLEDKY TEXTURNÍ PROFILOVÉ ANALÝZY .....	41
6.2.1    Tvrdost .....	41
6.2.2    Kohezivnost (soudržnost).....	47
6.2.3    Relativní lepivost .....	52
6.3    DISKUZE.....	58
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>63</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>64</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>71</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>72</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>75</b>



## ÚVOD

Mléko a mléčné výrobky jsou významnou součástí lidské stravy již po mnoho let. Asi třetina světové produkce mléka se využívá pro výrobu sýrů. Sýry představují potraviny nabízející rozmanitost chutí a texturních vlastností. Přírodní sýry jsou hlavní surovinou pro výrobu sýrů tavených. Výhodou tavených sýrů je jejich poměrně dlouhá doba trvanlivosti. Další výhodou byla, zejména dříve, možnost zpracování přírodních sýrů s mechanickými vadami, nevhodnými k prodeji, které ale byly zdravotně nezávadné. Dnes už jsou pro výrobu používány většinou standardní suroviny. V České republice se dle posledních dostupných údajů (z roku 2010), pohybuje spotřeba tavených sýrů na úrovni asi 2,1 kg na osobu za rok. Ve srovnání s předchozími třemi lety dochází postupně k mírnému poklesu množství zkonsumovaných tavených sýrů. Důvodem je zřejmě to, že potenciální spotřebitelé vnímají tavené sýry mnohdy negativně, jako potraviny s vysokým obsahem sodíku, tuku a zdraví škodlivých přídatných látek. Přídatným látkám je v poslední době věnována velká pozornost, avšak mnozí konzumenti nejsou ochotni akceptovat, že bez aditiv některé potraviny nelze v požadované kvalitě vůbec vyrobit [1,2].

Základním cílem této diplomové práce je sledování texturních parametrů v závislosti na složení ternárních směsí tavicích solí, na koncentraci použitých solí a na úpravě pH taveniny.

Teoretická část je zaměřena na charakteristiku tavených sýrů a tavicích solí. Nejprve je popsána technologie výroby a vybrané faktory ovlivňující konzistenci tavených sýrů. Další část pojednává o tavicích solích na bázi fosforečnanů a o jejich funkcích při tvorbě struktury sýra. Popsány jsou také účinky dříve zkoumaných směsí fosforečnanů na texturní vlastnosti tavených sýrů. V poslední části je popsána metoda hodnocení textury pomocí texturní profilové analýzy.

Praktická část obsahuje popis výroby modelových vzorků sýrů s ternárními směsmi hydrogenfosforečnanu sodného ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ; DSP), difosforečnanu sodného ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ; TSPP) a polyfosforečnanu sodného ( $(\text{NaPO}_3)_n$ ; POLY). Celkový přídavek tavicích solí byl 2,0 % w/w, 2,5 % w/w a 3,0 % w/w (přepočteno na finální hmotnost výrobku). Dále jsou porovnávány vzorky bez úpravy pH a vzorky s úpravou pH taveniny na přibližně stejnou hodnotu (cílový interval hodnot pH byl zvolen v rozmezí 5,70 – 5,80). U takto vyrobených tavených sýrů byly měřeny 28. den po utavení texturní parametry tvrdosti, relativní lepivosti a soudržnosti (kohezivnosti).

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 TAVENÉ SÝRY A JEJICH CHARAKTERISTIKA

Tavené sýry jsou mléčné výrobky pocházející z počátku 20. století. Od přírodních sýrů se odlišují tím, že obvykle nejsou vyráběny přímo z mléka, ale právě ze zmíněných přírodních sýrů. Mezi základní suroviny jejich výroby se řadí směsi jednoho či více přírodních sýrů (různého typu a stupně zralosti), tavicí soli, voda a další mléčné i nemléčné přísady [3,4,5]. Česká legislativa definuje tavené sýry ve vyhlášce Ministerstva zemědělství č. 77/2003 Sb., v platném znění, jako sýry, které byly tepelně upraveny za přídavku tavicích solí [6]. Pro porovnání, v USA popisuje tavený sýr Federální úřad pro potraviny (FDA) jako výrobek získaný mělněním a mícháním jednoho či více sýrů stejného či odlišného druhu, za pomoci tepla a povolených látek podporujících emulgační činnost kaseinů, do homogenní plastické hmoty [7]. Codex Alimentarius definuje tavený sýr a roztíratelný tavený sýr jako produkt, který byl vyroben mletím, mícháním, tavením a emulgací jednoho nebo více druhů sýrů, za účasti tepla a činidel podporujících emulgaci, s přídavkem, či bez přídavku mléčných složek nebo dalších potravin v souladu s tímto předpisem [8].

O vznik tohoto výrobku se v roce 1911 ve Švýcarsku zasloužili Walter Gerber a Fritz Stettler. Prvotní myšlenkou bylo prodloužení trvanlivosti přírodních sýrů a snaha najít alternativní využití pro přírodní sýry, které bylo obtížné prodat. První tavený sýr byl vyroben tavením Švýcarského sýru za použití citranu sodného, jako tavicí soli. O několik let později se v USA, začínají používat také tavicí soli na bázi fosforečnanů. Vývoj tavených sýrů s použitím tavicích solí na bázi fosforečnanů prosadil James Lewis Kraft a pracovníci společnosti Phenix Cheese Company, kteří získali pro jejich práci mezi lety 1916 a 1938 četné patenty [5].

Dnes jsou tavené sýry stále populárnější formou sýra po celém světě a jejich výroba se neustále zvyšuje [3]. Značný hospodářský význam tavených sýrů lze přičíst možnostem jejich využití a vhodnosti jak pro domácí použití, tak i pro provozovny rychlého občerstvení a restaurace [5,9]. Vyráběny a prodávány mohou být v různých formách, jako jsou bloky, plátky, nebo pomazánky či omáčky [5,10]. Spotřebiteli nabízí téměř neomezenou rozmanitost z hlediska chutí, konzistence a funkcí, jako jsou krájitelnost na plátky či roztékavost [11]. Lze je zařadit do tzv. „convenience food“ a výhodou jsou i relativně příznivé výrobní náklady, a proto jsou důležitými složkami mnoha často konzumovaných potravin, např. pizzy, cheeseburgrů a omáček [4,12]. Zvláštní skupinu

tvoří sterilované tavené sýry, které lze využít pro Armádu České republiky a Integrovaný záchranný systém jako součást bojových dávek potravin. Bojové dávky potravin jsou balíčky sloužící k výživě osob (nejčastěji vojáků), v situacích, kdy jim není možné zajistit teplou stravu, ale lze je využít také např. pro účely dovolené, není-li k dispozici chladírenská technika [13].

Stejně jako jiné druhy sýrů jsou i tavené sýry potravinami bohatými na živiny. Jsou zdrojem vápníku, fosforu, proteinů, minerálních látek a vitaminů [4,14]. Nicméně tavené sýry jsou vnímány také jako potraviny s vysokým obsahem tuku a sodíku. Někteří spotřebitelé by raději zařazovali do jídelníčku sýrové produkty s nižším obsahem tuku a sodíku, avšak ne na úkor kvality výrobků. Tuk a sůl jsou však důležitými složkami ovlivňujícími chuť, texturu, mikrobiologickou bezpečnost potravin a celkovou přijatelnost sýru. Nízkotučné sýry se mnohdy vyznačují nevýraznou chutí, horší tavitelností a gumovitou texturou. Snížení množství sodíku lze dosáhnout částečnou náhradou sodných tavicích solí za draselné. Použití výhradně draselných solí může vést k rozvoji nahořklé kovové chuti. Další možnou alternativou je využití přírodních sýrů se sníženým množstvím sodíku [4,15].

## 1.1 Technologie výroby

Při výrobě tavených sýrů dochází řadou klíčových událostí k převedení matrice přírodního sýru na stabilní výrobky, ve kterých je emulgovaný tuk. Sýry se tak stávají měkčí a plastičtější. Struktura taveného sýru může být popsána jako kontinuální proteinová gelová síť, přerušovaná dispergovanými tukovými kuličkami nebo jako stabilní emulze tuku ve vodě, která je tvořena sítí hydratovaných kaseinových proteinů ve formě gelu [4,16].

Hlavní kroky při výrobě tavených sýrů mohou být rozděleny do 2 fází:

### 1. Výběr a formulace složek:

- výběr přírodních sýrů (na základě zralosti, pH, chuti a obsahu nehydrolyzovaného kaseinu),
- výběr vhodných tavicích solí,
- formulace a výpočet dalších surovin, popř. přídatných látek (za účelem získání požadované sušiny, obsahu tuku a hodnoty pH konečného výrobku).

### 2. Zpracování a skladování tavených sýrů:

- proces tavení (rychlost, doba ohřevu a míchání)
- balení, chlazení a skladování [5].

### 1.1.1 Výběr přírodních sýrů

Přírodní sýr je hlavní složkou používanou při výrobě tavených sýrů. Ze sýru musí dle vyhlášky pocházet alespoň 51 % (w/w) sušiny výsledného produktu. Vlastnosti použitého přírodního sýra mají zásadní vliv na vlastnosti tavených sýrů. Mezi nejvýznamnější patří hodnota pH, obsah vápníku, zralost, či množství neporušeného kaseinu. Vlastnosti přírodních sýrů jsou ovlivněny počátečním složením mléka, výrobními postupy a podmínkami zrání [6,10,17].

Strukturu přírodních sýrů lze popsat jako proteinovou matici tvořenou kaseinovými částicemi, rozptýlenými tukovými kuličkami a vodou. Molekuly kaseinů jsou zesítované účinkem různých typů interakcí, a to např. prostřednictvím koloidního fosforečnanu vápenatého či vápenatých iontů, působících jako neutralizační agens mezi dvěma negativně nabitými fosfoserinovými skupinami na jednotlivých molekulách  $\alpha_{s1}$ -,  $\alpha_{s2}$ - nebo  $\beta$ -kaseinů. Dalším typem jsou hydrofobní interakce mezi skupinami na různých molekulách, které umožňují spojení více než dvou molekul. Obě tyto cesty umožňují větvení a tak vedou k tvorbě trojrozměrné sítě. Podíl jednotlivých typů interakcí při tvorbě této struktury se řídí konečným nábojem molekul kaseinů (ten je přímo ovlivněn pH, iontovými silami a vázaným vápníkem), typem kaseinů, koncentrací vápenatých iontů a teplotou [17].

Výroba tavených sýrů umožňuje využití také přírodních sýrů, které je těžké nebo nemožné prodat (např. sýrů s mechanickou deformací), stejně jako sýrových odpadků. Naopak nežádoucí je využívat přírodní sýry s mikrobiologickými vadami, zejména jedná-li se o sporující mikroorganismy nebo plísně. Obvyklé teploty užívané při výrobě tavených sýrů totiž dokážou zničit pouze vegetativní formy mikroorganismů. U zaplísňených surovin pak hrozí riziko produkce mykotoxinů. V dnešní době je však přibližně 70 % zpracovávané suroviny standardní bez mechanických či jiných vad [5,18,19, 32].

### 1.1.2 Výběr vhodných tavicích solí

Nejběžnějšími tavicími solemi jsou sodné soli fosforečnanů, polyfosforečnanů, citronanů a jejich kombinace. Tavicí soli hrají při výrobě tavených sýrů důležitou roli a zajišťují

vznik homogenních produktů s požadovanou konzistencí. Používají se obvykle na úrovni 2 – 3 % (w/w) konečného výrobku [3,14,20,21,22,23].

Hlavní úloha tavicích solí spočívá v odstranění vápníku vázaného na bílkoviny kaseinu (které tvoří trojrozměrnou síť sýru) nebo na jejich hydrolyzované frakce a nahrazení ionty sodíku. Prostřednictvím výměny iontů sodíku namísto vápenatých iontů se nerozpustný parakaseinát vápenatý mění ve více rozpustný parakaseinát sodný [4,9,20,22,24,25]. Rozpustné kaseiny, jako je např. tento kaseinát sodný, jsou výbornými emulgátory, neboť obsahují v molekule hydrofobní a hydrofilní úseky [26]. Dalšími funkcemi tavicích solí jsou peptizace řetězce, disperze, hydratace a bobtnání bílkovin, emulgace a stabilizace tuku. Dále dochází ve většině případů (v závislosti na použití konkrétních tavicích solí) ke zvýšení hodnoty pH. Tak je kaseinům udělen intenzivnější negativní náboj [14,27]. Každá z tavicích solí se od ostatních liší svou schopností odštěpovat vápenaté ionty, hydratovat bílkoviny a rozptýlit kaseiny, dále pufrací kapacitou a účinností při podpoře emulgace [24]. Na přerušení přitažlivých interakcí mezi kaseiny, stejně jako na počet přitažlivých interakcí vznikajících během gelování systému v chladicí fázi výroby, má vliv množství procesních parametrů (např. koncentrace a typ soli, doba záhřevu či tavicí teplota) [28].

V některých studiích byla zvažována také možnost výroby tavených sýrů bez použití tavicích solí. Jako jejich substituenty byly zkoumány některé hydrokoloidy. Jako možné potenciální náhrady tradičních tavicích solí se projevíli  $\kappa$ - a  $\iota$ - karagenan, avšak konečné výrobky byly velmi tuhé [29].

### 1.1.3 Formulace a výpočet dalších surovin, popř. přídatných látek

Do směsi mohou být přidávány různé složky mléčného (máslo, tvaroh, sušené odstředěné mléko, sušená smetana, sušená syrovátka, kaseináty, rework – tavený sýr opětovně použitý jako přísada do směsi pozdějších šarží, atd.) a nemléčného charakteru (voda, zelenina, koření, maso, aromata, barviva, sůl, hydrokoloidy, konzervanty, atd.) [5,14,20,30,31].

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 77/2003 Sb., v platném znění dělí tavené sýry podle obsahu tuku, a to do dvou skupin. První skupinou jsou nízkotučné tavené sýry (roztíratelné) s obsahem tuku v sušině nejvýše 30 % (w/w). Druhou skupinou jsou vysokotučné tavené sýry (roztíratelné) s obsahem tuku v sušině nejméně 60 % (w/w). Rozmezí mezi 30 až 60 % (w/w) není vyhláškou definováno (pojmenováno) [6].

Tradičně se výrobci tavených sýrů spoléhali při výběru jednotlivých složek na své zkušenosti. V průběhu let začali výrobci využívat různé programy, umožňující nastavit požadované chemické i fyzikální vlastnosti vyráběného taveného sýra a software, který stanoví složení směsi s nejnižšími náklady [5]. Náklady lze snížit např. částečným nahrazením proteinové složky hydrokoloidy, jako je škrob. Tyto látky (tzv. stabilizátory, želírovací látky či zahušťovadla) mohou zlepšovat texturu a konzistenci potravin vazbou vody, tvorbou gelu nebo zvýšením viskozity systému [30].

#### 1.1.4 Tavení (ohřev, míchání)

V návaznosti na přípravu požadovaného složení začíná vlastní zpracování surovin. Přírodní sýr je mlet na malé kousky (strouháním, mletím či krájením) a spolu s ostatními surovinami dávkován do tavicího kotle. Po nadávkování surovin je tavicí kotel uzavřen a začíná vlastní proces tavení, který probíhá za částečného podtlaku. Ohřev je zpravidla prováděn přímým vstřikováním páry do tavené směsi. Pára v tavené směsi zkondenzuje, a proto je třeba při sestavování surovinové skladby (při výpočtu přídatku pitné vody) zohlednit i tuto vodu zkondenzovanou z páry. Dosahovaná teplota neboli tzv. tavicí teplota, se obvykle pohybuje v rozmezí 80 – 110 °C a bývá udržována po dobu v řádu minut [5,28,32].

Záhřev, míchání a působení tavicích solí má za následek narušení přitažlivých interakcí v systému a rozptýlení nerozpustné kaseinové matrice vlivem odštěpování vápníkových kationtů. Rozptýlený kasein je schopen vázat větší množství vody, v jehož důsledku dochází ke vzrůstu viskozity taveniny (tzv. krémování). Tukové kuličky jsou vlivem záhřevu a míchání zmenšeny (v závislosti na intenzitě a době míchání) a rozptýleny do proteinové matrice, kde dochází k jejich emulgaci a stabilizaci v systému. Výsledkem je vznik homogenní, kompaktní, lesklé taveniny [5,20,28,33].

Proces může probíhat kontinuálně nebo diskontinuálně. Diskontinuální zpracování se provádí v dvouplášťových tavicích kotlích a je v České republice používáno nejčastěji. Výrobci používají různé typy tavicích kotlů s různým vzhledem a provozními podmínkami. Primární způsob vytápění využívaný u většiny zařízení je přímý vstřik páry, přičemž k ohřevu přispívá i pára v meziplášti. Horká tavenina může být dále přepravována čerpacím strojem nebo převážena v kontejnerech. Při kontinuálním zpracování je směs sterilována při 130 °C po několik sekund v nerezovém ocelovém potrubí. Sterilovaná

tavenina je následně čerpána do tanku vybaveného míchadlem. Zde dojde k homogenizaci taveniny a úpravě konzistence [9,34].

### 1.1.5 Balení, chlazení a skladování

Během chlazení se formuje nová matrice sýra. Dochází k opětovné asociaci dispergovaných kaseinů, repolymeraci a tvorbě nové proteinové sítě přes hydrofobní a elektrostatické interakce, vodíkové vazby nebo jinými typy interakcí. Tavicí soli tvoří sloučeniny s vápenatými ionty, které se později účastní vzniku opětovného vazebného spojení mezi kaseiny v gelovatějším systému. Větší rozptyl kaseinů během tavení, či expozice skupin kaseinů pomáhá k tvorbě tužší a méně roztékavé matrice během chlazení [26,27,29].

Utavené sýry se obvykle balí do lakovaných fólií, tuby, kelímků, plechovek nebo mohou být krájeny na plátky, které se jednotlivě balí. Skladují se při teplotě 4 – 8 °C [1,6,9].

## 1.2 Vybrané faktory ovlivňující konzistenci tavených sýrů

Konzistence tavených sýrů je důležitou vlastností pro kvalitu a spotřebitelskou přijatelnost a může přecházet od pevné, lomivé, přes snadno roztíratelnou, až po krémovitou a hustou tekutou [20,31,33]. Pro každou aplikaci a každý produkt z taveného sýru jsou požadované jiné vlastnosti, které se uplatňují ve všech fázích přípravy a konzumace potravin. Přispívají k chuti, stejně jako k estetickému vzhledu připravené potraviny. Příkladem mohou být tavené sýry používané pro výrobu obalovaných sýrových tyčinek. Hmota musí být dostatečně pevná a soudržná, aby byl sýr za studena dobře krájitelný. Zároveň však musí být úměrně roztékavý a táhlý (aby změkkl při zahřátí a táhl se při konzumaci). Během přípravy či spotřeby nesmí docházet k jeho vytékání, a proto musí být také dostatečně viskózní [5].

Konzistenci tavených sýrů lze ovlivnit mnoha různými faktory např. zralostí přírodních sýrů, pH taveniny, druhem a koncentrací tavicí soli, podmínkami zpracování a skladování (teplota zpracování, rychlost míchání, doba záhřevu, rychlost chlazení, teplota skladování), obsahem sušiny, tuku, přítomností a koncentrací iontů (zejména vápenatých, sodných či draselných), použitím emulgátorů atd. [20,30,31,33,35,36]. Níže jsou popsány: vliv zralosti přírodního sýra, obsah sušiny a tuku v sušině, druh tavicí soli, přídavek koloidů a zpracování taveniny. Vlivu hodnoty pH bude věnována samostatná kapitola (Kapitola 2.3).



S rostoucí zralostí přírodního sýra klesá obsah nehydrolyzovaného (tzv. intaktního) kaseinu, protože enzymy kyselých i nezákladných kultur mléčných bakterií, přítomných v sýru, hydrolyzují bílkoviny na peptidy. Tím je sníženo množství kaseinu v intaktní (nehydrolyzované) formě, jenž má zachované emulgační vlastnosti a dobře stabilizuje emulzi tuku. S rostoucím podílem zralých přírodních sýrů ve výrobním procesu dochází k částečné ztrátě emulgačních schopností bílkovin, klesá pevnost a roste roztékavost výsledných produktů [10,18,20]. Méně zralé přírodní sýry jsou tedy používány k zajištění požadované struktury, zralé sýry pro dodání chuti [37,38].

Vztah sušiny a tuku v sušině je následující: se zvyšujícím se obsahem sušiny je možné dosáhnout tužší konzistence a naopak. Se zvyšujícím se obsahem tuku v sušině dostáváme sýry roztíratelnější. Nižší obsah tuku pak zvyšuje koncentraci bílkovin v gelu, čímž se sýr stává tužší [16,39].

Při aplikaci monofosforečnanů, jako samostatných solí, vznikají méně tuhé (někdy až tekuté) výrobky. Tužší konzistenci pak získáváme při použití kondenzovaných fosforečnanů. To je způsobeno zejména vyšší afinitou polyfosforečnanů k vápenatým iontům, což vede k rozsáhlejšímu odštěpení vápníku, ke zvýšení hydratace bílkovin, a tím k tvorbě pevnější, ale roztíratelné struktury výrobku [20,36,40]. Funkce tavicích solí jsou blíže popsány v Kapitole 2.2.

Hydrokoloidy jsou v praxi obvykle využívány za účelem stabilizace emulze, zlepšení vaznosti vody a tvorby gelu [37]. Jejich použití je obvyklé při výrobě tavených sýrů s nízkým obsahem sušiny (pro zvýšení tuhosti a stabilizaci matrice výrobku) či s nízkým obsahem tuku (pro zjemnění finální konzistence). Komerčně významné hydrokoloidy používané v mlékárenském průmyslu jsou např. karagenan, karubin, xanthan, modifikované škroby nebo pektin [5,20,22,30].

Při zpracování taveniny lze upravovat tavicí teplotu, intenzitu a délku míchání horké taveniny, čímž výrazně ovlivníme konzistenci výsledného produktu. Rostoucí teplota či délka záhřevu způsobují zvýšení tuhosti a elasticity systému, zatímco jeho roztíratelnost klesá. Při použití tavicích teplot nad 95 °C však může docházet i k poklesu tuhosti. Přílišné prodloužení tavicího procesu (záhřevu a míchání) může vést až k překrémování (tzv. over-creaming), kdy vzniká tuhý, nestabilní produkt, se sklonem k uvolňování vody [20,26]. Ke vzniku tužší konzistence dochází také s vyšší rychlostí míchání směsi a vlivem pomalého zchlazování taveniny. Pro získání roztíratelných produktů je tedy vhodné rychlé zchlazení taveniny [41,42,43].

## 2 TAVICÍ SOLI

Tavicí soli (neboli emulgující činidla) jsou při výrobě tavených sýrů velmi důležité. Představují jednu z hlavních složek výroby a důležitý faktor ovlivňující funkční vlastnosti tavených sýrů [3,22,44]. Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 4/2008 Sb. v původním znění, definovala tavicí soli jako látky měnící vlastnosti bílkovin během výroby tavených sýrů, za účelem zamezení oddělování tuku (novelizací z roku 2010 byl příslušný odstavec zákona zrušen). Tavicí soli patří mezi přídatné látky a na obale výrobku musí být označeny číselným kódem, tzv. E-kódem. Do tavených sýrů je povoleno přidávat maximálně 20 000 mg.kg<sup>-1</sup> fosforečnanů (vyjádřeno jako obsah P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) [50].

V USA je dle údajů CFR (Code of Federal Regulations) schváleno 13 druhů tavicích solí, které je možno při výrobě tavených sýrů užívat (ať už samostatně nebo ve směsi): dihydrogenfosforečnan sodný (NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), hydrogenfosforečnan sodný (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>), hydrogenfosforečnan draselný (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>), fosforečnan sodný (Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), hexametafosforečnan sodný (NaPO<sub>3</sub>)<sub>n</sub>, dihydrogendifosforečnan sodný (Na<sub>2</sub>H<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), difosforečnan sodný (Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), fosforečnan sodno-hlinitý (Na<sub>8</sub>Al<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>), citronan sodný (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub>), citronan draselný (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>K<sub>3</sub>O<sub>7</sub>), citronan vápenatý (Ca<sub>3</sub>(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>)<sub>2</sub>), vinan sodný (Na<sub>2</sub>C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>6</sub>) a vinan sodno-draselný KNaC<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>6</sub>, kdy množství sušiny emulgačních solí nesmí překročit 3 % hmotnosti taveného sýru [7].

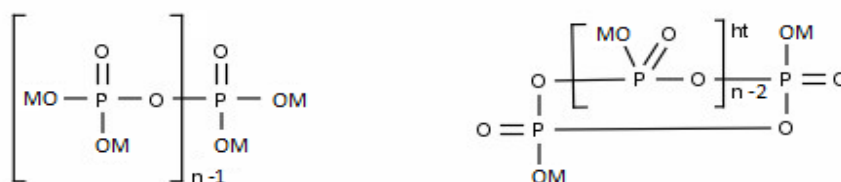
Zásadní úlohou tavicích solí je podpora emulgační schopnosti agregovaného parakaseinátu vápenatého přírodního sýru zvýšením jeho rozpustnosti ve vodě, za pomoci záhřevu a míchání [21]. Tavicí soli nejsou emulgátory, protože nejsou povrchově aktivními látkami. Jejich účinkem dochází k většímu rozptýlení kaseinů, což podporuje schopnost kaseinů emulgovat tuky. Dalšími efekty jsou stabilizace emulze fixací vody, regulace pH a tvorba vhodné struktury během chlazení tavených sýrů [44,51]. Bez použití tavicích solí by pravděpodobně došlo k rozdělení systému na tři fáze, tedy na vysráženou bílkovinu na dně tavicí nádoby, střední vrstvu tvořenou vodou a povrchovou vrstvu tuku [20].

Nejlépe podporují emulgační vlastnosti kaseinů soli složené z monovalentních kationtů a polyvalentních aniontů. Převážně používané tavicí soli při výrobě tavených sýrů můžeme rozdělit do tří typů, kterými jsou monofosforečnany, polyfosforečnany a citronany [3,22,25,26]. Účinek různých tavicích solí se však liší, jednotlivé druhy tavicích solí odlišně ovlivňují vlastnosti jako pH, stupeň disociace kaseinu či obsah rozpustného

a celkového vápníku v tavenině [5,22,25,44] (účinky fosforečnanů jsou více popsány v Kapitole 2.2).

## 2.1 Tavicí soli na bázi fosforečnanů

Fosforečnany nazýváme obecně soli kyseliny trihydrogenfosforečné ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Soli kyseliny fosforečné obsahující jednu skupinu  $(\text{PO}_4)^{3-}$  označujeme jako fosforečnany (monofosforečnany, ortofosforečnany). Kondenzací dvou těchto molekul vznikají dimery (difosforečnany, pyrofosforečnany). Ke kondenzaci dochází reakcí mezi hydroxylovými skupinami dvou různých molekul za podmínek vysoké teploty. Kondenzací více monofosforečnanů a delších řetězců pak vznikají polyfosforečnany. Polyfosforečnany mohou být soli s lineárním řetězcem a různým stupněm polymerace nebo soli cyklických polyfosforečných kyselin, což jsou vlastně oligomery kyseliny hydrogenfosforečné ( $\text{HPO}_3$ ) tzv. metafosforečnany [32,40,52].



Obrázek 1: Vzorec lineárního a cyklického fosforečnanu ( $M = \text{Na}$  nebo  $\text{K}$ )  
(upraveno dle [52])

Směsi sodných solí jsou při výrobě tavených sýrů v současné době rozsáhle využívány pro dosažení požadovaných reologických a funkčních vlastností. Uplatňují se zde zejména jejich pufrční schopnosti, schopnosti odštěpení vápenatých iontů a iontové výměny [25,28].

Komplexace vápníku původně spojeného s kaseinovými micelami působí disperzi a peptizaci kaseinů a umožňuje emulgaci tuku v matrici taveného sýru. Mimo to přispívají k mikrobiologické stabilitě proti znehodnocení, zvláště při vyšším obsahu vody a hodnotě pH [25,28]. Přehled některých sodných solí fosforečnanů, používaných při výrobě tavených sýrů, je uveden v Tabulce 1 (str. 21).

Tabulka 1: Sodné soli fosforečnanů využívaných jako tavicí soli při výrobě tavených sýrů  
(upraveno dle [20,32])

Skupina	Látka	Vzorec	pH 1% vodného roztoku	Obsah P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	E - kód
Fosforečnany	Dihydrogenfosforečnan sodný	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	4,5	59,16	E 339 (i)
	Hydrogenfosforečnan sodný	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	9,1	50,00	E 339 (ii)
	Fosforečnan sodný	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	11,9	43,29	E 339 (iii)
Difosforečnany	Dihydrogendifosforečnan sodný	Na <sub>2</sub> H <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	4,1	63,96	E 450 (i)
	Difosforečnan sodný	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	10,2	53,38	E 450 (iii)
Trifosforečnany	Trifosforečnan sodný	Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	9,7	57,88	E 451 (i)
Polyfosforečnany	Polyfosforečnan sodný	(NaPO <sub>3</sub> ) <sub>n</sub>	6,6	69,61	E 452 (i)

(NaPO<sub>3</sub>)<sub>n</sub>; n = 15 -20

## 2.2 Funkce fosforečnanů při vzniku struktury tavených sýrů

Tavený sýr lze považovat za vícesložkový gel složený z bílkovinné sítě, v níž je rozptýlený a emulgovaný tuk a navázány molekuly vody [45].

Prvním krokem při tvorbě tohoto gelu je uvolnění molekul kaseinu z bílkovinné sítě přírodního sýru. Tomu napomáhají základní funkce tavicích solí v tavených sýrech. První funkcí je odštěpení vápníku a iontová výměna (narušením vápenato-fosfátového spojení bílkovinné sítě přítomné v přírodních sýrech). Druhou základní funkcí je zvýšení a stabilizace pH, což má za následek otevřenější a reaktivnější konformace parakaseinátu s vynikajícími emulgačními schopnostmi a vazností vody [5,24,45].

Ve druhém kroku dochází k reasociaci bílkovin, jejich formování do trojrozměrné sítě, k emulgaci tuku a jeho začlenění do bílkovinné sítě [45]. Reasociace bílkovin je řízena rovnováhou mezi přitažlivými a odpudivými silami. Přitažlivé síly v kaseinech mohou zahrnovat vodíkové můstky, vápenaté můstky, fosforečnanovápenaté můstky, disulfidické můstky, interakce mezi kladnými a zápornými ionty a hydrofobní interakce. Odpudivé síly mohou zahrnovat elektrostatické interakce, které jsou ovlivněny celkovým nábojem kaseinů a iontovou silou roztoku. Při rovnovážném rozložení sil dochází k tvorbě pevného gelu s vhodně uspořádanou strukturou. V opačném případě může dojít ke srážení molekul kaseinů nebo naopak k jejich uvolňování z gelu [44].

Vlastnosti fosforečnanů v jednoduchých systémech (fosforečnan, voda a bílkoviny) jsou dobře známé z hlediska jejich schopnosti výměny vápenatých iontů za ionty sodíku, stejně jako jejich schopnosti podporovat tvorbu gelu mléčných bílkovin [14,24,46].

Tavicí soli váží vápník z nativního koloidního fosforečnanu vápenatého přítomného v přírodních sýrech a nahrazují ho ionty sodíku [28]. Nerozpustný parakaseinát vápenatý je tak převeden na rozpustnější parakaseinát sodný [47]. Dojde k narušení příčných vazeb tzv. fosforečnanovápenatých můstků, spojujících sousední monomery kaseinů [4]. Kvůli ztrátě fosforečnanovápenatých můstků, které jsou jednou z hlavních sil odpovědných za vznik a stabilitu kaseinové sítě, dochází k disperzi kaseinů [44].

Afinita k vápníku je ovlivněna počtem fosforečnanových iontů tvořících řetězec: čím je lineární řetězec delší, tím je jejich afinita k vápníku větší [29,47]. Při porovnávání různých typů fosforečnanů se tedy monofosforečnany účastní odštěpení vápníku a iontové výměny poměrně zřídka, zatímco polyfosforečnany se na tvorbě těchto interakcí podílí nejčastěji. Jednotlivé fosforečnany můžeme dle této schopnosti seřadit následovně: fosforečnany s dlouhým řetězcem > trifosforečnan > difosforečnan > monofosforečnan [27,28,44].

Narušení kaseinové sítě má za následek zvýšení vazebné kapacity bílkovin a zpřístupnění polárních hydrofilních a nepolárních hydrofobních segmentů, což umožňuje kaseinům působit jako emulgátory na rozhraní voda - tuk [47]. Odhalení hydrofilních úseků jednotlivých kaseinů [4], např. záporně nabitých fosfoserinových skupin, zvyšuje elektrostatické odpuzování mezi kaseiny [28]. Zvýšené elektrostatické odpuzování mezi kaseiny podporuje větší rozptýlení kaseinů při záhřevu [28]. To však platí pouze při hodnotách pH nad izoelektrickým bodem kaseinů, kde převládá na molekule negativní náboj [27,28,44]. Příliš vysoké hodnoty pH však mohou podporovat nadměrné rozptýlení kaseinu během záhřevu [38].

Rozptýlení kaseinů napomáhá také aniontový charakter polyfosforečnanů. Ten má za následek jejich přitahování a orientaci k opačně nabitým skupinám jiných polyelektrolitů s dlouhým řetězcem. Záporně nabitě fosforečnanové anionty se tedy vážou na kladně nabitě zbytky kaseinů nebo pomocí vápenatých iontů např. na fosfoserylové skupiny. Tyto asociace pak mají za následek zvýšení odpudivých sil mezi jednotlivými molekulami kaseinu [5,44].

Schopnost fosforečnanových solí vázat vápník a stupeň dispergace kaseinu následně ovlivňuje texturní vlastnosti tavených sýrů. Přidáním fosforečnanových tavicích solí dojde,

ve většině případů (v závislosti na jejich pH), ke zvýšení pH bílkovinného systému, což vede ke zvětšení záporného náboje mezi kaseiny a způsobuje jeho větší hydrataci. Dispergací kaseinů působením emulgačních solí a hydratací těchto kaseinových molekul se vyznačuje proces krémování. Když je disperze kaseinů a jejich hydratace intenzivní, probíhá krémování rychle. Výsledkem jsou produkty s vyšší tvrdostí [5,14,20,24,44].

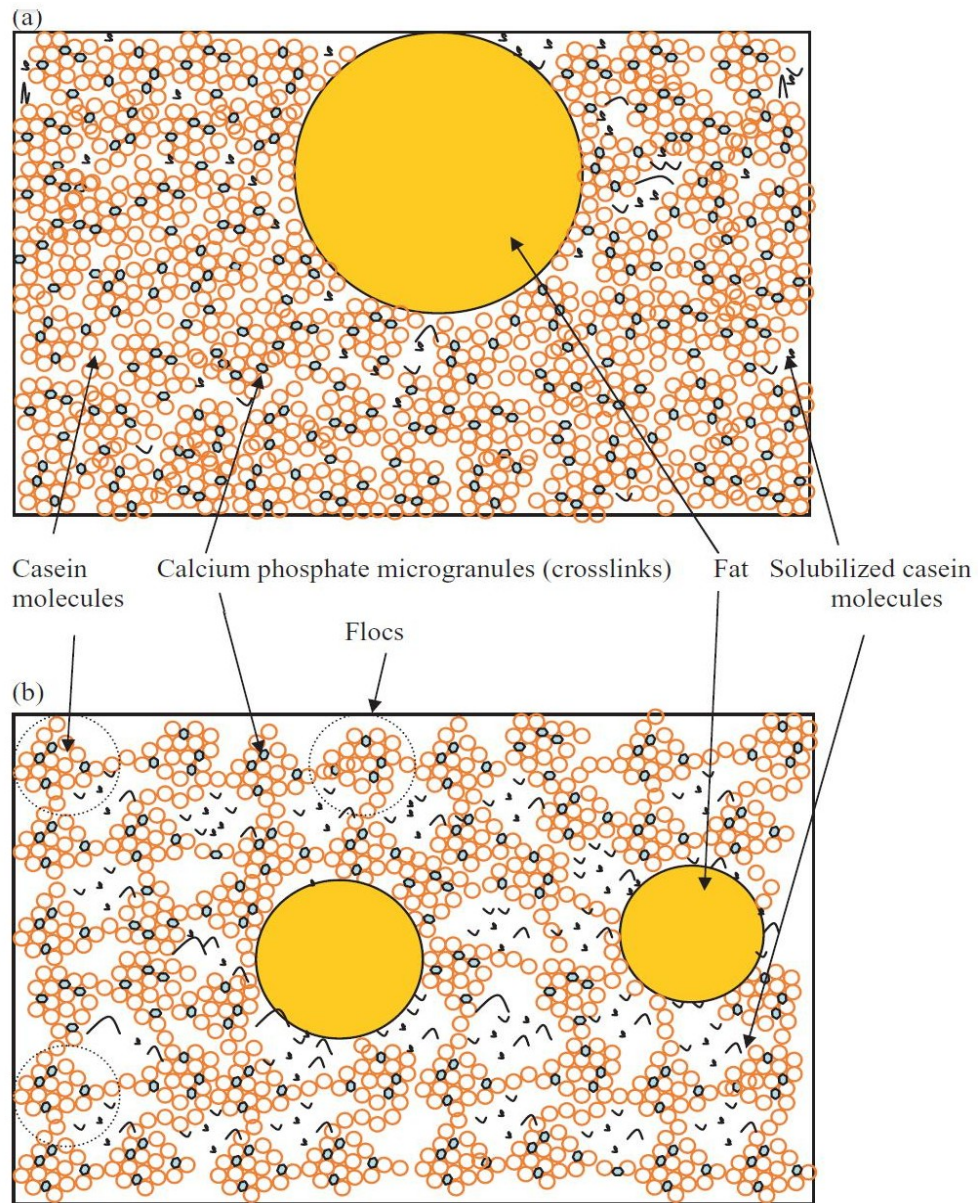
Rozptýlený kasein může také působit, jak již bylo uvedeno výše, jako emulgátor kapalného tuku, uvolněného při zahřívání a mělnění přírodních sýrů, pokrytím povrchu volnými kuličkami tuku [24,28,47]. Vznikají tedy interakce mezi hydrofilními segmenty a vodnou fází a rovněž mezi hydrofobními segmenty a tukovou fází [4,5]. To zamezuje oddělení tuku od hmoty sýru a vede k větší stabilitě sýrů se specifickými funkčními vlastnostmi [26,38]. Tavené sýry tedy představují stabilní emulzi tuku ve vodě, kdy tuková fáze je rovnoměrně dispergovaná v částečně rozptýlené kaseinové síti [5,44]. Porovnání struktury přírodního a taveného sýru znázorňuje Obrázek 2 (str. 24).

V důsledku nesprávné tvorby emulze by došlo k separaci tuku. K nesprávné emulgaci tavených sýrů může dojít z několika různých důvodů, včetně příliš nízké nebo vysoké hladiny tavicích solí, nízké konečné hodnoty pH, nízké úrovně neporušeného kaseinu, vysokého věku přírodních sýrů, nedostatečné či příliš vysoké teploty nebo času jejího působení během výroby tavených sýrů [5].

Uplatnění emulgačních vlastností kaseinů umožňuje použití vhodných tavicích solí. Stupeň emulgace v tavených sýrech při použití fosforečnanových tavicích solí klesá v následujícím pořadí: trifosforečnany  $\geq$  difosforečnany  $>$  polyfosforečnany  $>$  monofosforečnany [48]. Jak již bylo poznamenáno výše, schopnost emulgace tuku souvisí se schopností fosforečnanových tavicích solí izolovat vápník a dispergovat kaseiny a s množstvím hydrofobních interakcí. Emulgaci tuku podporují zvláště trifosforečnan a difosforečnan ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ), jejichž mírně vyšší pH podporuje lepší schopnost odštěpovat vápník, tak odkrývají více polárních a nepolárních skupin a podporují pokrytí větším počtem malých tukových kapének [14,29,51,47,49]. Polyfosforečnany sice váží vápník do komplexů a umožňují rozptýl kaseinů, na druhé straně ale příliš nepodporují tvorbu gelu, díky většímu množství záporných nábojů, což ztěžuje vznik interakcí prostřednictvím hydrofobních segmentů [24,47,48,].

Během chlazení dispergované molekuly kaseinu neasociují a tvoří jemně zesíťnou strukturu gelu (některé molekuly kaseinu mohou reasociovat i v horké tavenině)

Opětovným spojením kaseinů jsou v matrici pevně fixovány i tukové kuličky. Zvýšení množství tuku v tavených sýrech snižuje tuhost systému v důsledku porušení kontinuity proteinové sítě [27].

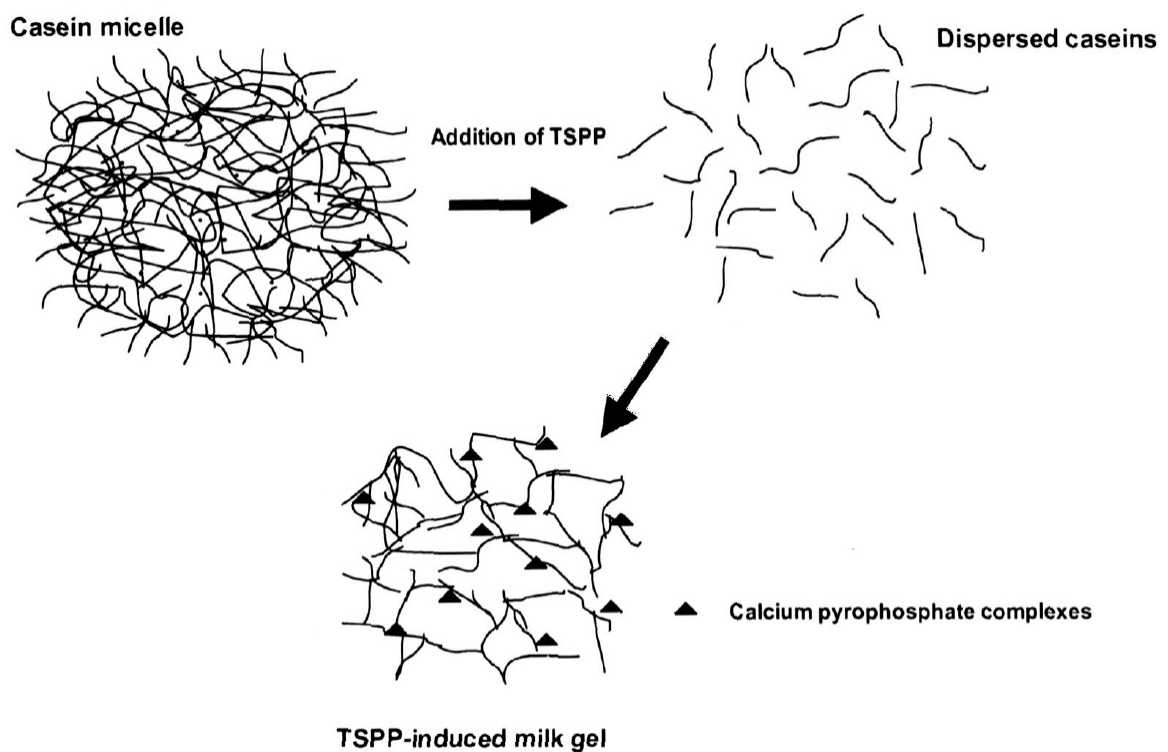


Obrázek 2: Schématické vyjádření mikrostruktury a) přírodních a b) tavených sýrů  
(upraveno dle [5])

Důležitou roli při tvorbě finální struktury výrobku mají, jak již bylo zmíněno, vápenaté ionty. Během chlazení tavených sýrů je část vápníku uvolněna z tavicích solí a zapojuje se prostřednictvím vápenatých můstků do opětovného zesílení matrice [5,20,28,31,33]. Příčné vazby mezi molekulami kaseinů mohou za pomoci vápenatých iontů, tvořit opětovně i některé typy fosforečnanových tavicích solí [29,38]. Fosforečnan vápenatý

imobilizuje flexibilní hydrofilní části kaseinů a zpevňuje vznikající strukturu. Asociace vápenatofosforečnanových komplexů s rozptýlenými kaseiny může dále snížit jejich záporný náboj, což usnadní vznik hydrofobních interakcí mezi hydrofobními segmenty [44]. Částečně dispergovaná matrice se formuje do vložek a tyto vložky následně tvoří homogenní pevně spojenou síť gelu [5].

Dobrá schopnost tvorby gelu byla pozorována u difosforečnanu sodného v experimentu Mizuno *et al.* [44], kdy byla tato sůl přidávána k roztoku kaseinových micel. Přídavek difosforečnanu k roztoku mléčných bílkovin vedl k rozptýlení kaseinů a vzniku komplexu kasein-difosforečnan vápenatý. Možný mechanismus tvorby gelu pomocí difosforečnanu sodného (TSPP) je znázorněn na Obrázku 3:



Obrázek 3: Schéma možného průběhu gelace po přidání difosforečnanu sodného ke koncentrátu mléčných bílkovin (upraveno dle [44])

Tvorba bílkovinného gelu pomocí difosforečnanu je ovlivněna různými podmínkami, včetně pH, iontové síly a koncentrace emulgační soli. Pro správný průběh gelace je nutné přidání dostatečné, ale ne zase příliš vysoké koncentrace tavicí soli. Při velmi nízkých koncentracích k tvorbě gelu nedochází pravděpodobně kvůli nedostatečnému rozptýlení kaseinů. Na druhou stranu, při použití velmi vysoké koncentrace, k rozptýlení kaseinu dojde, ale gelace pozorována nebyla. Možná, vysoká koncentrace komplexů difosforečnou



vápenatého s dispergovaným kaseinem zvyšuje záporný náboj kaseinů a inhibuje agregaci. Je také možné, že nadměrné množství soli váže příliš mnoho dostupného vápníku, takže ten je potom nedostupný pro síťování molekul kaseinu nebo neutralizaci záporně nabitých skupin [44].

Vyvolat gelovatění jsou schopny i jiné fosforečnany než difosforečnan, ale jejich účinky jsou slabší. Při přidání polyfosforečnanu gelace postupuje pomaleji nebo k ní nedochází. Jedním z možných vysvětlení je, že difosforečnan je schopen lépe tvořit příčné vazby mezi kaseiny než jiné molekuly tavicích solí na bázi fosforečnanů. Navázáním polyfosforečnanů dojde ke zvýšení záporného náboje kaseinů a ztížení reasociace molekul kaseinu prostřednictvím jejich hydrofobních segmentů [27,44].

### 2.3 Fosforečnany a hodnota pH tavených sýrů

Konečná hodnota pH tavených sýrů má významný vliv na kvalitu, mikrostrukturu a typ interakcí ve výsledné emulgované bílkovinné síti tavených sýrů. Výzkumy ukázaly, že hodnota pH dobře zpracovatelných roztíratelných sýrů by se měla pohybovat v rozmezí 5,60 až 6,10. Použití tavicích solí velmi často vyústí ve zvýšení pH sýrů, které se u přírodních sýrů obvykle pohybuje v rozmezí 5,0 až 5,5, na 5,6 až 5,9. Nejvyšší hodnoty pH uděluje fosforečnan sodný (pH sýru  $\approx 6,93$ ). Některé tavicí soli ale mohou pH snižovat. Tak je tomu například u dihydrogendifosforečnanu sodného (pH sýru  $\approx 4,67$ ), který se však vzhledem k poskytovanému nízkému pH samostatně nevyužívá, protože přináší obvykle drobné a rozpadající se sýry s rizikem oddělování tuku. Využívá se spíše jako korekční sůl ve směsích. Obdobně reaguje také dihydrogenfosforečnan sodný ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ). Poměrně nízké hodnoty pH poskytují i některé vyšší polyfosforečnany [5,14,27]. Přehled hodnot pH 1% vodných roztoků jednotlivých tavicích solí zobrazuje Tabulka 1 (str. 21).

Rozsah změny a stabilizace pH souvisí mimo jiné s hodnotou pH a pufrací kapacitou tavicích solí. Ve studii Sádliková *et al.* [14] zjistili, že při stejné koncentraci solí (3 % w/w sušiny taveného sýra) roste pH sýrů v následujícím pořadí: polyfosforečnan (pH  $\approx 5,79 \pm 0,02$ ) <  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (monohydrogenfosforečnan; pH  $\approx 6,64 \pm 0,02$ ) <  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  (trifosforečnan; pH  $\approx 6,74 \pm 0,01$ ) <  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  (difosforečnan; pH  $\approx 6,84 \pm 0,02$ ) <  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  (monofosforečnan; pH  $\approx 6,93 \pm 0,03$ ) [14,27].

Při nízkém pH (< 5,2) se kaseiny blíží k jejich izoelektrickému bodu a jejich výsledný negativní náboj klesá, což podporuje agregaci a oslabení emulgace tukové fáze v taveném

sýru. Tavicí soli mají menší schopnost izolovat vápník, protože vytvoření těsnější sítě parakaseinu jim ztěžuje přístup. Při nižších hodnotách pH je menší také disociace sodných solí, což vede k vytvoření méně reaktivních aniontů. Kaseiny jsou méně hydratované a již nemají otevřenou konformaci. Pokud proteinové molekuly nejsou dobře hydratované, voda nenarušuje jejich síť, je pouze uzavřená mezi molekulami, a výsledný produkt se zdá být tvrdší. Nízké pH proto způsobuje produkci suchých, zrnitých a drobných sýrů [5,24,27,47].

Homogenní emulzi tuku pevně spojenou s bílkovinnou sítí tvoří sýry s hodnotou pH v rozmezí 5,6 - 6,0. Se zvýšením hodnoty pH roste záporný negativní náboj kaseinů, snižuje se počet hydrofobních interakcí mezi molekulami a utváří se otevřenější a volnější síť s lepší hydratační kapacitou a emulgační schopností. V důsledku větší hydratace kaseinů se tedy tvrdost tavených sýrů snižuje. Zvýšení pH by mělo také zvýšit sekvestraci vápníku tavicích solí z koloidního fosforečnanu vápenatého, což má za následek opět větší rozptyl kaseinů [5,24,27].

Při hodnotách pH vyšších než 6,1 dochází k dalšímu zvýšení záporného náboje kaseinů, což oslabuje mezimolekulární vazby mezi proteinovými molekulami. Vysoké hodnoty pH mohou podporovat také nadměrné rozptýlení kaseinu během záhřevu a snížení tavitelnosti. Důsledkem je tvorba otevřené struktury inhibující gelaci a agregaci kaseinů a vznik příliš měkkých sýrů [5,27,38,44].

## 2.4 Směsi fosforečnanových solí

Pro dosažení optimálních emulgačních a tavicích vlastností, stejně jako pro vytvoření homogenního a stabilního sýru, je vhodná kombinace dvou nebo více solí do směsi [3,31]. S ohledem na různé vlastnosti jednotlivých skupin tavicích solí, má při jejich kombinaci velký význam správný poměr jednotlivých složek. Ten záleží na typu, stupni prozrálosti a struktuře sýrů, stejně jako na konečném požadovaném produktu a typu použitého obalu [21]. Skutečné umění kombinovat různé tavicí soli spočívá v sestavení individuálních komponent do takové kombinace, ve které jsou posíleny pozitivní vlastnosti solí při zpracování a následném uchovávání. Naproti tomu negativní charakteristiky jsou kompenzovány tak, aby neměly na proces žádný nebo jen zanedbatelný vliv. Avšak když jsou použity dvě, či více solí ve směsi, stává se vyvození jasných závěrů o působení jednotlivých solí složitější [21,51].

V průmyslu je použití jedné tavicí soli vzácné. Využívány jsou převážně jejich směsi. Hlavní potíž s komerčními směsmi tavicích solí je, že jejich složení zůstává obchodním tajemstvím společností, které je produkují [3]. Účinky fosforečnanových směsí na texturu nejsou proto systematicky popsány. V dostupné literatuře existuje jenom malé množství studií, které se obvykle zabývají směsmi 2, 3 až 5 jednotlivých solí [23].

Vlivem různého složení binárních směsí tavicích solí na vlastnosti tavených sýrů se zabýval např. El-Bakry *et al.* [62], který se zaměřil na binární směsi citronanu sodného (TSC) a hydrogenfosforečnanu sodného (DSP). Pozorovali zde zvyšování tvrdosti s rostoucím množstvím citronanu na úkor hydrogenfosforečnanu. Změna poměru DSP:TSC ovlivňovala mikrostrukturu sýrů. S klesajícím množstvím DSP ve směsi se snižovala průměrná velikost tukových kuliček. V důsledku vzniku menších tukových kuliček docházelo k jejich vyšší absorpci na povrch bílkovin, což vedlo ke zvýšení viskozity taveniny a následně zvýšení pevnosti konečných produktů. Dále se předpokládá, že citronany během chlazení po výrobě disociují a následně působí jako zdroj vápenatých iontů, které vytváří spojovací můstky mezi kaseiny. Proto citronan poskytoval sýry s větší tvrdostí než hydrogenfosforečnan [62].

Dále Weiserová *et al.* [23] zkoumali vliv šesti binárních směsí skládaných ze čtyř sodných solí fosforečnanů (hydrogenfosforečnanu sodného - DSP, difosforečnanu sodného - TSP, trifosforečnanu sodného - PSTP a sodné soli polyfosforečnanů - POLY). V této studii autoři poukazují především na nelinearitu v závislosti texturních parametrů produktů na změnách poměrů fosforečnanů v binárních směsích tavicích solí a na vysokou tvrdost produktů s dvousložkovými směsmi hydrogenfosforečnanu s difosforečnanem nebo trifosforečnanem v poměru přibližně 1:1. Vzorky vyrobené za použití polyfosforečnanu v binární směsi s dalšími tavicími solemi vykazovaly nárůst tvrdosti a pokles relativní lepivosti v závislosti na zvyšujícím se obsahu polyfosforečnanu v dané směsi. Shodné výsledky popisují práce Awad *et al.* [3], Sádliková *et al.* [14], Awad *et al.* [49] a Shirashoji *et al.* [28].

Vlivem ternárních směsí (hydrogenfosforečnanu, difosforečnanu a polyfosforečnanu sodného) se zabývali Buňka *et al.* [63]. Výsledky jejich studie ukazují, že vzorky roztíratelných tavených sýrů s obsahem polyfosforečnanu pod 60 % vykazovaly specifický vývoj texturních vlastností. Pokud se vyskytovaly zbývající dvě tavicí soli – hydrogenfosforečnan a difosforečnan ve vzájemném poměru 1:1 – 3:4, tak byl pozorován prudký nárůst tvrdosti a pokles kohezivnosti a relativní lepivosti studovaných vzorků.

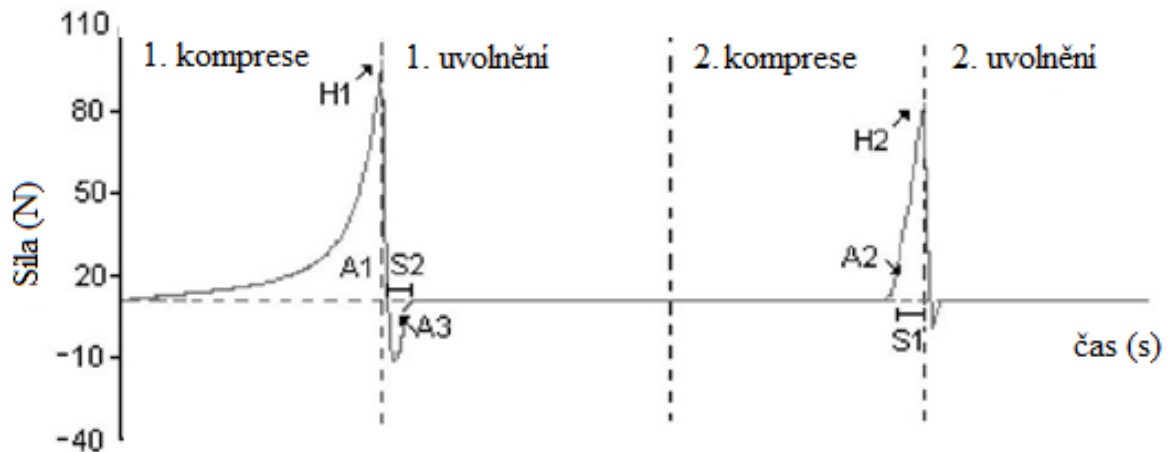
S rostoucím přídavkem polyfosforečnanu byl tento trend vývoje méně patrný a při obsahu polyfosforečnanu nad 60 % již nebyl prakticky zaznamenán. S rostoucím množstvím polyfosforečnanu ve směsi se tvrdost obecně snižovala [63].

### 3 MĚŘENÍ TEXTURY POMOCÍ TEXTURNÍ PROFILOVÉ ANALÝZY

Norma ČSN EN ISO 5492 definuje texturu jako „všechny mechanické, geometrické a povrchové vlastnosti výrobku vnímatelné prostřednictvím mechanických, hmatových, případně zrakových a sluchových receptorů“ [59].

Textura tavených sýrů závisí na vzájemném zastoupení vody, bílkovinné a tukové fáze, na jejich struktuře, na interakcích uvnitř bílkovinné sítě a na interakcích mezi touto bílkovinou sítí a tukovou fází [45]. Tyto vlastnosti jsou ovlivněny mnoha faktory, jako jsou složení směsi (např. kvalita přírodních sýrů, jako základní složky, obsah tuku, bílkovin, vody, typ/koncentrace tavicích solí a dalších volitelných přísad), pH a podmínky zpracování (jako jsou tavicí teplota a doba jejího působení). Všechny faktory jsou vzájemně provázané a mají na texturu tavených sýrů kombinovaný efekt [11,25,28,44,53,54].

Většina instrumentálních metod pro hodnocení textury je založena na mechanických testech, které zahrnují měření odolnosti potravin vůči účinkujícím silám větším, než gravitace [55]. Jednou z podmínek pro úspěšné měření je homogenita zkoumaného materiálu [56]. Jednou z nejrozšířenějších metod měření texturních vlastností tavených sýrů je texturní profilová analýza (TPA). Metodu texturní profilové analýzy zavedl již v roce 1963 Herman H. Friedman a tím dal do přímé souvislosti mechanické vlastnosti potravin s jejich texturním profilem. Tato metoda má simulovat chování potravin při žvýkání [57]. Texturní analyzátor pracuje tak, že spouští svisle dolů sondu, která rovnou plochou deformuje vzorek položený na spodní desku a napodobuje tak skousnutí lidské čelisti. Požadovanou deformací může být podle povahy vzorku, buď jeho stlačení, nebo penetrace do určité hloubky vzorku, jako tomu bylo v našem experimentu. U kompresního testu bývá cyklus často složen ze dvou kompresí vzorku a měření tlaku vyvinutého na potravinářský vzorek. Po první kompresi se zátěž ze vzorku odstraňuje a následuje uvolnění vzorku. Během odtahování sondy od povrchu vzorku je měřen tah způsobený lepivostí potravin. Následuje druhá komprese vzorku a opětovné uvolnění. Odolnost potravin při deformaci je sledována v celém tomto cyklu [24,58]. Ideální průběh zátěžové křivky závislosti síly deformace na čase je znázorněn na Obrázku 4 (str. 31).



Obrázek 4: Průběh křivky texturní profilové analýzy (upraveno dle [24,58])

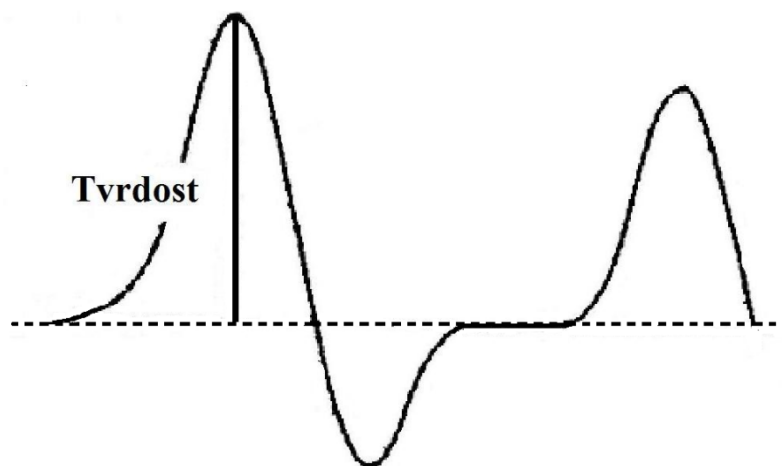
$H_1$ : tvrdost 1 (síla);  $H_2$ : tvrdost 2 (síla);  $A_1$ : práce vykonaná během prvního stlačení vzorku (plocha);  $A_2$ : práce vykonaná během druhého stlačení vzorku (plocha);  
 $A_3$ : přilnavost (plocha);  $S_1$ : pružnost 1 (vzdálenost);  $S_2$ : pružnost 2 (vzdálenost)

Tenzometrická měřicí hlava měří jak závislost síly na čase, tak závislost síly na dráze pohybu sondy. Tak je možné spočítat práci vykonanou k dosažení deformace taveného sýra. TPA umožňuje měření různých texturních vlastností. Parametry jako je tvrdost, křehkost, pružnost a přilnavost je možné odečítat přímo z křivek, soudržnost, gumovitost a žvýkatelnost je možné vypočítat [5,58].

Při penetraci vzorku vypadá křivka texturní profilové analýzy obdobně. U tohoto testu snímá měřicí hlava sílu potřebnou k proniknutí sondy do předem určené hloubky a vytažení měřicí sondy ze vzorku. Cyklus se opakuje stejně jako u komprese dvakrát. Během měření se zachovává konstantní rychlost pohybu měřicí sondy [65,66].

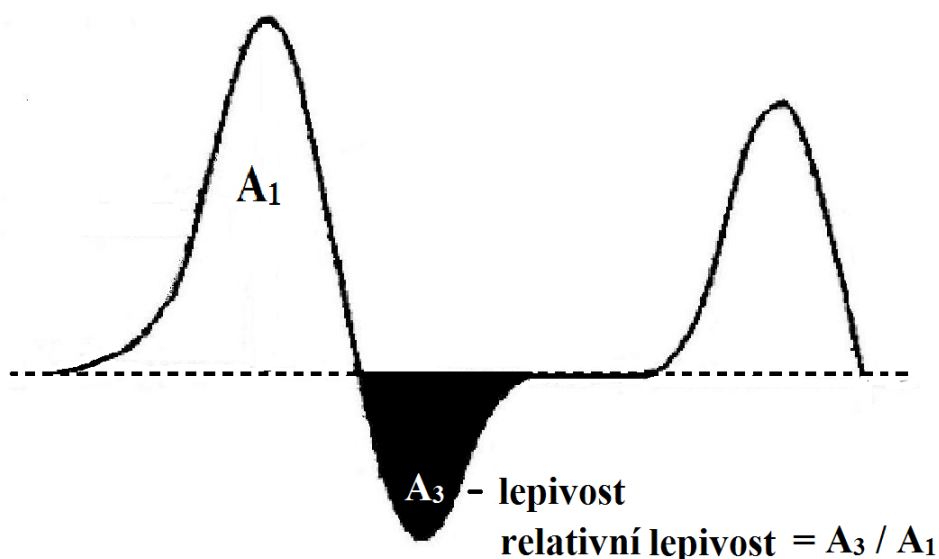
V rámci této diplomové práce byla měřena tvrdost, relativní lepivost a kohezivnost (soudržnost) vyrobených vzorků.

Tvrdost je definována jako síla potřebná k dosažení dané deformace nebo penetrace výrobku. Simuluje sílu potřebnou k deformaci výrobku mezi stoličkami (u tuhých látek) nebo mezi patrem a jazykem (polotuhé látky) [22,58]. Na Obrázku 5 (str. 32) je znázorněna jako maximální hodnota píku odpovídajícímu první penetraci vzorku.



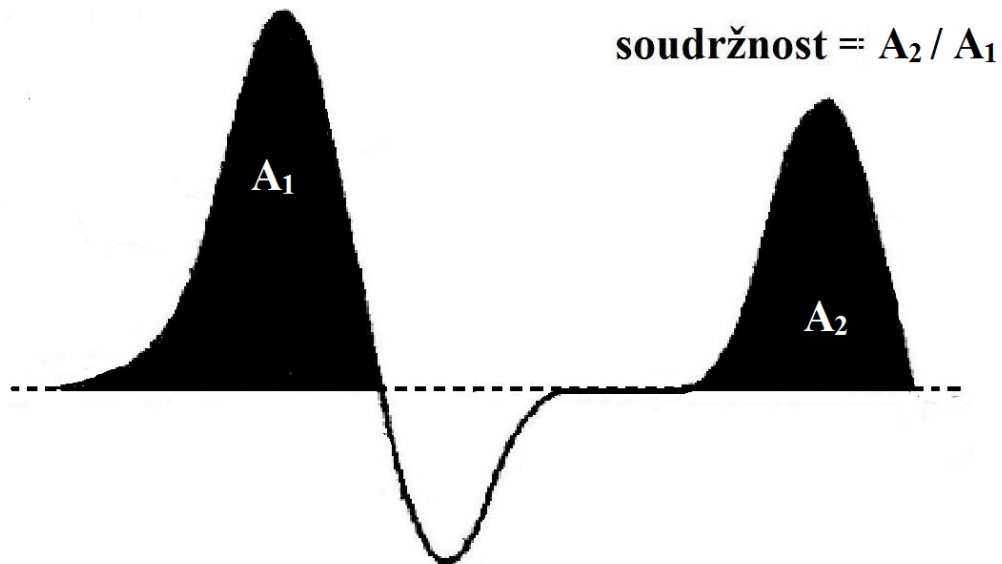
Obrázek 5: Křivka texturní profilové analýzy – tvrdost (upraveno dle [58])

Lepivost (přilnavost) je popisována jako síla potřebná k překonání síly přitažlivosti mezi povrchem potraviny a povrchem sondy neboli jako práce negativní síly v oblasti odtahování sondy po kompresi (penetraci) –  $A_3$  (viz. Obrázek 6) [22,27]. V našem experimentu byla zaznamenávána relativní lepivost, která je vyjádřena jako absolutní hodnota poměru plochy záporného píku  $A_3$  k ploše prvního píku  $A_1$ . Tím je zohledněn odpor materiálu (zejména postranní), který mimo jiné závisí i na síle měřeného gelu. Vzhledem k různé síle gelu vzniklých modelových vzorků bychom obdrželi vyšší hodnoty lepivosti u vzorků s vyšší tuhostí [61].



Obrázek 6: Křivka texturní profilové analýzy – lepivost (upraveno dle [58])

Soudržnost představuje sílu vnitřních vazeb, které drží potravinu pohromadě [58]. Tento parametr určíme jako poměr plochy druhého píku k ploše prvního píku –  $A_2/A_1$  (viz. Obrázek 7).



Obrázek 7: Křivka texturní profilové analýzy – soudržnost (upraveno dle [58])



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

#### 4 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce je výroba modelových vzorků tavených sýrů a sledování texturních parametrů v závislosti na složení ternárních směsí tavicích solí, na koncentraci použitých solí a na úpravě pH taveniny. Dílčí cíle této práce mohou být rozděleny na cíle teoretické části a cíle praktické části.

Cíle teoretické části:

- popsat základní charakteristiku tavených sýrů,
- charakterizovat výrobu tavených sýrů,
- popsat vlastnosti a úlohu tavicích solí v tavených sýrech se zaměřením na sodné soli fosforečnanů a polyfosforečnanů.

Cíle praktické části:

- výroba modelových vzorků tavených sýrů za použití ternárních směsí tavicích solí:
  - s použitím různého zastoupení hydrogenufosforečnanu sodného ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ), difosforečnanu sodného ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) a polyfosforečnanu sodného ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>n</sub>,
  - s celkovým přídatkem tavicích solí 2 % w/w, 2,5 % w/w a 3 % w/w
  - bez úpravy i s úpravou pH taveniny
- provedení texturní analýzy se zaměřením na tvrdost, relativní lepivost a kohezivnosti (soudržnosti), 28. den po výrobě
- sledování vlivu složení použitých ternárních směsí tavicích solí, koncentrace tavicích solí a úpravy pH taveniny na texturní vlastnosti modelových vzorků tavených sýrů
- vyvození závěrů na základě získaných výsledků a poznatků z teoretické části

## 5 METODIKA ZPRACOVÁNÍ A MĚŘENÍ

### 5.1 Charakteristika experimentu

Cílem tohoto experimentu bylo studování texturních vlastností tavených sýrů. Zkoumanými faktory, ovlivňujícími texturní vlastnosti, byly:

- různá složení ternárních směsí,
- různá koncentrace tavicích solí,
- eliminace vlivu hodnoty pH taveniny.

Experiment byl složen ze dvou fází. V první fázi byly vyrobeny vzorky tavených sýrů. Pro výrobu vzorků byly použity ternární směsi tavicích solí složené z hydrogenfosforečnanu sodného ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ; DSP), difosforečnanu sodného ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ; TSPP) a polyfosforečnanu sodného ( $(\text{NaPO}_3)_n$  ( $n \approx 20$ ); POLY). Použité tavicí soli byly testovány v různých procentuelních poměrech, s krokem po 10 % (0:0:100, 0:90:10, 0:80:20, ... 90:10:0, 100:0:0), experiment tedy zahrnoval 66 různých variant směsí tavicích solí.

Celkový přírůstek tavicích solí byl 2,0 % w/w, 2,5 % w/w a 3,0 % w/w (všechny koncentrace byly přepočteny na finální hmotnost výrobku).

Jedna série vzorku byla vyrobena bez úpravy pH, u druhé série byla hodnota pH upravena na přibližně stejnou hodnotu (cílový interval hodnot pH byl zvolen v rozmezí 5,70 – 5,80). Tato úprava měla zajistit eliminaci vlivu hodnoty pH na texturní vlastnosti vyrobených vzorků.

Druhá část experimentu obnášela provedení základní chemické analýzy (stanovení obsahu sušiny a měření hodnoty pH) a stanovení texturních vlastností. Tyto analýzy byly prováděny po 28 dnech skladování při teplotě  $6 \pm 1$  °C).

### 5.2 Výroba modelových vzorků

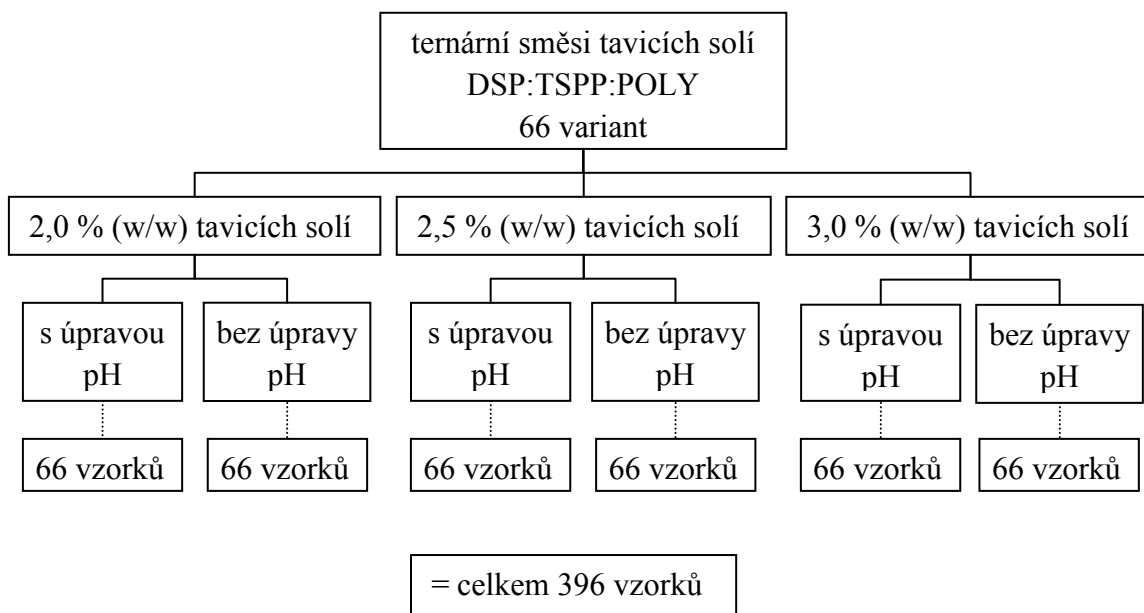
Pro výrobu modelových vzorků byly použity tyto základní suroviny:

- eidamská cihla ~ 30 % (w/w) tuku v sušině, zralost 7 týdnů,
- máslo - obsah tuku ~ 82 % (w/w),
- pitná voda,
- tavicí soli: hydrogenfosforečnan sodný (DSP), difosforečnan sodný (TSPP) a polyfosforečnan sodný (POLY) – Fosfa akciová společnost, Břeclav.

Množství jednotlivých surovin bylo zvoleno tak, aby vyrobené vzorky měly obsah sušiny 40 % w/w a 50 % w/w v sušině. Celkový přírůdek tavicích solí byl 2,0 % w/w, 2,5 % w/w a 3,0 % w/w. Vzorky byly vyrobeny pomocí zařízení Vorwerk Thermomix TM 31 (Vorwerk & Co., GmbH, Wuppertal, Německo).

Výroba vzorků probíhala tak, že do tavicího zařízení byl nadávkován nejprve přírodní sýr nakrájený na kostky. Po rozmixování na menší části bylo přidáno máslo, tavicí soli a voda. Směs byla za stálého míchání zahřívána až na teplotu 90 °C. Teplota 90 °C byla udržována po dobu jedné minuty. Takto vznikla homogenní tavenina, která byla nadávkována do polypropylenových kelímků (výška 50 mm, průměr 52 mm). Kelímky byly uzavřeny přitavením hliníkového víčka, poté zchlazeny a skladovány při teplotě  $6 \pm 1$  °C.

U série vzorků s úpravou hodnoty pH taveniny bylo přidáváno potřebné množství zásady (NaOH,  $c = 1 \text{ mol.l}^{-1}$ ) či kyseliny (HCl,  $c = 1 \text{ mol.l}^{-1}$ ). Tato činidla byla ke směsi přidávána během tavicího procesu, po dosažení teploty 85 °C. Potřebné množství těchto činidel pro jednotlivé tavby bylo stanoveno na základě kalibračních modelů, které nejsou součástí této práce. Pro zachování požadované sušiny vzorků, bylo vypočtené množství činidel odečteno od celkového přírůdku pitné vody. Schéma experimentu je znázorněno na Obrázku 8:



Obrázek 8: Schéma výroby modelových vzorků

### 5.3 Základní chemická analýza

Z chemických analýz byly u modelových vzorků tavených sýrů provedeny stanovení obsahu sušiny a měření hodnoty pH vyrobených vzorků.

Stanovení obsahu sušiny modelových vzorků tavených sýrů bylo provedeno dle příslušné normy ČSN EN ISO 5534 vysušením sýrů při teplotě  $102 \pm 2$  °C do konstantních úbytků hmotnosti [60].

Hodnoty pH vyrobených vzorků byly měřeny pomocí vpichového pH-metru Spear se skleněnou elektrodou (Eutech Instruments, Oakton, Malajsie). U každého vzorku bylo měření pH provedeno čtyřikrát.

### 5.4 Texturní profilová analýza

Texturní vlastnosti vyrobených vzorků byly měřeny texturním analyzátozem TA-TX2 plus (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Velká Británie). Texturní analýza byla provedena dvojitou penetrací vzorku válcovou nerezovou ocelovou sondou o průměru 20 mm, do hloubky 10 mm, rychlostí sondy  $2 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Sledovanými parametry byly tvrdost, relativní lepivost a soudržnost (kohezivnost).

Jako tvrdost byla označena maximální síla dosažená při požadované deformaci výrobku. Jako relativní lepivost byla označena práce potřebná k překonání přitažlivosti mezi povrchem taveného sýru a povrchem sondy. Kohezivnost je popisována jako síla vnitřních vazeb, které tvoří potravinu [22,58]. Měřené parametry jsou podrobněji popsány v Kapitole č. 3 a znázorněny na Obrázku 5 – 7 (str. 31 - 33).

## 6 VÝSLEDKY A DISKUZE

Hodnocené vzorky byly podrobeny chemickým analýzám (stanovení obsahu sušiny, měření hodnoty pH) a stanovení texturních vlastností po 28 dnech skladování při teplotě  $6 \pm 1$  °C.

### 6.1 Výsledky chemických analýz

Hodnoty obsahu sušiny vyrobených vzorků se pohybovaly v rozmezí 40,31 až 40,96 % (w/w). Obsah sušiny tedy dosahoval u všech vzorků obdobných hodnot. To je důležité pro zabezpečení srovnatelnosti jednotlivých vzorků, protože obsah sušiny a vlhkosti může významně ovlivnit texturní vlastnosti.

Hodnoty pH u první série vzorků (bez úpravy pH) se měnily v závislosti na složení směsi tavicích solí (Obrázek 9). U vzorků obsahujících jednotlivé soli samostatně vykazovaly nejvyšší hodnoty pH, u všech koncentrací tavicích solí, vzorky s TSPP ( $\text{pH}_{2,0\%} = 6,33$ ;  $\text{pH}_{2,5\%} = 6,35$ ;  $\text{pH}_{3,0\%} = 6,57$ ). Mírně nižší hodnoty pH vykazovaly vzorky obsahující DSP ( $\text{pH}_{2,0\%} = 6,01$ ;  $\text{pH}_{2,5\%} = 6,13$ ;  $\text{pH}_{3,0\%} = 6,36$ ) a nejnižší hodnoty vzorky obsahující POLY ( $\text{pH}_{2,0\%} = 5,15$ ;  $\text{pH}_{2,5\%} = 5,12$ ;  $\text{pH}_{3,0\%} = 5,16$ ).

Při zkoumání vzorků s ternárními směsmi tavicích solí bylo pozorováno, že s rostoucím obsahem POLY ve směsi docházelo k postupnému poklesu hodnoty pH sýrů. V závislosti na změně vzájemného poměru DSP a TSPP, při konstantním množství POLY, nedocházelo ve většině případů k žádnému rostoucímu ani klesajícímu vývoji hodnoty pH. Hodnoty se pohybovaly nepravidelně, v úzkém intervalu (vždy u směsí se stejnou koncentrací tavicích solí). Výjimkou byl u všech koncentrací poměr solí 100:0:0 (DSP:TSPP:POLY), kde byla hodnota pH výrazně nižší než u následujících poměrů. Pouze u koncentrace tavicích solí 3,0 % (w/w) a obsahu POLY 20 – 70 % docházelo k vzrůstu hodnoty pH s rostoucím množstvím TSPP a s klesajícím množstvím DSP ve směsi (při konstantním obsahu POLY).

Dalším zkoumaným parametrem ovlivňujícím hodnotu pH sýrů byl celkový obsah tavicích solí. Bylo zjištěno, že při zvýšení obsahu tavicích solí ve směsi docházelo také ke zvýšení hodnoty pH sýrů. Rozdíl mezi koncentracemi 2,0 % a 2,5 % (w/w) byl méně výrazný než mezi koncentracemi 2,5 % a 3,0 % (w/w). S rostoucím obsahem POLY ve směsi se tyto rozdíly mírně zmenšovaly. Výjimkou byly poměry solí 10:10:80, 10:0:90 a 0:0:100

(DSP:TSPP:POLY), u kterých vykazovaly vzorky s 2 % (w/w) vyšší hodnoty pH než vzorky s 2,5 % (w/w).

Optimálních hodnot pH roztíratelných tavených sýrů (pH 5,6 až 6,1) dosahovaly jenom některé vzorky. U koncentrace 2,0 % (w/w) tavicích solí to byly vzorky s 20 až 100 % POLY, u koncentrace 2,5 % (w/w) tavicích solí vzorky s 30 až 100 % POLY a u koncentrace 3,0 % (w/w) tavicích solí vzorky s 40 až 100 % POLY. Přestože tyto vzorky dosahovaly optimálních hodnot pH, docházelo pro jednotnost druhé série vzorků i u nich k úpravě hodnoty pH na zvolený interval (viz. dále).

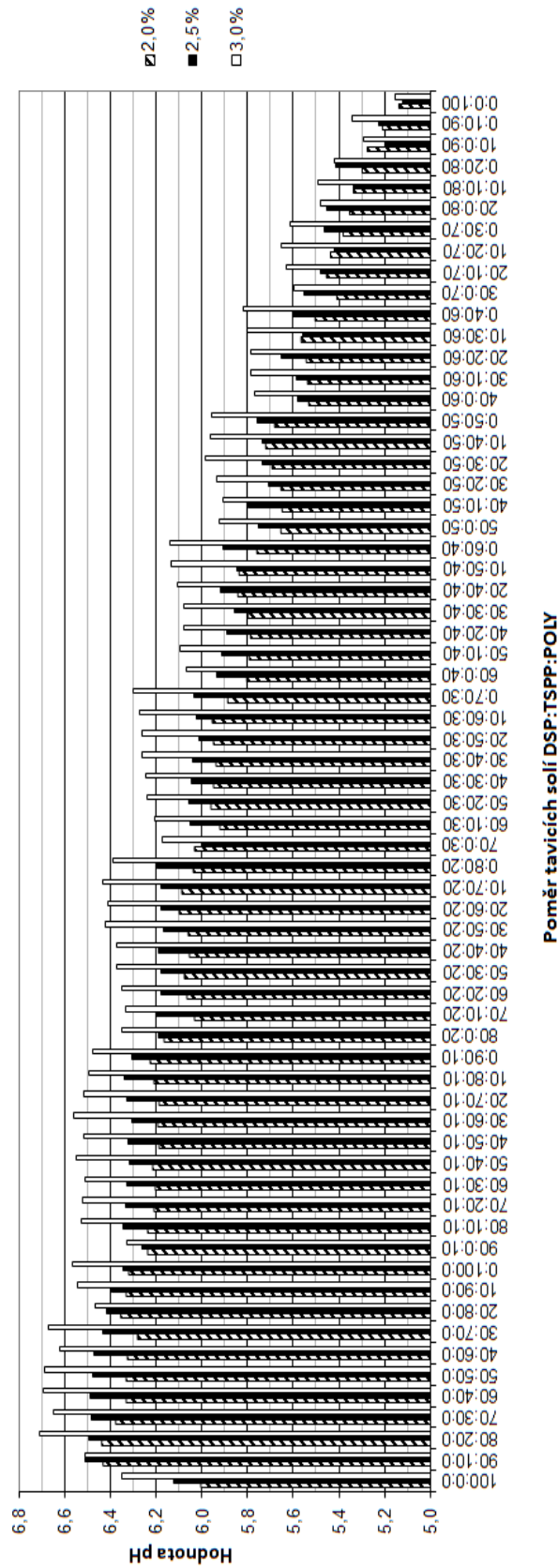
U druhé série vzorků byla během výroby hodnota pH ovlivňována přidavkem NaOH a HCl. Cílový interval hodnot pH byl zvolen v rozmezí 5,70 až 5,80. Tato úprava měla zajistit eliminaci vlivu hodnoty pH na texturní vlastnosti vyrobených vzorků.

Hodnota pH nemusela být upravována u vzorků s obsahem solí 2,0 % (w/w) u poměrů solí: 50:10:40, 40:20:40, 0:60:40, 20:30:50 a 10:40:50 (DSP:TSPP:POLY). U vzorků s obsahem solí 3,0 % (w/w) nebylo třeba úpravy u všech směsí s obsahem POLY 50 % a u vzorků s obsahem solí 3,5 % (w/w) u poměrů: 40:0:60, 30:10:60 a 20:20:60.

Snížení hodnoty pH bylo nutné u vzorků s obsahem solí 2,0 % (w/w) u všech směsí s obsahem POLY 0 – 30 % a u poměrů 60:0:40, 50:10:40 a 10:50:40. U vzorků s obsahem solí 3,0 % (w/w) bylo třeba snížit hodnotu pH u všech směsí s obsahem POLY 0 – 40 % a u vzorků s obsahem solí 3,5 % (w/w) u všech směsí s obsahem POLY 0 – 50 % a u poměrů 10:30:60 a 0:40:60.

Zvýšení hodnoty pH bylo třeba u vzorků s obsahem solí 2,0 % (w/w) u poměrů: 50:0:50, 40:10:50 a 30:20:50 a u směsí obsahem POLY 60 – 100 %. U vzorků s obsahem solí 3,0 % (w/w) bylo nutno zvýšit hodnotu pH u všech směsí s obsahem POLY 60 – 100 % a u vzorků s obsahem solí 3,5 % (w/w) u všech směsí s obsahem POLY 70 – 100 %.

V experimentu se podařilo vyrobit vzorky, jejichž hodnota pH se pohybovala v rozmezí hodnot 5,59 až 5,84.



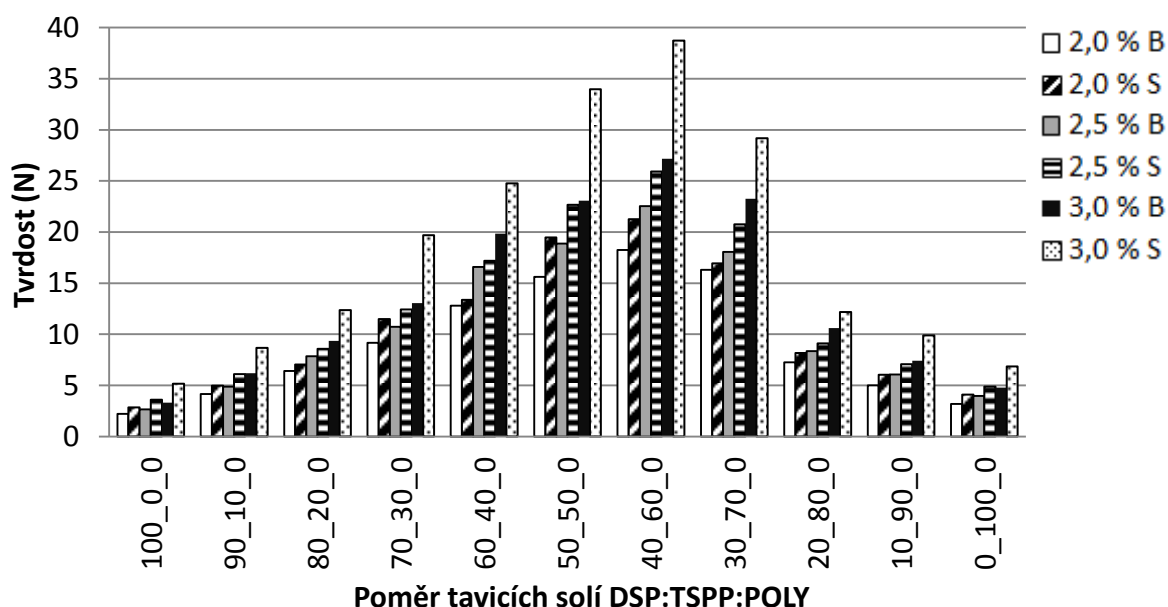
Obrázek 9: Hodnota pH vzorků v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí a na celkovém obsahu tavicích solí (série vzorků bez úpravy pH)



## 6.2 Výsledky texturní profilové analýzy

### 6.2.1 Tvrdość

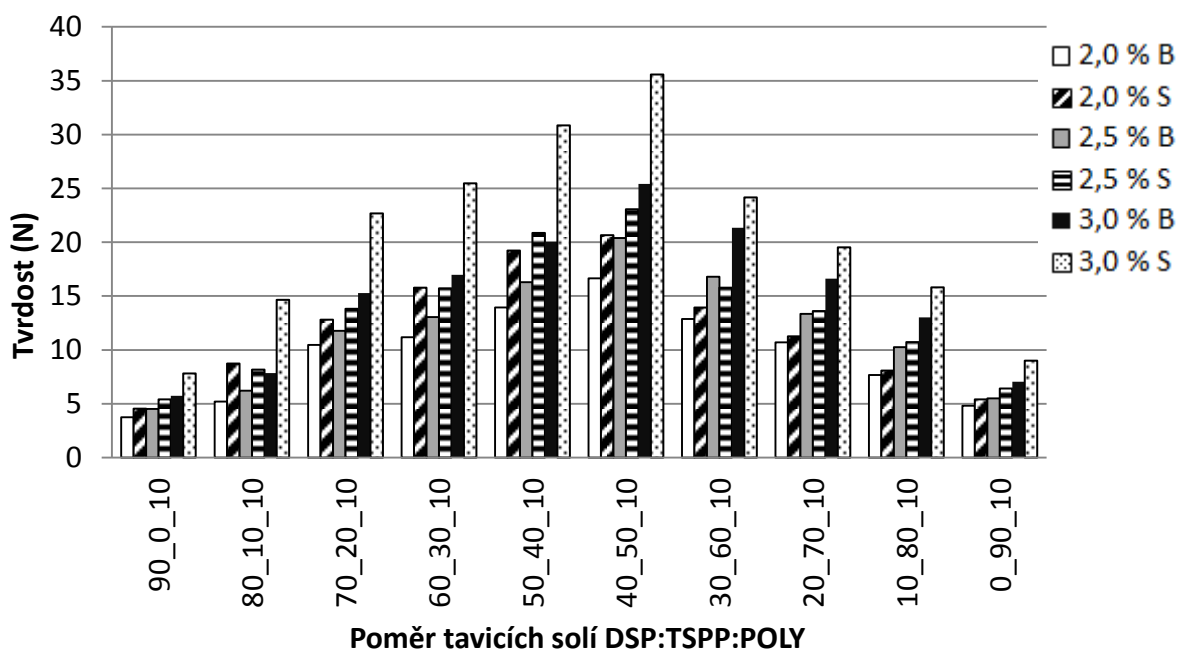
Výsledky měření tvrdosti vzorků tavených sýrů je graficky znázorněna na obrázcích 10 až 15. Zkoumanými parametry, ovlivňujícími tvrdost tavených sýrů, byly složení ternární směsi tavicích solí a celkový obsah tavicích solí (w/w). Srovnávány jsou vedle sebe vzorky bez i s úpravou hodnoty pH taveniny. V grafech jsou vzorky, u kterých došlo k úpravě pH označeny „S“ a ty u nichž hodnota pH nebyla upravována jsou označeny „B“. Pro přehlednost mají všechny grafy stejný rozsah osy tvrdosti.



Obrázek 10: Tvrdość tavených sýrů v závislosti na složení směsi tavicích solí s 0 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny  
(B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

Při nulovém obsahu POLY docházelo k nárůstu tvrdosti s rostoucím množstvím TSP a s klesajícím množstvím DSP v poměrech (DSP:TSP) 100:0 až 40:60. U poměru solí (DSP:TSP:POLY) 40:60:0 byla naměřena nejvyšší hodnota tvrdosti z celého experimentu. Při dalších změnách poměru tvrdost měřených vzorků klesala. Nejnížší tvrdost v tomto experimentu byla naměřena u poměru solí 100:0:0.

Se zvyšujícím se přidavkem tavicích solí docházelo k nárůstu tvrdosti tavených sýrů. Vzorky s 0 % POLY dosahovaly hodnoty pH v rozmezí 6,01 až 6,70. Úpravou hodnoty pH na interval 5,59 až 5,84 došlo tedy k jejímu poklesu. Snížení hodnoty pH vede ke snížení negativního náboje mezi kaseiny. Tím se utváří těsnější a pevnější síť kaseinů s menší hydratační kapacitou a emulgační schopností. V důsledku menší hydratace kaseinů se tvrdost tavených sýrů zvyšuje [5,24,27]. Proto vykazovaly ve všech případech větší tvrdost vzorky, u kterých byla upravena hodnota pH.

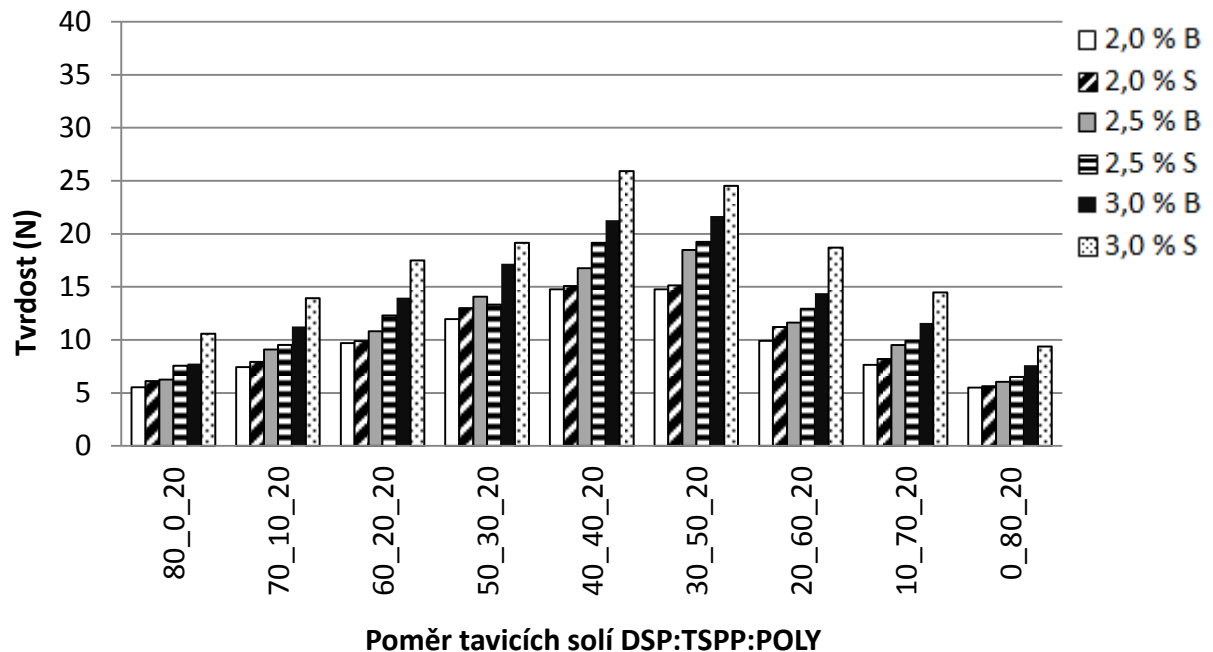


Obrázek 11: Tvrdost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 10 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

Při obsahu POLY 10 % docházelo k nárůstu tvrdosti vždy s rostoucím množstvím TSPP a s klesajícím množstvím DSP v poměrech 90:0:10 až 40:50:10 (DSP:TSPP:POLY). Při dalších změnách poměru tvrdost měřených vzorků klesala.

Se zvyšujícím se přidavkem tavicích solí tvrdost tavených sýrů opět k narůstala.

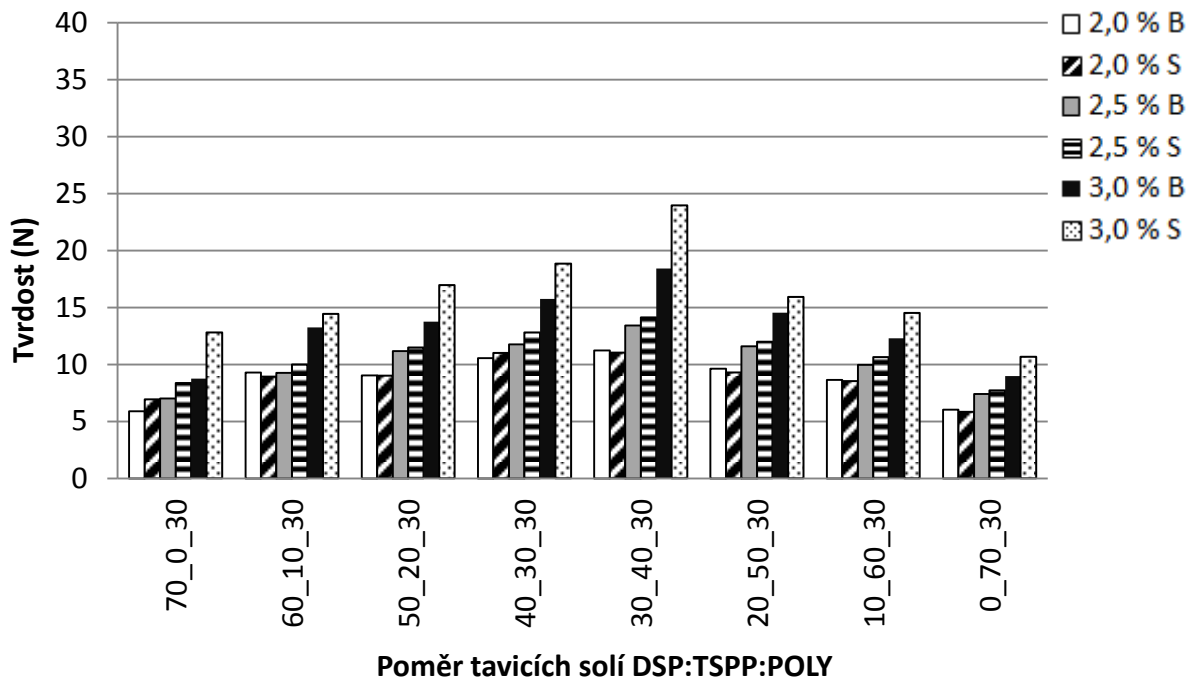
U těchto vzorků se hodnota pH pohybovala v rozmezí 6,20 až 6,55. Vzorky, u kterých byla úpravou hodnota pH snížena na interval 5,59 až 5,84 vykazovaly vyšší hodnoty tvrdosti v důsledku poklesu negativního náboje kaseinů.



Obrázek 12: Tvrdość tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 20 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

Při obsahu POLY 20 % tvrdość vzorků vzrůstala s rostoucím množstvím TSP a s klesajícím množstvím DSP v poměrech 80:0:20 až 40:40:20 (DSP:TSP:POLY). Při dalších změnách poměru tvrdość měřených vzorků klesala.

V důsledku rostoucího obsahu tavicích solí docházelo ke zvýšení tvrdości tavených sýrů. Vzorky s úpravou hodnoty pH vykazovaly ve všech případech opětovně vyšší hodnoty tvrdości. Tentokrát došlo úpravou na interval pH 5,59 až 5,84 k jeho snížení z rozmezí hodnot 6,04 až 6,44.

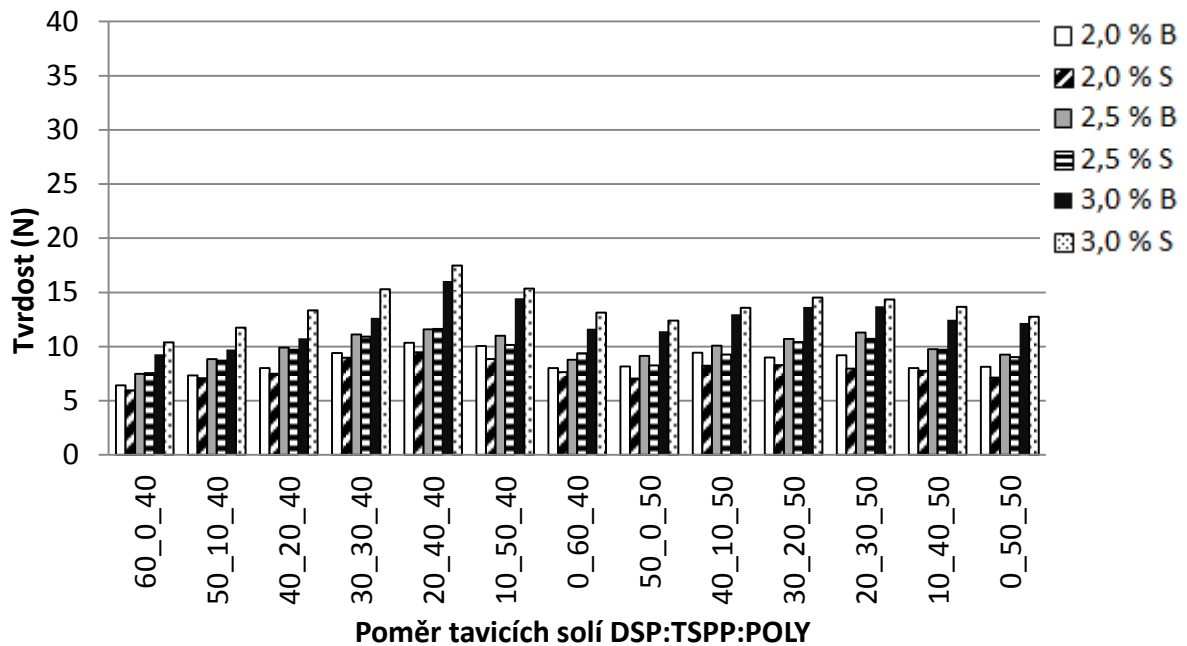


Obrázek 13: Tvrdość tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 30 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

Při obsahu POLY 30 % docházelo k nárůstu tvrdosti s rostoucím množstvím TSPP a s klesajícím množstvím DSP v poměrech 70:0:30 až 30:40:30 (DSP:TSPP:POLY). Při dalších změnách poměru tvrdost měřených vzorků klesala.

Se zvyšujícím se přidavkem tavicích solí docházelo stejně jako v předchozích grafech k nárůstu tvrdosti tavených sýrů. Při obsahu tavicích solí 2,5 % (w/w) a 3 % (w/w) vykazovaly mírně větší tvrdost vzorky s upravenou hodnotou pH taveniny, neboť jejich hodnota pH dosahovala nižších hodnot (5,59 až 5,84). pH vzorků bez úpravy se měnilo v rozmezí 6,00 až 6,30. Jelikož rozdíl mezi hodnotou pH vzorků s úpravou a bez úpravy nebyl již tak značný, zmenšil se také rozdíl mezi naměřenými hodnotami tvrdosti.

Při obsahu solí 2 % (w/w) vykazovaly ve většině případů větší tvrdost vzorky bez úpravy hodnoty pH, rozdíly v naměřených hodnotách však nebyly příliš významné. U této koncentrace solí dosahovaly vzorky bez úpravy hodnoty pH rozmezí 5,93 až 5,97 (s výjimkou poměru 70:0:30 – pH 6,04). Tyto hodnoty se již dosti přibližují hodnotám vzorků s úpravou pH.



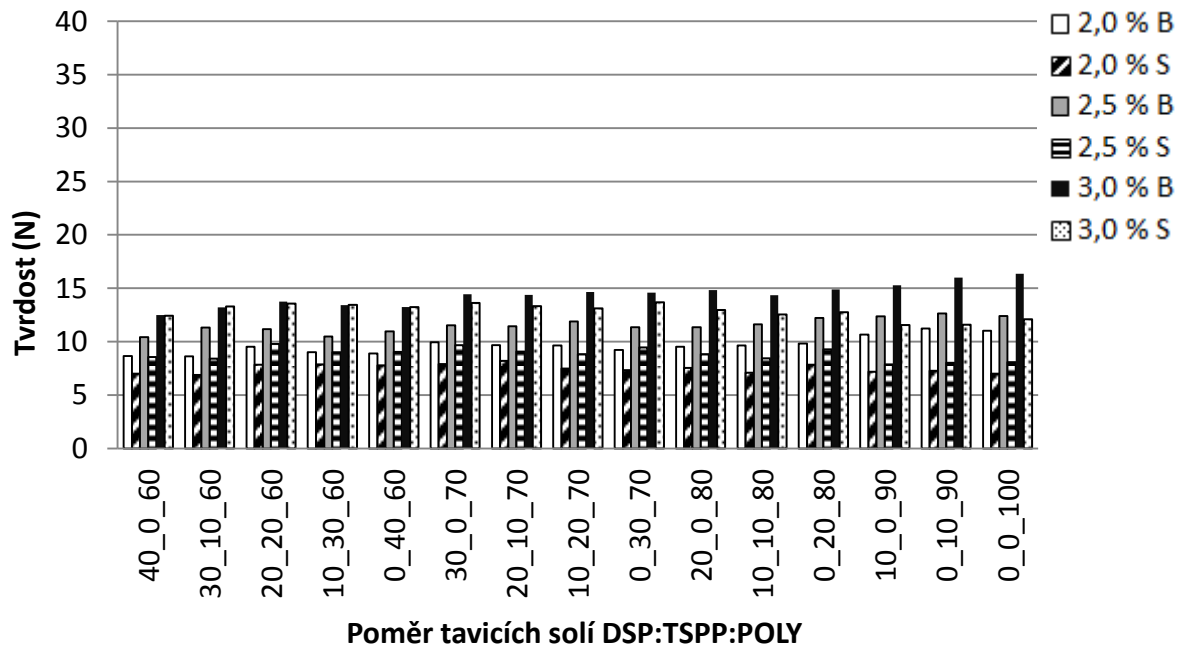
Obrázek 14: Tvrdość tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 40 % a 50 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

Při obsahu POLY 40 % docházelo k nárůstu tvrdosti s rostoucím množstvím TSPP a s klesajícím množstvím DSP v poměrech 60:0:40 až 20:40:40 (DSP:TSPP:POLY). Při dalších změnách poměru tvrdost měřených vzorků klesala.

Při obsahu POLY 50 % docházelo k nárůstu tvrdosti s rostoucím množstvím TSPP a s klesajícím množstvím DSP v poměrech 50:0:50 až 20:30:50 (DSP:TSPP:POLY). S dalším zvyšováním množství TSPP a se snižováním DSP docházelo k poklesu tvrdosti. V grafu lze také pozorovat, že při zvýšení obsahu POLY dochází ke snižování vlivu vzájemného poměru DSP a TSPP. To znamená, že rozdíly v naměřených hodnotách mezi jednotlivými poměry už nejsou tak markantní jako u vzorků s menším obsahem POLY.

Větší přídavek tavicích solí vedl opětovně k nárůstu tvrdosti tavených sýrů. Při obsahu tavicích solí 2 % (w/w) a 2,5 % (w/w) vykazovaly větší tvrdost převážně vzorky bez úpravy pH. Rozdíly však nebyly příliš velké. Hodnota pH vzorků bez úpravy se pohybovala v rozmezí 5,66 až 5,94 a dosahovala mírně menších či obdobných hodnot jako u vzorků s úpravou pH.

Při obsahu tavicích solí 3 % (w/w) byly u vzorků bez úpravy pH naměřeny hodnoty 5,91 až 6,14. To znamená vyšší hodnoty než u vzorků s úpravou pH (5,59 až 5,84). V důsledku toho byla tvrdost vzorků bez úpravy pH menší.



Obrázek 15: Tvrdost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 60 % až 100 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

Při obsahu POLY 60 % docházelo k nárůstu tvrdosti s rostoucím množstvím TSPP a s klesajícím množstvím DSP v poměrech 60:0:40 až 20:20:40 (DSP:TSPP:POLY). Při dalších změnách poměru tvrdost měřených vzorků klesala. Rozdíly v naměřených hodnotách byly u těchto vzorků díky většímu zastoupení POLY velmi malé.

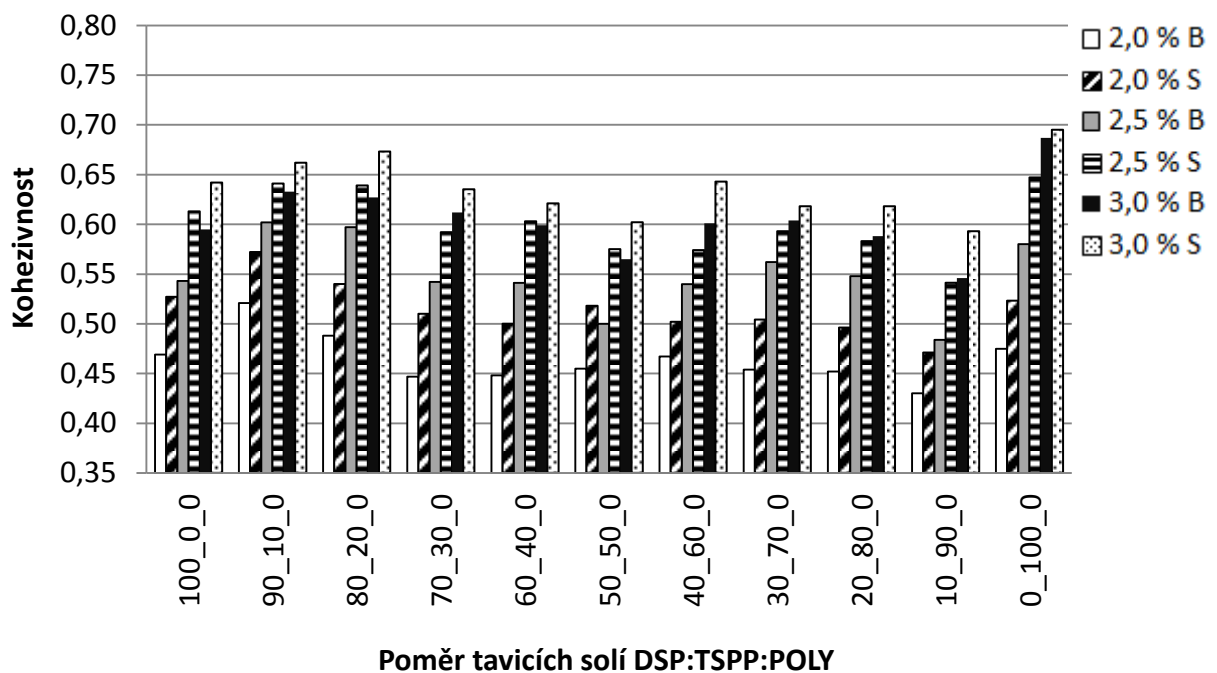
U vzorků s vysokým podílem POLY: 70 - 100 % nevykazovala tvrdost v závislosti na vzájemném poměru DSP a TSPP žádný rostoucí ani klesající trend. Můžeme ale pozorovat, že u vzorků bez úpravy pH dochází k mírnému nárůstu tvrdosti v důsledku rostoucího obsahu POLY. To je způsobeno tím, že se zvyšujícím se množstvím POLY klesá hodnota pH vzorků (viz. Obrázek 9, str. 41). Tak vzniká, jak již bylo zmíněno výše, těsnější a pevnější síť kaseinů s menším stupněm hydratace [5,24,27].

V důsledku zvýšení množství tavicích solí docházelo, stejně jako ve všech ostatních případech, k nárůstu tvrdosti tavených sýrů. Dále vykazovaly téměř ve všech případech

větší tvrdost vzorky, u kterých nebyla upravena hodnota pH, neboť tyto vzorky měly hodnotu pH nižší, pohybující se v rozmezí 5,12 až 5,66.

### 6.2.2 Kohezivnost (soudržnost)

Kohezivnost vzorků tavených sýrů je graficky znázorněna na obrázcích 16 až 21. Zkoumanými parametry, stejně jako u tvrdosti, byly složení ternární směsi tavicích solí a celkový obsah tavicích solí (w/w). Srovnávány jsou vedle sebe opět vzorky bez i s úpravou hodnoty pH taveniny. V grafech jsou vzorky, u kterých došlo k úpravě pH označeny „S“ a ty u nichž hodnota pH nebyla upravována jsou označeny „B“. Pro přehlednost mají všechny grafy stejný rozsah osy kohezivnosti a začátek osy byl posunut z nuly do hodnoty 0,35 pro lepší viditelnost rozdílů v naměřených hodnotách.

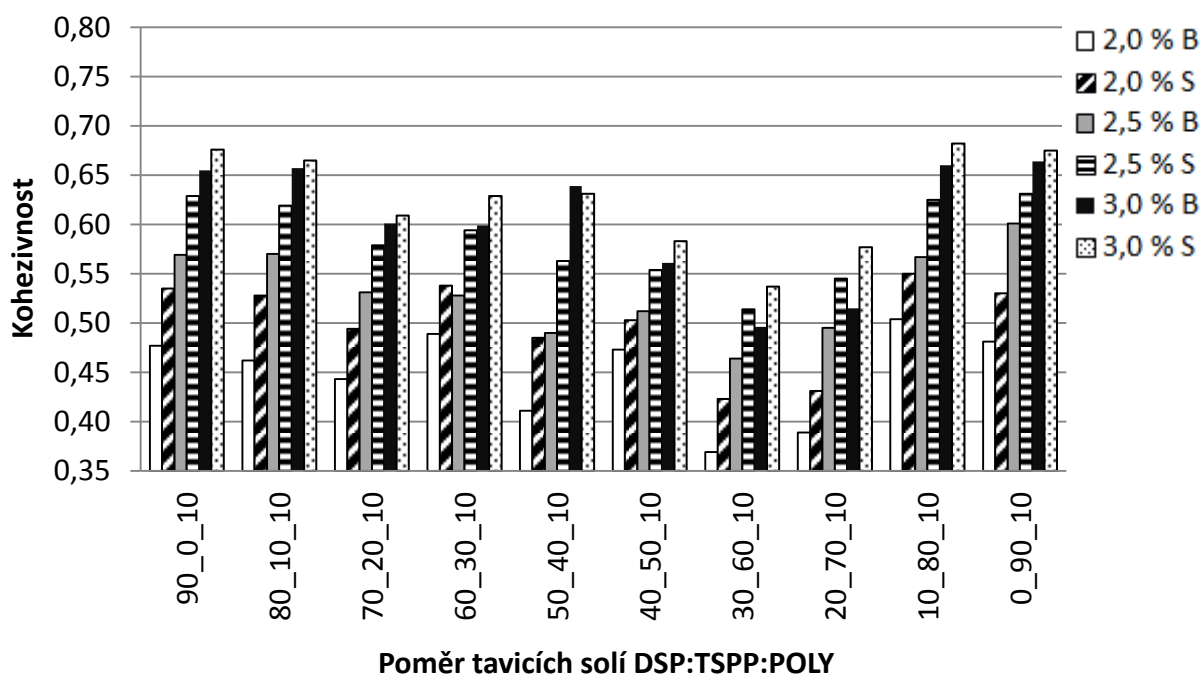


Obrázek 16: Kohezivnost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 0 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

Při nulovém obsahu POLY nedocházelo k jednoznačnému vývoji kohezivnosti v závislosti na vzájemném poměru tavicích solí, hodnoty střídavě rostly a klesaly.

Se zvyšujícím se přídatkem tavicích solí docházelo k nárůstu kohezivnosti tavených sýrů. Dále vykazovaly ve všech případech vyšší hodnoty vzorky, u kterých byla upravena

hodnota pH. Vzorčky bez úpravy pH dosahovaly hodnoty pH v rozmezí 6,01 až 6,70. U vzorků v tomto grafu došlo tedy úpravou hodnoty pH na interval 5,59 až 5,84 k jejímu snížení. Snížením hodnoty pH došlo k poklesu negativního náboje mezi kaseiny. Tím se utváří těsnější a pevnější síť kaseinů, mezi nimiž může docházet k většímu počtu interakcí. Proto jsou vzorky s nižší hodnotou pH soudržnější. [5,24,27].

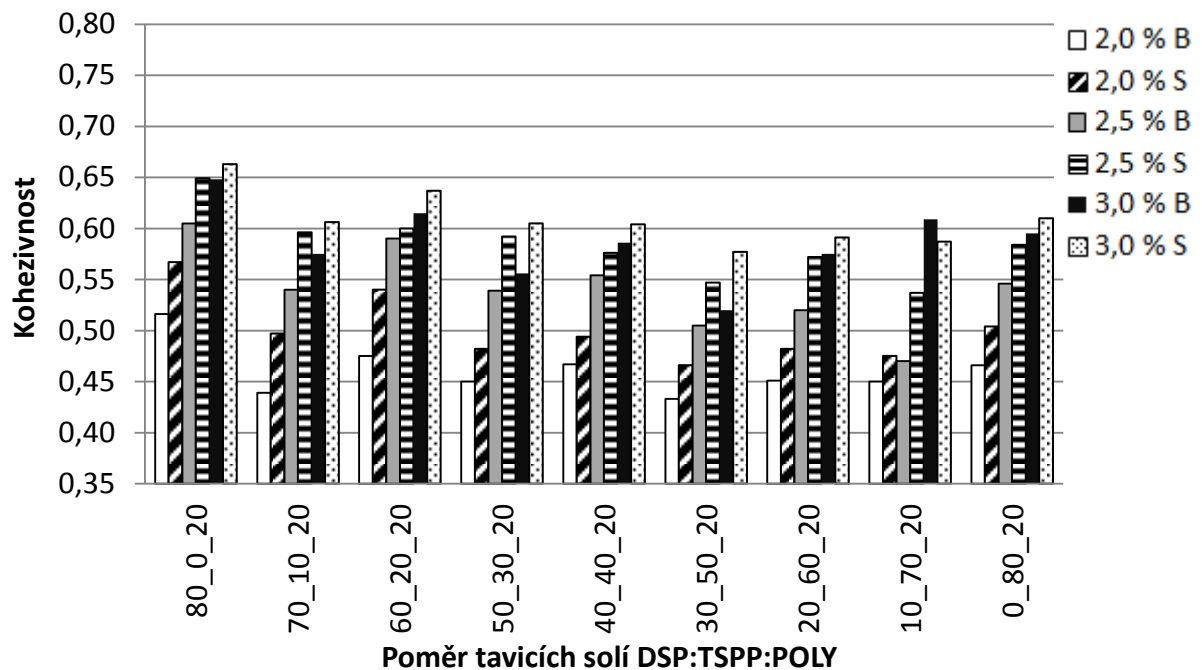


Obrázek 17: Kohezivnost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 10 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

Při obsahu POLY 10 % hodnoty kohezivnosti v závislosti na vzájemném poměru tavicích solí opět střídavě rostly a klesaly.

Zvyšující se obsah tavicích solí měl za důsledek nárůst kohezivnosti tavených sýrů. U těchto vzorků se hodnota pH pohybovala v rozmezí 6,20 až 6,55. Vzorky s úpravou hodnoty pH vykazovaly ve všech případech opětovně větší hodnoty kohezivnosti, díky nižším hodnotám pH. Důsledkem malých hodnot pH vzniká pevnější a soudržnější síť kaseinů s méně intenzivním záporným nábojem.

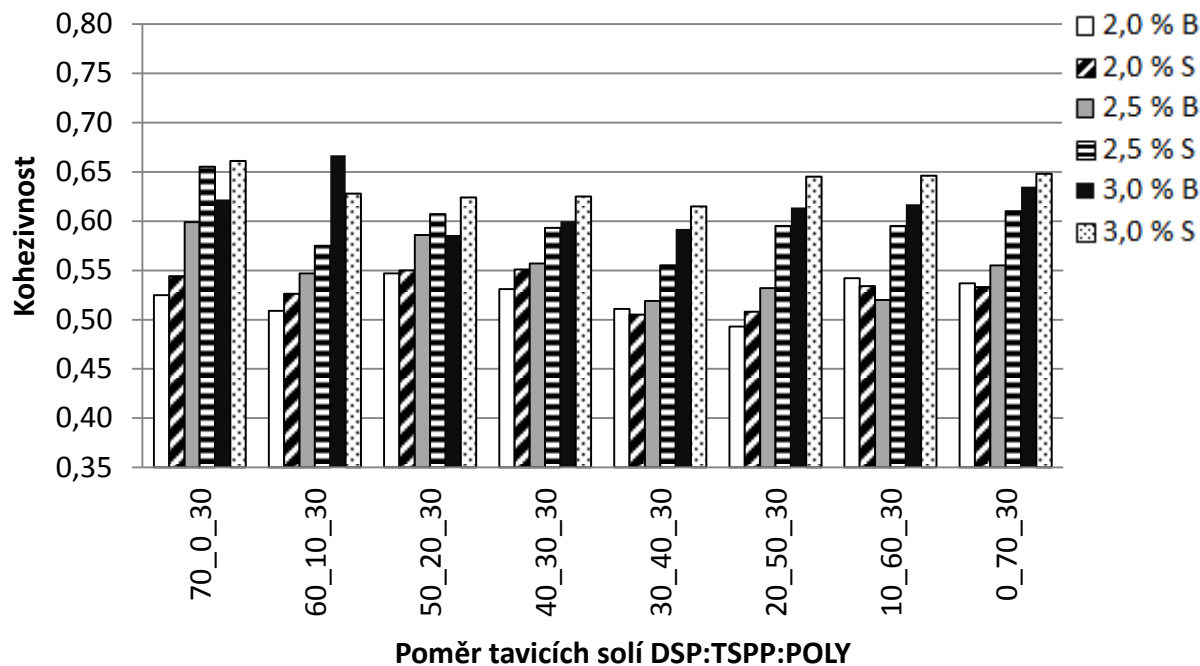




Obrázek 18: Kohezivnost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 20 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

Pokud vzorky obsahovaly 20 % POLY nedocházelo v závislosti na vzájemném poměru tavicích solí k pozorování žádného jednoznačného trendu. Interval, ve kterém se naměřené hodnoty pohybovaly, při stejné koncentraci tavicích solí, byl užší než v předchozích případech.

V důsledku rostoucího obsahu tavicích solí se kohezivnosti tavených sýrů, stejně jako u předchozích grafů zvyšovala. Úpravou hodnoty pH u těchto poměrů solí docházelo stále k jejímu snižování, tentokrát z rozmezí hodnot 6,04 až 6,44. Proto dosahovaly vzorky, u kterých byla hodnota pH taveniny upravena, opět vyšších hodnot kohezivnosti.

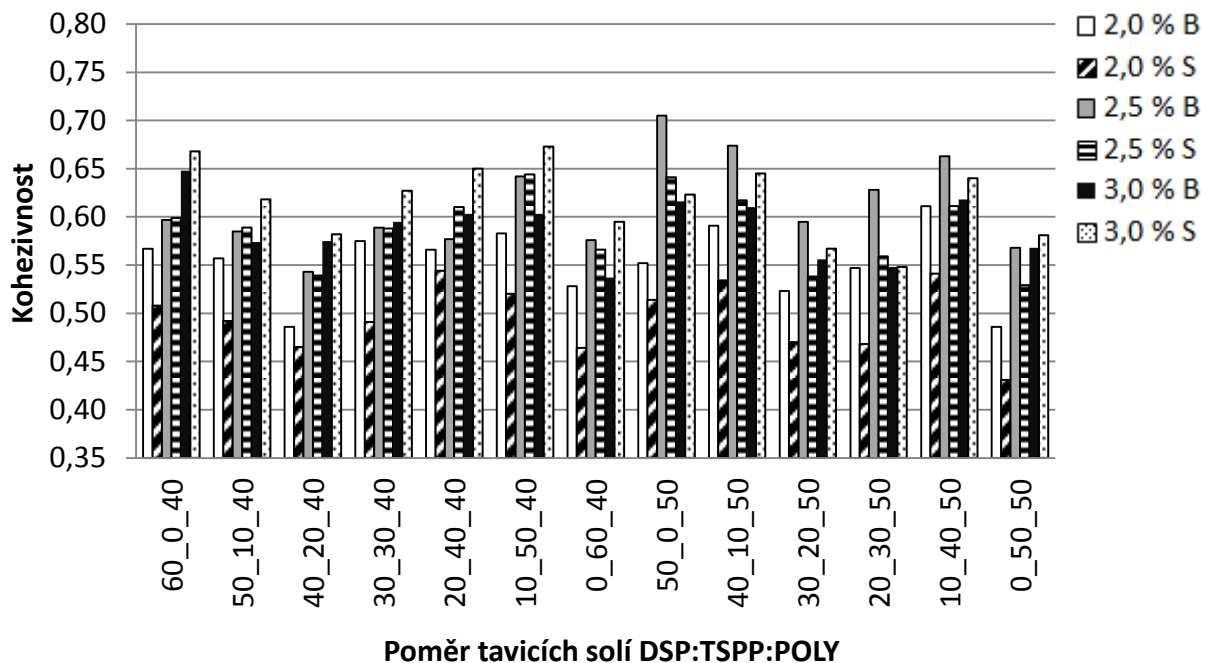


Obrázek 19: Kohezivnost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 30 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

Při obsahu POLY 30 % se naměřené hodnoty pohybovaly v poměrně úzkém intervalu - při stejném množství tavicích solí. Ani tady se neprojevovala závislost hodnot kohezivnosti na vzájemném poměru tavicích solí.

Vyšších hodnot kohezivnosti dosahovaly opakovaně vzorky, ve kterých byla obsažena větší koncentrace tavicích solí. Při obsahu tavicích solí 2,5 % (w/w) a 3,0 % (w/w) vykazovaly větší kohezivnost vzorky s upravenou hodnotou pH taveniny, neboť jejich hodnota pH dosahovala nižších hodnot (5,59 až 5,84). pH vzorků bez úpravy se měnilo v rozmezí 6,00 až 6,30.

Při obsahu solí 2,0 % (w/w) došlo k přechodu vyšších hodnot na vzorky bez upravené hodnoty pH. U této koncentrace solí dosahovaly vzorky bez úpravy hodnoty pH rozmezí 5,93 až 5,97 (s výjimkou poměru 70:0:30 – pH 6,04). Tyto hodnoty se již dosti přibližují hodnotám vzorků s úpravou pH. Rozdíly v naměřených hodnotách proto byly menší než u koncentrací solí 2,5 a 3,0 % (w/w).

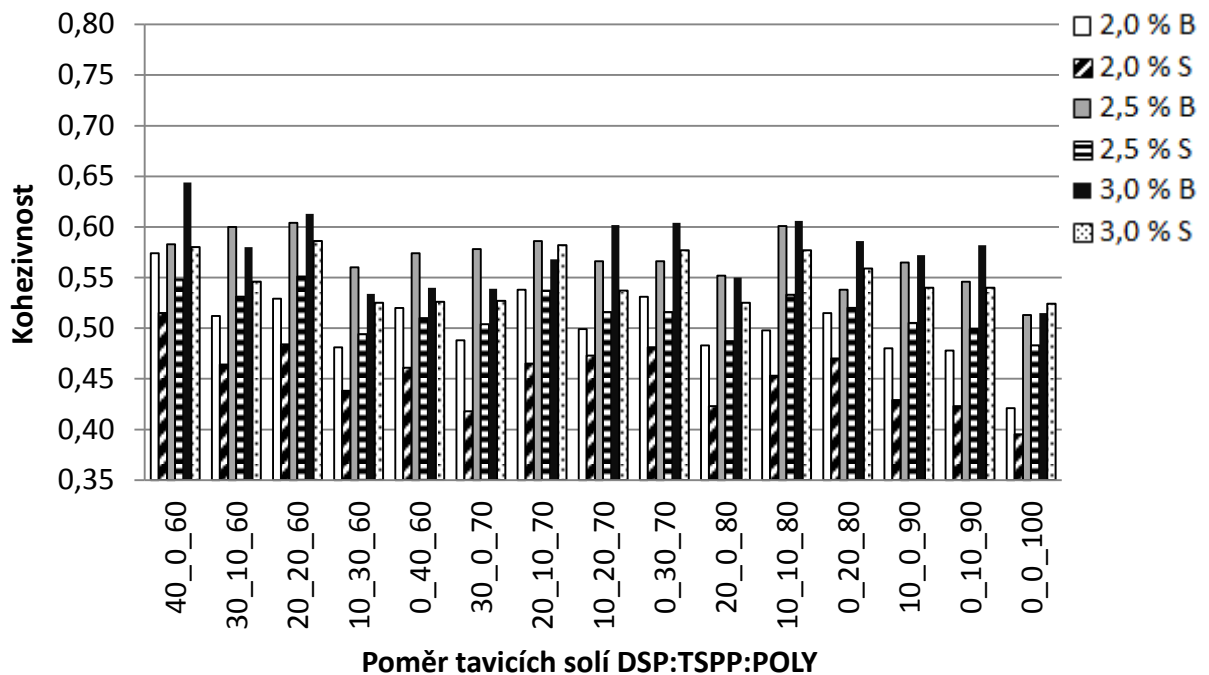


Obrázek 20: Kohezivnost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 40 a 50 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

U vzorků se 40 % a 50 % POLY také nebyl pozorován žádný pravidelný vývoj, v závislosti na vzájemném poměru tavicích solí.

I v tomto případě vedl větší přidavek tavicích solí k nárůstu kohezivnosti tavených sýrů. Při obsahu tavicích solí 2,0 % (w/w) a 2,5 % (w/w) vykazovaly větší kohezivnost vzorky bez úpravy hodnoty pH. Hodnota pH vzorků bez úpravy se pohybovala v rozmezí 5,66 až 5,94 a dosahovala mírně menších či obdobných hodnot jako u vzorků s úpravou pH.

Při obsahu tavicích solí 3 % (w/w) byly u vzorků bez úpravy pH naměřeny hodnoty 5,91 až 6,14. To znamená vyšší hodnoty než u vzorků s úpravou pH (5,59 až 5,84). V důsledku toho byla kohezivnost vzorků bez úpravy pH menší.



Obrázek 21: Kohezivnost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 60 až 100 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

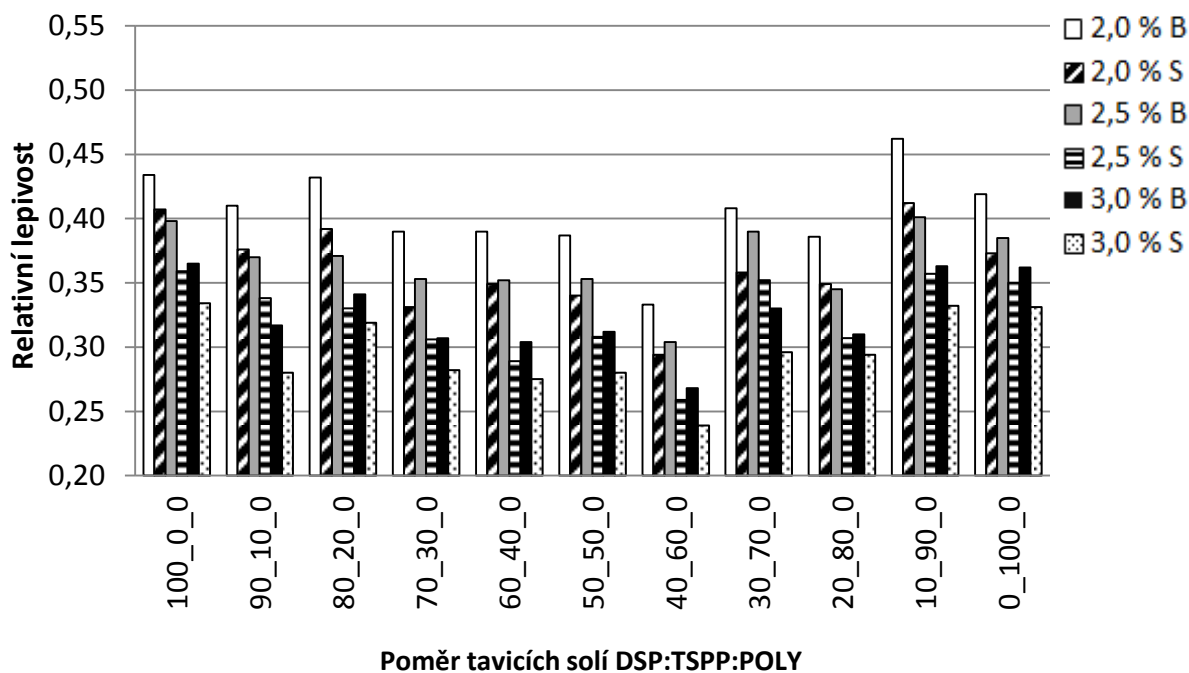
U vzorků, které obsahovaly 60 – 100 % POLY, nebyl u naměřených hodnot pozorován žádný trend v závislosti na vzájemném poměru tavicích solí. Celkově dosahovaly naměřené hodnoty nižších hodnot než u předchozích grafů s menším obsahem POLY.

V důsledku zvýšení množství tavicích solí docházelo, stejně jako ve všech ostatních případech, k nárůstu kohezivnosti tavených sýrů. Vzorky, u kterých nedošlo k úpravě pH, měly tuto hodnotu nižší, pohybující se v rozmezí 5,12 až 5,66. Proto vykazovaly téměř ve všech případech větší kohezivnost.

### 6.2.3 Relativní lepivost

Relativní lepivost vzorků tavených sýrů je graficky znázorněna na obrázcích 22 až 27. Obdobně jako u tvrdosti a kohezivnosti byl zkoumán vliv složení ternární směsi tavicích solí a celkového obsahu tavicích solí (w/w). I zde jsou znázorněny jak hodnoty bez úpravy, tak i s úpravou hodnoty pH taveniny. Grafy jsou uspořádány obdobným způsobem jako

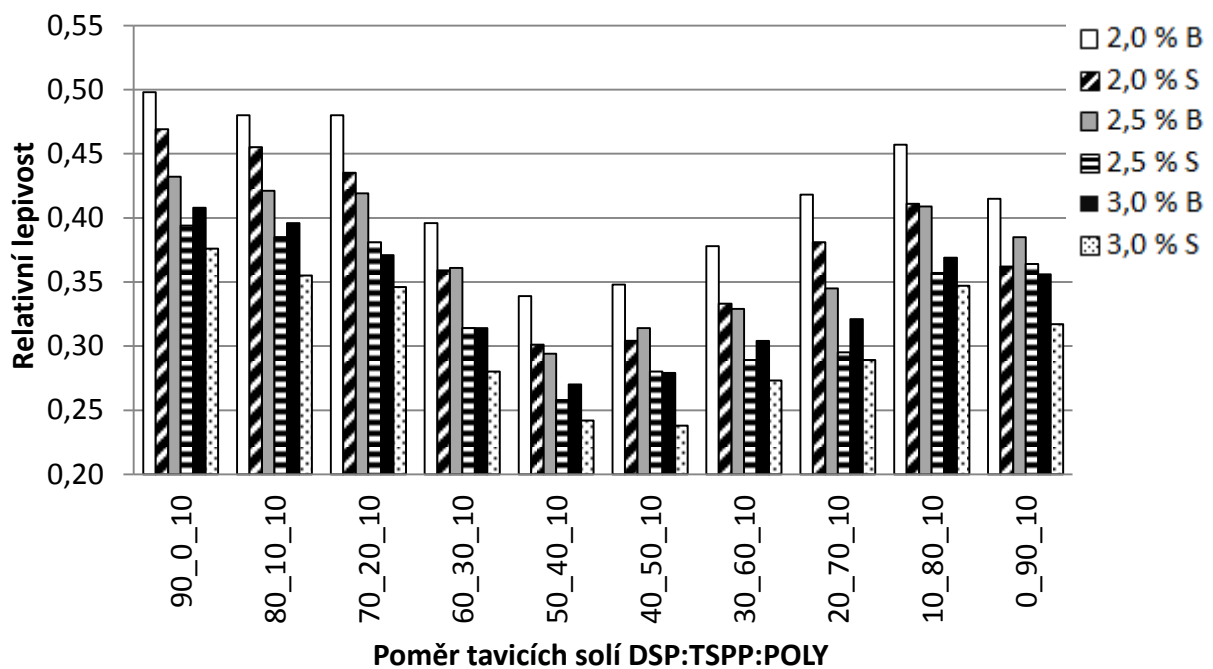
v předešlých případech. Počátek osy relativní lepivosti byl pro lepší viditelnost rozdílů posunut do hodnoty 0,2.



Obrázek 22: Relativní lepivost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 0 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

Při nulovém obsahu POLY docházelo s rostoucím množstvím TSPP a s klesajícím množstvím DSP v poměrech 100:0:0 až 40:60:0 (DSP:TSPP:POLY) převážně k poklesu relativní lepivosti vzorků. Při dalších změnách poměru se hodnoty relativní lepivosti zvyšovaly až k poměru solí 10:90:0. U poměru solí 0:100:0 se hodnota opět mírně snížila.

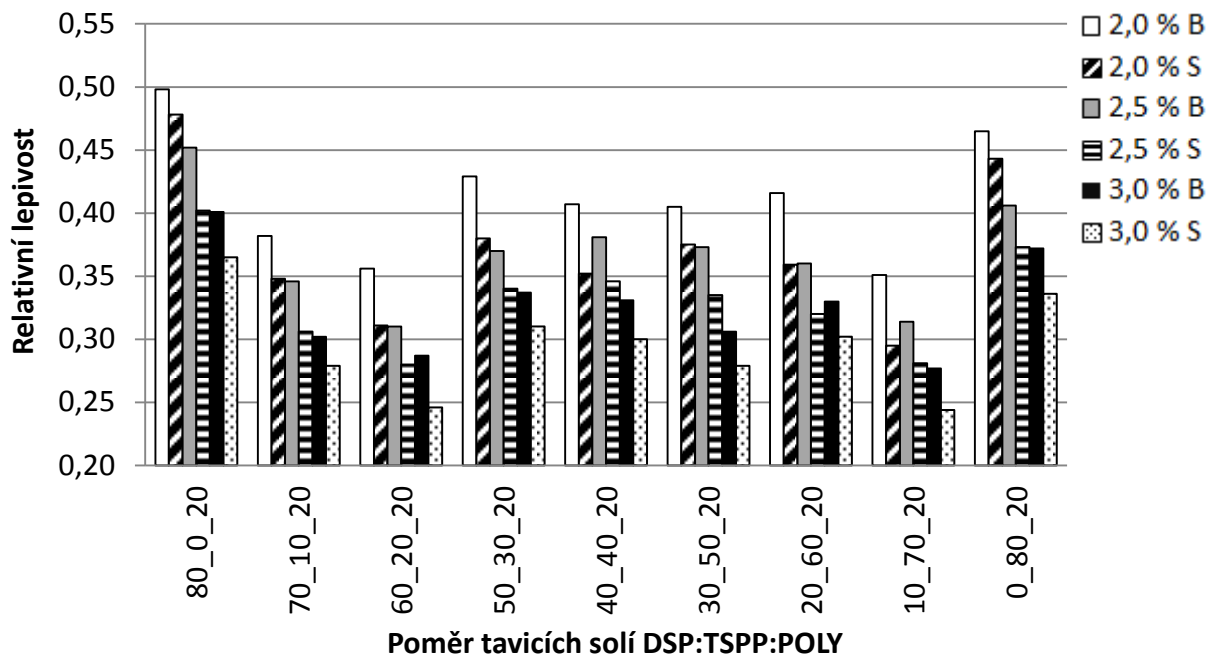
Relativní lepivost sýrů rostla s rostoucí koncentrací tavicích solí, což je opačný trend než u tvrdosti a kohezivnosti. Dále vzorky bez úpravy pH (pH v rozmezí 6,01 až 6,70) vykazovaly ve všech případech hodnotu relativní lepivosti větší než vzorky, u kterých došlo k úpravě hodnot pH na interval 5,59 až 5,84. Relativní lepivost se tedy i v závislosti na pH chová odlišně než tvrdost a kohezivnost, to znamená, že je větší při vyšších hodnotách pH.



Obrázek 23: Relativní lepivost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 10 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

Při obsahu POLY 10 % relativní lepivost zpočátku klesala s rostoucím množstvím TSPP a s klesajícím množstvím DSP v poměrech 90:0:10 až 50:40:10 (DSP:TSPP:POLY). U dalších poměrů se hodnoty relativní lepivosti zvyšovaly až k poměru solí 10:80:10. U poměru solí 0:90:10 hodnota opět mírně poklesla.

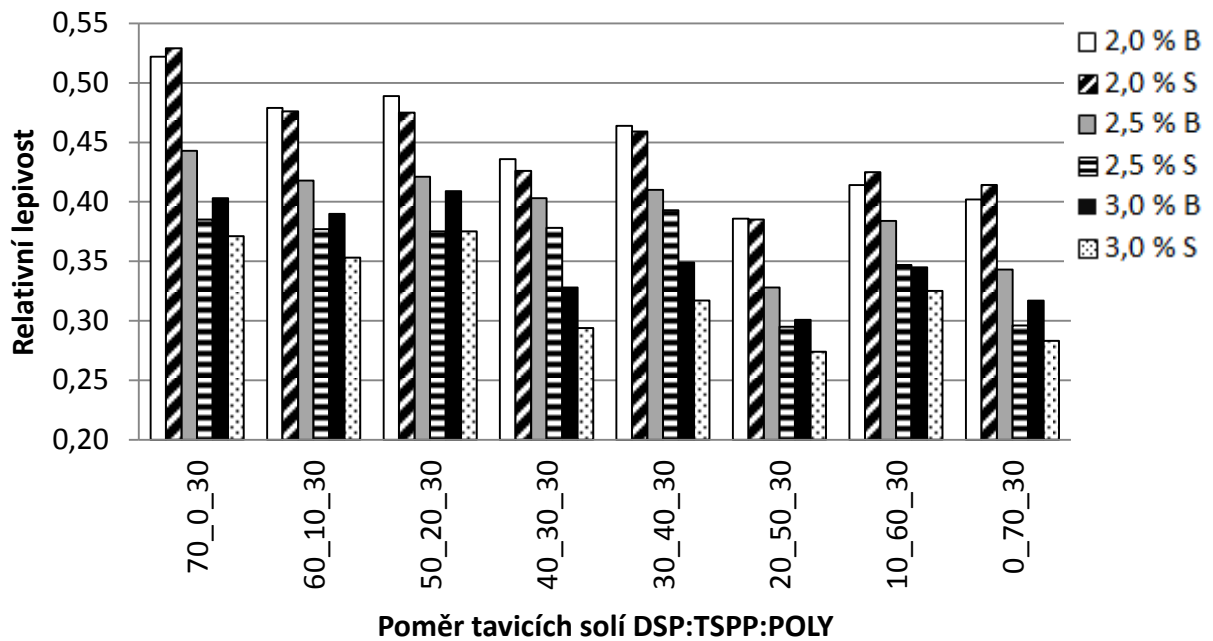
V důsledku zvýšení množství tavicích solí se naměřené hodnoty relativní lepivosti tavených sýrů snižovaly. Vzorky bez úpravy hodnoty pH vykazovaly ve všech případech opětovně vyšší hodnoty relativní lepivosti, v důsledku vyšší hodnoty pH (rozmezí 6,20 až 6,55).



Obrázek 24: Relativní lepivost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 20 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

U vzorků s 20 % POLY docházelo ke střídavému poklesu a nárůstu hodnot relativní lepivosti v závislosti na vzájemném poměru tavicích solí. Pravidelný vývoj hodnot již nebyl pozorován.

Se zvyšujícím se přidavkem tavicích solí docházelo ke snížení relativní lepivosti tavených sýrů. Hodnoty pH u těchto vzorků se pohybovaly v rozmezí 6,04 až 6,44. Úpravou pH na interval 5,59 až 5,84 došlo opět k jejímu snížení. Vyšších hodnot relativní lepivosti tedy dosahovaly opakovaně vzorky, u kterých nebyla upravena hodnota pH.



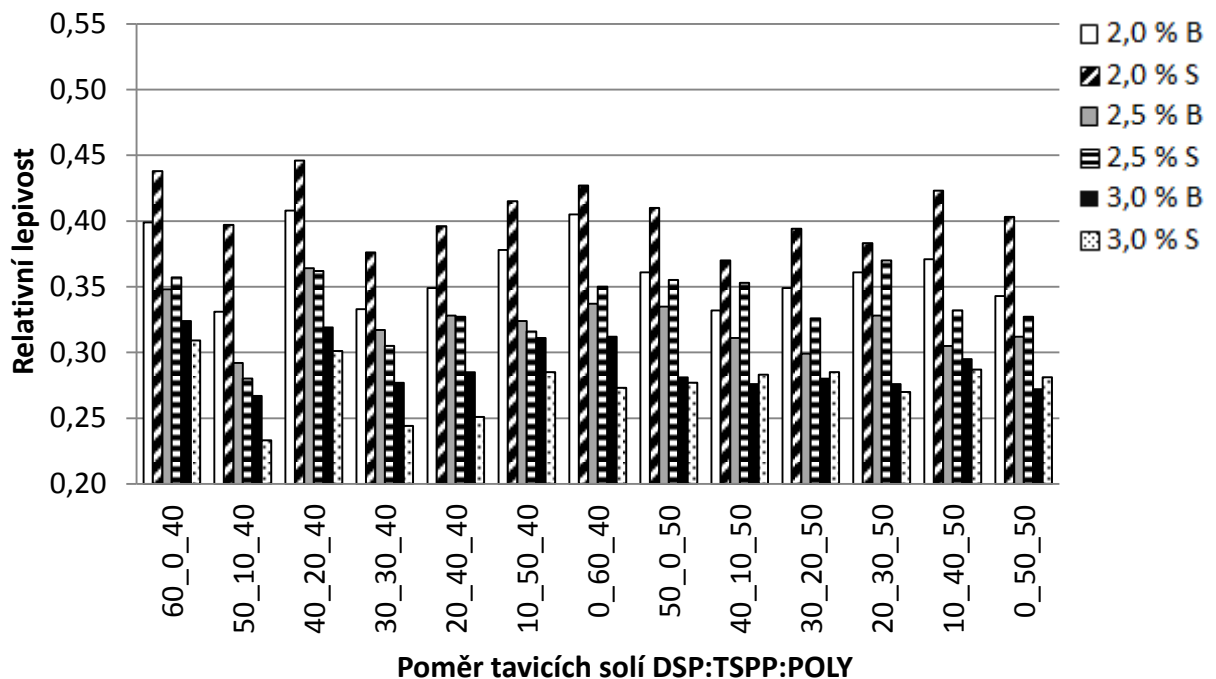
Obrázek 25: Relativní lepivost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 30 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

Při obsahu POLY 30 % nevykazovaly naměřené hodnoty relativní lepivosti žádný klesající ani rostoucí vývoj v závislosti na vzájemném poměru tavicích solí.

Vyšších hodnot relativní lepivosti dosahovaly opakovaně vzorky, ve kterých byla obsažena menší koncentrace tavicích solí. Při obsahu tavicích solí 2,5 % (w/w) a 3,0 % (w/w) vykazovaly větší relativní lepivost vzorky s neupravenou hodnotou pH taveniny (rozmezí pH 6,00 až 6,30).

Při obsahu solí 2,0 % (w/w) došlo k přechodu vyšších hodnot relativní lepivosti na vzorky s upravenou hodnotou pH. Naměřené hodnoty se pohybovaly v rozmezí 5,93 až 5,97 (s výjimkou poměru 70:0:30 – pH 6,04). Tyto hodnoty se již dosti přibližují hodnotám vzorků s úpravou pH (5,59 až 5,84). Proto je také rozdíl mezi relativní lepivostí vzorků podstatně menší než u zbývajících koncentrací.



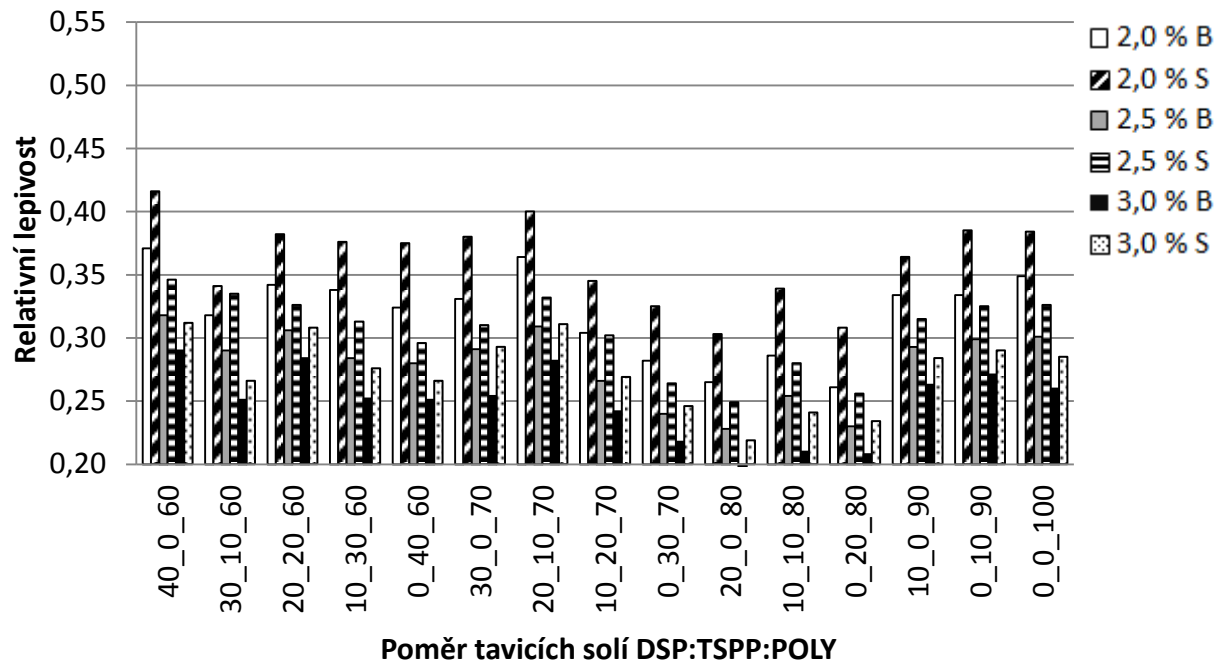


Obrázek 26: Relativní lepivost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 40 a 50 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

Při obsahu POLY 40 % a 50 % nedocházelo u relativní lepivosti, stejně jako v předchozím případě, k pozorování žádného trendu v závislosti na vzájemném poměru tavicích solí.

Relativní lepivost vzorků rostla s klesajícím množstvím tavicích solí. Při obsahu tavicích solí 2 % (w/w) a 2,5 % (w/w) vykazovaly vyšší hodnoty relativní lepivosti vzorky s úpravou hodnoty pH. Hodnota pH vzorků bez úpravy se pohybovala v rozmezí 5,66 až 5,94 a dosahovala tedy nepatrně nižších či obdobných hodnot jako u vzorků s úpravou pH.

Při obsahu tavicích solí 3 % (w/w) byly u vzorků bez úpravy pH naměřeny hodnoty 5,91 až 6,14. To znamená vyšší hodnoty než u vzorků s úpravou pH (5,59 až 5,84) a tedy vyšší hodnoty relativní lepivosti.



Obrázek 27: Relativní lepivost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 60 až 100 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny (B – vzorky bez úpravy hodnoty pH, S – vzorky s úpravou hodnoty pH)

Stejně jako u předcházejících směsí, nebyl pozorován ani u vzorků s obsahem 60 – 100 % POLY žádný vývoj relativní lepivosti, který by byl v závislosti na vzájemném poměru tavicích solí.

Při zvýšení přídavku tavicích solí docházelo ke snížení relativní lepivosti tavených sýrů, tak jako tomu bylo i u všech ostatních vzorků. Dále vykazovaly téměř ve všech případech vyšší hodnoty relativní lepivosti vzorky s úpravou hodnoty pH (pH 5,59 až 5,84), které měly vyšší pH než ty, u kterých k úpravě nedošlo (pH v rozmezí 5,12 až 5,66).

### 6.3 Diskuze

Texturní vlastnosti tavených sýrů ovlivňuje množství různých parametrů. Jedním z důležitých parametrů je obsah sušiny a vlhkosti. V našem experimentu byly vyrobeny vzorky, jejichž obsah sušiny se pohyboval v rozmezí 40,31 – 40,96 % (w/w). Z tohoto hlediska byla tedy zabezpečena dobrá srovnatelnost jednotlivých vzorků.

Dalším významným parametrem je pH tavených sýrů. Konečná hodnota pH tavených sýrů ovlivňuje mikrostrukturu a typ interakcí ve výsledné emulgované bílkovinné síti tavených sýrů. Kapoor *et al.* [5] a Sádliková *et al.* [14] uvádí, že hodnota pH dobře zpracovatelných roztíratelných sýrů by se měla pohybovat v rozmezí 5,60 až 6,10. Těchto hodnot v našem experimentu dosahovaly následující vzorky: u koncentrace 2,0 % (w/w) tavicích solí vzorky s 20 až 100 % POLY, u koncentrace 2,5 % (w/w) tavicích solí vzorky s 30 až 100 % POLY a u koncentrace 3,0 % (w/w) tavicích solí vzorky s 40 až 100 % POLY.

Hodnota pH tavených sýrů je určována, mimo jiné, skladbou a množstvím použitých tavicích solí. U vzorků obsahujících jednotlivé soli samostatně vykazovaly nejvyšší hodnoty pH vzorky s TSPP (6,33 až 6,57). Mírně nižší hodnoty pH vykazovaly vzorky obsahující DSP (6,01 až 6,36) a nejnižší hodnoty vzorky obsahující POLY (5,12 až 5,16). Při zkoumání vzorků s ternárními směsmi tavicích solí bylo pozorováno, že s rostoucím obsahem POLY ve směsi docházelo k postupnému poklesu hodnoty pH sýrů. Tyto výsledky jsou v souladu se studiemi Sádliková *et al.*[14], Cunha *at al.* [22], Gupta *et al.* [25] a Abdel-Hamid *et al.* [51]. V závislosti na změně vzájemného poměru DSP a TSPP, při konstantním množství POLY, byl pozorován určitý trend pouze u koncentrace tavicích solí 3,0 % (w/w) a obsahu POLY 20 – 70 % POLY. U těchto směsí docházelo k vzrůstu hodnoty pH s rostoucím množstvím TSPP a s klesajícím množstvím DSP ve směsi.

Při zohlednění množství tavicích solí, bylo zjištěno, že při zvýšení obsahu tavicích solí ve směsi docházelo také ke zvýšení hodnoty pH sýrů. Rozdíl mezi koncentracemi 2,0 % a 2,5 % (w/w) byl méně výrazný než mezi koncentracemi 2,5 % a 3,0 % (w/w). S rostoucím obsahem POLY ve směsi tavicích solí se tyto rozdíly mírně zmenšovaly.

Pro eliminaci vlivu pH, jako faktoru ovlivňujícího texturní vlastnosti byla hodnota pH vzorků upravena přidavkem NaOH a HCl. To nám umožňuje zkoumat texturní vlastnosti tavených sýrů pouze v závislosti na složení směsí tavicích solí. Cílový interval hodnot pH byl zvolen v rozmezí 5,70 až 5,80. V našem experimentu se podařilo vyrobit vzorky, jejichž hodnota pH se pohybovala v rozmezí hodnot 5,59 až 5,84. Úpravu hodnoty pH vzorků ve své práci použil také Shirashoji *et al.* [26].

Zkoumanými texturními parametry v této práci byly: tvrdost, kohezivnost (soudržnost) a relativní lepivost tavených sýrů, a to v závislosti na složení ternárních směsí tavicích solí, na celkovém obsahu tavicích solí (w/w) a na hodnotě pH. Pro lepší sledování trendů byly

sestrojeny také souhrnné grafy tvrdosti, kohezivnosti a relativní lepidlosti pro jednotlivé koncentrace tavicích solí (Obrázek PI/1 - 9).

Při srovnání vzorků za použití jednotlivých tavicích solí vykazovaly nejvyšší hodnoty tvrdosti vzorky s POLY, nejnižší hodnoty vzorky s DSP. Při použití TSPP byly naměřené hodnoty mírně vyšší než u DSP. Tyto závěry korespondují s pracemi Cunha *et al.* [22], Dimitreli & Thomareis [24], Awad *et al.* [49], Shirashoji *et al.* [28] a El-Bakry *et al.* [62]. Tavicí soli váží vápník z nativního koloidního fosforečnanu vápenatého přítomného v přírodních sýrech a nahrazují ho ionty sodíku. Nerozpustný parakaseinát vápenatý je tak převeden na rozpustnější parakaseinát sodný. Jednotlivé fosforečnany můžeme dle této schopnosti iontové výměny seřadit následovně: polyfosforečnany s dlouhým řetězcem > trifosforečnan > difosforečnan > monofosforečnan. Narušení kaseinové sítě má za následek zvýšení vazebné kapacity bílkovin a odhalení polárních hydrofilních a nepolárních hydrofobních segmentů, což umožňuje kaseinům působit jako emulgátory na rozhraní voda – tuk. S rostoucí rozsahem hydratace proteinů a emulgace tuku dochází k nárůstu intenzity interakcí v tavenině a tím k tvorbě vazeb mezi kaseiny. Se zvyšujícím se výskytem vazeb v kaseinové síti lze předpokládat vytvoření tužšího taveného sýra [27,28,44,47,62].

U ternárních směsí tavicích solí byl pozorován určitý trend tvrdosti při konstantním obsahu POLY. Pokud bylo množství POLY  $\leq 60$  % docházelo ke značnému nárůstu tvrdosti s klesajícím množstvím DSP a rostoucím množstvím TSPP až k poměru DSP:TSPP v intervalu 1:1 - 3:4 (viz. Obrázek PI/1 - 3). K tomu dochází neboť difosforečnan má lepší schopnost zesíťování proteinové matrice. Komplexy vápenatých difosforečnanů se váží na kasein, čímž dojde ke snížení odpuzivých sil mezi jeho molekulami. Při překročení určitého množství difosforečnanu (TSPP) dochází k nadměrnému vázání vápenatých iontů do komplexů, čímž dojde k zamezení jeho dalšího podílení se na tvorbě vazeb [21,32,44].

V důsledku zvyšujícího se obsahu POLY v ternární směsi se vliv vzájemného poměru DSP:TSPP snižoval. Při obsahu POLY nad 60 % již nebyl tento trend vývoje pozorován (viz. Obrázek PI/1 - 3). Větším přídatkem POLY zřejmě dochází ke zvýšení negativního náboje kaseinů, který znemožňuje reasociaci kaseinových molekul, a tím oslabení účinku TSPP [28,44].

U kohezivnosti dosahovaly nejvyšších hodnot vzorky se samostatným zastoupením TSPP, menších potom vzorky s DSP a nejmenších hodnot vzorky s POLY. O kohezivnosti zkoumaných vzorků lze celkově říct, že nebyl pozorován žádný určitý trend, v závislosti

na složení ternárních směsí tavicích solí. Naměřené hodnoty se pohybovaly ve všech případech v intervalu 0,3 – 0,7. S rostoucím množstvím POLY se interval dosahovaných hodnot zužoval (viz. Obrázek PI/4 - 6).

Relativní lepivost byla největší u vzorků s DSP, následovaly vorky s TSPP a nejmenší hodnoty byly naměřeny u vzorků obsahujících samostatně POLY. Stejného výsledku dosáhli také Dimitreli & Thomareis [24].

Při obsahu POLY 0 a 10 % relativní lepivost vzorků nejprve klesala s rostoucím množstvím TSPP a s klesajícím množstvím DSP k poměru 40:60:0 (DSP:TSPP:POLY) u 0 % POLY a k poměru 50:40:10 u 10 % POLY. Při dalších změnách poměru se hodnoty relativní lepivosti zvyšovaly. S rostoucím množstvím POLY ve směsi se vliv poměru DSP:TSPP ztrácel (viz. Obrázek PI/7 - 9).

Jednotlivé texturní parametry byly ovlivněny také celkovým množstvím tavicích solí. Se zvyšujícím se obsahem tavicích solí ve vzorcích se tvrdost a kohezivnost tavených sýrů zvyšovala, naproti tomu u relativní lepivosti tavených sýrů došlo k poklesu hodnot. Výše popsané závislosti texturních parametrů na vzájemném poměru tavicích solí se projevovaly u všech celkových množství tavicích solí obdobně.

Výrobu tužších a pevnějších sýrů s rostoucím množstvím tavicích solí potvrzuje také studie Shirashoji *et al.* [26] a El-Bakry *et al.* [62]. Tato skutečnost zřejmě souvisí s větší výměnou vápenatých a sodných iontů. Kasein přechází do více rozpustné formy a dojde k většímu rozptýlení. To podporuje následně lepší emulgaci tuku a vytvoření kompaktnější struktury. [24,26,28,32,47,62]

Co se týče zohlednění úpravy hodnoty pH taveniny, můžeme říci následující: při obsahu POLY od 0 % až po určitou mezní hodnotu vykazovaly větší tvrdost a také kohezivnost vzorky, u kterých byla upravena hodnota pH, protože měly hodnotu pH menší. V tomto mezním bodě došlo u vzorků s úpravou pH, vlivem zvýšení obsahu POLY k poklesu pH na hodnoty obdobné jako u vzorků s úpravou pH (interval 5,59 až 5,84). Při obsahu POLY nad touto hodnotu vykazovaly vyšší tvrdost vzorky bez úpravy pH, neboť jejich hodnoty pH byly nižší. Mezní hodnotou byl u koncentrace tavicích solí 2 % (w/w) obsah 30 % POLY, u koncentrace tavicích solí 2,5 % (w/w) obsah 40 % POLY a u koncentrace tavicích solí 3 % (w/w) obsah 60 % POLY. Vývoj trendu vlivem vzájemného poměru solí byl však u obou sérií vzorků (s úpravou hodnoty pH i bez úpravy) obdobný.

Snížení hodnoty pH vede ke snížení negativního náboje mezi kaseiny. Tím se utváří těsnější a pevnější síť kaseinů s menší hydratační kapacitou a emulgační schopností. V důsledku menší hydratace kaseinů se tvrdost tavených sýrů zvyšuje. Pokud jsou si molekuly kaseinu blíže, může mezi nimi docházet ke vzniku většího počtu interakcí. Proto jsou vzorky s nižší hodnotou pH tvrdší a soudržnější. [5,24,27].

U relativní lepivosti tomu bylo právě naopak. Při obsahu POLY od 0 % až po mezní hodnotu vykazovaly větší relativní lepivost vzorky, u kterých nebyla upravena hodnota pH, protože měly hodnotu pH vyšší. Při obsahu POLY nad touto hodnotu vykazovaly větší relativní lepivost vzorky bez úpravy pH, neboť tady už byly jejich hodnoty pH vyšší. Mezní hodnoty byly stejné jako u tvrdosti a kohezivnosti, tedy u koncentrace tavicích solí 2 % (w/w) obsah 30 % POLY, u koncentrace tavicích solí 2,5 % (w/w) obsah 40 % POLY a u koncentrace tavicích solí 3 % (w/w) obsah 60 % POLY. V závislosti na složení směsi tavicích solí se vzorky s úpravou hodnoty pH i bez úpravy chovaly opět obdobně.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo studium texturních vlastností tavených sýrů v závislosti na složení ternárních směsí tavicích solí, na koncentraci tavicích solí (w/w) a na úpravě hodnoty pH taveniny. Závěry, vyplývající z výsledků lze shrnout do následujících bodů:

- tvrdost tavených sýrů se zvyšovala s přidavkem jednotlivých fosforečnanů v následujícím pořadí: hydrogenfosforečnan < difosforečnan < polyfosforečnan,
- pokud bylo množství POLY ve směsi  $\leq 60$  % docházelo ke značnému nárůstu tvrdosti s klesajícím množstvím DSP a rostoucím množstvím TSPP až k poměru DSP:TSPP v intervalu 1:1 - 3:4,
- s rostoucím obsahem polyfosforečnanu se vliv výše zmíněného specifického poměru snižoval a při obsahu polyfosforečnanu nad 60 % již nebyl téměř patrný,
- kohezivnost tavených sýrů se zvyšovala s přidavkem jednotlivých fosforečnanů v následujícím pořadí: polyfosforečnan < hydrogenfosforečnan < difosforečnan
- u kohezivnosti nebyl pozorován žádný jasný trend,
- hodnoty se pohybovaly v intervalu, který se rostoucím množstvím POLY zužoval,
- relativní lepivost tavených sýrů se zvyšovala s přidavkem jednotlivých fosforečnanů v následujícím pořadí: polyfosforečnan < difosforečnan < hydrogenfosforečnan,
- pokud bylo množství POLY ve směsi 0 a 10 % docházelo ke snižování relativní lepivosti s rostoucím množstvím TSPP a s klesajícím množstvím DSP až k poměru DSP:TSPP v intervalu 1:1 - 2:3,
- při vyšším obsahu polyfosforečnanu již nebyl vliv výše zmíněného specifického poměru téměř patrný,
- rostoucí koncentrace tavicích solí způsobuje nárůst tvrdosti, kohezivnosti a pokles relativní lepivosti,
- vzorky vyrobené s úpravou hodnoty pH taveniny vykazovaly stejné trendy jako vzorky bez úpravy hodnoty pH.

Závěrem lze říci, že texturní vlastnosti tavených sýrů jsou významně ovlivňovány, jak typem, tak množstvím tavicích solí. Dosáhnout optimálních hodnot lze nejlépe vhodnou kombinací více tavicích solí.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [2] NOUR EL DIAM, M.S., ZUBEIR, E., IBTISAM, E.M. Chemical Composition of Processed Cheese Using Sudanese White Cheese. *Research Journal of Animal & Veterinary Sciences*. 2010, vol. 5, p. 31-37. ISSN 1816-2746.
- [2] ANONYM. *Spotřeba potravin a nealkoholických nápojů na 1 obyvatele v ČR v letech 2007 – 2010* [online]. [cit. 29. října 2012]. Dostupné na: <[http://www.czso.cz/csu/2012edicniplan.nsf/t/C90039DAA7/\\$File/14091210.pdf](http://www.czso.cz/csu/2012edicniplan.nsf/t/C90039DAA7/$File/14091210.pdf)>
- [3] AWAD, R.A., ABDEL-HAMID, L.B., EL-SHABRAWY, S.A. a SINGH, R.K. Physical and Sensory Properties of Block Processed Cheese with Formulated Emulsifying Salt Mixtures. *International Journal of Food Properties*. 2004, vol. 7, p. 429-448. ISSN 1094-2912.
- [4] JOHNSON, M.E., KAPOOR, R., Mc MAHON, D.J., McCOY, D.R., NARASIMMON, R.G. Reduction of Sodium and Fat Levels in Natural and Processed Cheese sScientific and Technological Aspects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2009, vol. 8, p. 252-268, ISSN 1541-4337.
- [5] KAPOOR, R., METZGER, L.E. Process cheese: Scientific and technological aspects – A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2008, vol. 7, p. 194-214. ISSN 1541-4337.
- [6] ANONYM. Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 77/2003 Sb., v platném znění, kterou jsou stanoveny požadavky na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje.
- [7] ANONYM. Food Drug Administration. [online] [2012-03-26] Dostupné z: <<http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfCFR/CFRSearch.cfm?fr=133.169>>
- [8] ANONYM. Codex General Standard for process(ed) cheese food and process(ed) cheese spreads. [online] [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: <<http://std.gdcic.gov.cn/gssw/JiShuFaGui/CAC/CXSA08ce.pdf>>
- [9] MAYER, H.K. Bitterness in processed cheese caused by an over dose of a specific emulsifying agent? *International Dairy Journal*, 2001, vol. 11, s. 533-542, ISSN 0958-6946.



- [10] KAPOOR, R., METZGER, L.E., BISWAS, A.C., MUTHUKUMMARAPPAN, K. Effect of Natural Cheese Characteristics on Process Cheese Properties. *Journal of Dairy Science*, 2007, vol. 90, p. 1625-1634. ISSN 0022-0302.
- [11] LU, Y., SHIRASHOJI, N., a LUCEY, J.A. Rheological, textural and melting properties of commercial samples of some of different types of pasteurized processed cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 2007, vol. 60, p. 74-80, ISSN 1364-727X
- [12] DOSTÁLOVÁ, J., ČURDA, L. *Význam tavených sýrů ve výživě* [online]. [cit. 10. října 2012]. Dostupné na: <<http://www.fzv.cz/pro-media/tiskove-materialy/starsi-tiskove-materialy/vyznam-tavenych-syru-ve-vyzive/154-vyznam-tavenych-syru-ve-vyzive.aspx>>
- [13] BUŇKA F., HRABĚ. J., KRÁČMAR, S. The effect of sterilization on amino acid contents in processed cheese. *International Dairy Journal*, 2004, vol. 14, p. 829-831. ISSN 0958-6946.
- [14] SÁDLÍKOVÁ, I., BUŇKA, F., BUDÍNSKÝ, P., VOLDÁNOVÁ, B., PAVLÍNEK, V., HOZA, I. The effect of selected phosphate emulsifying salts on viscoelastic properties of processed cheese. *LWT - Food Science and Technology*, 2010, vol. 43, p. 1220-1225. ISSN 0023-6438.
- [15] CRUZ, A. G., FARIA, J. A. F., POLLONIO, M. A. R., BOLINI, H. M. A., et al. Cheeses with reduced sodium content: Effects on functionality, public health benefits and sensory properties. *Trends in Food Science & Technology*, 2011, vol. 22, p. 276 – 291. ISSN 09242244
- [16] ROGERS, N.R., McMAHON, D.J., DAUBERT, C.R., BERRY, T.K., FOEGEDING, E.A. Rheological properties and microstructure of Cheddar cheese made with different fat contents. *Journal of Dairy Science*, 2010, vol. 93, p. 4565-4576. ISSN 0022-0302
- [17] LUCEY, J.A., JOHNSON, M.E., HORNE, D.S. Invited Review: Perspectives on the Basis of the Rheology and Texture Properties of Cheese. *Journal of Dairy Science*, 2003, vol. 86, p. 2725-2743. ISSN 0022-0302
- [18] CARÍĆ, M. a KALÁB, M., MILANOVIĆ, S. Processed Cheese. In Hui, Y. H. *Handbook of Food Science, Technology and Engineering*, 2006, vol. 4. New York: Taylor & Francis Group. ISBN 0-8493-9849-5

- [19] BUŇKA, F. a HRABĚ, J. Tavené sýry. *Potravinářská revue*, 2006, vol. 3, s. 13-16. ISSN 1801-9102.
- [20] GUINEE, T.P., CARIĆ, M., KALÁB, M. Pasteurized Processed Cheese and Substitute/Imitation Cheese Products. In Fox, P. F. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, 2004, vol. 2, 3rd ed. London: Elsevier Science, p. 349–394. ISBN 0-1226-3653-8.
- [21] MIZUNO, R. a LUCEY, J.A. Effect of Emulsifying Salts on Turbidity and Calcium-Phosphate-Protein Interactions in Casein Micelles. *Journal of Dairy Science*, 2005, vol. 88, p. 3070-3078. ISSN 0022-0302.
- [22] CUNHA, C.R., VIOTTO, W.H. Casein Peptization, Functional Properties, and Sensory Acceptance of Processed Cheese Spreads Made with Different Emulsifying Salts. *Journal of Dairy Science*, 2010, vol. 75, p. 113-120. ISSN 0022-0302.
- [23] WEISEROVÁ, E., DOUDOVÁ, L., GALIOVÁ, L., ŽÁK, L., MICHÁLEK, J., JANIŠ, R., BUŇKA, F. The effect of combinations of sodium phosphates in binary mixtures on selected texture parameters of processed cheese spreads. *International Dairy Journal*, 2011, vol. 21, p. 979-986. ISSN 0958-6946.
- [24] DIMITRELI, G., THOMAREIS, A.S. Instrumental Textural and Viscoelastic Properties of Processed Cheese as Affected by Emulsifying Salts and in Relation to Its Apparent Viscosity. *International Journal of Food Properties*, 2009, vol. 12, p. 261-275. ISSN 1094-2912.
- [25] GUPTA, S.K., KARAHADIAN, C. a LINDSAY R.C. Effect of Emulsifier Salts on Textural and Flavour Properties of Processed Cheese. *Journal of Dairy science*, 1984, vol. 67, p. 764-778. ISSN 1525-3198.
- [26] SHIRASHOJI, N., JAGEGGI, J.J., LUCEY, J.A. Effect of Trisodium Citrate Concentration and Cooking Time on the Physicochemical Properties of Pasteurized Process Cheese. *Journal of Dairy Science*, 2006, vol. 89, p. 15-28. ISSN 0022-0302.
- [27] LU, Y., SHIRASHOJI, N., a LUCEY, J.A. Effects of pH on the Textural Properties and Meltability of Pasteurized Process Cheese Made with Different Types of Emulsifying Salts. *Journal of Food Science*, 2008, vol. 73, p. 363-369. ISSN 0022-0302.

- [28] SHIRASHOJI, N., JAGEGGI, J.J., LUCEY, J.A. Effect of sodium hexametaphosphate concentration and cooking time on the physicochemical properties of pasteurized process cheese. *Journal of Dairy Science*, 2010, vol. 93, p. 2827-2837. ISSN 0022-0302.
- [29] ČERNÍKOVÁ, M., BUŇKA, F., POSPIECH, M., TRELOVÁ, B., HLADKÁ, K., PAVLÍNEK, V., BŘEZINA, P. Replacement of traditional emulsifying salts by selected hydrocolloids in processed cheese production. *International Dairy Journal*, 2010, vol. 20, p. 336-343. ISSN 0958-6946.
- [30] MACKŮ, I., BUŇKA, F., VOLDÁNOVÁ, B. a PAVLÍNEK, V. Effect of addition of selected solid cosolutes on viscoelastic properties of model processed cheese containing pectin. *Food Hydrocolloids*, 2009, vol. 23, p. 2078-2084. ISSN 0268-005.
- [31] CARIC, M. a KALÁB, M.. *Processed cheese products*. Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology, 1997, vol. 2, Major Cheese Groups, 2nded. P.F.Fox, ed., Chapman & Hall, London, p. 467-505. ISBN 0-412-535106.
- [32] BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L., KRÁČMAR, S. *Základní principy tavených sýrů*. Brno, 2009. ISBN 978-80-7375-336-8(b).
- [33] MULSOW, B.B., JAROS, D. a 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.
- [34] BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L., Úloha tavicích solí při výrobě tavených sýrů. *Potravinářská revue*, 2009, vol. 1, s. 13-16. ISSN 1801-9102.
- [35] PISKA, I. a ŠTĚTINA, J. Influence of cheese ripening and rate of cooling of the processed cheese mixture on rheological properties of processed cheese. *Journal of Food Engineering*, 2004, vol. 61, p. 551-555. ISSN 0260-8774.
- [36] DIMITRELI, G., THOMAREIS, A.S. Effect of chemical composition on the linear viscoelastic properties of spreadable-type processed cheese. *Journal of Food Process Engineering*, 2008, vol. 84, p. 368-374. ISSN 0145-8876
- [37] BENNETT, R. J., TRIVEDI, D., HEMAR, Y., REID, D.C.W. The effect of starch addition on the rheological and microstructural properties of model processed cheese. *Australian Journal of Dairy Technology*, 2006, vol. 61, p. 157-159. ISSN 0004-9433

- [38] BRICKLEY, C. A., GOVINDASAMY-LUCEY, S. Influence of emulsifying salts on textural properties of nonfat process cheese made from direct acid bases. *Journal of Dairy Science*, 2008, vol. 91, p. 39-48. ISSN 0022-0302.
- [39] DIMITRELI, G., THOMAREIS, A.S Texture Evaluation of Block-Type Processed Cheese as a Function of Chemical Composition and in Relation to its Apparent Viscosity. *Journal of Food Engineering*. 2007, vol. 79, p. 1364–1373. ISSN 0260-8774.
- [40] MOLINS, R.A. *Phosphates in food*. CRC Press, Boca Raton, 1991.
- [41] GARIMELLA PURNA, S.K., POLLARD, A. a METZGER, L.E. Effect of Formulation and manufacturing Parameters on Process Cheese Food Functionality – I. Trisodium Citrate. *Journal of Dairy Science*, 2006, vol. 89 (7), p. 2386–2396. ISSN 0022-0302.
- [42] LEE, S.K. a KLOSTERMEYER, H. The effect of pH on the Rheological Properties of Reduced-fat Model Processed Cheese Spreads, *LWT-Food Sci. Technol.*, 2001, vol. 34, p. 288–292. ISSN 0023-6438.
- [43] MARCHESSEAU, S., GASTALDI, E., LAGAUDE, A. a CUQ, J.L. Influence of pH on Protein Interactions and Microstructure of Process Cheese. *Journal of Dairy Science*, 1997, vol. 80 (8), p. 1483–1489. ISSN 0022-0302.
- [44] MIZUNO, R. a LUCEY, J.A. Properties of Milk Protein Gels Formed by Phosphates. *Journal of Dairy Science*, 2007, vol. 90, p. 4524-4531. ISSN 0022-0302.
- [45] BOWLAND, E.L., FOEGEDING, E.A. Small Strain Oscillatory Shear and Microstructural Analyses of a Model Processed Cheese. *Journal of Dairy Science*, 2001, vol. 84, p. 2372-2380. ISSN 0022-0302.
- [46] TEMPLETON, H. L. a SOMMER, H. H. Studies on the emulsifying salts used in processed cheese. *Journal of Dairy Science*, 1936, vol. 19, p. 561–72. ISSN 1525-3198.
- [47] CUNHA, C.R., DIAS, A.I., a VIOTTO, W.,H. Microstructure, texture, color and sensory evaluation of a spreadable processed cheese analogue made with vegetable fat. *Food Research International*, 2010, vol. 43, p. 723–729. ISSN 0963-9969.

- [48] BACHMANN, H.P. Cheese Analogues: A review. *International Dairy Journal*, 2001, vol. 11, p. 505-515. ISSN 0958-6946.
- [49] AWAD, R.A., ABDEL-HAMID, L.B., EL-SHABRAWY, S.A. a SINGH, R.K. Texture and Microstructure of Block Type Processed Cheese with Formulated Emulsifying Salt Mixtures. *LWT-Food Science and Technology*, 2002, vol. 35, p. 54-61. ISSN 0023-6438.
- [50] ANONYM. Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 4/2008 Sb. v platném znění, kterou se stanoví druhy a podmínky použití přídatných látek a extrakčních rozpouštědel při výrobě potravin.
- [51] ABDEL-HAMID, L. B., EL-SHABRAWY, S., AWAD, R. A. Chemical properties of processed ras cheese spreads as affected by emulsifying salt mixtures. *Journal of Food Processing Preservation*, 2000, vol. 24, p. 191-208. ISSN 0145-8892
- [52] VELÍŠEK, J. *Chemie potravin I*. 1. vyd. Tábor: OSSIS, 1999. 352 s. ISBN 80-902391-3-7.
- [53] CARIĆ, M., GANTAR, M. a KALÁB, M. Effects of emulsifying agents on the microstructure and other characteristics of process cheese - A review. *Food Microstructure*, 1985, vol. 4, p. 297-312. ISSN 0730-5419.
- [54] THOMAS, M. A. *The Manufacture of Processed Cheese – Scientific Principles*. 1973, 1st ed. New South Wales Department of Agriculture, Richmond, Australia.
- [55] KRKOŠKOVÁ, B. *Textúra potravin*. Bratislava: Alfa – Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1986. 194 s.
- [56] FOEGEDING, E. A., BROWN, J., DRAKE, M. A., DAUBERT, C. Sensory and Mechanical Aspects of Cheese Texture. *International Dairy Journal*. 2003, vol. 13, p. 585-591. ISSN 0958-6946.
- [57] CHEN, J. Food Oral Processing – A Review. *Food Hydrocolloids*. 2009, vol. 23, p. 1-25. ISSN 0268-005.
- [58] ROSENTHAL, A.J. *Food Texture – Measurement and Perception*, A Chapman & Hall Food Science Book, Aspen Publisher, Inc., Gaithersburg, Maryland, 1999. ISBN 0-8342-1238-2.
- [59] ČSN EN ISO 5492. *Senzorická analýza – Slovník*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 52s. Třídící znak 560030.

- [60] ČSN EN ISO 5534. *Sýry a tavené sýry – Stanovení obsahu celkové sušiny (Referenční metoda)*. Praha: Český normalizační institut, 2005. 12 s. Třídící znak 571003.
- [61] FISZMAN, S. M. a DAMÁSIO, M. H. Instrumenta measurement of adhesiveness in solid and semi-solid foods. A survey. *Journal of Texture Studies*, 2000, vol. 31, p. 69–91. ISSN 0022-4901.
- [62] EL-BAKRY, M., DUGGAN, E., O'RIORDAN, E. D. a O'SULLIVAN, M. Effect of chelating salt type on casein hydration and fat emulsification during manufacture and post-manufacture functionality of imitation cheese. *Journal of Food Engineering*, 2011, vol. 102, p. 145 - 153. ISSN 0260-8774.
- [63] BUŇKA, F., DOUDOVÁ, L., WEISEROVÁ, E., KUCHAR, D., MICHÁLEK, J., SLAVÍKOVÁ, Š., KRÁČMAR, S. The effect of different ternary mixtures of sodium phosphates on hardness of processed cheese spreads. *International Journal of Food Science and Technology*, 2012, vol. 47, p. 2063–2071.
- [65] PONS, M. FISZMAN, S. M.: *Texture Stud.* 27, 1997, p. 597
- [66] ISO 11036, Sensory analysis – Methodology – Texture profile, *International Standard Organization*, 1994.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

DSP hydrogenfosforečnan sodný ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ )

FDA Federální úřad pro potraviny

TSPD difosforečnan sodný ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ )

POLY polyfosforečnan sodný ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>n</sub>

PSTP trifosforečnan sodný

TPA texturní profilová analýza

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Vzorec lineárního a cyklického fosforečnanu (<math>M = Na</math> nebo <math>K</math>) (upraveno dle [52]).....</i>	19
<i>Obrázek 2: Schématické vyjádření mikrostruktury a) přírodních a b) tavených sýrů (upraveno dle [5]) .....</i>	23
<i>Obrázek 3: Schéma možného průběhu gelace po přidání difosforečnanu sodného ke koncentrátu mléčných bílkovin (upraveno dle [44]) .....</i>	24
<i>Obrázek 4: Průběh křivky texturní profilové analýzy (upraveno dle [24,58]) .....</i>	30
<i>Obrázek 5: Křivka texturní profilové analýzy – tvrdost (upraveno dle [58]).....</i>	31
<i>Obrázek 6: Křivka texturní profilové analýzy – lepivost (upraveno dle [58]) .....</i>	31
<i>Obrázek 7: Křivka texturní profilové analýzy – soudržnost (upraveno dle [58]) .....</i>	32
<i>Obrázek 8: Schéma výroby modelových vzorků .....</i>	36
<i>Obrázek 9: Hodnota pH vzorků v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí a na celkovém obsahu tavicích solí .....</i>	40
<i>Obrázek 10: Tvrdost tavených sýrů v závislosti na složení směsi tavicích solí s 0 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny .....</i>	41
<i>Obrázek 11: Tvrdost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 10 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny.....</i>	42
<i>Obrázek 12: Tvrdost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 20 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny.....</i>	43
<i>Obrázek 13: Tvrdost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 30 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny.....</i>	44
<i>Obrázek 14: Tvrdost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 40 % a 50 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny .....</i>	45
<i>Obrázek 15: Tvrdost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 60 % až 100 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny .....</i>	46
<i>Obrázek 16: Kohezivnost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 0 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny .....</i>	47



<i>Obrázek 17: Kohezivnost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 10 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny</i> .....	48
<i>Obrázek 18: Kohezivnost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 20 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny</i> .....	49
<i>Obrázek 19: Kohezivnost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 30 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny</i> .....	50
<i>Obrázek 20: Kohezivnost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 40 a 50 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny</i> .....	51
<i>Obrázek 21: Kohezivnost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 60 až 100 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny</i> .....	52
<i>Obrázek 22: Relativní lepivost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 0 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny</i> .....	53
<i>Obrázek 23: Relativní lepivost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 10 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny</i> .....	54
<i>Obrázek 24: Relativní lepivost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 20 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny</i> .....	55
<i>Obrázek 25: Relativní lepivost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 30 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny</i> .....	56
<i>Obrázek 26: Relativní lepivost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 40 a 50 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny</i> .....	57
<i>Obrázek 27: Relativní lepivost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí s 60 až 100 % POLY, na koncentraci tavicích solí a na úpravě hodnoty pH taveniny</i> .....	58

**SEZNAM TABULEK**

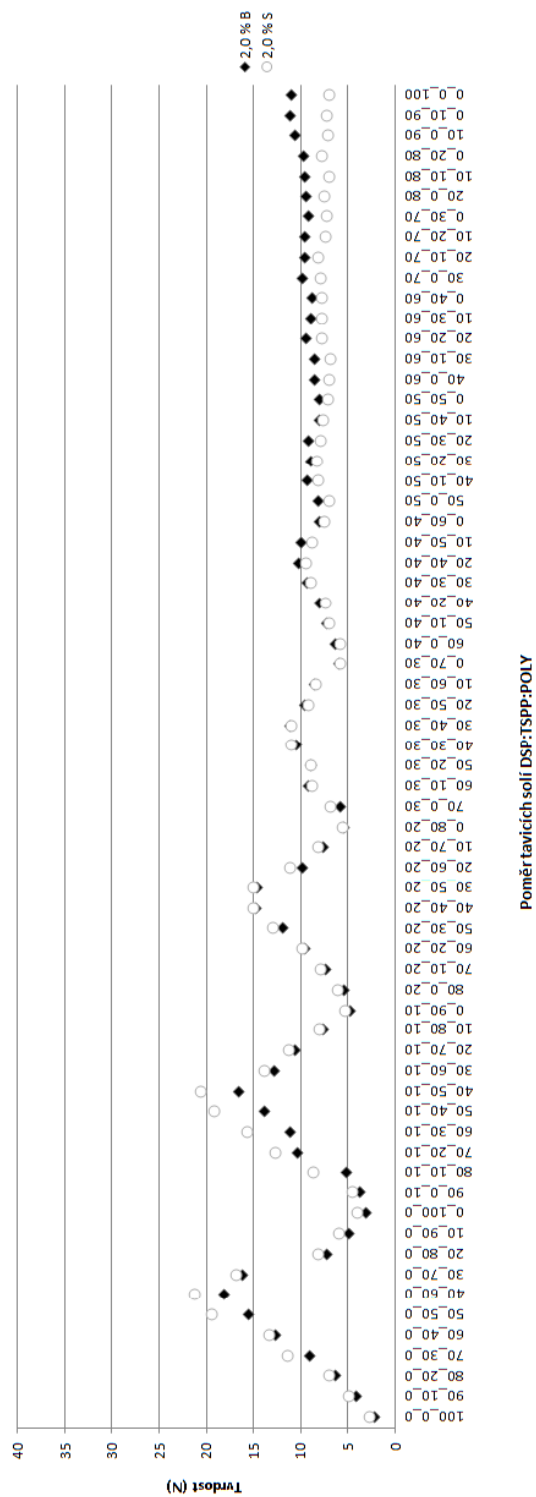
<i>Tabulka 1: Sodné soli fosforečnanů využívaných jako tavicí soli při výrobě tavených sýrů (upraveno dle [20,32]) .....</i>	<i>20</i>
--	-----------

## SEZNAM PŘÍLOH

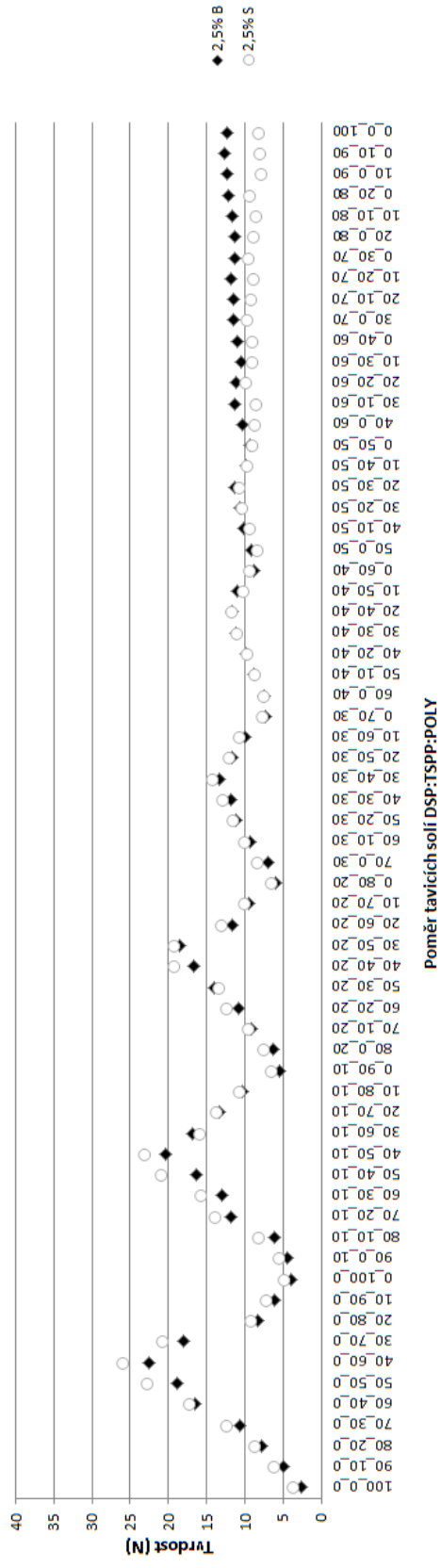
Příloha I: Souhrnné grafy texturních parametrů pro jednotlivé koncentrace tavicích solí

Příloha II: PUBLIKACE - BUŇKA, F., DOUDOVÁ, L., WEISEROVÁ, E., KUCHAR, D., MICHÁLEK, J., SLAVÍKOVÁ, Š., KRÁČMAR, S. The effect of different ternary mixtures of sodium phosphates on hardness of processed cheese spreads. *International Journal of Food Science and Technology*, 2012, vol. 47, p. 2063–2071.

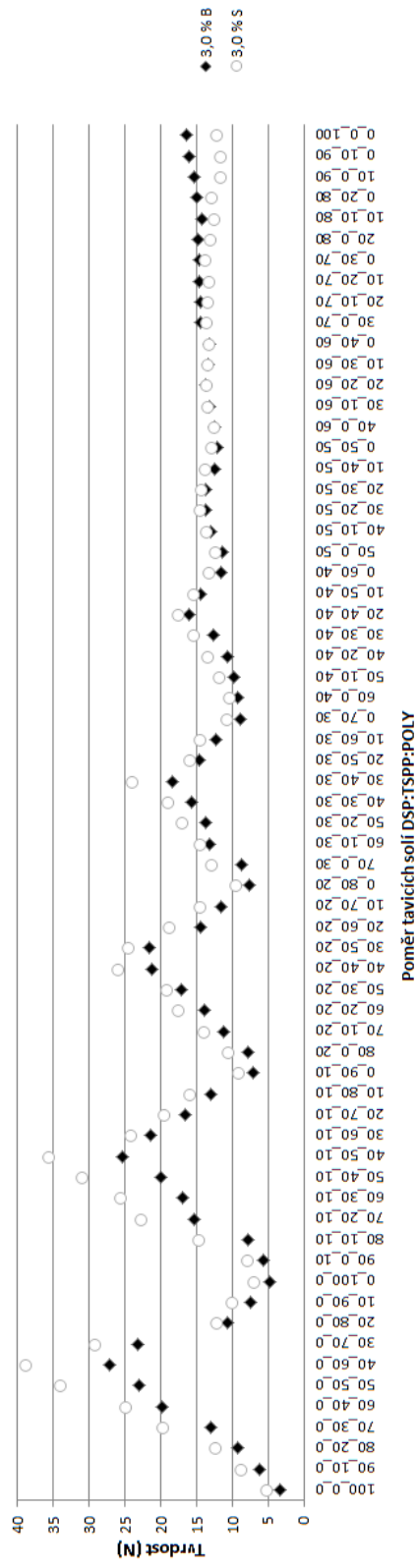
# PŘÍLOHA I: SOUHRNNÉ GRAFY TEXTURNÍCH PARAMETRŮ PRO JEDNOTLIVÉ KONCENTRACE TAVICÍCH SOLÍ



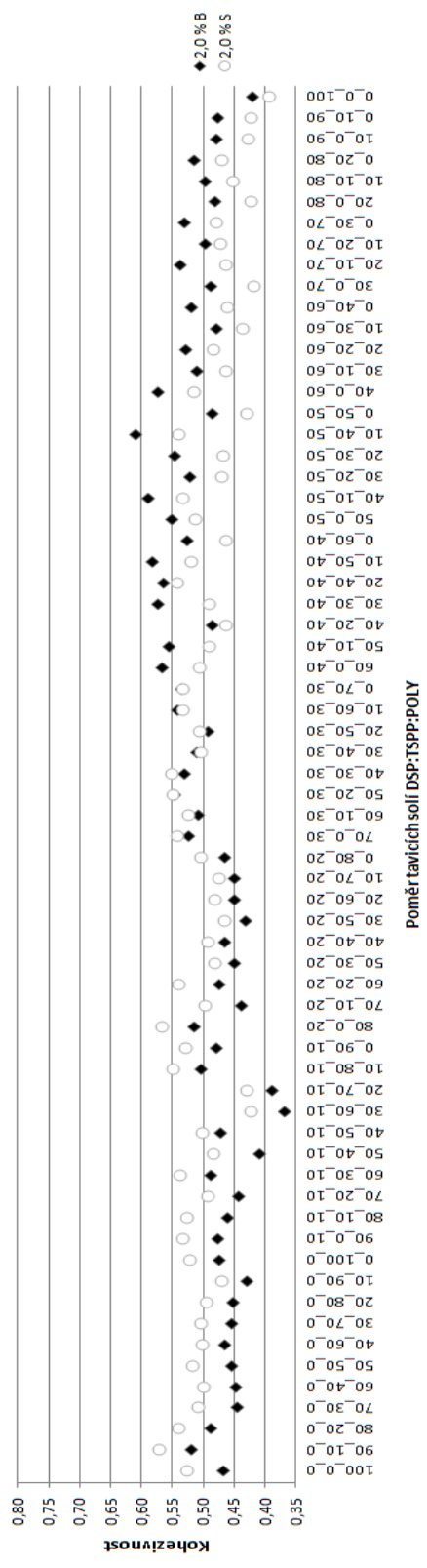
1. Tvrdost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí DSP:TSPP-POLY (2 % w/w) a na úpravě hodnoty pH taveniny



2. Tvrdość tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích soli DSP:TSPP:POLY (2,5 % w/w) a na úpravě hodnoty pH taveniny

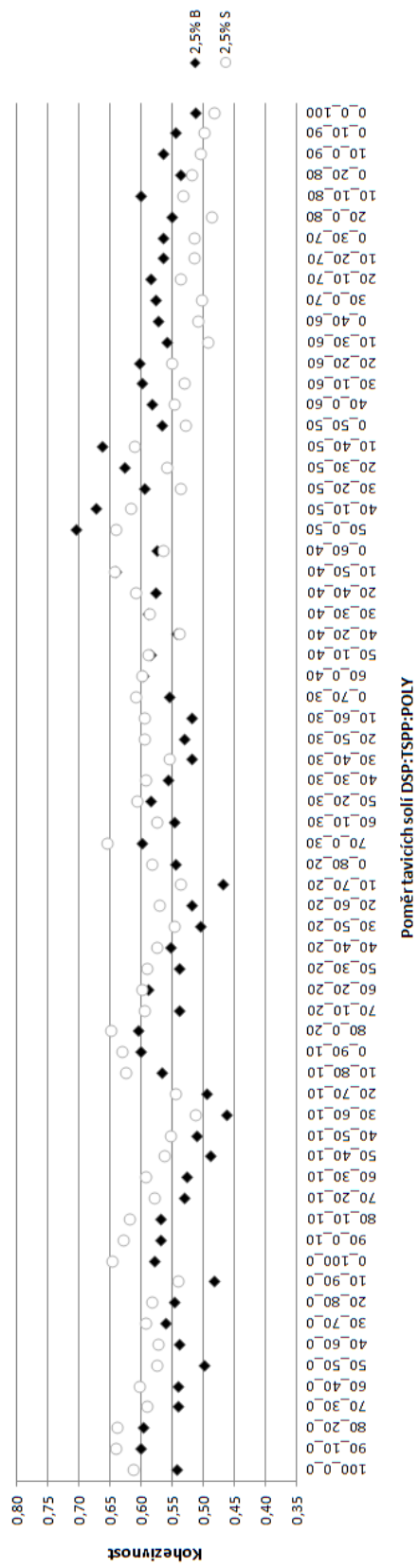


3. Tvrdość tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí DSP:TSPP:POLY (3 % w/w) a na úpravě hodnoty pH taveniny



4. Kohezivnost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí DSP:TSPP:POLY (2 % w/w)

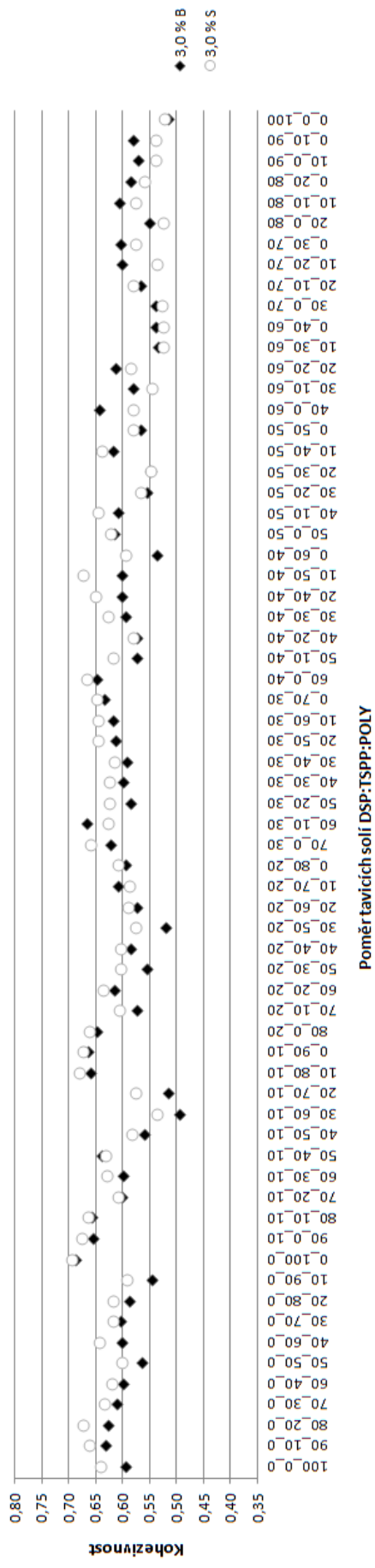
a na úpravě hodnoty pH taveniny



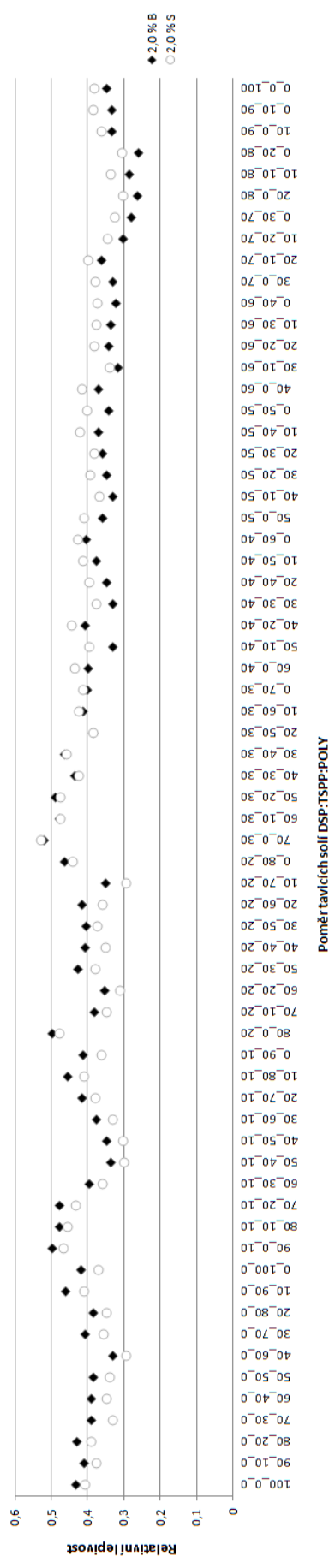
## 5. Kohezivnost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí DSP:TSPP:POLY (2,5 % w/w)

a na úpravě hodnoty pH taveniny

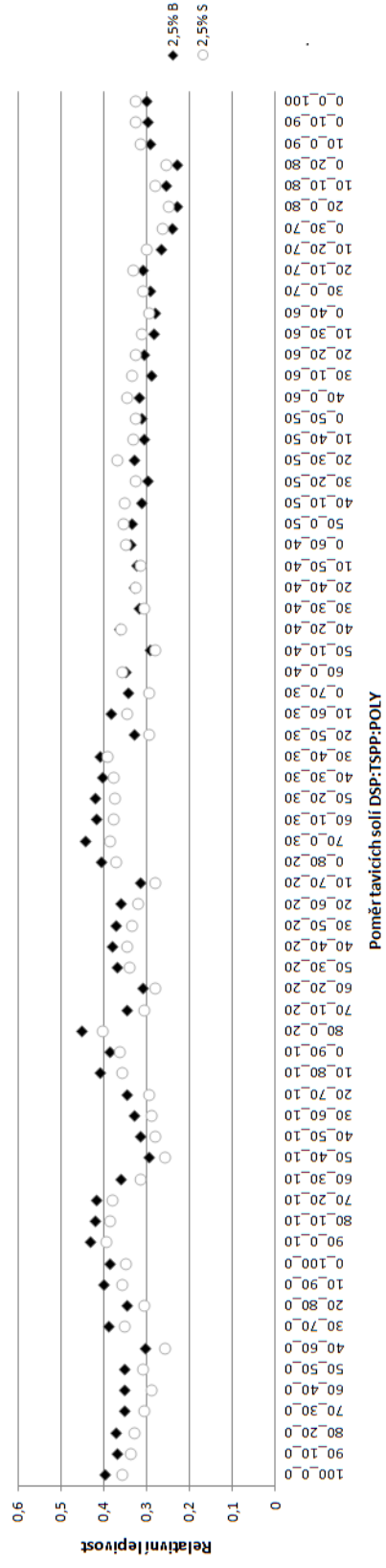




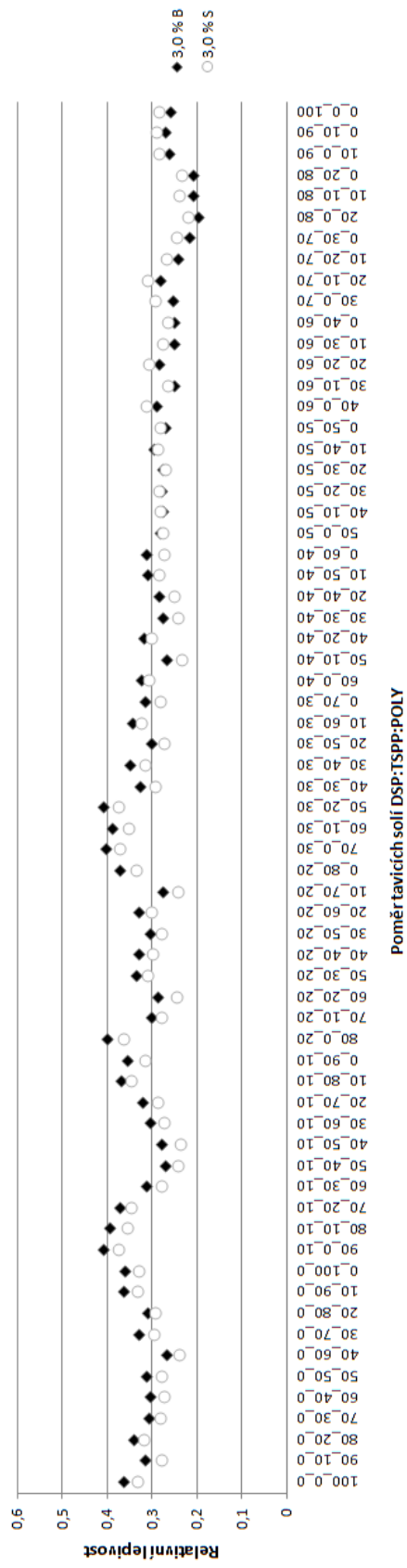
6. Kohezivnost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí DSP:TSPP:POLY (3 % w/w) a na úpravě hodnoty pH taveniny



7. Relativní lepiivost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích solí DSP:TSPP:POLY (2 % w/w) a na úpravě hodnoty pH taveniny



8. Relativní lepiivost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavících solí DSP:TSPP:POLY (2,5 % w/w) a na úpravě hodnoty pH taveniny



9. Relativní lepkavost tavených sýrů v závislosti na složení ternární směsi tavicích soli DSP:TSPP:POLY (3 % w/w)

a na úpravě hodnoty pH taveniny

## Original article

**The effect of different ternary mixtures of sodium phosphates on hardness of processed cheese spreads**František Buňka,<sup>1\*</sup> Lucie Doudová,<sup>2</sup> Eva Weiserová,<sup>3</sup> Dalibor Kuchař,<sup>4</sup> Jaroslav Michálek,<sup>2,5</sup> Štěpánka Slavíková<sup>1</sup> & Stanislav Kráčmar<sup>6</sup><sup>1</sup> Department of Food Technology and Microbiology, Faculty of Technology, Tomas Bata University in Zlín, nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín, Czech Republic<sup>2</sup> Department of Econometrics, Faculty of Economics and Management, University of Defence in Brno, Kounicova 65, 612 00 Brno, Czech Republic<sup>3</sup> Department of Fats, Tensides and Cosmetics Technology, Faculty of Technology, Tomas Bata University in Zlín, nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín, Czech Republic<sup>4</sup> Research and Development Department, Fosfa PLC, Hraniční 268, 691 41 Břeclav, Czech Republic, Czech Republic<sup>5</sup> Department of Statistics and Optimization, Institute of Mathematics, Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Czech Republic<sup>6</sup> Department of Food Analysis and Chemistry, Faculty of Technology, Tomas Bata University in Zlín, nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín, Czech Republic

(Received 1 February 2012; Accepted in revised form 2 April 2012)

**Summary** The aim of this study was to describe the dependence of hardness of processed cheeses on the proportion of disodium hydrogenphosphate (DSP), tetrasodium diphosphate (TSPP) and/or sodium salts of polyphosphate (POLY) in ternary mixtures of emulsifying salts. The samples were observed during a 30-day storage period (at 6 °C). On the second day of storage, hardness of the samples with the individual DSP, TSPP or POLY were in the range of 1.65–1.83 N, 2.42–2.81 N and 5.98–6.53 N, respectively. Within zero or a very low proportion of POLY in the mixture, hardness of the processed cheeses increased rapidly (up to 14 N) at a specific ratio of DSP to TSPP in range of 1:1–3:4. Hardness of the samples containing the above-mentioned specific ratio was decreasing with the rising content of POLY (up to 60%) in the ternary mixtures. Within the prevailing content of POLY in the ternary mixtures (more than 60%), the phenomenon of a specific ratio of DSP to TSPP was no longer observed. With the increasing storage period (up to 30 days), hardness of the processed cheeses was slightly rising (in range of 2–4 N).

**Keywords** Emulsifying salts, hardness, processed cheese, regression analysis

**Introduction**

Emulsifying salts are a key component for the production of homogeneous processed cheeses. Processed cheeses are made by heating a mixture of cheeses and other ingredients of dairy (butter, cream, curds, milk powder, caseins, etc.) and non-dairy (spice, meat components, mushrooms, hydrocolloids, etc.) origin with emulsifying salts under partial underpressure and constant stirring until a homogeneous mass of desired properties is formed (Guinee *et al.*, 2004; Kapoor & Metzger, 2008). The traditional melt contains mainly milk proteins (casein fractions or their partial

hydrolysates), dairy fat and water. Fat emulsification and water stabilisation in the processed cheese matrix are to be ensured mainly by the proteins present (especially caseins). In the basic material (cheese), casein fractions (and their partial hydrolysates) form a three-dimensional network in which they are connected by means of calcium bridges. However, these immobilised caseins cannot work as adequate emulsifiers and stabilisers in the melt. Therefore, the basic role of the emulsifying salts is to split off calcium from the cheese matrix and replace it by sodium ions. By means of exchanging sodium ions for calcium ions, insoluble calcium paracaseinate changes into more soluble sodium paracaseinate, which can function as an emulsifier and stabiliser in the melt. (Gupta *et al.*, 1984; Guinee *et al.*, 2004; Lu *et al.*, 2008; Shirashoji *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2011).

\*Correspondent: Fax: 00420 577 210 172;  
e-mail: bunka@ft.utb.cz

Another role of emulsifying salts is, for example, a shift and/or stabilisation of pH values (optimal pH values of processed cheeses range within the interval of 5.6–6.1). Also, emulsifying salts participate in the process of creaming, which is characterised by an increase in melt viscosity and formation of the final structure of processed cheese during the melting process and subsequent cooling (Gupta *et al.*, 1984; Guinee *et al.*, 2004; Kawasaki, 2008).

Commonly used emulsifying salts are sodium salts of phosphate, polyphosphates, citrates and their combination in the total amount of <3% w/w of the final product (Guinee *et al.*, 2004). The effects of the individual emulsifying salts used independently for the production of model processed cheeses are relatively well described in the available literature. As it follows from the majority of studies, (i) hardness of processed cheeses rises with the increasing number of phosphorus atoms linearly bound in a phosphate molecule used as the emulsifying salt and (ii) the effects of sodium salts of citrates on hardness of the product are comparable with those of sodium monophosphates (Lu *et al.*, 2008; Dimitreli & Thomareis, 2009; Sádliková *et al.*, 2010; Weiserová *et al.*, 2011). On the other hand, other studies show that trisodium citrate has a better ability to bind calcium ions and thus provides cheeses with higher hardness in comparison with disodium monophosphate (Mizuno & Lucey, 2007; El-Bakry *et al.*, 2011a).

Only a few studies dealing systematically with the effect of different composition of binary mixtures of emulsifying salts on the properties of processed cheeses are available. El-Bakry *et al.* (2011a) focused on binary mixtures of trisodium citrate (TSC) and disodium hydrogenphosphate (DSP). As it follows from their study, hardness of processed cheeses rises with the increasing content of TSC at the expense of DSP. Weiserová *et al.* (2011) studied the effect of six binary mixtures consisting of four sodium salts of phosphates (DSP; tetrasodium diphosphate – TSPP; pentasodium triphosphate – PSTP and sodium salt of polyphosphate – POLY) on the texture of model processed cheeses. The last authors mentioned pointed out mainly (i) nonlinearity in the dependence of texture parameters of the products on the change in ratio of phosphates in the binary mixtures of emulsifying salts and (ii) high hardness of the products with binary mixtures of DSP with TSPP or PSTP in a ratio of approximately 1:1.

Producers of processed cheeses use trade emulsifying salts (TES) supplied by specialised companies. TES usually contain a mixture of two or three components (sodium salts of phosphates and/or citrates) in which the exact ratios of the components are unknown to cheese producers (trade secret). Moreover, producers of processed cheeses usually use two or three kinds of TES for a particular product and thus use a mixture of mixtures. Today, producers of processed cheeses decide

on a suitable combination of TES practically only according to their empirical experience with the individual TES from a particular supplier.

Despite the fact that there is a tendency to use multi-component emulsifying salts in industry, there is practically no systematic study dealing with the effect of ternary or more-component mixtures on the properties of processed cheeses in the available literature. There are only a few isolated studies (e.g. Awad *et al.*, 2002, 2004) describing the influence of three to five particular mixtures of emulsifying salts on the texture properties of model processed cheeses.

The aim of this work was (i) to study the dependence of hardness of model processed cheese spreads on the composition of ternary mixtures of phosphate emulsifying salts (DSP – Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; TSPP – Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> and sodium salt of polyphosphate) during a storage period of 30 days and (ii) to describe the discovered types of dependence by means of advanced regression method. It is also important to highlight that the complete study was performed under similar and mutually comparable conditions.

## Material and methods

### Model samples

Dutch-type cheese (Edam cheese block; ~50% w/w dry matter, ~30% w/w fat in dry matter; 6-week maturity; Kromilk, Kroměříž, Czech Republic – traditional manufacturer of cheese from pasteurised milk), butter (~84% w/w dry matter, ~82% w/w fat; ALIMPEX FOOD, Prague, Czech Republic), water and 3% (w/w) emulsifying salts (the amount calculated for the total weight of the melt) were used for the production of model samples of processed cheeses (40% dry matter, 50% fat in dry matter). Ternary mixtures of Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (DSP); Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (TSPP); sodium salt of polyphosphate – (NaPO<sub>3</sub>)<sub>n</sub>, where  $n \approx 15-20$  (POLY) were used as the emulsifying salts. In total, 66 mixtures of three phosphates (100:0:0, 90:10:0, 90:0:10, 80:20:0, 80:10:10, 80:0:20, ..., 30:30:40, ..., 0:100:0, ..., 0:20:80, 0:10:90, 0:0:100) were applied. Sodium salts of phosphates were supplied by Fosfa, Břeclav, Czech Republic (manufacturer of food grade phosphates).

For the production of model processed cheeses, Vorwerk Thermomix TM 31-1 (Vorwerk & Co., GmbH, Wuppertal, Germany) was used. The same equipment was also used for a similar purpose in the work by Lee *et al.* (2004) and Macků *et al.* (2008). The melting temperature (90 °C) was kept for 1 min (the total melting time was 10–12 min at 4000 rpm). The hot melt was poured into polypropylene doses of cylindrical shape (52 mm in diameter and 50 mm high) and sealed with aluminium lids. A similar shape and dimensions of samples were also used by Cunha & Viotto (2010) and

Weiserová *et al.* (2011). The model samples were cooled down to a temperature of  $6 \pm 2$  °C within 2 h after the production and this temperature was used for 30-day storage. Each combination of ternary mixture was produced twice.

#### Basic chemical analysis

After 30 days of storage ( $6 \pm 2$  °C), dry matter content was determined in the samples according to ISO 5534 (2004). The values of pH were directly measured by pH metre with a glass tip electrode (Sper, Eutech Instruments, Oakton, Malaysia) at  $16 \pm 1$  °C (the sample was tempered in a temperature chamber for 4 h) after the 2nd and 30th day of storage at  $6 \pm 2$  °C. Both analyses were performed four times in each batch (eight measurements in total).

#### Hardness analysis

Hardness analysis of samples (in the cylindrical dose) was carried out using Texture Analyser TA.XTPlus (with a compression cell in capacity of 30 kg) (Stable Micro Systems, Surrey, UK). Before the testing, the processed cheeses (in doses) were tempered at  $16 \pm 1$  °C in a temperature chamber for 4 h. The hardness analyses were carried out by the penetration event (penetration depth, 10 mm; probe speed, 2 mm s<sup>-1</sup>; trigger force of 5 g). The test was performed using a 20-mm stainless steel cylinder probe P20 (20 mm diameter), and the force-deformation curve was recorded. The hardness was observed as the force needed to attain a given deformation (maximum force during the penetration; N) (Jooyandeh, 2009; Genovese *et al.*, 2010). A similar experimental design for measuring hardness of processed cheeses was also applied by Piska & Štětina (2004) and Weiserová *et al.* (2011). The hardness analysis was carried out after the 2nd, 9th and 30th day of storage at  $6 \pm 2$  °C. The model samples (of each ternary mixture at each time period) were measured four times (two products were sampled from each batch, two batches were manufactured).

#### Statistical methods

Homogeneity of dry matter content, pH and values of hardness in the individual samples were verified by Kruskal–Wallis and Wilcoxon tests (UNISTAT<sup>®</sup> 5.5 software; Unistat, London, UK). The significance level used in the tests was 0.05.

Polynomial regression was used to model the global dependence of the hardness  $H$  on the variables  $x$ ,  $y$  and  $z$ , which describe the composition of ternary mixtures of phosphate emulsifying salts ( $x$  is the ratio of DSP;  $y$  is the ratio of TSPP and  $z$  is the ratio of POLY in the mixture). The model is considered under the following

conditions:  $x + y + z = 1$  and  $x \geq 0$ ;  $y \geq 0$ ;  $z \geq 0$ . The basic linear model was given by complete third-order polynomial under linear constraint  $x + y + z = 1$  and  $x \geq 0$ ;  $y \geq 0$ ;  $z \geq 0$ . Because of the linear constraint, the variable  $z$  was substituted by  $z = 1 - x - y$ , and the new basic model in two variables ( $x$  and  $y$ ) was the following complete third-order polynomial:

$$H = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2y + \beta_3x^2 + \beta_4xy + \beta_5y^2 + \beta_6x^3 + \beta_7x^2y + \beta_8xy^2 + \beta_9y^3 + \varepsilon \quad (1)$$

where  $\beta_0, \dots, \beta_9$  are unknown parameters and  $\varepsilon$  is an unobserved random error. Subsequently, an optimum submodel of model (1), optimally describing the observed dependence but with a number of parameters smaller than that of (1), was searched for by means of forward and backward stepwise regression. Another criterion used for the reduction of parameters of model (1) was Mallows' statistics  $C_p$  (Brook & Arnold, 1985; Draper & Smith, 1998). Each reduced submodel of model (1) was subsequently characterised by means of determination coefficient  $R^2$ . During the reduction of the model, the significance level used was 0.05. The results were graphically illustrated: the relevant ratio among the salts  $x:y:z$  was plotted on the horizontal axis, and the average values of hardness measured within the given ratio of salts, their prediction based on an optimum model were plotted on the vertical axis. Apart from this, a graph of standardised residuals was also plotted to assess the adequacy of the model. For the actual calculations, software products such as MATLAB version 7.7.0 (The MathWorks, Inc. Natick, MA, USA), STATISTICA version 9 (StatSoft, Prague, Czech Republic) and MICROCAL Origin (Microcal Software, Inc. Northampton, MA, USA) were used.

#### Results and discussion

Dry matter content of the model processed cheeses made by means of sixty-six variants of emulsifying salts consisting of different ratios of DSP, TSPP and/or POLY ranged within the interval of 40.37–41.19% (w/w). In processed cheeses, dry matter content is an important parameter significantly affecting their texture and functional properties (Lee *et al.*, 2004). The manufactured model samples had similar dry matter content, which is crucial in terms of hardness comparability among the products obtained.

After two days of storage, pH values of the processed cheeses made only with DSP and TSPP ranged within the interval of 6.47–6.54 and were higher ( $P < 0.05$ ) than pH of the model samples containing only POLY (pH =  $5.39 \pm 0.01$ ). In the individual ternary mixtures, pH values of the processed cheeses related to the ratios of phosphate emulsifying salts in the mixture (data not

shown). The processed cheeses containing ternary mixtures with DSP and TSPP (without POLY) showed similar pH in all ratios tested ( $P \geq 0.05$ ). In the samples made by means of ternary mixtures with POLY, pH values of the processed cheeses were steadily decreasing ( $P < 0.05$ ) with the increasing proportion of POLY in the mixture. Similar conclusions were also reached by Weiserová *et al.* (2011) dealing with binary mixtures of phosphates. The pH values of the samples were not modified because the aim of this study was to describe hardness affected by the application of particular ternary mixtures without any other external influences. The same approach was formerly used in the works by Awad *et al.* (2002, 2004), Dimitreli & Thomareis (2009) and Weiserová *et al.* (2011). Within a 30-day storage period at 6 °C, a slight decrease in pH values, in the order of about 0.1–0.2 ( $P < 0.05$ ), occurred in almost all processed cheeses.

Dependence of sample hardness on the composition of ternary mixtures of emulsifying salts was modelled by means of regression analysis, the result of which (parameters of optimal models, coefficient of determination  $R^2$  and values of Mallows'  $C_p$  statistics for the individual submodels) is shown in Table 1. Figures 1–3 show a graphic illustration of the above-mentioned dependence for the 2nd, 9th and 30th day of storage (parts A). According to the following optimum model

$$H = \beta_0 + \beta_4xy + \beta_6x^3 + \beta_8xy^2 + \beta_9y^3 + \varepsilon \quad (2)$$

It is clear that the course of dependence of the hardness  $H$  on the ratios of the components  $x$  (DSP),  $y$  (TSPP) and  $z$  (POLY) did not have a linear development. A non-linear course of the dependence of texture parameters of processed cheese on the composition of binary mixtures of emulsifying salts was formerly mentioned by El-Bakry *et al.* (2011a) and Weiserová *et al.* (2011). Apart from this, it was clear from the residuals illustrated (Figs 1–3, parts B) that the residuals did not show systematic deviations and thus the optimum model could be considered adequate, and gave an apt description of the observed relation between

sample hardness and the ratio of the components (DSP, TSPP and/or POLY) in the ternary mixtures.

On the second day after the production, hardness values of the model samples made by using the individual emulsifying salts of DSP, TSPP and POLY were within  $1.76 \pm 0.06$  N,  $2.68 \pm 0.23$  N and  $6.28 \pm 0.37$  N, respectively (formulation marked with arrow in Fig. 1). During a 30-day storage period at 6 °C, the above-mentioned hardness values increased by as much as 50% ( $P < 0.05$ ) and thus reached the values of  $2.47 \pm 0.08$  N,  $3.26 \pm 0.29$  N and  $9.42 \pm 0.50$  N for DSP, TSPP and POLY used individually (formulation marked with arrow in Fig. 3). The lowest hardness of the processed cheeses made by using monophosphate on its own as well as the highest hardness of the cheeses with polyphosphate used on its own are both in accord with the results of many studies dealing with this theme, for example, Gupta *et al.* (1984), Lu *et al.* (2008), Dimitreli & Thomareis (2009), Sádliková *et al.* (2010) and Weiserová *et al.* (2011).

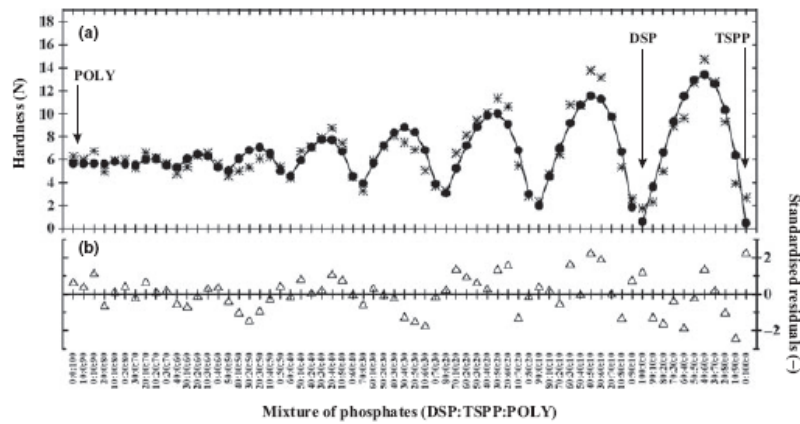
The reason for the increased hardness of the model samples made by means of phosphates with a rising number of phosphorus atoms linearly bound in a phosphate molecule could be explained by a different ability of the above-mentioned compounds to disperse the insoluble casein matrix, which passes to processed cheeses mainly from natural cheeses (Shirashoji *et al.*, 2010). The ability of phosphates to disperse caseins bonded in network is probably related to their capability to bind calcium into complexes. The exchange of sodium ions for calcium ions and the change of insoluble calcium paracaseinate into more soluble sodium paracaseinate enable caseins to develop their emulsifying properties and stabilise the fat and water present in the mixture (Gupta *et al.*, 1984; Guinee *et al.*, 2004). In phosphates, the ability to exchange ions ( $\text{Na}^+$  for  $\text{Ca}^{2+}$ ) rises with the increasing number of phosphorus atoms linearly bound in a phosphate molecule. Therefore, the ion-exchange ability is the highest in long-chain polyphosphates and on the other hand, it is the lowest in monophosphates (Gupta *et al.*, 1984; Molins, 1991; Mizuno & Lucey, 2005a).

**Table 1** The parameters of optimal regression models, the coefficients of determination  $R^2$  and the values of Mallows' statistics  $C_p$  for hardness of model processed cheese produced using ternary mixture of sodium salts of phosphates (disodium hydrogenphosphate –  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ; tetrasodium diphosphate –  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ; POLY – sodium salt of polyphosphate) and stored 30 days\*

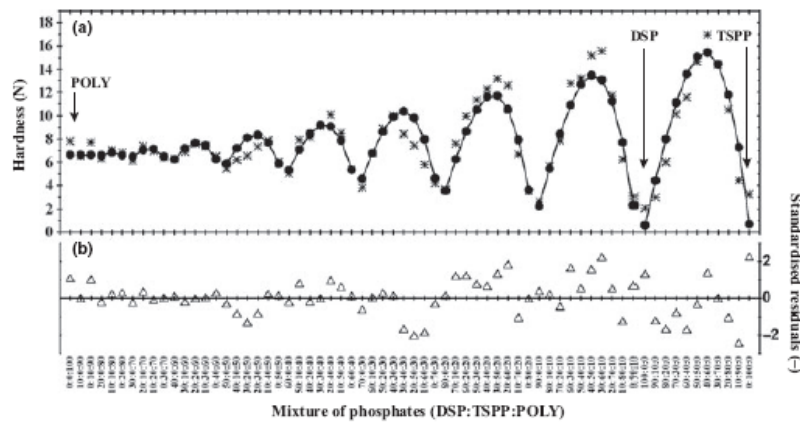
Day of storage	Regression parameters					$R^2$	$C_p$
	$\beta_0$	$\beta_4$	$\beta_6$	$\beta_8$	$\beta_9$		
2	5.6599	0.001460	-0.00000505	-0.0000395	-0.00000519	0.877	14.365
9	6.6402	0.002027	-0.00000604	-0.0000391	-0.00000594	0.879	13.428
30	7.3936	0.002420	-0.00000673	-0.0000382	-0.00000684	0.842	18.282

\*The linear model used:  $H = \beta_0 + \beta_4xy + \beta_6x^3 + \beta_8xy^2 + \beta_9y^3 + \varepsilon$ .





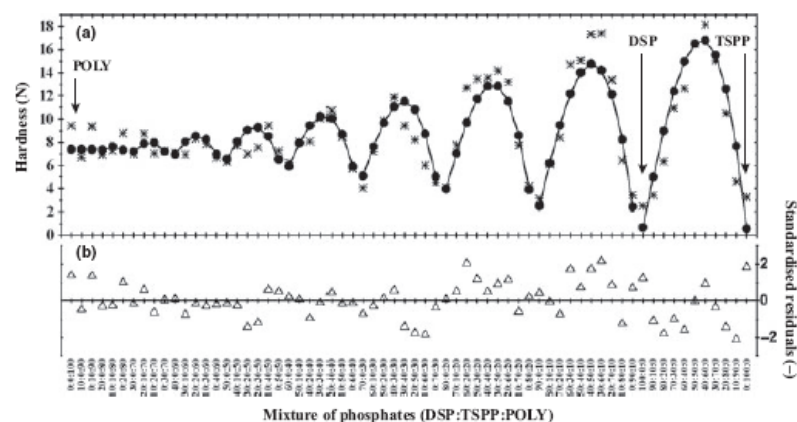
**Figure 1** Dependence of processed cheese hardness (N) [mean (\*) and estimated values (●)] on the relative amount (in percentage; axis x) of disodium hydrogenphosphate (DSP), tetrasodium diphosphate (TSPP) and POLY in a ternary mixture and standardised residuals (Δ) on the 2nd day of storage at 6 °C. Hardness values of processed cheese for individually used DSP, TSPP and POLY are marked with arrows.



**Figure 2** Dependence of processed cheese hardness (N) [mean (\*) and estimated values (●)] on the relative amount (in percentage; axis x) of disodium hydrogenphosphate (DSP), tetrasodium diphosphate (TSPP) and POLY in a ternary mixture and standardised residuals (Δ) on the 9th day of storage at 6 °C. Hardness values of processed cheese for individually used DSP, TSPP and POLY are marked with arrows.

A higher ability to exchange ions probably leads to a higher degree of casein dispersion, which subsequently enhances the capability of caseins to bind water and emulsify the fat present (Mizuno & Lucey, 2005a,b; El-Bakry *et al.*, 2010; Shirashoji *et al.*, 2010). During the cooling process of the melt, series of interactions among the ingredients and formation of various bonds occur (e.g. hydrogen bonds, electrostatic interactions, calcium

bridges, disulphide bridges, hydrophobic associations and/or complex calcium phosphates cross-links). This process leads to reassociation of dispersed caseins and formation of fine-structured three-dimensional matrix (Bowland & Foegeding, 2001; Awad *et al.*, 2004; Mizuno & Lucey, 2005a, 2007; Kapoor *et al.*, 2007; Kapoor & Metzger, 2008; Kawasaki, 2008; Gliguem *et al.*, 2011). It can be assumed that with the increasing extent of



**Figure 3** Dependence of processed cheese hardness (N) [mean (\*) and estimated values (●)] on the relative amount (in percentage; axis x) of disodium hydrogenphosphate (DSP), tetrasodium diphosphate (TSPP) and POLY in a ternary mixture and standardised residuals (Δ) on the 30th day of storage at 6 °C. Hardness values of processed cheese for individually used DSP, TSPP and POLY are marked with arrows.

processes such as protein hydration and fat emulsification, the intensity of interactions in the melt is rising and so is the intensity of formation of the casein cross-linkages in the gelling system. The higher the presence of cross-linkages in the matrix of the product, the harder processed cheese can be expected (Mizuno & Lucey, 2005a,b; El-Bakry *et al.*, 2010, 2011a,b; Shirashoji *et al.*, 2010).

Our results of hardness of the model processed cheeses made by using the individual emulsifying salts of DSP, TSPP and POLY are in accord with the above-mentioned hypothesis. POLY has the highest amount of phosphorus atoms in a molecule of all the phosphates tested. Therefore, the highest ability to exchange ions ( $\text{Na}^+$  for  $\text{Ca}^{2+}$ ) and thus the highest degree of casein dispersion can be expected in this phosphate. The result of these interactions was the hardest consistence of the processed cheeses made by using POLY on its own in comparison with the cheeses made by using the remaining two phosphates on their own ( $P < 0.05$ ). Diphosphates have a higher ability to exchange ions than monophosphates but on the other hand, this ability is lower than that of polyphosphates with a higher number of phosphorus atoms linearly bound in a phosphate molecule (Molins, 1991). Therefore, hardness of the samples with TSPP used on its own was (i) higher ( $P < 0.05$ ) than that of the samples with DSP used on its own, and on the other hand (ii) lower than in the case of POLY used on its own ( $P < 0.05$ ).

As it follows from the results of regression analysis of the dependence of processed cheese hardness on the composition of ternary mixtures of phosphate salts

(DSP, TSPP and POLY), with a zero amount of TSPP, hardness of the samples rises with an increasing concentration of POLY and a decreasing amount of DSP (Figs 1–3). The same trend was also observed in the case of zero DSP content and a decreasing amount of TSPP in favour of POLY (Figs 1–3). These results correspond with a previous study (Weiserová *et al.*, 2011). With a rising content of long-chain polyphosphates in the mixture (at the expense of monophosphates or diphosphates), the relative amount of phosphate in the melt, which has a higher ability to bind calcium and thus enhances casein dispersion, is also increasing (Shirashoji *et al.*, 2010; Weiserová *et al.*, 2011).

Within all days of testing, a very interesting phenomenon was observed in the model samples made by using ternary mixtures of emulsifying salts with <60% of POLY (Figs 1–3). When the ratio of DSP to TSPP was approximately 1:1–3:4, hardness of the processed cheeses was increasing rapidly. The smaller the amount of POLY in the mixture, the more significant the increase was observed. The highest hardness (calculated exactly from optimal regression models) among all the model samples tested ( $P < 0.05$ ; separately evaluated every single day of testing) was observed in the application of DSP with TSPP in the ratio of 0.69–0.76 with a zero amount of POLY ( $13.42 \pm 0.82$  N,  $15.50 \pm 0.72$  N and  $16.89 \pm 0.98$  N for 2nd, 9th and 30th day of storage, respectively).

As the ratio of DSP to TSPP deviated from the interval of 1:1–3:4 (with a constant amount of POLY), hardness of the processed cheeses was decreasing

( $P < 0.05$ ; Figs 1–3). With the increasing amount of POLY in the ternary mixtures of emulsifying salts, hardness of the model samples with the ratio of DSP to TSPP within the interval of 1:1–3:4 was also decreasing ( $P < 0.05$ ). The above-mentioned phenomenon was practically not observed when the amount of POLY in the ternary mixtures increased above 60% (Figs 1–3). In the ratios of DSP to TSPP, lower than 1:3 or higher than 3:1, hardness of the model samples was increasing again with the rising amount of POLY in the ternary mixture. Hardness of the processed cheeses with 70–90% proportion of POLY in the emulsifying salts was, within a particular day, very similar regardless of the ratio of the remaining two emulsifying salts (DSP and TSPP).

On the basis of the available literature, there is no clear explanation of this phenomenon. In a previous study (Weiserová *et al.*, 2011), a similar dependence was observed while comparing the influence of different proportions of monophosphate and diphosphate in a binary mixture on texture parameters of processed cheeses. In the above-mentioned study, it was discovered (like now) that the samples show the highest hardness when the ratio of monophosphate to diphosphate is approximately 1:1–3:4.

The explanation of the above-mentioned phenomenon must be based on specific properties of the individual phosphates or their mutual synergic relationship. Monophosphates are low-molecular substances with the ability to bind to casein proteins and increase their level of hydration (Molins, 1991; El-Bakry *et al.*, 2011a). Diphosphates (i) induce gel formation of casein proteins and work as cross-linking agents while forming complexes with calcium ions and (ii) reduce charge repulsion, which could help facilitate hydrophobic interactions between hydrophobic segments of caseins. On the other hand, excessive diphosphate concentration could bond too much amount of calcium, making it unavailable for cross-linking interactions (Mizuno & Lucey, 2005b, 2007; Lu *et al.*, 2008). Long-chain polyphosphates can (i) on the one hand, strongly bind calcium into complexes and enable caseins to disperse effectively and (ii) on the other hand, they do not support gel formation very much owing to their multiple negative charges, making it difficult to have reassociation of casein molecules through their hydrophobic segments (Mizuno & Lucey, 2007; Shirashoji *et al.*, 2010). On the basis of the above-mentioned facts, the following hypothesis could be suggested:

- 1 In the case of zero or a very low proportion of polyphosphates in the mixtures of emulsifying salts with monophosphates and sufficient amount of diphosphates (in the ratio of approximately 1:1–3:4), the following might occur: (i) strong gel formation of casein proteins caused by the presence of diphosphates; (ii) small

molecules of monophosphates have the ability to permeate among cross-linked caseins and strongly bind water there. A sufficiently short distance between casein proteins thus supports their hydrophobic associations resulting in processed cheeses with high hardness. Zero or very low proportions of long-chain polyphosphates do not give proteins such a strong negative charge leading to repulsions of caseins. Within a very small relative amount of diphosphates, there is not a sufficient amount of cross-linking agents (diphosphate complexes with calcium ions) and thus very strong gel cannot be formed (Figs 1–3). On the other hand, excessive relative concentration of diphosphates leads to very strong binding of a huge amount of calcium, which makes the formation of diphosphate–calcium cross-links (bridges) between caseins more difficult and results in processed cheese with lower hardness (Figs 1–3). Moreover, a very low content of monophosphate permeating among cross-linked caseins is not sufficient to create a strong bond of an adequate amount of water.

- 2 In the case of a higher relative proportion of long-chain polyphosphates (up to 60%) in the ternary mixtures used (with monophosphates and diphosphates), specific effects of polyphosphates on the processed cheese matrix might become stronger. Their ability to give caseins multiple negative charges reduces the effects of a specific ratio of monophosphates to diphosphates. This results in processed cheese, the hardness of which decreases with the rising concentration of polyphosphates with a constant ratio of monophosphates to diphosphates (in range of 1:1–3:4; Figs 1–3).
- 3 In the case of a high relative proportion of long-chain polyphosphates (60% and more) in the ternary mixtures used (with monophosphates and diphosphates), the influence of polyphosphate on the formation of a three-dimensional network of the melt might be predominant while the influence of monophosphates and diphosphates (regardless of the ratio) is only minor. What prevails here is the ability of long-chain polyphosphates to strongly disperse casein chains, to which polyphosphates bind during the process of “creaming” and thus increase their hydration. As a result, the dispersed caseins well emulsify the fat present. A low amount of the monophosphates and/or diphosphates present thus cannot show their specific properties. This leads to formation of processed cheeses that have (with a constant amount of polyphosphates) similar hardness (Figs 1–3) regardless of the remaining amount and mutual ratio of monophosphates to diphosphates. With the increasing time of storage at 6 °C, hardness of the processed cheeses was rising ( $P < 0.05$ ; Figs 1–3),

which can also be seen in the optimum regression models (Table 1). However, the trends describing the dependence of processed cheese hardness on the ternary mixtures of phosphate emulsifying salts did not change (Figs 1–3; Table 1). The increase in hardness during the storage period might also be related to a slight decrease in pH values of the processed cheeses detected within a 30-day storage period. According to Gupta *et al.* (1984), Mizuno & Lucey (2005a), Dimitreli & Thomareis (2009) and Shirashoji *et al.* (2010), the explanation could be found, apart from other things, in the hydrolysis of phosphates with more than one atom of phosphorus in the molecule. This explanation is also supported by the work of Marchesseau *et al.* (1997) and Lu *et al.* (2008), showing that with a decrease in pH values of processed cheeses, the hardness of matrix usually increases. It is rather problematic to clarify a slight decrease in pH values and increased hardness in the processed cheeses made only by means of DSP, in which hydrolysis into lower phosphate units is not presumed. This phenomenon suggests that the changes in texture parameters and pH cannot be attributed only to the hydrolysis of phosphate emulsifying salts. Another possible explanation could also lie in the changes of bond forms of the salts present as well as the changes in their dissociation. However, confirmation or falsification of this hypothesis will require further studies.

### Conclusion

The study dealt with the dependence of hardness of processed cheeses on the proportion of DSP, TSPP and/or sodium salts of polyphosphates in ternary mixtures used for the production of processed cheeses. Hardness of the processed cheeses was significantly dependent on the composition of ternary mixtures of emulsifying salts. The trend discovered was not linear but it was possible to describe it by means of cubic regression function. Hardness of the processed cheeses containing zero or a small relative amount of polyphosphates was rapidly increasing in a ratio of monophosphates to diphosphates within the range of 1:1–3:4. The influence of these specific ratios of monophosphates to diphosphates on hardness of the processed cheeses was weakening with the increasing amount of polyphosphates in the ternary mixture. A hypothesis has been suggested in which the discovered trends of dependence of hardness of the samples on the composition of ternary mixtures of emulsifying salts are clarified. Further studies will have to confirm if the general trend of dependence of processed cheese hardness on the composition of ternary mixtures of emulsifying salts will change under the influence of many technological factors, for example, (i) when using cheeses with different degree of maturity or (ii) at different total

concentrations of the emulsifying salts used for the production of processed cheeses.

### Acknowledgment

This study was supported by project of the internal grants of Tomas Bata University in Zlin No. IGA/18/FT/11/D and IGA/FT/2012/026 funded from the resources for specific university research; University of Defence Faculty of Economics and Management Development Project and project of Faculty of Mechanical Engineering FSI-J-11-49 No. 22157.

### References

- Awad, R.A., Abdel-Hamid, L.B. & El-Shabrawy, S.A. (2002). Texture and microstructure of block type cheese with formulated emulsifying salt mixture. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie - Food Science and Technology*, **35**, 54–61.
- Awad, R.A., Abdel-Hamid, L.B., El-Shabrawy, S.A. & Singh, R.K. (2004). Physical and Sensory properties of block processed cheese with formulated emulsifying salt mixture. *International Journal of Food Properties*, **7**, 429–448.
- Bowland, E.L. & Foegeding, E.A. (2001). Small strain oscillatory shear and microstructural analyses of a model processed cheese. *Journal of Food Science*, **84**, 2372–2380.
- Brook, R.J. & Arnold, G.C. (1985). *Applied Regression Analysis and Experimental Design*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Cunha, C.R. & Viotto, W.H. (2010). Casein peptization, functional properties, and sensory acceptance of processed cheese spreads made with different emulsifying salts. *Journal of Food Science*, **75**, 113–120.
- Dimitreli, G. & Thomareis, A.S. (2009). Instrumental textural and viscoelastic properties of processed cheese as affected by emulsifying salts and in relation to its apparent viscosity. *International Journal of Food Properties*, **12**, 261–275.
- Draper, N.R. & Smith, H. (1998). *Applied Regression Analysis*. New York: Wiley Series in Probability and Statistics.
- El-Bakry, M., Duggan, E., O'Riordan, E.D. & O'Sullivan, M. (2010). Effects of emulsifying salts reduction on imitation cheese manufacture and functional properties. *Journal of Food Engineering*, **100**, 569–603.
- El-Bakry, M., Duggan, E., O'Riordan, E.D. & O'Sullivan, M. (2011a). Effect of chelating salt type on casein hydration and fat emulsification during manufacture and post-manufacture functionality of imitation cheese. *Journal of Food Engineering*, **102**, 145–153.
- El-Bakry, M., Duggan, E., O'Riordan, E.D. & O'Sullivan, M. (2011b). Casein hydration and fat emulsification during manufacture of imitation cheese, and effects of emulsifying salts reduction. *Journal of Food Engineering*, **103**, 179–187.
- Genovese, D.B., Ye, A. & Singh, H. (2010). High methoxyl pectin/apple particles composite gels: effect of particle size and particle concentration on mechanical properties and gel structure. *Journal of Texture Studies*, **41**, 171–189.
- Gliguem, H., Lopez, C., Michon, C., Lesieur, P. & Ollivon, M. (2011). The viscoelastic properties of processed cheeses depend on their thermal history and fat polymorphism. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **59**, 3125–3134.
- Guinee, T.P., Carić, M. & Kaláb, M. (2004). Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. In: *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. Volume 2: Major Cheese Groups* (edited by P.F. Fox, P.L.H. McSweeney & T.P. Cogan). Pp. 349–394. London: Elsevier Applied Science.
- Gupta, S.K., Karahadian, C. & Lindsay, R.C. (1984). Effect of emulsifier salts on textural and flavor properties of processed cheese. *Journal of Dairy Science*, **67**, 764–778.

- ISO Standard No. 5534. (2004). *Cheese and Processed Cheese – Determination of the Total Solids Content (Reference Method)*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- Jooyandeh, H. (2009). Effect of fermented whey protein concentrate on texture of iranian white cheese. *Journal of Texture Studies*, **40**, 497–510.
- Kapoor, R. & Metzger, L.E. (2008). Process cheese: scientific and technological aspects – a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **7**, 194–214.
- Kapoor, R., Metzger, L.E., Biswas, A.C. & Muthukumarappan, K. (2007). Effect of natural cheese characteristics on process cheese properties. *Journal of Dairy Science*, **90**, 1625–1634.
- Kawasaki, Y. (2008). Influence of "creaming" on the properties of processed cheese and changes in the structure of casein during cheese making. *Milchwissenschaft – Milk Science International*, **63**, 149–153.
- Lee, S.K., Anema, S. & Klostermeyer, H. (2004). The influence of moisture content on the rheological properties of processed cheese spreads. *International Journal of Food Science and Technology*, **39**, 763–771.
- Lu, Y., Shirashoji, N. & Lucey, J.A. (2008). Effects of pH on the textural properties and meltability of pasteurized process cheese made with different types of emulsifying salts. *Journal of Food Science*, **73**, 363–369.
- Macků, I., Buňka, F., Pavlínek, V., Leciánová, P. & Hrabě, J. (2008). The effect of pectin concentration on viscoelastic and sensory properties of processed cheese. *International Journal of Food Science & Technology*, **43**, 1663–1670.
- Marchesseau, S., Gastaldi, E., Lagaude, A. & Cuq, J.L. (1997). Influence of pH on protein interactions and microstructure of process cheese. *Journal of Dairy Science*, **80**, 1483–1489.
- Mizuno, R. & Lucey, J.A. (2005a). Effects of emulsifying salts on the turbidity and calcium-phosphate-protein interaction in casein micelles. *Journal of Dairy Science*, **88**, 3070–3078.
- Mizuno, R. & Lucey, J.A. (2005b). Effects of two types of emulsifying agents on the functionality of nonfat pasta filata cheese. *Journal of Dairy Science*, **88**, 3411–3425.
- Mizuno, R. & Lucey, J.A. (2007). Properties of milk protein gel formed by phosphates. *Journal of Dairy Science*, **90**, 4524–4531.
- Molins, R.A. (1991). *Phosphates in Food*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Piska, I. & Štětina, J. (2004). Influence of cheese ripening and rate of cooling of the processed cheese mixture on rheological properties of processed cheese. *Journal of Food Engineering*, **61**, 551–555.
- Sádliková, I., Buňka, F., Budínský, P., Voldánová, B., Pavlínek, V. & Hoza, I. (2010). The effect of selected phosphate emulsifying salts on viscoelastic properties of processed cheese. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie – Food Science and Technology*, **43**, 1220–1225.
- Shirashoji, N., Jaeggi, J.J. & Lucey, J.A. (2010). Effect of sodium hexametaphosphate concentration and cooking time on the physicochemical properties of pasteurized process cheese. *Journal of Dairy Science*, **93**, 2827–2837.
- Wang, F., Zhang, X., Luo, J., Guo, H., Zeng, S.S. & Ren, F. (2011). Effect of proteolysis and calcium equilibrium on functional properties of natural cheddar cheese during ripening and the resultant processed cheese. *Journal of Food Science*, **76**, 248–253.
- Weiserová, E., Doudová, L., Galiová, L. et al. (2011). The effect of combinations of sodium phosphates in binary mixtures on selected texture parameters of processed cheese spreads. *International Dairy Journal*, **21**, 979–986.

