

Vliv různého složení binárních směsí fosforečnanových tavicích solí na texturní vlastnosti tavených sýrů

Bc. Lucie Galiová

Diplomová práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav biochemie a analýzy potravin
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Lucie GALIOVÁ
Osobní číslo: T09531
Studijní program: N 2901 Chemie a technologie potravin
Studijní obor: Technologie, hygiena a ekonomika výroby potravin

Téma práce: Vliv různého složení binárních směsí
fosforečnanových tavicích solí na texturní vlastnosti
tavených sýrů

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Stručně popište technologii výroby tavených sýrů.
2. Charakterizujte úlohu jednotlivých tavicích solí a jejich směsí v tavených sýrech, se zaměřením na monofosforečnan, difosforečnan, trifosforečnan a polyfosforečnan.

II. Praktická část

1. Realizujte výrobu modelových vzorků tavených sýrů s použitím různého zastoupení monofosforečnanu, difosforečnanu, trifosforečnanu a polyfosforečnanu sodného jako tavicí soli v jejich binárních směsích.
2. U modelových vzorků tavených sýrů proveďte texturní analýzu se zaměřením na tvrdost (pevnost), relativní lepivost a kohezivnost, a to v 1., 3., 6., 10., 15. a 29. den po výrobě.
3. Senzoricky zhodnoťte roztékavost modelových vzorků.
4. Z výsledku 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., & 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.
- [2] Buňka, F., Buňková, L., Kráčmar, S. (2009). *Základní principy výroby tavených sýrů*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 69.
- [3] El-Bakry, M., Duggan, E., O'Riordan, E.D., O'Sullivan, M. (2011). 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.
- [4] Guinee, T.P., Caric, M., & Kaláb, M. (2004). Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. In P. F. Fox, P. L. H. McSweeney, T. P. Cogan (Eds.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Volume 2: Major cheese groups. (3rd ed., pp. 349-394). Elsevier Applied Science, London.
- [5] 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.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Eva Weiserová

Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Datum zadání diplomové práce:

25. února 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

20. května 2011

Ve Zlíně dne 21. března 2011

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Fišera, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno:LUCIE GALIOVA'.....

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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít 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 Zlíně9.5.2011.....

.....Galiova'.....

¹⁾ 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.

²⁾ 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 vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ 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 přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Teoretická část pojednává o tavených sýrech. Zabývá se jejich základním rozdělením, surovinami, které je možno použít na výrobu a také celým výrobním procesem. Dále je popsána problematika tavicích solí, kde jsou popsány fosforečnanové tavicí solí, jejich hydrolyzy a reakce s kaseinem. Je zde také poukázáno na vliv fosforečnanových tavicích solí na chemické a texturní vlastnosti taveného sýru. Nezbytnou součástí teoretické části jsou popisy texturních vlastností tavených sýrů, texturní profilové analýzy a popis jednotlivých parametrů texturní profilové analýzy.

Praktická část byla zaměřena na stanovení texturních a chemických vlastností (sušina, hodnota pH) vyrobených modelových tavených sýrů, pro jejichž výrobu byly použity binární směsi vybraných fosforečnanových tavicích solí (monofosforečnan sodný, difosforečnan sodný, trifosforečnan sodný a polyfosforečnan sodný) Pro doplnění byla provedena analýza roztékavosti daných vzorků. Bylo zjištěno, že rozdílné poměry, stejně jako druh použitých tavicích solí, mají významný vliv na texturní parametry finálních tavených sýrů. Při použití jednotlivých fosforečnanů samostatně, bylo pozorováno, že kohezivnost klesala a tvrdost rostla v následujícím pořadí: polyfosforečnan sodný, trifosforečnan sodný, difosforečnan sodný a monofosforečnan sodný.

Klíčová slova: tavený sýr, fosforečnanové tavicí soli, texturní profilová analýza, roztékavost, pH

ABSTRACT

The theoretical part deals with processed cheeses. The theoretical part put mind to its basis division, commodities, which we can use to production and whole process of manufacture too. Then are described emulsifying salts. There is a description of phosphate emulsifying salts, its hydrolysis and reaction with casein. There is pointed to the influence of phosphate emulsifying salts on the chemical and textural properties of processed cheeses. Essential part of theoretical section is textural properties of processed cheese, texture profile analysis and description of particular parametrs of texture profile analysis.

The practical part was oriented to detemination of textural and chemical properties (dry matter, value of pH) of model processed cheeses for which production were used binary mixture of phosphate emulsifying agents (sodium monophosphate, sodium diphosphate, sodium triphosphate and sodium polyphospate). Meltability determiantion of given samples was maked for completion. It was taked, that diverse proportion and type of used emulsifying salts have a significant influence on textural parametrs of final processed cheeses.

Keywords: processed cheese, phosphate emulsifying salts, texture profile analysis, meltability, pH

Poděkování:

Ráda bych poděkovala vedoucí mé diplomové práce Ing. Evě Weiserové za odbornou pomoc a spolupráci v laboratoři.

Dále bych ráda poděkovala doc. Ing. Františku Buňkovi, PhD. za odborné konzultace.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uvedena jako spoluautorka.

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

Ve Zlíně

.....

Podpis studenta

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ÚVOD K TAVENÝM SÝRŮM	12
1.1 SUROVINY NA VÝROBU TAVENÝCH SÝRŮ	13
1.2 VÝROBA TAVENÝCH SÝRŮ.....	14
1.3 ROZDĚLENÍ TAVENÝCH SÝRŮ	15
2 FOSFOREČNANOVÉ TAVICÍ SOLI	17
2.1 INTERAKCE FOSFOREČNANŮ	19
2.1.1 Proteiny mléka a sekvestrace vápníku.....	19
2.1.2 Hydrolýza fosforečnanů	21
2.2 ÚČINKY FOSFOREČNANOVÝCH TAVICÍCH SOLÍ.....	22
2.2.1 Vliv fosforečnanových tavicích solí na pH a texturní vlastnosti.....	22
3 TEXTURNÍ VLASTNOSTI	25
3.1 MOŽNOSTI MĚŘENÍ TEXTURY.....	25
3.1.1 Napodobující test	26
3.2 MĚŘENÉ PARAMETRY TEXTURNÍ PROFILOVÉ ANALÝZY	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	29
4 CÍL PRÁCE	30
5 MATERIÁL A METODY	31
5.1 VÝROBA TAVENÝCH SÝRŮ V LABORATORNÍCH PODMÍNKÁCH	31
5.2 METODY CHEMICKÉ ANALÝZY	31
5.2.1 Stanovení sušiny.....	31
5.2.2 Stanovení pH.....	32
5.3 TEXTURNÍ PROFILOVÁ ANALÝZA	32
5.4 ROZTÉKAVOST	32
6 VÝSLEDKY A DISKUZE	34
6.1 METODY CHEMICKÉ ANALÝZY	34
6.1.1 Sušina	34
6.1.2 Hodnoty pH	34
6.2 TEXTURNÍ PARAMETRY	39
6.2.1 Tvrdost (pevnost)	40
6.2.2 Relativní lepivost	46
6.2.3 Kohezivnost (soudržnost).....	52
6.3 ROZTÉKAVOST	58
6.4 DISKUZE.....	64
ZÁVĚR	67

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	69
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	77
SEZNAM OBRÁZKŮ	78
SEZNAM TABULEK.....	79
SEZNAM PŘÍLOH.....	80

ÚVOD

Výroba tavených sýrů představuje nedílnou součást mlékárenského průmyslu, zejména z důvodu, že technologie jejich výroby umožňuje využít i přírodní sýry, které jsou zdravotně nezávadné, chuťově vyhovující, ale s různými mechanickými vadami. Mezi výhody tavených sýrů je možno zařadit jejich delší trvanlivost ve srovnání s přírodními sýry, dále také nižší výrobní náklady a potenciál rozšiřování sortimentu. Výrobky je možno od sebe rozlišovat dle chuti, tvaru a texturních vlastností. V dnešní době jsou tavené sýry velmi oblíbenými výrobky, což dokazuje jejich vysoká spotřeba, která je v České republice zhruba na úrovni 2,4 kg tavených sýrů na osobu za rok.

Teoretická část diplomové práce pojednává o tavených sýrech. Je zde popsána výroba tavených sýrů, suroviny použité při jejich výrobě a rozdělení tavených sýrů. Dále byly popsány fosforečnanové tavicí soli a jejich úloha při výrobě tavených sýrů, jejich podíl na interakcích typu sekvestrace vápníku a hydrolyza samotných fosforečnanů. V neposlední řadě je zde také popsán jejich vliv na texturní a chemické vlastnosti tavených sýrů.

V praktické části je popsána výroba modelových vzorků tavených sýrů, pro jejichž výrobu byly použity vybrané binární směsi fosforečnanových tavicích solí (monofosforečnan, difosforečnan, trifosforečnan a polyfosforečnan). U takto získaného taveného sýru byly měřeny 1., 3., 6, 10, 15, a 29. den po utavení texturní vlastnosti, konkrétně tvrdost (pevnost), relativní lepivost a kohezivnost. Dále byly stanovovány chemické parametry (hodnota pH a sušina) a roztékavost modelových vzorků tavených sýrů.

Cílem diplomové práce bylo pomocí texturní profilové analýzy srovnat jednotlivé modelové vzorky tavených sýrů a stanovit trendy vývoje jednotlivých parametrů v průběhu 29 dnů skladování. Metoda texturní analýzy byla doplněna chemickými analýzami a analýzou roztékavosti.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ÚVOD K TAVENÝM SÝRŮM

Vyhláška ministerstva zemědělství č. 77/2003 Sb. (novelizace č. 370/2008 Sb.) v platném znění definuje tavený sýr jako sýr, který byl tepelně upraven za přídavku tavicích solí [2]. Tavené sýry vznikají tavením přírodních sýrů. Tavení je technologická operace, při které se různé druhy přírodních sýrů rozdrťí, rozemelou a po následném smíchání s dalšími přísadami se za stálého míchání zahřívají na teplotu 85 – 120 °C [1].

Ve srovnání s jinými vyspělými zeměmi je v České republice konzumace tavených produktů vysoká [3]. Roční spotřeba tavených sýrů je v České republice 2,4 kg na osobu [17]. V jiných vyspělých zemích je tato spotřeba zhruba o 1 kg nižší [3].

Existují dvě hlavní kategorie tavených výrobků, a to již zmiňované tavené sýry a dále analogy (imitace) tavených sýrů, které se od sebe rozlišují zejména svým složením, typem a úrovní použitých ingrediencí. Při výrobě tavených produktů dochází k rozemletí, míchání a zahřívání ingrediencí převážně mléčného původu a obsah přírodního sýru musí být ve finálním výrobku více jak 51 % (w/w) [6]. Podle „U.S. Food and Drug Administration standards“ může být označen jako tavený sýr jen takový produkt z přírodního sýra a tavicích solí v množství maximálně 3 % w/w, který dosahuje maximální vlhkosti 43 % a obsah tuku není nižší jak 47 % [13].

V případě analogů tavených sýrů se rozemílají, míchají a zahřívají ingredience mléčného původu a/nebo suroviny původu rostlinného. Přírodní sýr může být přidán v menším množství (například 5 %) [6]. Výroba analogů zahrnuje použití tuku a proteinu z jiných než mléčných zdrojů společně s aromatickými látkami, vápenatými, či sodnými kaseináty, rostlinnými oleji, tavicími solemi, aj. [8, 35]. Analogy tavených sýrů se hodí pro konzumaci při různých dietách nebo při zdravotních komplikacích [8]. Imitace tavených sýrů mohou totiž obsahovat méně tuku, vyšší podíl nenasycených mastných kyselin a nižší obsah cholesterolu [3]. Jelikož je mléčný tuk a mléčná bílkovina nahrazena rostlinnými zdroji, náklady na výrobu analogů tavených sýrů klesají a cena finálního výrobku je tak nižší. Tyto analogy nacházejí uplatnění zejména v kuchyních fast-food, kde existuje možnost jejich užití například do hamburgerů nebo jako posyp na pizzu [3, 38, 49, 50, 51]. Dále jsou ještě známy tzv. tavené sýrové výrobky. U těchto produktů není udáváno omezení pro laktózu, cukry ani pro ostatní zdravotně nezávadné potraviny. Pouze platí, že 51 % hmotnosti sušiny musí pocházet ze sýra [4]. Příkladem tavených

sýrových výrobků mohou být produkty vyrobené bez použití tavicích solí [15]. U takových to produktů by vlivem teplot 70 – 90 °C na směs surovin bez přídavku tavicích solí došlo ke vzniku gumovité a heterogenní hmoty. Na povrchu tukových kuliček by docházelo k destrukci membrán a to by způsobilo jejich shlukování. Dále by nastala agregace a kontrakce kaseinových frakcí působením vyšších teplot a nízkých hodnot pH. Výsledkem by byla porézní matrice s neschopností stabilizovat tuk a vodu. Při výrobě tavených produktů bez tavicích solí lze tedy očekávat oddělení hydrofilní a hydrofobní fáze [15].

1.1 Suroviny na výrobu tavených sýrů

Pro výrobu tavených produktů se jako základní surovina používají přírodní sýry například Eidamská cihla a Eidamský blok [3]. Při výrobě tavených sýrů je možno použít také přírodní sýry s různými mechanickými vadami (např. mechanicky deformované), které nelze použít k přímému prodeji [4, 29]. Naopak na výrobu tavených sýrů nesmí být v žádném případě použit přírodní sýr, který byl napaden živočišnými škůdci a u něhož byla pozorována smyslová změna, plíseň či hniloba. Takové sýry totiž mohou být zdravotně závadné [36]. Největší riziko představuje zaplísněná surovina, neboť plísně mohou produkovat mykotoxiny [47, 48]. Dále je možno použít na výrobu tvaroh, jehož přídavkem lze zvýšit obsah tukuprosté sušiny. Zvýšit obsah tuku lze přídavkem másla, případně smetany. Pro dosažení stabilnější a jemnější konzistence se využívá tzv. rework (= krém, neboli již utavený sýr). Nutný je také přídavek pitné vody. V případě sýrů s příchutí se používají přísady, které ovlivňují barvu a chuť. Při výrobě je možné nahradit část přírodních sýrů surovinami zvanými mléčné koncentráty. Do této skupiny patří např. sušené odstředěné mléko, kasein a kaseináty a především sušená syrovátka [3]. Jako přídatné látky jsou při výrobě tavených sýrů využívány tavicí soli, sloužící jako emulgační činidla. Tyto látky upravují v tavené směsi prostředí tak, aby bílkoviny (kaseinové frakce) mohly působit jako přirozený emulgátor [5]. Jako přídatné látky je možno použít i stabilizátory. Dalšími možnými surovinami pro výrobu tavených produktů mohou být: mléčný tuk, mléčné proteiny, laktóza, okyselující činidla, barviva, sladidla, ochranné látky, aj. [6].

1.2 Výroba tavených sýrů

V současné době je možno vyrábět tavené produkty dvěma způsoby a to kontinuálně, nebo diskontinuálně. V zemích střední Evropy převládá výroba diskontinuálním způsobem, jejíž průběh lze shrnout do následujících fází:

- 1) příprava směsi určené k tavení,
- 2) určení složení tavicích solí,
- 3) vlastní proces tavení připravené směsi,
- 4) a balení taveniny za horka, následné chlazení, skladování a expedice [7].

Příprava směsi zahrnuje výběr správného typu a množství přírodního sýru o požadované zralosti, dále tavicích solí, vody a nestandardních ingrediencí přidávaných při výrobě taveného sýru s požadovaným složením a texturními a funkčními vlastnostmi. Přírodní sýr je hlavním prvkem taveného sýra a jeho minimální přidávané množství musí být 51 % w/w. Míchání různých typů přírodních sýrů usnadní dosažení žádoucího aroma a textury ve finálním výrobku. Přírodní sýr musí být očištěn a nakrájen na menší kousky [6].

Na výrobu tavených sýrů se zpravidla nepoužívají samostatně jednotlivé tavicí soli, ale jejich směsi. [25] Jedná se většinou o směsi různých citrátů, polyfosforečnanů a fosforečnanů sodných (případně draselných), kdy jejich množství ve finálním výrobku nesmí dle platné legislativy překročit 3 %. [9, 26] Legislativa udává, že přídavek tavicích solí je maximálně 20 g/kg a je vyjádřen jako P_2O_5 [2].

K tzv. tavicímu kotli, kde jsou přidávány i ostatní suroviny jako tavicí soli, máslo, tvaroh, atd. je dopravena rozmělněná směs přírodních sýrů. Jakmile dojde k nadávkování všech surovin, uzavře se kotel a začne vlastní proces tavení, který probíhá za sníženého tlaku. Ke zvýšení teploty až na tzv. tavicí teplotu dochází relativně v krátkém čase. Tavicí teplota je udržována několik minut v závislosti na hodnotě použité tavicí teploty. K ohřevu dochází přímým vstříkem páry do tavené směsi zpravidla na teplotu 90 – 100 °C [7].

Nakonec dochází k balení taveniny za horka, čímž se předchází kontaminaci bakteriemi po sterilizaci a následnému chlazení [37]. Nejlepší dosažení požadovaného tvaru

je zprostředkováno plnicími stroji, ke kterým je tavenina dopravena přímo z kotle. Tavený sýr je zpravidla balen do trojúhelníkových fólií, nebo do tvaru kostky, plechovky, tub nebo plátků. Následuje chlazení, které je možno provádět prostřednictvím chladicí komory, tunelu, ventilátorem pod teplotu 10 °C [6]. Ke vzniku finální struktury taveného sýru dochází při chladnutí taveniny. Vznik finální struktury je dán vytvořením vodíkových, disulfidických, vápníkových můstků a také hydrofóbními interakcemi [52, 53, 54]. Po vychlazení je tavený sýr skladován při teplotách 4 – 8 °C [7].

1.3 Rozdělení tavených sýrů

Vyhláška ministerstva zemědělství č. 77/2003 Sb. (novelizace č. 370/2008 Sb.) v platném znění rozděluje tavené sýry dle obsahu tuku v sušině na:

- nízkotučné (roztíratelné),
- vysokotučné (roztíratelné) [2].

Výše zmíněná vyhláška dále rozděluje tavené sýry podle použité suroviny na:

- druhově pojmenované (není možno použít jiné mléčné složky než sýr, máslo, smetanu a máselný koncentrát),
- druhově nepojmenované (je možno použít i jiné mléčné složky, než jaké jsou uvedené výše) [2].

V odborné literatuře se vyskytuje následující rozdělení tavených sýrů dle obsahu tuku v sušině:

- vysokotučné (obsah tuku v sušině 60 – 70 %),
- plnotučné (obsah tuku v sušině 45 – 55 %),
- polotučné (obsah tuku v sušině 30 – 45 %),
- nízkotučné (obsahující 30 % tuku v sušině a méně) [1, 32].

Prakticky se nevyrábějí tavené sýry s 20% obsahem tuku v sušině a v případě, že by tavený sýr měl 70 % tuku v sušině, nevykazoval by již charakter taveného sýru [32].

Spotřebitelé i výrobci kladou velký důraz na chuť a vůni taveného sýru, ale také především na jeho konzistenci. Konzistence taveného výrobku patří mezi nejvíce sledované

senzorické znaky [58, 59]. Tavené sýry je možno tedy rozdělit také podle jejich konzistence, která je dána složením (obsahem tuku a sušiny), tavicími solemi, způsobem tavení, rychlostí chlazení, podmínkami a délkou skladování, podílem vápenatých iontů, druhem a stupněm prozrálости použitého přírodního sýru a také hodnotou pH. Konzistence finálního výrobku musí být hladká, stejnorodá a kompaktní. Není přípustná krupičkovitá a písčité konzistence. Měkkou a roztíratelnou konzistenci mají většinou tavené sýry s vyšším obsahem tuku. Možné konzistence taveného produktu jsou následující: pevná, lomivá, snadno roztíratelná, krémovitá, hustá tekutá [9].

2 FOSFOREČNANOVÉ TAVICÍ SOLI

Tavicí soli jsou nejdůležitější složkou při výrobě tavených sýrů [10]. Nejvíce používanými tavicími solemi na výrobu tavených sýrů jsou citráty a fosforečnany [41, 43]. Při výrobě se obvykle nepoužívají samostatně, ale jako směsi. Směs tavicích solí použitých při výrobě taveného sýru mu poskytuje specifické a žádané texturní a sensorické vlastnosti [30].

Tavicí soli poskytují jednotnou strukturu taveniny během tavicího procesu. Hlavní rolí tavicích solí při výrobě taveného produktu je umožnit sýrovým proteinům fungovat jako emulgátory. Toto je umožněno odstraněním vápníku z proteinového systému, dále peptizací, hydratací, nabobtnáním, rozpuštěním a rozptýlením proteinu. Přídavkem tavicích solí je emulgován tuk, stabilizovaná emulze, kontrolováno pH a je zajištěno formování struktury po chlazení [12, 34]. Fosforečnanové tavicí soli jsou přidávány také kvůli jejich anti-mikrobiálnímu působení zejména na grampozitivní bakterie, kvasinky a některé mikromycety [41, 55, 56, 57]. Vykazují tedy baktericidní efekt, jenž je umožněn vazbou polyfosforečnanu na buněčnou stěnu mikroorganismu, kde dokáže chelatovat ionty kovů. Gramnegativní bakterie jsou mnohem citlivější na baktericidní efekt polyfosforečnanu, než bakterie grampozitivní [39, 40]. Přídavek tavicích solí má také vliv na vývoj textury a aroma taveného výrobku. V přírodním sýru jsou nativní tukové kuličky mléka agregovány uvnitř proteinové matrice. Při zpracování taveného sýra je během počátečních nižších teplot oddělen volný tuk a ten je re-emulgován. Klíčem k re-emulgaci jsou tavicí soli, které ovlivňují vzrůstání emulgační vlastnosti sýrových proteinů. Efekt tavicích solí se liší od jednoho proteinu k jinému. Vzhledem k rozdílným vlastnostem individuálních skupin tavicích solí, je správný podíl jednotlivých komponent velmi důležitý při jejich kombinování. Kombinace tavicích solí ovšem dále závisí na typu, zralosti a struktuře sýru, stejně jako na požadavcích na finální produkt. Emulgace tuku je nejrychlejší v případě použití difosforečnanu sodného a naopak nejpomalejší s využitím fosforečnanu sodno-hlinitého. Špatná emulgace má za následek příliš měkký a roztékavý tavený sýr [12].

Soli s monovalentním kationtem a polyvalentním aniontem se vyznačují nejlepšími emulgačními vlastnostmi a díky svým vlastnostem jsou lepší na výrobu tavených sýrů, než jiné soli [10].

Fosforečnanové tavicí soli se mohou v taveném sýru podílet na tvorbě gelu tím, že mohou podpořit zesílení matrice. To je dáno schopností fosforečnanových tavicích solí vytvořit přímé vazby nebo vazby přes vápenaté můstky s molekulami kaseinu, čímž dojde k jejich zesílení. Nejmenší schopností podpořit tvorbu gelu vykazují polyfosforečnany a monofosforečnany. Trifosforečnany a difosforečnany naopak mají tuto schopnost největší. [27]

Jako fosforečnany jsou nazývány soli odvozené od kyseliny fosforečné – H_3PO_4 [5]. Hlavními fosforečnanovými tavicími solemi při výrobě tavených sýrů jsou používány obzvláště sodné soli monofosforečnanů mající jednu PO_4 skupinu a lineární kondenzované fosforečnany jako jsou difosforečnany, obsahující dvě PO_4 skupiny a polyfosforečnany, vyznačující se třemi a více PO_4 skupinami [6, 31]. Je zajímavé, že s délkou polyfosforečnanového řetězce roste i účinnost příslušných tavicích solí. Toto ovšem platí pouze do určité míry [45].

Tavicí soli nejčastěji používané při výrobě tavených sýrů jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 1: Nejčastěji používané tavicí soli a pH jejich 1% vodných roztoků [5, 42]

Skupina	Tavicí sůl	Vzorec	pH 1% vodného roztoku
Monofosforečnany	Dihydrogenfosforečnan sodný	NaH_2PO_4	4,5
	Monohydrogenfosforečnan sodný	Na_2HPO_4	9,1
	Fosforečnan sodný	Na_3PO_4	11,9
Difosforečnany	Dihydrogendifosforečnan sodný	$Na_2H_2P_2O_7$	4,1
	Monohydrogendifosforečnan sodný	$Na_3HP_2O_7$	7,1
	Difosforečnan sodný	$Na_4P_2O_7$	10,2
Trifosforečnany	Trifosforečnan sodný	$Na_5P_3O_{10}$	9,7
Polyfosforečnany	Polyfosforečnan sodný (Grahamova sůl)	$(NaPO_3)_n$	6,6

Fosforečnany představují velkou skupinu sloučenin. Fosforečnanová série začíná jednou skupinou PO_4 , která může existovat jako monofosforečnanový anion PO_4^{3-} , nebo se může zapojit v molekule, kde jsou jeden, dva, nebo tři ze čtyř kyslíků kovalentně vázány na jiný atom. Skupina PO_4 je tetraedr, který je tvořen čtyřmi atomy kyslíku obklopující atom fosforu [11].

Sousedící PO_4 skupiny mohou spolu reagovat a sdílet jeden nebo dva atomy kyslíku a vytvářet řetězec $-\text{P}-\text{O}-\text{P}-$ a mohou se tak formovat kondenzované fosforečnany s obsahem fosforu uváděném procentuálně jako $\text{P}_2\text{O}_5 > 72,5$. Takto vytvořené fosforečnany bývají nazývány jako lineární kondenzované fosforečnany, v kterých je jeden atom kyslíku sdílen dvěma sousedícími skupinami PO_4 . V případě sdílení tří atomů kyslíku dvěma sousedícími skupinami PO_4 hovoří se o metafosforečnanech, nebo také o cyklických fosforečnanech [6].

2.1 Interakce fosforečnanů

Mezi důležité interakce fosforečnanových tavicích solí při výrobě tavených sýru je možno zařadit sekvestraci vápníku a hydrolyzu samotných fosforečnanů. Tyto děje jsou popsány v následujících dvou podkapitolách.

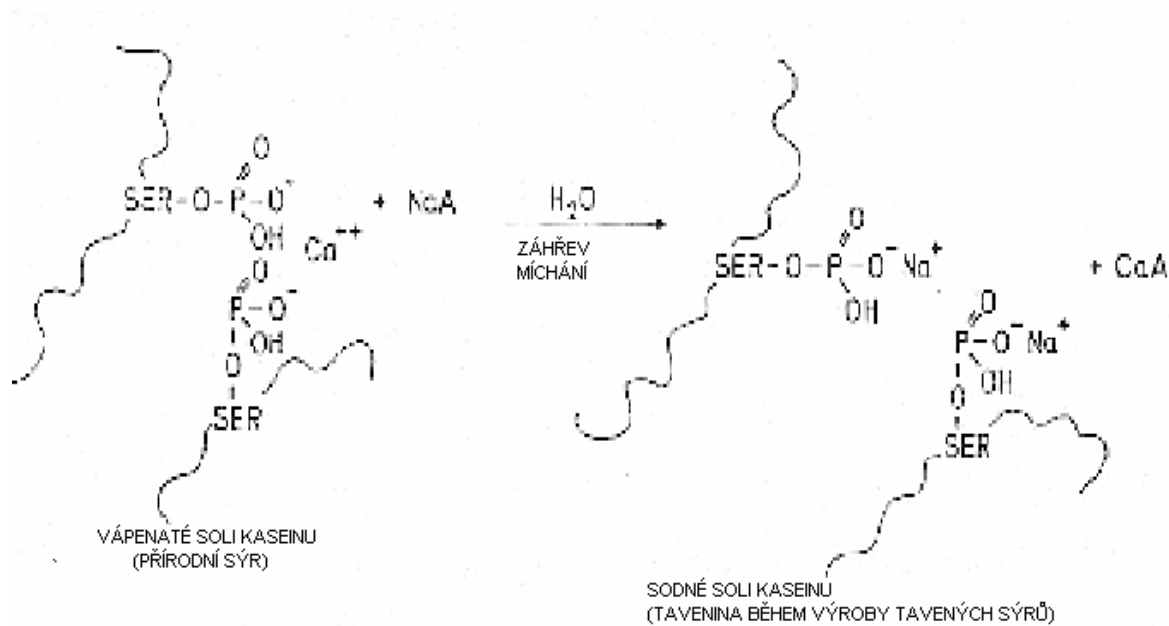
2.1.1 Proteiny mléka a sekvestrace vápníku

Proteinové frakce v mléce jsou rozděleny na kaseiny a syrovátkové proteiny. Kaseiny představují nejdůležitější skupinu mléčných proteinů tvořící přibližně 80 % z celkových proteinů mléka, zatímco proteiny syrovátkové přibližně 20 %. Mezi základní frakce patří : α_{s1} -kasein, α_{s2} -kasein, β -kasein κ -kasein, z nichž převažují α_s -kaseiny. Mezi syrovátkové proteiny jsou řazeny α -laktalbumin, β -laktoglobulin proteoso peptony a sérové proteiny, sérumalbumin a imunoglobuliny. Kaseiny se vyznačují bipolárním seskupením (tzn. že obsahuje polární i nepolární část). Hlavní protein v mléce, α_{s1} -kasein, je fosforylovaný a interaguje s vápenatými ionty. Flexibilní hydrofilní část α_{s1} -kaseinu umožňuje v prostředí výměnu iontů (navázání kladně nabitého iontu Ca^{2+}). Frakce α_{s2} -kasein obsahuje několik fosfoserinových zbytků, které ho činí nejvíce hydrofilním kaseinem. β -kasein, který obsahuje pouze jeden fosfoserinový zbytek, je ze všech kaseinů nejvíce hydrofobní, z toho důvodu také nejvíce citlivý na teplotu. Stabilizace mléčných proteinů je primárně zastávána κ -kaseinem, proteinem který neobsahuje fosfoserinové

zbytky a je kaseinem odolným vůči vápenatým iontům. Estery fosforečnanových skupin v α_{s2} -kaseinu jsou zodpovědné za vysokou rozpustnost těchto proteinů v neutrální pH oblasti, takže neutralizace ionizovaných fosforečnanových skupin vápenatými ionty vedla k precipitaci α_{s2} -kaseinu, protože vzrůstaly hydrofobní interakce mezi molekulami proteinu [11].

V přírodním sýru mají hlavní kaseiny (α_{s1} -, α_{s2} - a β -kaseiny) amfilickou povahu. To umožňuje kaseinům pracovat jako emulgátory. V přírodním sýru je velký podíl vápníku, který je na tyto kaseiny navázán a vytváří para-kaseináty vápenaté, které jsou málo rozpustné. Přítomný vápník brání kaseinům uplatnit své přirozené emulgační vlastnosti, proto je nutný přídavek tavicích solí. Použité tavicí soli změny tento nerozpustný para-kaseinát vápenatý na para-kaseinát sodný, který je rozpustnější a tím mohou pracovat jako emulgátory [9]. Z toho vyplývá, že tavicí soli nejsou emulgátory v pravém slova smyslu jako například mono- nebo diacylglyceridy, protože nejsou povrchově aktivní látky, ale jsou to tedy emulgační činidla. Hlavní úlohou tavicích solí během výroby tavených sýrů je proto zlepšování emulgační kapacity sýrových proteinů [9, 33, 43].

Podstata tavicích solí tkví ve schopnosti vyměňovat své sodné ionty za kaseinové ionty vápenaté, proto jsou tavicí soli emulgační činidla. Tato vlastnost se nazývá sekvestrace vápníku. Schopnost sekvestrace vápníku úzce souvisí se schopností hydratace a rozpustností proteinu. Sekvestrace vápníku zahrnuje výměnu dvojmocného vápenatého kationtu, který je vázán uvnitř kaseinové molekuly jako para-kaseinát sýru, za jednomocný sodný kationt použitých tavicích solí. Nejlépe je tento proces uskutečněn tavicími solemi s monovalentním kationem a polyvalentním anionem. Jejich účinnost obecně vzrůstá s valencí aniontu. Podle schopnosti sekvestrovat vápník je možno seřadit tavicí soli následovně: polyfosforečnany > difosforečnany > monofosforečnany > sodno-hlinité fosforečnany = citráty. Schopnost sekvestrace vápenatých iontů je silně ovlivněna hodnotou pH a to obzvláště u fosforečnanů s krátkým řetězcem [6].



Obrázek 1: Schéma chemické reakce výměny iontu sodíku za ionty vápníku probíhající během tavení

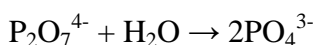
Pozn.: SER – aminokyselina serin, A – anion tavicí soli [23, 24]

2.1.2 Hydrolýza fosforečnanů

Hydrolýza fosforečnanů získává na pozornosti, neboť tento proces má za následek ztrátu funkčních vlastností fosforečnanů, stejně jako snížení potenciálu v jiných vlastnostech jako je mikrobiální inhibice, protože aktivní fosforečnany přidávány do potravinových produktů jsou rozloženy. Hydrolýza fosforečnanů v potravinách nastává z různých důvodů jako je například enzymová aktivita, vysoké teploty nebo dokonce může být výsledkem mikrobiálního metabolismu. Vazba mezi PO_4 skupinami lineárních polyfosforečnanů má sklon být stabilní ve vodných roztocích při 25 °C tak, že pokud je sdílen pouze jeden nebo dva atomy kyslíku, není očekáváno rozpuštěním ve vodě zvýšení rychlosti hydrolýzy. V případě, že jsou ve vazbě fosforečnanové struktury sdíleny tři atomy kyslíku dochází v roztocích k rychlé hydrolýze. Ačkoliv jsou lineární polyfosforečnany relativně stabilní v alkalických nebo neutrálních roztocích při 25 °C, jejich hydrolýza může být urychlena zvýšením teploty, nebo zvýšením či snížením hodnoty pH mimo neutrální oblast. Kyselá katalyzovaná hydrolýza je rychlejší, než alkalická.

Hydrolýza polyfosforečnanů probíhá v základě rozštěpením terminálních PO_4 skupin, než roztržením spoje uprostřed skupiny. Nicméně, v roztocích s velmi nízkým

pH (sem nějaké rozmezí, jaké pH máš na mysli) dlouhé polyfosforečnanové řetězce mohou být náhodně rozloženy a tvořit dvě krátké lineární sloučeniny:



Výsledek hydrolyzy polyfosforečnanů je doprovázen souvislým vznikem monofosforečnanů, které jsou konečným produktem hydrolytického procesu.

Bylo objeveno, že difosforečnan tetrasodný je nejvíce stabilní při 100 °C a že citlivost fosforečnanů na hydrolyzu při vzrůstající teplotě roste s délkou řetězce v následujícím pořadí: difosforečnan tetrasodný < tripolyfosforečnan sodný < polyfosforečnan sodný [11].

2.2 Účinky fosforečnanových tavicích solí

V této kapitole je vysvětlen vliv sodných fosforečnanových tavicích solí na hodnotu pH a také na texturní vlastnosti tavených sýrů.

2.2.1 Vliv fosforečnanových tavicích solí na pH a texturní vlastnosti

Hodnota pH má významný vliv na fyzikálně chemické vlastnosti taveného sýru [46]. Optimální pH taveného sýru po jeho výrobě je 5,6 – 6,1 [6]. Tavené sýry s pH větším jak 5,6 se vyznačují vhodnými texturními vlastnostmi [46]. Hodnota pH taveného výrobku souvisí s pH použitých tavicích solí, respektive jejich směsí a také s jejich pufrací kapacitou [6]. Výzkumy ukázaly, že také morfologie a tvrdost taveného sýru je ovlivněna hodnotou pH [28]. Hodnota pH je tedy hlavním faktorem majícím vliv na vlastnosti taveného sýra. Se změnou hodnoty pH dochází také ke značným změnám textury taveného produktu. Tavené výrobky s nízkým pH ($\text{pH} \leq 5,2$) bývají moučné, suché, drobné a mívají menší tvrdost zatímco tavený sýr s $\text{pH} > 6,4$ bývá nadměrně měkký. Použití tavicích solí má obvykle za následek posunutí hodnoty pH nahoru. Příkladem je posunutí hodnoty pH z 5,0 – 5,5 v přírodním sýru do hodnot 5,6 – 5,9 v sýru taveném. Rozsah změny hodnoty pH souvisí s pH roztoku tavicích solí a pufrací schopností těchto činidel [14]. Použitím různých typů a rozdílných koncentrací tavicích solí dochází k různým výkyvům hodnot pH a tím k rozdílným efektům pH na roztékavost a texturu [14]. Hodnota pH taveného produktu lineárně stoupá s koncentrací tavicích solí v množství 0 – 3 % w/w od citrátu trisodného přes difosforečnan sodný, tripolyfosforečnan sodný

k hydrogenfosforečnanu disodnému [6]. V tabulce 1 jsou uvedeny hodnoty pH 1% roztoků nejpoužívanějších tavicích solí.

Pufrační kapacita sodných fosforečnanů v oblasti pH, s kterou se běžně setkáváme v tavených výrobcích (5,6 – 6,1) klesá s rostoucím délkou řetězce a je efektivní pro fosforačnanové řetězce o délce ($n > 10$). Tento pokles v pufrační kapacitě odpovídá poklesu množství kyselých skupin v molekule. Monofosforečnany a difosforečnany mají nejvyšší pufrační účinnost v pH oblasti 2 – 3; 5,5 – 7,5 a 10 – 12. Při výrobě tavených sýrů nejsou vhodné jen jako pufrační činidla, ale také jako činidla regulační. Ze skupiny citrátů mají pouze tridsodné soli pufrační kapacitu a to v oblasti pH 5,3 – 6,0. Mono- a disodné citráty jsou více kyselé a výrobky z nich jsou překyselené [6].

Kromě roztékavosti a textury má hodnota pH v průběhu zpracování taveného sýru vliv také na konformaci a hydrataci proteinu, rozpustnosti tavicích solí a také na sekvestraci vápníku způsobeném tavicími solemi [6].

Hodnota pH značně ovlivňuje texturní (reologické) a mikrostrukturní vlastnosti finálního výrobku. Při výrobě taveného sýra souvisí pH výsledného produktu s hodnotami pH použitých tavicích solí stejně jako s jejich přidáním množstvím. Se vzrůstajícím pH taveného výrobku roste síť negativního náboje kaseinu a také dochází k růstu elektrické odpudivosti v kaseinové matici. S rostoucím odpudivým nábojem při vyšších hodnotách pH bývá výsledkem přístupnější volnější síť taveného sýra s lepší schopností vázat vodu a také lepší emulgační schopností během zpracování taveného výrobku. Zvyšování hodnot pH má za následek také zvyšování sekvestrace vápníku z koloidního fosforečnanu vápenatého v kaseinové matici. S vyššími hodnotami pH tedy roste schopnost výměny vápenatých iontů tavicími solemi, což má za následek větší disperzi kaseinů během výroby taveného produktu, neboť dochází ke ztrátě koloidního fosforečnanu vápenatého síťovaného mezi kaseiny. Zvyšováním pH by se měly hydrofobní interakce mezi individuálními molekulami kaseinu zmenšovat neboť tam dochází k růstu elektrostatické odpudivosti [14].

Dle výše uvedených faktorů se očekává, že všechny vzorky tavených sýrů by měly být tvrdší v oblastech nízkých hodnot pH. Mezi hodnotami pH 5,3 – 5,6 taveného výrobku připraveného pomocí fosforečnanu disodného dochází ke snižování tvrdosti s rostoucím pH. V případě použití difosforečnanu tetrasodného nedochází ke změnám v tvrdosti

taveného sýru při těchto hodnotách pH. Tavené produkty vyrobené s fosforečnanem disodným a difosforečnanem tetrasodným se vyznačují růstem tvrdosti s růstem pH přibližně od hodnot 5,6 – 5,9. Sýry s nízkým pH bývají označovány jako tavené produkty, které jsou více drobivé a měkké, než vzorky při vyšším pH [14].

Spolu s pH se mění i roztékavost tavených sýrů. Přibližně mezi hodnotami pH 5,3 – 5,6 stupeň proudění všech vzorků tavených sýrů klesá s klesající hodnotou pH. S rostoucím pH od 5,6 – 5,9 roztékavost tavených sýrů buď roste nebo se nemění. Výjimkou je tavený výrobek připravený s difosforečnanem tetrasodným u něhož při těchto hodnotách pH dochází ke snižování roztékavosti. Vysvětlením pro tyto tvrzení je očekávaný dopad specifických typu tavicích solí na tavené sýry [14].

Četné studie srovnávaly vliv různých směsí tavicích solí na texturní vlastnosti tavených sýrů. Nesrovnalosti v jednotlivých výsledcích mohou být způsobeny rozdílnými vlastnostmi přírodního sýru použitého při výrobě. Těmito vlastnostmi může být stáří, typ a složení sýru. Dalšími faktory, které mohly vést k rozdílným závěrům, jsou odlišné hodnoty pH a množství tavicích solí, výrobní podmínky, obsah vlhkosti či další chemické parametry a v neposlední řadě také různé použité metody hodnocení. Nicméně, hlavní trend ukazuje, že monofosforečnany (dále také citráty a sodno-hlinité fosforečnany) mají za následek obvykle velmi měkké tavené sýry s leskem na povrchu. Takové tavené sýry bývají i velice roztékavé [6].

Naopak kondenzované fosforečnany způsobují vznik tvrdých tavených sýrů. Takový tavený sýr se vyznačuje malou, nebo žádnou roztékavostí a povrch má matný a suchý vzhled. Při použití různých tavicích solí na výrobu tavených sýrů se jejich měkkost a s tím i roztékavost vyvíjí dle následujícího trendu: fosforečnany sodnohlinité \approx citráty trisodné > monofosforečnan disodný >> tripolyfosforečnany sodné \approx difosforečnany tetrasodné > delší řetězce polyfosforečnanů sodných. V tvrdosti taveného sýru je pozorován opačný efekt [6].

Výše uvedený trend také odráží fakt, že spolu s kondenzovanými fosforečnany roste i schopnost sekvestrace vápníku a také schopnost hydratace, čímž poskytují lepší emulgaci a z toho důvodu také formování strukturních vlastností [6].

3 TEXTURNÍ VLASTNOSTI

Textura je definovaná jako všechny mechanické, geometrické a povrchové vlastnosti produktu [16, 60].

Textura je důležitá charakteristika tavených sýrů, která rozhoduje o přijatelnosti výrobku konzumenty a jeho kvalitě, a také je významná při rozhodování pro užité ingredience. Pojem textura je multi-parametrický pojem, který je definován jako zapojení mechanických atributů produktu prostřednictvím mechanických, hmatových a dalších vhodných vizuálních a sluchových receptorů. V taveném sýru jsou textura a tím i roztékavost ovlivněny chemickým složením použitého přírodního sýru, výrobními podmínkami během výroby, obsahem sušiny, tuku a také druhem a množstvím tavicích solí, které byly přidávány do směsi. Pro určování texturních parametrů je vhodné použít instrumentální techniku zvanou texturní profilová analýza [22].

3.1 Možnosti měření textury

Vedle možnosti měření textury pomocí lidské zkušenosti existují i instrumentální metody sloužící k texturní analýze. Tyto metody jsou dobrou alternativou senzorké analýzy, protože jsou levnější, časově méně náročné a vyznačují se rychlými a jednoduchými testovými procedurami. Nabízejí reprodukovatelné výsledky a jsou vhodné pro cílenou kontrolu kvality [20].

V roce 1958 Scott – Blair kategorizoval techniky používané na měření textury do třech skupin:

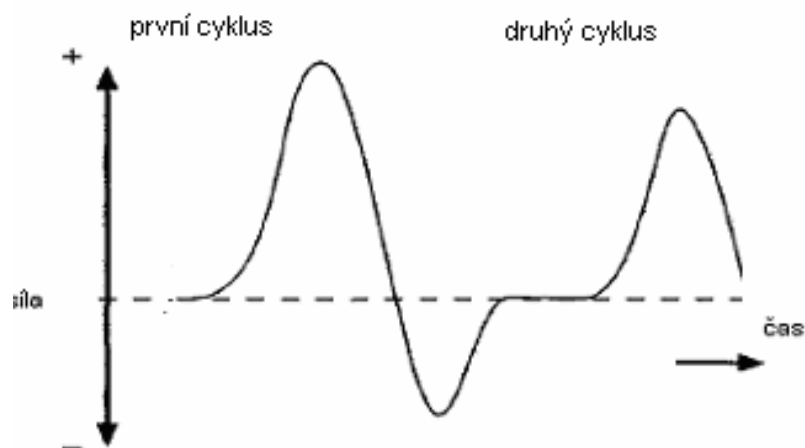
1. empirický test - založen na měření fyzikálních vlastností za dobře definovaných podmínek,
2. napodobující test - zahrnuje pokus napodobit podmínky, kterým je materiál vystaven v ústech,
3. základní test - měření dobře definovaných fyzikálních vlastností jako viskozita nebo elasticita modulu [16].

Pro naše účely byl použit napodobující test, který je detailněji popsán níže.

3.1.1 Napodobující test

Tento test napodobuje žvýkání pomocí různých druhů strojů, které potravinu žvýkají. Takovéto stroje umožňují měřit tlak a napětí během testu. Dříve byly k těmto strojům připojeny „lidské zubní protézy“, které pohybem napodobují pohyb čelisti. Nověji bývají tyto protézy nahrazovány pístem [16].

Základním nástrojem pro analýzu texturního profilu je deformace potravin pomocí klíčového pohybu podobnému pohybu lidské čelisti. K tomuto bývá použit základní potravinový textuometr, který využívá ke kontaktu se vzorkem potravinou koncovou oblast pístu. Mohou být používány cyklicky dva záběry a k měření slouží tlak, který se v potravíně vyvinul jejím stlačením. Po prvním záběru bývá zatížení ze vzorku odstraněno a následuje relax. Tažením pístu pryč z povrchu vzorku vzniká tah způsobený lepivostí. Druhým záběrem pak dochází opět ke stlačení vzorku před jeho následným odpočinkem po druhém čase. Odpor potravin během deformace bývá monitorován prostřednictvím dvou záběrových cyklů. Schematické znázornění napětí tlaku texturní profilové analýzy (TPA) je vyobrazeno na obrázku č. 2.

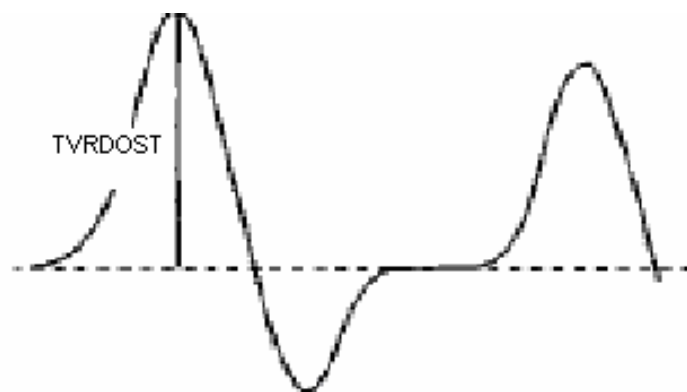


Obrázek 2.: Znázornění křivky texturní profilové analýzy [16]

3.2 Měřené parametry texturní profilové analýzy

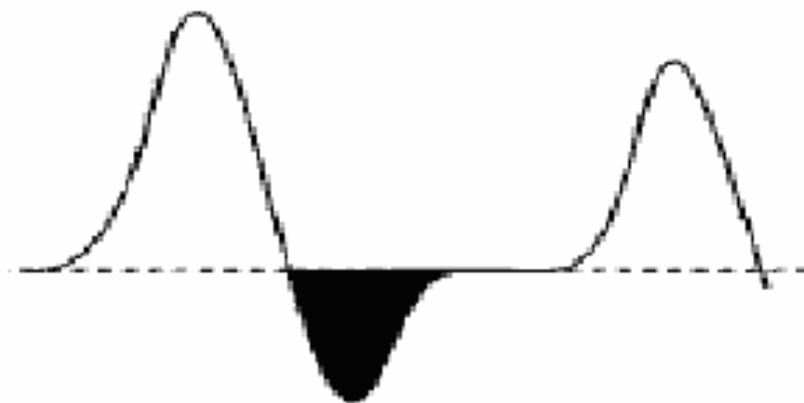
V této práci jsou popisovány tři parametry texturní profilové analýzy (TPA). Mezi tyto parametry patří: tvrdost (pevnost), relativní lepivost a kohezivnost.

Tvrdost (pevnost) vyjadřuje maximální sílu potřebnou ke stlačení potraviny mezi stoličkami. Tvrdost je možno vypočítat i jako plochu píku z prvního cyklu. Tyto hodnoty jsou následně použity při výpočtu relativní lepivosti.



Obrázek 3.: Texturní profilová analýza – tvrdost [16]

Lepivost je definována jako práce potřebná k tahu pístu z povrchu

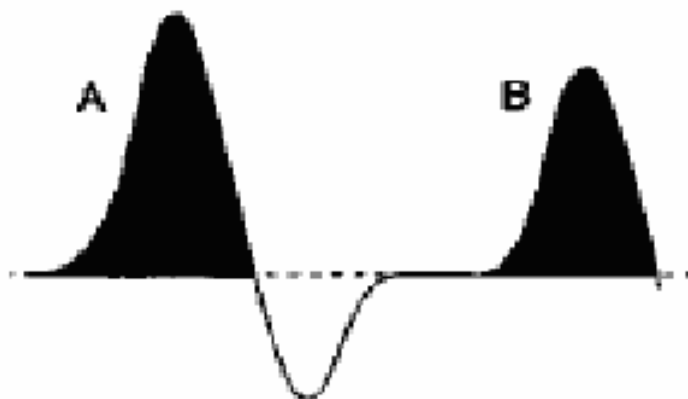


Obrázek 4: Texturní profilová analýza – lepivost [16]

V naší práci je ovšem používán pojem relativní lepivost, který je dán poměrem parametrů plocha lepivosti/plocha tvrdosti.

Kohezivnost (soudržnost) je síla vnitřní soudržnosti tvořící potravinu.

$$\text{soudržnost} = B/A$$



Obrázek 5: Texturní profilová analýzy – soudržnost [16]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

Cílem práce bylo vyrobit modelové vzorky tavených sýrů a zaměřit se v průběhu 29 dnů skladování na změny jakostních parametrů, zejména na texturní vlastnosti a roztékavost.

Pro dosažení cílů bylo třeba:

- zpracovat literární rešerši, která se týká tavených sýrů, jejich technologií výroby a vlivem použitých tavicích solí na parametry finálního výrobku – texturní a chemické vlastnosti a roztékavost
- při popisu tavicích solí se zaměřit na monofosforečnany, difosforečnany, trifosforečnany a polyfosforečnany

Pro zpracování praktické části bylo nezbytné naplnit následující cíle:

- realizovat výrobu modelových vzorků tavených sýrů s použitím různého zastoupení monofosforečnanu, difosforečnanu, trifosforečnanu a polyfosforečnanu sodného jako tavicí soli v jejich binárních směsích
- u modelových vzorků tavených sýrů provést texturní analýzu se zaměřením na tvrdost (pevnost), relativní lepivost a kohezivnost, a to v 1., 3., 6., 10., 15. a 29. den po výrobě
- senzoricky zhodnotit roztékavost modelových vzorků
- na základě teoretické části a získaných výsledků vyvodit závěry

5 MATERIÁL A METODY

5.1 Výroba tavených sýrů v laboratorních podmínkách

Na výrobu tavených sýrů o sušině 40 % a 50 % tuku v sušině byl použit přírodní sýr Eidam o zralosti 7 týdnů (Kromilk, s.r.o., Kroměříž, ČR) voda, máslo (82 % tuku; maloobchodní síť) a jako přídatná látka byly užity tavicí soli (sodné soli fosforečnanů; Fosfa, a.s., Břeclav). Tavicí soli (monofosforečnan (DSP; $(\text{Na}_2\text{HPO}_4)$), difosforečnan (TSPP; $(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7)$), trifosforečnan (PSTP; $(\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10})$) a polyfosforečnan (POLY; $(\text{NaPO}_3)_n$) a to v poměrech 100:0, 90:10, 80:20, ,20:80, 10:90, 0:100. Přídavek tavicích solí byl v množství 3 % w/w (přepočteno na finální hmotnost produktu). Výroba byla provedena pomocí přístroje Vorwerk Thermomix TM 31 blender cooker. Po nadávkování všech surovin a vytvoření homogenní směsi byla tavenina zahřátá na teplotu 90 °C. Při této teplotě a za stálého míchání byla směs udržována po dobu jedné minuty. Horká tavenina byla ihned balena do polystyrenových kelímků s parametrem výšky 48 mm a průměrem 55 mm. Na uzavření kelímku byla použita hliníková víčka. Po vychladnutí byly takto vyrobené a zabalené tavené sýry skladovány při teplotě 6 ± 2 °C až do provedení analýzy.

5.2 Metody chemické analýzy

5.2.1 Stanovení sušiny

Gravimetrické stanovení sušiny v tavených sýrech je dáno normou ČSN EN ISO 5534. Do hliníkových misek naplněných mořským pískem bylo naváženo na analytických vahách ± 3 g vzorku taveného sýru. Vzorek taveného výrobku byl důkladně rozetřen s mořským pískem. Takto připravený vzorek byl umístěn do sušárny a byl sušen při 100 °C do konstantního úbytku hmotnosti. Ze zjištěných hodnot byl nejdříve vypočítán obsah vody v % (w/w) dle vzorce:

$$\text{Obsah vody \% (w/w)} = [(m_2 - m_3) / (m_2 - m_1)] * 100$$

m_1 hmotnost vysoušečky s pískem a tyčinkou [g],

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

m_3 hmotnost vysoušečky s pískem, tyčinkou a vzorkem po vysušení [g].

Obsah sušiny v % (w/w) byl po zjištění obsahu vody v % (w/w) vypočítán dle vzorce:

Obsah sušiny v % (w/w) = 100 – obsah vody v % (w/w)

5.2.2 Stanovení pH

Měření pH bylo provedeno u vzorku tavených sýrů 1., 3., 6., 10., 15., a 29. den po utavení. Zjišťování hodnoty pH bylo provedeno pomocí vpichového pH metru Eutech Instruments (Malajsie). Měření jednoho vzorku bylo provedeno vždy čtyřikrát

5.3 Texturní profilová analýza

Byly měřeny parametry texturní profilové analýzy – tvrdost (pevnost), relativní lepivost a kohezivnost (soudržnost).

5.4 Roztékavost

Roztékavost je možno definovat jako schopnost taveného sýru téct po zahřátí [19]. Pro měření roztékavosti existuje celá řada testů například tzv. Schreiber test, Tube test, instrumentální metody nebo empirické modely. V průmyslu bývá pro měření roztékavosti nejvíce používána metoda navržená Kosikowskim zvaná jako Schreiber test [21, 44].

V této práci byla roztékavost stanovena následovně - na podložku byl nanesen vzorek taveného sýra a byla zhodnocena jeho plocha. Následně byl vzorek vložen do sušárny, která byla vyhřátá na 232 °C po dobu 5 minut. Po vyjmutí vzorku ze sušárny a jeho zchladnutí byla opět zhodnocena jeho plocha.

Roztékavost byla zhodnocena dle následující stupnice:

- 1 – mírné zpečení vzorku, velikost vzorku zmenšena do 10% oproti původnímu vzorku
- 2 – vzorek nezměněn, pouze změna zbarvení okrajů, roztékavost nulová
- 3 – nárůst plochy vzorku do 10 % oproti původnímu vzorku
- 4 – nárůst plochy vzorku v rozmezí 10 – 25 % oproti původnímu vzorku
- 5 – nárůst plochy vzorku v rozmezí 25 – 50 % oproti původnímu vzorku
- 6 – nárůst plochy vzorku v rozmezí 50 – 75 % oproti původnímu vzorku
- 7 – nárůst plochy vzorku v rozmezí 75 – 100 % oproti původnímu vzorku
- 8 – nárůst plochy vzorku o více než 100 % oproti původnímu vzorku

6 VÝSLEDKY A DISKUZE

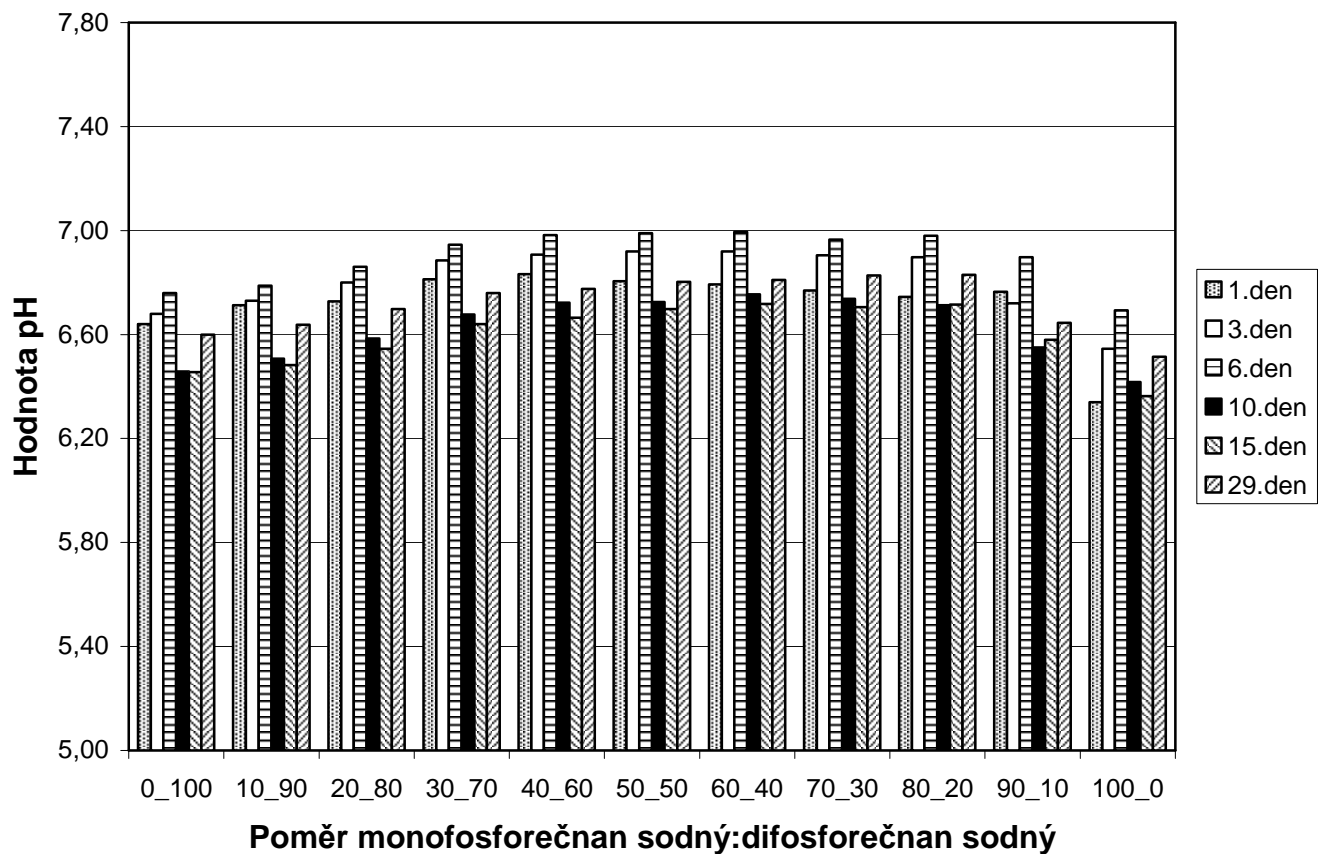
Byly hodnoceny zjištěné výsledky všech použitých binárních směsí tavicích solí.

6.1 Metody chemické analýzy

6.1.1 Sušina

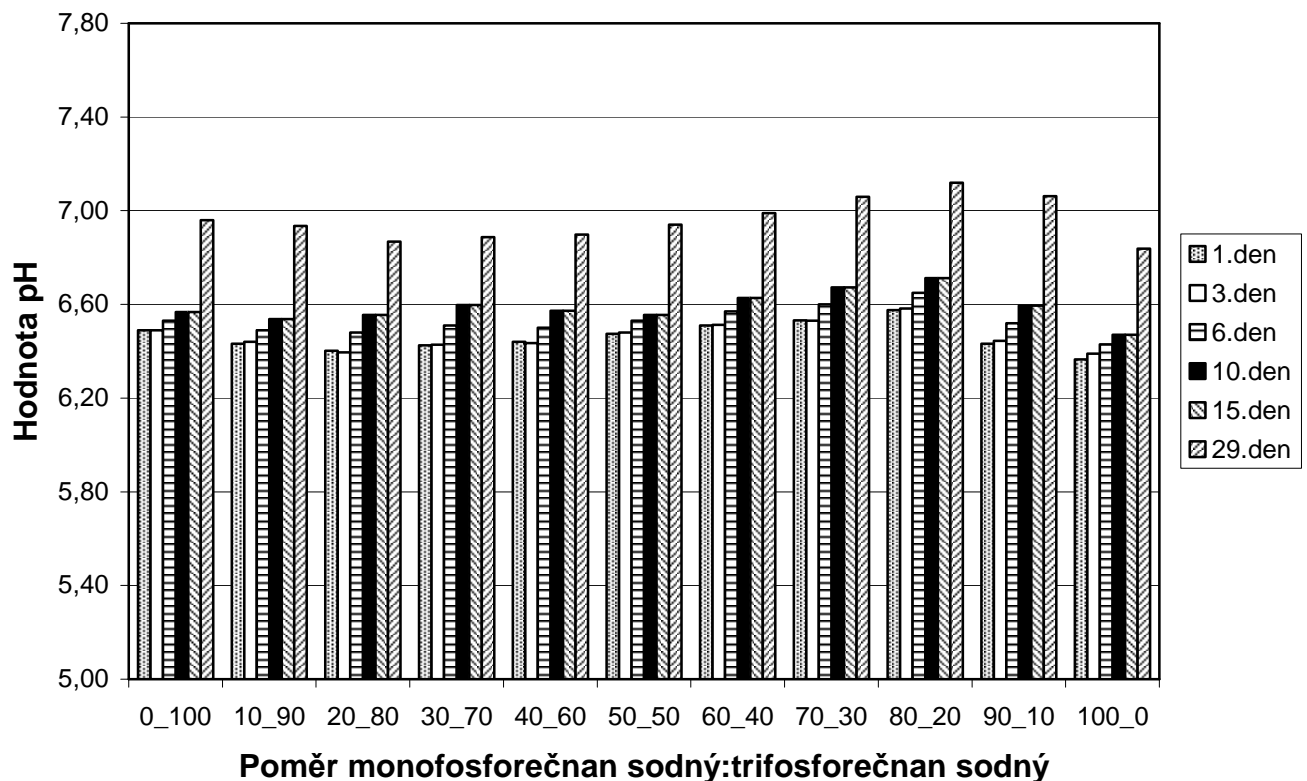
Obsah sušiny námi připravených tavených sýrů byl $43,33 \% \pm 0,13$, čímž byla ověřena konstantnost výroby a zajištěna standardnost analyzovaných vzorků.

6.1.2 Hodnoty pH



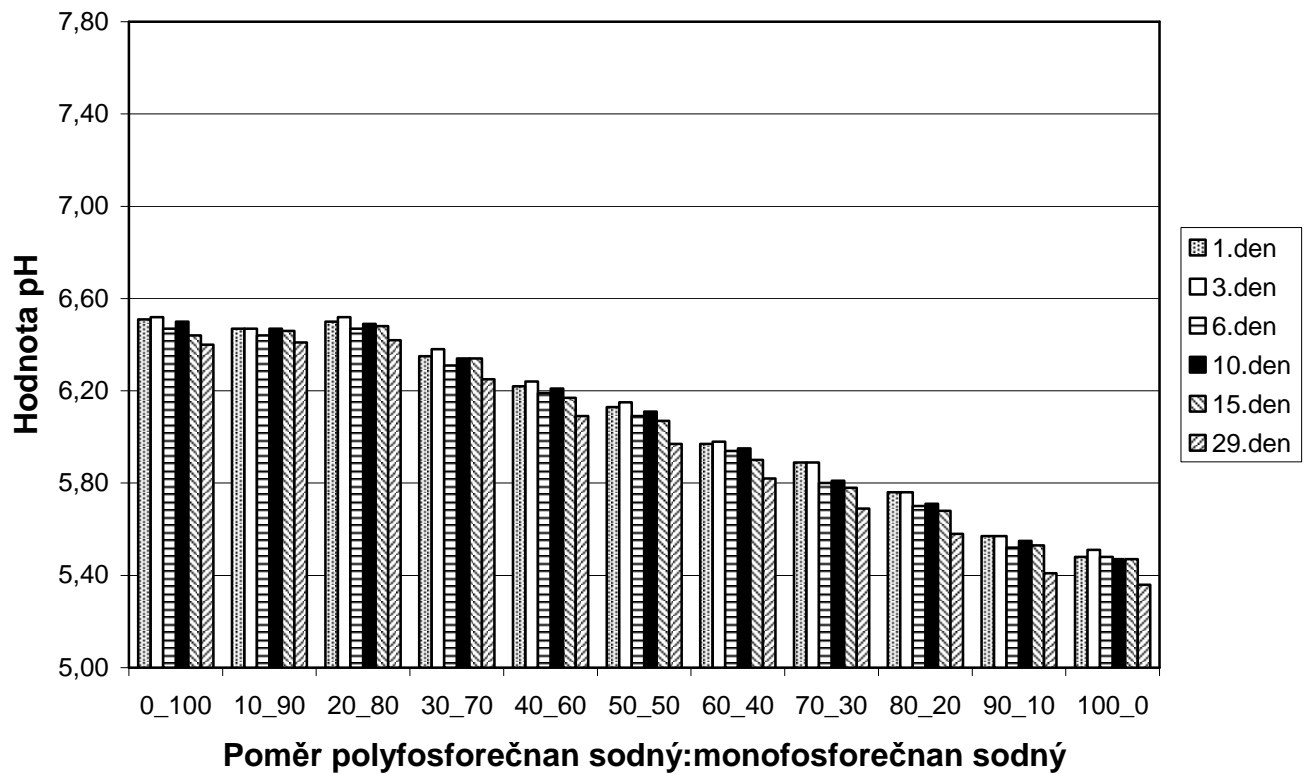
Graf 1: Vliv monofosforečnanu sodného (DSP) a difosforečnanu sodného (TSPP) na pH taveného sýru

Z grafu je možno pozorovat, že pH taveného sýru se zvyšujícím se množstvím TSPP ve směsi s DSP zpočátku mírně roste a to do poměru DSP:TSPP 80:20. V následujících poměrech se hodnoty pH pohybovaly zhruba na stejné úrovni. Poměrem DSP:TSPP 30:70 byl zahájen mírný pokles pH. Nejmenší hodnota pH byla naměřena při použití pouze DSP. Ve všech případech je možno vidět, že pH taveného sýru starého 3 a 6 dnů je větší než u výrobku starého 10 a 15 dnů. Tavený sýr 29.den po výrobě se vyznačoval opět vyšším pH, ne však tak vysokým jako 3. a 6. den po výrobě.



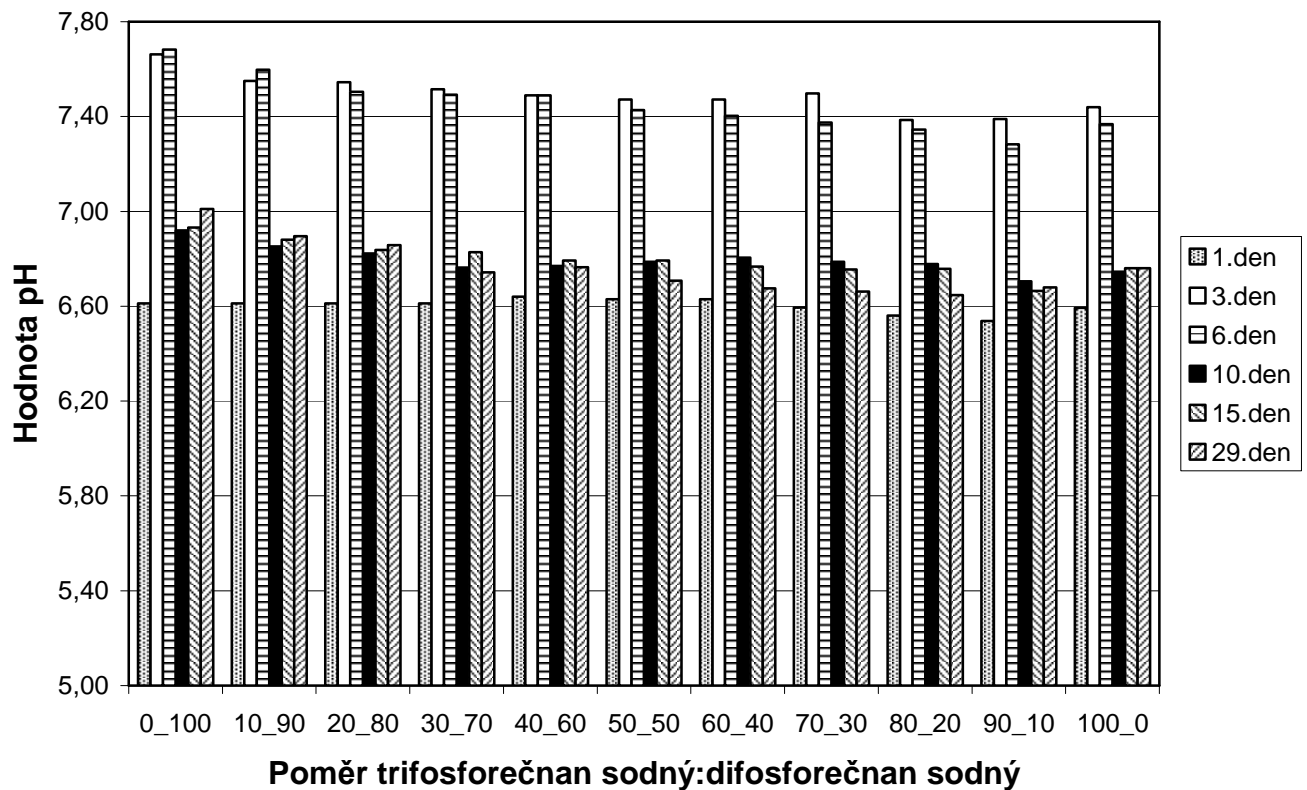
Graf 2: Vliv monofosforečnanu sodného (DSP) a trifosforečnanu sodného (PSTP) na pH taveného sýru

Nejmenších hodnot dosahoval vzorek taveného sýra vyrobený za použití pouze DSP. S přibývajícím množstvím PSTP ve směsi byl pozorován nárůst hodnoty pH, avšak jen do vzájemného zastoupení DSP: PSTP 80:20. Od tohoto poměru je možno pozorovat mírný pokles pH, ale pouze do poměru 50:50. Od tohoto bodu až do plného zastoupení PSTP ve směsi s DSP byly měřeny zhruba stejné velikosti hodnot pH. Úskočný trend při měření pH taveného sýru 29. den po výrobě byl způsoben poruchou pH metru.



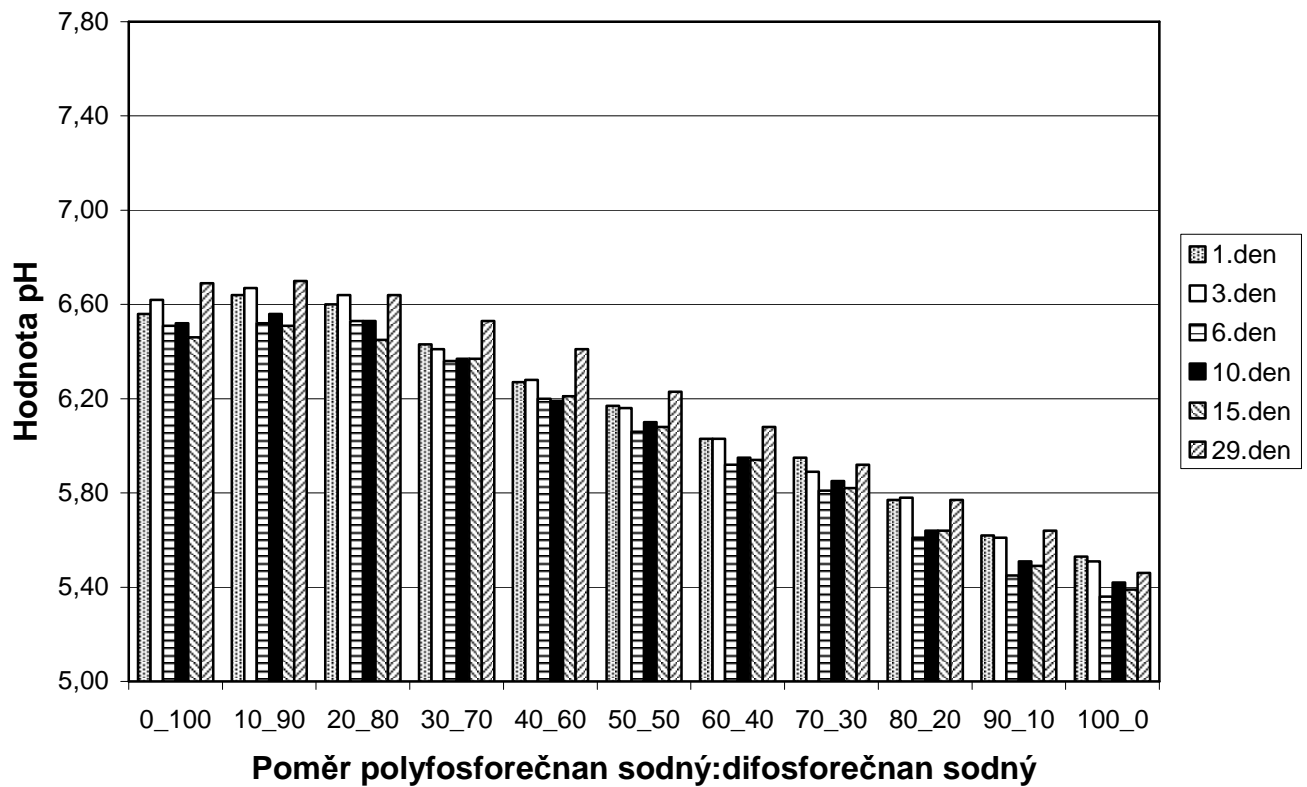
Graf 3: Vliv polyfosforečnanu sodného (POLY) a monofosforečnanu sodného (DSP) na pH taveného sýru

Hodnota pH taveného sýru rovnoměrně rostla od plného zastoupení POLY až k vzájemnému poměru POLY:DSP 20:80. Od tohoto zastoupení přes poměr POLY:DSP 10:90 až k 100% zastoupení DSP se naměřené hodnoty pohybovaly zhruba ve stejné výši. Nejmenší hodnotou pH vystupoval tavený sýr vyrobený pouze s pomocí POLY. Nejvyšší pH bylo měřeno u produktů s převahou DSP.



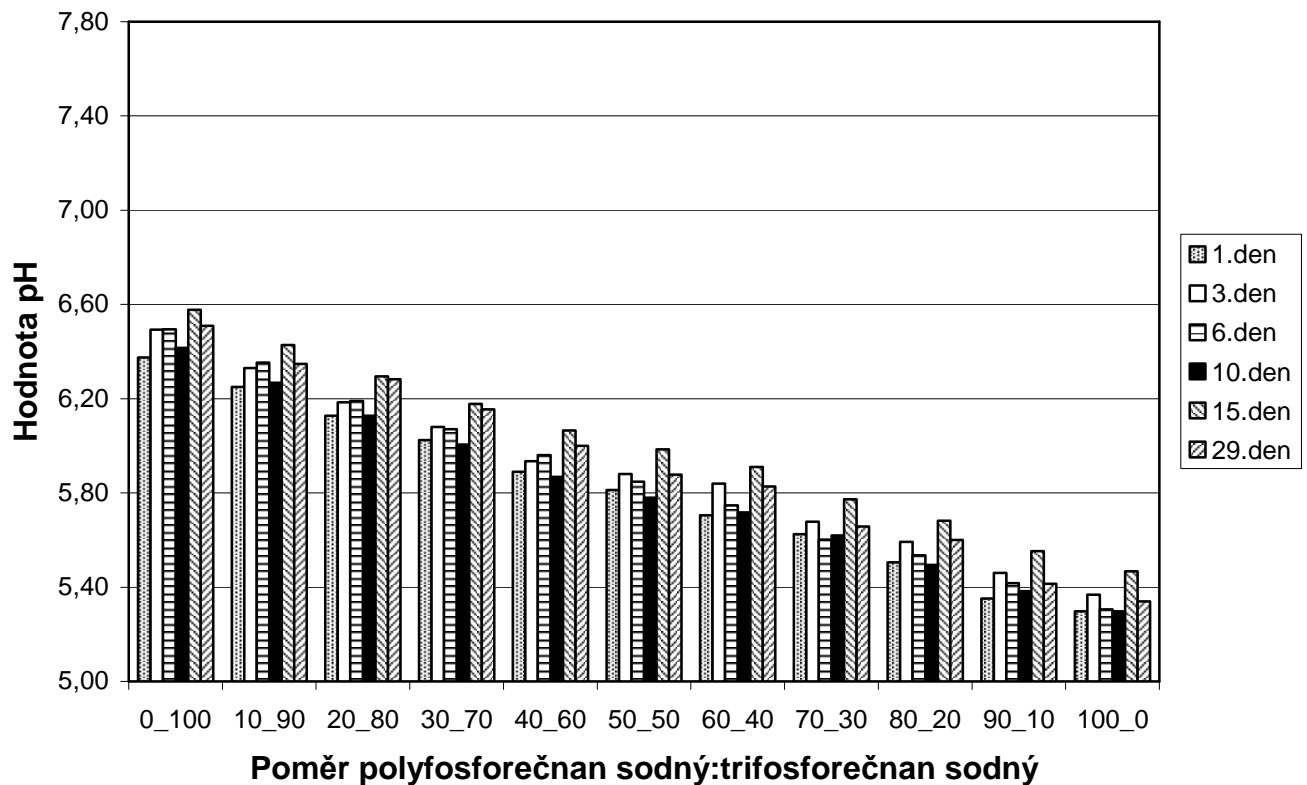
Graf 4: Vliv trifosforečnanu sodného (PSTP) a difosforečnanu sodného (TSPP) na pH taveného sýru

Hodnota pH se od samostatného zastoupení TSPP s rostoucím množstvím PSTP v jejich směsi téměř neměnila. Ve všech případech bylo pH nejmenší 1. den po výrobě, následně byl pozorován 3. a 6. den po utavení prudký nárůst této hodnoty. 10., 15., a 29. den po výrobě taveného sýru byly hodnoty pH opět nižší, ne však tak nízké jako u taveného sýru starého 1. den. Úskočný trend v měření pH, který je možno pozorovat u taveného sýru 3. a 6. den po výrobě byl způsoben použitým pH metrem, který vykazoval poruchové chování.



Graf 5: Vliv polyfosforečnanu sodného (POLY) a difosforečnanu sodného (TSPP) na pH taveného sýru

Nejmenší pH bylo naměřeno v taveném sýru, který obsahoval pouze POLY. S rostoucím zastoupením TSPP a s klesajícím množstvím POLY byl pozorován nárůst pH až do vzájemného poměru POLY:TSPP 20:80. S dalším nárůstem TSPP ve směsi s POLY nebylo měřeno další zvětšování velikosti pH. Největší hodnota pH byla tedy pozorována u taveného sýru s poměrovým zastoupením POLY:TSPP 20:80, 10:90 a 0:100.



Graf 6: Vliv polyfosforečnanu sodného (POLY) a trifosforečnanu sodného (PSTP) na pH taveného sýru

Z grafu je zřejmé, že s rostoucím obsahem PSTP a s klesajícím zastoupením POLY ve směsi dochází k rovnoměrnému růstu hodnoty pH. Z toho vyplývá, že nejmenší velikost pH byla naměřena v taveném sýru obsahujícím pouze POLY a největším pH se prokázal tavený výrobek, na jehož přípravu byl použit jen PSTP.

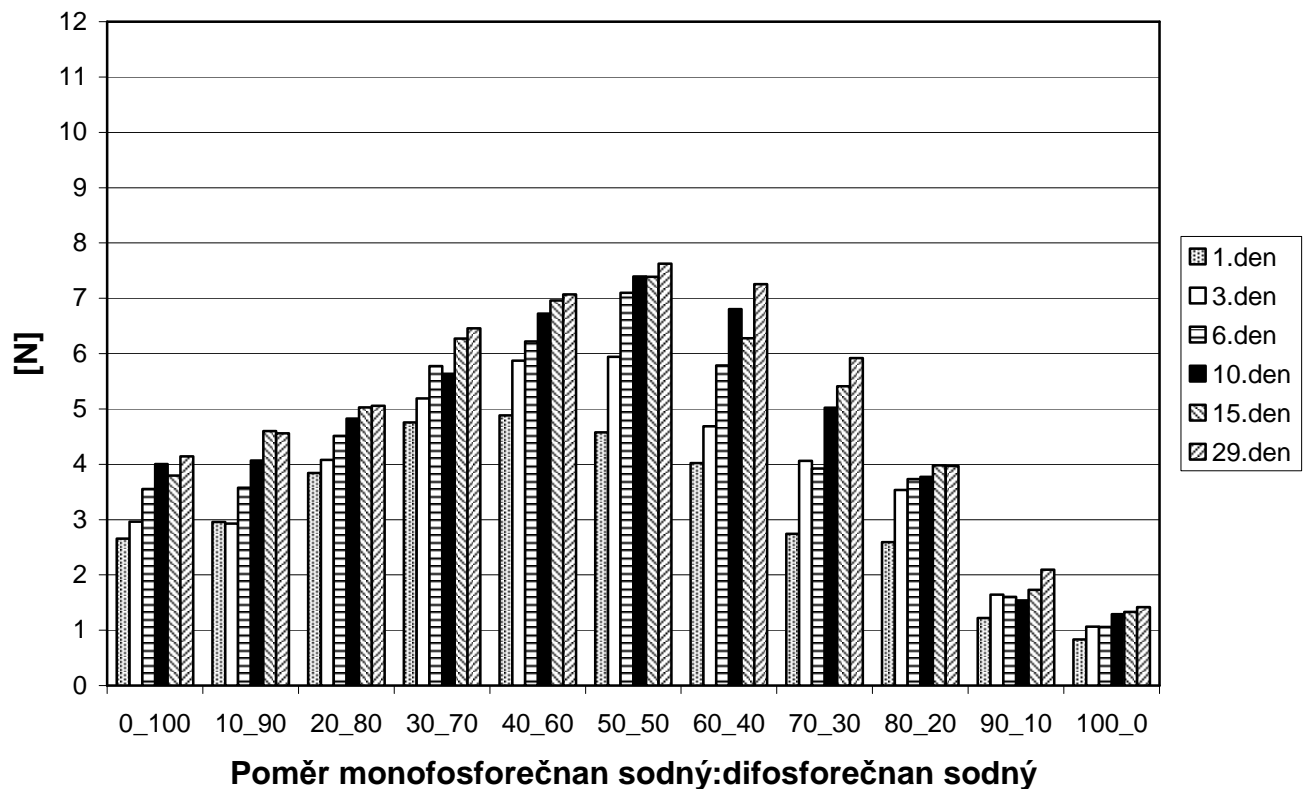
6.2 Texturní parametry

Pomocí texturního analyzátoru, simulujícího stlačení zubních stoliček díky dvou po sobě jdoucím kompresím, byly měřeny texturní parametry modelových vzorků tavených sýrů. K tomuto účelu byla použita nerezová válcová sonda o průměru 20 mm a hmotnosti 16,4 g. Rychlost penetrace i návratu sondy byla 2 mm/s. Hloubka penetrace sondy do vzorku byla 10 mm. Pomocí softwaru Texture Exponent Lite (Stable Micro Systém, Ltd., UK) byly zjištěny hodnoty tvrdosti (pevnosti), lepivosti (ze které byly následně vypočteny hodnoty

relativní lepivosti) a kohezivnosti (soudržnosti) [18]. Výsledky jednotlivých parametrů jsou zobrazeny v následujících grafech.

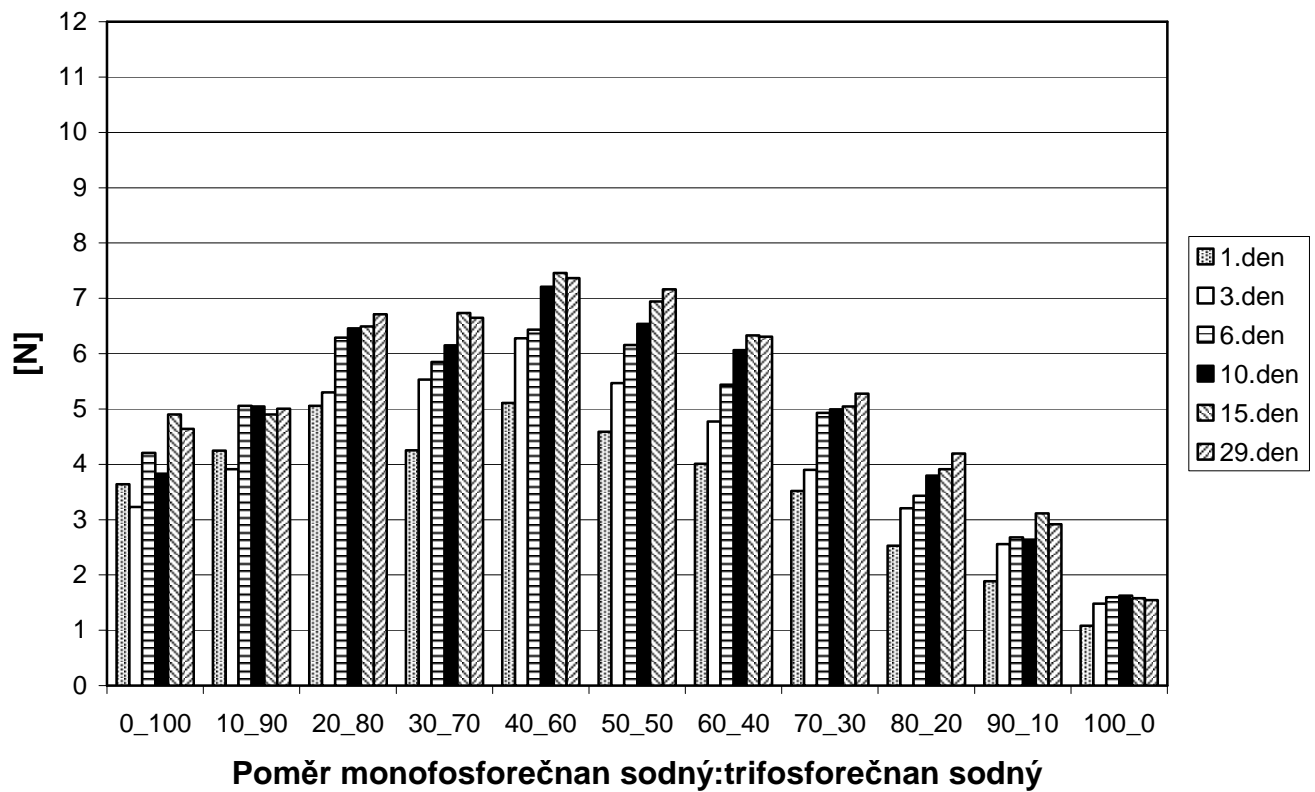
6.2.1 Tvrdość (pevnost)

Tvrdość vyjadřuje síla potřebná ke stlačení potraviny mezi stoličkami [16]. Z grafů pro jednotlivé binární směsi je patrné, že s dobou skladování parametr tvrdość mírně narůstal.



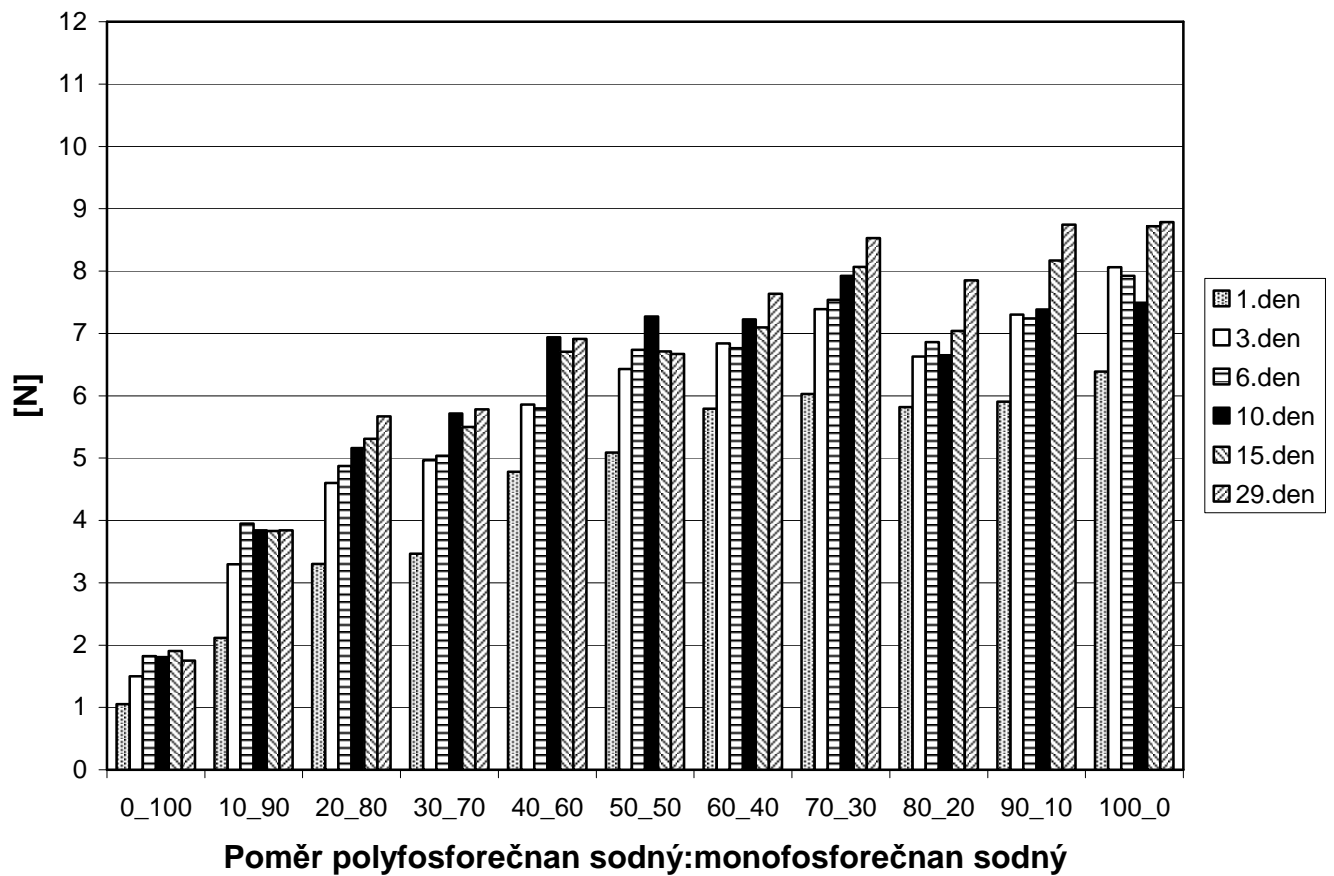
Graf 7: Tvrdość taveného sýru s monofosforečnanem sodným (DSP) a difosforečnanem sodným (TSPP)

Z uvedeného grafu je patrné, že tvrdość taveného sýru rostla s přibývajícím množstvím TSPP ve směsi a DSP a to v rozmezí jejich vzájemného poměru DSP:TSPP 0:100 – 50:50. Od této hodnoty je možno pozorovat pokles tvrdości s poklesem TSPP ve směsi až do jeho nulového zastoupení. Zřetelně je vidět, že nejmenší tvrdość vykazoval vzorek taveného sýra, který byl vyroben pouze za přídavku DSP.



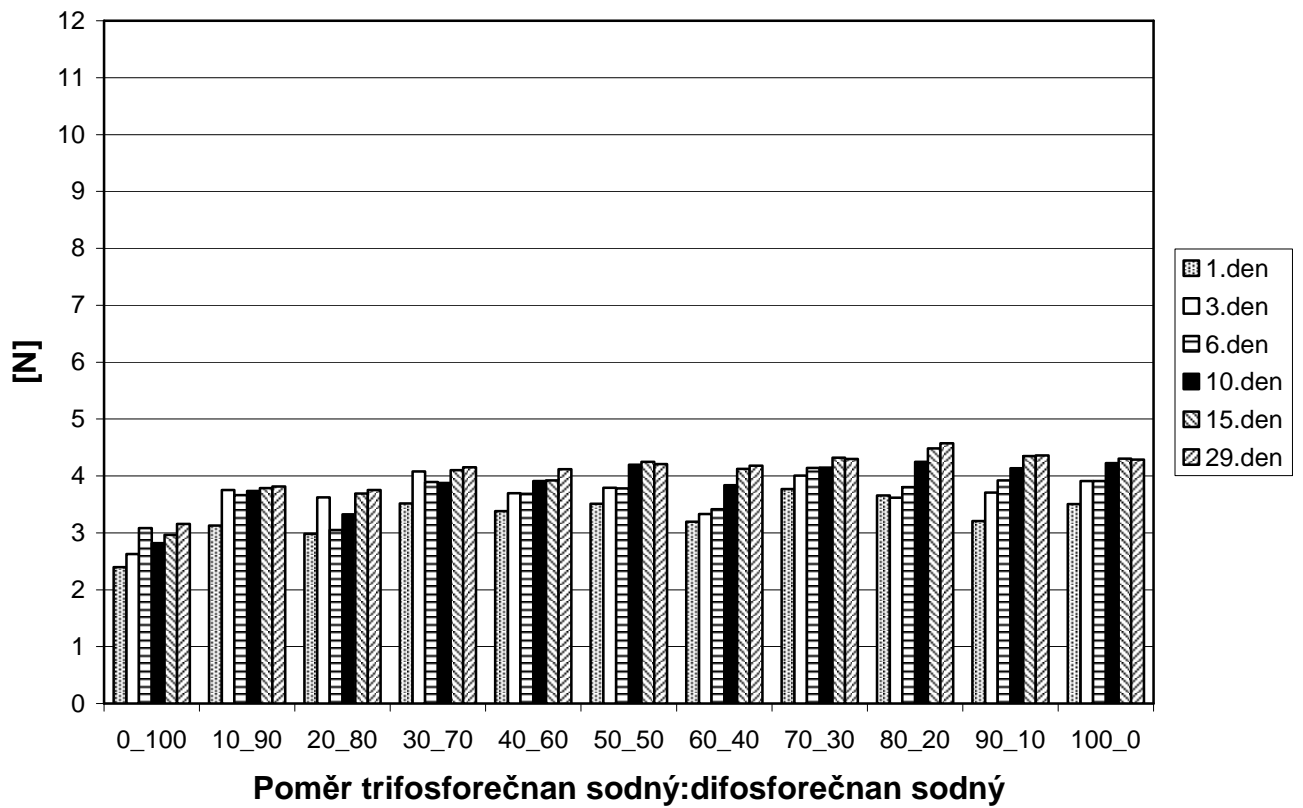
Graf 8: Tvrdost taveného sýru s monofosforečnanem sodným (DSP) a trifosforečnanem sodným (PSTP)

I za použití této binární směsi bylo zjištěno, že nejnižší tvrdost byla opět zjištěna u taveného sýra vyrobeného pouze s DSP. Tvrdost rostla s přibývajícím množstvím PSTP ve směsi DSP:PSTP až do jejich vzájemného poměru 40:60, kdy byla hodnota tohoto parametru největší. Od tohoto zastoupení byl sledován mírný pokles tohoto parametru.



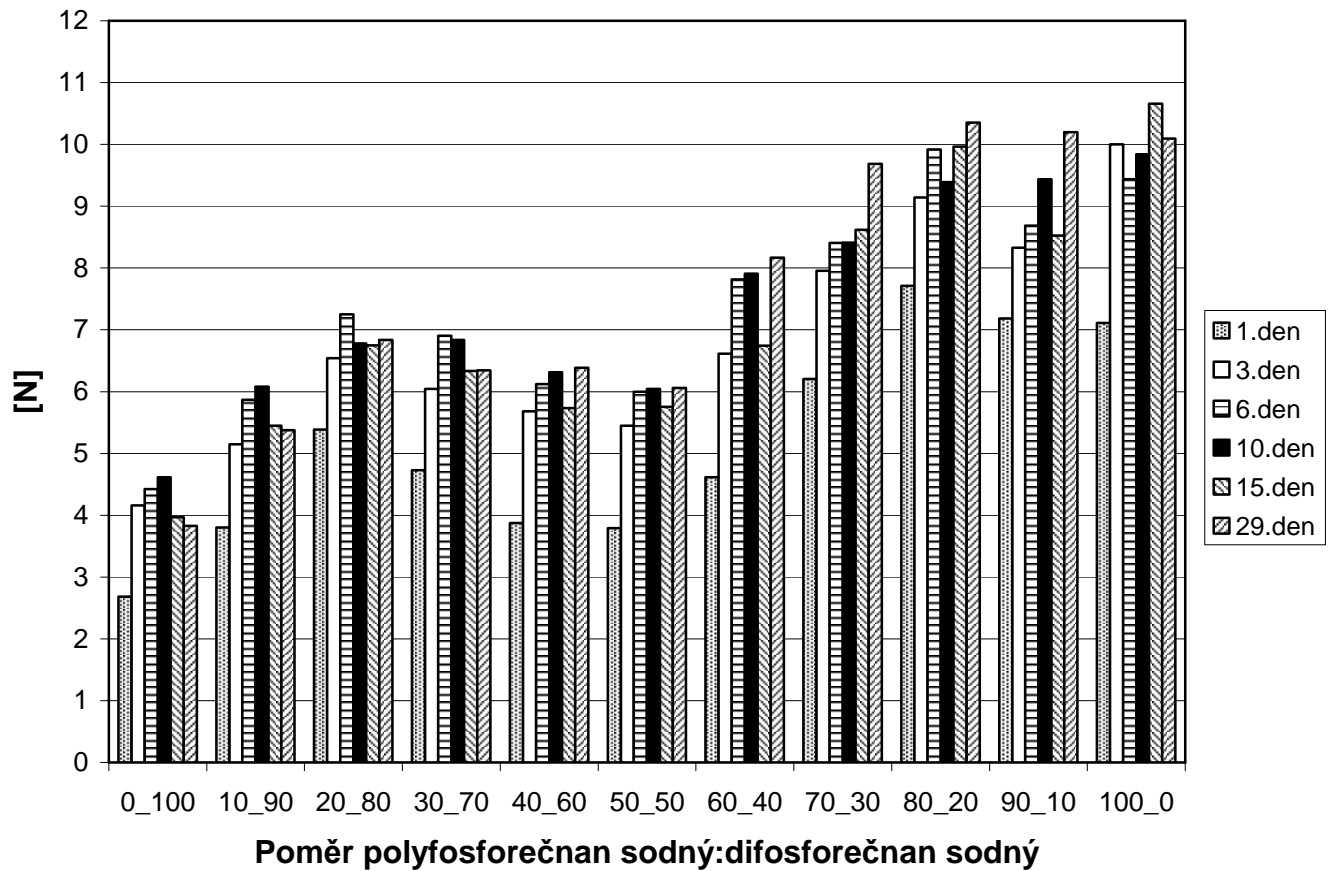
*Graf 9: Tvrdost taveného sýru s polyfosforečnanem sodným (POLY)
a monofosforečnanem sodným(DSP)*

V případě 100% zastoupení POLY v taveném sýru, byla zjištěna jeho maximální tvrdost, která se zmenšovala se snižujícím se obsahem POLY ve směsi sDSP. Nejmenších hodnot tohoto parametru bylo dosaženo u taveného sýru vyrobeného pouze s DSP.



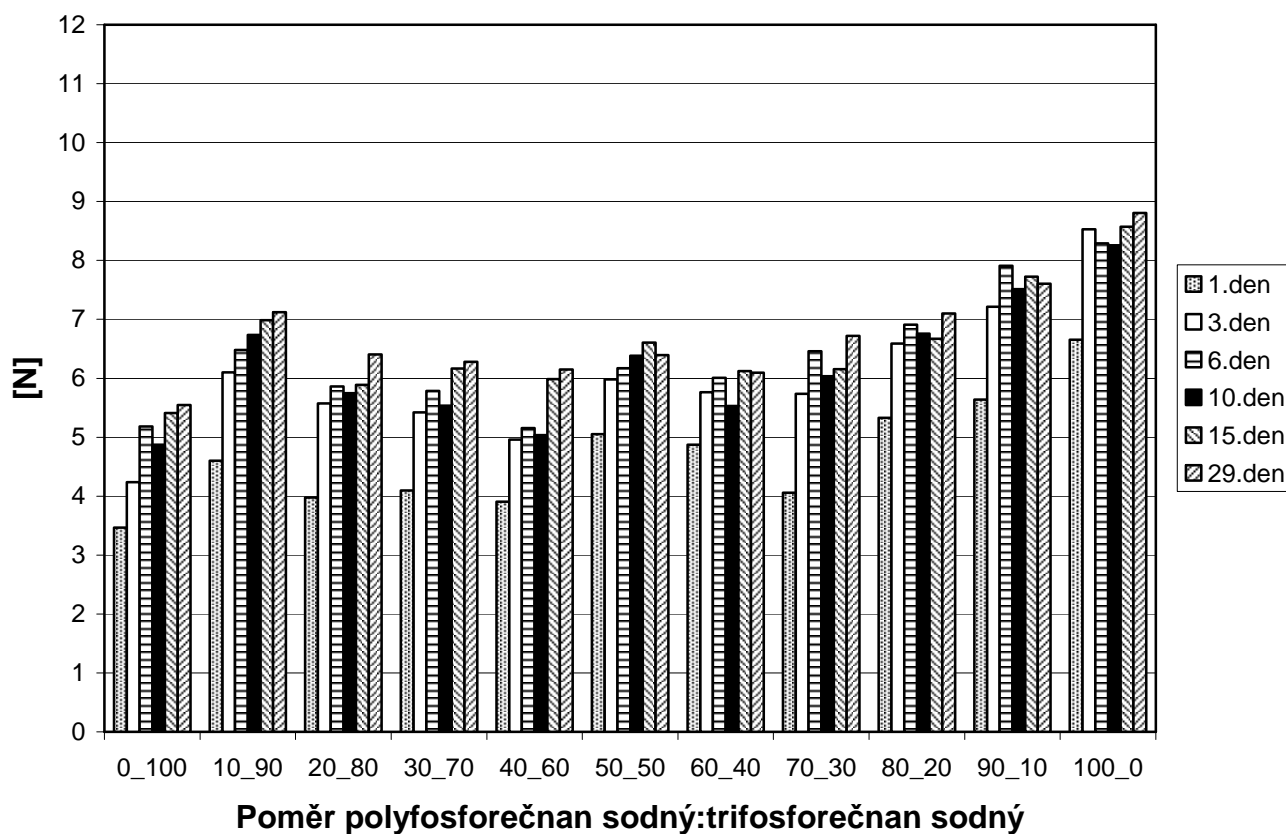
Graf 10: Tvrdost taveného sýru s trifosforečnanem sodným (PSTP) a difosforečnanem sodným (TSPP)

Tavený sýr vyrobený pomocí TSPP měl nejmenší tvrdost. V případě použitého poměru PSTP:TSPP 10:90 je možno sledovat mírný nárůst tvrdosti taveného výrobku. Tvrdost se následně pohybovala téměř ve stejné výši a rozdíly mezi hodnotami tohoto parametru byly minimální od poměru PSTP:TSPP 30:70 – 100:0.



Graf 11: Tvrdost taveného sýra s polyfosforečnanem sodným (POLY) a difosforečnanem sodným (TSPP)

Z grafu je možno pozorovat, že největší tvrdost vykazoval tavený sýr vyrobený pouze s POLY. Naopak tvrdost taveného výrobku pouze s TSPP byla nejnižší. Kromě poměrů POLY:TSPP 40:60 a 50:50 kdy byl zjištěn mírný pokles tvrdosti, byl pozorován růst hodnoty tohoto parametru se zvětšujícím se zastoupením POLY ve směsi s TSPP.

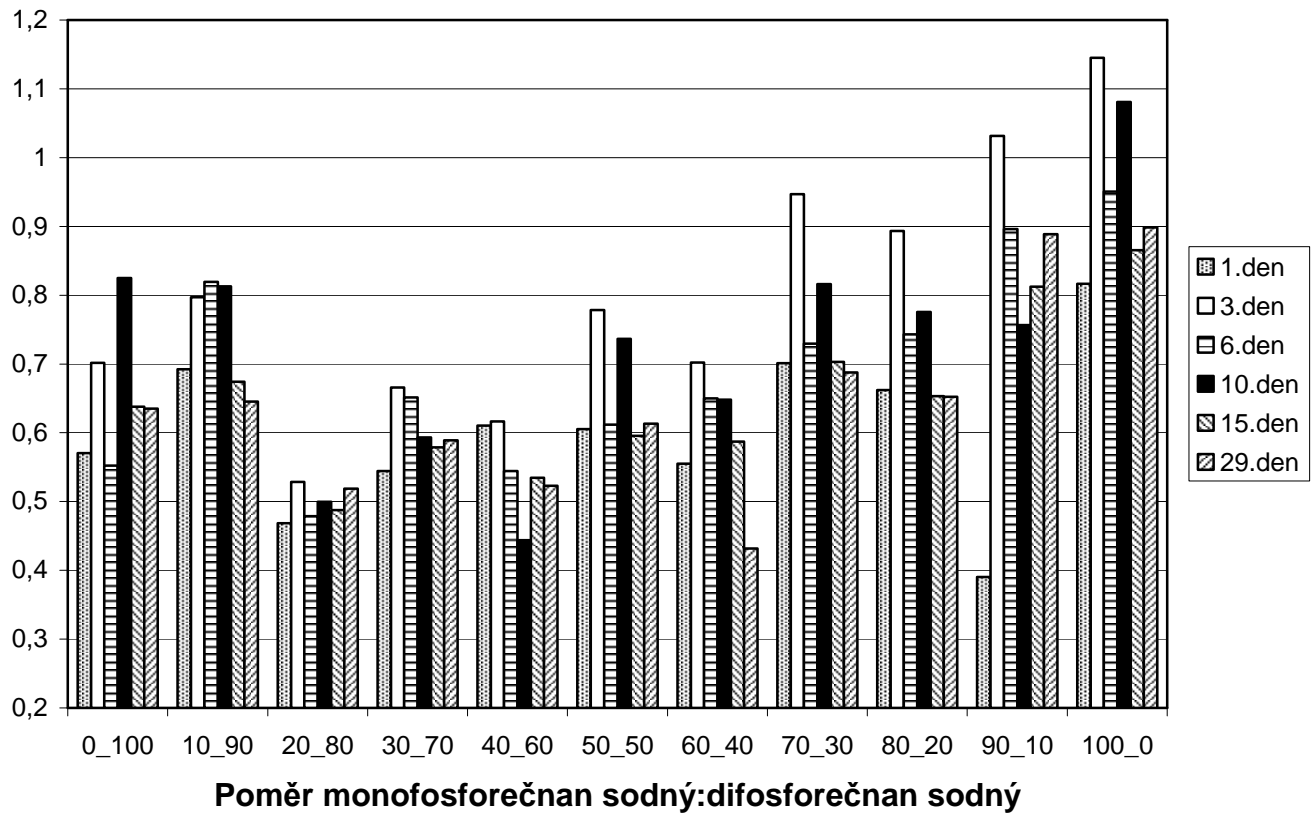


Graf 12: Tvrdost taveného sýra s polyfosforečnanem sodným (POLY) a trifosforečnanem sodným (PSTP)

S různými poměry POLY a PSTP ve směsi nedocházelo k výrazným změnám ve tvrdosti taveného sýru. Z grafu je však možno konstatovat, že tavený sýr vyrobený pouze s PSTP vykazoval menší tvrdost, než tavený výrobek s použitím pouze POLY.

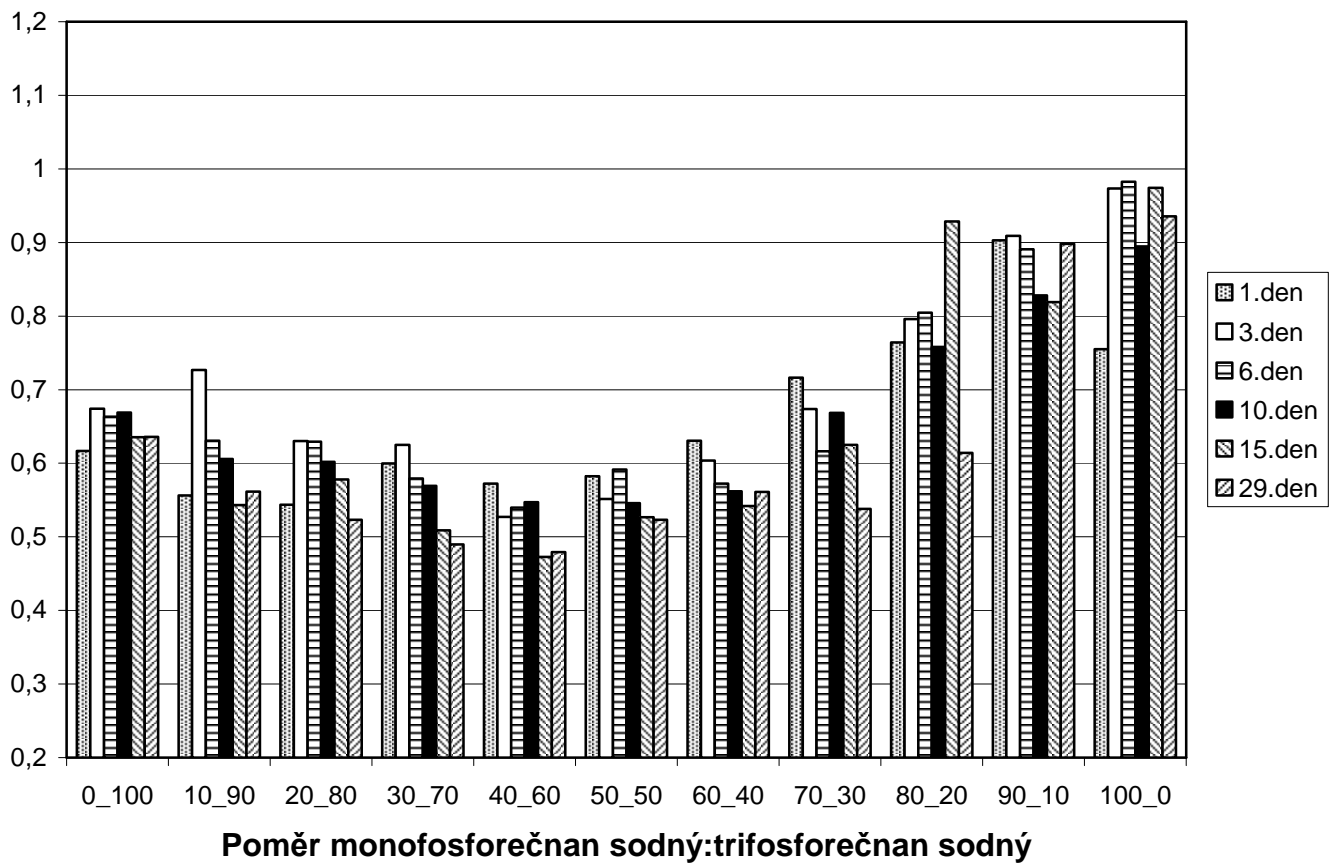
6.2.2 Relativní lepivost

Relativní lepivost je dána poměrem parametrů plocha lepivosti/plocha tvrdosti.



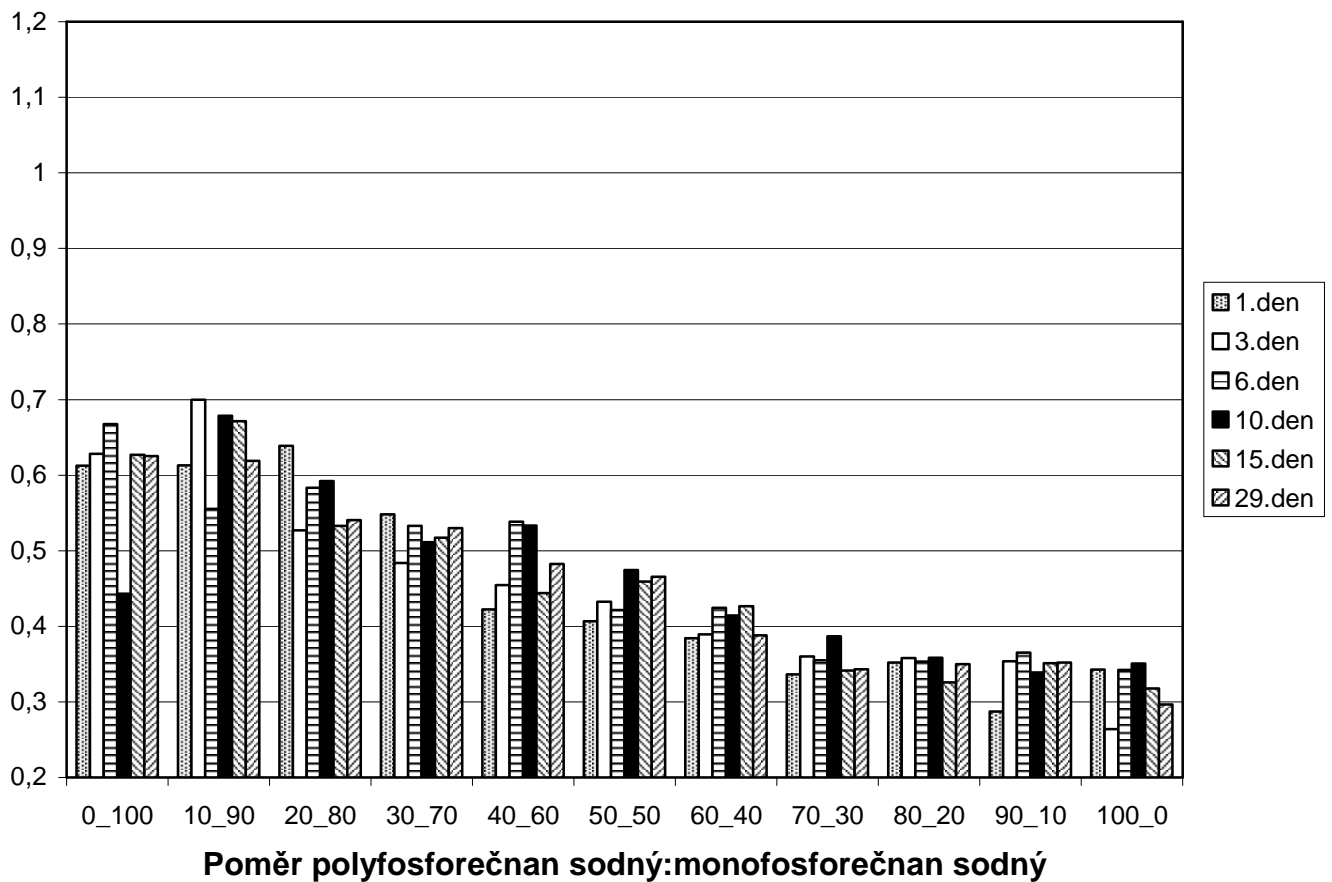
Graf 13: Relativní lepivost taveného sýra s monofosforečnanem sodným (DSP) a difosforečnanem sodným (TSPP)

Vývoj relativní lepivosti u taveného sýru DSP a TSPP byla odlišná s rozdílným zastoupení jednotlivých solí ve směsi a nevykazovala jednoznačný trend. Nejmenší hodnoty dosáhla v případě poměru DSP:TSPP 20:80 a největší relativní lepivost byla naměřena při poměru DSP:TSPP 100:0.



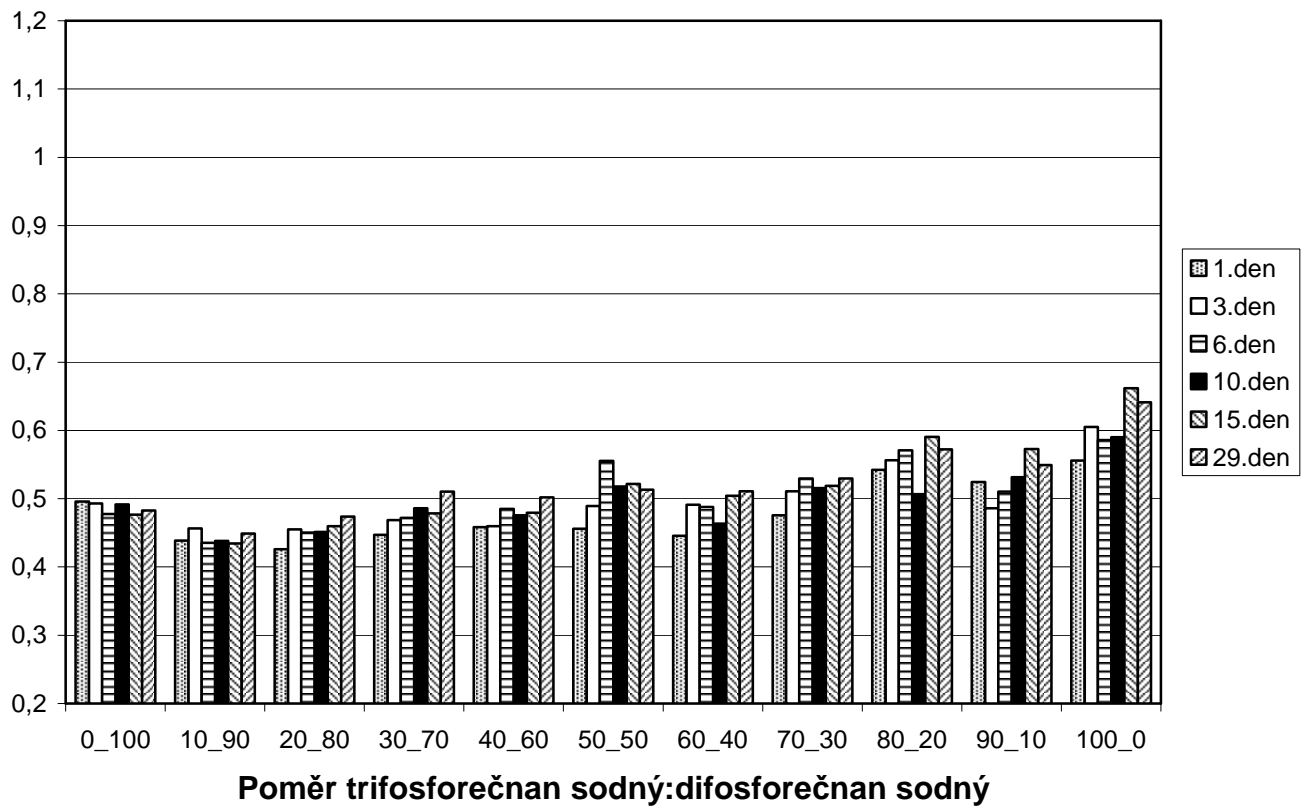
Graf 14: Relativní lepivost taveného sýra s monofosforečnanem sodným (DSP) a trifosforečnanem sodným (PSTP)

Největší relativní lepivost měl tavený sýr obsahující pouze DSP. S rostoucím množstvím PSTP ve směsi s DSP klesala relativní lepivost taveného sýru až do vzájemného poměru 40:60, kdy byla relativní lepivost nejmenší. S dalším zvýšením množství PSTP došlo k mírnému až nepatrnému nárůstu tohoto parametru, jehož hodnoty byly zhruba ve stejné výši až do úplného zastoupení PSTP.



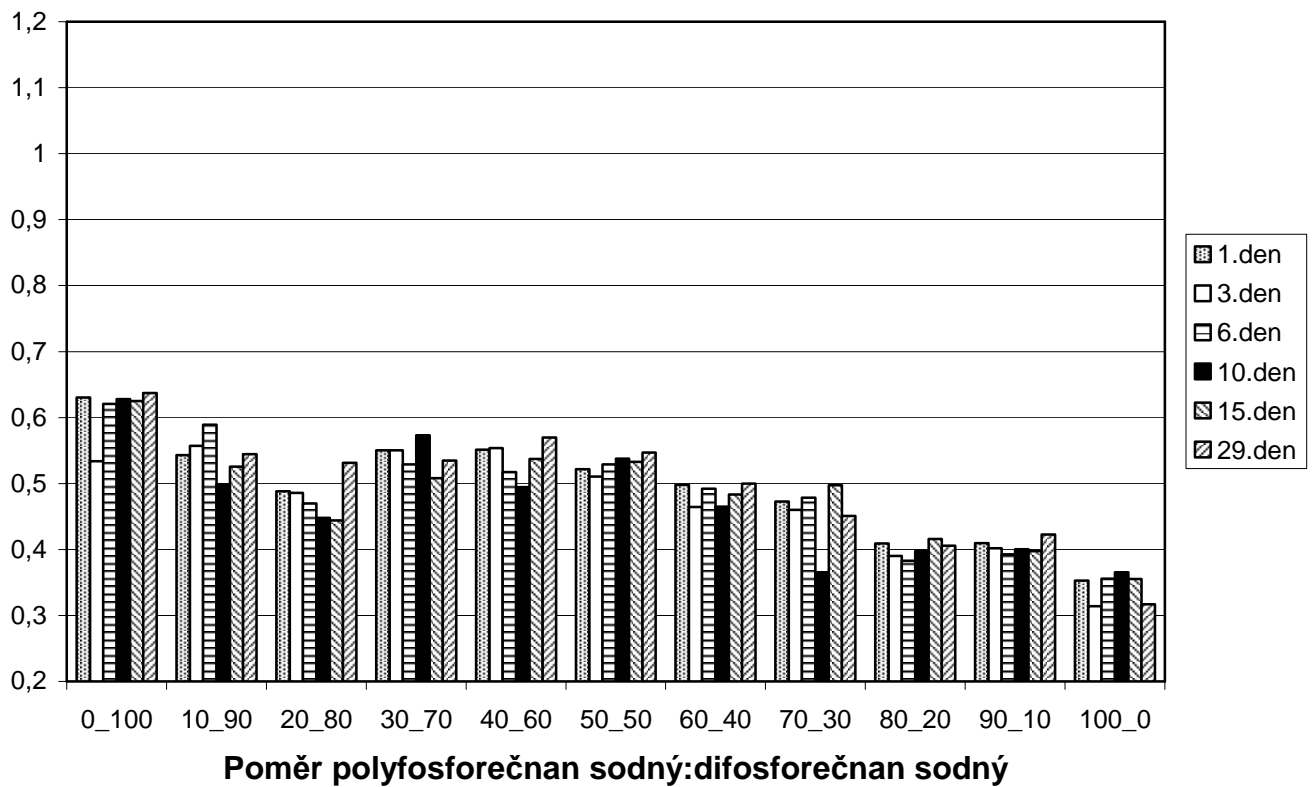
Graf 15: Relativní lepivost taveného sýra s polyfosforečnanem sodným (POLY) a monofosforečnanem sodným (DSP)

Výše uvedený graf zaznamenává, že největší relativní lepivost byla naměřena u taveného sýru vyrobeného pouze pomocí DSP. S rostoucím poměrem POLY a se snižujícím se zastoupením DSP ve směsi klesala relativní lepivost taveného výrobku. V případě použití pouze DSP byla velikost tohoto parametru nejmenší.



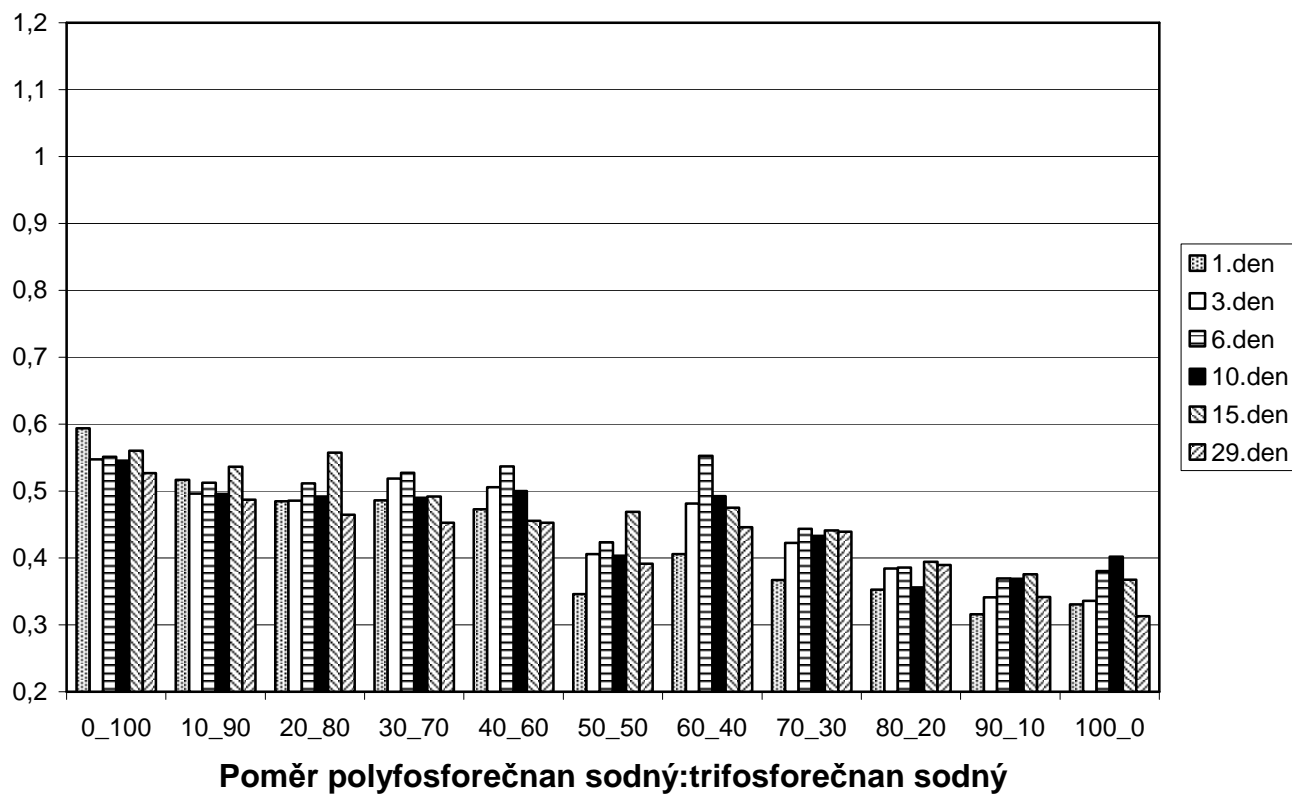
Graf 16: Relativní lepivost taveného sýra s trifosforečnanem sodným (PSTP) a difosforečnanem sodným (TSPP)

V případě použití směsi PSTP s TSPP byly změny v relativní lepivosti vyvolané různým zastoupením těchto tavicích solí ve směsi malé. I tak lze konstatovat, že největší relativní lepivostí se vyznačoval tavený sýr s poměrem PSTP:TSPP 100:0. Nejmenší relativní lepivost byla měřena při vzájemném zastoupení PSTP:TSPP 10:90 a 20:80



Graf 17: Relativní lepivost taveného sýra s polyfosforečnanem sodným (POLY) a difosforečnanem sodným (TSPP)

Změna relativní lepivosti s různým zastoupením POLY a TSPP v použité směsi se vyznačovala v průběhu změn klesajícím i rostoucím trendem. Z grafu je možno vypořadovat, že největší hodnota byla změřena u taveného sýru jehož poměr POLY:TSPP byl 0:100 a naopak nejmenší relativní lepivost byla prokázána u taveného sýru obsahujícího pouze POLY.

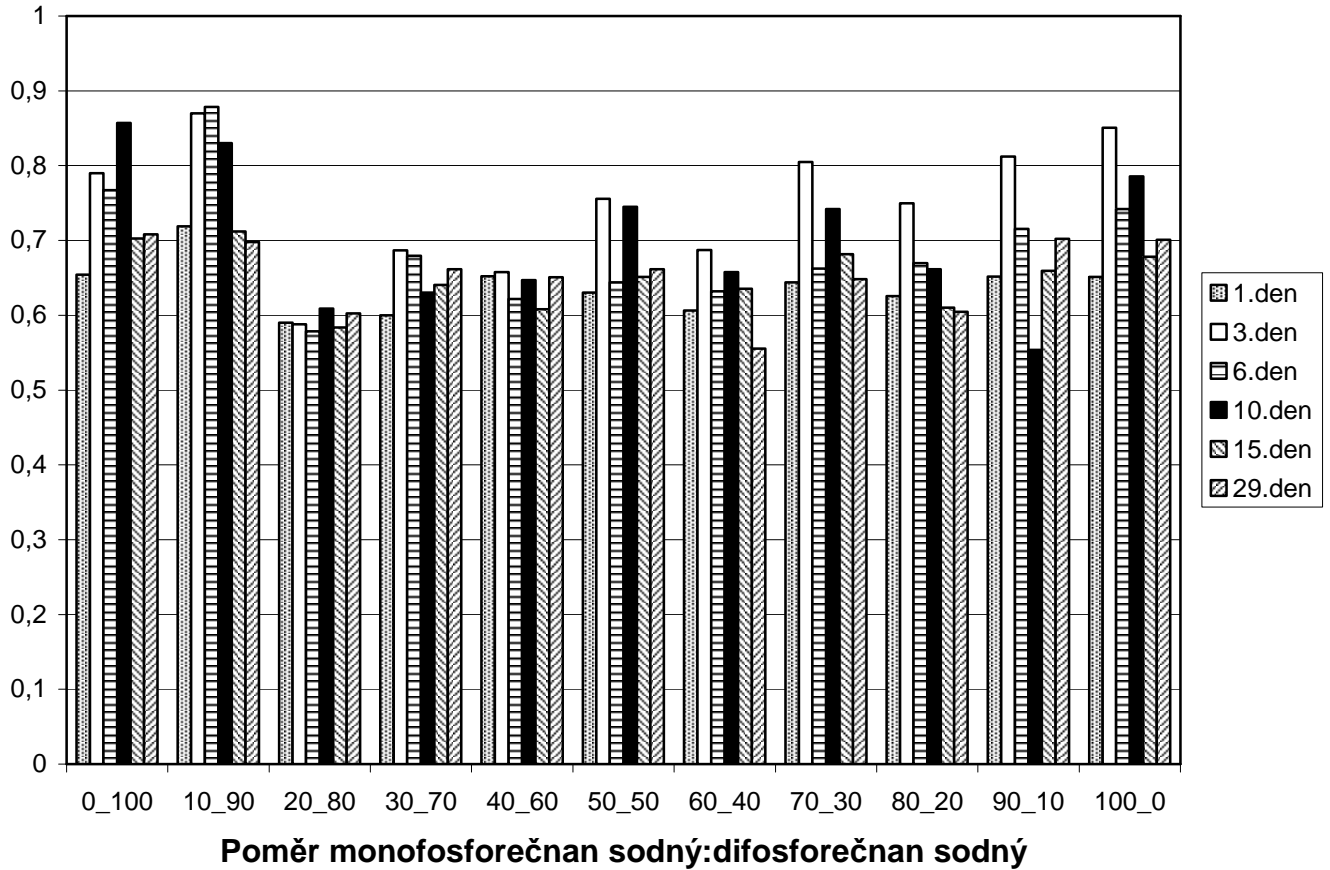


Graf 18: Relativní lepivost taveného sýra s polyfosforečnanem sodným (POLY) a trifosforečnanem sodným (PSTP)

Relativní lepivost taveného sýru mírně klesala s rostoucím zastoupením POLY ve směsi s PSTP. Nejmenších hodnot relativní lepivosti bylo dosaženo s převahou POLY ve směsi s PSTP.

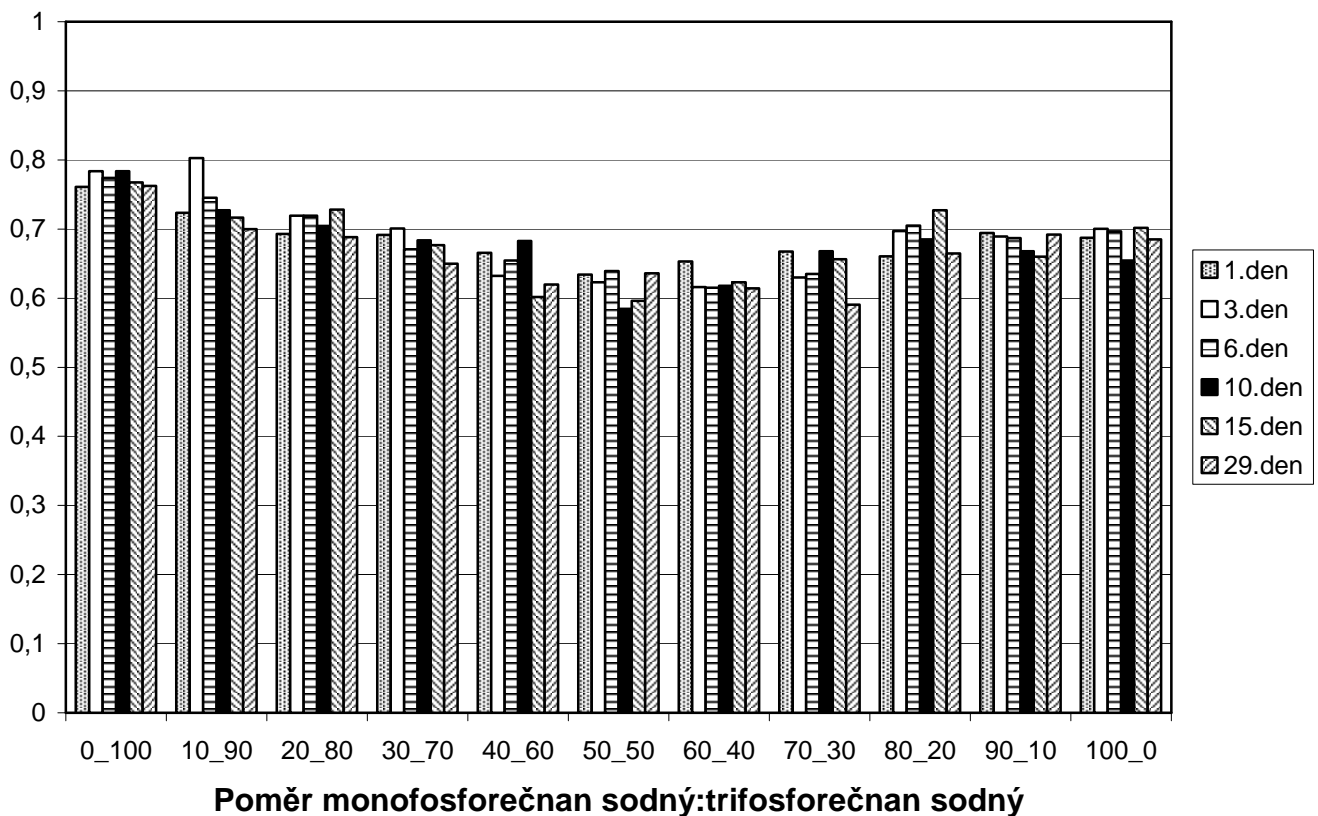
6.2.3 Kohezivnost (soudržnost)

Tento parametr je definován jako síla vnitřní soudržnosti tvořící potraviny [16].



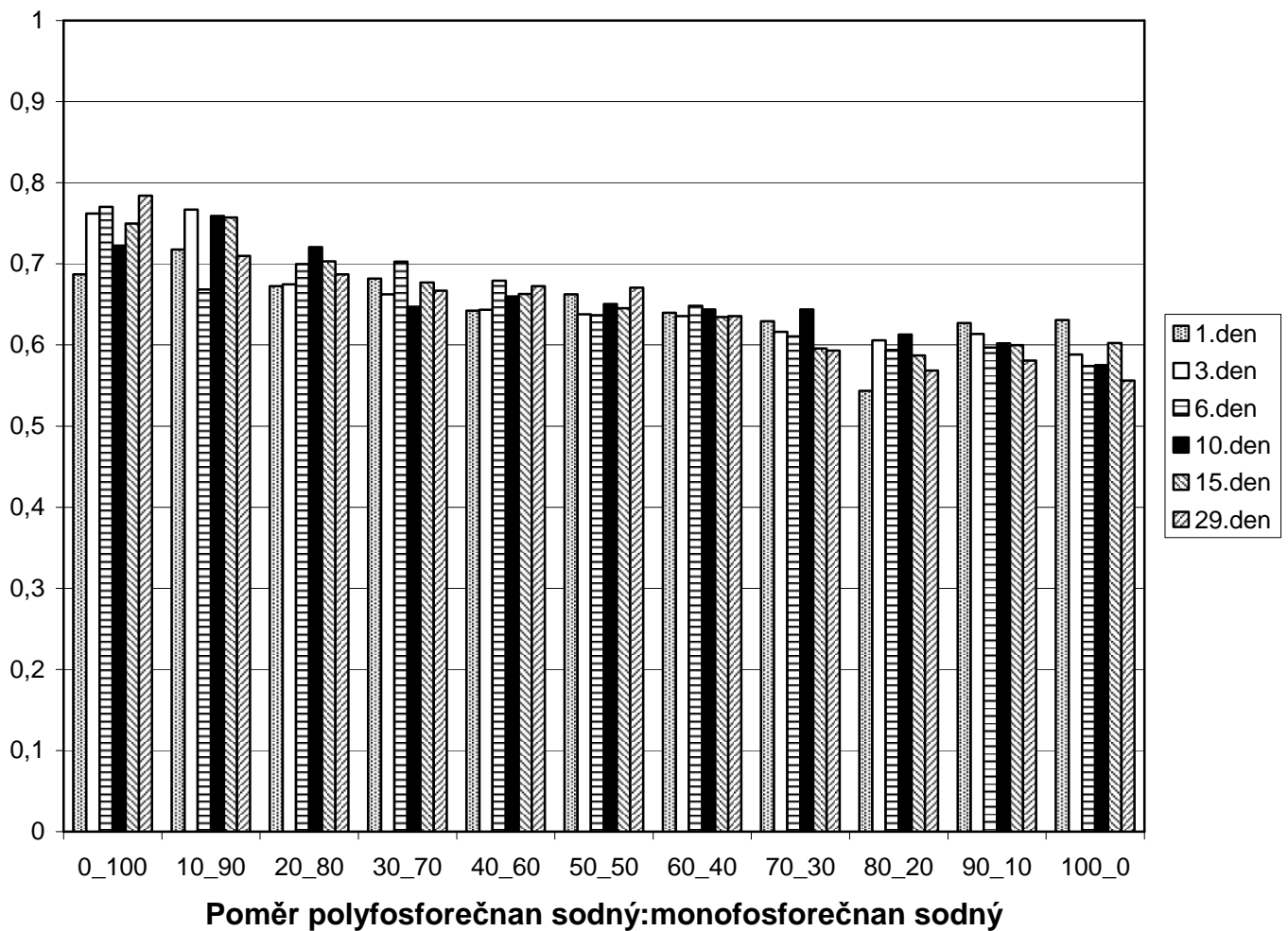
Graf 19: Kohezivnost taveného sýra s monofosforečnanem sodným (DSP) a difosforečnanem sodným (TSPP)

Nejmenší soudržnost vykazoval tavený sýr vyrobený pomocí DSP a TSPP ve vzájemném poměru 20:80. Největších hodnot tento měřený parametr dosáhl v případě taveného výrobku s DSP a TSPP v poměru 0:100, 10:90 a také 90:10 a 100:0



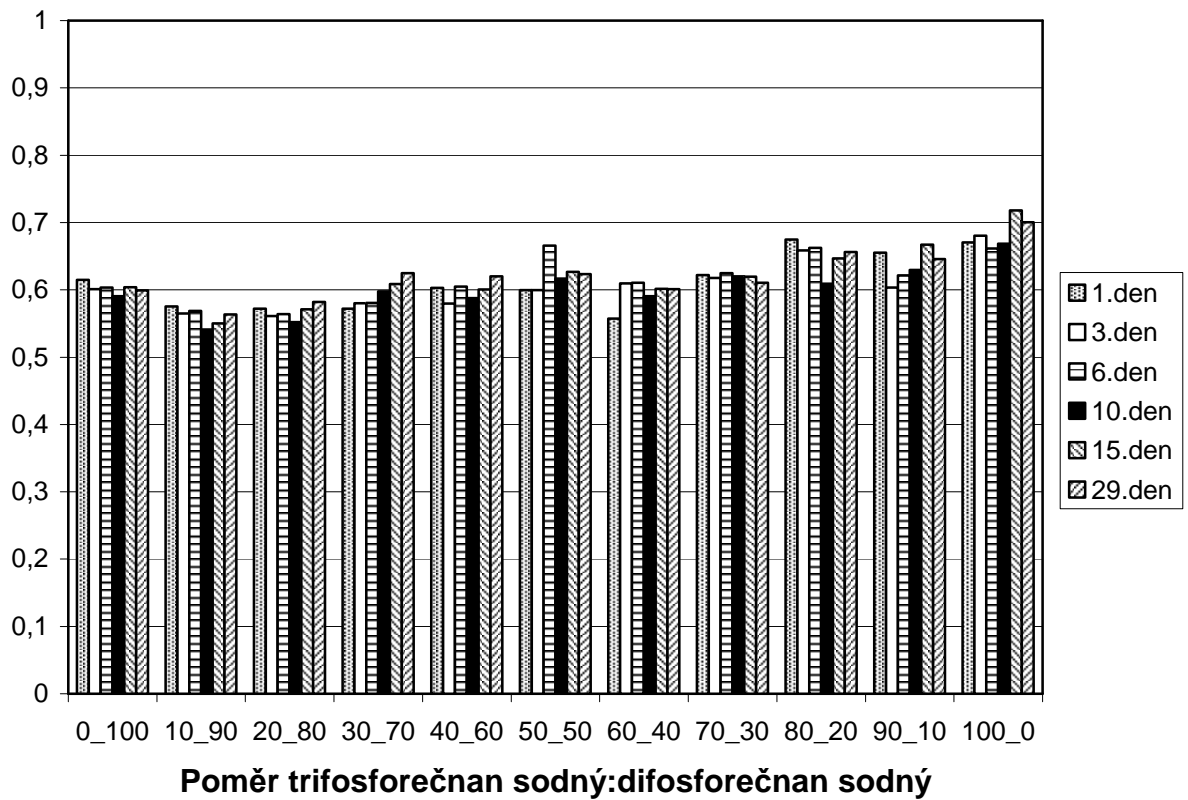
Graf 20: Kohezivnost taveného sýra s monofosforečnanem sodným (DSP) a trifosforečnanem sodným (PSTP)

Největší soudržnost byla pozorována u taveného sýru vyrobeného pouze s PSTP. K mírnému snižování tohoto parametru docházelo s rostoucím zastoupením DSP až do poměru DSP:PSTP 60:40. Přes poměry DSP:PSTP 70:30 a 80:20 byl zaznamenán mírný vzestup soudržnosti taveného sýru. Od tohoto zastoupení až do úplného podílu DSP v taveném sýru byla změřena zhruba stejně velká soudržnost. Nejmenší velikost tohoto parametru je možno přidělit tavenému sýru s DSP:PSTP v poměru 50:50 a 60:40.



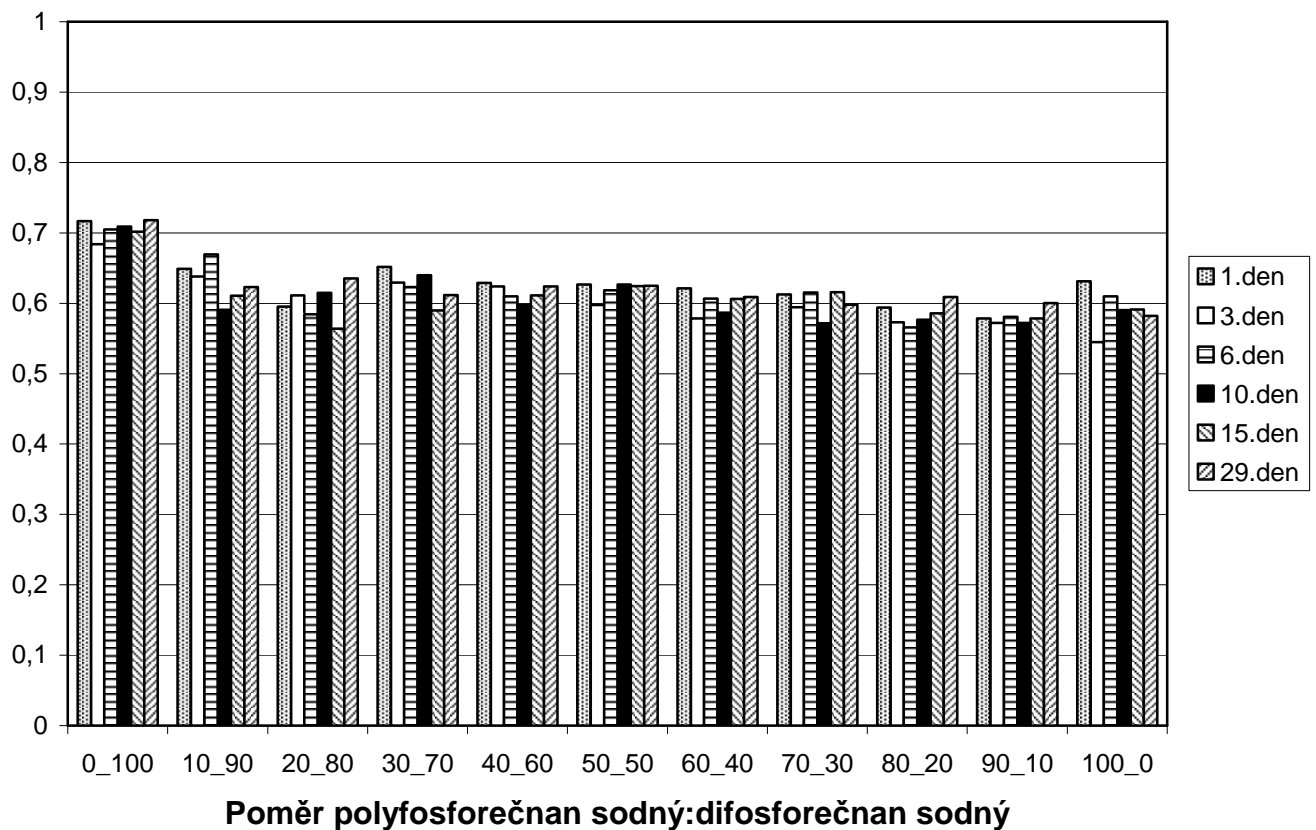
*Graf 21: Kohezivnost taveného sýra s polyfosforečnanem sodným (POLY)
a monofosforečnanem sodným (DSP)*

Z grafu je možno vidět, že soudržnost taveného sýru klesá a rostoucím množstvím POLY a se zmenšujícím se zastoupením DSP v jejich směsi. Z toho vyplývá, že nejmenší soudržnost byla prokázána u taveného sýru vyrobeného pouze s pomocí POLY a naopak největší hodnotu tohoto parametru jsme mohli zaznamenat u taveného výrobku pouze se zastoupením DSP.



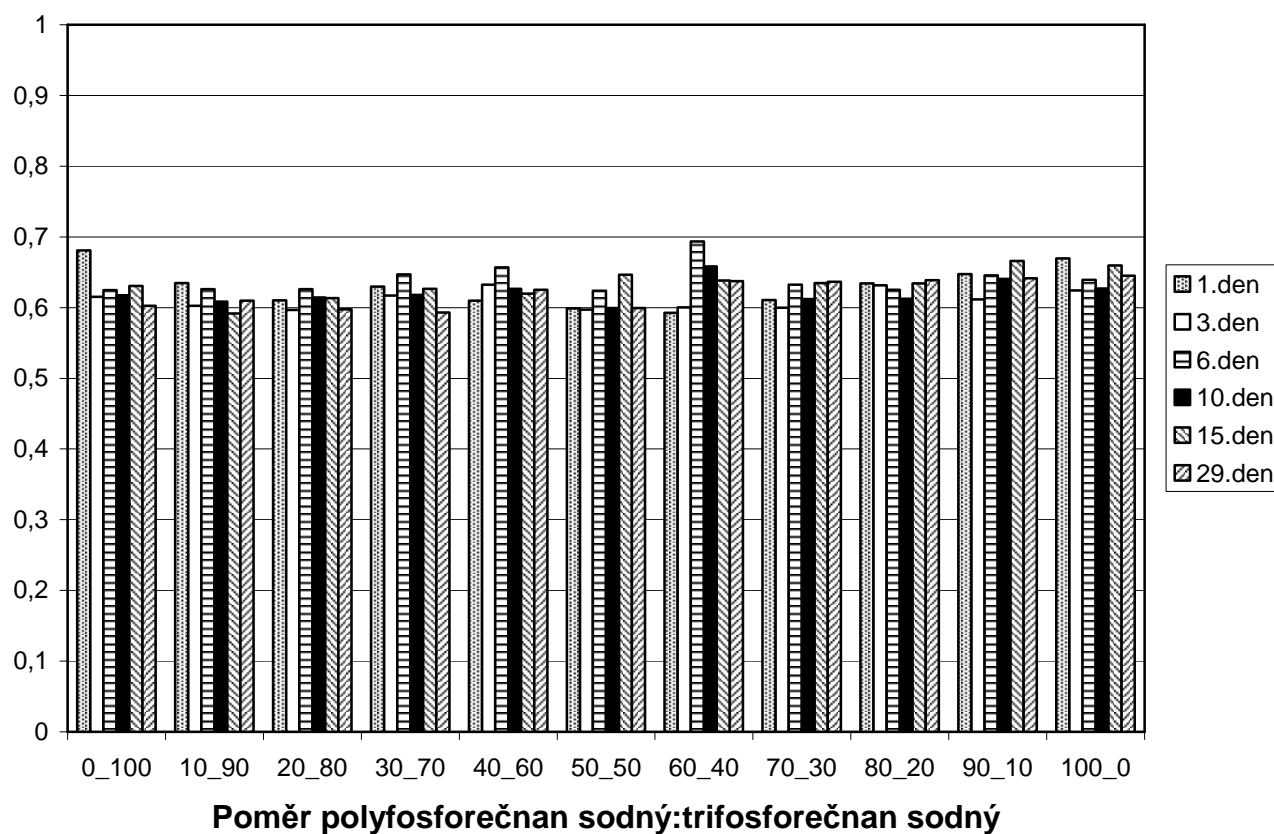
Graf 22: Kohezivnost taveného sýra s trifosforečnanem sodným (PSTP) a difosforečnanem sodným (TSPP)

V případě použití směsi PSTP a TSPP na výrobu taveného sýru se při měření soudržnosti neprojevily velké rozdíly při různých zastoupeních jednotlivých solí ve směsi. I přesto je možno určit, že nejmenší soudržnost byla vypořovávána u taveného sýru s PSTP:TSPP v poměru 10:90 a 20:80 a naopak největší soudržnost v případě poměru těchto solí 100:0



Graf 23: Kohezivnost taveného sýra s polyfosforečnanem sodným (POLY) a difosforečnanem sodným (TSPP)

Největší soudržnost byla naměřena u taveného sýru při použití pouze TSPP na jeho výrobu. S rostoucím množstvím POLY ve směsi s TSPP nedocházelo k velkým změnám v tomto parametru, bylo však možno pozorovat mírně klesající trend.



*Graf 24: Kohezivnost taveného sýra s polyfosforečnanem sodným (POLY)
a trifosforečnanem sodným (PSTP)*

V případě použití směsi PSTP a POLY na výrobu taveného sýru nebyly naměřeny výrazné změny tohoto parametru v závislosti na různé zastoupení těchto jednotlivých solí ve směsi.

6.3 Roztékavost

U námi vyrobených tavených sýrů byla měřena i jejich roztékavost. Zjištěné výsledky byly vyhodnoceny dle stupnice uvedené v metodice.

Tabulka 2: Roztékavost taveného sýra s monofosforečnanem sodným (DSP)

a difosforečnanem sodným (TSPP)

Poměr DSP:TSPP	1.den	3.den	6.den	10.den	15.den	29.den
100:0	6	6	5,5	6	6	6
90:10	6	5,5	5	5	6	6
80:20	5	5	4,5	5	5	5
70:30	4	4,5	4	4	4,5	4
60:40	4	4	4	3,5	4	4
50:50	3	3,5	3	3	3,5	3
40:60	3,5	3,5	4	3,5	4	4
30:70	4	4	4	4	4	4
20:80	4	4	4	4	4,5	4
10:90	5	4,5	4,5	4,5	5	4,5
0:100	5	4,5	5	5	5	5

Z vše uvedené tabulky je možno vidět, že roztékavost taveného sýru byla největší při použití jen DSP na výrobu taveného produktu. V tomto případě byl pozorován nárůst plochy vzorku až o 75 %. S rostoucím množstvím TSPP a s klesajícím zastoupením DSP ve směsi bylo zjištěno i zmenšení roztékavosti. Tento trend byl pozorován do vzájemného poměru DSP:TSPP 50:50, kdy nárůst plochy taveného sýru byl 10%. Od tohoto poměru se s dalším zvyšováním TSPP na úkor DSP ve směsi zvětšovala i roztékavost. V případě samotného TSPP byla roztékavost 25 – 50 %. Bylo prokázáno, že tavené sýry s převahou DSP se vyznačují větší roztékavostí, než tavené výrobky obsahující pouze TSPP.

Tabulka 3: Roztékavost taveného sýra s monofosforečnanem sodným (DSP)
a trifosforečnanem sodným (PSTP)

Poměr DSP:PSTP	1.den	3.den	6.den	10.den	15.den	29.den
100:0	6	5	6	6	6,5	5
90:10	5	4	4,5	4,5	5	5
80:20	4	3,5	4	4	4	4
70:30	4	3,5	4	3,5	3,5	4
60:40	3,5	3	3	3	3	3,5
50:50	3	2,5	2,5	2,5	3	3
40:60	3	3	3	3	3	3
30:70	3	3	3	3	3	3
20:80	3	3	3	3	3	3
10:90	4	3,5	4	3,5	4	4
0:100	4,5	4	4	4	4,5	4

Tabulka udává, že roztékavost taveného sýru vyrobeného pouze s DSP byla největší a opět byl potvrzen nárůst plochy až o 75 %. S rostoucím obsahem PSTP a klesajícím zastoupení DSP ve směsi byl zjištěn klesající trend tohoto parametru, až do vzájemného zastoupení solí DSP:PSTP 50:50. Roztékavost taveného sýru vyrobeného pomocí tohoto poměru již zmíněných tavicích solí byla maximálně 10 % a nižší. Následně byl pozorován opět nárůst tohoto parametru se zvětšujícím se množstvím PSTP ve směsi s DSP. Roztékavost taveného sýru obsahujícího pouze PSTP byla až 25 %. DSP poskytuje více roztékavé sýry, než samotný PSTP.

Tabulka 4: Roztékavost taveného sýru s polyfosforečnanem sodným (POLY)
a monofosforečnanem sodným (DSP)

Poměr POLY:DSP	1.den	3.den	6.den	10.den	15.den	29.den
100:0	2	2	2	2	2	2
90:10	2	2	2	2	2	2
80:20	2	2	2	2	2	2
70:30	2	2	2	2	2	2
60:40	2	2	2	2	2	2
50:50	2,5	2	2	2,5	2	2,5
40:60	2,5	2	2,5	2,5	2	2,5
30:70	3	2,5	3	3	2,5	3
20:80	3,5	3	3,5	3,5	3	2
10:90	4,5	4	4,5	4	4	4,5
0:100	6	5	6	5,5	5	6

Z údajů uvedených výše je naprosto patrné, že při použití samostatného POLY byla roztékavost taveného sýru nulová. Tento trend byl pozorován i s rostoucím zastoupení DSP, ale jen do jejich vzájemného poměru POLY:DSP 50:50. Při takovém poměru těchto tavicích solí, byly pozorovány jen nepatrné nárůsty plochy. Od tohoto vzájemného zastoupení DSP a POLY ve směsi byl zaznamenán s rostoucím obsahem DSP a klesajícím množstvím POLY i růst roztékavosti taveného sýru. Největších hodnot tento parametr dosáhl v případě aplikace pouze DSP, kdy se tavený sýr vyrobený pouze s touto solí vyznačoval zvětšením plochy opět až o 75 % oproti původnímu vzorku.

Tabulka 5: Roztékavost taveného sýra s difosforečnanem sodným (TSPP)
a trifosforečnanem sodným (PSTP)

Poměr TSPP:PSTP	1.den	3.den	6.den	10.den	15.den	29.den
100:0	4,5	5	5	4,5	5	5
90:10	4	4,5	5	4	5	4,5
80:20	3,5	4	4	3,5	4	4
70:30	3	3,5	3	3	3,5	3,5
60:40	2,5	3	3	2,5	3	3
50:50	2,5	3	3	2	2,5	2,5
40:60	2,5	3	3	2	3	3
30:70	3	3	3	2,5	3,5	3
20:80	3	3,5	4	3	4	4
10:90	3,5	4	4	3,5	4	4
0:100	4	4	4,5	4	4,5	4,5

Z tabulky je možno vypočítat, že roztékavost taveného sýru je největší v případě použití jen TSPP na jeho výrobu. U takového taveného výrobku se pohyboval nárůst plochy vzorku v rozmezí 25 – 50 %. S rostoucím množstvím PSTP ve směsi s TSPP hodnota tohoto parametru klesala, ale jen do jejich vzájemného poměru 50:50. V tomto bodě se roztékavost taveného sýru pohybovala od 0 % do 10 %. Následně s rostoucím zastoupením PSTP a s klesajícím obsahem TSPP ve směsi došlo opět k mírnému zvýšení roztékavosti a v momentě kdy obsah PSTP v taveném sýru byl 100% nárůst plochy vzorku po zahřátí byl 10 – 25 %. Roztékavost taveného sýru vyrobeného pouze s PSTP však nedosáhla takových rozměrů jako v případě taveného sýru vyrobeného pouze s TSPP.

Tabulka 6: Roztékavost taveného sýra s polyfosforečnanem sodným (POLY)
a difosforečnanem sodným (TSPP)

Poměr POLY:TSPP	1.den	3.den	6.den	10.den	15.den	29.den
100:0	2	2	2	2	2	2
90:10	2	2	2	2	2	2
80:20	2	2	2	2	2	2
70:30	2	2	2	2	2	2
60:40	2	2	2	2	2	2
50:50	2,5	2,5	2	2,5	2	2,5
40:60	2,5	3	2,5	3	2,5	2,5
30:70	3	3	2,5	3	2,5	3
20:80	3,5	3,5	3	3,5	3	3
10:90	4,5	4	3,5	4,5	4	4
0:100	5,5	5	4,5	5,5	5	5

V případě převahy POLY ve směsi s TSPP nebyla pozorována žádná roztékavost taveného sýru. Při poměru POLY:TSPP 50:50 byly zjištěny drobné změny tohoto parametru. S následným růstem TSPP a poklesem POLY ve směsi bylo měřeno mírné zvětšování roztékavosti taveného sýru až do nárůstu plochy vzorku 25 – 50 % u taveného sýru vyrobeného pouze s TSPP.

Tabulka 7: Roztékavost taveného sýra s polyfosforečnanem sodným (POLY)
a trifosforečnanem sodným (PSTP)

Poměr POLY:PSTP	1.den	3.den	6.den	10.den	15.den	29.den
100:0	2	2	2	2	2	2
90:10	2	2	2	2	2	2
80:20	2	2	2	2	2	2
70:30	2	2	2	2	2	2
60:40	2	2	2	2	2	2
50:50	2,5	2	2,5	2	2	2
40:60	2,5	2	2,5	2	2	2,5
30:70	3	2,5	3	2,5	2,5	3
20:80	3,5	3	3	3	3	3,5
10:90	4	3,5	3,5	3,5	3,5	4
0:100	4,5	4	4	4	4	4,5

Roztékavost taveného sýru obsahující převážně POLY na úkor PSTP ve směsi byla nulová. Při vzájemném zastoupení solí POLY:PSTP 50:50 byly pozorovány zanedbatelné změny v roztékavosti. Od tohoto poměru s rostoucím zastoupením PSTP a s klesajícím obsahem POLY ve směsi byl měřen drobný růst roztékavosti. V taveného sýru obsahujícím pouze PSTP byl nárůst plochy vzorku po zahřátí 10 – 25%.

6.4 Diskuze

Během 29 denního skladování modelových vzorků tavených sýrů byly zjišťovány změny jakostních parametrů. Tyto změny byly zjišťovány metodami chemické analýzy (sušina, pH), texturní profilové analýzy a analýzou roztékavosti.

Hodnota pH taveného sýru vyrobeného pomocí směsi DSP:TSPP ani v jednom poměru neodpovídala optimální velikosti pH (5,6 – 6,1). Tomuto rozmezí neodpovídalo ani použití různým poměrů DSP:PSTP, či směsi TSPP s PSTP v různých zastoupeních jednotlivých tavicích solí, na výrobu taveného sýru, neboť i takto připravené tavené výrobky se vyznačovaly příliš vysokými hodnotami pH. Příznivější výsledky byly zjištěny při aplikaci POLY ve směsi s DSP ve vzájemných poměrech 80:20, 70:30, 60:40 v krajním případě i 50:50 kdy se hodnoty pH pohybovaly v optimální oblasti tohoto parametru. Další použitelné směsi tavicích solí k dosažení optimálních hodnot taveného sýru byly následující: POLY:TSPP v poměrech 80:20, 70:30 a 60:40 a také směs POLY:PSTP ve vzájemném zastoupení 70:30, 60:40, 50:50 a 40:60. Na hranici s optimální hodnotou pH se pohyboval tavený sýr vyrobený pomocí směsi POLY:PSTP 30:70. Při aplikaci pouze DSP, TSPP a PSTP nebo při jejich převažujících množstvích ve směsi byly měřené hodnoty příliš velké ($\text{pH} > 6$). V případě užití POLY na výrobu taveného sýru byla jeho hodnota pH příliš nízká. Tyto tvrzení jsou odpovídají pracím Gupta *et al.* (1984), Abdel-Hamid *et al.* (2000) a Sádličková *et al.*, (2010) [30, 63, 62].

Po 29 dnech skladování byl pozorován mírný pokles hodnot pH modelových vzorků tavených sýrů. Tento jev je v dostupné literatuře přisuzován možné hydrolyze fosforečnanových tavicích solí během skladování [12, 30, 61]. Hydrolyze tavicích solí jsou mohou být připsány i mírné změny texturních parametrů, které byly v průběhu skladování taktéž pozorovány. Oproti tom je ovšem nutno konstatovat, že ke změně pH a tím i k mírné změně texturních vlastností došlo i u vzorků, u nichž byl aplikován pouze DSP a u kterého se další hydrolyza již nepředpokládá.

Studiem texturních parametrů se již kolektivy autorů zabývaly, ovšem tyto práce byly zaměřeny na aplikace jednotlivých fosforečnanů do tavených sýrů blokového typu [14, 42, 61]. U roztíratelných tavených sýrů byla studována zejména dynamická oscilační reometrie [61, 62]. Obdobnou penetrační metodu, jakou jsme použili v naší práci, použili

pro stanovení texturních vlastností i Piska & Štětina (2004) a Genovese et al. (2010) [65, 64].

Pomocí texturní profilové analýzy zjištěno, že nejmenší tvrdost byla prokázána u taveného sýru vyrobeného za přídavku samostatného DSP. Toto tvrzení je v souladu s pracemi Lu et al. (2008), Dimitreli & Thomareis (2009) a Sádličková et al. (2010) [14, 61, 62]. O něco větší tvrdostí se vyznačoval tavený sýr obsahující jen TSPP a po té i tavený výrobek se zastoupením PSTP jako samostatné tavicí soli ve vzorku. Tyto výsledky jsou v souladu s pracemi Lu et al. (2008) a Sádličková et al. (2010) [14, 62]. Největší tvrdost byla jasně prokázána u taveného sýru, na jehož přípravu byl použit POLY. Tento trend je shodný s pracemi autorů Dimitreli & Thomareis (2009) [61]. Naopak Sádličková et al. (2010) [62] uvádí, že vzorky s POLY vykazují menší tuhost než modelové vzorky tavených sýrů s TSPP či PSTP. Tento nesoulad poukazuje na důležitost studovat chování tavených sýrů i pomocí deformací, které odpovídají tlakům, kterým je potravina vystavována při samotné konzumaci spotřebiteli.

Nejmenší soudržnost byla pozorována u taveného sýru obsahujícího POLY a zvyšovala se přes TSPP, DSP k PSTP. Rozdíly mezi těmito solemi byly však minimální a těžko rozpoznatelné. Závěr, že nejmenší kohezivnost v taveném sýru způsobuje POLY je v souladu s Dimitreli & Thomareis (2009) [61].

Relativní lepivost v tavených sýrech v závislosti na použitých tavicích solích se projevila klesajícím trendem směrem DSP > TSPP > PSTP > POLY. Dimitreli & Thomareis (2009) [61] také uvádí, že nejmenší lepivost taveného sýru způsobuje POLY.

Rozdílnost texturních vlastností tavených sýrů hledá Shirashoji et al. (2010) [42] především ve stupni disperze nerozpustné kaseinové matrice. Během chlazení totiž dochází k reasociaci dispergovaných kaseinů a tvorbě jemné gelové struktury. Při tomto procesu lze rovněž očekávat formaci komplexů mezi fosforečnanovými tavicími solemi a vápníkem, které mohou napomoci vazbám kaseinů v gelovém systému. Čím vyšší je stupeň dispergace kaseinů, tím intenzivněji probíhají procesy vázání vody a emulgace tuky a tím tužší je poté finální tavený sýr [33, 46]. Stupeň dispergace kaseinů v systému tavených sýrů souvisí se schopností fosforečnanů vázat vápník do komplexů [42]. Dle autorů [11, 30, 66] klesá schopnost výměny fosforečnanů a vazby vápníku do komplexů v následujícím pořadí: POLY, PSTP, TSPP. Nejvyšší tvrdost lze tedy přičítat

vysoké schopností polyfosforečnanu vázat vápník do komplexů a tím zlepšit disperzi kaseinů [33, 42].

Vzorky, do kterých byly přidány binární směsi DSP s TSPP či PSTP vykazovaly odlišný trend sledovaných texturních parametrů v závislosti na aplikovaném poměru fosforečnanů. Podle výše zmíněného předpokladu byl očekáván pozvolný vývoj texturních parametrů v závislosti na postupně se měnícím poměru v binárních směsích, který byl pozorován u ostatních binárních směsích – POLY s DSP, TSPP nebo PSTP; a TSPP a PSTP. Odlišný průběh může být vysvětlen vysokou schopností difosforečnanu a trifosforečnanu tvořit s mléčnými proteiny gely, která je vyšší než u polyfosforečnanu [11, 45].

Při měření roztékavosti bylo zjištěno, že roztékavost taveného sýru v závislosti na použitých tavicích solí roste od polyfosforečnanu sodného přes trifosforečnan sodný následně přes difosforečnan sodný až k monofosforečnanu sodného, který způsoboval v tavených sýrech jejich velkou roztékavost. Tyto výsledky jsou v souladu s autory Thomas *et al.* (1980) a Rayan *et al.* (1980) [67, 68], kteří dospěli k závěru, že nejméně roztékavé jsou vzorky obsahující polyfosforečnan a největší roztékavost vykazují tavené sýry, které byly vyrobeny pomocí monofosforečnanu.

ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na vliv fosforečnanových tavicích na texturní vlastnosti, pH a roztékavost taveného sýru.

Úkolem této práce bylo vyrobit tavené sýry pomocí dodaných tavicích solí, konkrétně aplikací monofosforečnanu sodného, difosforečnanu sodného, trifosforečnanu sodné a polyfosforečnanu sodného v jejich vzájemných směsích a různých poměrech. Cílem tohoto experimentu bylo zjistit jaký vliv mají tavicí soli na texturní vlastnosti, pH a roztékavost tavených sýrů.

Byly zjištěny následující výsledky:

- na výrobu tavených sýrů není vhodná aplikace jednotlivých tavicích solí samostatně.
- hodnoty pH v případě samostatného použití monofosforečnanu sodného, difosforečnanu sodného nebo trifosforečnanu sodného při výrobě taveného sýru mají za následek velmi vysoké hodnoty pH finálního výrobku.
- přidavek samostatného polyfosforečnanu sodného způsobil velmi nízké pH taveného sýru.
- optimálních hodnot pH (5,6 – 6,1) bylo dosaženo v tavených sýrech připravených pomocí směsi polyfosforečnanu sodný:monofosforečnan sodný v poměrech 80:20, 70:30, 60:40 případně i 50:50.
- další směsi vhodné k přípravě taveného sýru dle optimální hodnoty pH jsou polyfosforečnan sodný:difosforečnan sodný v poměrech 80:20, 70:30 a 60:40 a také polyfosforečnan sodný:trifosforečnan sodný ve vzájemném zastoupení 70:30, 60:40, 50:50 a 40:60 případně i 30:70.
- texturní profilovou analýzou bylo zjištěno, že tvrdost je mnohem vyšší u taveného sýru s polyfosforečnanem sodným, nebo s jeho převažujícím zastoupením ve směsi.
- velikosti tohoto parametru byla nejmenší u tavených výrobků, které byly připraveny aplikací monofosforečnanu sodného, případně směsí která obsahovala převážně tuto tavicí sůl.

- nejmenší kohezivnost byla prokázána u taveného sýru obsahujícího polyfosforečnan sodný.
- relativní lepivost rostla v závislosti na množství solí ve směsi následovně: polyfosforečnan sodný < trifosforečnan sodný < difosforečnan sodný < monofosforečnan sodný.
- nejvíce roztékavý tavený sýr způsoboval monofosforečnan sodný, dále v pořadí byl difosforečnan sodný, následně trifosforečnan sodný
- nejmenší roztékavost byla zjištěna u taveného sýru vyrobeného pouze s polyfosforečnanem sodným, či s jeho převahou v dané směsi.

Závěrem lze říci, že fosforečnanové tavicí soli ovlivňují texturní vlastnosti, pH i roztékavost tavených sýrů ve velké míře. Na výrobu tavených sýrů je mnohem lepší použít směsi jednotlivých tavicích solí.

Naměřená data, která byla uvedena v této diplomové práci, byla použita pro kompletaci rozsáhlejších prací, které jsou uvedeny v přílohách této diplomové práce (Přílohy I – III).

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] GAJDŮŠEK, S. (1998). Mlékařství II. 1. vyd. Brno: MZLU. ISBN: 80-7157-342-6
- [2] Vyhláška Ministerstva zemědělství č.77/2003 Sb., kterou se stanoví požadavky pro mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje, v platném znění
- [3] BUŇKA F., HRABĚ, J. (2006). Tavené sýry. *Potravinářská revue*, 3, 13-16. ISSN: 1801-9102.
- [4] BUŇKA F., HRABĚ, J., HOZA, I. (2006). Tavené sýry ve výživě člověka. *Výživa a potraviny*, 61, 135 – 136, ISSN: 1211-846X.
- [5] BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L. (2009). Úloha tavicích solí při výrobě tavených sýrů. *Potravinářská revue* 1, 11-14.
- [6] GUINEE, T. P., CARIĆ, M., KALÁB, M. (2004). Pateurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. In Fox, P.E. (ed), *Cheese: Chemistry, Physic and Microbiology*. Volume 2: Major cheese groups. 3. ed. London: Elsevier Applied Science, 349-394.
- [7] BUŇKA F., BUŇKOVÁ L., KRÁČMAR S. (2009). Základní principy výroby tavených sýrů, Folia Mendlovy zemědělské a lesnické univerzity Brně, vyd. Mendlova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, ISBN 978-80-7375-336-8, 1.vyd.
- [8] BACHMANN, H. P. (2001). Cheese analogues: a review. *International Dairy Journal*, 11, s. 505 - 515.
- [9] GALIOVÁ, L. (2009). Vliv vybraných tavicích solí na jakost tavených sýrů [bakalářská práce], UTB FT Zlín.
- [10] 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 mixtures. *International Journal od Food Properties*, 7, 429 - 448.
- [11] MOLINS, R. A. (1991). Phosphates in food. *Boca Raton: CRC Press*, 1991.

- [12] AWAD, R. A., ABDEL-HAMID, L. B., EL-SHABRAWY, S. A., SINGH, R. K. (2002). Texture and Microstructure of Block Type Processed Cheese with Formulated Emulsifying Salt Mixtures. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.*, 35, 54 – 61.
- [13] LEE, S.K., KLOSTMEYER, H. (2001). The Effect of pH on the Rheological Properties of Reduced-fat Model Processed Cheese Spreads. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.*, 34, 288 – 292.
- [14] LU, Y., SHIRASHOJI, N., LUCEY, J.A. (2008). Effect of pH on the Textura Properties and Meltability of Pasteurized Process Cheese Made with Different Types of Emulsifying Salts. *Journal of food science*, 363 – 369.
- [15] HLADKÁ K., BUŇKA F., JEDLIČKOVÁ L., PACHLOVÁ V., KRÁČMAR S., (február/2010). Kyselina adipová a její sůl při produkci tavených syrových výrobků, *Potravinářstvo*, ročník 4, s. 152 – 157 (mimoriadne číslo), [online] [cit. 2010-11.11] dostupné z:
http://www.potravinarstvo.com/dokumenty/mc_februar_2010/pdf/2/Hladka.pdf
- [16] ROSENTHAL, A.J., (1999). Relation between Instrumental and Sensory Measures of Food Texture, ISBN 0-8342-1238-2.
- [17] Spotřeba potravin a nealkoholických nápojů (na obyvatele za rok) [online] [cit. 2011-3.17] dostupný z:
[http://www.czso.cz/csu/2010edicniplan.nsf/t/EA0049D17E/\\$File/30041001.pdf](http://www.czso.cz/csu/2010edicniplan.nsf/t/EA0049D17E/$File/30041001.pdf)
- [18] CIPRYSOVÁ, Z., WEISEROVÁ, E., BUŇKA, F., HORÁKOVÁ, K., JANIŠ, R., 2010. Závislost vybraných texturních parametrů na obsahu a druhu tuku v tavených sýrech. In. *Zborník: Bezpečnosť a kontrola potravín*, SPU v Nitre, 24. – 25. 4. 2010, ISBN 978-80-552-0350-8.
- [19] MUTHUMUKUMARAPPAN, K., WANG, Y.- C., GUNASEKARAN, S., (1999). Short communication, Modified Schreiber test for evaluation of mozzarella meltability cheese, *Journal of Dairy Science*, 82, 1068 – 1071.
- [20] EVERARD, C.D., O'CALLAGHAN, D.J., O'KENNEDY, B.T., O'DONNELL, C.P., SHEEHAN, E.M., DELAHUNTY, C.M. (2006, 2007), A three-point bending test for prediction of sensory texture in processed cheese.

- [21] CAIS SOKOLIŇSKA, D., PIKUL, J., (2009), Cheese Meltability as Assessed by the Tube Test and Schreiber Test Depending on Fat Contents and Storage Time, Based on Curd-Ripened Fried Cheese, *Czech Journal of Food Science*, Vol. 27, No. 5: 301 – 308.
- [22] FAGAN, C.C., EVERARD, C., O'DONNELL, C.P., DOWNEY, G., SHEEHAN, E.M., DELAHUNTY, C.M., O'CALLAGHAN, D.J., HOWARD, W., (2006). Prediction of processed cheese instrumental texture and meltability by mid-infrared spectroscopy coupled with chemometric tools, *Journal of Food Engineering*, 80 (2007), 1068 – 1077
- [23] KOVÁŘOVÁ, P., (2007). Vliv přísávků karagenanu na jakost tavených sýrů, [diplomová práce], UTB FT Zlín.
- [24] GALÁŘOVÁ, B., (2006). Vliv přísávků 1-monoacylglycerolů na jakost tavených sýrů, [diplomová práce], UTB FT Zlín.
- [25] CARIĆ, M., KALÁB M., (1997). Processed cheese products, In Fox, P.F. (ed), *Cheese: Chemistry, Physic and Microbiology*. Volume 2: Major cheese groups, 2 ed., Elsevier Applied Science, 467 – 505
- [26] MALSOW, B.B, JAROS, D., ROHM, H., (2007). Processed cheese and cheese analogues, In Tamime A.Y. (Ed), *Structure of Dairy Products*, 1 ed., Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 210 – 235.
- [27] MACKŮ, I., (2009). Viskoelastické a senzorické vlastnosti tavených sýrů s přísávkem pektinu, [disertační práce], UTB FT Zlín.
- [28] 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*, Vol .80, No. 8, 1483 – 1489.
- [29] LAZÁRKOVÁ, Z., (2009). Faktory ovlivňující jakost sterilovaných tavených sýrů, [disertační práce], UTB FT Zlín.
- [30] GUPTA, S.K., KARAHADIAN, C., LINDSAY, R.C., (1984). Efect of Emulsifier Salts on Textural and Flavour Properties of Processed cheeses, *Journal of Dairy Science*, Vol. 67, No. 4, 764 – 778.

- [31] BRANEN, A.L., DAVISON, P.M., SALMINEN S., THORNGATE, J.H., (2002). Food Aditives, 2.ed, *Marcel Dekker: New York*, ISBN: 0-8247-93439.
- [32] HRABĚ, J., BŘEZINA P., VALÁŠEK, P., (2008). Technologie výroby potravin živočišného původu, UTB FT Zlín.
- [33] MIZUNO, R., LUCEY, J.A., (2005). Effect of Emulsifying Salts on the Turbidity and Calcium-Phosphate-Protein Interactions in Kasein Micelles, *Journal of Dairy Science*, Vol. 88, No. 9, 3070 – 3078.
- [34] GUINNE, T.P., (2003). Pasteurized processed cheese products, *Encyklopedia of Dairy Science*, Vol. 1 London: Elsevier Science, 411 – 418.
- [35] BUŇKA, F. (2004). Vliv sterilačního záhřevu na jakost tavených sýrů určených pro krizové situace [disertační práce]. Vyškov: VVŠ PV.
- [36] LUKÁŠOVÁ, J. a kol., (2001). Hygiena a technologie mléčných výrobků, *Veterinární a farmaceutická univerzita*, 1. vyd., Brno.
- [37] SCHÄR, W., BOSSET, J.O., (2002). Chemical and Physico-Chemical Changes in Processed Cheese and Ready-Made Fondue During Storage, *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 35, 15 – 20.
- [38] RANKEN, M.D., KILL, R.C, BAKER, C.G.J., (1997). Food industrie manual, 24.ed, *Blackie Academic and Professional: London*, ISBN 0-7514-04047.
- [39] AKHTAR, S., PAREDES-SABJA, D., SARKER, M.R., (2008). Inhibitory effects of polyfosfates on *Clostridium Perifrengens* growth, sporulation and spore outgrowth, *Food Microbiology*, Vol. 25, 802 – 808.
- [40] MAIER, S.K., SCHERER, S., LOESSNER, M.J., (1999). Long-chain polyphosphate cause cell lysis and inhibits *Bacillus cereus* septum formation, which is dependent on divalent cations, *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 65, 3942 – 3949.
- [41] EL-BAKRY, M., DUGGAN, E., O'RIORDAN, E.D., O'SULLIVAN, M.(2011). Effect of chelating salt type on kasein hydration and fat emulsification during manufacture and post-manufacture functionality of imitation cheese, *Journal of Food Engineering*, 102, 145 – 153.

- [42] 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.
- [43] MIZUNO, R., LUCEY, J.A., (2007). Properties of Milk Protein Gels Formed by Phosphates, *Journal of Dairy Science*, Vol. 90, 4524 – 4531.
- [44] MUTHUMUKUMARAPPAN, K., WANG, Y.- C., GUNASEKARAN, S., (1999). Estimating softening point of cheeses. *Journal of Dairy Science*, 82, 2280 – 2286.
- [45] ODAGIRI, S., NICKERSON, TA, (1964). Chain length determination of polyphosphate, *Journal of Dairy Science*, 47, 920 – 921.
- [46] SHIRASHOJI, N., JAEGGI, J. J., & LUCEY, J.A. (2006). Effect of trisodium citrate concentration and cooking time on the physicochemical properties of pasteurized process cheese, *Journal of Dairy Science*, 89, 15 – 28, ISSN: 0022-0302.
- [47] MAGANM N., & OLSENI, M., (2004). Mycotoxins in food. Detection and control. *Boca Raton*: CRG Press.
- [48] MOSS, M., (2002). Toxigenic fungi. In Blackburn, C. W., McClure, P.J. (ed) *Foodborne pathogens*, CRG press, 479 – 488, ISBN 1535-3141.
- [49] MOUNSEY, J.S., & O'RIORDAN, E.D., (2001). Characteristics of imitation cheese containing native starch, *Journal of Food science*, 66, 586 – 591, ISSN 0022-1147.
- [50] PEREIRA, R. B., BENNETT, R. J. & HEMAR, Y., (2001). Rheological and microstructural characteristics of model processed cheese analogues. *Journal of Texture Study*, 32, 349 – 373, ISBN 0022-4901.
- [51] MUIR, D. D., TAMINE, A. Y., SHENANA, M. E. & DAWOOD . A. H., (1999). Processed cheese analogues incorporating fat-substitutes 1. composition, microbiological stability and flavour changes during storage at 5 °C. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 32, 41 – 49, ISSN 0023-6438.

- [52] MARCHESSEAU, S., & CUQ, J. L., (1995). Water-holding capacity and characterization of protein interactions in processed cheese, *Journal of Dairy Research*, 62, 479 – 489, ISSN: 0022-0299.
- [53] KAPPOR, R., & METZGER, L. E., (2008). Process cheese: Scientific and Technological Aspekt – A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7, 194 – 214, ISSN: 1541-4337.
- [54] BOWLAND, E.L. & FOEGEDING, E. A., (2011). Small Strain Oscillatory Shear and Microstructural Analyses of a Model Processed cheese. *Journal of Dairy Science*, 84, 2372 – 2380, ISSN 0022 – 0302.
- [55] LOESSNER, M. J., MAIER, S.K., SCHIWEK, P. & SCHERER, S., (1997). Long-chain polyphosphates inhibit growth of *Clostridium tyrobutyricum* in processed cheese spreads. *Journal of Food Protection*, 60, 493 – 498, ISSN: 0362-028X.
- [56] KNABEL, S. J., WALKER, H. W., & HARTMAN, P. A., (1991). Inhibition of *Aspergillus flavus* and selected Gram-positive bacteria by chelation of essential metal-cations by polyphosphates. *Journal of Food Protection*, 54, 360 – 365, ISSN: 0360-028X.
- [57] VARGA, L., (2005). Use of long-chain polyphosphates mixture for shelf-life extension of processed cheese spreads. *Acta Alimentaria*, 34, 493 – 498, ISSN: 1588-2535.
- [58] FAGAN, C. C., EVERARD, C., O'DONNELL, C. P., DOWNEY, G., SHEEHAN, E.M., DELAHUNTY, C. M. & O'CALLAGHAN, D. J., (2007). Evaluating Mid-infrared Spectroscopy as a New Technique for Predicting Sensory Texture Attributes of Processed cheese. *Journal of Dairy Science*, 90, 1122 – 1132, ISSN: 0022-0302.
- [59] BLAZQUEZ, C., DOWNEY, G., O'CALLAGHAN, D., HOWARD, V., DELAHUNTY, C., SHEEHAN, E., EVERARD, C., & O'DONNELL, C.P., (2006). Modeling of sensory and instrumental texture parameters in processed cheese by near infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Dairy Research*, 73, 58 – 69, ISSN: 0022-0299

- [60] ČSN ISO 5492, Senzorická analýzy – slovník, Český normalizační institut
- [61] 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.
- [62] SÁDLÍKOVÁ, 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.
- [63] ABDEL-HAMID, L. B., EL-SHABRAWY, S. A., AWAD, R. A. (2000). Chemical properties of processed Ras cheese spreads as affected by emulsifying salt mixtures. *Journal of Food Processing Preservation*, 24, 191–208.
- [64] 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.
- [65] 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.
- [66] CARIĆ, M., GANTAR, M., & KALÁB, M. (1985). Effects of emulsifying agents on the microstructure and other characteristics of process cheese – A review. *Food Microstructure*, 4, 297–312.
- [67] THOMAS, M.A., NEWELL, G. & ABAD, G., (1980). Effects of freezing on the objective and subjective properties of processed cheese. *Journal of Food Technology*, 15, 599 – 605, ISSN: 0022 – 1163.

-
- [68] RAYAN, A.A., KALÁB, M., ERNSTROM, C.A., 1980. Microstructure and rheology of process cheese. *Scanning Electron Microscopy*, 3, 635 – 644.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

DSP Monofosforečnan sodný

POLY Polyfosforečnan sodný

PSTP Trifosforečnan sodný

TPA Texturní profilová analýza

TSPP Difosforečnan sodný

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma chemické reakce výměny iontů sodíku za ionty vápníku probíhající během tavení	21
Obrázek 2: Znázornění křivky texturní profilové analýzy	26
Obrázek 3: Texturní profilová analýza – tvrdost	27
Obrázek 4: Texturní profilová analýza – lepivost	27
Obrázek 5: Texturní profilová analýza – soudržnost	28

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Nejčastěji používané tavicí soli a pH jejich 1% vodných roztoků	18
Tabulka 2: Roztékavost taveného sýra s monofosforečnanem sodným (DSP) a difosforečnanem sodným (TSPP).....	58
Tabulka 3: Roztékavost taveného sýra s monofosforečnanem sodným (DSP) a trifosforečnanem sodným (PSTP).....	59
Tabulka 4: Roztékavost taveného sýru s polyfosforečnanem sodným (POLY) a monofosforečnanem sodným (DSP).....	60
Tabulka 5: Roztékavost taveného sýra s difosforečnanem sodným (TSPP) a trifosforečnanem sodným (PSTP).....	61
Tabulka 6: Roztékavost taveného sýra s polyfosforečnanem sodným (POLY) a difosforečnanem sodným (TSPP)	62
Tabulka 7: Roztékavost taveného sýra s polyfosforečnanem sodným (POLY) a trifosforečnanem sodným (PSTP)	63

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha I – WEISEROVÁ, E., BUŇKA, F., CIPRYSOVÁ, Z., GALIOVÁ, L., JANIŠ, R., 2010. Závislost texturních vlastností tavených sýrů na poměru mono- a polyfosforečnanů s vysokým kondenzačním stupněm. In. *Zborník: Bezpečnosť a kontrola potravín*, SPU v Nitre, 24. – 25. 4. 2010, ISBN 978-80-552-0350-8.
- Příloha II - WEISEROVÁ, E., GALIOVÁ, L., JANIŠ, R., BUŇKA, F., 2010. Roztékavost tavených sýrů při záhřevu v závislosti na použitém poměru monofosforečnanů, difosforečnanů a polyfosforečnanů v binárních směsích. In. *Sborník: Hygiene a technologie potravín, XL. Lenfeldovy a Hökleho*, VFU v Brně 14. – 15.10.2010, ISBN 978-80-7305-121-1) a
- Příloha III - WEISEROVÁ, E., DOUDOVÁ, L., GALIOVÁ, L., ŽÁK, L., MICHÁLEK, J., JANIŠ, R., BUŇKA, F., 2011. The effect of combinations of sodium phosphates in binary mixtures on selected texture parameters of processed cheese spreads.
(Tento výstup nebyl zatím akceptován k publikaci).

PŘÍLOHA I: VÝZKUM – TEXTURNÍ VLASTNOSTI

ZÁVISLOST TEXTURNÍCH VLASTNOSTÍ TAVENÝCH SÝRŮ NA POMĚRU MONO- A POLYFOSFOREČNANŮ S VYSOKÝM KONDENZAČNÍM STUPNĚM DEPENDANCE OF PROCESSED CHEESE TEXTURAL PROPERTIES ON THE RATIO OF MONO- AND POLYPHOSPHATES WITH A HIGH DEGREE OF CONDENSATION

Eva Weiserová, František Buňka, Zuzana Cíprysová, Lucie Galiová, Rahula Janiš

Abstract: The aim of this study was to compare the textural properties of processed cheeses, which were made by using a different melting salts ratio – monophosphates and polyphosphates. Textural properties were measured by TA-XT (Stable Micro Systems Ltd.). These characteristics were hardness, adhesiveness, elasticity, cohesiveness, chewiness and gumminess. Textural properties were changed depending on melting salts ratio. Increasing the content of polyphosphates resulted in growing hardness, chewiness and gumminess. On the other hand cohesiveness dropped.

Keywords: processed cheese, textural properties, pH

ÚVOD

Tavené sýry jsou významnými produkty mlékárenského průmyslu a to zejména z toho důvodu, že technologie jejich výroby umožňuje využití i sýrů, které jsou chuťově bezchybné, leč vzhledově nevyhovují deklarovanému typu (Buňka *et al.*, 2006). Hlavní výhoda tavených sýrů spočívá především v jejich delší trvanlivosti ve srovnání se sýry přírodními, dále nižší výrobní náklady a také široké spektrum těchto výrobků. Výrobky se od sebe mohou lišit tvarem, chutí či svými konzistenčními vlastnostmi (Guinee *et al.*, 2004). Tavené sýry jsou vyráběny zahříváním směsi přírodních sýrů, které mohou být v různém stupni zralosti, s tavicími solemi za částečného podtlaku a stálého míchání (Carić, Kaláb, 1997). Hlavním principem výroby tavených sýrů je přeměna přírodního sýra na kompaktní hladkou lesklou hmotu (Guinee, 2004). Důležitou podmínkou pro vznik homogenní struktury taveného sýru je použití tavicích solí. Podle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 4/2008 Sb. jsou tavicí soli látky měnící vlastnosti bílkovin při výrobě tavených sýrů za účelem zamezení oddělování tuku (Anonym, 2008). Mezi nejpoužívanější typy tavicích solí patří zejména sodné soli kyseliny trihydrogenfosforečné. Kromě sodných solí lze také použít draselné soli kyseliny fosforečné, avšak zde hrozí riziko vzniku hořké chuti finálního výrobku (Buňka, *et al.*, 2009; Buňka, Buňková, 2009). Tavicí sůl je obvykle směsí několika chemických látek a při výrobě tavených sýrů se převážně používá několik tavicích solí společně (Carić, Kaláb, 1997).

Fosforečnany jsou skupinou sloučenin, která je charakteristická tím, že obsahuje anion $(\text{PO}_4)^{3-}$. Soli kyseliny fosforečné obsahující jednu skupinu $(\text{PO}_4)^{3-}$ označujeme jako orthofosforečnany. Za podmínek vysoké teploty může dojít ke ztrátě vody dvěma sousedními hydroxylovými skupinami dvou různých orthofosforečnanů a k jejich kondenzaci, tedy ke vzniku polymeru. Ze dvou monomerů vzniká dimer nazývaný pyrofosforečnan. Kromě samotných orthofosforečnanů se mohou polymerací účastnit i delší řetězce fosforečnanů, čímž vznikají polymery s více jako 2 fosfory v molekule (polyfosforečnany). Protože každá $(\text{PO}_4)^{3-}$ skupina může sdílet až tři své atomy kyslíku s třemi jinými $(\text{PO}_4)^{3-}$ skupinami, může docházet nejen ke vzniku lineárních řetězců polyfosforečnanů, ale i k tvorbě třídímenčních struktur (ultrafosforečnany) nebo uzavřených cyklů (metafosforečnany) (Molins, 1991; Buňka, *et al.*, 2009).

Základní schopnosti tavicích solí spočívá zejména v odštěpení vápníku, který je navázaný na proteiny v původní matici přírodního sýra. Tento vápník znemožňuje kaseinům uplatnit svou funkční emulgační vlastnost. Výměnou vápenatých iontů za sodné se z nerozpustných vápenatých solí kaseinu se stanou sodné soli, které jsou rozpustnější. Klíčovou úlohou tavicích solí je upravit prostředí v tavené směsi tak, aby přítomné proteiny mohly uplatnit své emulgační vlastnosti (Guinee, 2004; Buňka, et al., 2009).

Fosforečnany v potravinách upravují podmínky prostředí, zejména pH, iontovou sílu roztoku či odštěpení kationtu. Těmito úpravami ovlivňují vlastnosti přítomných proteinů. Dále se fosforečnany mohou uplatňovat při reakcích s proteiny, čímž mohou měnit jeho vlastnosti – schopnost hydratace, bobtnání či tvorba gelu (Buňka, et al., 2009). Optimální pH tavených sýrů se pohybuje v rozmezí 5,6 – 6,0. Pokud by došlo k odchylce od tohoto rozmezí, mohlo by dojít ke zhoršení jakosti výsledných produktů. U tavených sýrů s nízkým pH (4,8 – 5,2) lze očekávat tužší konzistenci než u sýrů méně kyselých (pH > 6,0), jež jsou spíše měkčí (Mulsow et al., 2007). Jednotlivé fosforečnany mají rozdílné hodnoty pH, proto je důležité vybrat vhodnou kombinaci fosforečnanů, která zabezpečí optimální pH produktu (Molins, 1991; Guinee et al., 2004, Buňka, et al., 2009).

Texturní vlastnosti tavených sýrů jsou značně ovlivněny nejen chemickým složením (obsahem sušiny, tuku v sušině, hodnotou pH), ale také podmínkami zpracování, jako je tavení, teplota a rychlost chlazení utavené hmoty (Piska et al. 2004). Cílem práce bylo u vyrobených vzorků popsat texturní vlastnosti (tvrdost, lepivost, elasticita, kohezivnost, žvýkatelnost a gumovistost), které byly sledovány 1., 3., 7., 10., a 15. den po výrobě.

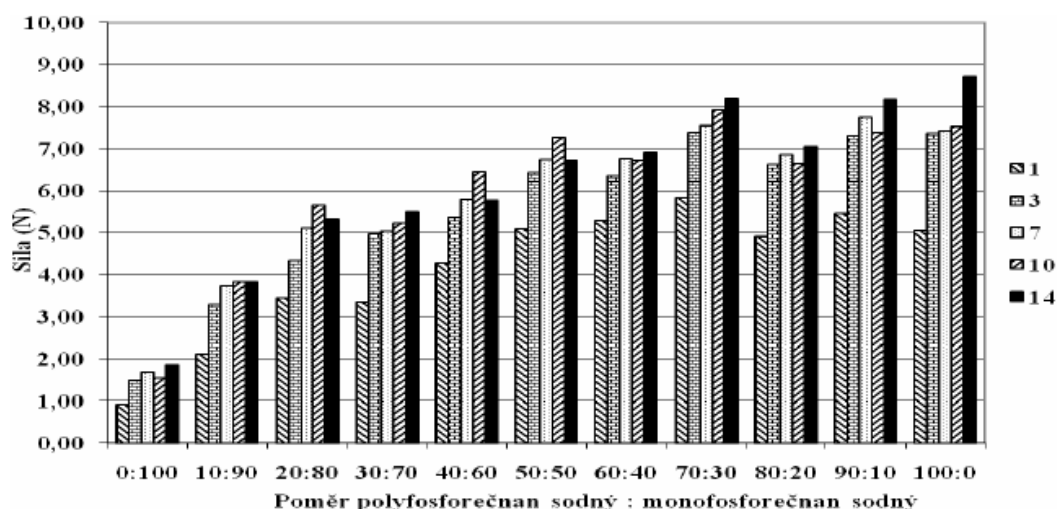
MATERIÁL A METODY

Pro tuto práci byl vybrán polyfosforečnan sodný a hydrogenfosforečnan sodný. Tato dvojice fosforečnanů byla testována v 11 vzájemných procentuelních poměrech (100:0, 90:10, 80:20, ... 20:80, 10:90, 0:100 – hydrogenfosforečnan sodný : polyfosforečnan sodný). Tavicí soli byly aplikovány v množství 3 % w/w. Modelová řada tavených sýrů 40 % (w/w) sušiny a 50 % (w/w) tuku v sušině za použití této binární směsi fosforečnanů byla provedena v laboratorních podmínkách na přístroji Vorwerk Thermomix TM31. Základními surovinami byla eidamská cihla 30 % tuku v sušině (nákup od výrobce – Kromilk s.r.o., Kroměříž; zralost 7 týdnů), dále máslo (zakoupeno v maloobchodní síti; obsah tuku 82 %), voda a výše zmíněné fosforečnany (Fosfa, a.s., Břeclav). Tavicí teplota (90 °C) v průběhu tavicího procesu byla udržována 1 minutu. Takto vyrobená tavenina byla zavírána do propylenového kelímku (výška 48 mm, průměr 55 mm) s přivařitelným víčkem. Jednotlivá balení byla chladírensky skladována (5 ± 1 °C) do okamžiku provedení jednotlivých analýz.

Texturní vlastnosti byly hodnoceny texturní profilovou analýzou (TPA), byl použit analyzátor TA-XT (Stable Micro Systems Ltd.). Texturní analýzy byly provedeny dvěma po sobě následujícími kompresemi, které simulují stlačení zubních stoliček (Anonym, 1994). Texturní analyzátor byl vybaven nerezovou válcovou sondou o průměru 20 mm (hmotnost této sondy je 16,3918 g). Rychlost penetrace i vysunutí sondy byla 2 mm/s. Hloubka penetrace byla 10 mm. Vzorky byly měřeny při teplotě 18 ± 1 °C. Vzorky byly dále podrobeny analýze obsahu sušiny a stanovení hodnoty pH. Obsah sušiny byl stanoven gravimetricky dle ČSN EN ISO 5534. Hodnota pH byla zjištěna pomocí pH-metru (WP pH-metr Spearman Oakton, Eutech Instruments, Malajsie). Všechny analýzy byly provedeny 4krát.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Tvrdość je definována jako síla, která je potřebná k dosažení deformace či penetrace výrobkem. V ústech je vnímána výrobku mezi zuby (u tuhých látek) nebo mezi paterem a jazykem (polotuhé látky) (Rosenthal, 1999). Z grafu 1 je patrné, že tato charakteristika vykazuje rostoucí trend z hlediska zvyšujícího se obsahu polyfosforečnanu na úkor monofosforečnanu.



Graf 1: Vývoj tvrdosti (N) v průběhu 14 denního skladování modelových vzorků tavených sýrů vyrobených s různými poměry polyfosforečnanu a hydrogenfosforečnanu sodného

Lepivost (někdy také uváděna jako přilnavost) je známá jako práce nutná k vytažení měřicího elementu ze vzorku nebo také jako práce nutná k překonání přitažlivých sil mezi povrchem potravin a povrchem měřicího zařízení. Vztahuje se tedy k povrchovým vlastnostem vzorku (Rosenthal, 2000). V průběhu 2 týdenního skladování byl při zvyšování poměru polyfosforečnanu a hydrogenfosforečnanu pozorován nárůst lepivosti, který byl v poměru 50 : 50 následován jejím poklesem. Tento jev koresponduje s Awad et al., (2002) a Lu et al, (2008), lepivost je ovlivněna především množstvím a složením tavicích solí.

Elasticita charakterizuje, do jaké míry se vrátí stlačená potravina do své původní velikosti poté, co je odstraněno napětí (Rosenthal, 1999). Při texturní profilové analýze ji lze posoudit z poměru času potřebného na dosažení maximální síly při 2. a 1. cyklu. Při velké lepivosti ovšem mohou nastat problémy s odečtením této hodnoty. Hodnota tohoto parametru se v závislosti na obsahu jednotlivých tavicích solí neměnila. Hodnota elasticita se pohybovala v rozmezí 10,72 – 11,67 s.

Kohezivnost (nebo také soudržnost) je síla vnitřních vazeb tvořící texturu výrobku. Je dána stupněm, do něhož látka může být dohromována než se rozpadne (Rosenthal, 1999). U vzorků s žádným či minimálním zastoupením polyfosforečnanu (0 – 20 % množství tavicích solí) byla kohezivnost výrazně vyšší. Se zvyšujícím

se zastoupením polyfosforečnanu sodného této tavicí soli hodnoty této charakteristiky klesaly.

Žvýkatelnost je vlastnost, která se stanovuje u tuhých vzorků a představuje energii potřebnou ke žvýkání vzorku do stavu vhodného k polknutí (**Rosenthal, 1999**). Tato charakteristika vykazovala rostoucí trend v závislosti na zvyšujícím obsahu polyfosforečnanu, z čehož vyplývá, že u vzorků obsahující větší podíl (40 %) je potřeba vynaložit větší energii na rozžvýkání sousta. Gumovitost je vlastnost vyhodnocována u polotuhých vzorků. Představuje sílu potřebnou k dezintegraci vzorku do stavu vhodného k polknutí (**Rosenthal, 1999**). U tohoto parametru byl sledován totožný trend jako u žvýkatelnosti, tudíž nejvíce energie je potřeba u modelových sýrů s převládajícím obsahem polyfosforečnanu. Tato hodnota je více jak 5ti násobná (hodnota 3,29) oproti vzorkům, které obsahují pouze monofosforečnan (hodnota 0,60).

Z hlediska skladování bylo pozorováno, že parametry tvrdost, lepivost, žvýkatelnost a gumovitost narůstaly v průběhu 14 denního uchovávání vzorků při 5 ± 1 °C. Tyto poznatky se shodují s **Awad et al., 2002** a **Lu et al., 2008**.

Oproti tomu u kohezivnosti docházelo ke snižování hodnot. Elasticita, jako jediná charakteristika, se v průběhu 14ti denního skladování prakticky neměnila a zůstávala konstantní. Z těchto trendů vyplývá, že texturní vlastnosti tavených sýrů se mohou v průběhu prvních 2 týdnů skladování měnit (**Gupta et al., 1984**), což bylo v souladu s našimi výsledky.

Vzorky byly dále podrobeny stanovení sušiny a bylo u nich měřeno pH. Úkolem bylo vyrobit modelovou řadu tavených sýrů o deklarované sušině 40 % (w/w). Sušina se pohybovala v rozmezí 42,56 – 43,59 % (w/w). Optimální pH pro roztíratelné tavené sýry je 5,6 – 6,0. Těto bylo dosaženo pouze u poměrů polyfosforečnan : hydrogenfosforečnan sodný v rozmezí 60:40 – 80:20. U vzorků s nižším obsahem polyfosforečnanu (0 – 40 % tavicích solí) bylo pozorováno podstatně vyšší pH. Vzorky s vyšším obsahem polyfosforečnanu (90 – 100 % tavicích solí) oproti tomu měly pH poměrně nízké. Tyto závěry korespondují s poznatky **Molins (1991)** a **Guinee et al. (2004)**. Vzorky s nižším pH byly také více tuhé, což je v souladu s prací **Mulsow et al. (2007)**.

ZÁVĚR

U modelových vzorků tavených sýrů byly zkoumány jejich texturní vlastnosti. U zkoumaných parametrů byla zjištěna závislost texturních parametrů na délce skladování a poměrovém zastoupení polyfosforečnanu a hydrogenfosforečnanu sodném.

LITERATURA

- ANONYM, 2008. Vyhláška Ministerstva zdravotnictví ČR č.4/2008 Sb., kterou se stanoví druhy a podmínky použití přídatných látek a extrakčních činidel při výrobě potravin v platném znění
- ANONYM, 1994. ISO 11036: Sensory analysis – Methodology – Texture profile, International Standard Organization
- AWAD, R. A., ABDEL-HAMID, L. B., EL-SHABRAWY, S. A., SINGH, R. K. 2002. Texture and Microstructure of block type processed cheese with formulated emulsifying salt mixtures. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 35, 54-61. ISSN 0023-6438.
- BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L., 2009. Úloha tavicích solí při výrobě tavených sýrů. *Potravinářská revue*, č.1, 13-16
- BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L., KRÁČMAR, S., 2009. *Základní principy výroby tavených sýrů*. 1. vyd. Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 69.
- BUŇKA, F., HRABĚ, J., HOZA, I. 2006. Tavené sýry ve výživě člověka. *Výživa a potraviny*, 61, 135 – 136, ISSN 1211-846X
- CARIĆ, M., KALÁB, M., 1997. Processed cheese products. In: Fox, P. F. (ed.) *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Volume 2, Major Cheese Groups, 2.ed. Elsevier Applied Science, London and New York, 467-5005

- GUINEE, T. P., CARIĆ, M., KALÁB, M., 2004. Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. In: Fox, P. F. (ed), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. Volume 2: Major cheese groups*. 3.ed. London:Elsevier Applied Science, 349. ISBN 0122636530
- GUPTA, S. K., KARAHADIAN, C., LINDSAY, R. C. 1984. Effect of Emulsifier Salts on Textural and Flavor Properties of Processed Cheeses, *Journal of Dairy Science*, 67, 764-778
- MOLINS, R. A. 1991. *Phosphates in food*. Boca Raton: CRC Press
- MULSOW, B. B., JAROS, D., ROHM, H. 2007. Processed Cheese and Cheese Analogues. In *Tamine, A. Y. (Ed.) Structure of Dairy Products*, 1st ed. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, p. 210 – 235.
- 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, 8, 363-364
- 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. ISSN 0260-8774.
- ROSENTHAL, A. J. 1999. *Food Texture – Measurement and Perception*, A Chapman&Hall Food Science Book, Aspen Publishers, Inc., Gainthersburg, Maryland, ISBN 0-8342-1238-2

Poděkování: Práce vznikla za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky (MSM 7088352101).

Kontakt: Ing. Eva Weiserová, Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, nám. T.G.M. 275, 762 72, Zlín tel. +00420 576 033 025, e-mail: e_weiserova@ft.utb.cz

PŘÍLOHA II: VÝZKUM – ROZTÉKAVOST

Roztékavost tavených sýrů při záhřevu v závislosti na použitém poměru monofosforečnanů, difosforečnanů a polyfosforečnanů v binárních směsích

The effect of ratio of monophosphates, diphosphates and polyphosphates in binary mixtures on meltability of processed cheese

Weiserová, E.¹, Galiová, L.², Janiš, R.¹, Buňka, F.²

¹ Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati, Zlín

² Ústav technologie a mikrobiologie potravin, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati, Zlín

Abstract

The aim of study was to compare the meltability of processed cheeses, which were made by using of different ratio of emulsifying salts (sodium salts of monophosphates, diphosphates and polyphosphate) in their binary mixtures. Meltability was determined by Schreiber's test. Meltability increased with decreasing content of polyphosphates and increasing content of monophosphate in binary mixtures.

Úvod

Tavené sýry patří k významným produktům mlékárenského průmyslu a to především z důvodu, že technologie jejich výroby umožňuje využití i sýrů, které jsou chuťově vyhovující, zdravotně nezávadné, ale vykazují určité mechanické nedostatky (Buňka *et al.*, 2006). Jedna z hlavních výhod spočívá zejména v jejich delší trvanlivosti ve srovnání se sýry přírodními, dále nižší výrobní náklady (v přepočtu na hmotnost výrobku) a také potenciál pro rozšiřování sortimentu. Výrobky se od sebe mohou lišit tvarem, chutí či svými texturními vlastnostmi (Guinee *et al.*, 2004).

Tavené sýry jsou vyráběny zahříváním směsi přírodních sýrů s tavicími solemi za částečného podtlaku a stálého míchání (Carić, Kaláb, 1997). Důležitou podmínkou pro vznik homogenní struktury taveného sýru je použití tavicích solí. Mezi nejpoužívanější typy tavicích solí patří zejména sodné soli kyseliny trihydrogenfosforečné, resp. jejich polymery (Buňka, *et al.*, 2009; Buňka, Buňková, 2009). Tavicí sůl je obvykle směsí několika chemických látek a při výrobě tavených sýrů se převážně používá několik tavicích solí společně (Carić, Kaláb, 1997).

V literatuře lze najít informace o roztékavosti výrobků ve vztahu k použití jednotlivých fosforečnanů. V praxi se však jeden fosforečnan používá při výrobě tavených sýrů jen zřídka. Studie zabývající se vlivy směsi fosforečnanů na roztékavost jsou však ojedinělé, a zpravidla se omezují na 3 – 5 konkrétních směsí. Příkladem mohou být práce Awad *et al.* (2002, 2004), které se zabývaly sodnými solemi difosforečnanu, trifosforečnanu a polyfosforečnanu a to v poměrech 40:50:10, 30:40:30 a 30:30:40. Jako nejlépe roztékavý se jevil vzorek vyrobený pomocí směsi výše uvedených látek v poměru 40:50:10, tedy s minimálním množstvím polyfosforečnanu. Tato studie také prokázala, že schopnost vzorku roztékat se souvisí s vyšší hodnotou pH. V pracích Everard *et al.*, 2005 a Shirashoji *et al.*, 2010 bylo prokázáno, že se roztékavost snižuje se zvyšujícím množstvím tavicích solí (v množství do 3 % w/w). Savello *et al.*, 1988 zkoumali výrobky s hydrogenfosforečnanem sodným i difosforečnanem sodným. Výrobky s těmito fosforečnany vykazovaly velmi dobrou

roztékavost. Ucelená studie zabývající se změnou roztékavosti v důsledku aplikace různých poměrů binárních směsí sodných solí monofosforečnanů, difosforečnanů a polyfosforečnanů však v dostupné literatuře nalezena nebyla.

Cílem práce bylo studovat závislost roztékavosti na aplikovaných binárních směsích vybraných fosforečnanových tavicích solích (Na_2HPO_4 ; $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$; sodná sůl polyfosforečnanu). Roztékavost byla sledována 30. den po výrobě.

Materiál a metody

Pro tento experiment byly jako tavicí soli vybrány: polyfosforečnan sodný (POLY), difosforečnan sodný (TSPP) a hydrogenfosforečnan sodný (DSP). Tato trojice fosforečnanů byla vždy použita v celkem 3 binárních směsích (polyfosforečnan s monofosforečnanem, polyfosforečnan s difosforečnanem a monofosforečnan s difosforečnanem) v 11 vzájemných procentuelních poměrech (100:0, 90:10, 80:20, ... 20:80, 10:90, 0:100) Tavicí soli byly aplikovány v množství 3 % w/w (přepočteno na finální hmotnost taveného sýra a bezvodé formy fosforečnanů). Modelová řada tavených sýrů s 40 % (w/w) sušiny a 50 % (w/w) tuku v sušině byla vyrobena v laboratorních podmínkách na přístroji Vorwerk Thermomix TM31. Základními surovinami byla eidamská cihla 30 % w/w tuku v sušině (zralost 7 týdnů), dále máslo (obsah tuku 80 % w/w), voda a výše zmíněné fosforečnany (Fosfa, a.s., Břeclav). Tavicí teplota (90°C) byla udržována v průběhu tavicího procesu po dobu 1 minuty. Takto vyrobená tavenina byla dávkována do válcového polypropylenového kelímku (výška 48 mm, průměr 55 mm) s přivařitelným víčkem. Jednotlivá balení byla chladírensky skladována ($6\pm 2^\circ\text{C}$) do okamžiku provedení analýzy.

Tabulka 1

Stupnice pro hodnocení stupně roztékavosti taveného sýra po opětovném záhřevu

Stupeň	Charakteristika
1	Nepozorovatelný nárůst plochy vzorku
2	Nárůst plochy vzorku do 10 % oproti původnímu vzorku
3	Nárůst plochy vzorku v rozmezí 10 – 25 % oproti původnímu vzorku
4	Nárůst plochy vzorku v rozmezí 25 – 50 % oproti původnímu vzorku
5	Nárůst plochy vzorku v rozmezí 50 – 75 % oproti původnímu vzorku
6	Nárůst plochy vzorku v rozmezí 75 – 100 % oproti původnímu vzorku
7	Nárůst plochy vzorku o více než 100 % oproti původnímu vzorku

Roztékavost může být definována jako snadnost toku sýru po zahřátí (Muthukumarappan *et al.*, 1999). Jako metoda stanovení byl použit modifikovaný Schreiber test modifikovaný podle Kosikowski (1977). Stejněměrná vrstva vzorku (výška 4 mm, průměr 20 mm) byla nanášena na aluminiovou podložku, zhodnocena její plocha a po dobu 5 minut byla inkubována v sušárně při $232\pm 2^\circ\text{C}$. Po vytažení a zchlazení byla znovu zhodnocena plocha rozteklého/nerozteklého výrobku a vlastnost vyhodnocena dle stupnice uvedené v tabulce 1. Každé měření bylo provedeno čtyřikrát a do tabulky byl vzorek zařazen podle mediánu ze čtyř měření.

Výsledky a diskuze

U vzorků vyrobených se směsmi polyfosforečnanu s monofosforečnanem, resp. difosforečnanem, byl pozorován obdobný trend vývoje roztékavosti (tabulka 2). Při poklesu obsahu polyfosforečnanu ve směsi narůstala schopnost roztékavosti taveného sýra. Tento trend bylo možné pozorovat při podílu polyfosforečnanu ve směsi pod 50 %. Při vyšším než 50 % obsahu již žádná roztékavost prakticky pozorována nebyla. Vzorky pouze vykazovaly mírně nahnědlou barvu.

Tabulka 2

Přehled výsledného stupně hodnocení roztékavosti u jednotlivých vzorků tavených sýrů

Použitý poměr	Binární směs		
	DSP a TSPP	DSP a POLY	TSPP a POLY
100 : 0	6	5,5	5
90 : 10	6	4,5	4
80 : 20	5	3,5	3
70 : 30	4	3	2
60 : 40	4	2,5	2,5
50 : 50	3	2,5	2,5
40 : 60	4	2	2
30 : 70	4	2	2
20 : 80	4	2	2
10 : 90	5	2	2
0 : 100	5	2	2

U směsi DSP a TSPP byla největší pozorována při samostatném použití DSP (nárůst plochy o 75-100 %), s dalším přidavkem TSPP roztékavost postupně klesala a to až do poměru 50:50, kdy byla nejmenší. Poté byl pozorován opětovný nárůst tohoto parametru. Při použití samotného TSPP došlo po záhřevu k nárůstu plochy o 50–75 %, což je v porovnání s DSP srovnatelné.

Oproti tomu zvyšující se obsah monofosforečnanu způsobuje nárůst meltability. Tato zjištění jsou v souladu s autory Thomas *et al.* (1980) a Rayan *et al.* (1980), kteří dospěli k závěru, že nejměkčí a tudíž nejvíce roztékavé vzorky byly vyrobeny pomocí monofosforečnanu a nejhůře roztékající byly připraveny při použití polyfosforečnanu.

Závěr

U modelových vzorků tavených sýrů byla zkoumána jejich roztékavost v závislosti na použitém poměru sodných solí mono-, di- a polyfosforečnanů jako tavicích solí. Bylo zjištěno, že klesající obsah polyfosforečnanu stejně jako zvyšující se obsah monofosforečnanu způsobují nárůst tohoto parametru.

Poděkování

Tato práce byla podpořena projektem Interní grantové agentury Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně IGA/6/FT/10/D financovaným ze zdrojů pro specifický výzkum univerzit.

Kontaktní adresa: Ing. Eva Weiserová, Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, nám. T.G.M. 275, 762 72, Zlín tel. +00420 576 033 025, e-mail: e_weiserova@ft.utb.cz

Literatura

- 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/FST*, 35 (1), 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 (3), 429 – 448.
- BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L., 2009. Úloha tavicích solí při výrobě tavených sýrů. *Potravinářská revue*, č.1, 13-16.
- BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L., KRÁČMAR, S., 2009. *Základní principy výroby tavených sýrů*. 1. vyd. Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 69.
- BUŇKA, F., HRABĚ, J., HOZA, I. 2006. Tavené sýry ve výživě člověka, *Výživa a potraviny*, 61, 135 – 136, ISSN 1211-846X.
- CARIĆ, M., KALÁB, M., 1997. Processed cheese products. In: Fox, P.F. (ed.) *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. Volume 2, Major Cheese Groups*, 2.ed. Elsevier Applied Science, London and New York, 467-5005.
- EVERARD, C.D., O'DONNELL, C.P., FAGAN, C.C., SHEEHAN, E.M., DELAHUNTY, C.M., O'CALLAGHAN, D.J. 2005. Correlation between process cheese meltability determined by sensory analysis, komputer vision method and Olson and Price test. *International Journal of Food Properties*, 8, 267 – 275.
- GUINEE, T.P., CARIĆ, M., KALÁB, M., 2004. Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. In: Fox,P.F. (ed), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. Volume 2: Major cheese groups*.3.ed. London:Elsevier Applied Science, 349. ISBN 0122636530.
- KOSIKOWSKI, F.,1977. In: Cheese and Fermented Milk Foods. F.V.Kosikowski & Assoc. Brooktondale, NY, p. 337 – 370.
- MUTHUMUKUMARAPPAN, K., WANG, Y.-C., GUNASEKARAN, S., 1999. Short Communication: Modified Schreiber test for evaluation of mozarella cheese meltability. *Journal of Dairy Science*, 82, 1068 - 1071
- RAYAN, A.A., KALÁB, M., ERNSTROM, C.A., 1980. Microstructure and rheolog of process cheese. *Scanning Electron Microscopy*, 3, 635 – 644.
- SAVELLO, P.A., ERNSTROM, C.A., KALAB,K., 1989. Microstructure and meltability of model process cheese made with rennet and acid casein. *Journal of Dairy Science*, 72, 1 – 11.
- 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.
- THOMAS, M.A., NEWELL, G., ABAD, G.A., TURNER, A.D., 1980. Effect of emulsifying salts on objective and subjective properties of processed cheese. *Journal od Food Science*, 45, 458 – 459.

PŘÍLOHA III: VÝZKUM – TEXTURNÍ VLASTNOSTI

**The effect of combinations of sodium phosphates in binary mixtures on
selected texture parameters of processed cheese spreads**

Running title

Phosphate binary mixture in processed cheese

Eva Weiserová ^a, Lucie Doudová ^b, Lucie Galiová ^c, Libor Žák ^d, Jaroslav Michálek ^{b,d},

Rahula Janiš ^a, František Buňka ^{c,*}

^a *Department of Fat, Tenside and Cosmetics Technology, Faculty of Technology, Tomas Bata University in Zlin,
nam. T.G. Masaryka 275, 762 72 Zlin, Czech Republic*

^b *Department of Econometrics, Faculty of Economics and Management, University of Defence in Brno,
Kounicova 65, 612 00 Brno, Czech Republic*

^c *Department of Food Technology and Microbiology, Faculty of Technology, Tomas Bata University in Zlin,
nam. T.G. Masaryka 275, 762 72 Zlin, Czech Republic*

^d *Department of Statistics and Optimization, Institute of Mathematics, Faculty of Mechanical Engineering, Brno
University of Technology, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Czech Republic*

* Corresponding author: Tel.: +420 576 033 011; fax: +420 577 210 172. E-mail address: bunka@ft.utb.cz (F. Buňka)

Abstract

The aim of this work was to study the dependence of hardness, adhesiveness and cohesiveness of processed cheese spreads on the composition of binary mixtures of disodium hydrogenphosphate, tetrasodium diphosphate, pentasodium triphosphate, and/or sodium salt of polyphosphate. Each of the 6 types of binary mixtures was applied in 11 percentage ratios of each component (0:100, 90:10, ... 10:90, 100:0). Another aim was to find suitable statistical models in order to describe the dependence of the texture parameters examined on the composition of binary mixtures. In binary mixtures of polyphosphate combined with monophosphate, diphosphate or triphosphate, hardness was gradually increasing with the rising proportion of polyphosphates within the mixture. In binary mixtures of monophosphate combined with diphosphate or triphosphate, a rapid increase in hardness of the samples was determined when the proportion of diphosphate or triphosphate in the mixture was rising (up to 50–60%). A further increase in diphosphate or triphosphate content (above 60%) resulted in a rapid decrease in hardness of the processed cheeses.

Keywords: Processed cheese spreads; Emulsifying salts; Phosphates; Texture; Polynomial regression;

1. Introduction

Processed cheeses are dairy products made by heating a mixture of cheeses with emulsifying salts under partial underpressure and constant stirring until a homogenous mass of desired properties is formed (Carić, Gantar, & Kaláb, 1985; Guinee, Carić, & Kaláb, 2004; Gupta, Karahadian, & Lindsay, 1984). Essential ingredients for the production of processed cheeses are suitable emulsifying agents, usually at the amount of 2–3% of the final product. The most common emulsifying salts are sodium phosphate, polyphosphates, citrates and their combinations (Carić et al., 1985; Guinee et al., 2004; Mizuno & Lucey, 2005). The main role of emulsifying salts lies in the process in which calcium, which binds casein proteins (or their hydrolysed fractions) forming a three-dimensional network of the cheese, is removed (from casein matrix) and replaced by sodium ions. By means of exchanging calcium ions for sodium ions, insoluble calcium paracaseinate changes into more soluble sodium paracaseinate, which can function as an emulsifier (Cunha & Viotto, 2010; Dimitreli & Thomareis, 2009; Guinee et al., 2004; Gupta et al., 1984; Lu, Shirashoji, & Lucey, 2008; Meyer, 2001).

The selected combination of emulsifying agents influences e.g. peptization, dispersion, hydration and swelling of proteins, emulsification and stabilization of fat and pH, which affects, apart from other parameters, textural properties of the final processed cheese (Guinee et al., 2004; Meyer, 2001; Mizuno & Lucey, 2005). The properties of phosphates in simple systems (phosphate, water and protein) are well known from both viewpoints – their ability to exchange calcium ions for sodium ions as well as their ability to support gel formation of milk proteins (Mizuno & Lucey, 2005; Molins, 1991).

Also, influences of the individual phosphates used on their own on the textural properties of the final cheeses are described in the available literature. According to many authors, hardness of the samples is the lowest when monophosphates are used for the

production of processed cheeses. With the increasing number of phosphorus atoms in the molecule of phosphate used as an emulsifying agent, higher values of hardness of processed cheeses are reached (Dimitreli & Thomaries, 2009; Sádliková, Buňka, Budinský, Voldánová, Pavlínek, & Hoza, 2010; Templeton & Sommer, 1936).

Despite the fact that using only one phosphate for the production of processed cheeses is very rare in industry, the effects of phosphate combinations on texture parameters are not systematically described. Only few studies usually dealing with 3–5 particular mixtures can be found in literature. These are e.g. the works by Awad, Abdel-Hamid, & El-Shabrawy (2002) and Awad, Abdel-Hamid, El-Shabrawy, & Singh (2004), which focused on the effect of ternary and four-component mixtures of sodium salts of monophosphate, diphosphate, polyphosphate or citrate in different ratios on the textural properties of processed cheeses. In most cases, hardness of the samples was decreasing with the falling amount of polyphosphate in the mixture.

The aim of the paper was (i) to study the dependence of selected texture parameters (hardness, adhesiveness and cohesiveness) of processed cheese spreads on the composition of binary mixtures of phosphate emulsifying salts (disodium hydrogenphosphate – Na_2HPO_4 ; tetrasodium diphosphate – $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$; pentasodium triphosphate – $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$; and sodium salt of polyphosphate) during storage period of 29 days; and (ii) to model the discovered types of dependence of texture parameters on the composition of binary mixtures by means of regression method. The importance of this paper can also be seen in the fact that the whole study will be performed under the same and mutually comparable conditions.

2. Materials and methods

2.1. Production of the model processed cheese

For the production of model samples of processed cheeses (40% dry matter, 50% fat in dry matter), the following ingredients were used: Edam cheese block (Dutch type cheese; 50% w/w dry matter, 30% w/w fat in dry matter; 8-week maturity), butter (84% w/w dry matter, 82% w/w fat), water and 3% (w/w) emulsifying salts (the amount calculated for the total weight of the melt; Fosfa, Břeclav, Czech Republic). As the emulsifying salts, binary mixtures of 4 sodium salts of phosphates (disodium hydrogenphosphate – Na_2HPO_4 (DSP); tetrasodium diphosphate – $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (TSPP); pentasodium triphosphate – $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ (PSTP); sodium salt of polyphosphate (POLY)) were used. Thus in total, there were 6 binary mixtures in 11 percentage ratios (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90, 0:100). For the production of model samples, Vorwerk Thermomix TM 31-1 (Vorwerk & Co., GmbH, Wuppertal, Germany) was used. The same device was also used for the production of processed cheeses in the work by Lee, Anema, & Klostermeyer (2004) and Sádliková et al. (2010). The melting temperature (90°C) was kept for 1 minute (the total melting time was 10-12 minutes 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. The similar shape and dimensions samples were used also by Cunha & Viotto (2010). The samples were cooled down to the temperature of $6\pm 2^\circ\text{C}$ within two hours after the production. Each combination of binary mixture was produced twice.

After 14 days of storage ($6\pm 2^\circ\text{C}$), dry matter content was determined in the samples according to ISO 5534 (2004). The pH values were measured by pH-meter (Sper, Eutech Instruments, Oakton, Malaysia) at $16\pm 1^\circ\text{C}$ (the sample was tempered in a temperature

chamber for 4 hours) after 1st, 6th, 15th and 29th day of storage at 6±2°C. Both analyses were performed 4 times in each batch (8 measurements in total). Homogeneity of pH in the individual samples was verified by Kruskal-Wallis and Wilcoxon tests. The significance level used in the tests was 0.05. Unistat[®] 5.5 software (Unistat, London, UK) was used for statistical evaluation.

2.2. Texture analysis

The textural properties of the samples were evaluated using a texture analyser TA.XTplus (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, UK). Before the measurement, the samples were tempered at 16°C in a temperature chamber for 4 hours. The texture analyses were carried out by two sequential penetration events (a penetration depth of 10 mm, a probe speed 2 mm·s⁻¹, a 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. Hardness (force needed to attain a given deformation – maximum force during the first penetration cycle; N); adhesiveness ratio (relative strength of adhesiveness between the cheese and the probe surface – ratio of the absolute value of the negative force area to the positive force area of the first peak; unitless); and cohesiveness (strength of the internal bonds of cheese – ratio of the positive force area of the second peak to that of the first peak; unitless) were observed (Breuil & Meullenet, 2001; Fiszman & Damásio, 2000; Genovese, Ye, & Singh, 2010; Jooyandeh, 2009). A similar penetration method for measuring textural properties of processed cheeses was also applied by Cunha & Viotto (2010) and Piska & Štětina (2004). The texture analysis was performed after the 1st, 3rd, 6th, 10th, 15th and 29th day of storage at 6±2°C. The samples were measured four times – each batch was measured twice.

2.3. Statistical methods

Polynomial regression was used in order to evaluate the global dependence of selected texture parameters (hardness, cohesiveness and adhesiveness ratio – dependent variables Z) on covariates (storage period – variable X , ratio of phosphates in a binary mixture – variable Y). The basic linear model for the dependence types observed was the following:

$$Z = \alpha + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \beta_3 X^3 + \gamma_1 Y + \gamma_2 Y^2 + \gamma_3 Y^3 + \delta XY + \varepsilon \quad (1)$$

where α , β_1 , β_2 , β_3 , γ_1 , γ_2 , γ_3 and δ are parameters and ε 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). Each reduced model was subsequently characterized by a determination coefficient R^2 . The significance level used in all the statistical tests was 0.05. The statistical techniques used were based on a monograph by Draper & Smith (1998). For the actual calculations, software products such as MATLAB version 7.7.0 (The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA) and Statistica version 9 (StatSoft, Prague, Czech Republic) were used.

3. Results

3.1. Basic chemical analysis

Dry matter content, ranging within the interval of 40.84–41.91 % (w/w), was similar in all the varieties of processed cheese produced. Similar values of dry matter content in the products tested are necessary for allowing the comparability of the model samples because

this parameter significantly influences the textural properties of the analysed samples (Noronha, O’Riordan, & O’Sullivan, 2007; Lee et al., 2004). Table 1 shows the pH values of processed cheeses made with the individual phosphates during their storage period. After 1 day of storage, the pH values of the samples processed with DSP, TSPP and PSTP ranged within the interval of 6.48–6.59 and were higher ($P < 0.05$) than the pH-values of the samples produced with POLY ($\text{pH} = 5.47 \pm 0.02$). The pH values of the individual binary mixtures corresponded to the ratios of the individual phosphate emulsifying salts in the mixture (data not shown). In 3 binary mixtures using only DSP, TSPP or PSTP, the pH values were practically the same in all the ratios studied. In all binary mixtures using POLY (DSP and POLY, TSPP and POLY, PSTP and POLY), the pH values were decreasing steadily ($P < 0.05$) with the increasing amount of POLY. During the 29-day storage period at 6°C, the pH values of all types of binary mixtures and all ratios observed decreased (approx. by 0.1–0.2; $P < 0.05$). The decrease in pH values occurred mainly within the first 15 days of storage ($P < 0.05$). In the majority of the ratios and binary mixtures observed, no significant change of pH ($P \geq 0.05$) occurred between the 15th and 29th day of storage at 6°C.

3.2. Data analysis

The aim of linear regression was to describe the global character of changes of the dependent variable Z on covariates X and Y . In the event that the model reduction methods used (1) led to an ambiguous conclusion, the model with the smallest number of unknown parameters was selected. Models obtained in this way were considered to be optimal and describing the main tendency of changes of the dependent variable Z according to the covariates X and Y . The parameters of optimal models including the coefficient of determination R^2 and the values of Mallows’ statistics C_p are shown in Table 2. The results of

regression analysis, which mainly demonstrate the global character of the textural properties observed (hardness, cohesiveness and adhesiveness ratio) depending on the storage period and the proportion of phosphates in the binary mixture, are shown in Figs. 1–3.

3.3. The effect of the combinations of sodium phosphates on hardness of the model processed cheese

The results of hardness measurements of processed cheeses evaluated by regression methods are shown in Fig. 1. In the binary mixtures of POLY with other phosphates (with one, two and three atoms of phosphorus in a molecule), hardness of the model samples was increasing with the rising amount of POLY in the mixture (Fig. 1, parts A–C). In the binary mixture of TSPP and PSTP, a gradual increase in hardness was observed while the amount of PSTP was rising (Fig. 1F). In the mixtures of DSP with phosphates with two or three atoms of phosphorus in a molecule (TSPP or PSTP), a sharp increase in hardness was observed when the amount of TSPP or PSTP in the binary mixture rose to the value of 50–60% (Fig. 1, parts D and E). A further increase in the amount of TSPP or PSTP (>60%) and a decrease in the amount of DSP (<40%) in the binary mixture led to a sharp decrease in hardness. If the values of hardness of the model samples with the individual phosphates reached 0.77–1.08 N for DSP, 2.47–2.82 N for TSPP and 3.22–3.78 N for PSTP after the 1st day of storage then on the same day, hardness of the binary mixtures of DSP with 50% TSPP or PSTP reached 9.43–9.94 N and 7.28–8.17 N respectively. The 1st day after the production, the latter values were higher in comparison with hardness of the model processed cheese with POLY used on its own (6.40–7.01 N; $P < 0.05$).

In all binary mixtures, including the phosphates used on their own, an increase in hardness values of model cheeses was observed within the 29-day storage period at 6°C.

However, the trends of hardness dependence of the products on the applied composition of the binary mixtures tested within the 29-day storage period remained practically unchanged (Fig. 1). The most significant increase occurred mainly within the first 6 days of storage. The 29th day after processing, the hardness values of binary mixture samples of DSP with 50% TSPP or PSTP reached the values of 14.29–14.73 N and 10.69–10.86 N respectively and were higher than the hardness values of model sample made with POLY only (8.58–10.10 N; $P < 0.05$).

3.4. *The effect of the combinations of sodium phosphates on the cohesiveness of the model processed cheese*

The cohesiveness values of the processed cheeses evaluated by means of the regression analysis methods are shown in Fig. 2. In the binary mixtures of POLY with phosphates with one or two atoms of phosphorus, a decrease in cohesiveness of the samples was observed with the increasing proportion of POLY within the mixture (Fig. 2, parts A and B). Cohesiveness of the products made with the binary mixtures of PSTP and POLY remained practically unchanged with the changing ratio of both phosphates (Fig. 2C). In the binary mixtures of TSPP and PSTP, increasing values of cohesiveness were observed with the decreasing amount of TSPP in the model processes cheeses (Fig. 2F). The development of the cohesiveness values of the samples with the binary mixtures of DSP with TSPP or PSTP corresponded with the development of the hardness values (see above). The maximum cohesiveness values were reached in samples with the application of the binary mixtures of DSP with a ~50% content of TSPP and PSTP (Fig. 2, parts D and E). During the storage period of the samples tested, no significant changes of the cohesiveness values were observed.

3.5. *The effect of the combinations of sodium phosphates on the adhesiveness ratio of the model processed cheese*

Fig. 3 illustrates the adhesiveness ratio values of the processed cheeses evaluated by regression methods. With the increasing amount of POLY, the adhesiveness ratio of the samples was decreasing in all three binary mixtures (with DSP, TSPP or PSTP), which was observed within the whole 29-day storage period (Fig. 3, parts A–C). The binary mixtures of DSP and PSTP led to higher values of adhesiveness ratio of the samples with the increasing proportion of DSP in the mixture (Fig. 3D). The increase in DSP proportion in the binary mixture of DSP and TSPP up to ~50% caused higher values of the adhesiveness ratio of the processed cheeses. On the other hand, a further increase in the amount of DSP in the above-mentioned binary mixtures (>50%) did not raise the values of the adhesiveness ratio of the samples, which either remained the same or slightly decreased (Fig. 3E). Fig. 3, part F shows that the increasing amount of PSTP in the binary mixtures of TSPP and PSTP results in a rising adhesiveness ratio of the model processed cheeses. Within the 29-day storage period, no significant changes of the adhesiveness ratio values of the studied samples occurred.

4. Discussion

The pH values of the melt significantly influence the consistency of processed cheeses (Lee & Klostermayer, 2001; Marchesseau, Gastaldi, Lagaude, & Cuq, 1997). In our study, the pH of processed cheeses after 1 day of storage ranged within the interval of 5.48–6.59. The processed cheeses with a predominance of POLY had the lowest pH values. With a decreasing amount of POLY in the binary mixtures, the pH values were rising and the processed cheeses with the predominance of DSP, TSPP or PSTP had pH>6.0. This tendency

is in accord with the works by Abdel-Hamid, El-Shabrawy, & Awad (2000), Gupta et al. (1984) and Sádliková et al., (2010). The pH values of the melt were not modified by addition of any acidic or alkaline solution due to the intention to (i) study the influence of the individual binary mixtures and their composition on pH and (ii) describe the texture parameters affected by the application of the given mixtures without any other external influence. The same approach was used e.g. in the work by Awad et al. (2002, 2004) and Dimitreli & Thomareis (2009). After the 29-day storage period, a slight decrease in the pH values of the tested cheeses occurred. According to Awad et al. (2002), Carić et al. (1985), Gupta et al. (1984) and Dimitreli & Thomareis (2009), this phenomenon is attributed mainly to possible hydrolysis of phosphate salts (with two or more atoms of phosphorus in a molecule) during storage. The hydrolysis of phosphates within the 29-day storage period could also be related to some slight changes in textural properties of products observed. However, a change in pH and also a slight change in textural properties occurred in the cheeses with the addition of monophosphate, the hydrolysis of which is improbable. The explanation might be found in the change of bonds of the salts present and thus in the change of their dissociation.

A significant result of the statistical analysis is the fact that the dependence of values of the selected texture parameters on the changes in the proportions of phosphates in binary mixtures of sodium salts of monophosphate, diphosphate, triphosphate and polyphosphate do not have a linear behaviour (Figs. 1–3 and Table 2).

When only DSP was applied, we obtained cheeses which showed the lowest hardness and the highest adhesiveness, which is in accord with the studies by Dimitreli & Thomareis (2009), Lu et al. (2008) and Sádliková et al. (2010). When TSPP or PSTP were applied on their own, the samples with TSPP showed lower hardness and cohesiveness. Cunha & Viotto (2010) and Dimitreli & Thomareis (2009) observed higher hardness of the samples with TSPP

in comparison with PSTP. On the other hand, Cavalier-Salou & Cheftel (1991), Lu et al. (2008) and Sádliková et al. (2010) incline to our results, i.e. hardness of the model samples with PSTP is higher than that with TSPP. When comparing the products into which the individual phosphates were applied on their own, the model samples with POLY show the highest hardness and the lowest adhesiveness as well as cohesiveness, which is in accord with the results of Dimitreli & Thomareis (2009). On the other hand, Sádliková et al. (2010) published that the samples with POLY show lower hardness than the model cheeses with TSPP or PSTP. However, the latter authors examined consistency of processed cheeses by means of the dynamic oscillatory rheometry. This disagreement stresses the importance of studying the characteristics of processed cheeses also by means of large deformation techniques, which corresponds to the pressure the food is exposed to in the mouth.

An explanation for the difference between the textural properties of the model processed cheeses can be found, according to Shirashoji, Jaeggi, & Lucey (2010), mainly in the degree of dispersion of the insoluble casein matrix. Within the cooling period, reassociation of dispersed caseins and formation of fine-structured gel network occur. During this process, we can also expect formation of complexes between the phosphate emulsifying salts and calcium, which can help crosslink caseins in the gelling system. The higher the degree of casein dispersion, the more intensive the processes of water binding and fat emulsification are and the more rigid and more crosslinked the final processed cheese is (El-Bakry, Duggan, O'Riordan, & O'Sullivan, 2010; El-Bakry, Duggan, O'Riordan, O'Sullivan, 2011; Mizuno & Lucey, 2005; Shirashoji, Jaeggi, & Lucey, 2006; Shirashoji et al., 2010; Udayarajan, Lucey, & Home, 2005).

The degree of casein dispersion within the system of processed cheeses is closely related to the ability of phosphates to bind calcium into complexes, which decreases in the following order: long-chain polyphosphates, triphosphates, diphosphates and monophosphates (Carić et

al., 1985; Gupta et al., 1984; Molins, 1991; Shirashoji et al., 2010). The highest hardness and the lowest adhesiveness of the model samples with POLY (when compared with the individual phosphates applied on their own) can be attributed to the strong ability of long-chain polyphosphates to bind calcium into complexes and thus improve casein dispersion (Mizuno & Lucey, 2005; Shirashoji et al., 2010). Triphosphates have a stronger ability to exchange ions in comparison with diphosphates and therefore lower values of hardness were observed in the model samples with TSPP compared with the products with PSTP (when applied on their own). On the other hand, triphosphates and diphosphates have a lower ability to bind calcium into complexes than long-chain polyphosphates, which is in accord with our results of the texture parameters of the processed cheeses with TSPP, PSTP and POLY applied on their own. Monophosphates have the lowest ability to exchange ions, which can explain, alongside with the above-mentioned hypothesis, low hardness and high adhesiveness of the processed cheeses into which DSP was applied as the sole emulsifying salt.

In the binary mixtures of POLY with DSP, TSPP or PSTP, hardness of the model samples was increasing and adhesiveness was decreasing with the rising proportion of long-chain phosphates in a given binary mixture. This phenomenon was noticeable within the whole storage period. In the available literature, studies dealing with the influence of defined mixtures of emulsifying salts on texture parameters of processed cheeses are quite rare. One of the few studies is the work by Awad et al. (2002, 2004), who discovered that hardness of processed cheeses is increasing with the rising proportion of polyphosphates in the mixture of emulsifying salts. Sádliková et al. (2010) also observed an increase in hardness with the rising content of long-chain polyphosphates up to 50% of the binary mixture with monophosphates or diphosphates. An explanation for this phenomenon can be found in the influence of the individual phosphates on the dispersion of casein matrix. On the basis of the above-mentioned hypothesis it can be assumed that with the increasing proportion of phosphate with a strong

ability to bind calcium into complexes in a binary mixture, the general ability of this mixture of emulsifying salts to disperse casein is also rising. A similar explanation can also be used for the change in textural properties of the model processed cheeses made with binary mixtures of TSPP and PSTP as a result of the changing ratio of TSPP and PSTP, respectively.

Processed cheeses into which the binary mixtures of DSP with TSPP or PSTP were applied showed a different development of dependency of the texture parameters observed (hardness, cohesiveness and adhesiveness ratio) on the applied ratio of phosphates. According to the above-mentioned hypothesis, the texture parameters of the model samples should have a gradual development depending on the gradually changing ratio of phosphates in a binary mixture, which was observed in the other 4 binary mixtures (POLY with DSP, TSPP or PSTP; TSPP and PSTP). This relatively direct explanation based on the ability of phosphates to bind calcium into complexes is thus insufficient here. The explanation of the above-mentioned different development of dependency (Fig. 1–3, parts D and E) might be found in a strong ability of diphosphates and triphosphates to create gels with milk proteins, which is much stronger than that of long-chain polyphosphates (Cunha & Viotto, 2010; Mizuno & Lucey, 2007; Molins, 1991; Shirashoji, Jaeggi, & Lucey, 2005). Another factor which should be taken into consideration is a small size of the monophosphate molecule and its ability to bind with dispersed casein and increase its level of hydration (Guinee et al., 2004; Molins, 1991). Therefore there is another acceptable hypothesis that small molecules of monophosphates could permeate among caseins linked by means of diphosphates or triphosphates and strongly bind water here. A synergic effect of a sufficient ability of TSPP and PSTP to (i) disperse casein fractions; and (ii) create strong gels of milk proteins; combined with (iii) the ability of small molecules of DSP to bind to caseins and tightly bind water; can contribute to the explanation of different characteristics of textural properties of processed cheeses produced by means of binary mixtures of DSP with TSPP or PSTP.

5. Conclusion

The presented study describes, by means of advanced statistical methods, the dependency of hardness, cohesiveness and adhesiveness of processed cheese spreads on the combination of emulsifying salts consisting of binary mixtures of sodium salts of monophosphate, diphosphate, triphosphate and polyphosphate. The composition of emulsifying salts significantly influences the textural properties of processed cheeses. Processed cheeses in which monophosphates prevailed in the composition of emulsifying salts show a rather soft consistency while a higher proportion of polyphosphates in the mixtures leads to more rigid products. The combinations of monophosphate and diphosphates or triphosphates (when applied evenly within the binary mixture) can lead to the production of processed cheeses with a very rigid consistency. The importance of this work lies mainly in the systematic study and comparison of textural parameters of model processed cheeses under the same conditions. The results of this work could be directly applied in technological practice during the processed cheese production while optimising the composition of emulsifying salts.

Acknowledgment

This study was supported by projects of the internal grant of Tomas Bata University in Zlin No. IGA/6/FT/10/D funded from the resources for specific university research.

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.
- Abdel-Hamid, L. B., El-Shabrawy, S. A., Awad, R. A. (2000). Chemical properties of processed Ras cheese spreads as affected by emulsifying salt mixtures. *Journal of Food Processing Preservation*, 24, 191–208.
- Breuil, P., & Meullenet, J. F. (2001). A comparison of three instrumental tests for predicting sensory texture profiles of cheese. *Journal of Texture Studies*, 32, 41–55.
- Brook, R.J., & Arnold, G.C. (1985) *Applied regression analysis and experimental design*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Carić, M., Gantar, M., & Kaláb, M. (1985). Effects of emulsifying agents on the microstructure and other characteristics of process cheese – A review. *Food Microstructure*, 4, 297–312.
- Cavalier-Salou, C., & Cheftel, J.C. (1991). Emulsifying salts influence on characteristics of cheese analogues from calcium caseinate. *Journal of Food Science*, 56, 1542–1547.
- 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*. 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. (2011). 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.
- Fiszman, S. M., & Damásio, M. H. (2000). Instrumental measurement of adhesiveness in solid and semi-solid foods. A survey. *Journal of Texture Studies*, *31*, 69–91.
- 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.
- Guinee, T.P., Carić, M., & Kaláb, M. (2004). Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. In P. F. Fox, P. L. H. McSweeney, T. P. Cogan (Eds.), *Cheese: Chemistry, Physics and microbiology. Volume 2: Major cheese groups*. (3rd ed., pp. 349–394). Elsevier Applied Science, London.
- 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: 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.
- 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.
- Lee, S. K. & Klostermeyer, H. (2001). The Effect of pH on the Rheological Properties of Reduced-fat Model Processed Cheese Spreads. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie – Food Science and Technology*, 34, 288–292.
- 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.
- 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.
- Mayer, H.K. (2001). Bitterness in processed cheese caused by an overdose of a specific emulsifying agent? *International Dairy Journal*, 11, 533–542.
- Mizuno, R., & Lucey, J.A. (2005). 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. (2007). Properties of milk protein gel formed by phosphates. *Journal of Dairy Science*, 90, 452–4531.
- Molins, R.A. (1991). *Phosphates in food*. CRC Press, Boca Raton.

- Noronha, N., O'Riordan, E.D., & O'Sullivan, M. (2007). Replacement of fat with functional fibre in imitation cheese. *International Dairy Journal*, *17*, 1073–1082.
- 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.
- Sádlíková, I., Buňka, F., Budinský, 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. (2005). Effects of various emulsifying salts on the rheological and textural properties of pasteurized process Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, *88*, Suppl. 1, 19.
- Shirashoji, N., Jaeggi, J. J., & Lucey, J. A. (2006). Effect of trisodium citrate concentration and cooking time on physicochemical properties of pasteurized process cheese. *Journal of Dairy Science*, *89*, 15–28.
- 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.
- Templeton, H. L., & Sommer, H. H. (1936). Studies on the emulsifying salts used in processed cheese. *Journal of Dairy Science*, *19*, 561–572.
- Udayarajan, C. T., Lucey, J. A., & Home, D. S. (2005). Use of Fourier transform mechanical spectroscopy to study the melting behaviour of cheese. *Journal of Texture Studies*, *36*, 489–515.

Figure captions

Fig. 1

Dependence of the values of hardness (N) (axis z) on the ratio of selected phosphates for a given binary mixture (axis y) and storage period (days; axis x) modelled by means of linear regression. Four sodium salts of phosphates were used in six binary mixtures (DSP – Na_2HPO_4 ; TSPP – $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$; PSTP – $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$; POLY – sodium salt of polyphosphate). The ratio of phosphates in a binary mixture is expressed as the percentage of the selected phosphate (highlighted by underlining) in the mixture (axis y). A: DSP and POLY; B: TSPP and POLY; C: PSTP and POLY; D: DSP and PSTP; E: DSP and TSPP; F: TSPP and PSTP.

Fig. 2

Dependence of the values of cohesiveness (axis z) on the ratio of selected phosphates for a given binary mixture (axis y) and storage period (days; axis x) modelled by means of linear regression. Four sodium salts of phosphates were used in six binary mixtures (DSP – Na_2HPO_4 ; TSPP – $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$; PSTP – $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$; POLY – sodium salt of polyphosphate). The ratio of phosphates in a binary mixture is expressed as the percentage of the selected phosphate (highlighted by underlining) in the mixture (axis y). A: DSP and POLY; B: TSPP and POLY; C: PSTP and POLY; D: DSP and PSTP; E: DSP and TSPP; F: TSPP and PSTP.

Fig. 3

Dependence of the values of adhesiveness ratio (axis z) on the ratio of selected phosphates for a given binary mixture (axis y) and storage period (days; axis x) modelled by means of linear regression. Four sodium salts of phosphates were used in six binary mixtures (DSP – Na_2HPO_4 ; TSPP – $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$; PSTP – $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$; POLY – sodium salt of polyphosphate). The ratio of phosphates in a binary mixture is expressed as the percentage of the selected phosphate (highlighted by underlining) in the mixture (axis y). A: DSP and POLY; B: TSPP and POLY; C: PSTP and POLY; D: DSP and PSTP; E: DSP and TSPP; F: TSPP and PSTP.

Table 1
 Values of pH in model processed cheese manufactured using different phosphate-type emulsifying agents during storage *

Emulsifying salt **	Time of storage (days)			
	1	6	15	29
DSP	6.51 ± 0.02 ^a A	6.46 ± 0.02 ^b A	6.42 ± 0.01 ^c A	6.40 ± 0.02 ^c A
TSPP	6.59 ± 0.02 ^a B	6.54 ± 0.02 ^b B	6.42 ± 0.02 ^c A	6.43 ± 0.02 ^c A
PSTP	6.48 ± 0.03 ^a A	6.45 ± 0.01 ^a A	6.39 ± 0.02 ^b A	6.41 ± 0.02 ^b A
POLY	5.47 ± 0.02 ^a C	5.40 ± 0.01 ^b C	5.36 ± 0.02 ^c B	5.34 ± 0.02 ^c B

* Values (mean±S.D.; n=8) within a line (the difference between days of storage) followed by different superscript letters differ (P<0.05). Means within a column (the difference in the individual phosphate salts) followed by different capital letters differ (P<0.05).

** DSP – Na₂HPO₄; TSPP – Na₄P₂O₇; PSTP – Na₅P₃O₁₀; POLY – sodium salt of polyphosphate.

Table 2

The parameters of optimal regression models, the coefficients of determination R^2 and the values of Mallows' statistics C_p for hardness, cohesiveness and adhesiveness ratio of model processed cheese produced using binary mixture of four sodium salts of phosphates (DSP – Na_2HPO_4 ; TSPP – $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$; PSTP – $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$; POLY – sodium salt of polyphosphate)*

Texture parameter	Binary mixture	Regression parameters								R^2	C_p
		α	β_1	β_2	β_3	γ_1	γ_2	γ_3	δ		
Hardness	DSP:POLY	0.774	0.404	-0.028	0.000570	1.211	-0.071	x**	0.004	0.9148	33.008
	TSPP:POLY	2.787	0.720	-0.059	0.001244	3.156	x	1.218	0.071	0.8114	6.743
	PSTP:POLY	3.581	0.478	-0.034	0.000700	4.714	-13.292	11.676	x	0.7713	7.928
	DSP:PSTP	1.732	0.226	-0.005	x	38.233	-70.495	30.394	x	0.8988	7.995
	DSP:TSPP	-0.090	0.270	-0.006	x	54.546	-88.714	32.522	x	0.8508	6.727
	TSPP:PSTP	2.532	0.071	-0.002	x	4.316	-6.449	3.213	x	0.6922	8.063
Cohesiveness	DSP:POLY	0.747	x	x	x	-0.253	0.093	x	x	0.7244	6.729
	TSPP:POLY	7.153	x	x	x	0.033	0.016	0.011	x	0.4863	6.056
	PSTP:POLY	0.619	x	x	x	x	x	0.027	x	0.1038	6.315
	DSP:PSTP	0.701	x	x	x	1.927	-4.249	2.300	x	0.7472	2.609
	DSP:TSPP	0.570	0.034	-0.003	0.000080	3.654	-6.607	2.975	x	0.7238	6.146
	TSPP:PSTP	0.579	x	x	x	x	0.094	x	x	0.5409	1.782
Adhesiveness ratio	DSP:POLY	0.611	x	x	x	x	-1.046	0.770	x	0.8403	1.225
	TSPP:POLY	0.558	x	x	x	x	-0.210	x	x	0.6835	12.030
	PSTP:POLY	0.531	0.003	x	-0.000004	-0.194	x	x	x	0.7217	7.717
	DSP:PSTP	0.706	-0.003	x	x	0.198	x	x	x	0.3317	37.665
	DSP:TSPP	0.510	0.045	-0.005	0.000100	2.972	-4.972	2.311	x	0.4858	6.576
	TSPP:PSTP	0.461	x	x	x	x	x	0.107	0.002	0.6313	2.566

* The basic linear model used: $Z = \alpha + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \beta_3 X^3 + \gamma_1 Y + \gamma_2 Y^2 + \gamma_3 Y^3 + \delta XY + s$

** The symbol „x“ was used when the parameter was eliminated from used model

Fig. 1

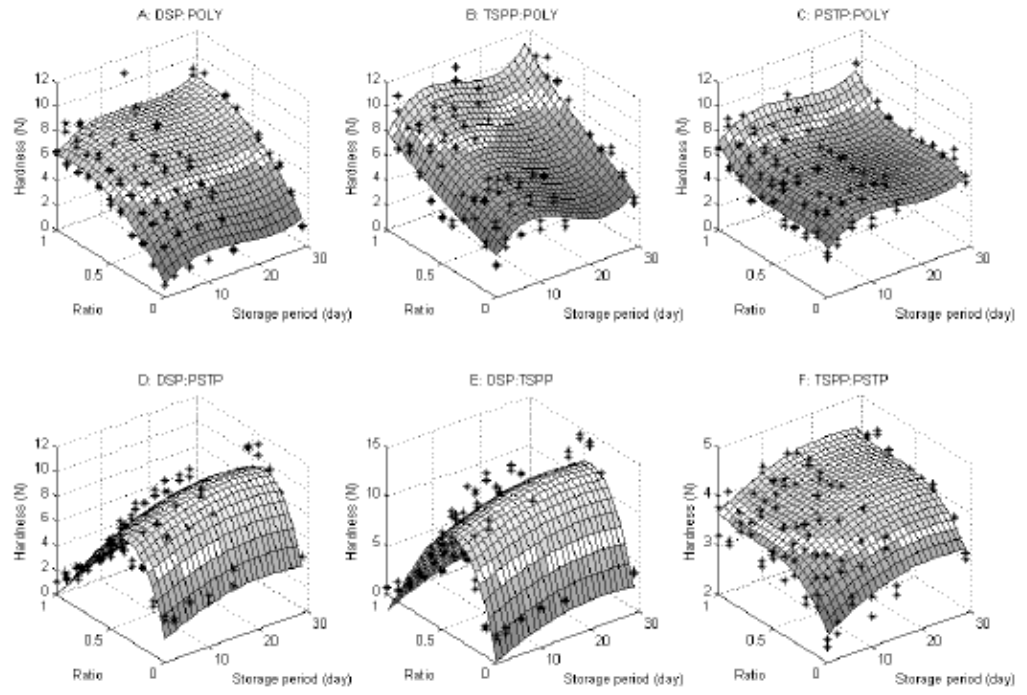


Fig. 2

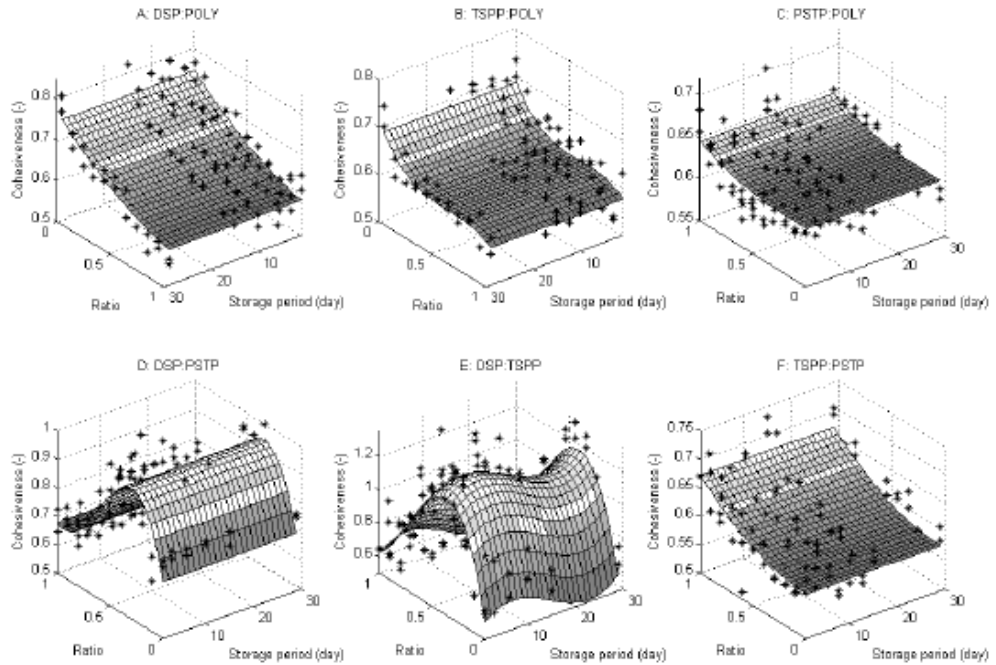


Fig. 3

