

**Možnosti využití vybraných hydrokoloidů a směsí
různých fosforečnanů při výrobě tavených sýrů**

**Possibilities of selected hydrocolloids and different phosphates
application during processed cheese spread production**

Autor: Ing. Gabriela Nagyová
Studijní program: P2901 Chemie a technologie potravin
Studijní obor: 2901V013 Technologie potravin
Školitel: doc. Ing. František Buňka, Ph.D.

Zlín, říjen 2014

© Gabriela Nagyová

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **Doctoral Thesis**.
Publikace byla vydána v roce 2014

Klíčová slova: *tavený sýr; disperze odtučněné mléka; hydrokoloidy; tvrdost; optická hustota.*

Key words: *processed cheese; skim milk dispersion; hydrocolloids; hardness; optical density.*

OBSAH

OBSAH	3
ABSTRAKT	5
ABSTRACT	6
1. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	7
1.1 Výroba tavených sýrů.....	7
1.2 Tavicí soli	9
1.2.1 Fosforečnanové tavicí soli	12
1.2.2 Citronanové tavicí soli	18
1.3 Vybrané faktory ovlivňující konzistenci tavených sýrů.....	18
1.3.1 Vlastnosti přírodního sýra.....	18
1.3.2 Obsah tuku	19
1.3.3 Přídavek vody	20
1.3.4 Hodnota pH taveného sýra.....	20
1.3.5 Přídavek sušeného odstředěného mléka nebo sušené syrovátky ..	21
1.3.6 Přídavek vápenatých iontů	21
1.3.7 Přídavek náavku.....	21
1.3.8 Zpracování taveniny.....	22
1.3.9 Skladování tavených sýrů	23
1.4 Hydrokoloidy.....	23
1.4.1 Alginát.....	24
1.4.2 Agar.....	26
1.4.3 Karagenan	27
1.4.4 Pektin	29
2. CÍL PRÁCE.....	32
3. ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ	34
3.1 Popis experimentálních částí.....	34
3.1.1 První část praktické práce	36
3.1.2 Druhá část praktické práce.....	36
3.2 Výroba vzorků.....	37
3.2.1 Modelové vzorky tavených sýrů.....	37
3.2.2 Modelové vzorky disperze sušeného odstředěného mléka	38
3.3 Metody analýzy	39
3.3.1 Fyzikálně-chemická analýza	39
3.3.2 Texturní profilová analýza	39
3.3.3 Stanovení optické hustoty	40
3.4 Vyhodnocení experimentálních dat	41
4. HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE.....	42
4.1 Výsledky první části praktické práce	42
4.1.1 Výsledky fyzikálně-chemické analýzy	42
4.1.2 Výsledky texturní profilové analýzy.....	43
4.2 Výsledky druhé části praktické práce	56
4.2.1 Výsledky fyzikálně-chemické analýzy	56

4.2.2	Výsledky texturní profilové analýzy	63
4.2.3	Výsledky měření optické hustoty	79
5.	SOUHRNNÁ DISKUSE	82
6.	PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI.....	88
7.	ZÁVĚR	89
8.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	90
9.	SEZNAM ILUSTRACÍ.....	104
10.	SEZNAM TABULEK	107
11.	SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	108
12.	SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA	109
13.	CURRICULUM VITAE	111

ABSTRAKT

Cílem práce bylo studovat vliv různé koncentrace vybraných hydrokoloidů (alginát sodný, agar, κ -karagenan, pektiny s různým stupněm esterifikace), vliv tavicích solí s různou délkou fosforečnanového řetězce a kombinací ternárních směsí fosforečnanových tavicích solí na texturní vlastnosti tavených sýrů. Předmětem studie byly také změny optické hustoty pro ověření hypotézy, podle které je možné texturní změny tavených sýrů v závislosti na použitých tavicích solích vysvětlit pouze s použitím údajů o intenzitě dispergace kaseinových proteinů v matici jednotlivými fosforečnany.

Tavicí soli pro výrobu modelových vzorků tavených sýrů a disperzí odtučněného mléka druhé části praktické disertační práce sestávaly ze sodných solí hydrogenfosforečnanu (P1; Na_2HPO_4), difosforečnanu (P2; $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), trifosforečnanu (P3; $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) a polyfosforečnanů s různou střední délkou řetězce $(\text{NaPO}_3)_n$, kde n představuje střední hodnotu počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5, 9, 13, 20 a 28. Ternární směsi tavicích solí byly tvořeny kombinacemi P1:P2:Pn a P1:P3:Pn, vzniklo tak tedy 10 variant kombinací ternárních směsí tavicích solí.

Z naměřených výsledků je patrné, že v případě narůstajícího přídavku hydrokoloidů došlo ke zvýšení hodnot tvrdosti tavených sýrů. V některých případech přídavků byla nalezena hraniční koncentrace, při níž došlo k výrazné změně trendu nárůstu hodnot tvrdosti.

Tvrdot tavených sýrů se zvyšovala s narůstající délkou řetězce jednotlivě přidané fosforečnanové tavicí soli. Po přídavku ternárních směsí tavicích solí byl nalezen specifický poměr mezi hydrogenfosforečnanem a difosforečnanem sodným 1:1-3:4 (při obsahu polyfosforečnanů nižším než 60 %), který výrazně zvyšoval hodnoty tvrdosti tavených sýrů. Srovnáním polyfosforečnanů s různou délkou řetězce v ternárních směsích bylo zjištěno, že použitý typ polyfosforečnanu ovlivnil absolutní hodnoty tvrdosti, zejména při relativním obsahu polyfosforečnanu v ternárních směsích 20–50 %, přičemž s klesajícím počtem monomerů lineárně vázaných v polyfosforečnanu rostly absolutní hodnoty tvrdosti. Intenzivnější dispergace kaseinových bílkovin bylo dosaženo při použití tavicí soli s delším fosforečnanovým řetězcem a optická hustota klesala s nárůstem fosforečnanového řetězce a množstvím polyfosforečnanu v ternární směsi přidané do disperzí odtučněného mléka. Jelikož nedošlo k nalezení specifického poměru mezi hydrogenfosforečnanem a difosforečnanem sodným, který by výrazně snižoval hodnoty optické hustoty, jak tomu bylo u tavených sýrů, lze konstatovat, že procesy dispergace kaseinových bílkovin po přídavku tavicích solí nejsou pouze jediným faktorem ovlivňujícím texturní vlastnosti tavených sýrů.

ABSTRACT

The aim of this work was to study the effect of different concentrations of selected hydrocolloids (sodium alginate, agar, κ -carrageenan pectins with different esterification degrees) and the effect of emulsifying salts with different chain length and combinations of ternary mixtures of phosphate emulsifying salts on the textural properties of processed cheese. The objects of this study were the changes of optical density to verify the hypothesis, according to which the textural changes of processed cheese depending on emulsifying salts used are possible to explain only with the data of casein dispergation intensity in matrix using individual emulsifying salts.

The emulsifying salts for production of processed cheese model samples and model skim milk dispersions in the second part of practical work were composed of sodium salts of hydrogenphosphate (P1; Na_2HPO_4), diphosphate (P2; $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), triphosphate (P3; $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) and polyphosphates with different middle chain length $(\text{NaPO}_3)_n$, where n indicates the middle value of phosphates amount linearly bound in molecule 5, 9, 13, 20 and 28. The ternary mixtures of emulsifying salts were formed by P1:P2:Pn and P1:P3:Pn combinations, therefore 10 combinations of ternary emulsifying salts mixtures were produced.

The results indicate that with increasing hydrocolloids addition the hardness of processed cheese increased, although the trend of increase was not linear for all samples. In some cases of addition a marginal concentration was found, in which a noticeable change in hardness increase trend was observed.

The hardness of processed cheese increased with increasing chain length of phosphate emulsifying salts addition. After an addition of ternary mixtures of emulsifying salts a specific ratio between hydrogenphosphate and diphosphate sodium was found - 1:1-3:4 (if the amount of polyphosphate was lower than 60%), which rapidly increased the hardness values of processed cheese. The comparison between polyphosphates with different chain length in ternary mixtures shows that the applied type of polyphosphate influenced the absolute values of hardness, especially if relative amount of polyphosphate was 20-50% and with decreasing amount of monomers linearly bound in polyphosphate increased the absolute hardness values. The intensive dispergation of casein proteins was gained if emulsifying salts with longer chain length were applied and the optical density decreased with increasing phosphate chain and amount of polyphosphate in ternary mixtures applied in skim milk dispersions. Because a specific ratio between hydrogenphosphate and diphosphate sodium which intensively decreased the optical density values like in processed cheese was not found, it can be stated, that casein dispergation processes after emulsifying salts addition are not the only factors, which influence textural properties of processed cheese.

1. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Tavené sýry patří v současné době mezi velmi populární a rozšířenou skupinu mléčných výrobků. V České republice bylo podle Českého statistického úřadu v roce 2012 spotřebováno 2,2 kg/osoba/rok [1], což je v porovnání s většinou členských zemí Evropské Unie téměř dvojnásobek. Hlavní odůvodnění vysoké poptávky po tavených sýrech lze najít především v příznivé cenové dostupnosti a prodloužené trvanlivosti oproti jiným mléčným výrobkům. Rovněž variabilita texturních vlastností, obsahu tuku, chutí, vůní, velikosti balení a tvarů je předurčuje k různým možnostem uplatnění jak v teplé, tak i studené kuchyni [2-6]. Přesto došlo oproti roku 2009 (2,4 kg/osoba/rok) k mírnému snížení poptávky po tavených sýrech. Důvody lze hledat nejen v poklesu objemu finančních prostředků (v reálných hodnotách) vynakládaných na spotřebu potravin, ale také ve stále narůstající oblibě nákupu analogů tavených sýrů, jejichž spotřeba se do statistik tavených sýrů nezapočítává [1].

1.1 Výroba tavených sýrů

Vyhláška Ministerstva zemědělství 77/2003 Sb. definuje tavený sýr jako sýr, který byl tepelně upraven za přídavku tavicích solí. Rovněž uvádí, že minimálně 51 % (w/w) sušiny musí pocházet z přírodního sýra a výrobek nemůže být označen jako tavený sýr, ale jako tavený sýrový výrobek, pokud obsahuje více než 5 % (w/w) laktosy [7].

V zahraniční literatuře lze nalézt popis taveného sýra jako směs přírodního sýra, tavicích solí a dalších ingrediencí, jež vzniká během záhřevu a míchání, dokud nedojde k vytvoření homogenní struktury. Ke směsi přírodních sýrů mohou být přidány i jiné suroviny, ať už mléčného či nemléčného původu [8-12].

Tavené sýry lze rozdělit dle několika hledisek. Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 7/2003 Sb. [7] dělí tavené sýry podle obsahu tuku na vysokotučné (obsah tuku v sušině minimálně 60 % (w/w)) a nízkotučné (obsah tuku v sušině maximálně 30 % (w/w)). Ve vyhlášce nepojmenované skupiny tavených sýrů rozdělil Pavelka [8] na plnotučné s obsahem tuku v sušině v rozmezí 45 až 55 % (w/w) a polotučné s obsahem tuku v sušině 30 až 45 % (w/w). Forman *et al.* [13] popsal ve své práci podobné rozdělení tavených sýrů, pouze s tím rozdílem, že nízkotučné tavené sýry omezil spodní hranicí 20 % (w/w) tuku v sušině.

V závislosti na použité základní surovině lze tavené sýry rozdělit na skupinu jednodruhových tavených sýrů, ve které byl použit jeden deklarovaný typ přírodního sýra nebo vícedruhové, pro jejichž výrobu byla použita směs různých druhů přírodních sýrů v různých poměrech určených výrobní technologií [6, 14].

Food and Drug Administration, Code of Federal Regulation [15] dělí tavené sýry na 4 různé kategorie a to konkrétně na pasteurized blended cheese (pasterované směsné sýry), pasteurized processed cheese (pasterované tavené sýry), pasteurized processed food (pasterované tavené sýrové produkty) a pasteurized processed cheese spreads (pasterované tavené sýrové pomazánky). Kategorie jsou rozčleněny podle požadavků na minimální obsah tuku, maximální povolený obsah vlhkosti a množství dalších ingrediencí, které lze pro výrobu dané kategorie použít [5, 11, 16].

Základními surovinami pro výrobu tavených sýrů jsou přírodní sýr (kapitola 1.3.1), tuk (máslo, smetana nebo bezvodý mléčný tuk; kapitola 1.3.2) voda (kapitola 1.3.3), a tavicí soli (kapitola 1.2) [3, 17-20]. Dalšími surovinami, jež mohou být při výrobě tavených sýrů používány, jsou tvaroh (zvyšuje obsah tukuprosté sušiny a snižuje pH), krém (nátavek, rework; již utavený sýr; poskytuje jemnější a stabilnější konzistenci) a ochucující přísady (šunka, zelenina, žampiony, kapie, pažitka) [3, 6, 21-23]. Texturní vlastnosti tavených sýrů mohou být ovlivňovány přidávkem hydrokoloidů anebo emulgátorů [3, 24-27].

V dnešní době je možno vyrábět tavené sýry kontinuálním nebo diskontinuálním způsobem, přičemž v České republice stále převažuje způsob diskontinuální [28]. Samotný technologický proces výroby tavených sýrů diskontinuálním způsobem probíhá v tzv. tavicích kotlích (tavicích zařízeních) a lze jej rozdělit na 6 základních kroků (dále popsáno níže):

- 1) sestavení surovinové skladby dle požadavků na konečný výrobek;
- 2) čištění, mletí a krájení surovin;
- 3) předmíchání rozmělněné směsi;
- 4) samotný proces tavení;
- 5) plnění do obalů;
- 6) chlazení a skladování [5, 6, 13].

Základním předpokladem pro výrobu kvalitních tavených sýrů je výběr vysoce jakostních surovin, přičemž hlavními ukazateli jsou fyzikálně-chemické, sensorické a mikrobiologické vlastnosti [6, 28]. Výběr přírodního sýra vychází z obecných pravidel pro výrobu tavených sýrů a/nebo zkušeností vedoucího výroby na základě jeho předchozích zkušeností. Je možno použít přírodní sýry s mechanickými vadami, jako je velká nebo naopak malá tvorba ok, deformace během zrání, odlišná velikost či hmotnost oproti standardním výrobkům apod., jež nemohou být prodávány konečnému spotřebiteli [6]. Nedoporučuje se však použít přírodní sýry s mikrobiologickými vadami, především pokud se jedná o sporulující bakterie nebo plísně. Jelikož teploty používané při diskontinuální výrobě jsou schopny inaktivovat pouze vegetativní formy mikroorganismů, ne bakteriální spory, může výskyt většího počtu sporulujících mikroorganismů

ohrozit jakost a zdravotní nezávadnost výrobku. U surovin s výskytem plísní hrozí riziko vzniku mykotoxinů. Před samotným tavením je nutno přírodní sýry upravit. Jedná se především o odstranění folií, bílé sýry je nutno částečně odsolit, sýry s větší hmotností se krájí na kusy o hmotnosti 2-3 kg. Následuje řezání na řezačkách [28]. Pokud se jedná o hrubé mletí, používají se především velké a výkonné rychlořezačky. Dokonalé rozmělnění je provozováno kovovými nebo žulovými válci [29]. Následné předmíchání je zařazeno z důvodu usnadnění interakcí jednotlivých ingrediencí a zlepšení průniku tepla při vlastním procesu tavení. Rozmělněná a promíchaná směs je dopravována k tavicímu kotli [5, 22, 30].

Suroviny (přírodní sýr, máslo, tavicí soli, voda a popř. další přídatné suroviny) jsou nadávkovány do tavicích kotlů spádovými trubkami, překlápěcím zařízením, šneky, čerpadly popř. ručně. Samotné tavicí kotle mají vyhřívaný plášť, zařízení pro vstřík páry a rotující nože, jež rovněž zajišťují intenzivní míchání. Za sníženého tlaku a v relativně krátkém čase dojde ke zvýšení teploty až na tzv. tavicí teplotu 85-110 °C, která je udržována přibližně 2-15 minut [6, 13, 20, 22, 28].

Kontinuální způsob tavení probíhá při teplotě mezi 130-145 °C po dobu 2-3 sekund v nerezovém potrubí. Jakmile je tavenina po záhřevu rozmíchána, dojde ke zchlazení na 90 °C, přičemž je tato teplota udržována několik minut, během níž se zařazuje vymíchávání. V tomto časovém úseku dochází k interakcím mezi jednotlivými složkami směsi, tvorbě jak vápenatých můstků, vápenato-fosforečnanových komplexů, tak i hydrofobních interakcí [13, 17, 28].

Horkou taveninu je nutno co nejrychleji dopravit k balicím strojům, aby nedošlo ke kontaminaci nežádoucí mikroflórou. V České republice lze nalézt tavené sýry především ve formě hranolů nebo trojúhelníků z hliníkové fólie, která je z vnitřní strany lakována, nebo ve formě plastových kelímků různého objemu [24, 28]. Ve světě se prodávají tavené sýry i v plastových tubách, kelímcích, sklenicích apod. [28]. Po vychlazení jsou tavené sýry skladovány mezi 4 a 8 °C [6, 13, 20, 22].

1.2 Tavicí soli

Přírodní sýry představují složitý polydisperzní systém, ve kterém se vyskytují především bílkoviny, tuk, voda a další minoritní látky. Záhřev a míchání přírodního sýra a dalších surovin by bez přídavku tavicích solí měl za následek destrukci membrán tukových kuliček, následně by se tukové kuličky shlukovaly do větších celků. Účinek nízkého pH a vysoké teploty by se projevil agregací a kontrakcí kaseinu, přičemž by došlo k uvolnění vody a následně oddělení hydrofilních a hydrofobních fází. Proto jsou přidávány tavicí soli, aby došlo k zabránění výše uvedených jevů [3, 6, 19, 31].

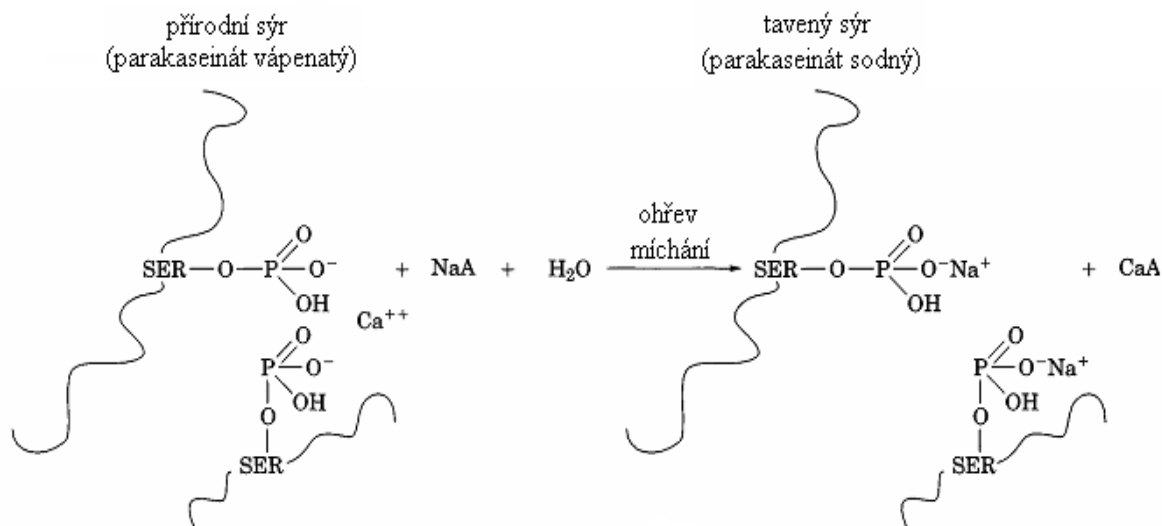
Podle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 4/2008 Sb. [32] jsou tavicí soli látky měnící vlastnosti bílkovin při výrobě tavených sýrů za účelem zamezení oddělování tuku. Obdobnou definici lze nalézt v Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1333/2008 ze dne 16. prosince 2008 o potravinářských přídatných látkách, která uvádí, že "tavicími solemi" se rozumějí látky, které převádějí bílkoviny obsažené v sýru do disperzní formy za účelem homogenního rozložení tuků a ostatních složek [33].

V praxi se používají tavicí soli ve sloučeninách s vícesytnými anionty (fosforečnany, citronany) s monovalentními alkalickými kovy (sodík, draslík) [6, 12, 19, 34, 35]. Mezi nejpoužívanější typy tavicích solí patří zejména sodné soli kyseliny trihydrogenfosforečné a citronové. Rovněž je možno uplatnit draselné soli kyseliny fosforečné, avšak při jejich použití hrozí riziko vzniku hořké chuti finálního výrobku [9, 19, 31]. Novější práce ovšem riziko hořknutí nepotvrzují [35-37]. V praxi se tavicí soli obvykle používají ve směsi [9, 38].

Úlohou tavicích solí je upravit prostředí v tavenině tak, aby proteiny, jež jsou součástí polydisperzního systému přírodního sýra, mohly uplatnit své přirozené emulgační vlastnosti [28]. Hlavním úkolem tavicích solí je odštěpení vápníku z proteinové matrice, peptizace, hydratace, zvyšování rozpustnosti a schopnosti bobtnání bílkovin. Rovněž zlepšují emulgaci a stabilizaci tuků, mění hodnoty pH a ve fázi chlazení formují strukturu taveného sýra [38-42].

Vápník je v přírodních sýrech vázán karboxylovými skupinami kyselých aminokyselin a fosfoserinovými zbytky kaseinu. Struktura kaseinových frakcí je tvořena hydrofilními polárními oblastmi obsahující fosfoserinová rezidua i lipofilní nepolární oblasti. Proto je možné, aby kaseiny působily jako přirozené emulgátory. Možnost fungovat jako emulgátory je ale v přírodních sýrech znemožněna vápenatými můstky, které napomáhají síťování matrice přírodního sýra [3, 22]. Jakmile dojde k přidávku tavicích solí, vápenaté ionty se z matrice uvolní, čímž se uvolní i bílkoviny. Tyto bílkoviny se mohou následně zapojit do procesu emulgace tuku, dojde rovněž k vazbě a stabilizaci přítomné vody [6, 38, 43, 44].

Proces emulgace je umožněn výměnou iontů vápníku za ionty sodíku (popř. draslíku), čímž se upraví podmínky prostředí v tavenině a bílkoviny mohou uplatnit svou přirozenou funkci emulgátoru. Nerozpustný parakaseinát vápenatý se tedy přemění na rozpustnější parakaseinát sodný (obr. 1) [5, 6, 45-47].



Obr. 1: Iontová výměna vápenatých iontů za sodné v přítomnosti tavicích solí při výrobě tavených sýrů (NaA - tavicí sůl obsahující sodný kationt; CaA - tavicí sůl s navázaným vápenatým kationtem) [upraveno podle 5]

Bowland a Foegeding [48] popisují tvorbu proteinové sítě ve dvou krocích. V prvním kroku dojde k dispergaci kaseinových molekul z proteinové sítě působením tavicích solí, druhým krokem je emulgace a začlenění tukových kuliček do proteinové sítě, což potvrzuje i Lee *et al.* [17]. K dispergaci kaseinu dochází během záhřevu a míchání přemístěním vápenatých iontů z nerozpustného komplexu s parakaseinátem a rozrušením fosforečnan-vápenaté vazby. Právě tato vazba je zodpovědná za formaci a stabilitu kaseinových micel v přirodním sýru a jejím rozrušením může dojít k úspěšné dispergaci kaseinu [5, 40, 49, 50]. Rovněž původní membrány tukových kuliček se během záhřevu rozpadají. Hydratované a rozptýlené komplexy rozpustného parakaseinátu vápenatého jsou schopny interagovat s tukovými kuličkami. Tento jev je umožněn obnovením emulgačních schopností přítomných proteinů, které znovu pokrývají tukové částice a tvoří kolem nich nové membrány [5, 38, 40, 48]. Proteiny se naváží na fázové rozhraní olej-voda (hydrofilní část molekuly směrem k vodě, hydrofobní směrem k tuku) a tím dojde k zamezení styku jednotlivých tukových kuliček. Vytvoří se tedy malé kapičky tuku obalené proteiny, jejichž shlukování je omezeno a nedojde k oddělení tukové fáze od vodné. Během chlazení dochází u částečně dispergovaných kaseinových matic k jejich vzájemným interakcím popsaným níže a tvorbě gelovité sítě, ve které jsou rozptýleny tukové kuličky. Začlenění tukových kuliček závisí na jejich velikosti a různorodosti ve velikosti. Menší velikosti tukových kuliček umožní adsorpci více proteinů na rozhraní tuk-voda. Čím je velikost tukových kuliček vyrovnanější, tím jednodušší je začlenění tukových kuliček do proteinové matrice a vytvořená proteinová síť je pevnější [12, 17, 51, 52].

Finální struktura taveného sýra je tvořena během procesu krémování, kdy dochází k vytvoření rovnováhy přitažlivých a odpuzivých sil. Odpuzivé síly v systému představují elektrostatické interakce, které vznikají v důsledku vyšší intenzity negativních nábojů na kaseinech. Intenzita negativních nábojů je dále zvýšena navázáním fosforečnanových a zejména polyfosforečnanových aniontů. Za přitažlivé síly v kaseinové matici jsou zodpovědné zejména vápenaté můstky a vápenato-fosforečnanové komplexy vazbou na záporně nabitě kaseinové frakce, což vede k tvorbě příčných vazeb mezi proteiny. Vápenaté ionty i vápenato-fosforečnanové komplexy (můstky) snižují negativní náboj mezi kaseiny a podporují jejich přibližování, což může usnadnit hydrofobní interakce mezi hydrofobními segmenty jednotlivých řetězců, čímž se zvýší intenzita zesílení kaseinů. K zesílení proteinové matrice mohou dále přispívat disulfidické a vodíkové můstky [5, 12, 18, 47].

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 4/2008 Sb. [32] a Nařízení Evropského parlamentu č. 1333/2008 ze dne 16. prosince 2008 o potravinářských přídatných látkách [33] uvádí, že je do tavených sýrů možno přidávat maximálně 20 000 mg.kg⁻¹ fosforečnanových tavicích solí (vyjádřeno jako obsah P₂O₅), což odpovídá přibližně 3,5 % (w/w) na celkovou hmotnost vyrobeného produktu. Stanovit přesně maximální možný obsah tavicích solí je poměrně náročné, protože každá fosforečnanová tavicí sůl má jiný obsah P₂O₅ [19, 32]. Většinou se ale přidávají v koncentraci 2-3 % (w/w) [3, 9, 14, 19].

1.2.1 Fosforečnanové tavicí soli

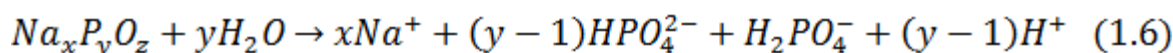
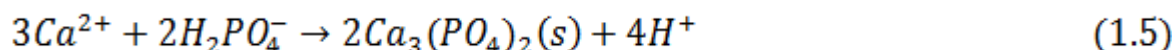
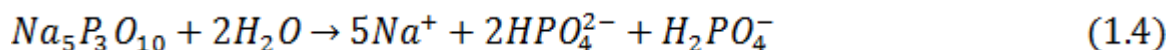
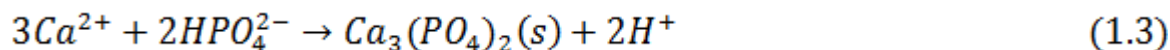
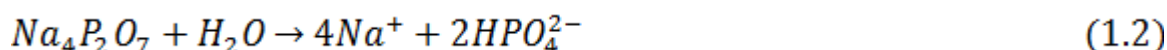
Fosforečnanové tavicí soli jsou odvozeny od kyseliny trihydrogenfosforečné (H₃PO₄) a tvoří skupinu sloučenin, které obsahují aniont (PO₄)³⁻. Pokud jsou soli tvořeny jednou skupinou zmíněného aniontu, jedná se o tzv. monofosforečnany. Ze dvou monomerů vzniká dimer (také zvaný difosforečnan). Podmínkou jeho vzniku je vysoká teplota, při které dojde ke ztrátě vody a kondenzaci dvou sousedních hydroxylových skupin dvou monomerů vzniká tedy výsledný difosforečnan. Polymery s více než dvěma fosfory v molekule (tzv. polyfosforečnany) vznikají v případě, že se procesu polymerace zúčastní i delší řetězce. Jelikož každá aniontová skupina (PO₄)³⁻ může sdílet až tři své atomy kyslíku s jinými skupinami (PO₄)³⁻, mohou vznikat nejen lineární, ale i třídimenzionální struktury (ultrafosforečnany) anebo uzavřené cykly (metafosforečnany) [19, 22, 28, 52, 53].

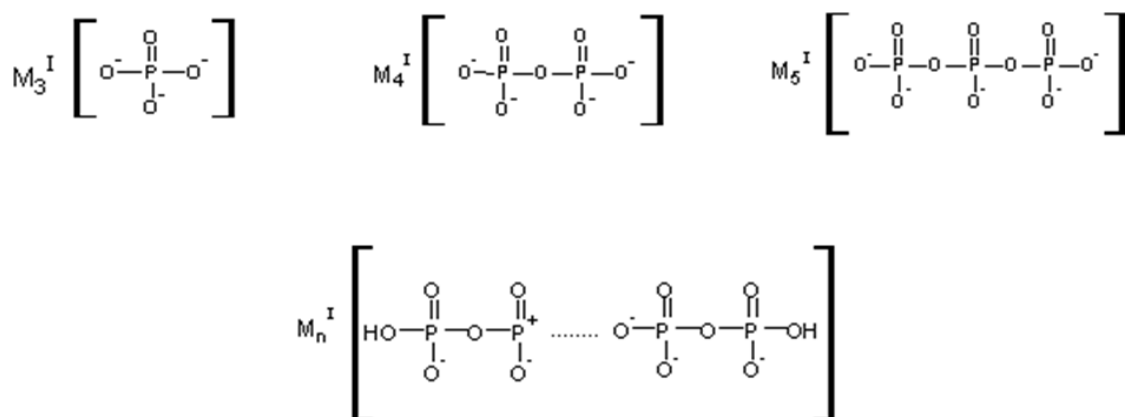
Důležitou vlastností fosforečnanových tavicích solí je schopnost odštěpovat z prostředí a vázat na sebe monovalentní i polyvalentní kationty kovů. Fosforečnany mají nižší schopnost vázat alkalické kovy (např. sodík a draslík) než kovy alkalických zemin (vápník a hořčík). Srovnáním schopnosti být vázán fosforečnany je převaha vazby na straně sodíku oproti draslíku [12, 19, 37].

Schopnost vázat na sebe kationty je ovlivněna i obsahem fosforečnanových jednotek v molekule. Platí, že afinita ke kationtům roste se zvyšujícím se počtem fosforů ve sloučenině (klesá v následujícím pořadí: polyfosforečnany > trifosforečnany > difosforečnany > monofosforečnany > citronany [54-58]. Vyšší obsah fosforečnanových jednotek vede k vyšší dispergaci kaseinů, která je tím intenzivnější, čím účinnější je iontová výměna. Čím více je kasein dispergován, tím více mohou tyto proteiny rozvinout své emulgační a hydratační schopnosti a stabilizovat přítomný tuk a vodu ve směsi. Rostoucí rozsah procesu hydratace proteinů a emulgace tuků vede k nárůstu intenzity interakcí v tavenině a zesílení kaseinů, důsledkem je poté tužší tavený sýr [10, 28, 38, 44]. Oproti předchozím tvrzením, El-Barky *et al.* [36] ve své práci pozorovali, že přidavek citronanů v porovnání s monofosforečnany vede k vyšší hydratační schopnosti proteinů a rovněž dispergace vazby kasein-kasein a následná interakce kasein-voda je podle autorů intenzivnější při přidavku citronanových tavicích solí.

Další důležitou vlastností fosforečnanů je úprava pH prostředí. Optimální pH pro roztíratelné tavené sýry se pohybuje v rozmezí 5,6-6,1 [3, 37, 59]. Jakost finálního výrobku se změní, dojde-li k jakémukoli odklonu od tohoto rozmezí [20, 33, 53]. Tuhé až drobné tavené sýry byly pozorovány při nižších hodnotách pH, naopak vyšší pH se projevilo měkkou až rozbředlou konzistencí [20, 59]. Přídavek tavicích solí výrazně ovlivňuje hodnoty pH, přičemž jejich vliv je dán nejen délkou fosforečnanového řetězce, ale i volbou hydratované či nehydratované formy. V případě srovnání nehydratované formy přidavku tavicích solí dochází s prodlužující se délkou fosforečnanového řetězce k poklesu hodnot pH. Tuto skutečnost si lze vysvětlit rozdílným počtem atomů vodíku, jež mohou být během reakcí při výrobě tavených sýrů uvolněny. Ze schématu uvedeného níže je patrné, že v případě přidavku fosforečnanu sodného ve formě tavicích solí (rovnice 1.1) nedochází k žádnému uvolnění vodíku a jeho pH je tedy nejvyšší. V případě difosforečnanu sodného vzniká během jeho hydrolyzy produkt HPO_4^{2-} (rovnice 1.2), jež je schopen reagovat s vápenatými ionty za vzniku dvou iontů vodíků (rovnice 1.3). Tento produkt hydrogenfosforečnanu je zároveň meziproductem v případě přidavku tavicích solí s alespoň třemi fosfory v molekule fosforečnanu a ve všech případech přidavku tedy dochází k nárůstu počtu uvolněných atomů vodíku o dva. Bližší studie trifosforečnanu sodného poukazuje na skutečnost (rovnice 1.4), že dochází k uvolnění dalších dvou atomů vodíku a vzniká další meziproduct ve formě H_2PO_4^- , jehož reakcí s ionty vápníku (rovnice 1.5) dochází u uvolnění dalších 4 iontů vodíku. Rovněž tento produkt trifosforečnanu je pozorován v případě přidavku polyfosforečnanových tavicích solí. S narůstající délkou fosforečnanového řetězce dochází vždy ke vzniku „y-1“ iontů vodíku (rovnice 1.6), přičemž „y“ v tomto případě představuje počet fosforylových zbytků lineárně vázaných v molekule a je možno tedy ve všech případech polyfosforečnanu přičíst dalších 6 iontů vodíku z důvodů popsanych výše. Je tedy patrné, že polyfosforečnany s nejdelším řetězcem fosforylových zbytků

vázaných v molekule mají nejnižší pH. Toto vysvětlení možnosti uvolnění určitého počtu vodíků je možné pouze v případě, že se jedná o fosforečnany, v jejichž primární struktuře nejsou navázány atomy vodíku, což je i v této práci s výjimkou monofosforečnanu, jež byl přidáván ve formě hydrogenfosforečnanu sodného. Srovnáváním přídavek fosforečnanů v hydratované či nehydratované formě se stejnou délkou fosforečnanového řetězce lze konstatovat, že nižší hodnoty pH lze očekávat po přidavku fosforečnanů v hydratované formě. Hodnoty pH totiž klesají úměrně k narůstajícímu počtu vodíku vázaných v primární struktuře fosforečnanové tavicí soli. V případě hydrogenfosforečnanu sodného lze počítat s možností, že zde dojde k uvolnění o 2 vodíky více proti nehydratované formě, jelikož podle rovnice 1.7 vzniká meziprodukt, jenž je schopen interagovat s ionty vápníku podle rovnice 1.3. Přídavkem dihydrogenfosforečnanu sodného (rovnice 1.8) lze počítat se 4 vodíky navíc, jelikož reakce s vápenatými ionty pokračuje dle rovnice 1.5. V případě polyfosforečnanů, jež by byly přidávány jako hydrogenfosforečnany s rozdílnou délkou fosforečnanového řetězce, je možné opírat se o teorii, že každý polyfosforečnan obsahuje dva slabě a tolik silně disociujících atomů vodíku, kolik obsahují molekul fosforečnanu. Dva slabě disociující vodíky jsou umístěny na koncích polyfosforečnanového řetězce a silně disociující jsou navázány na atomy kyslíku mezi nimi. Na každé molekule fosforu v řetězci je tedy navázán (přes atom kyslíku) pouze jeden atom vodíku. Pětimocnou vazbu ve dvou případech zabírají jednoduché vazby mezi sousedními fosfory a kyslíkem, dvojnou vazbou je navázán další atom kyslíku a pouze jedna vazba je volná pro skupinu OH, ze které může být atom vodíku disociován (obr. 2). Fosforečnany s delším řetězcem mohou uvolnit více atomů vodíku ze své struktury, a proto mají nižší pH (hodnota aktivní kyselosti se snižuje) [6, 60, 61].





Obr. 2: Strukturní znázornění a) monofosforečnanu; b) difosforečnanu; c) trifosforečnanu; d) polyfosforečnanu; ve kterých je atom vodíku již disociován [upraveno podle 60]

Některé fosforečnany vykazují i tzv. pufrovací schopnosti, tedy schopnosti stabilizovat pH systému vůči okolním vlivům. S narůstající délkou řetězce pufrací kapacita fosforečnanů klesá. Nejlepší schopnost stabilizovat pH tedy mají monofosforečnany [19, 20, 28, 59, 62].

Vliv na utváření finální struktury taveného sýra má rovněž rozsah emulgace tuku. Schopnost emulgace úzce souvisí se schopností tavicích solí dispergovat kaseiny a podílet se na tvorbě trojrozměrné struktury finální matrice. Zlepšení emulgačních vlastností kaseinů se dosáhne přemístěním vápenatých iontů z nerozpustného komplexu s parakaseinátém přítomným v přírodních sýrech. Tímto přemístěním se rozruší hlavní molekulární síly, které tvořily síť mezi jednotlivými monomery kaseinu. Spolu se zahřevem a mícháním vede rozrušení vazeb k hydrataci a částečné dispergaci sítě tvořené parakaseinátém vápenatým. Hydrofobními interakcemi dochází následně k interakcím mezi hydratovaným a dispergovaným komplexem parakaseinátu vápenatého a tukovými kuličkami. Původní membrány tukových kuliček jsou mícháním a zahřevem rozrušeny a tuk může vytvořit kuličky o velikosti až několik mikrometrů v průměru. Po výrobě i během chlazení částečně dispergované kaseinové matrice interagují a vytvoří se těsně spojená gelovitá síť. Proteiny, jejichž emulgační schopnost se přidávkem tavicích solí zvýšila, znovu pokrývají tukové kuličky a tvoří jejich nové membrány. Tuk se tak reemulguje. Struktura taveného sýra je tak tvořena rovnoměrně rozptýlenou tukovou fází v částečně rozptýlené gelovité kaseinové síti. Tužší výrobky vznikají, pokud emulgace proběhla dobře, tzn., že tukové kuličky mají ideální velikost na to, aby mohlo dojít k jejich pokrytí parakaseinátém sodným. Emulgovaný tuk pokrytý proteinem se nejspíše chová jako větší části proteinů a je začleněn do proteinové matrice. Pokud proběhla emulgace ve slabé intenzitě, tukové kuličky jsou příliš velké, což naruší kompaktnost proteinové matrice a výsledkem může být měkký a nestabilní produkt. Stupeň emulgace v tavených sýrech při použití tavicích solí klesá v následujícím pořadí: trifosforečnany > difosforečnany >

polyfosforečnany > monofosforečnany. Proces emulgace je tedy nejvíce podporován difosforečnany a trifosforečnany, což je dáno jejich schopností dispergovat kasein a tvořit trojrozměrnou strukturu finálního výrobku. Přídavkem polyfosforečnanů ve formě tavicích solí dochází k účinné dispergaci kaseinů z důvodu schopnosti polyfosforečnanů silně vázat vápník do komplexů, na druhou stranu však tvorbu trojrozměrné struktury nepodporují a to proto, že udělují kaseinům silný negativní náboj, což způsobí vzájemné odpuzování kaseinů a oslabuje možné hydrofobní interakce mezi hydrofobními oblastmi kaseinových frakcí. Schopnost emulgace monofosforečnany je ovlivněna jejich slabou schopností vyměňovat ionty [5, 49, 55, 64].

Fosforečnanové tavicí soli se vyznačují schopností podpořit zesílení matrice gelu, což je dáno možností tvořit přímo vazby s molekulami kaseinu nebo přes vápenaté ionty (tzv. vápenaté můstky). Nízkou schopnost tvorby gelu mají v porovnání s ostatními fosforečnany monofosforečnany, což je dáno jejich nízkou schopností dispergace kaseinů, rovněž zesílení kaseinů a interakce v tavenině jsou v porovnání s ostatními fosforečnany nižší [63]. Vysokou tvorbu gelu vykazují difosforečnany a trifosforečnany, naopak polyfosforečnany tvorbu gelu nepodporují a jsou považovány za jejich inhibitory. Tento jev lze vysvětlit tím, že vápenaté ionty polyfosforečnanů jsou pevně vázány do komplexů a zvyšují intenzitu negativního náboje na kaseinových řetězcích, což vede ke zvýšení odpuzivých sil mezi kaseiny a tvorba gelu (především hydrofobní interakce) je oslabena [18, 19, 40].

Při výrobě tavených sýrů a především během skladování dochází k hydrolyze lineárně kondenzovaných fosforečnanů až na jednotlivé monomery, což může v konečném důsledku ovlivnit vlastnosti finálního produktu. Intenzita hydrolyzy se zvyšuje s rostoucí délkou polyfosforečnanového řetězce (dlouhé řetězce hydrolyzují rychle, kratší řetězce poté pomaleji), dobou (hydrolyza nastává již při samotném procesu tavení a během 7 až 10 denního skladování je většina přítomných polyfosforečnanů hydrolyzována) a teplotou tavení [28, 41, 65]. Hydrolyza má vliv na pufrací vlastnosti tavicích solí nebo na jejich afinitu k vápenatým iontům. Snižováním počtu monomerů v řetězci polyfosforečnanů dochází k poklesu afinity k vápenatým iontům, jejich postupnému uvolňování z tavicích solí a možnému zapojování do zesíťování proteinové matrice. Důsledkem může být nárůst tvrdosti tavených sýrů. Tvorba krystalů tavicích solí je ovlivněna nejen jejich nadbytečným použitím a následně nedostatečným rozpuštěním, ale právě i hydrolyzou polyfosforečnanů [3, 9, 30, 66].

Při výrobě tavených sýrů je tedy nezbytné zvolit takovou kombinaci fosforečnanů, aby texturní vlastnosti, pH a pufrovací schopnost odpovídala požadavkům na finální produkt [12, 40]. Vybrané fosforečnany a hodnoty pH jejich 1% (w/w) vodných roztoků jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 Fosforečnany používané při výrobě tavených sýrů a hodnoty pH jejich 1% (w/w) vodných roztoků; kde n v případě vzorce polyfosforečnanů představuje střední hodnotu počtu fosforů lineárně vázaných v molekule [upraveno dle 3, 7, 28]

Skupina	Sloučenina	Vzorec	pH 1% roztoku	E-kód
Fosforečnany	Dihydrogenfosforečnan sodný	NaH_2PO_4	4,5	E 339 (i)
	Hydrogenfosforečnan sodný	Na_2HPO_4	9,1	E 339 (ii)
	Fosforečnan sodný	Na_3PO_4	11,9	E 339 (iii)
Difosforečnany	Dihydrogendifosforečnan sodný	$\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$	4,1	E 450 (i)
	Difosforečnan sodný	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	10,2	E 450 (ii)
Trifosforečnan	Trifosforečnan sodný	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	9,7	E 451 (i)
Polyfosforečnan	Polyfosforečnan sodný	$(\text{NaPO}_3)_n$	6,6	E 452 (i)

1.2.2 Citronanové tavicí soli

Citronanové tavicí soli (tabulka 2) jsou odvozené od kyseliny citronové ($C_6H_8O_7$), přičemž nejčastěji se používá citronan trojsodný. Citronan monosodný i disodný způsobují silné okyselení finálního produktu, výsledkem je pak nestabilní emulze, která snadno uvolňuje vodu. Lze je ovšem použít v případě, že je nutná korekce příliš vysokého pH taveniny [3]. Citronan trojsodný má nízkou afinitu k vápenatým iontům a nízkou schopnost zvýšit hydrataci proteinů. Při zesíťování proteinové matrice se nezapojuje [38, 40]. Pozitivní vlastností citronanových tavicích solí je jejich vysoká pufovací schopnost. Citronan trojsodný se často používá ve směsích především s polyfosforečnanem, kde se předpokládá tužší a lomivá konzistence [3, 5, 14, 19, 67].

Tabulka 2 Citronany používané při výrobě tavených sýrů a hodnoty pH jejich 1% (w/w) vodných roztoků [upraveno dle 3, 31, 66]

Skupina	Látka	Vzorec	pH 1% vodného roztoku	E-kód
Citronany	Citronan sodný	$C_6H_7NaO_7$	3,75	E 331(i)
	Citronan disodný	$C_6H_6Na_2O_7$	5,00	E 331(ii)
	Citronan trisodný	$C_6H_5Na_3O_7$	7,95	E 331(iii)

1.3 Vybrané faktory ovlivňující konzistenci tavených sýrů

Spotřebitelé se při výběru tavených sýrů řídí především organoleptickými znaky. Kromě chuti a vůně je dalším důležitým parametrem i konzistence. Výrobci nabízí svým spotřebitelům tavené sýry tuhé a krájitelné, roztíratelné nebo tekuté. Vlastnosti výsledného produktu mohou vycházet nejen z obecně známých pravidel pro výrobu tavených sýrů, ale rovněž i z předešlých zkušeností výrobce, který může konzistenční vlastnosti ovlivnit jak správnou volbou surovinové směsi, tak i průběhem tavení popř. přidávkem dalších složek [68-71].

1.3.1 Vlastnosti přírodního sýra

Hlavní surovinou tavených sýrů je přírodní sýr, který může být v závislosti na požadované chuti a konzistenci tvořen z různých druhů nebo být různé prozrálosti [6, 9, 12].

Mezi faktory, jež jsou při použití přírodního sýra jako suroviny pro výrobu tavených sýrů sledovány, patří především pH, obsah vápníku, zralost, obsah tuku a množství intaktního kaseinu [72-76].

V České republice se nejčastěji používá Eidamská cihla, Eidamský blok, Moravský blok a Primátor [6]. Především v angloamerických zemích se nejčastěji používají sýry typu čedar [5].

Pokud je záměrem výrobce krájitelný produkt, je vhodné použít mladý resp. málo dozrálý sýr (obvykle 70-95 % intaktního kaseinu), jelikož použití nedozrálé suroviny má za následek tužší a gumovitější konzistenci taveného sýra. Mezi další výhody patří vysoká vaznost vody a nižší náklady na výrobu. K nevýhodám patří především prázdná chuť (resp. nízký obsah sensoricky aktivních látek vznikajících při delším zrání přírodních sýrů), horší tavitelnost, možnost nadměrného bobtnání a tvorby vzduchových bublin v důsledku vysoké viskozity utaveného materiálu [5].

Naopak na roztíratelné výrobky je vhodnější zralejší sýr (obvykle 60-75 % intaktního kaseinu), lze poté očekávat snadno tavitelnou směs s jemnou konzistencí. Čím je přírodní sýr zralejší, tím více se tvoří sensoricky aktivní látky a tím je aroma finálního výrobku plnější a intenzivnější [3, 30, 31, 74, 75]. Při použití velmi prozrálého sýra se mohou objevovat vady konzistence projevující se například zrnitostí finálního výrobku nebo uvolňováním nedokonale emulgovaného tuku a vzniku nestabilní až roztékavé konzistence produktu [76]. V praxi se běžně používají směsi méně i více prozrálých přírodních sýrů [6].

V některých případech výroby se přidává přírodní sýr, jenž byl před samotným procesem tavení zmrazen. Studií bylo zjištěno, že pokud byl přírodní sýr zmrazen, naměřená tvrdost byla vyšší a roztékavost nižší v porovnání s výrobky, do kterých byl přidáván sýr nezmražený [5].

1.3.2 Obsah tuku

Množství a druh přidaného tuku může výrazně změnit chuť, strukturu a texturní vlastnosti tavených sýrů. Během výroby tavených sýrů, především během míchání a záhřevu, dojde k rozpadu přirozených obalů tukových kuliček, přičemž tavený tuk formuje částice různých průměrů, které jsou následně emulgovány kaseinátem. Stupeň emulgace hraje při utváření struktury důležitou roli. Zvýšení stupně emulgace vede ke snížení průměru a zvýšení množství tukových kuliček, výsledkem je vyšší množství vazeb mezi proteiny, tavený sýr se projeví větší tvrdostí a gumovitostí, naopak nižší lepivostí. Velikost tukových kuliček může mít i vliv na barvu tavených sýrů. Čím jsou menší, tím více dokáží dispergovat světlo a barva je bělejší [77]. Tuk se přidává ve formě másla, smetany nebo bezvodého mléčného tuku. Speciálním druhem tavených sýrů, jež česká legislativa prozatím nepopisuje, jsou tzv. analogy, ve kterých je mléčný tuk nahrazen rostlinnými oleji. Důvodem jejich zvyšující se obliby mezi zákazníky je především jejich nižší cena proti klasickým taveným sýrům (což je dáno sníženou cenou nákladů při jejich výrobě), vyšším podílem

nenasycených mastných kyselin a sníženým obsahem tuku a cholesterolu [3, 9, 64, 77].

Brickley *et al.* [58] se zabývali vlastnostmi tavených sýrů bez přídavku tuku, přičemž zjistili, že použití právě těchto výrobků s sebou nese úskalí v podobě barvy, textury, špatné tavitelnosti a následného připalování a tmavnutí. Způsob, jak tyto negativní vlastnosti eliminovat, našli ve snížení sušiny (snížení hustoty proteinové matrice a usnadnění roztékavosti), úpravou pH (dosáhnutí izoelektrického bodu kaseinu – kaseinové molekuly se agregují a vytvoří bílou barvu), nebo přídavkem startérových kultur (řízenou acidifikací dochází k poklesu obsahu vápníku, což snižuje hustotu proteinové sítě) [58].

1.3.3 Přídavek vody

Voda se do tavených sýrů přidává z důvodu dosažení požadované sušiny. Různým přídavkem vody lze rovněž měnit hladkost a roztékavost finálního výrobku a v neposlední řadě snižovat náklady při jejich výrobě. Přídavkem vody se snižuje tvrdost a naopak zvyšuje tavitelnost. Voda usnadňuje uvolňování vápníku po přídavku tavicích solí, hydrataci a dispergaci proteinů [12]. Lee *et al.* [20] uvádí, že se snižujícím se obsahem sušiny se snižuje velikost tukových kuliček. Snížení obsahu sušiny má obdobný vliv na mechanické vlastnosti jako snižující se teplota a pH suroviny při výrobě tavených sýrů. Nevýhodou tavených sýrů s vysokým obsahem vody je větší náchylnost ke kažení [20].

Při výrobě tavených sýrů je nutno mít na paměti, že samotný přírodní sýr, jako hlavní surovina, obsahuje vodu. Rovněž záhřev vstříkem páry do směsi při výrobě musí být zohledněn při výpočtu konečného přídavku vody do tavené směsi [28].

1.3.4 Hodnota pH taveného sýra

Hodnota pH taveného sýra je ovlivněna hodnotou pH a druhem použitého přírodního sýra, koncentrací a druhem tavicích solí.

Při výrobě tavených sýrů platí, že čím zralejší přírodní sýr je přidán, tím je výsledná hodnota pH produktu (za jinak stejných podmínek) vyšší [74, 75].

Použití tavicích solí vede rovněž k posunu hodnot pH. Typické rozmezí pH pro přírodní sýry je 5,0 až 5,5; přídavkem tavicích solí se zvýší na 5,6 až 6,1 [6, 18, 31, 59, 40]. Zvýšením pH tavených sýrů dojde ke zvýšení negativního náboje na kaseinech a elektrostatického odpuzování v kaseinové matrici. Důsledkem je otevřenější a volnější síť tavených sýrů, vyšší vaznost vody a lepší emulgační vlastnosti proteinů. Zvyšuje se i schopnost tavicích solí

izolovat vápník, což má za následek větší dispergaci kaseinů. Zvýšení pH vede v neposlední řadě ke snížení hydrofobních interakcí mezi jednotlivými molekulami kaseinu a zvýšení jejich elektrostatických interakcí [6, 39, 40].

U tavených sýrů s nízkým pH (řádově pod 5,4) lze očekávat tužší konzistenci [20, 30]. Čím více se hodnota pH taveného sýra blíží k izoelektrickému bodu kaseinu ($pI \approx 4,6$), tím více se uplatňují vzájemné interakce bílkovin a vzniká tužší finální výrobek [12, 16, 20]. Naopak výrobky s vyšším pH (řádově nad 6,1) vykazují pokles elektrostatických interakcí a nárůst negativního náboje proteinů, čehož výsledkem je jejich následné odpuzování. Finální výrobek se nakonec projevuje nadměrně měkkou (až roztékavou) konzistencí [6, 19, 20].

1.3.5 Přídavek sušeného odstředěného mléka nebo sušené syrovátky

Sušené odstředěné mléko nebo sušená syrovátka se přidávají z důvodu snížení ceny produktu, přičemž snahou výrobců je snížit obsah přírodního sýra. Přídavkem těchto dvou komponent dochází k nárůstu obsahu sušiny, důsledkem je poté zvýšený obsah laktosy v tavenině. Zvýšený obsah laktosy se projevuje porušením kompaktnosti proteinové matrice, čehož výsledkem je tavený sýr s menší tvrdostí. Nežádoucím jevem při použití vyššího množství laktosy je nebezpečí probíhajícího neenzymatického hnědnutí a to jak při samotné výrobě, tak i během skladování a tvorba krystalů [3, 5, 57]. Kapoor a Metzger [5] doporučují, aby výrobci tavených sýrů zajistili obsah laktosy tak, aby v jejich výrobcích nepřesáhl 7,48 %, pokud jde o výrobky s obsahem sušiny 44 % a 10,20 % pro tavené sýry s obsahem sušiny 60 %.

1.3.6 Přídavek vápenatých iontů

Přídavek vápenatých iontů může mít vliv na změnu konzistence tavených sýrů, konkrétně zvýšení tvrdosti. Důvodem je pravděpodobně skutečnost, že se větší množství vápenatých iontů zapojí do tvorby proteinové matrice a intenzivněji ji zesílují. Nevýhodou lze shledat ve snížení tavitelnosti přírodních sýrů [5, 58]. Podle Mizuno a Lucey [38] lze přidávat vápenaté ionty pouze v omezeném množství, jelikož nadměrným přídavkem by mohlo dojít k nadměrné agregaci kaseinových frakcí (resp. jejich hydrolyzátů), což by v konečném důsledku vedlo k tvorbě nestabilní matrice.

1.3.7 Přídavek nátavku

Nátavek je termín používaný k popisu taveného sýra vyrobeného v průmyslové výrobě, který ovšem nebyl dále distribuován. Nátavek může pocházet ze zamítnutých šarží pro jejich nestandardní hmotnost, balení nebo vadu v kvalitě. Jelikož nestandard znamená ekonomické zatížení

pro výrobce, je znovu přidáván do taveniny a přetaven. Přidaný obsah nátku se může pohybovat od 2 % do 15 %. Ačkoli má nátavek již ukončený proces emulgace a obsahuje tedy i tavicí soli, mohou se jeho přidavkem do čerstvé taveniny objevit problémy s tavením a ovlivnit tak vlastnosti konečného výrobku. Obecně vede přidavek nátku ke snížení roztékavosti a nárůstu tvrdosti. Maximální přidané množství, které nevyvolá nepříznivý vliv na finální výrobek, jsou 4 %. Rovněž druh nátku může ovlivnit vlastnosti konečného výrobku. Tvrdost taveného sýra se snižovala nejméně po přidavku čerstvého nátku (rychle zmazená směs ihned po utavení), vyšších hodnot dosahoval přidavek kousků tavených sýrů ze starší výroby [5].

Nátavek se občas používá ke zlepšení tavicích a funčních vlastností taveného sýra. Čerstvý nátavek, který má slabě dispergované (hydratované) proteinové struktury, může být přidán z důvodu stabilizace taveného sýra, jež může mít tendence k překrémování za normálních tavicích podmínek a to v množství od 2 % do 30 % v závislosti na stupni dispergace a emulgace [5].

1.3.8 Zpracování taveniny

Důležitou roli během tavení hraje tavicí teplota, doba tavení, rychlost otáček během tavení, přičemž všechny tyto faktory mohou v konečném důsledku ovlivňovat funkční vlastnosti tavených sýrů [5, 12, 18, 22, 48].

Zvyšující se tavicí teplotou se tvrdost tavených sýrů zvyšuje. Přesáhne-li tavicí teplota 95 °C, tvrdost tavených sýrů se snižuje z důvodu snížené hydratace kaseinových frakcí nebo naopak zvýšené hydrolyzy tavicích solí a rychlosti agregace proteinů [3, 9, 18, 78]. Opačné zjištění popsali ve své práci Swenson *et al.* [70], kteří vyráběli nízkotučné tavené sýry za použití různých tavicích teplot (60, 70, 80 a 90 °C) a z výsledků vyplývá, že nejtuzší vzorky byly vyrobeny za nejnižší teploty (60 °C). Rozdíl mezi jednotlivými studii lze hledat v rozdílném použití tavicích zařízení, délce tavicího procesu a chemickém složení výrobku.

Rovněž doba, po kterou probíhá tavení, může ovlivňovat texturní vlastnosti tavených sýrů. Při delší době tavení byla pozorována tvrdší konzistence taveného sýra, což je dáno snižující se velikostí tukových kuliček a vyšším stupněm emulgace tuku [48, 78].

Rychlost míchání během výroby tavených sýrů může rovněž ve finále ovlivnit texturní vlastnosti, viskozitu a opětovnou tavitelnost produktů. S rostoucí rychlostí otáček byl pozorován nárůst viskozity, naopak opětovná tavitelnost a roztékavost se snižovala. Vysvětlení lze hledat ve snižující se velikosti tukových kuliček způsobené větší intenzitou míchání a tím měnící se vlastnosti samotného taveného sýra [5].

Proces výroby tavených sýrů v sobě zahrnuje i chlazení. I tento poslední krok produkce může v konečném důsledku ovlivnit vlastnosti finálního výrobku. Bylo zjištěno, že při pomalém zchlazování je tuhost finálního taveného sýra vyšší, přičemž roztíratelnost se snižuje. Negativní vliv pomalého tavení je možno nalézt ve zvýšení intenzity a průběhu Maillardových reakcí a rovněž hrozí větší nebezpečí růstu sporotvorných bakterií. Rychlejší zchlazení poskytuje méně tuhý výrobek [5, 14, 75, 78].

1.3.9 Skladování tavených sýrů

Konzistence tavených sýrů je významně ovlivněna průběhem skladování. Obecně platí, že si tužší výrobky udrží dobrou jakost déle než lehce roztíratelné tavené sýry s obvykle vyšším obsahem vody [59]. Ve vyhlášce č. 77/2003 Sb., je uvedeno, že se tavené sýry skladují při teplotě 4-8 °C [7]. Pokud by se teplota zvýšila na 25-30 °C, tuhost tavených sýrů se může zvyšovat [41, 75]. Hrozí riziko mikrobiálních znehodnocení a změna barvy do tmavšího odstínu (tzv. komplex Maillardových reakcí) [59].

Naopak skladování při nízkých teplotách s sebou nese riziko krystalizace tavicích solí, některých aminokyselin nebo laktosy [6, 41, 57, 75].

S dobou skladování dochází i ke změnám koncentrace těkavých látek v tavených sýrech a tím pádem k vývoji aroma. Za hlavní prekurzory těkavých látek v tavených sýrech (aldehydů, ketonů a alkoholů) jsou považovány lipidy, v menším rozsahu pak laktosa a proteiny. Hlavními reakcemi, při nichž dochází k vývoji těkavých látek, jsou Maillardovy reakce a produkty a meziprodukty oxidace lipidů. Obsah těkavých látek se zvyšuje s narůstající teplotou skladování, čímž se rovněž zvyšuje sensorická jakost výrobku [5].

1.4 Hydrokoloidy

Hydrokoloidy je označení vysokomolekulárních látek sacharidické nebo bílkovinné povahy. Mohou být extrahované z rostlin, mořských řas a rovněž mikroorganismy mohou být zdrojem hydrokoloidů [79-82].

V praxi se hydrokoloidy používají jak samostatně, tak i ve směsích v koncentracích maximálně do 1 % (w/w). Přidávají se jako plnidla, zahušťovadla, emulgátory a stabilizátory emulzí a pěny. Některé z nich mají schopnost tvorby gelu (želatina, škrob, alginát, κ - a ι -karagenan, agar, pektin aj.). Hydrokoloidy našly široké uplatnění v různých odvětvích průmyslu včetně potravinářského, přičemž své místo mají i v mlékárenství [83-87]. Vybrané hydrokoloidy (karagenan, celulosu, lokustovou a guarovou gumu) použil ve své práci i Lu *et al.* [16], přičemž zjistili, že se přidavkem hydrokoloidů tvrdost tavených sýrů zvyšovala. Zvýšení tvrdosti s narůstající koncentrací pektinů popsali ve své práci Macků *et al.* [27], κ - a ι -karagenanů Černíková *et al.* [88]

a modifikovaného škrobu, nízkoesterifikovaného pektinu (samostatný nebo kombinovaný s lecitinem) a lokustové gumy jako možné náhrady tavicích solí lze nalézt v práci Černíková *et al.* [24].

Hydrokoloidy se mohou za různých podmínek (pH, koncentrace elektrolytů, výrobní a skladovací teplota) různě chovat. Rovněž interakce s ostatními komponenty potraviny (proteiny, polysacharidy, lipidy, atd.) mohou mít v konečném důsledku vliv na jejich funkční vlastnosti. Úkolem výrobce je tedy vybrat správný druh či směs a množství hydrokoloidů, aby dosáhl požadovaného finálního výrobku [79-81].

1.4.1 Alginát

Algináty je obecné označení pro soli kyseliny alginové. Lze je extrahovat z mořských řas čeledi *Phaeophyceae* a jsou produkty mikroorganismů *Azotobacter vinelandii* nebo bakterií rodu *Pseudomonas* [79, 80, 89].

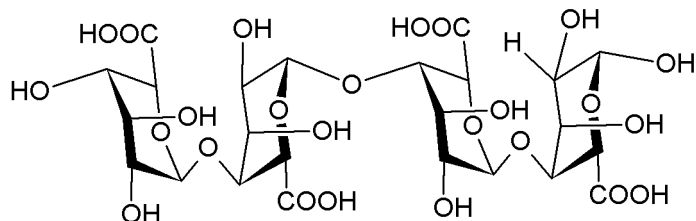
Z chemického hlediska se jedná o lineární polysacharidy složené z β -D-mannuronové kyseliny (M) a α -L-guluronové kyseliny (G) vzájemně spojené glykosidickými vazbami (1 \rightarrow 4). Chování výsledného produktu (včetně tvorby gelu) je ovlivněno rozmístěním M a G zbytků v polymerním řetězci [90]. Lze nalézt úseky obsahující pouze sekvenci M nebo G popř. pravidelně se střídající MG, přičemž rozmístění je dáno především původem alginátů (obr. 3) [83].

Schopnost rozpouštět se ve vodě a tvořit gel mají sodné, draselné, amonné a hořečnaté soli alginátů, vápenaté soli jsou ve vodě nerozpustné. Samotná rozpustnost je ovlivněna pH, iontovou silou a druhem iontů [91]. Sodné algináty jsou schopny specifické vazby s ionty vápníku mléčných výrobků následně tvořící alginát vápenatý [83, 92]. Vazbou vápenatých iontů na alginátový úsek obsahující řetězce s jednotkami G dochází ke spojení rovinným dvojdimenzionálním způsobem a vytvoří se tak struktura zvaná „egg box model“, jehož výsledkem je tuhý gel (obr. 4) [83, 92, 93]. Úseky řetězce tvořené jednotkami M tvoří plochou strukturu a proto je jejich schopnost vázat ionty vápníku nízká. Gel se tvoří pomalu a je měkký a pružnější. Střídající se úseky MG v alginátovém řetězci vytváří také měkký, ale méně pružný gel [94].

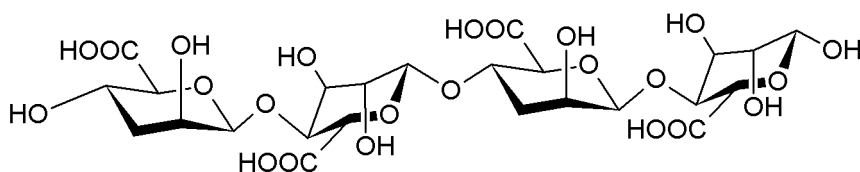
Algináty jsou schopny interagovat s jinými elektrostaticky nabitými polymery (např. proteiny), protože jsou polyelektrolyty. Této vlastnosti je využíváno při stabilizaci a zesílení mechanických vlastností výrobků i tavených sýrů. Pokud by byly interakce alginátů s kaseiny nežádoucí, doporučuje se míchání těchto komponent při vyšším pH. Většina bílkovin pak nese záporný náboj a navázání alginátů je znesnadněno [79, 89].

Algináty našly široké uplatnění v různých odvětvích průmyslu včetně mlékárenského pro jejich schopnost zahušťovat, stabilizovat, emulgovat

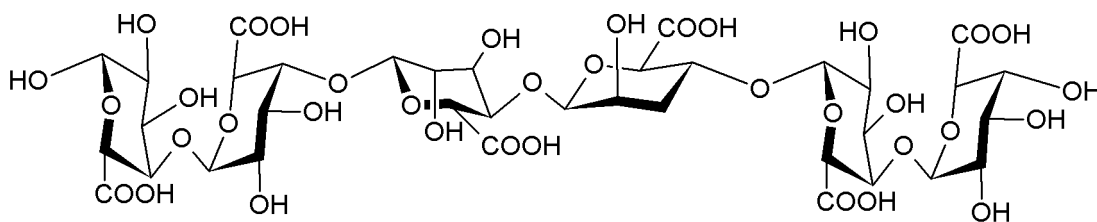
a zlepšovat finální konzistenci produktů. Podílí se na stabilizaci textury jogurtů, kondenzovaných mlék a čokoládových krémů, stabilizují pěnu smetany a ovlivňují texturní vlastnosti tavených sýrů [44, 83].



a) blok α -L-guluronátu (G)

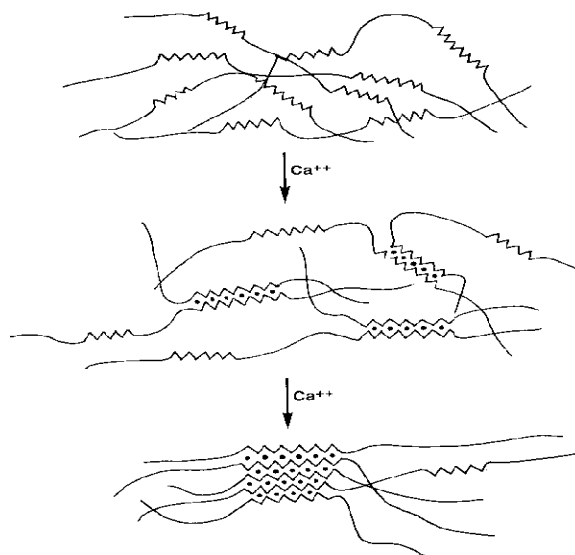


b) blok β -D-mannuronátu (M)



c) blok GM

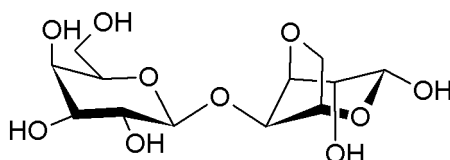
Obr. 3: Schématické znázornění: a) blok α -L-guluronátu (G); b) blok β -D-mannuronátu (M), c) řetězec tvořený střídajícími se bloky G a M, [upraveno podle 83]



Obr. 4: Schéma utváření „egg box“ modelu [upraveno podle 83]

1.4.2 Agar

Zdrojem agarů jsou červené mořské řasy rodu *Rhodophyceae*. Jedná se o lineární polysacharidy, jejichž stavební jednotkou jsou β -D-galaktopyranosa a 3,6-anhydro- α -L-galaktopyranosa střídavě vázané glykosidickými vazbami (1 \rightarrow 3) a (1 \rightarrow 4). Základním neutrálním polysacharidem je agarosa (obr. 5). Agaropektin se od agarosy liší bočními substituovanými skupinami (nejčastěji sulfátové a methylové). Pro každý rod a druh jsou tyto substituenty odlišné [80, 83].

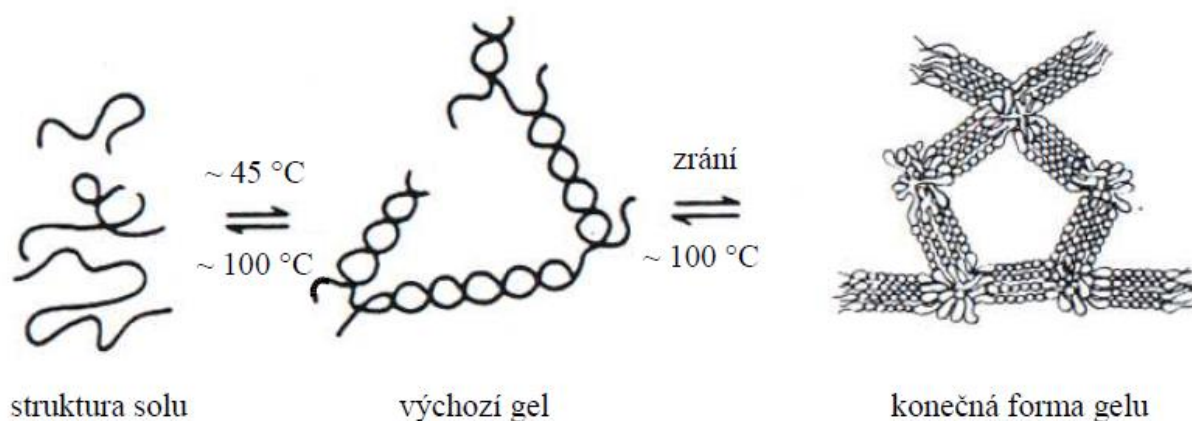


Obr. 5: Strukturní vzorec agarosy [upraveno podle 83]

Nejdůležitější vlastností, využívané nejen v potravinářském průmyslu, je jeho schopnost tvořit reverzní gely pouhým ochlazením horkého vodného roztoku. Sám o sobě je agar rozpustný ve studené vodě, v horké tvoří hydratační náhodné spirály. Tvorba gelu je závislá na tvorbě vodíkových vazeb, pomocí nichž se náhodné spirály spojují v helixy a dvojité helixy. Stabilizace je podpořena přítomností vody vázané uvnitř dutin dvojitých helixů (obr. 6). Vnější hydroxylové skupiny umožní agregaci tisíců helixů, výsledkem je vznik mikrogelu. Agarové gely zahřevem tají a po ochlazení se obnovují, přičemž tento proces je zcela reverzibilní a může se opakovat, aniž by se změnila mechanická vlastnosti gelu. Reverzibilita tvorby gelu se ztrácí pouze při použití

agaru v prostředí pH kolem 4, anebo v přítomnosti oxidačních činidel (např. močoviny nebo jodidu draselného). S proteiny (včetně proteinů mléka) agar interakce nevykazuje. Tento jev lze pravděpodobně vysvětlit limity, které nesmí svou velikostí proteiny překročit, aby došlo k síťování gelu agaru v přítomnosti proteinů ve vodném roztoku. V případě 2 % agarosového gelu je limit $30 \cdot 10^6$ Da, přičemž molekulová hmotnost kaseinové micely je až $1,3 \cdot 10^9$ Da a tedy tvorba gelu není možná. Další vysvětlení lze hledat v nižším obsahu esterově vázaných síranových skupin na polymerním řetězci agaru, což znesnadňuje možnost vazby s proteiny [83].

V potravinářství se používá pro jeho schopnosti vazby vody a tvorbu termoreverzibilních gelů, přičemž k jejich navázání dochází pomocí vodíkových vazeb. Jelikož tvorba gelu není podmíněna přítomností kationtů a ani kolísavý obsah kationtů v mléčných výrobcích tvorbu gelu neovlivňuje, je jejich přidavku v potravinářství velmi využíváno [80, 83].



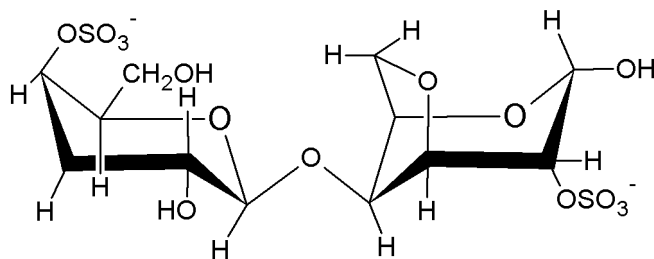
Obr. 6: Tvorba agarosového gelu

1.4.3 Karagenan

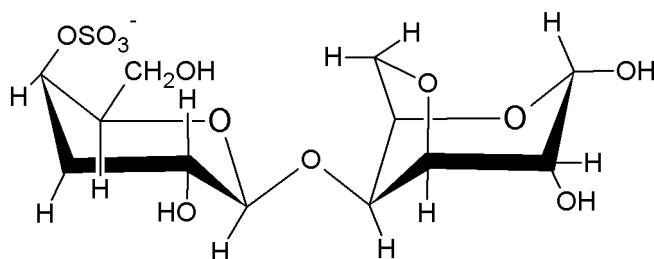
Karagenany jsou přírodní lineární polysacharidy extrahované z červených řas rodu *Rhodophyceae*. Základní strukturou je disacharid karabiosa, opakující se sekvence β -D-galaktopyranosy a 3,6-anhydro- α -D-galaktopyranosy spojené vazbou β -(1 \rightarrow 4). Vazba α -(1 \rightarrow 3) spojuje jednotlivé disacharidy karabiosy. Ačkoli je známo minimálně 8 druhů karagenanů lišících se v sekvenci monomerů v molekulách karagenanu, v potravinářství jsou nejčastěji používány tři z nich a to konkrétně ι -karagenan, κ -karagenan a λ -karagenan (obr. 7). Rozdíl mezi nimi je dán počtem sulfátových skupin a obsahem 3,6-anhydro- α -D-galaktopyranosy [83, 88, 96-98].

Sulfátové skupiny udělují karagenanu záporný náboj, výsledkem mohou být různé texturní vlastnosti finálních výrobků. Rovněž obsah 3,6-anhydro- α -D-galaktopyranosy ovlivňuje sílu gelu, texturu a rozpustnost

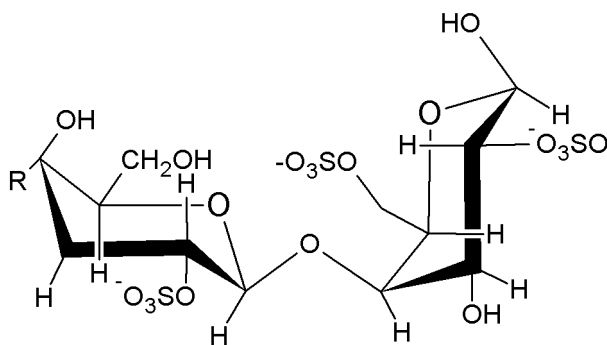
daného karagenanu. Schopnost tvorby gelu je u ι - a κ -karagenanu podmíněno molekulárním přechodem spirálovitých útvarů do pevné konformace během chlazení. Pokud ι -karagenanové dvoušroubovice interagují s vápenatými ionty, vzniká pružný a soudržný gel. κ -karagenanové gely jsou křehké a pevné. Pevnost gelu je ovlivněna i teplotou a přítomnými kationty. λ -karagenan gely netvoří, jelikož obsahuje velmi malé či žádné množství 3,6-anhydro- α -D-galaktopyranosy. Tento karagenan je v potravinářství využíván především pro jeho zahušťující vlastnosti [79, 80, 99-101].



ι - karagenan



κ - karagenan



λ - karagenan

Obr. 7: Strukturní vzorec ι -karagenanu, κ -karagenanu a λ -karagenanu [upraveno podle 83]

Molekuly karagenanu mají záporný náboj, který jim dávají sulfátové skupiny. Rovněž i celkový náboj kaseinu je záporný. Přesto dochází k elektrostatickým interakcím mezi sulfátovými skupinami karagenanu a velmi krátkou pozitivní nabitou oblastí mezi 97. a 112. aminokyselinou kaseinu. S α_s a β -kaseinem elektrostatická interakce s karagenanem může také nastat, ale je méně častá na rozdíl od interakce s κ -kaseinem a dochází k ní v přítomnosti vápenatých iontů esterovou vazbou fosforylových a serinových reziduí jednotlivých kaseinových frakcí [102-106].

Karagenany našly uplatnění v mnoha výrobcích pro své stabilizační a gelotvorné vlastnosti. Mohou se přidávat v koncentracích 0,01-0,30 % (w/w). V mléčných produktech (koktejly, zmrzlina, čokoládové mléko, pasterované a sterilované krémy) je využíváno množství do 0,025 % (w/w) ke stabilizaci a zabránění uvolňování syrovátky. U tavených sýrů je možno nahradit karagenanem část tavicích solí a přesto zachovat texturní vlastnosti a pocit plnosti v ústech. Do kyselých výrobků (měkké sýry, jogurty) se karagenany běžně nepřidávají. Nízké pH výrobků zvyšuje elektrostatické interakce mezi micelami kaseinu a karagenanem, výsledkem jsou nestabilní agregáty, které mají tendence flokulovat a oddělovat se [82, 98].

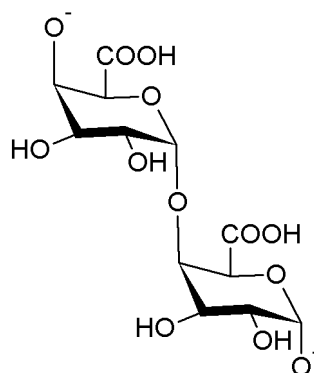
1.4.4 Pektin

Pektiny jsou polydisperzní polysacharidy proměnného složení. Vyskytují se v pletivech vyšších rostlin, přičemž se získávají především z citrusových slupek a jablečných výlisků, kde je jejich obsah jeden z nejvyšších [28, 83].

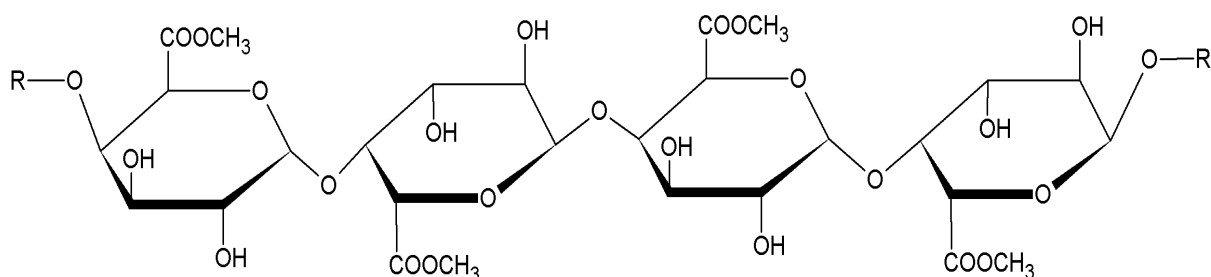
Pektiny lze popsat jako lineární heteropolysacharidy, které obsahují alespoň 65 % (w/w) kyseliny galakturonové, jež je tvořena jednotkami D-galakturonové kyseliny spojené vazbami α (1 \rightarrow 4) (obr. 8). Dále jsou zde jednotky α -L-rhamnopyrosy spojené vazbami α (1 \rightarrow 2) a L-arabinsa, D-galaktosa a D-xylosa. Kyselina galakturonová se může vyskytovat jak volná, tak methylovaná nebo amidovaná. Volné karboxylové skupiny kyseliny galakturonové mohou vázat sodné, draselné popř. vápenaté kationty [83].

Pektiny jsou záporně nabitě hydrokoloidy, a proto mohou být jejich vlastnosti ovlivněny změnami pH nebo množstvím kationtů přítomných v systému [83, 107].

Pektiny se obecně rozdělují podle stupně esterifikace (methylace). Stupeň esterifikace je definován jako procento esterifikovatelných karboxylových skupin. Vysokoesterifikované pektiny mají stupeň esterifikace větší než 50 %, opakem jsou pektiny označované jako nízkoesterifikované [83, 107-109].



a) pektin



b) esterifikovaný pektin

Obr. 8: Strukturální vzorec pektinu a esterifikovaného pektinu, kde v pozici R může být navázán vodík nebo methylenový zbytek [upraveno podle 83]

Vlastnosti a schopnost tvorby gelu je pro obě definované skupiny jiné. Vysokoesterifikované pektiny vytváří gely pouze v přítomnosti sacharidů a při nízkém pH (3,2-3,4). Karboxylové skupiny galakturonových kyselin musí být částečně disociovány. Přirozená vysoká vaznost vody pektiny potlačuje vznik gelu, jelikož se vytváří negativní náboj. Proto se přidávají sacharidy, které hydrataci pektinů snižují, důsledkem je zvýšení počtu neionizovaných karboxylových skupin v molekule pektinu a rostoucí přitažlivost mezi metylovými, alkoholovými a karboxylovými skupinami. Stabilní gely vznikají, pokud je přítomno více než 55 % sacharidů a pH nižší než 3,4. Při vyšším pH k tvorbě gelu nedochází, protože není potlačena elektrostatická odpudivost karboxylových skupin. K agregaci molekul pektinu dochází hydrofobními interakcemi mezi esterovými skupinami pektinu a vodíkovými vazbami mezi sousedními galakturonovými řetězci. Vysokoesterifikovanými pektiny tvořené gely jsou termoreverzibilní [83, 110, 111].

Tvorba nízkoesterifikovaných pektinovým gelů vyžaduje přítomnost bivalentních iontů, které neutralizují negativní náboj, jež bez jejich přítomnosti brání asociaci molekul (prostřednictvím vodíkových vazeb a hydrofobních

interakcí) a tvorbě gelu. Reaktivita vápníku je řízena podílem a uspořádáním karboxylových skupin v řetězci pektinu a zvyšuje se s klesajícím stupněm esterifikace. Specifické sekvence kyseliny galakturonové tvoří vazebná místa pro ionty vápníku, které spojují řetězce dohromady pomocí elektrostatických a iontových vazeb. Tvorba gelu je možná při pH 3,0 až 5,0 a vzniklé gely jsou termoreverzibilní [83, 108, 109].

Interakce pektinu s micelami kaseinu je založena na jejich elektrostatických interakcích a je ovlivněna hodnotami pH, stupněm esterifikace a koncentrací pektinu. Kaseinové micely mohou být v závislosti na pH prostředí nabitě kladně, záporně, nebo se na venek mohou jevit jako elektroneutrální. V systémech, kde je pH vyšší než izoelektrický bod kaseinu, dojde k vysrážení proteinů, protože pektiny mají silnější afinitu k vodě než proteiny. V opačném případě se může kasein a pektin přitahovat a dojde ke vzájemné interakci. Většina potravin má hodnotu $\text{pH} > \text{pKa}$ pektinu ($\approx 3,4$), kdy jsou jeho karboxylové skupiny disociovány. Pektin má na své molekule za těchto podmínek záporné náboje, a proto jej můžeme považovat za aniontový polymer s malou tendencí k vzájemnému slučování molekul. Podle hodnoty pH tedy pektin buďto interaguje s micelou s převládajícím kladným nábojem (adsorbuje se na její povrch) či nikoliv. Kromě pH je velice důležitá koncentrace kaseinu a pektinu. Jsou-li kaseinové micely plně pokryty pektinem, systém je stabilní a nedochází k oddělování fází. Není-li koncentrace pektinu dostatečná, dochází k separaci fází a tvorbě vloček. Totéž ovšem platí i při nadměrné koncentraci pektinu, kdy může dojít k destabilizaci systému [107, 112].

Pektiny se v mléčných výrobcích podílí na stabilizaci proteinové disperze a zároveň jsou schopny gelace. Pektin lze využít např. ke stabilizaci jogurtových mlék, syrovátkových nápojů či směsí mléka s ovocnými šťávami. Účinky jsou založeny v zabránění sedimentace kaseinových micel. Bez přídavku stabilizátoru dochází k vytvoření čiré vrstvy na povrchu mléčného nápoje, což je ze spotřebitelského hlediska zcela nežádoucí. V těchto mléčných výrobcích je účinnějším stabilizátorem vysokoesterifikovaný pektin (jelikož nevyžaduje přítomnost vápenatých iontů), a to v koncentraci min. 0,3 %. Mechanismus stabilizace je založen na interakcích pektinu s kaseiny. U jogurtových mlék a jogurtů, u nichž dochází následkem snížení pH při fermentaci bakteriemi mléčného kvašení k agregaci kaseinových micel a tím k destabilizaci těchto mléčných výrobků, se využívá tzv. polymerní stabilizace. Polysacharidové molekuly zde zcela obalí přítomné koloidní částice, čímž je stabilizují. Schopnosti gelace a zahušťování je využíváno především pro zvýšení viskozity např. u jogurtů. Přídavkem pektinu dochází k poklesu náboje na kaseinových micelách a k tvorbě gelu [82, 107].

2. CÍL PRÁCE

Základním cílem disertační práce bylo vytvořit ucelenou studii vlivu koncentrační řady vybraných hydrokoloidů na texturní vlastnosti tavených sýrů. Ve druhé části disertační práce byla studie zaměřena na srovnání texturních vlastností tavených sýrů po přidavku fosforečnanových tavicích solí s různou délkou řetězce a to jak jednotlivých, tak i jejich ternárních směsí. Došlo i k porovnávání vzorků bez úpravy a s úpravou pH. Pro ověření hypotézy, podle které je možné texturní změny tavených sýrů v závislosti na použitých tavicích solích vysvětlit pouze s použitím údajů o intenzitě dispergace kaseinových proteinů v matrici jednotlivými fosforečnany, došlo ke srovnání výsledků z texturní analýzy tavených sýrů a optické hustoty v disperzích odtučněného mléka po přidavku stejných tavicích solí a to jak jednotlivých, tak i jejich vzájemných ternárních směsí.

Pro dosažení cílů disertační práce bylo nezbytné naplnit následující dílčí cíle:

1. studovat technologii výroby tavených sýrů a úlohu tavicích solí v tomto systému,
2. charakterizovat vybrané hydrokoloidy,
3. laboratorně vyrobit modelové vzorky tavených sýrů s přidavkem 0-1 % (w/w) vybraných hydrokoloidů (alginát sodný, agar, κ -karagenan, pektiny s různým stupněm esterifikace) s krokem 0,05 % (w/w),
4. laboratorně vyrobit modelové vzorky tavených sýrů za použití jednotlivých tavicích solí; použité tavicí soli byly hydrogenfosforečnan sodný (P1; Na_2HPO_4), difosforečnan sodný (P2; $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), trifosforečnan sodný (P3; $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) a polyfosforečnan sodný (Pn; n = hodnota počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5, 9, 13, 20 a 28),
5. laboratorně vyrobit modelové vzorky tavených sýrů s přidavkem ternárních směsí tavicích solí; použité tavicí soli byly hydrogenfosforečnan sodný (P1; Na_2HPO_4), difosforečnan sodný (P2; $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), trifosforečnan sodný (P3; $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) a polyfosforečnan sodný (Pn; n = hodnota počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5, 9, 13, 20 a 28); kombinace směsí: P1:P2:Pn, P1:P3:Pn,
6. modelové vzorky tavených sýrů vyrobit bez úpravy i s úpravou pH,
7. u modelových vzorků tavených sýrů sledovat pH a texturní vlastnosti, konkrétně parametry tvrdosti, relativní lepivosti a kohezivnosti,

8. laboratorně vyrobit modelové vzorky disperzí odtučněného mléka za použití jednotlivých tavicích solí; použité tavicí soli byly hydrogenfosforečnan sodný (P1; Na_2HPO_4), difosforečnan sodný (P2; $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), trifosforečnan sodný (P3; $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) a polyfosforečnan sodný (Pn; n = hodnota počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5, 9, 13, 20 a 28),
9. laboratorně vyrobit modelové vzorky disperzí odtučněného mléka za použití ternárních směsí tavicích solí; použité tavicí soli byly hydrogenfosforečnan sodný (P1; Na_2HPO_4), difosforečnan sodný (P2; $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), trifosforečnan sodný (P3; $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) a polyfosforečnan sodný (Pn; n = hodnota počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5, 9, 13, 20 a 28); kombinace směsí: P1:P2:Pn, P1:P3:Pn,
10. sledovat hodnoty optické hustoty a pH modelových vzorků disperzí odtučněného mléka,
11. vyhodnotit výsledky a formulovat závěry.

3. ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

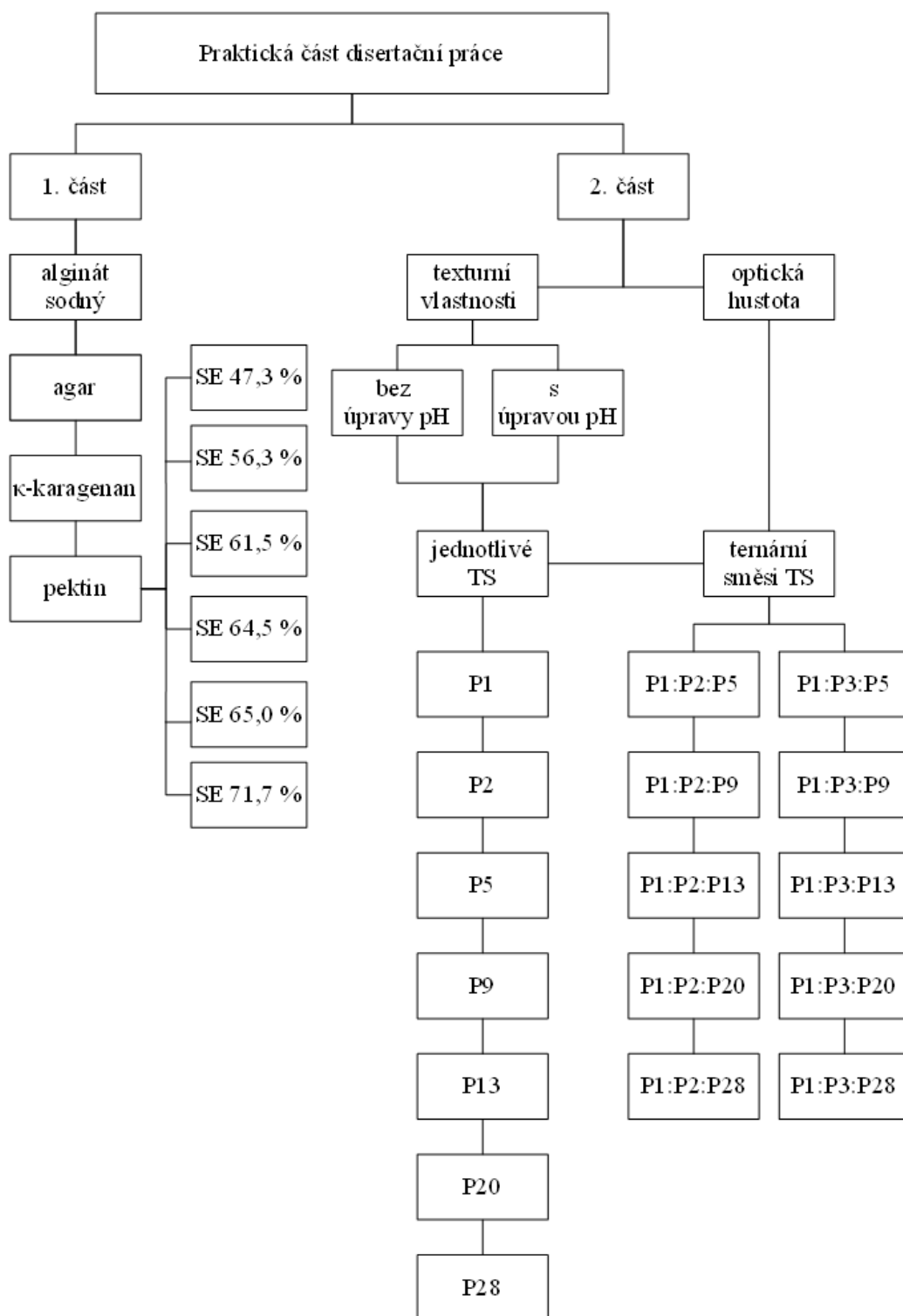
3.1 Popis experimentálních částí

Praktická část disertační práce byla rozdělena do dvou částí.

První část se zabývala změnami hodnot texturních parametrů tavených sýrů po přidavku různých koncentrací vybraných hydrokoloidů.

Ve druhé části byly sledovány texturní parametry tavených sýrů a optická hustota disperzí odtučněného mléka po přidavku jednotlivých fosforečnanových tavicích solí s různou délkou fosforečnanového řetězce a vybraných poměrů ternárních směsí tavicích solí. První skupinu přidaných ternárních směsí tavicích solí zastupovala kombinace hydrogenfosforečnanu, difosforečnanu a polyfosforečnanů sodných s různou délkou řetězce. Ve druhé skupině ternárních směsí byl difosforečnan nahrazen trifosforečnanem sodným (obrázek 9). Ke srovnání výsledků texturní analýzy tavených sýrů a optické hustoty disperzí odtučněného mléka došlo z důvodu ověření hypotézy, podle které je možné texturní změny tavených sýrů v závislosti na použitých tavicích solích vysvětlit pouze s použitím údajů o intenzitě jednotlivých fosforečnanů dispergovat kaseinové proteiny v matrici.

Pro objasnění vlivu pH na texturní vlastnosti tavených sýrů byly všechny modelové vzorky vyráběny jak bez úpravy, tak i s úpravou pH.



Obr. 9: Rozčlenění praktické části disertační práce; použité zkratky: SE-stupeň esterifikace, TS-tavící soli, Px-přidaná fosforečnanové tavící sůl, kde x představuje počet atomů fosforu lineárně vázaných v molekule

3.1.1 První část praktické práce

Cílem první části praktické práce bylo vypracovat ucelenou studii vlivu doby skladování a rozdílných přídavek zvolených hydrokoloidů v malém koncentračním kroku na texturní vlastnosti tavených sýrů a zjistit, zda se s měnící přidanou koncentrací zvolených hydrokoloidů změní pH tavených sýrů. Studie této části práce měla rovněž odpovědět na otázku, zda existuje hraniční koncentrace, při které dochází k výrazným změnám trendu měnících se texturních vlastností s měnící se koncentrací hydrokoloidu.

Modelové vzorky první části byly vyrobeny s přídavkem 0-1 % (w/w) alginátu sodného, agaru, κ -karagenanu a pektinů s různým stupněm esterifikace. Koncentrační posun byl zvolen 0,05 % (w/w) a vzniklo tak 21 vzorků každého přidaného hydrokoloidu. Tavicí soli byly přidávány v množství 3 % (w/w) a byly tvořeny směsí hydrogenfosforečnanu sodného a dihydrogenfosforečnanu sodného ve vzájemném poměru 70:30. Ke zvolení této kombinace vedla předchozí studie, již se prokázalo, že se optimální hodnoty pH a převaha hydrogenfosforečnanu ve směsi projeví nízkými hodnotami tvrdosti, jež se mohly přídavkem hydrokoloidů zvyšovat. Ve vzorcích byla provedena fyzikálně-chemická analýza (stanovení sušiny a pH) a měření texturních parametrů (tvrdost, relativní lepivost, kohezivnost) po 1., 7. a 30. dnu skladování při 6 ± 2 °C.

3.1.2 Druhá část praktické práce

Druhá část praktické práce byla zaměřena na studii změn pH a texturních vlastností modelových vzorků tavených sýrů po přídavku fosforečnanových tavicích solí s různou střední hodnotou počtu fosforů lineárně vázaných v molekule a jejich vzájemných ternárních směsí. Pro objasnění vlivu hodnot pH byly vyrobeny vzorky i s úpravou tohoto parametru. Pro ověření hypotézy, podle které je možné texturní změny tavených sýrů v závislosti na použitých tavicích solích vysvětlit pouze s použitím údajů o intenzitě dispergace kaseinových proteinů v matici jednotlivými fosforečnany, byly vyrobeny vzorky disperzí odtučněného mléka se stejným přídavkem tavicích solí jako do tavených sýrů a výsledky byly mezi sebou porovnávány.

Modelové vzorky tavených sýrů byly ve druhé části disertační práce vyrobeny přidáním jednotlivých tavicích solí a to sodných solí hydrogenfosforečnanu (P1), difosforečnanu (P2), trifosforečnanu (P3) a polyfosforečnanů ((Pn) sodných, kde n vyjadřuje střední hodnotu počtu fosforů lineárně vázaných v molekule) v celkovém množství 3 % (w/w). Pětice polyfosforečnanů byla tedy zastoupena sloučeninami s různou střední hodnotou počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5, 9, 13, 20 a 28.

Kombinací hydrogenfosforečnanů (P1), difosforečnanů (P2) a polyfosforečnanů (Pn) sodných byla sestavena první pětice ternárních směsí tavicích solí. Druhá pětice byla vytvořena výměnou difosforečnanů (P2) za trifosforečnany (P3) sodné. Vzniklo tedy 10 variant ternárních směsí, přičemž každá varianta byla použita ve 26 vzájemných procentuelních poměrech (0:0:100; 0:20:80; 0:40:60; 0:50:50; 0:60:40; 0:80:20; 0:100:0; 20:0:80; 20:20:60; 20:30:50; 20:40:40; 20:60:20; 20:80:0; 30:20:50; 40:0:60; 40:20:40; 40:40:20; 40:60:0; 50:0:50; 50:50:0; 60:0:40; 60:20:20; 60:40:0; 80:0:20; 80:20:0; 100:0:0).

Pro eliminaci vlivu pH na texturní vlastnosti tavených sýrů byly modelové vzorky vyrobeny jak bez úpravy, tak i s úpravou pH na optimální hodnoty, jež se pohybovaly v rozmezí 5,6-5,8. K úpravě pH byla použita 1 mol.l⁻¹ kyselina chlorovodíková nebo 1 mol.l⁻¹ hydroxid sodný, jejichž přídavek byl zjištěn z kalibračních křivek (získány mimo tuto práci). Pro zachování obsahu sušiny a tuku v sušině byl o přidané množství kyseliny nebo zásady snížen obsah vody. Po 2., 9. a 30. dnech skladování (6 ± 2 °C) byla provedena fyzikálně-chemická (obsah sušiny, pH) a texturní profilová analýza (tvrdost, relativní lepivost a kohezivnost).

Stejně tavicí soli jak jednotlivé, tak i v jejich 10 vzájemných ternárních směsí byly použity pro studii optické hustoty disperzí odtučněného mléka a to v celkovém přídávku 0,3 % (w/v). Z fyzikálně-chemických analýz bylo provedeno měření pH.

3.2 Výroba vzorků

3.2.1 Modelové vzorky tavených sýrů

Modelové vzorky tavených sýrů (40 % sušiny, 50 % tuku v sušině) byly vyrobeny z přírodního sýra (Eidamská cihla; 50 % (w/w) sušina, 30 % (w/w) tuku v sušině; zralost 7 týdnů), másla (84 % (w/w) sušina, 82 % (w/w) tuk v sušině), pitné vody a vybraných fosforečnanových tavicích solí (Fosfa, Břeclav, Česká republika).

Přidávanými tavicími solemi byly:

první část: - hydrogenfosforečnan (Na₂HPO₄) a dihydrogenfosforečnan sodný (NaH₂PO₄) ve vzájemném poměru 70:30

druhá část: - jednotlivě přidané

- hydrogenfosforečnan sodný (P1; Na₂HPO₄),

- difosforečnan sodný (P2; Na₄P₂O₇),

- trifosforečnan sodný (P3; Na₅P₃O₁₀),

- polyfosforečnan sodný (Pn; střední hodnota počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5 (P5), 9 (P9), 13 (P13), 20 (P20) a 28 (P28))

- ternární směsi
- hydrogenfosforečnan sodný (P1), difosforečnan sodný (P2) a polyfosforečnany sodné (Pn); kde n vyjadřuje střední hodnotu počtu fosforů lineárně vázaných v molekule; 5 (P5), 9 (P9), 13 (P13), 20 (P20) a 28 (P28), ve směsi P1:P2:Pn a P1:P3:Pn

Pro výrobu modelových vzorků bylo použito zařízení Vorwerk Thermomix TM 31-1 (Vorwerk & Co., GmbH, Wuppertal, Německo). Po nadávkování všech surovin do tavicího zařízení byla tato směs zahřáta na teplotu 90 °C a za stálého míchání udržována po dobu 1 minuty. V případě, že došlo k úpravě pH přidávkem kyseliny chlorovodíkové nebo hydroxidu sodného, byly přidávány při teplotě 85-86 °C. Horká tavenina byla dávkována do válcových polypropylenových kelímků (průměr 52 mm, výška 50 mm) a uzavřena hliníkovými víčky. Po vychladnutí byly vzorky skladovány při teplotě 6 ± 2 °C až do okamžiku analýz.

Všechny vzorky tavených sýrů, tzn. jak po přidavku vybraných hydrokoloidů či fosforečnanových tavicích solí s různou délkou řetězce (jednotlivé i ternární směsi) byly vyrobeny v trojím opakování.

3.2.2 Modelové vzorky disperze sušeného odstředěného mléka

Při výrobě modelových vzorků disperzí odtučněného mléka došlo ke smíchání odtučněného sušeného mléka a deionizované vody v množství odpovídající 5 % (w/v). Pro dosažení dokonalého rozpuštění a smíchání byla směs hodinu míchána při laboratorní teplotě. Následoval přidavek azidu sodného (0,2 % (w/v)) a úprava pH vzniklého systému na $5,80 \pm 0,01$ přidávkem 1 mol.l^{-1} (popř. $0,1 \text{ mol.l}^{-1}$ pro úpravy malého rozsahu) kyseliny chlorovodíkové. Pro stabilizaci byla směs nechána stát 18 hodin při laboratorních teplotách. Do takto připravených vzorků byly přidávány tavicí soli:

- jednotlivě
 - hydrogenfosforečnan sodný (P1; Na_2HPO_4),
 - difosforečnan sodný (P2; $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$),
 - trifosforečnan sodný (P3; $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$),
 - polyfosforečnan sodný (Pn; střední hodnota počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5 (P5), 9 (P9), 13 (P13), 20 (P20) a 28 (P28),
- v ternárních směsích
 - hydrogenfosforečnan sodný (P1), difosforečnan sodný (P2) a polyfosforečnany sodné (Pn); kde n vyjadřuje střední hodnotu počtu fosforů lineárně vázaných v molekule; 5 (P5), 9 (P9), 13 (P13), 20 (P20) a 28 (P28) ve směsích P1:P2:Pn a P1:P3:Pn

Po 10 ti minutovém míchání bylo opět upraveno pH na hodnotu $5,80 \pm 0,01$ s použitím kyseliny chlorovodíkové. Následně byla směs ponechána ještě 50 minut míchat. Postup práce byl převzat z práce Kaliappan a Lucey [54].

Pro možnost porovnání výsledků byly vyrobeny i modelové vzorky bez přídavku tavicích solí. Směs tedy tvořilo pouze odtučněné sušené mléko a deionizovaná voda, ve které bylo pH upraveno na hodnoty $5,80 \pm 0,01$.

Modelové vzorky disperzí odtučněného mléka byly v případě přídavku jednotlivých tavicích solí i po přidání ternárních směsí tavicích solí vyrobeny v trojím opakování.

3.3 Metody analýzy

3.3.1 Fyzikálně-chemická analýza

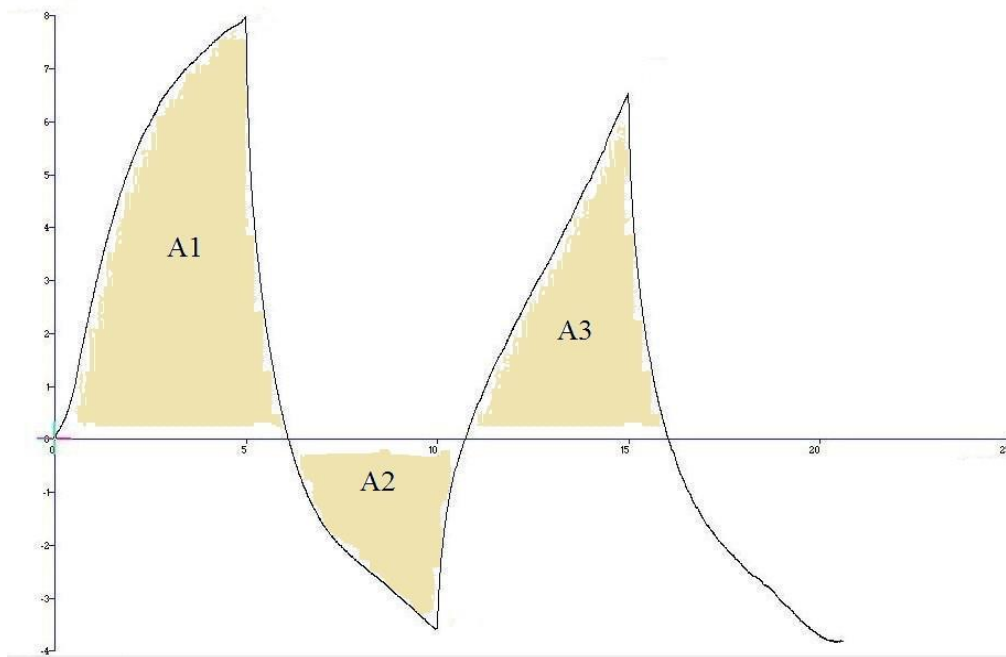
U jednotlivých modelových vzorků tavených sýrů bylo provedeno stanovení obsahu sušiny a pH. Disperze odstředěného mléka byly podrobeny měření pH.

Obsah sušiny u tavených sýrů byl stanoven vysušením 3 g vzorku při teplotě 103 ± 2 °C do konstantního úbytku hmotnosti [113]. Hodnoty pH byly měřeny vpichovým pH-metrem Spear se skleněnou elektrodou (Eutech Instruments, Oakton, Malajsie). Měření obsahu sušiny i hodnot pH probíhalo vždy ve třech opakováních.

3.3.2 Texturní profilová analýza

Texturní profilová analýza byla provedena pomocí texturního analyzátoru TA.XT plus (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Velká Británie) dvojitou penetrací sondy o průměru 20 mm do hloubky vzorku 10 mm. Rychlost sondy byla nastavena na $2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, počáteční síla měření byla 5 g.

Sledovanými parametry byly tvrdost, relativní lepivost a kohezivnost. Tvrdost je popsána jako maximální síla, která je potřebná k dosažení požadované deformace výrobku. Na obrázku 10 je tvrdost znázorněna jako maximum píku A1. Lepivost je definována jako práce potřebná k překonání přitažlivosti mezi povrchem taveného sýra a povrchem sondy. Relativní lepivost byla zvolena z důvodu očekávaného měřitelného (především postranního) odporu materiálu při vytahování sondy penetrované do vzorku, který je závislý i na pevnosti měřeného gelu (vzorky s vyšší tuhostí mohou mít vyšší hodnoty lepivosti). Relativní lepivost je na obrázku 10 vyobrazena jako plocha prvního záporného píku – A2 vyjádřena relativně k ploše prvního píku A1. Kohezivnost (soudržnost) lze definovat jako sílu vnitřních vazeb, které tvoří potravinu. Při vyobrazení je tento parametr dán poměrem plochy třetího píku k ploše prvního píku - $A3/A1$ [45, 75, 114–116]. Modelové vzorky tavených sýrů byly analyzovány při 6 ± 2 °C. Každý vzorek byl měřen třikrát.



Obr. 10: Křivka texturní profilové analýzy [upraveno podle 117]

3.3.3 Stanovení optické hustoty

Pro studii intenzity dispergace kaseinových frakcí modelových vzorků disperzí odtučněného mléka bylo použito fotometrické měření optické hustoty při 700 nm. Optická hustota mléka klesá se zvyšující se intenzitou dispergace kaseinových bílkovin (a tím i rostoucí intenzitou iontové výměny). Neproběhne-li dispergace v dostatečné míře, průchod světelných paprsků je zamezen a v konečném důsledku má produkt bílou barvu. Naopak při dostatečné dispergaci je formována jemná matrice, jež dovolí průchod světelných paprsků přes proteinovou matici a výsledkem je téměř průhledný produkt [58]. Na průchod světelných paprsků produktem může mít vliv i stupeň emulgace tukových kuliček tavicími solemi. Čím účinnější je proces emulgace, tím jsou tukové kuličky menší, interference mezi nimi intenzivnější, dispergace světla účinnější a barva průhlednější [77]. Odstranění popř. redukce interference tukových kuliček je zajištěna pro tento druh měření použitím odtučněného mléka [58].

U modelových vzorků disperzí odtučněného mléka bylo provedeno měření optické hustoty na přístroji UV VIS Spectrofotometer, UV Mini 1240 (Shimadzu, Německo) při vlnové délce 700 nm za laboratorní teploty. Výsledky byly vyjádřeny relativně k tzv. kontrolních vzorků (bez přídavku tavicích solí). Každý vzorek byl měřen třikrát.

3.4 Vyhodnocení experimentálních dat

Měření obsahu sušiny, hodnot pH, texturních vlastností tavených sýrů po přidavku jednotlivých a ternárních směsí tavicích solí a optické hustoty byla vyhodnocena pomocí neparametrických metod Kruskal-Wallisovým a Wilcoxonovým testem na hladině významnosti 5 %. Pro výpočty byl využit software Unistat® ver. 5.5 (Unistat, Londýn, Velká Británie).

Studie závislosti vybraných texturních vlastností tavených sýrů na koncentraci vybraných hydrokoloidů byla provedena pomocí regresní analýzy s využitím polynomů 3. řádu (k výpočtům byl použit Microsoft Excel). Vhodnost zvolené metody byla posuzována koeficientem determinace (R^2).

4. HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE

4.1 Výsledky první části praktické práce

V první části praktické práce byly zjišťovány hodnoty pH a texturní parametry tavených sýrů v závislosti na přídávku různé koncentrace vybraných hydrokoloidů (alginát sodný, agar, κ -karagenan, pektiny se stupněm esterifikace 47,3 %; 56,3 %; 61,5 % 64,5 %; 65,0 % a 71,7 %). Koncentrační řada byla od 0 % do 1 % (w/w), přičemž posun byl zvolen 0,05 % (w/w). Měření bylo provedeno 1., 7. a 30. den skladování při 6 ± 2 °C.

4.1.1 Výsledky fyzikálně-chemické analýzy

Obsah sušiny se ve všech vzorcích s přídávkem hydrokoloidu pohyboval v rozmezí 39,41 až 41,23 % (w/w) a vzorky tedy mohly být srovnávány v dalších analýzách.

Alginát sodný

Hodnoty pH modelových vzorků tavených sýrů se s přídávkem alginátu sodného pohybovaly v rozmezí 5,66–5,98, což jsou výsledky pohybující se v optimu pro roztíratelné tavené sýry (5,60–6,10). Srovnání hodnot pH po přídávku různých koncentrací neprokázalo jednoznačný trend, byl pozorován jak jejich pokles, tak i nárůst. Ani po 30 dnech skladování nebyl pozorován vliv tohoto hydrokoloidu na pH modelových vzorků tavených sýrů.

Agar

U modelových vzorků s přídávkem agaru byly naměřené hodnoty pH na spodní hranici určené jako optimální pro roztíratelné tavené sýry a to konkrétně mezi 5,63 a 5,72. Ani v případě přídávku agaru nebyl u modelových vzorků tavených sýrů pozorován specifický trend nárůstu či poklesu hodnot pH s měnící se koncentrací či dobou skladování.

κ -karagenan

Výsledky měření pH u vzorků s přídávkem κ -karagenanu ukázaly na skutečnost, že nedosahovaly optima určeného pro roztíratelné tavené sýry a pohybovaly se kontrétně v rozmezí 5,56 až 5,69. Rovněž mezi těmito měřeními nebyl pozorován jednoznačný trend v závislosti na měnící se koncentraci přidaného hydrokoloidu a ani doba skladování neměla na výsledky hodnot pH vliv.

Pektiny s různým stupněm esterifikace

Převážná část výsledků měření pH po přídávku jednotlivých pektinů se pohybovala mezi 5,80 a 6,10. Nejnižší naměřené hodnoty byly $5,70 \pm 0,02$ v případě přídávku 0,20 % pektinu se stupněm esterifikace 47,3 % (w/w) a nejvyšší $6,13 \pm 0,01$ pro pektin se stupněm esterifikace 71,7 %

v přidané koncentraci 1,00 % (w/w). S narůstající dobou skladování, koncentrací nebo stupněm esterifikace pektinu nedocházelo ke změnám hodnot pH v konkrétně popsatelem trendu.

4.1.2 Výsledky texturní profilové analýzy

Alginát sodný

Tvrdość tavených sýrů s narůstajícím přídávkem alginátu sodného (obr. 11) intenzivně rostla až do koncentrace 0,40 % (w/w), přičemž největší rozdíl mezi naměřenými hodnotami byl pozorován po 30 dnech skladování a dosahoval hodnot 9,96 N (v případě 0 % (w/w) přídávku alginátu sodného byly naměřené hodnoty $12,80 \pm 0,04$ N a 0,40 % (w/w) $22,74 \pm 0,02$ N). V případě měření po 1 a 7 dnech skladování byly rozdíly mezi výsledky po přídávku 0 % (w/w) a 0,40 % (w/w) alginátu téměř srovnatelné a pohybovaly se v hodnotách 8,99 N po 1 dni (konkrétně $8,76 \pm 0,04$ N a $17,75 \pm 0,05$ N) a 9,02 N po 7 dnech skladování (konkrétně $10,76 \pm 0,03$ N a $19,78 \pm 0,06$ N). V případě přídávku vyšší koncentrace než 0,40 % (w/w) došlo ke zpomalení růstu tvrdosti a rozdíly mezi naměřenými hodnotami byly nižší, přičemž i v tomto případě byly méně výrazné rozdíly mezi výsledky po 1 a 7 dnech skladování oproti 30 dnu (rozdíly mezi koncentracemi 0,40 % (w/w) a 1,00 % (w/w) 4,52 N po 1 dni; 4,36 N po 7 dnech a 6,42 N po 30 dnech skladování). Z naměřených parametrů je tedy patrné, že nejvyšších hodnot tvrdosti bylo dosaženo u vzorků s přídávkem 1,00 % (w/w) alginátu sodného po 30 dnech skladování ($29,16 \pm 0,10$ N).

Hodnoty relativní lepivosti vzorků tavených sýrů se s přídávkem alginátu sodného pohybovaly v rozmezí 0,14 až 0,41. S narůstající přidanou koncentrací vybraného hydrokoloidu byl pozorován mírný pokles relativní lepivosti (např. $0,41 \pm 0,03$ při koncentraci 0 % (w/w) a $0,38 \pm 0,02$ pro koncentraci 0,20 % (w/w)), přičemž nejnižší hodnoty byly naměřeny pro vzorek specifický přídávkem 0,70 % (w/w) po 30 dnech skladování, naopak nejvyšší po stejné době skladování a bez přídávku alginátu sodného (tedy s 0 % (w/w) přídávkem hydrokoloidu).

Průměrná naměřená hodnota kohezivnosti pro vzorky s přídávkem alginátu sodného byla 0,57. Pozorované změny kohezivnosti v důsledku měnící se koncentrace hydrokoloidu byly nevýznamné.

Agar

Narůstající přídavek agaru vedl ke zvýšení hodnot tvrdosti vzorků tavených sýrů (obr. 12). Měření po 1 dni skladování ukázaly na skutečnost, že v případě přidané koncentrace agaru do 0,60 % (w/w) byl nárůst hodnot tvrdosti pozvolný (dosažený rozdíl mezi naměřenými hodnotami byl 12,28 N; konkrétně $13,98 \pm 0,02$ N pro 0 % (w/w) a $26,26 \pm 0,04$ N pro koncentraci 0,60 % (w/w)),

přičemž při vyšších koncentracích se hodnoty tvrdosti zvyšovaly intenzivněji (rozdíl mezi hodnotami 9,86 N, konkrétně $26,26 \text{ N} \pm 0,04$ při koncentraci 0,60 % (w/w) a $36,12 \pm 0,06 \text{ N}$ v koncentraci 1,00 % (w/w)). Po 7 a 30 dnech skladování výše popsany trend již pozorován nebyl a tvrdost se s narůstající přidanou koncentrací hydrokoloidu zvyšovala. S rostoucí dobou skladování byly hodnoty tvrdosti po přidavku agaru vyšší ($36,2 \pm 0,02 \text{ N}$ po 1 dni skladování; $37,02 \pm 0,04 \text{ N}$ po 7 dnech skladování; $40,8 \pm 0,05 \text{ N}$ po 30 dnech skladování po přidavku 1 % (w/w) agaru).

Hodnoty relativní lepivosti se pohybovaly v rozmezí 0,08 až 0,19 a se vzůstající koncentrací agaru se snižovaly jen po jednom dni skladování. V dalších dnech, ve kterých proběhlo měření, nebyl pozorován jasný trend poklesu nebo nárůstu hodnot v závislosti na přidavku daného hydrokoloidu. Nejnižší výsledky vykazovaly vzorky s přidavkem 0,70 % až 1,00 % (w/w) agaru prvního analyzovaného dne, naopak nejvyšší hodnoty byly naměřeny po 30 dnech skladování.

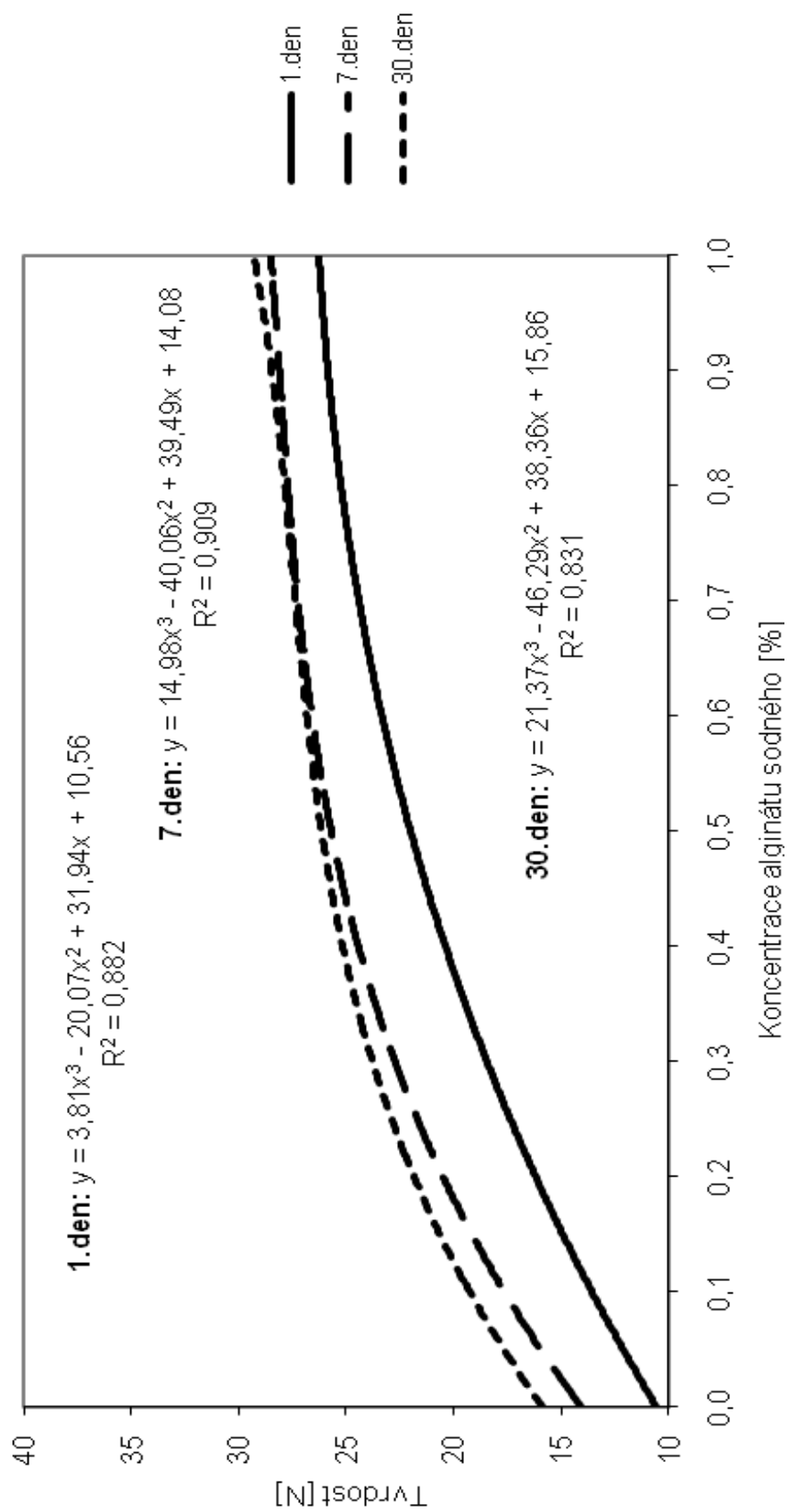
Kohezivnost tavených sýrů se pohybovala v rozmezí 0,53 až 0,60 a s měnící se koncentrací přidavku agaru ani dobrou skladování nebyl pozorován jasný narůstající nebo klesající trend.

κ-karagenan

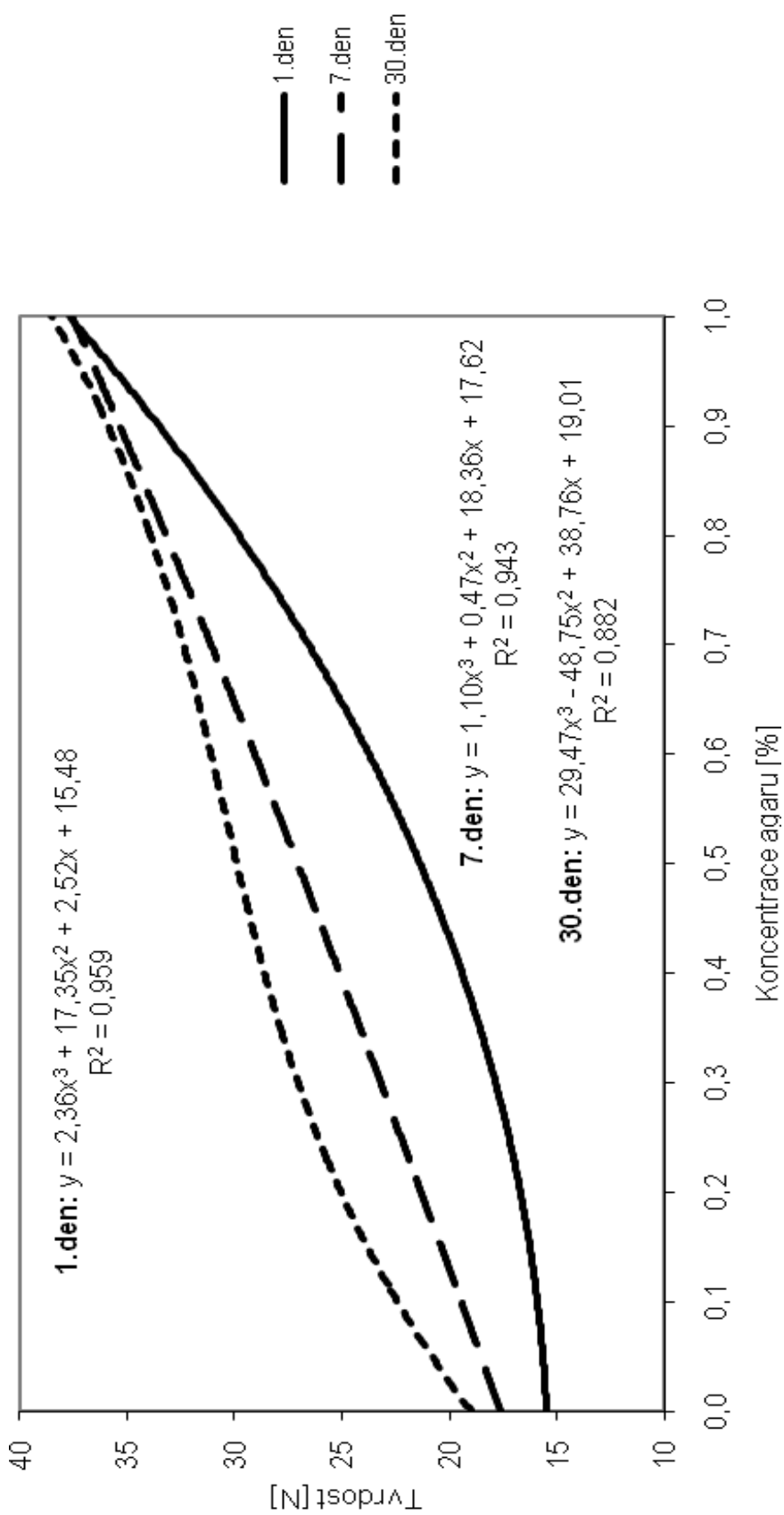
Tvrdost taveného sýra se zvyšující se koncentrací κ-karagenanu rostla (obr. 13). Ve všech dnech, kdy došlo k měření, nebyla nalezena specifická koncentrace, při které by došlo z pozvolnějšího nárůstu hodnot tvrdosti k intenzivnějšímu nebo opačně. S narůstající dobou skladování byly hodnoty tvrdosti oproti předchozím dnům, ve kterých došlo k měření, vyšší ($34,62 \pm 0,02 \text{ N}$ po 1 dni skladování; $35,07 \pm 0,04 \text{ N}$ po 7 dnech skladování; $37,27 \pm 0,04 \text{ N}$ po 30 dnech skladování pro vzorek s přidavkem 1 % (w/w) κ-karagenanu).

Výsledky relativní lepivosti se pohybovaly v rozmezí 0,16 až 0,25 a s narůstající koncentrací κ-karagenanu se pozvolna snižovaly (např. z $0,24 \pm 0,02$ v koncentraci 0,10 % (w/w) na $0,16 \pm 0,04$ v případě přidavku koncentrace 1,00 % (w/w) po 30 dnech skladování). Nejnižších hodnot bylo dosaženo u vzorku s přidavkem 1,00 % (w/w) κ-karagenanu, naopak nejvyšší byly naměřeny pro vzorky kontrolní, tedy bez jakéhokoli přidavku vybraného hydrokoloidu.

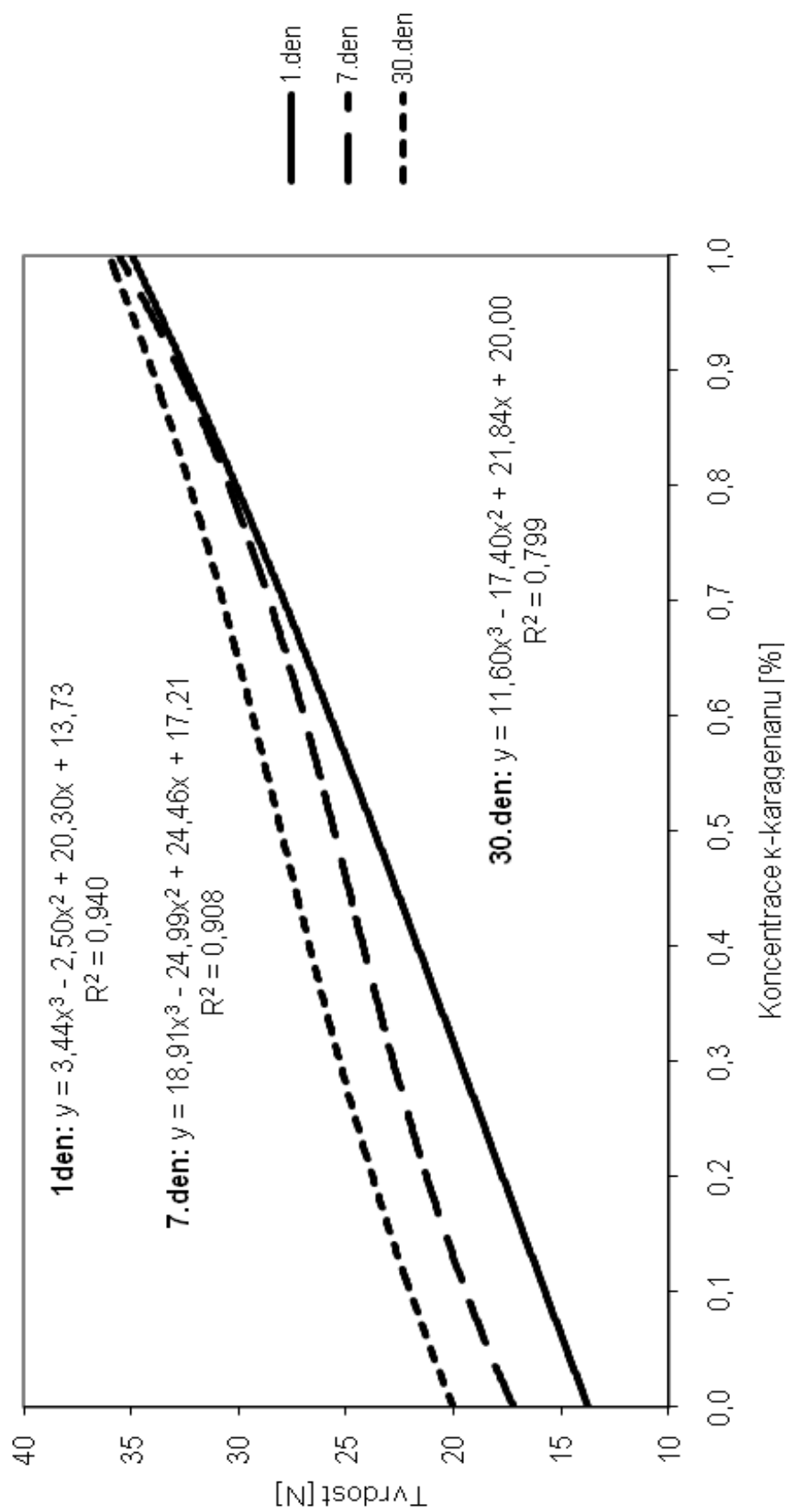
Kohezivnost se u vzorků s přidavkem κ-karagenanu pohybovala mezi 0,45 a 0,54, přičemž nebyl pozorován jasný narůstající či klesající trend v závislosti na měnící se koncentraci daného hydrokoloidu.



Obr. 11: Vliv koncentrace alginátu sodného na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu



Obr. 12: Vliv koncentrace agaru na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu



Obr. 13: Vliv koncentrace κ -karagenanu na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu

Pektiny s různým stupněm esterifikace

Tvrdość taveného sýra se ve všech případech přidavku pektinu s různým stupněm esterifikace zvyšovala s narůstající koncentrací přidaného hydrokoloidu, přičemž ve 2 případech použitých vzorků došlo k nalezení hraniční koncentrace, ve které došlo ke změně nárůstu hodnot tvrdosti a to konkrétně v případě přidavku nejnižšího (47,3 %) a nejvyššího (71,7 %) stupně esterifikace. V ostatních 4 případech k nalezení hraniční koncentrace nedošlo. Rovněž prodlužující se doba skladování se projevila zvýšením měřeného parametru, přičemž tento jev byl pozorován ve všech případech pektinů s různým stupněm esterifikace.

Přídavek pektinu se stupněm esterifikace 47,3 % (obr. 14) se ve všech dnech, ve kterých proběhlo měření, projevil stejným trendem a to mírným nárůstem tvrdosti do koncentrace 0,60 % (w/w). Rozdíly mezi jednotlivými dny, kdy došlo k měření, nepřesahovaly 1,50 N (naměřené hodnoty 6,19 ± 0,04 N po 1 dni; 6,97 ± 0,06 N po 7 dnech a 7,13 ± 0,02 N po 30 dnech skladování pro přidanou koncentraci 0,05 % (w/w)). Nejnižší rozdíly mezi koncentrací 0 % (w/w) a 0,60 % (w/w) byly naměřeny po 30 dnech skladování a to 2,20 N (po 1 dni 3,21 N; po 7 dnech 3,07 N). V případě přidavku tohoto pektinu v koncentraci 0,60 % až 1,00 % (w/w) se trend nárůstu hodnot tvrdosti změnil a následoval jeho prudký nárůst, přičemž rozdíly mezi uvedenými koncentracemi v jednotlivých měřicích dnech opět nepřesáhly 1,50 N (naměřené hodnoty 9,01 ± 0,04 N po 1 dni; 10,46 ± 0,06 N po 7 dnech a 11,29 ± 0,02 N po 30 dnech skladování pro přidanou koncentraci 0,90 % (w/w)). Nejvyšší hodnoty byly naměřeny po přidavku 1,00 % pektinu po 30 dnech skladování a to 14,59 ± 0,06 N.

Vzrůstající tvrdost s narůstající koncentrací pektinu bez nalezení specifické koncentrace, ve které by došlo k rapidnímu nárůstu či poklesu hodnot, byla pozorována po přidavku pektinu se stupněm esterifikace 56,3 % (obr. 15); 61,5 % (obr. 16); 64,5 % (obr. 17) a 65,0 % (obr. 18). Naměřené výsledky (porovnávány výsledky po přidavku 1,00 % daného pektinu po 30 dnech skladování) se pohybovaly v rozmezí těch, jenž byly zjištěny v případě přidavku nejnižšího (14,59 ± 0,03 N) a nejvyššího (17,89 ± 0,04 N) stupně esterifikace a to konkrétně 14,67 ± 0,05 N pro stupeň esterifikace 56,3 %; 15,19 ± 0,02 N pro stupeň esterifikace 61,5 %; 16,00 ± 0,04 N pro stupeň esterifikace 64,5 % a 17,12 ± 0,06 N pro stupeň esterifikace 65,0 %. Tento jev byl pozorován ve všech třech dnech, ve kterých proběhlo měření, přičemž rozdíly mezi jednotlivými dny nebyly příliš výrazné v případě, že došlo k měření po 7 a 30 dnech (např. v případě 1,00 % přidavku pektinu se stupněm esterifikace 56,3 % byly naměřené hodnoty 11,52 ± 0,06 N po 1 dni; 14,00 ± 0,02 N po 7 dnech a 14,67 ± 0,05 N po 30 dnech skladování).

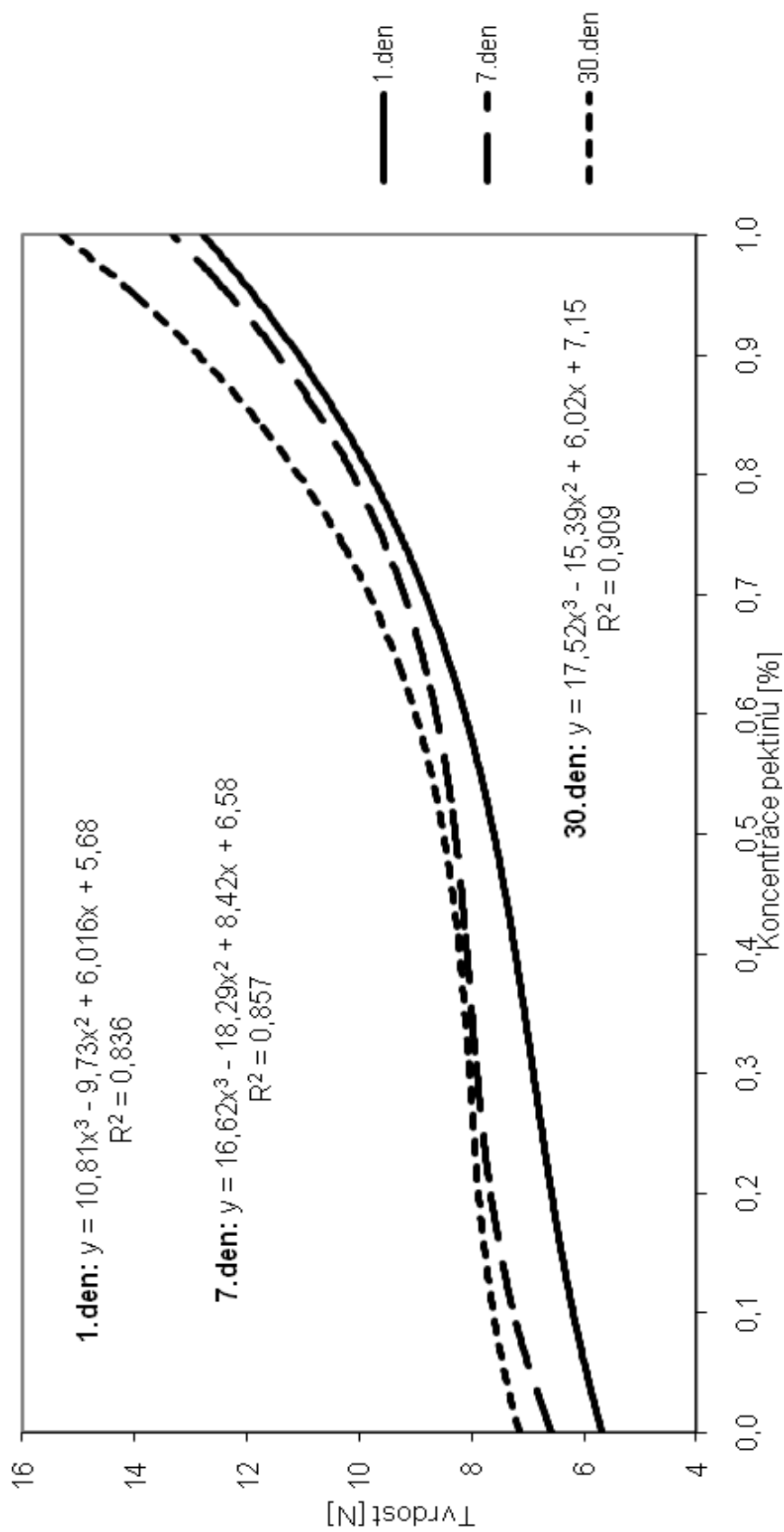
Při použití pektinu se stupněm esterifikace 71,7 % (obr. 19) byl pozorován intenzivní nárůst tvrdosti až do dosažení koncentrace 0,60 % (w/w). Rozdíly

mezi koncentrací 0 % (w/w) a již zmíněnou hraniční 0,60 % (w/w) dosahovaly srovnatelných hodnot v případě 1. (5,97 N) a 7. dne měření (6,24 N). Výrazně nižší byly rozdíly po 30 dnech skladování (3,23 N). Po přidavku vyšších koncentrací uvedeného pektinu se již měřený parametr zvyšoval jen pozvolna. Ani v tomto případě přidavku hydrokoloidu nedošlo ke změně trendu s prodlužující se délkou skladování a nejvyšších hodnot tvrdosti bylo dosaženo v případě 1,00 % (w/w) pektinu po 30 dnech skladování ($17,89 \pm 0,06$ N).

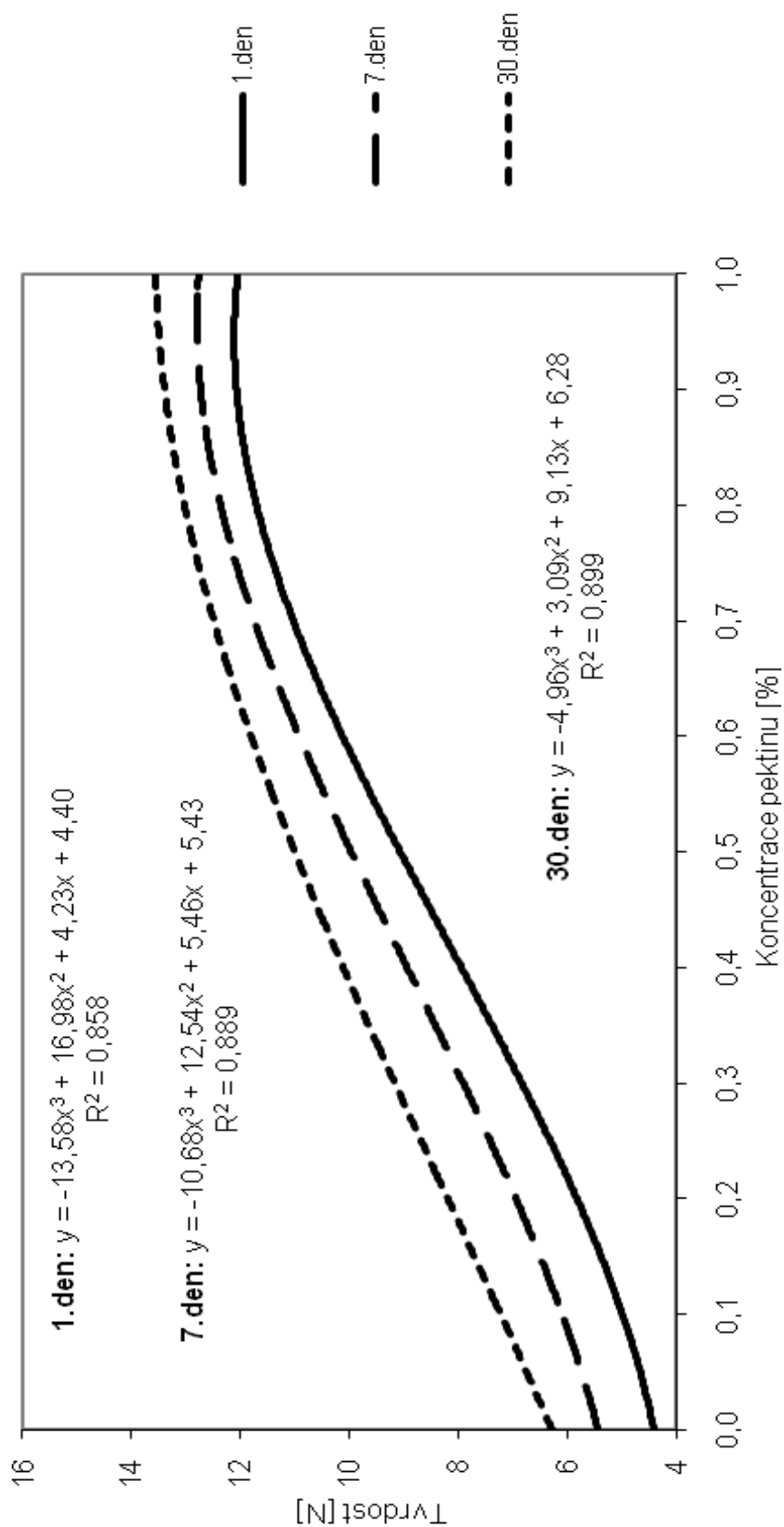
Srovnání přidavků jednotlivých pektinů ukázalo na skutečnost, že nejnižších hodnot tvrdosti dosahovaly pektiny se stupněm esterifikace 47,3 % ($6,18 \pm 0,04$ N v koncentraci 0 % (w/w)) po 1 dni skladování, naopak nejvyšší naměřené hodnoty byly sledovány v případě přidavku pektinu se stupněm esterifikace 71,7 % po 30 dnech skladování ($17,89 \pm 0,04$ N).

Relativní lepivost se u pektinu s rozdílným stupněm esterifikace pohybovala mezi 0,17 až 0,24. S narůstající koncentrací přidaného hydrokoloidu docházelo k poklesu relativní lepivosti (nejvyšší naměřené hodnoty v případě 0 % (w/w) přidavku pektinu se stupněm esterifikace 56,3 % a nejnižší ve vzorcích po přidavku 0,95 % (w/w) pektinu se stupněm esterifikace 65,0 %). Vzrůstající doba skladování se projevila poklesem měřených hodnot (např. v případě přidavku 1,00 % (w/w) přidavku pektinu se stupněm esterifikace 56,3 % byly naměřené hodnoty $0,19 \pm 0,04$ po 1 dni a 7 dnech skladování; $0,18 \pm 0,03$ po 30 dnech skladování).

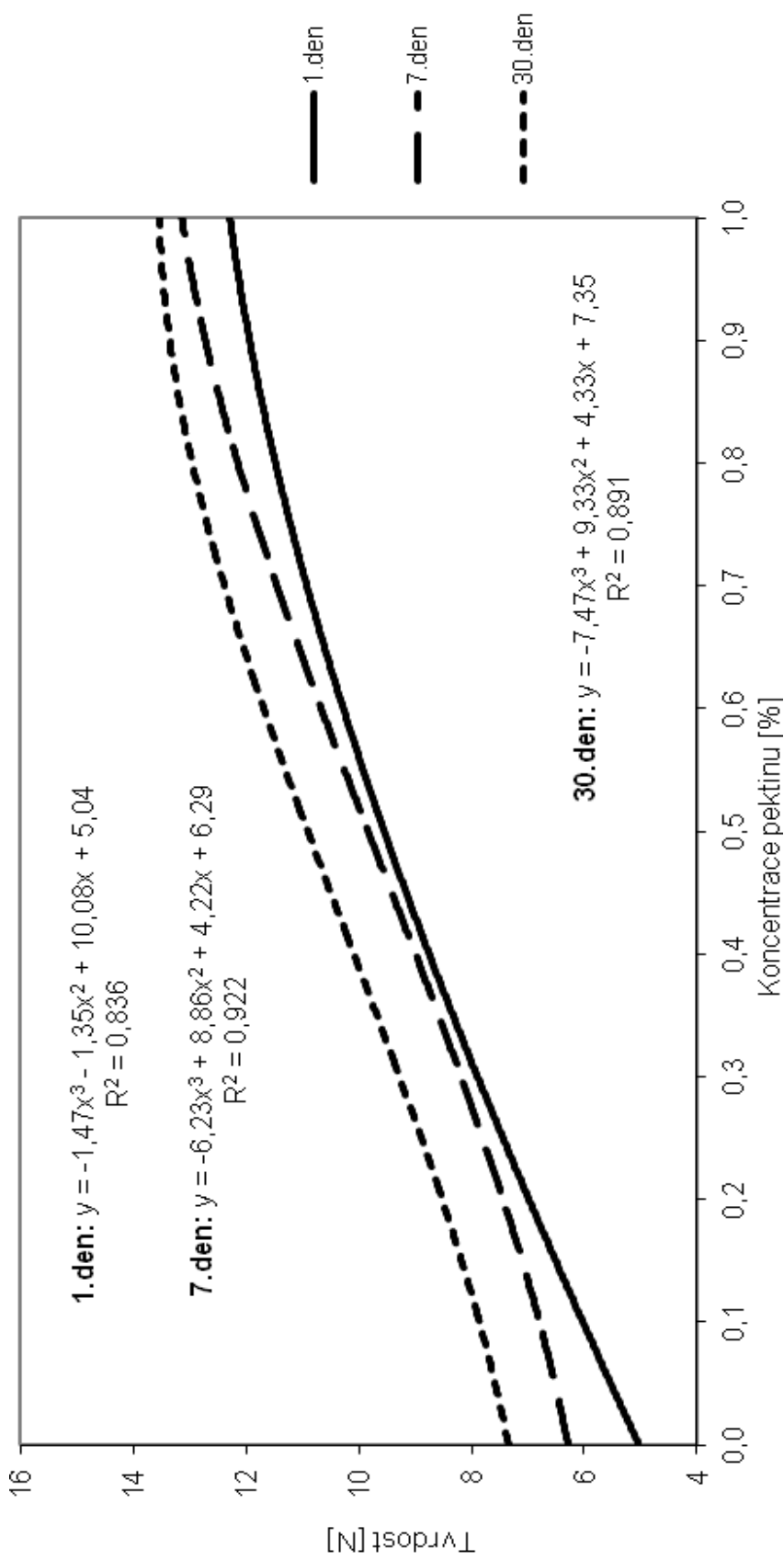
Výsledky měření kohezivnosti se v případě všech přidavku pektinů pohybovaly v rozmezí 0,45 až 0,65. Ve všech případech přidávaného hydrokoloidu nebyl nalezen jasný narůstající či klesající trend na základě rozdílné koncentrace či doby skladování, hodnoty kohezivnosti tedy pravděpodobně nebyly přidavkem pektinů ovlivněny.



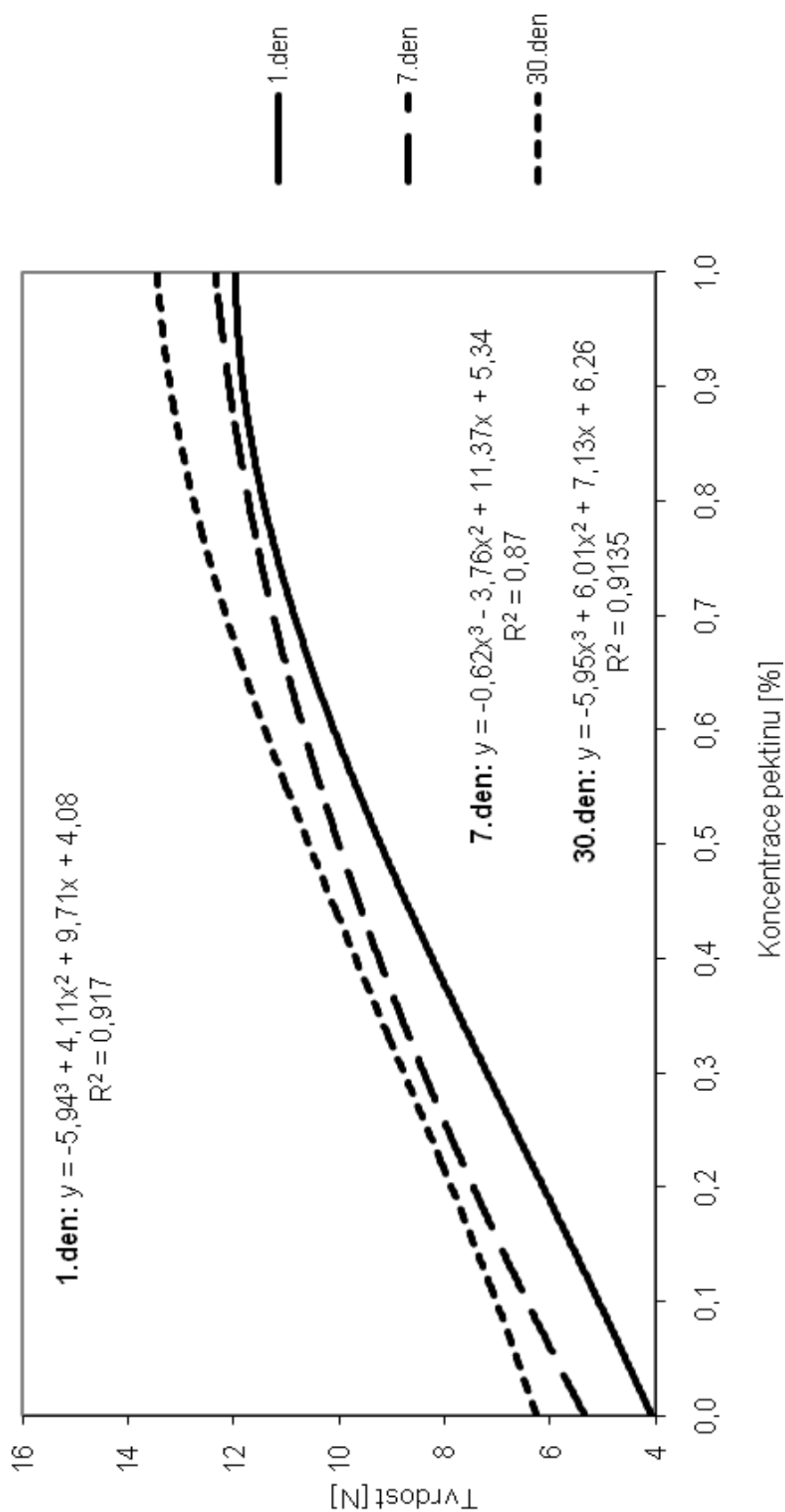
Obr. 14: Vliv koncentrace pektinu se stupněm esterifikace 47,3 % na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu



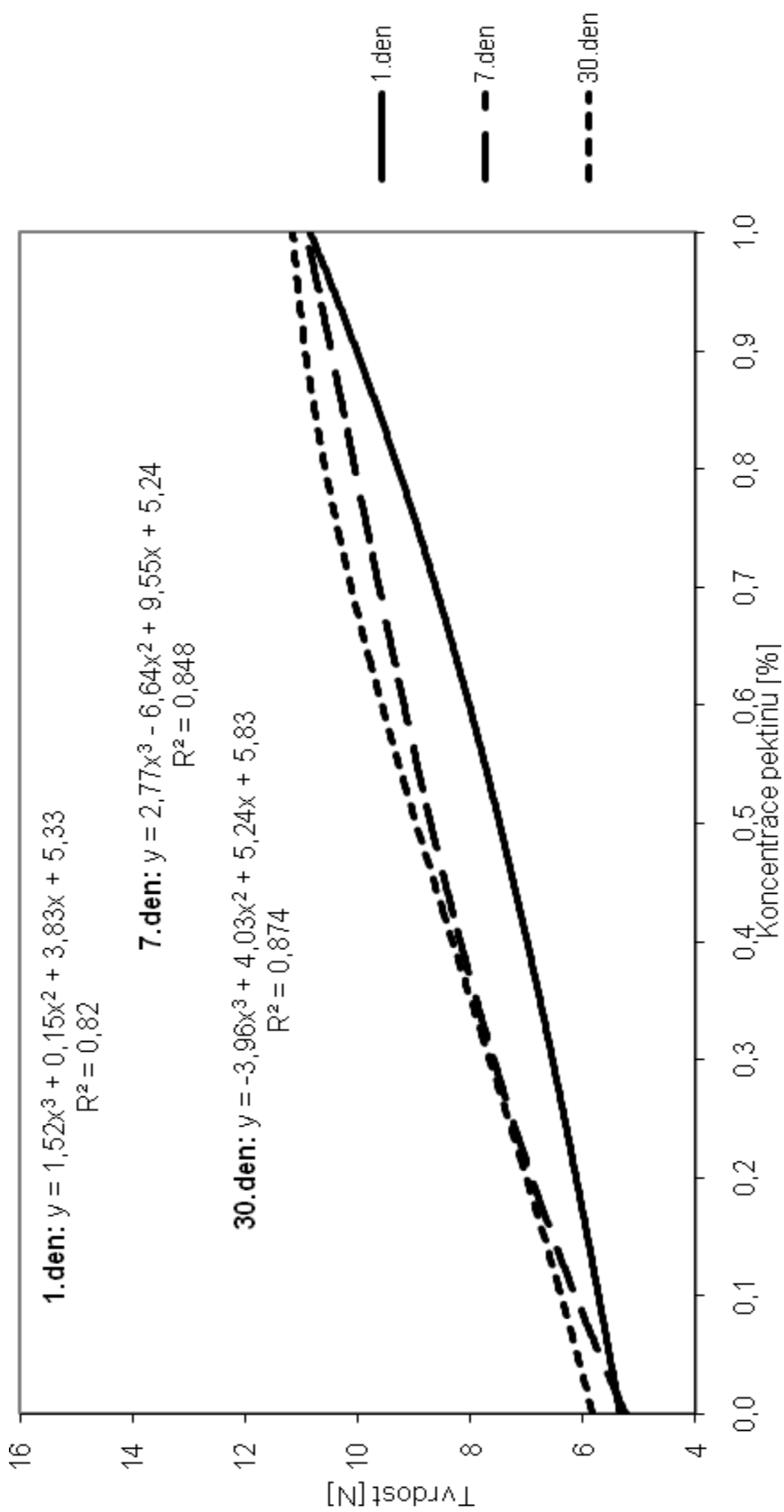
Obr. 15: Vliv koncentrace pektinu se stupněm esterifikace 56,3 % na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu



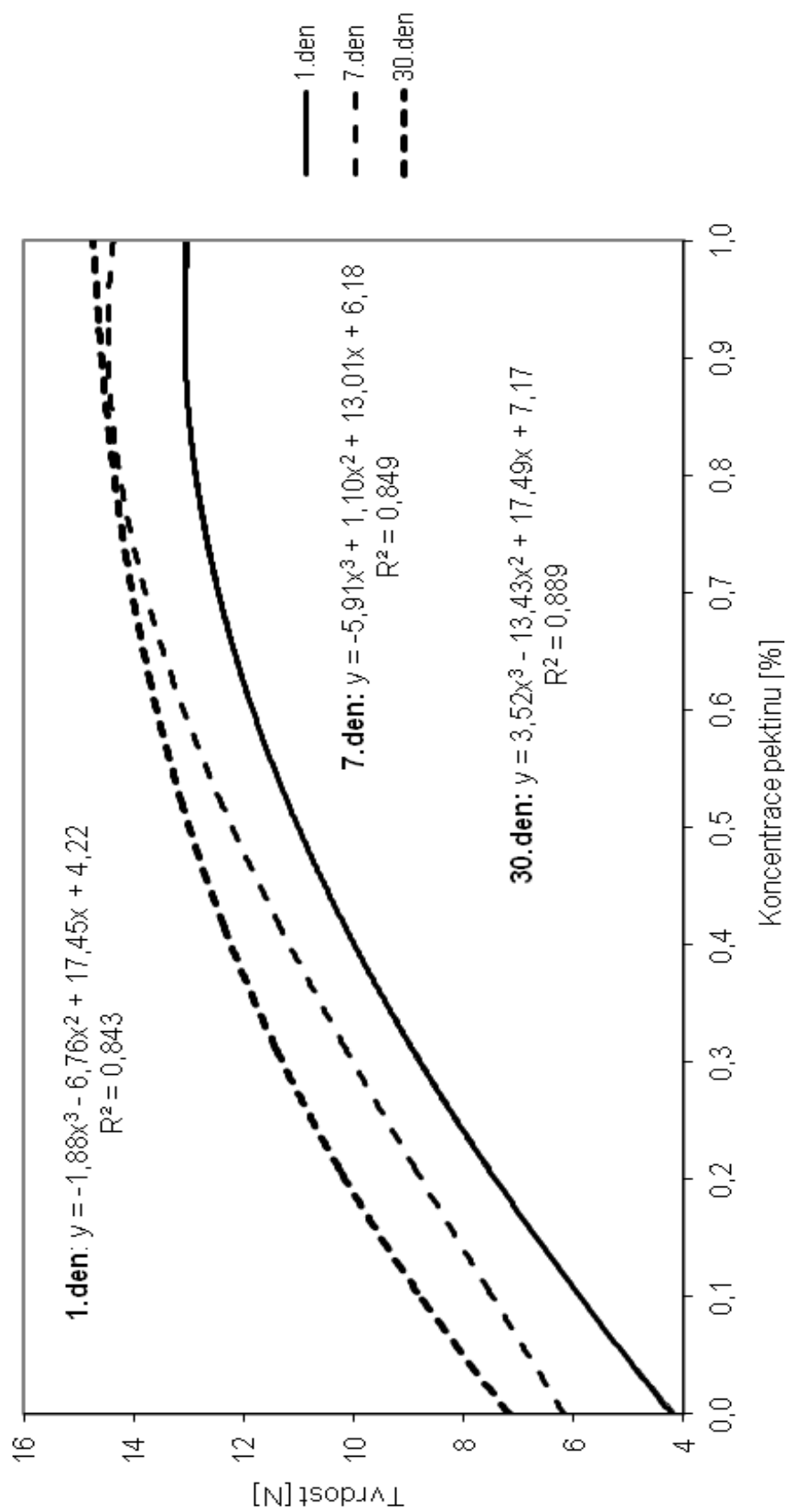
Obr. 16: Vliv koncentrace pektinu se stupněm esterifikace 61,5 % na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu



Obr. 17: Vliv koncentrace pektinu se stupněm esterifikace 64,5 % na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu



Obr. 18: Vliv koncentrace pektinu se stupněm esterifikace 65,0 % na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu



Obr. 19: Vliv koncentrace pektinu se stupněm esterifikace 71,7 % na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu

4.2 Výsledky druhé části praktické práce

Ve druhé části praktické práce byly zjišťovány hodnoty pH a texturní profilové analýzy v závislosti na přídatku jednotlivých fosforečnanových solí s různou délkou fosforečnanového řetězce. Použitými tavicími solemi byl hydrogenfosforečnan (P1), difosforečnan (P2), trifosforečnan (P3) a pět polyfosforečnanů (Pn) sodných se střední hodnotou počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5 (P5), 9 (P9), 13 (P13), 20 (P20) a 28 (P28). Další studie se zabývala přidavkem ternárních směsí tavicích solí sestávajících z kombinace hydrogenfosforečnanu, difosforečnanu a pětice polyfosforečnanů sodných s proměnlivou délkou řetězce (dále značeno jako P1:P2:Pn, kde Pn představuje střední hodnotu počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5, 9, 13, 20 a 28). Druhou pětici zastupují vzorky, ve kterých byl difosforečnan nahrazen trifosforečnanem (vzorky značeny P1:P3:Pn (P5, P9, P13, P20 a P28)). Všechna měření probíhala vždy 2., 9. a 30. den skladování při 6 ± 2 °C.

Stejně tavicí soli, jak jednotlivé, tak i jejich ternární směsi byly použity při měření pH a optické hustoty disperzí odtučněného mléka. Intenzita dispergace kaseinových bílkovin v 5 % (w/v) modelovém systému mléka byla popsána měřením optické hustoty při vlnové délce 700 nm. Princip tohoto měření je založen na skutečnosti, že čím nižší jsou hodnoty optické hustoty, tím nastala intenzivnější dispergace kaseinových bílkovin [54].

4.2.1 Výsledky fyzikálně-chemické analýzy

Změřený obsah sušiny se pohyboval v rozmezí 40,56 a 41,22 % (w/w) pro všechny vyrobené modelové vzorky tavených sýrů, což lze považovat za uspokojivou shodu.

Jednotlivě aplikované tavicí soli s různou délkou fosforečnanového řetězce

Výsledky měření pH v tavených sýrech po přidavku jednotlivých fosforečnanových tavicích solí bez úpravy pH jsou uvedeny v tabulce 3. Nejvyšší hodnoty ($6,63 \pm 0,03$) byly naměřeny pro difosforečnan P2. Měření pH se u polyfosforečnanů P5 až P28 projevilo tak, že se zvyšující se délkou fosforečnanového řetězce došlo k poklesu hodnot pH. Prakticky obdobné hodnoty v rozmezí 5,35-5,44 byly zjištěny pro polyfosforečnany P9, P13, P20 a P28. U vzorků P1, P2 a P3 byly naopak změřeny vysoké hodnoty pH a to v rozmezí jejich středních hodnot 6,41-6,63.

V případě, že bylo pH upravováno na požadované hodnoty 5,60-5,80 pro zamezení vlivu tohoto faktoru na výsledky texturních analýz, bylo dosaženo uspokojivých výsledků a to v rozmezí jejich středních hodnot 5,66-5,87.

Výsledky měření hodnot pH jednotlivě přidaných fosforečnanů s různou délkou řetězce v disperzích odtučněného mléka (tabulka 4) poukázaly na skutečnost, že podstatně vyšších hodnot dosahovaly fosforečnany P1, P2 a P3. Nejvyšší naměřené hodnoty byly zjištěny u přídavku difosforečnanu sodného (P2) $6,68 \pm 0,03$; obdobné výsledky pH byly naměřeny pro polyfosforečnany P9, P13, P20 a P28 (6,13-6,17).

S prodlužující se dobou skladování došlo k mírnému poklesu pH, které nepřesahovalo 0,20.

Tabulka 3 Závislost hodnot pH modelových tavených sýrů (bez úpravy pH) na délce řetězce (P1–P28) aplikovaných sodných solí fosforečnanů *; měřeno po 2 dnech skladování

Aplikovaná sodná sůl fosforečnanu	Hodnota pH
P1	$6,45 \pm 0,02^a$
P2	$6,63 \pm 0,03^b$
P3	$6,41 \pm 0,02^b$
P5	$5,95 \pm 0,02^c$
P9	$5,44 \pm 0,02^d$
P13	$5,38 \pm 0,03^{d,e}$
P20	$5,36 \pm 0,02^e$
P28	$5,35 \pm 0,02^e$

* Hodnoty pH uvedeny jako průměr \pm S.D.

Tabulka 4 Závislost hodnot pH modelových vzorků disperzí odtučněného mléka na délce řetězce (P1–P28) aplikovaných sodných solí fosforečnanů *

Aplikovaná sodná sůl fosforečnanu	Hodnota pH
P1	$6,56 \pm 0,02^a$
P2	$6,68 \pm 0,03^a$
P3	$6,49 \pm 0,03^{a,b}$
P5	$6,30 \pm 0,02^b$
P9	$6,17 \pm 0,03^c$
P13	$6,15 \pm 0,03^c$
P20	$6,13 \pm 0,02^c$
P28	$6,14 \pm 0,03^c$

* Hodnoty pH uvedeny jako průměr \pm S.D.

Porovnáním výsledků měření pH v tavených sýrech a v disperzích odtučněného mléka lze konstatovat, že nejvyšších hodnot bylo dosaženo u obou materiálů v případě přidavku difosforečnanu sodného, přičemž naměřené hodnoty nejsou příliš rozdílné. Rovněž následný pokles hodnot pH se zvyšující se délkou fosforečnanového řetězce byl pozorován v případě přidavku tavicích solí jak do vzorků tavených sýrů, tak i disperzí odtučněného mléka, přičemž v disperzích odtučněného mléka byly hodnoty u polyfosforečnanů s delším řetězcem o více než 0,8 vyšší.

Ternární směsi tavicích solí

Výsledky měření pH v tavených sýrech pro vzorky ternárních směsí P1:P2:Pn po 2 dnech skladování bez úpravy pH jsou uvedeny na obrázku 20. Z naměřených výsledků je patrné, že při použití pouze hydrogenfosforečnanu a difosforečnanu sodného (bez přítomnosti polyfosforečnanu) byly hodnoty pH vysoké (přes 6,40). Nejvyšší hodnoty pH byly naměřeny při kombinaci hydrogenfosforečnanu a difosforečnanu 50:50 ($6,61 \pm 0,02$), přičemž odklon od tohoto parametru se projevil mírným poklesem měřeného parametru (např. v kombinaci 40:60:0 bylo naměřeno $5,58 \pm 0,01$). Pozvolný pokles pH byl pozorován s narůstajícím obsahem polyfosforečnanu v ternární směsi, přičemž nejméně klesaly vzorky ternární směsi s P5 (v kombinaci 20:0:80 naměřeno $5,82 \pm 0,01$) naopak nejvíce s přidavkem P28 ($5,38 \pm 0,02$ v té stejné kombinaci). U výsledků měření pro P9, P13 a P20 byl pozorován rovněž klesající trend pH s narůstajícím obsahem polyfosforečnanu ve směsi, přičemž výsledky se pohybovaly v rozmezí takových hodnot pH, jakých dosahovala měření po přidavku ternárních směsí P1:P2:P5 a P1:P2:P28.

Nahrazením difosforečnanu sodného (P2) v ternární směsi trifosforečnanem (P3) nebyla pozorována změna trendu výsledků měření pH (obr. 21). Rozněž zde se projevil pokles pH s narůstajícím obsahem polyfosforečnanové složky ve směsi, přičemž nejintenzivněji byl sledován pro polyfosforečnan s nejdelším řetězcem. Srovnání naměřených hodnot poukázalo na skutečnost, že se výsledky naměřené pro trifosforečnan $6,58 \pm 0,03$ (50:50:0; kombinace P1:P3:P5) až $5,32 \pm 0,04$ (0:0:100; kombinace P1:P3:P5) výrazně nelišily od těch, ve kterých byl použit difosforečnan $6,61 \pm 0,02$ (50:50:0; kombinace P1:P2:P5) až $5,31 \pm 0,04$ (0:0:100; kombinace P1:P2:P5).

V případě, že bylo pH modelových vzorků upravováno, bylo dosaženo výsledků mezi 5,65 až 5,81; což lze považovat za uspokojivé výsledky.

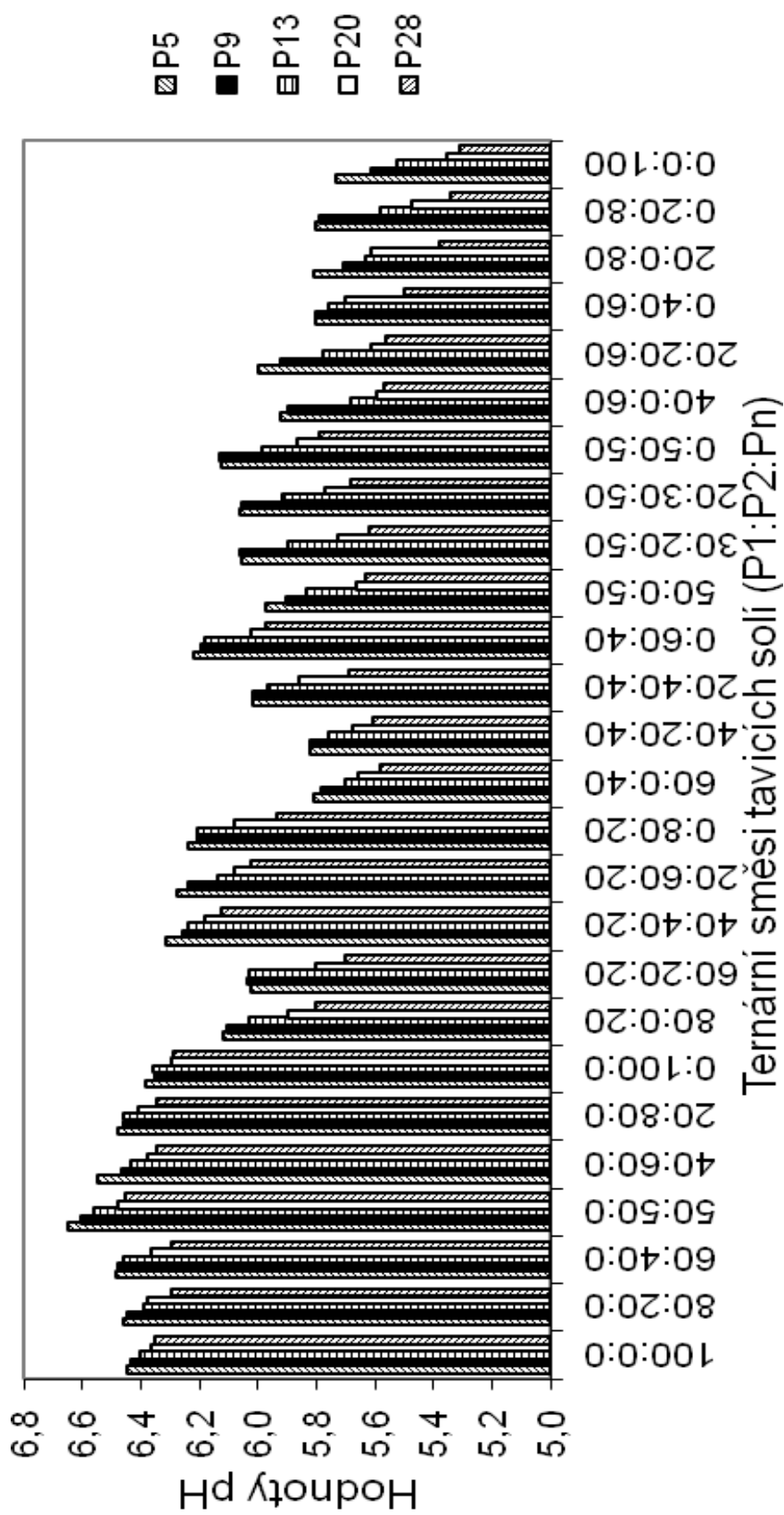
Během skladování byl pozorován mírný pokles hodnot pH, jež se pro většinu vzorků pohyboval v rozmezí 0,10 a 0,20 ($P < 0,05$).

Výsledky měření pH v disperzích odtučněného mléka pro vzorky ternárních směsí P1:P2:Pn jsou uvedeny na obrázku 22. Z naměřených výsledků je patrné,

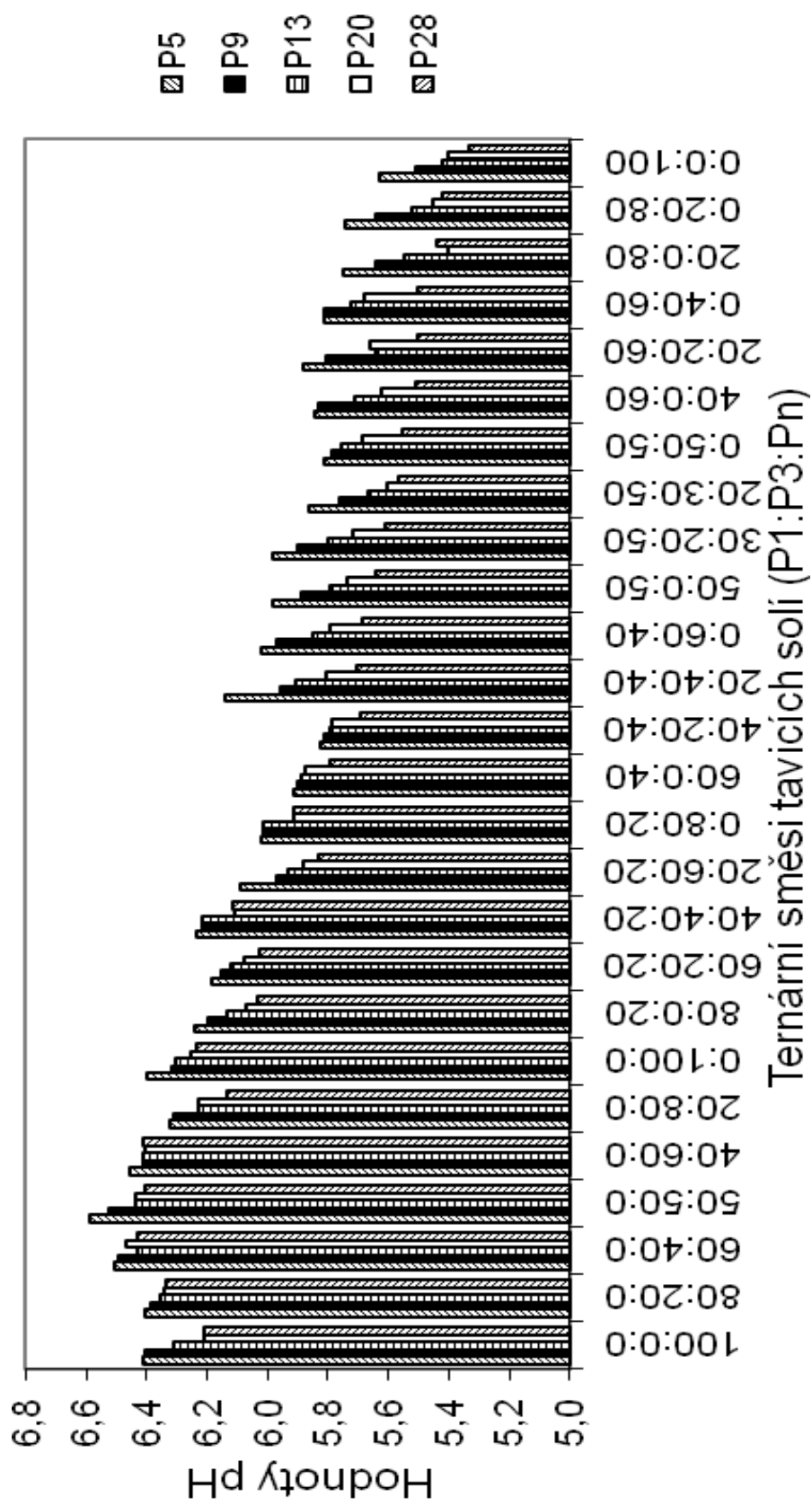
že nejvyšších hodnot bylo dosaženo v případě, že nebyl v ternární směsi přítomen polyfosforečnan a poměr mezi hydrogenfosforečnanem a difosforečnanem byl 50:50 ($6,65 \pm 0,01$). Hodnoty pH s narůstajícím obsahem polyfosforečnanu ve směsi mírně klesaly. Výše popsany pokles byl rapidnější u vzorků s přídatkem polyfosforečnanu s nejdelším řetězcem (P28), naopak nejnižší u polyfosforečnanu P5. U vzorků s přídatkem P9, P13 a P20 byl rovněž pozorován pokles s narůstajícím obsahem polyfosforečnanu, přičemž se hodnoty pohybovaly v rozmezí přídatku P5 a P28.

Nahrazením difosforečnanu sodného (P2) v ternární směsi trifosforečnanem (P3) nebyla pozorována změna trendu výsledků měření pH. Srovnáním jednotlivých měření lze konstatovat, že v případě přídatku trifosforečnanu byly hodnoty oproti těm s difosforečnanem nižší, přičemž rozdíl mezi nimi nepřesahoval 0,1 (maximální rozdíl mezi vzorky byl pozorován u kombinace 80:0:20, kde v případě P1:P2:P5 dosahovaly výsledky $6,48 \pm 0,02$; u P1:P3:P5 $6,40 \pm 0,03$).

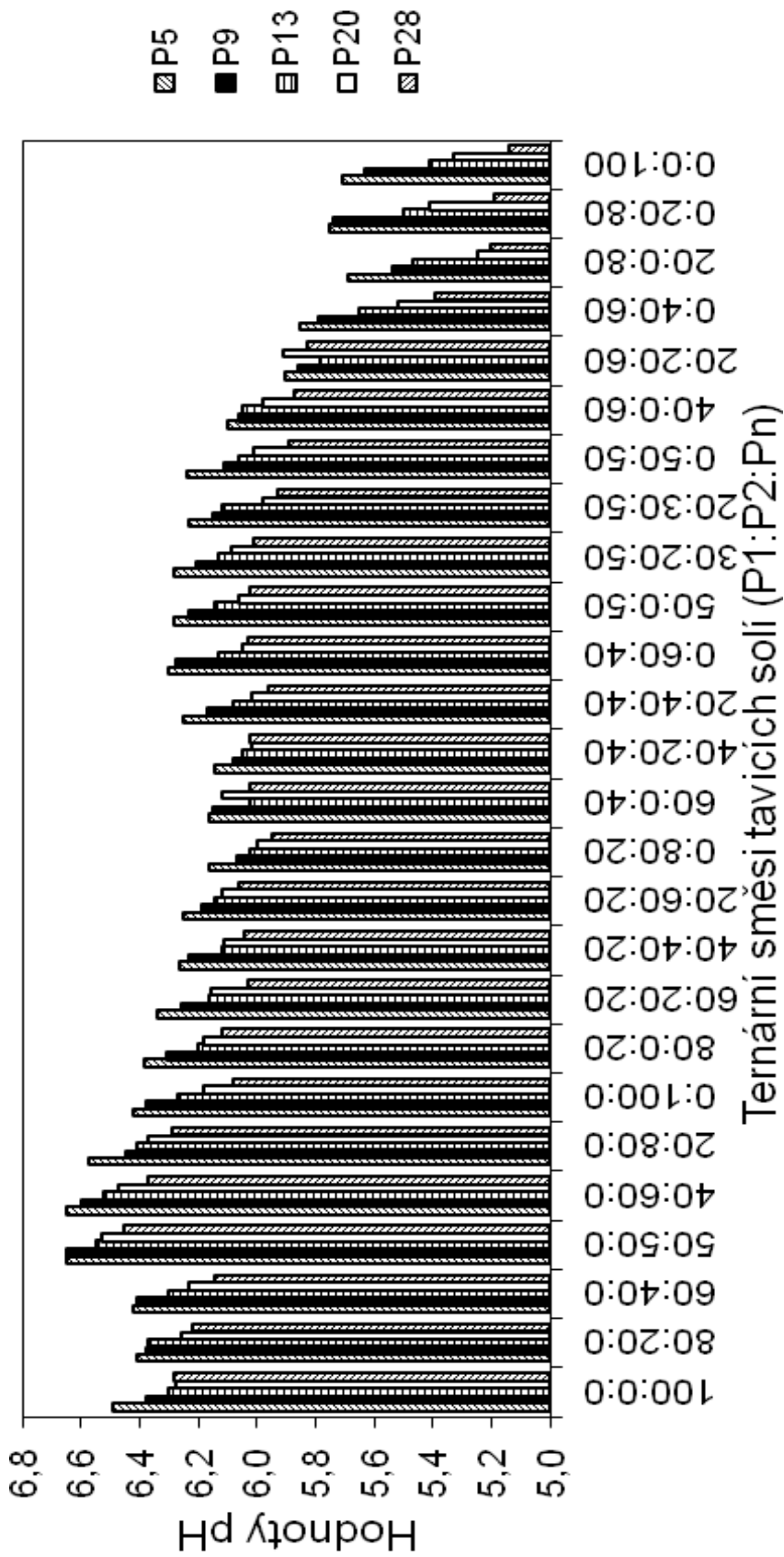
Srovnáním výsledků nameřených v případě tavených sýrů a disperzí odtučněného mléka lze konstatovat, že v obou případech byly naměřeny nejvyšší hodnoty při nulovém zastoupení polyfosforečnanů ve směsích, přičemž s narůstajícím obsahem této složky pH klesalo. Výsledné hodnoty maxima byly totožné a to $6,65 \pm 0,02$ v případě kombinace ternárních směsí tavicích solí 50:50:0. Nižších minimálních hodnot bylo dosaženo při měření tavených sýrů ($5,31 \pm 0,01$) oproti těm v disperzích odtučněného mléka ($6,14 \pm 0,01$) v případě vzorků obsahujících pouze polyfosforečnan.



Obr. 20: Vliv přidavku ternárních směsí hydrogenfosforečnanu (P1), difosforečnanu (P2) a polyfosforečnanů (Pn; n = střední hodnota počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5, 9, 13, 20 a 28) sodných na pH tavených sýrů po 2 dnech skladování



Obr. 21: Vliv přidavku ternárních směsí hydrogenfosforečnanu (P1), trijfosforečnanu (P3) a polyfosforečnanů (Pn; n = střední hodnota počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5, 9, 13, 20 a 28) sodných na pH tavených sýrů po 2 dnech skladování



Obr. 22: Vliv přidavku ternárních směsí hydrogenfosforečnanu (P1), difosforečnanu (P2) a polyfosforečnanů (Pn; n = střední hodnota počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5, 9, 13, 20 a 28) sodných na pH disperzí odtučněného mléka

4.2.2 Výsledky texturní profilové analýzy

Jednotlivě aplikované tavicí soli s různou délkou fosforečnanového řetězce

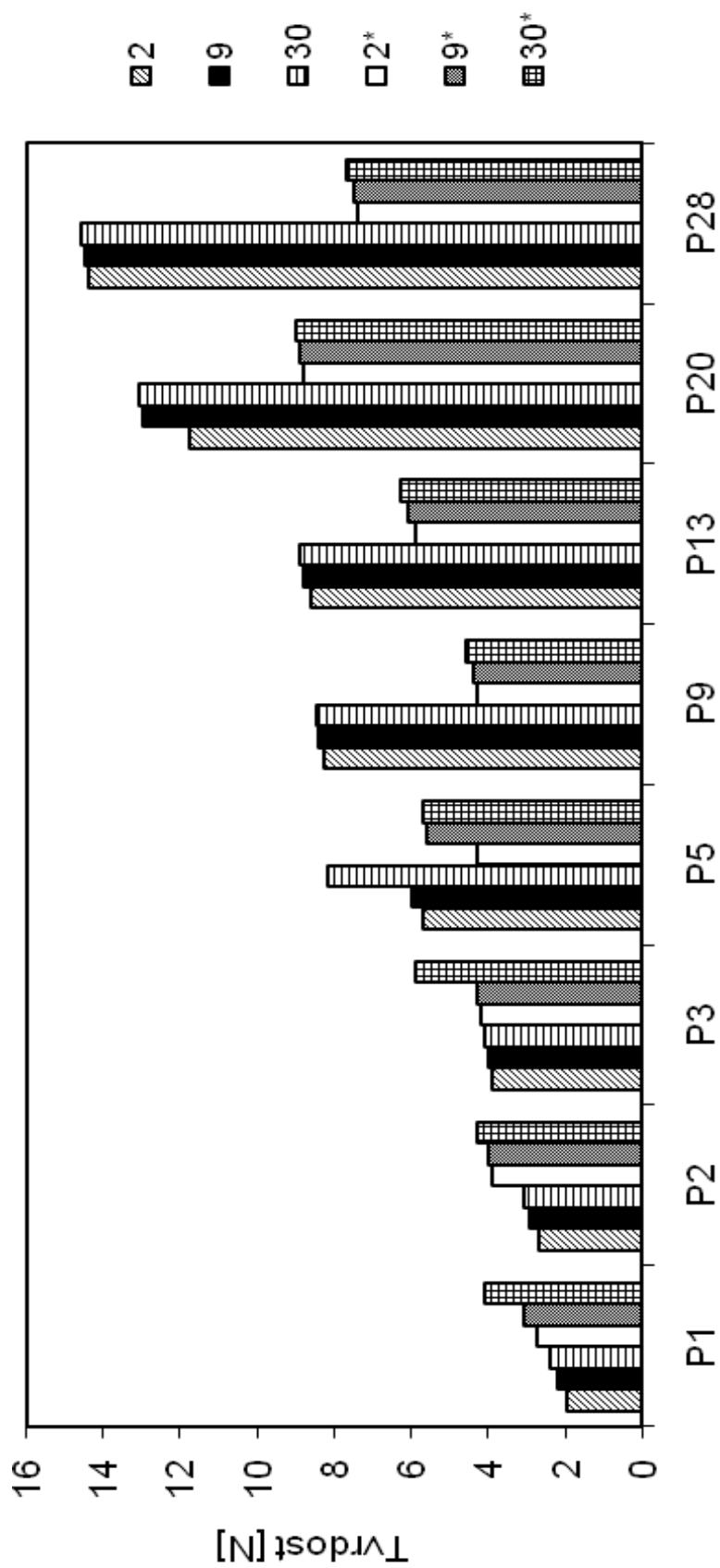
Naměřené hodnoty tvrdosti po přidavku jednotlivých fosforečnanových tavicích solí jsou uvedeny na obrázku 23. Tvrdost modelových vzorků se zvyšovala s narůstajícím počtem fosforečnanů v řetězci a to v následující posloupnosti: P1 < P2 < P3 < P5 < P9 < P13 < P20 < P28.

Po 30 dnech skladování byly pozorovány vyšší hodnoty tvrdosti, přičemž nejvýznamnější rozdíly byly pozorovány v případě přidavku polyfosforečnanu P5 (2,53 N; konkrétně $5,71 \pm 0,06$ po 2 dnech a $8,24 \pm 0,07$ N po 30 dnech skladování) a P20 (1,36 N; konkrétně $11,82 \pm 0,02$ N po 2 dnech a $13,18 \pm 0,08$ N po 30 dnech skladování). V případě ostatních vzorků byly rozdíly méně výrazné (rozdíl 0,41 N v případě přidavku P1; 0,46 N u P2; 0,22 N u P3; 0,27 u P9; 0,31 u P13 a 0,23 u P28; srovnávány vždy výsledky měření po 2 a 30 dnech skladování). Výsledky měření po 7 dnech skladování se vždy pohybovaly v rozmezí těch, jež byly zjištěny po 2 a 30 dnech skladování (např. v případě vzorků P20 byly hodnoty tvrdosti $11,82 \pm 0,02$ N po 2 dnech; $13,04 \pm 0,03$ N po 7 dnech a $13,18 \pm 0,08$ N po 30 dnech skladování).

U vzorků, do kterých byly přidávány fosforečnanové tavicí soli P1, P2, P3 a P5 bylo pH snižováno (pro dosažení pH v rozmezí 5,60 až 5,80) přidavkem kyseliny chlorovodíkové, přičemž naměřené hodnoty tvrdosti se proti těm, kde pH upraveno nebylo, mírně zvýšily (např. pro P1 z $2,04 \pm 0,11$ N na $2,78 \pm 0,13$ N po 2 dnech skladování). Ke vzorkům s tavicími solemi P9 až P28 byl přidáván hydroxid sodný pro zvýšení pH a projevem této změny bylo snížení tvrdosti (z $15,07 \pm 0,22$ N na $7,14 \pm 0,12$ N v případě P28 po 2 dnech skladování). I v případě úpravy pH byly nejvyšší hodnoty tvrdosti naměřeny po 30 dnech skladování, výraznější rozdíly mezi jednotlivými hodnotami byly tentokrát zjištěny mezi vzorky P3 (1,75 N; konkrétně $4,22 \pm 0,03$ N po 2 dnech a $5,97 \pm 0,01$ N po 30 dnech skladování), P1 (1,44 N, konkrétně $2,78 \pm 0,13$ N po 2 dnech a $4,22 \pm 0,09$ N po 30 dnech skladování) a P5 (1,42 N; konkrétně $4,32 \pm 0,08$ N po 2 dnech a $5,74 \pm 0,05$ N po 30 dnech skladování). U ostatních přidaných fosforečnanových solí byly rozdíly mezi dny, kdy došlo k měření, méně výrazné (0,42 N u P2; 0,33 N u P9; 0,42 N u P13; 0,27 N u P20 a 0,32 N u P28; srovnávány hodnoty naměřené po 2 a 30 dnech skladování).

Hodnoty relativní lepidlosti se pro vzorky s přidavkem jednotlivých fosforečnanů sodných pohybovaly v rozmezí 0,29-0,41.

Měřením hodnot kohezivnosti se dosáhlo výsledků mezi $0,49 \pm 0,04$ a $0,60 \pm 0,02$. S rostoucí délkou řetězce nebyl pozorován jednoznačný rostoucí či klesající trend pro žádný ze dvou výše uvedených parametrů.



Hodnota počtu fosforů lineárně vázaných v molekule

Obr. 23: Vliv délky fosforečnanového řetězce hydrogenfosforečnanu sodného (P1); difosforečnanu sodného (P2); trifosforečnanu sodného (P3) a polyfosforečnanů sodných s různou střední hodnotou počtu fosforů lineárně vázaných v molekule (P5, P9, P13, P20 a P28) na tvrdost [N] tavených sýrů po 2, 9 a 30 dnech skladování; u vzorků označených * došlo k úpravě pH

Ternární směsi tavících solí

Výsledky texturní profilové analýzy pro vzorek s přídavkem ternární směsi P1:P2:P5 jsou uvedeny na obrázku 24. Pokud byl přídavek polyfosforečnanu nižší nebo roven 60 %, byl nalezen specifický poměr mezi hydrogenfosforečnanem a difosforečnanem sodným a to 1:1-3:4, který výrazně zvyšoval hodnoty tvrdosti (nejvyšší naměřené hodnoty byly $10,88 \pm 0,72$ N pro kombinaci 40:60:0 po 2 dnech skladování). Při jakémkoli odklonu od tohoto poměru byl zaznamenán prudký pokles tvrdosti (např. v kombinaci 60:0:40 naměřeny hodnoty $3,47 \pm 0,25$ N po 2 dnech skladování). Při obsah polyfosforečnanu vyšším než 60 % již nebyl specifický poměr mezi hydrogenfosforečnanem a difosforečnanem sodným pozorován a došlo k mírnému poklesu hodnot tvrdosti s narůstajícím obsahem polyfosforečnanu ve směsi (nejnižší hodnoty naměřeny v kombinaci 20:0:80 $4,09 \pm 0,33$ N, o něco vyšších hodnot dosahovala kombinace obsahující pouze polyfosforečnanovou složku a to $4,38 \pm 0,45$ N po 2 dnech skladování). Tento trend se projevoval ve všech analyzovaných dnech, přičemž po 30 dnech skladování byly absolutní hodnoty tvrdosti oproti předchozím dnům vyšší (nejnižší naměřený rozdíl byl 1,02 N v případě přidané směsi 0:0:100 a to konkrétně mezi hodnotami $4,38 \pm 0,45$ N po 2 dnech a $5,40 \pm 0,64$ N po 30 dnech skladování; naopak nejvyšší v případě přídavku ternární směsi 40:60:0 a to $10,92$ N; konkrétně $10,88 \pm 0,72$ N po 2 dnech a $21,80 \pm 0,35$ N po 30 dnech skladování). Hodnoty naměřené se po 9 dnech skladování pohybovaly v rozmezí těch, jež byly zjištěny po 2 a 30 dnech skladování (např. v případě přídavku ternární směsi 20:60:20 byl vývoj hodnot s narůstající délkou skladování $9,28 \pm 0,26$ N; $13,53 \pm 0,71$ N a $14,87 \pm 0,55$ N).

Pozorování ternárních směsí s přídavkem polyfosforečnanů s různou délkou řetězce (obr. 25-28) ukázalo na skutečnost, že ve všech případech přídavku byl nalezen specifický poměr mezi hydrogenfosforečnanem a difosforečnanem při obsahu polyfosforečnanu nižším než 60 % (20 nebo 40 %) a to 1:1-3:4, který výrazně zvyšoval hodnoty tvrdosti, přičemž pouze naměřené absolutní hodnoty se mezi sebou lišily. Mírně vyšší absolutní hodnoty tvrdosti byly naměřeny v případě přídavku polyfosforečnanu P9 v koncentraci 20 % a 40 % ($6,63 \pm 0,36$ N pro P9 ve směsi 60:20:20 po 2 dnech skladování). Naopak vzorky s přídavkem ternární směsi obsahující polyfosforečnan P28 měly naměřené absolutní hodnoty nižší ($6,02 \pm 0,31$ N pro P28 ve směsi 60:20:20 po 2 dnech skladování). O něco méně výrazné byly rozdíly tvrdosti pro obsah polyfosforečnanu 50 % u P9 v porovnání s P28 ($5,84 \pm 0,25$ N pro P9 a $5,75 \pm 0,31$ N pro P28 v kombinaci pro 50:0:50 po 2 dnech skladování). Měření ternárních směsí obsahující polyfosforečnanovou složku P13 a P20 projevily obdobný trend, jenž je popsán výše, přičemž hodnoty se pohybovaly v rozmezí těch, jež byly zjištěny pro polyfosforečnanové složky ternárních směsí P9 a P28 (např. vývoj tvrdosti v případě měnící se polyfosforečnanové

složky ternární směsi od P9 přes P13 a P20 až k P28 v případě přídavku ternární směsi 60:20:20 byl $6,63 \pm 0,36$ N (P9); $6,23 \pm 0,45$ N (P13); $6,18 \pm 0,22$ N (P20) a $6,02 \pm 0,31$ N po 2 dnech skladování).

V případě vzorků, do kterých byl přidáván v ternární směsi polyfosforečnan s kratší délkou řetězce, se přídavek vyšší nebo roven 60 % projevil mírnějším poklesem tvrdosti oproti vzorkům s přídavkem polyfosforečnanů s větší střední délkou řetězce (rozdíl mezi kombinacemi 20:20:60 a 0:0:100 byl $5,08$ N pro P9 a $2,65$ N po 2 dnech skladování). Mezi vzorky ternárních směsí obsahující P20 a P28 nebyl pozorován signifikantní rozdíl ($5,70 \pm 0,25$ N pro P20 a $5,65 \pm 0,41$ N pro P28 v kombinaci 20:20:60 po 2 dnech skladování), stejně tomu tak bylo i v případě porovnání vzorků obsahující P5 a P9 ($5,86 \pm 0,18$ N pro P5 a $5,80 \pm 0,27$ N pro P9 v kombinaci 20:20:60 po 2 dnech skladování). Rovněž v tomto případě se hodnoty tvrdosti po přídavku ternární směsi s polyfosforečnanem P13 nacházely v rozmezí ternárních směsí s použitím polyfosforečnanové složky P9 a P20 ($5,72 \pm 0,48$ N v ternární směsi 20:20:60 po 2 dnech skladování).

U vzorků, jež jsou znázorněny na obrázcích 25-28 lze pozorovat, že nejvyšších hodnot tvrdosti bylo dosaženo po 30 dnech skladování. Pro ověření byly srovnány např. vzorky P1:P2:P20 v kombinaci 20:60:20, přičemž naměřené hodnoty rostly s narůstající dobou skladování následovně: $7,39 \pm 0,55$ N po 2 dnech; $10,78 \pm 0,71$ N po 9 dnech a $11,85$ N po 30 dnech skladování.

V případě nahrazení přídavku difosforečnanu trifosforečnanem sodným (obr. 29-33), byl pozorován obdobný trend, jak je popsáno výše. Došlo tedy k nalezení specifického trendu mezi hydrogenfosforečnanem a trifosforečnanem sodným 1:1-3:4, jenž výrazně zvyšoval hodnoty tvrdosti, pokud byl obsah polyfosforečnanové složky nižší než 60 % (nejvyšší naměřené hodnoty v případě ternární směsi P1:P3:P5 byly $8,60 \pm 0,52$ N v kombinaci 40:60:0 po 2 dnech skladování). Odklon od tohoto poměru znamenal prudký pokles hodnot tvrdosti ($3,11 \pm 0,36$ N pro kombinaci 60:0:40 po 2 dnech skladování). V případě, že byl přídavek polyfosforečnané složky vyšší než 60 %, nebyl již specifický trend mezi hydrogenfosforečnanem a trifosforečnanem pozorován a došlo k poklesu hodnot tvrdosti s narůstajícím obsahem polyfosforečnanu ve směsi (nejnižší hodnoty naměřeny pro kombinaci 20:0:80 v případě přídavku ternární směsi P1:P3:P5 $3,88 \pm 0,12$ N po 2 dnech skladování).

Srovnání výsledků ternárních směsí obsahující trifosforečnanovou složku a rozdílnou polyfosforečnanovou částí ukázalo, že vyšší hodnoty tvrdosti byly naměřeny v případě přídavku polyfosforečnanu s kratším řetězcem, pokud byl jeho obsah do 40 % ($8,26 \pm 0,22$ N v případě P1:P3:P5 v kombinaci 20:60:20 ve srovnání s $6,26 \pm 0,19$ N pro P1:P3:P28 v téže kombinaci po 2 dnech skladování). Při obsahu polyfosforečnanové složky vyšší než 60 %

byly rozdíly mezi různými přidanými délkami řetězce již méně výrazné (např. $3,88 \pm 0,12$ N v případě přídavku ternární směsi P1:P3:P5 v kombinaci 20:0:80 a $3,61 \pm 0,31$ N po 2 dnech skladování). Hodnoty ternárních směsí se zatím neuvedenými hodnotami (tzn. směsi P1:P3:P9; P1:P3:P13 a P1:P3:P20) měly naměřené hodnoty vždy v rozmezí těch, jež byly získány pro již zmíněné ternární směsi P1:P3:P5 a P1:P3:P28. S narůstající střední délkou řetězce byly pozorovány mírné poklesy hodnot tvrdosti. Konkrétně dosahovala tvrdost např. v koncentraci 60:20:20 hodnot $5,90 \pm 0,45$ N pro P5; $5,36 \pm 0,25$ N pro P9; $4,78 \pm 0,27$ N pro P13; $4,68 \pm 0,37$ N pro P20 a $4,26 \pm 0,11$ N pro P28.

Rozdílnost ve dnech, kdy došlo k měření vzorků s přídavkem trifosforečnanu sodného v ternárních směsích, se projevila nárůstem hodnot tvrdosti s narůstající délkou skladování, přičemž tento jev byl pozorován bez rozdílu přídavku střední délky řetězce polyfosforečnanové složky. Pro ukázkou byly porovnány hodnoty tvrdosti kombinace 60:20:20 pro ternární směs P1:P3:P5 a to $5,90 \pm 0,45$ N po 2 dnech, $6,22 \pm 0,41$ N po 9 dnech a $6,34 \pm 0,16$ N po 30 dnech skladování.

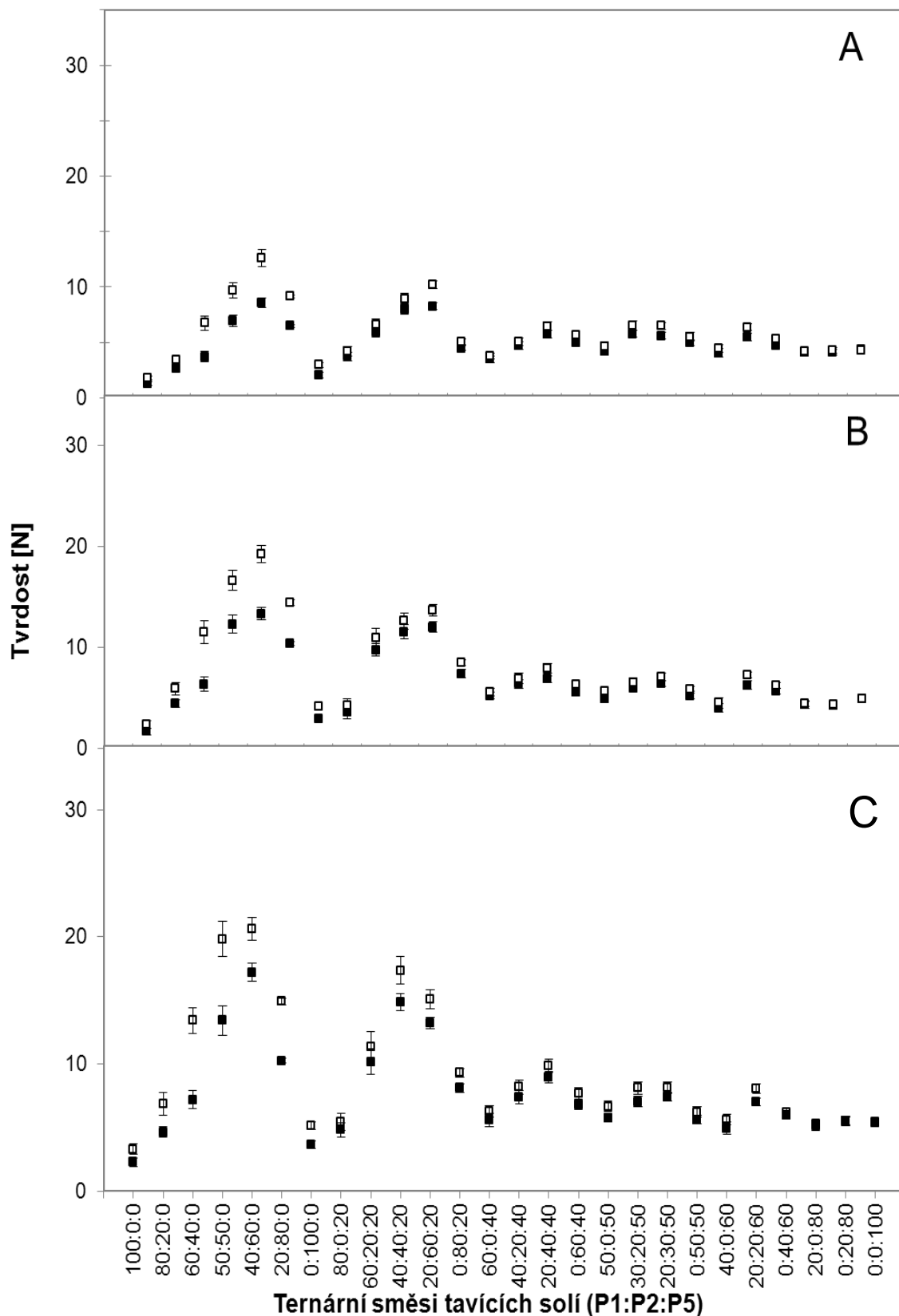
Srovnáním přídavku difosforečnanu a trifosforečnanu do ternární směsi lze tedy konstatovat, že rozdíly byly pouze v naměřených absolutních hodnotách, které byly pro výsledky s přídavkem trifosforečnanu nižší oproti těm, do kterých byl přidáván difosforečnan sodný. Významně nižší hodnoty tvrdosti tavených sýrů byly naměřeny v případě nulového obsahu polyfosforečnanů (neplatí pro případy, ve kterých byly přidávány hydrogenfosforečnan a difosforečnan samostatně; např. $3,47 \pm 0,25$ N pro difosforečnan a $3,11 \pm 0,36$ N pro trifosforečnan v kombinaci 60:40:0 po 2 dnech skladování). Nižší hodnoty tvrdosti byly zaznamenány rovněž u vzorků s přídavkem 20 % a 40 % polyfosforečnanu v ternární směsi tavicích solí ($6,68 \pm 0,34$ N pro P1:P2:P5 a $5,90 \pm 0,45$ N pro P1:P3:P5 v kombinaci 60:20:20 po 2 dnech skladování). U vzorků obsahujících více než 50 % polyfosforečnanu nebyly rozdíly v hodnotách tvrdosti významně odlišné ($3,47 \pm 0,25$ N pro P1:P2:P5 a $3,41 \pm 0,36$ N pro P1:P3:P5 v kombinaci 40:0:60).

Hodnoty relativní lepidlosti se pro ternární směs P1:P2:P5 pohybovaly v rozmezí 0,20 až 0,41 a u kohezivnosti 0,49-0,69. Rovněž v případě těchto měřených parametru byl pozorován specifický poměr mezi hydrogenfosforečnanem a difosforečnanem při obsahu polyfosforečnanu nižším než 60 %. V obou případech došlo k prudkému poklesu hodnot a to ve specifickém poměru P1:P2 1:1-3:4 pro relativní lepidlost ($0,20 \pm 0,04$ v kombinaci 80:0:20 po 2 dnech skladování) a 1:1-1:2 pro kohezivnost ($0,49 \pm 0,11$ v kombinaci 50:50:0 po 2 dnech skladování). Mimo tyto hodnoty došlo k prudkému nárůstu výsledků (maximální hodnoty $0,41 \pm 0,06$ v kombinaci 40:20:40 pro relativní lepidlost a $0,69 \pm 0,04$ ve směsi 80:0:20). Vliv specifických poměrů na rapidní pokles hodnot zanikl, pokud byl obsah polyfosforečnanu v ternární směsi vyšší než 60 % (relativní lepidlost $0,34 \pm 0,02$

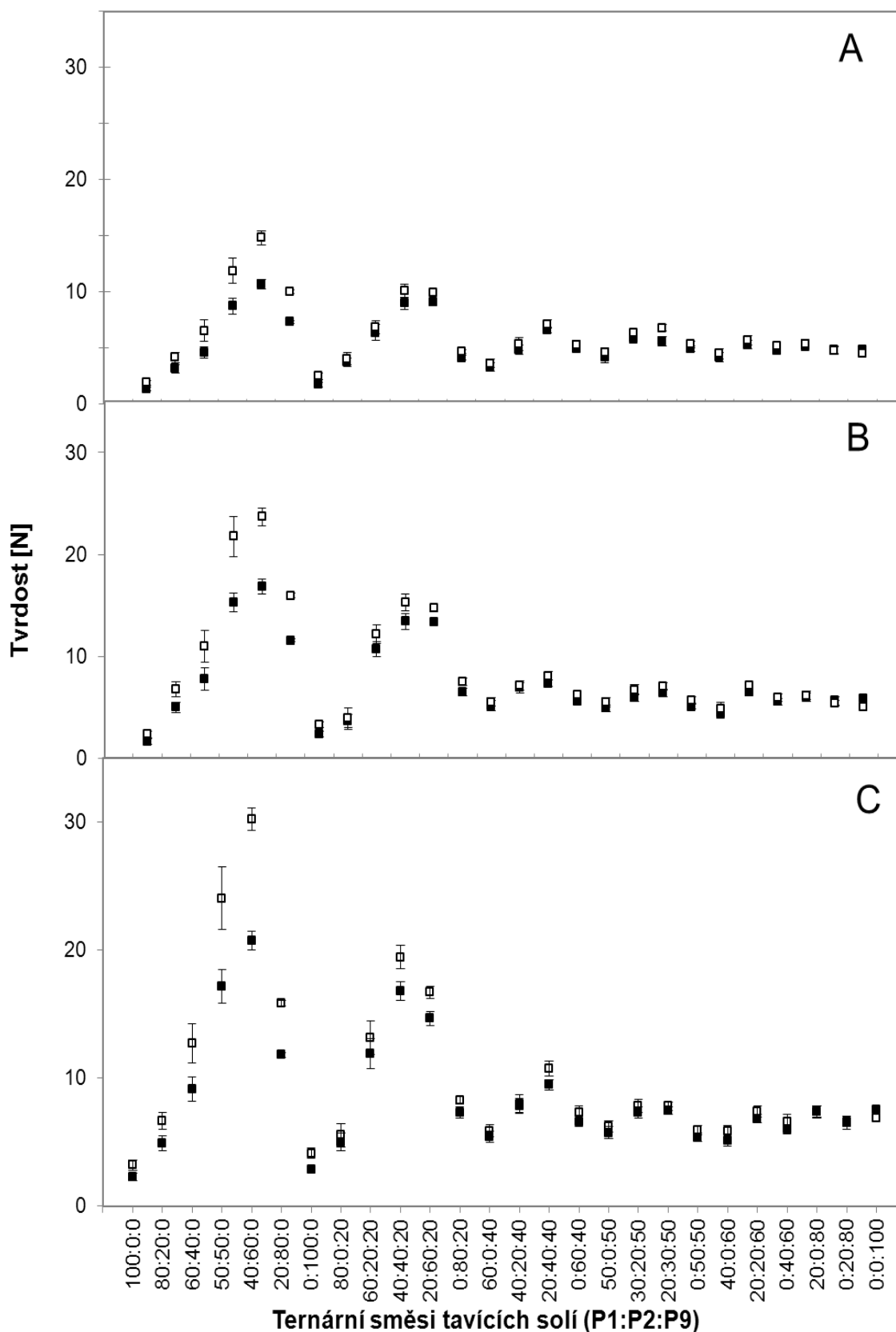
a kohezivnost $0,52 \pm 0,04$ pro kombinaci 20:0:80). Mění se střední hodnota počtu fosforů lineárně vázaných v molekule fosforylových zbytků polyfosforečnanového řetězce neměla na absolutní hodnoty vybraných parametrů vliv a rozdíly mezi jednotlivými měřeními byly nepatrné. Nejvýraznější rozdíly byly u relativní lepivosti pozorovány v případě směsi P1:P2:P5 a P1:P2:P28 $0,03$ v kombinaci 20:20:60 a v případě kohezivnosti to byl rozdíl $0,02$ v kombinaci 50:0:50. Rovněž výměna difosforečnanu za trifosforečnan hodnoty relativní lepivosti nebo kohezivnosti výrazně nezměnila (rozdíly v obou případech měřeného parametru nepřesáhly v žádném z měřeného parametru $0,01$).

Po 30 dnech skladování došlo k mírnému poklesu absolutních hodnot relativní lepivosti (z $0,35 \pm 0,08$ na $0,25 \pm 0,03$ pro kombinaci 60:40:0) a naopak nárůstu hodnot kohezivnosti (např. z $0,50 \pm 0,03$ na $0,60 \pm 0,11$ pro směs 20:80:0), výše popsany trend ovšem zůstal zachován a změny tedy byly pozorovány jak u polyfosforečnanů s rozdílnou střední hodnotou počtu fosforů vázaných v molekule, tak i v případě výměny difosforečnanu za trifosforečnan v ternárních směsích tavicích solí.

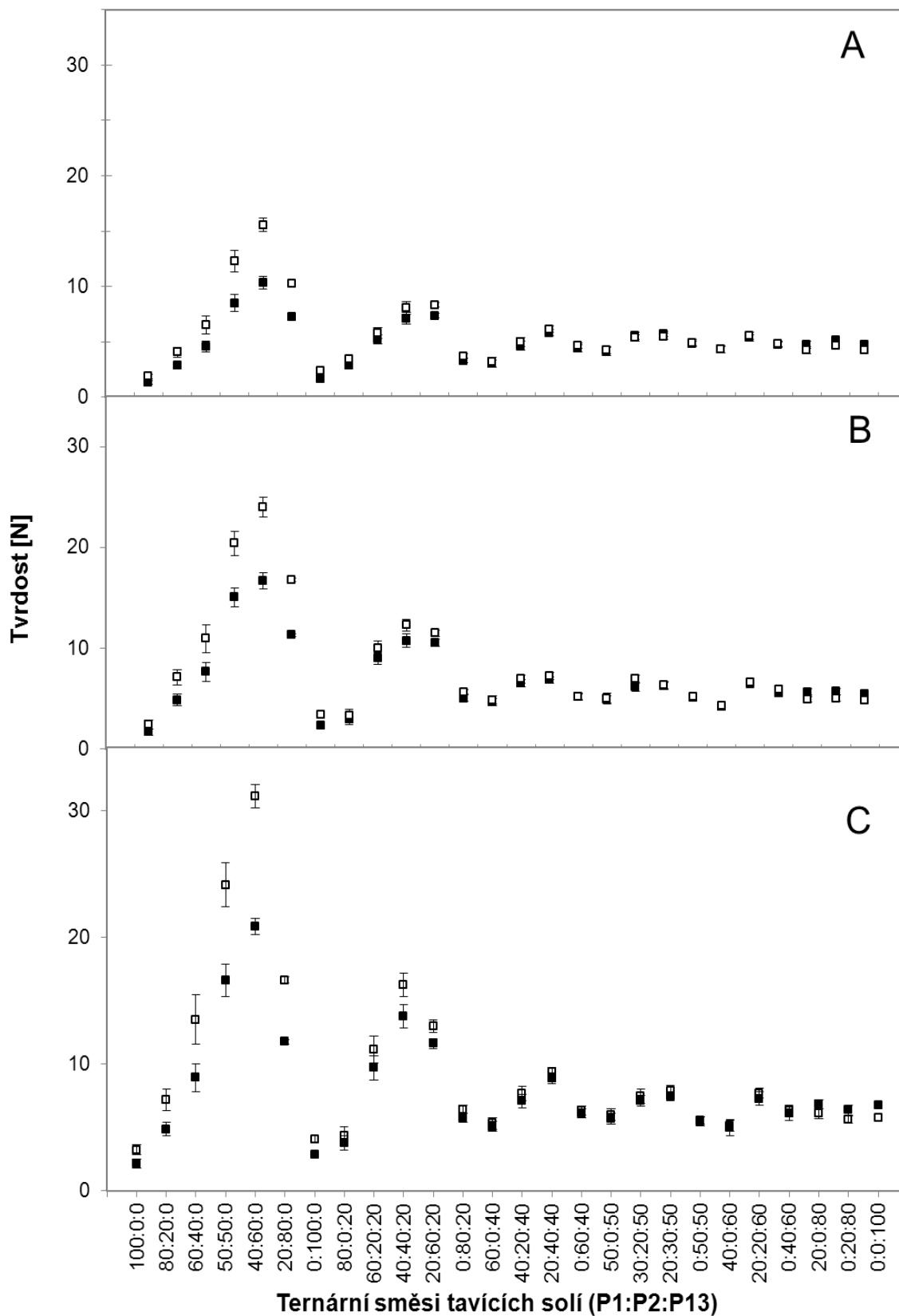
Ve vzorcích, ve kterých došlo k úpravě pH na hodnoty 5,65 až 5,81; došlo ke změnám absolutních hodnot jak u tvrdosti, tak i relativní lepivosti a kohezivnosti, ačkoli specifické trendy, jež jsou popsány výše, zůstaly zachovány. V případě, že došlo ke snížení hodnot pH přidáním kyseliny chlorovodíkové, byl pozorován nárůst hodnot tvrdosti (z $3,47 \pm 0,23$ N na $6,76 \pm 0,12$ N v případě P1:P2:P5 v kombinaci 60:40:0) a kohezivnosti (z $0,51 \pm 0,04$ na $0,54 \pm 0,02$ pro tutéž kombinaci), naopak relativní lepivost klesala (z $0,35 \pm 0,03$ na $0,28 \pm 0,03$, pro popis použita opět stejná kombinace). Přesně opačný trend byl pozorován v případě, že se pH upravovalo směrem nahoru přidáním hydroxidu sodného (pokles tvrdosti (ze $4,38 \pm 0,45$ N na $4,29 \pm 0,32$ N v případě P1:P2:P5 v kombinaci 0:0:100) a kohezivnosti (z $5,54 \pm 0,11$ na $5,52 \pm 0,04$), nárůst relativní lepivosti ($0,32 \pm 0,01$ a $0,35 \pm 0,03$)). Čím byla úprava pH intenzivnější, tím byly naměřeny vyšší či nižší hodnoty (nejvyšší rozdíl byl naměřen v případě P1:P2:P5 pro kombinaci 40:60:0 po 30 dnech skladování, změna z $21,80 \pm 0,35$ N na $31,22 \pm 0,31$ N). Tento jev byl pozorován bez ohledu na použitou délku polyfosforečnanového řetězce nebo výměnu difosforečnanu za trifosforečnan v ternární směsi tavicích solí.



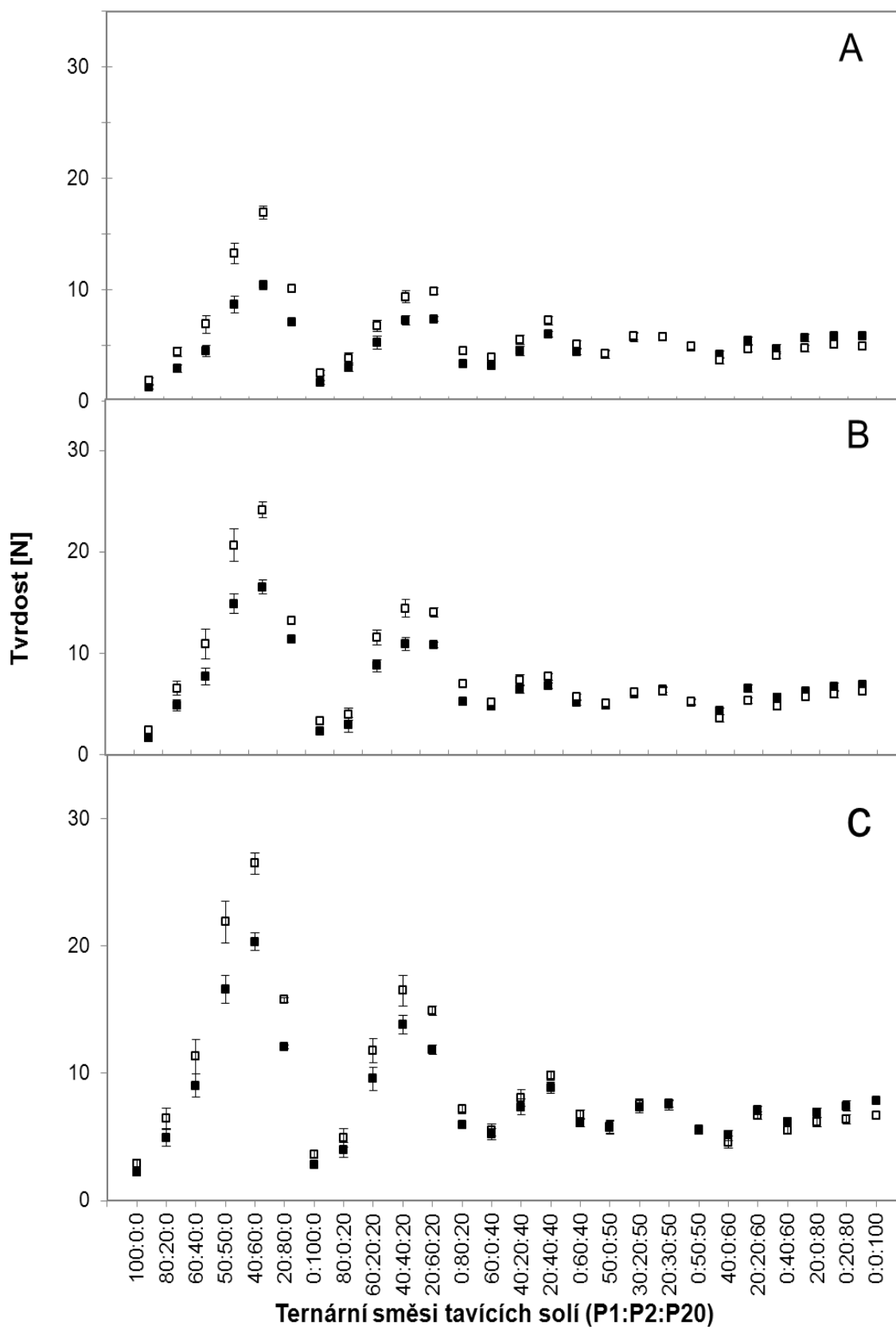
Obr. 24: Vliv přidavku ternární směsi P1:P2:P5 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH



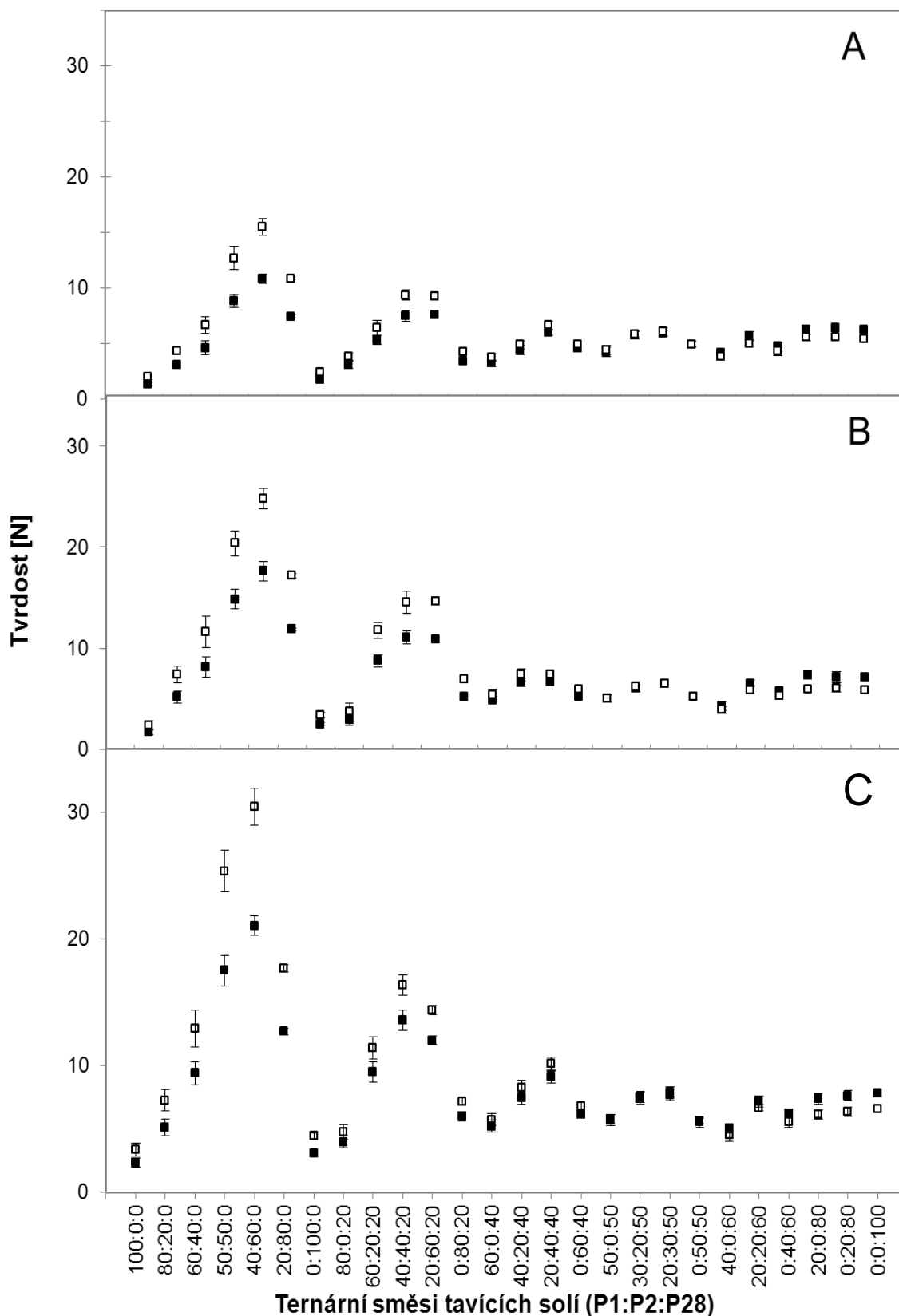
Obr. 25: Vliv přidavku ternární směsi P1:P2:P9 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plně vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH



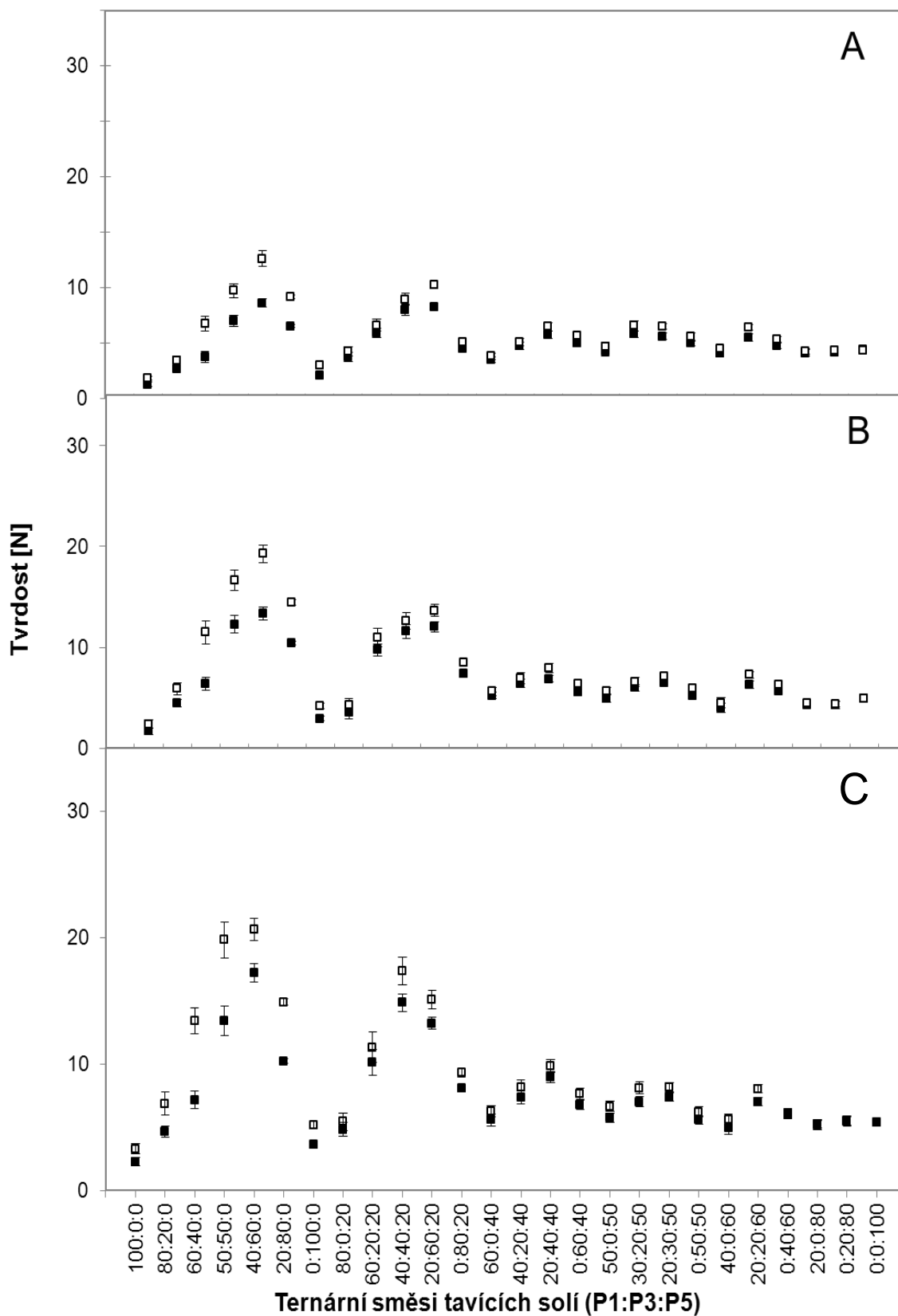
Obr. 26: Vliv přidavku ternární směsi P1:P2:P13 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH



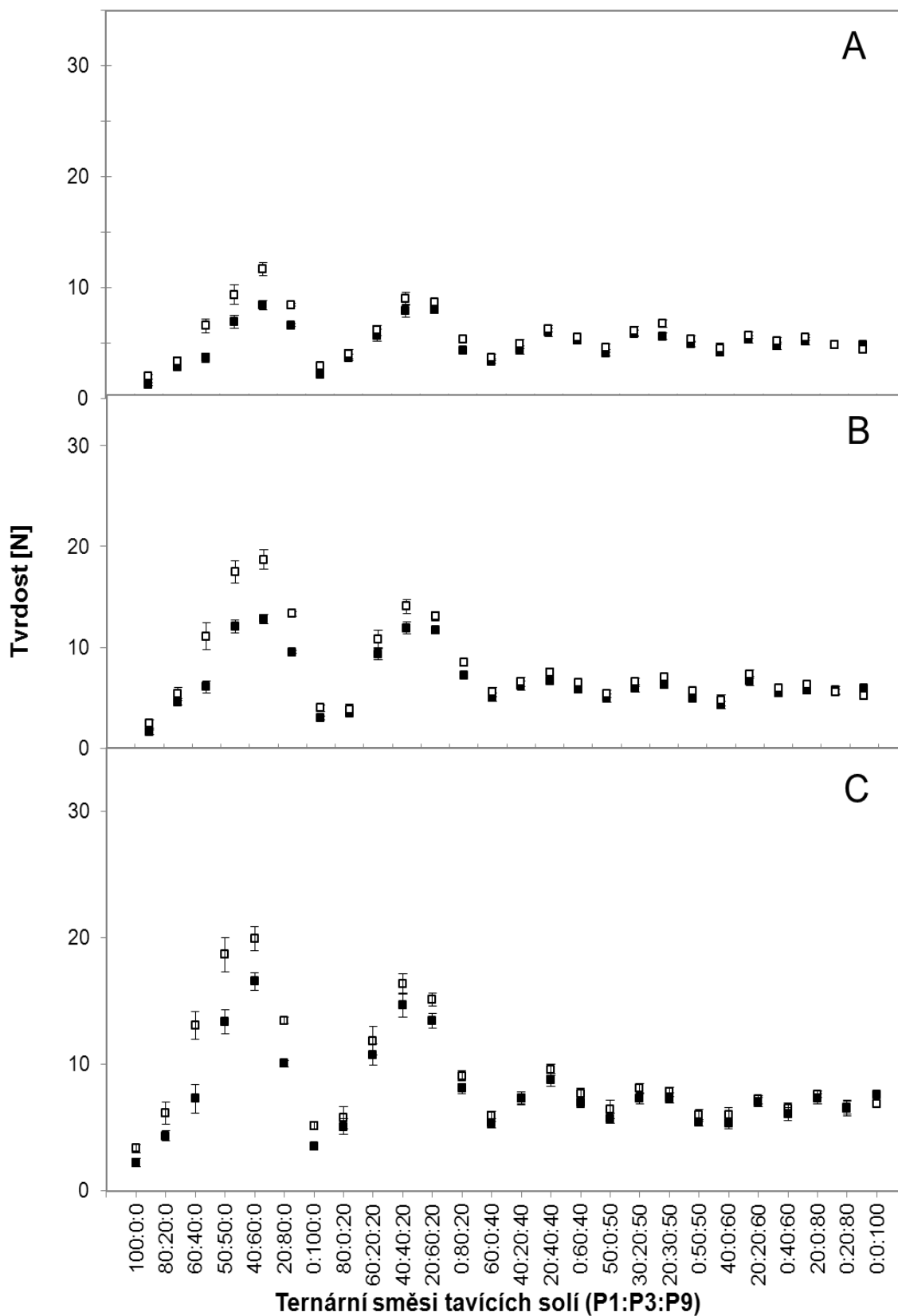
Obr. 27: Vliv přidavku ternární směsi P1:P2:P20 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH



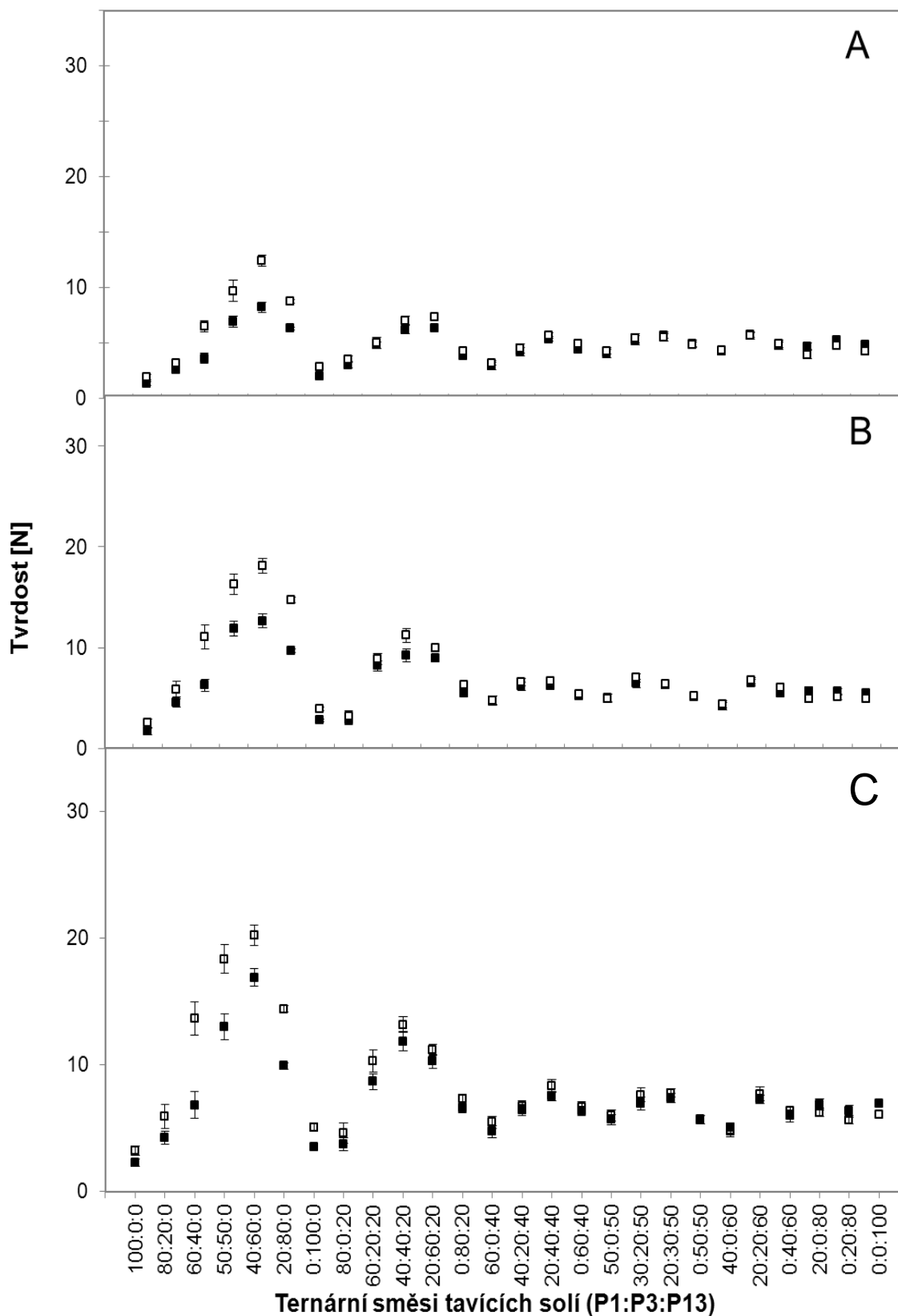
Obr. 28: Vliv přidavku ternární směsi P1:P2:P28 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH



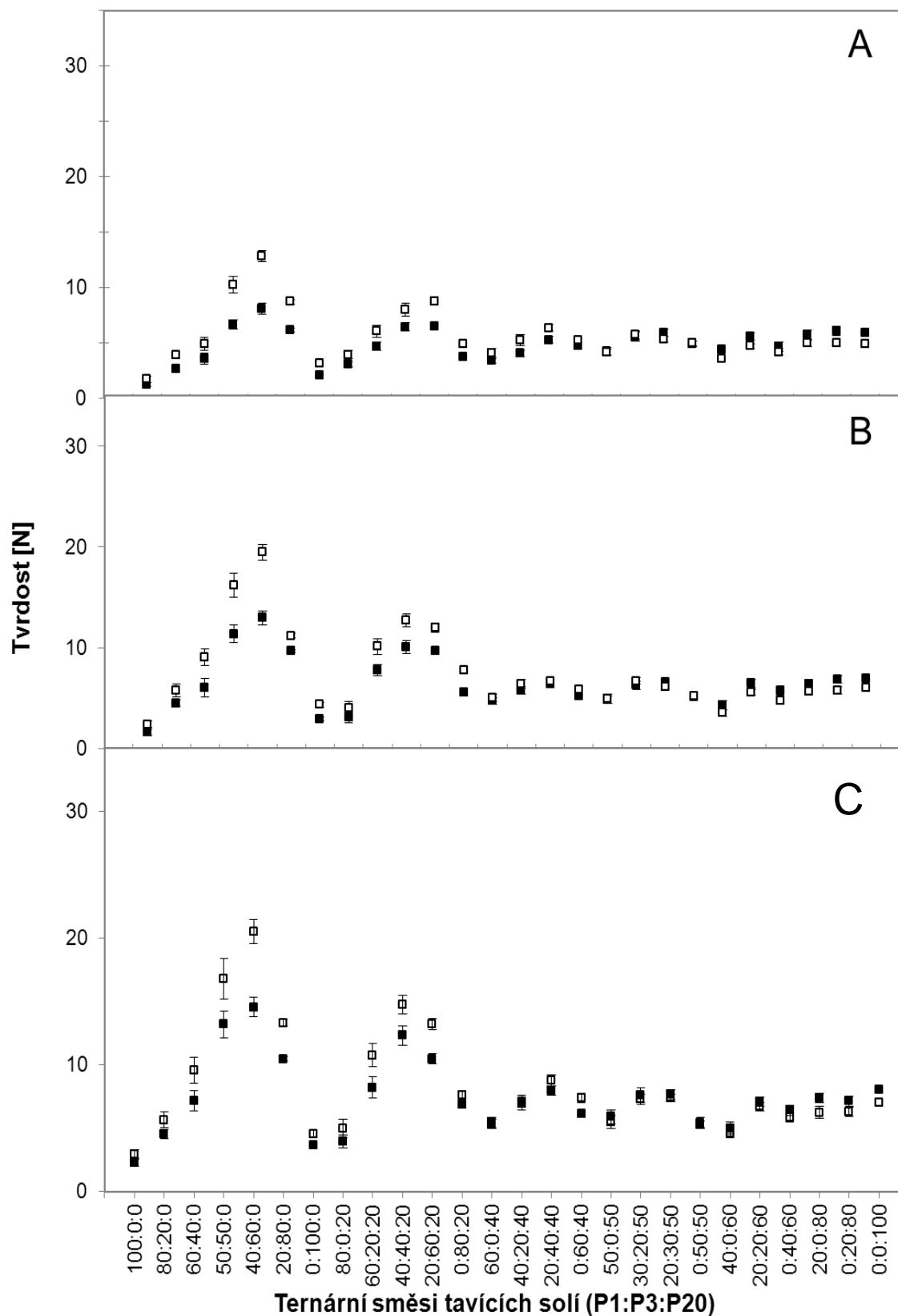
Obr. 29: Vliv přidavku ternární směsi P1:P3:P5 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH



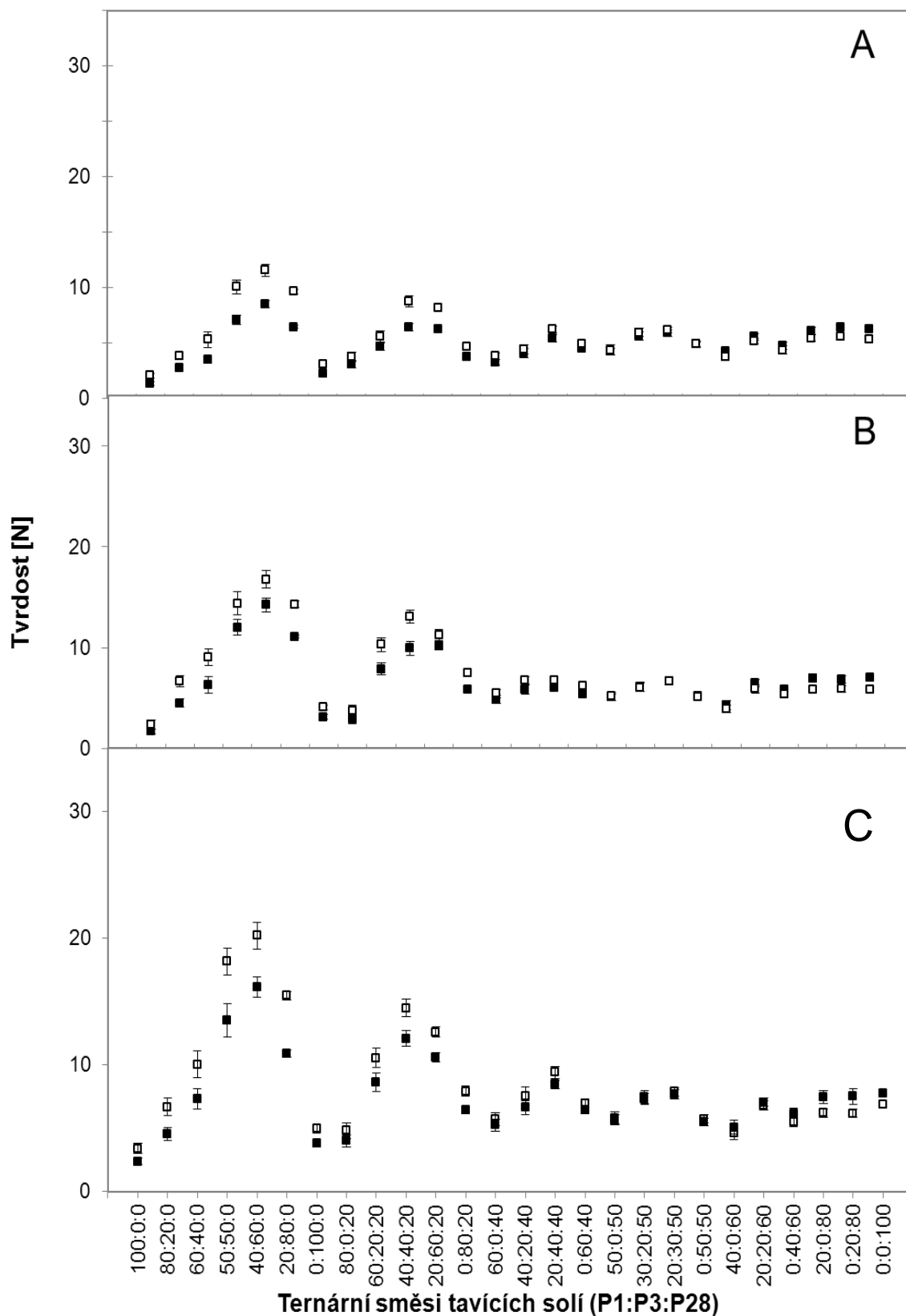
Obr. 30: Vliv přidavku ternární směsi P1:P3:P9 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH



Obr. 31: Vliv přidavku ternární směsi P1:P3:P13 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH



Obr. 32: Vliv přidavku ternární směsi P1:P3:P20 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH



Obr. 33: Vliv přidavku ternární směsi P1:P3:P28 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH

4.2.3 Výsledky měření optické hustoty

Jednotlivě aplikované tavicí soli s různou délkou fosforečnanového řetězce

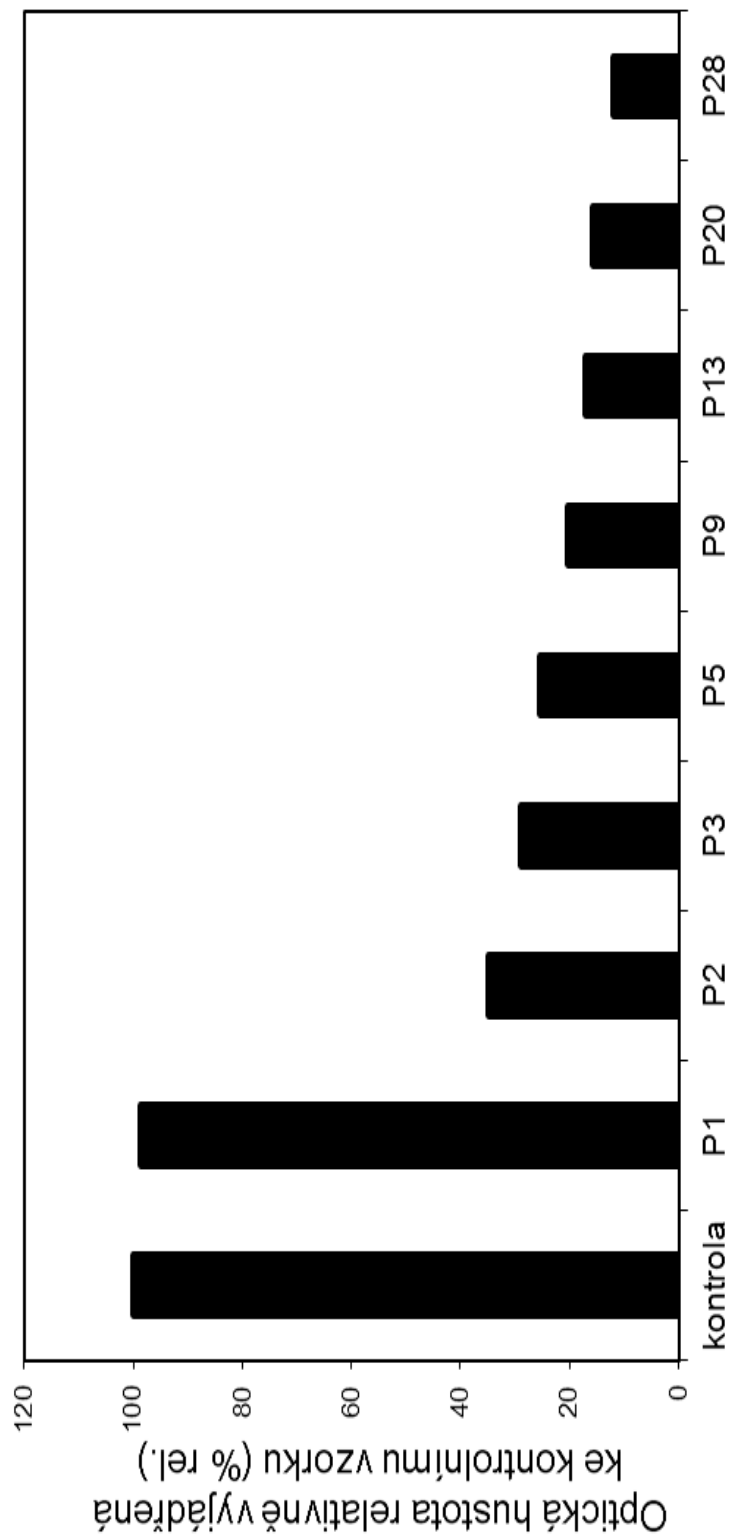
V případě, že byly přidávány tavicí soli individuálně, bylo zjištěno, že se intenzita dispergace kaseinových bílkovin zvyšuje s narůstající délkou řetězce. Optická hustota tedy klesala v následujícím pořadí: $P28 > P20 > P13 > P9 > P5 > P3 > P2 > P1$ vzhledem ke kontrolnímu vzorku (obr. 34). Z naměřených hodnot je patrné, že po přidavku hydrogenfosforečnanu sodného (P1) k příliš účinné disperzi nedošlo ($98,72 \pm 0,20$ % oproti kontrolnímu vzorku), rovněž rozdíl mezi hodnotami po přidavku polyfosforečnanů P13 a P20 nebyl příliš intenzivní ($17,10 \pm 0,07$ % pro P13 a $15,84 \pm 0,11$ % pro P20 oproti kontrolnímu vzorku). Výrazný rozdíl byl ovšem nalezen po přidavku hydrogenfosforečnanu a difosforečnanu sodného ($98,74 \pm 0,08$ % pro P1 a $34,75 \pm 0,12$ % pro P2).

Ternární směsi tavicích solí

Přídavek ternárních směsí tavicích solí se s narůstající střední hodnotou počtu fosforů lineárně vázaných v molekule (obr. 35) projevil snížením optické hustoty disperzí odtučněného mléka (např. po 2 dnech skladování byly hodnoty v poměru 60:20:20 $82,24 \pm 0,02$ % pro P5 a $60,90 \pm 0,01$ % pro P28). Významné rozdíly byly pozorovány u vzorků obsahující 20 % a 40 % polyfosforečnanové složky ternární směsi s rozdílnou střední hodnotou počtu fosforů lineárně vázaných v molekule ($41,63 \pm 0,01$ % pro P5 a $33,94 \pm 0,02$ % pro P28 v poměru 20:40:40), naopak v případě přidavku 80 % a 100 % polyfosforečnanu se rozdíl mezi střední hodnotou počtu fosforů lineárně vázaných v molekule neprojevil ($30,35 \pm 0,01$ % pro P5 a $28,92 \pm 0,01$ % pro P28 v poměru 0:20:80). Výsledky ternárních směsí s polyfosforečnanovými složkami P9, P13 a P28 se nacházely v rozmezí těch, jež byly naměřeny pro polyfosforečnany P5 a P28.

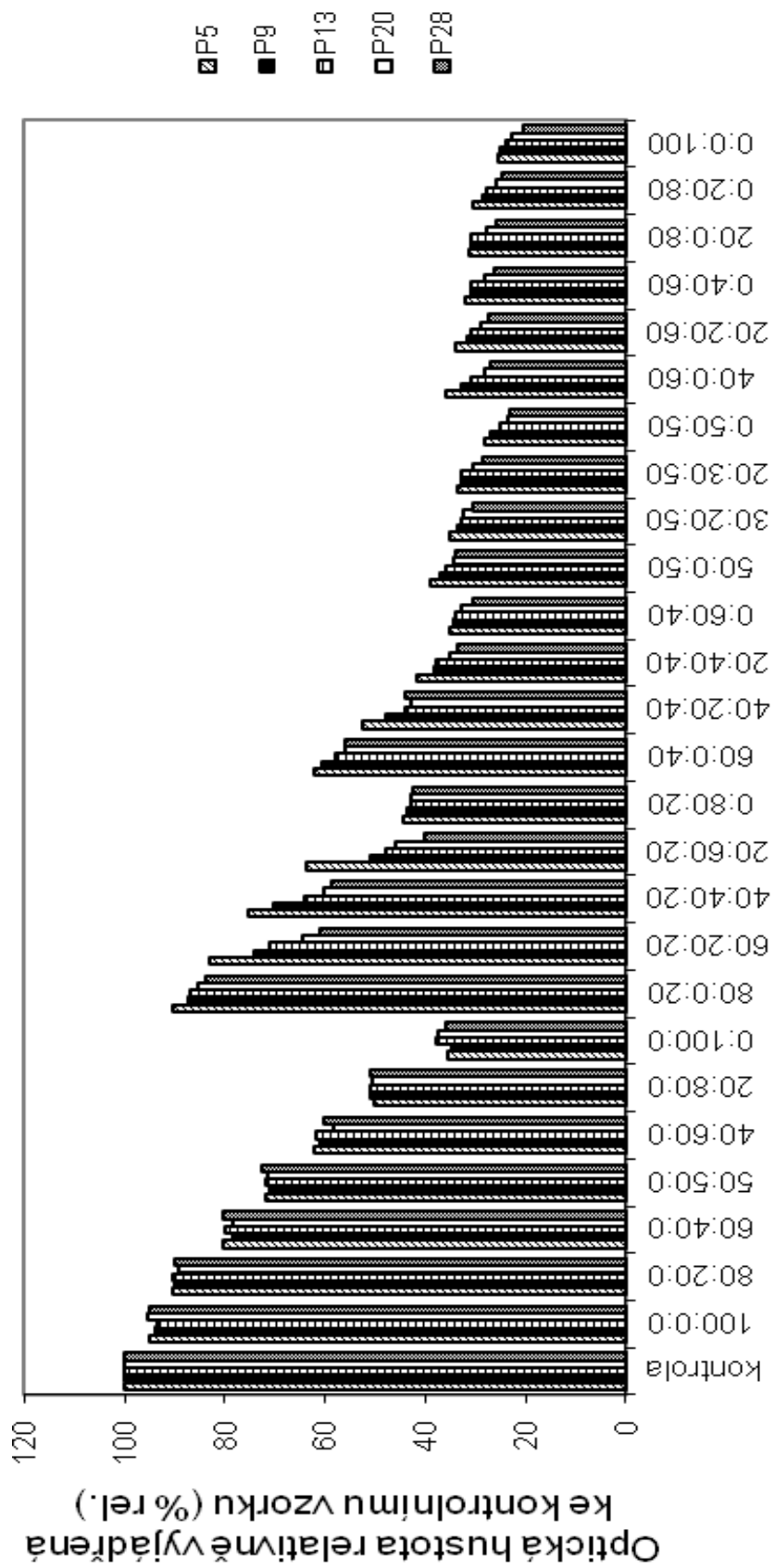
Trend zůstal nezměněn ani v případě, že došlo k nahrazení difosforečnanu sodného za trifosforečnan v ternární směsi. Nejvyšší rozdíly mezi hodnotami byly pozorovány v případě obsahu polyfosforečnanu do 40 % ($52,41 \pm 0,02$ % pro P1:P2:P5 a $43,65 \pm 0,03$ % pro P1:P3:P5 v ternární směsi 40:20:40), naopak v kombinaci 0:0:100 byl rozdíl mezi směsmi s difosforečnanem sodným a trifosforečnanem nevýznamný ($25,36 \pm 0,02$ % pro P2 a $24,91 \pm 0,03$ % pro P3 ve směsi P1:P2:P5 popř. P1:P3:P5).

Specifický trend, při kterém by došlo k výrazným změnám optické hustoty, zde pozorován nebyl. Důvodem předpokladu nalezení specifického trendu byly výsledky v případě přidavku ternárních směsí do tavených sýrů a tedy možnost prudkého snížení hodnot optické hustoty při specifickém poměru hydrogenfosforečnanu a difosforečnanu (popř. trifosforečnanu) sodného při obsahu polyfosforečnanové složky nižší než 60 %.



Hodnota počtu fosforů linárně vázaných v molekule

Obr. 34: Vliv délky fosforečnanového řetězce hydrogenfosforečnanu sodného (P1); difosforečnanu sodného (P2); trifosforečnanu sodného (P3) a polyfosforečnanů sodných s různou střední hodnotou počtu fosforů lineárně vázaných v molekule (P5, P9, P13, P20 a P28) na optickou hustotu tavených sýrů; hodnoty jsou vztáženy relativně ke kontrolnímu vzorku (bez přídavku



Ternární směsi tavacích solí (P1:P2:Pn)

Obr. 35: Vliv přidavku ternární směsi P1:P2:Pn (Pn; n = střední hodnota počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5, 9, 13, 20 a 28) na optickou hustotu tavených sýrů; hodnoty jsou vztahovány relativně ke kontrolnímu vzorku (bez přidavku tavacích solí)

5. SOUHRNNÁ DISKUSE

Ve všech případech modelových vzorků po přidavku jak hydrokoloidů, tak i fosforečnanových tavicích solí (jednotlivých i jejich ternárních směsí) byly dosaženy hodnoty sušiny v rozmezí 40 ± 1 % (w/w). Jelikož nedošlo ke změnám tohoto parametru, lze říci, že se podařilo vyrobit modelové vzorky tavených sýrů se vzájemně porovnatelnými hodnotami sušiny a nedocházelo k ovlivnění výsledků dalších měření (tento parametr může konkrétně ovlivňovat výsledky texturní profilové analýzy) [20].

Dalším společným znakem modelových vzorků po přidavku hydrokoloidů i fosforečnanových tavicích solí (jednotlivých i ternárních směsí) byl nárůst hodnot tvrdosti s prodlužující se dobou skladování. Tento jev popsal ve své práci Floury *et al.* [118], který uvádí, že v průběhu skladování lze očekávat intenzivnější interakce v oblasti vazby vody a pravděpodobně rovněž reakce s kaseinovými bílkovinami, které „dotvoří“ finální matici taveného sýra. Další možné vlivy se obvykle přisuzují mírnému snížení hodnot pH tavených sýrů, hydrolyze použitých tavicích solí (s více jako dvěma atomy fosforu v molekule), možným změnám ve formě vazeb tavicích solí a tím jejich disociačním charakteristikám a polymorfizmu mléčného tuku a postupným změnám jeho krystalické podoby [30, 55, 61, 63, 119].

Hodnoty pH se ve všech případech přidavku hydrokoloidu neměnily s narůstající koncentrací ve specifickém trendu. Téměř všechny naměřené hodnoty se pohybovaly v optimálním rozmezí pro roztíratelné tavené sýry (5,60-6,10) [3, 42, 59]. Výjimkou byl přírůstek κ -karagenanu se spodní hranicí $5,56 \pm 0,02$ a pektin se stupněm esterifikace 71,7 %, ve kterém byly naměřeny hodnoty dosahující až $6,13 \pm 0,01$. Jelikož bylo těchto hodnot dosaženo při nízké koncentraci κ -karagenanu a naopak vysoké koncentraci pektinu a hodnoty příliš nepřesahovaly výše omezené optimální rozmezí, nebyl při popisu texturních vlastností brán tento odklon jako faktor ovlivňující konečné výsledky.

Ve všech případech přidavku hydrokoloidu byl pozorován nárůst tvrdosti s narůstající koncentrací přidané látky.

V případě přidavku alginátu sodného byla nalezena hraniční koncentrace 0,40 % (w/w), ve které se původně strmý nárůst tvrdosti zpomalil, až téměř zastavil. Tento jev je možno vysvětlit tím, že při nižších koncentracích přidaného hydrokoloidu dochází k intenzivnější vazbě vody a interakcím s kasein (resp. jejich hydrolytickými štěpy). Naopak vyšší koncentrace alginátu sodného mohou způsobit mírné porušení kompaktnosti kaseinové matrice a tak negativně ovlivnit texturní vlastnosti modelových vzorků taveného sýra [51].

Měření hodnot tvrdosti po přidavku agaru poukázala na skutečnost, že existuje hraniční koncentrace, ve které v 1. den měření docházelo k mírnému

nárůstu tvrdosti, poté následoval rapidnější vzrůst měřených hodnot, přičemž po 7 a 30 dnech skladování již žádný specifický trend, ve kterém by došlo z původně mírného, k rapidnějšímu nárůstu hodnot, pozorován nebyl. Možným vysvětlením jsou podmínky, při nichž je agar schopen tvořit gely. K intenzivnějším vodíkovým vazbám dochází pravděpodobně při vyšší koncentraci agaru, ale matrice taveného sýra zatím není dostatečně zformována. Ke stabilizaci systému dochází pravděpodobně při delší době skladování, přítomná voda je již navázána uvnitř dvojitých helixů, kterých se tvoří více s narůstající koncentrací daného hydrokoloidu a tvrdost tavených sýrů roste s přidanou koncentrací agaru [80, 83].

Přídavek κ -karagenanu se projevil nárůstem hodnot tvrdosti s narůstající koncentrací hydrokoloidu. Specifická koncentrace, při které by došlo ke změně mírného nárůstu hodnot tvrdosti na intenzivnější nebo opačně v případě přídavku κ -karagenanu pozorována nebyla. Při vyšších koncentracích tohoto hydrokoloidu se vyskytují interakce hlavně mezi samotnými molekulami κ -karagenanu, což se ve finále projevilo vyšší tvrdostí [98, 100]. Obdobné vysvětlení lze nalézt rovněž v práci Černíková *et al.* [24], kteří uvádí, že zvyšující se koncentrace κ -karagenanu v tavených sýrech změní vlastnosti jeho gelu, který vykazuje vyšší tvrdost. Vysvětlením je pravděpodobně skutečnost, že s rostoucí koncentrací κ -karagenanu dochází k intenzivnějším interakcím mezi řetězcí karagenanu, což vede k vytvoření intenzivnější síťové struktury a tedy vyšší tvrdosti taveného sýra.

Pro pektiny se stupněm esterifikace 56,3%; 61,5 %; 64,5 %; a 65,0 % byl pozorován nárůst tvrdosti s narůstající koncentrací přidaného hydrokoloidu. Pro pektin se stupněm esterifikace 47,3 % byl pozorován pozvolný nárůst tvrdosti až do koncentrace 0,60 % (w/w); při vyšších koncentracích tohoto pektinu hodnoty tvrdosti rostly intenzivněji. Vysvětlení tohoto průběhu lze hledat v narůstajících interakcích mezi nízkoesterifikovaným pektinem a vápenatými ionty mléčného výrobku při vyšších koncentracích pektinu, čímž dochází k intenzivnějšímu navázání iontů vápníku do sekvencí galakturonové sítě pektinu a výslednému zvýšení hodnot tvrdosti. Při vyšší koncentraci nízkoesterifikovaného pektinu jsou tedy elektrostatické a iontové vazby intenzivnější [83, 108, 109]. Intenzivnější nárůst hodnot tvrdosti do koncentrace 0,60 % (w/w) a poté jeho zpomalení byl pozorován pro pektiny se stupněm esterifikace 71,7 %. Při nižší koncentraci vysokoesterifikovaného pektinu je pravděpodobně hydratace pektinu nižší a kyselost prostředí dostatečně potlačuje disociaci karboxylových skupin, takže odpuzování souhlasně nabitých částí řetězců je nízké. Dochází tak k intenzivnějším hydrofobním interakcím mezi esterovými skupinami pektinu a vodíkovým vazbám mezi sousedními galakturonovými řetězcí, což se projeví intenzivnějším nárůstem tvrdosti při nižších koncentracích vysokoesterifikovaného pektinu [83, 110, 111]. Porovnáním hodnot tvrdosti jednotlivých přidaných pektinů

bylo zjištěno, že nejvyšších hodnot dosahoval pektin s nejvyšším stupněm esterifikace. Tento jev vysvětlil ve své práci Sharma *et al.* [110], kteří uvádí, že se zvyšujícím se stupněm esterifikace pektinu se zvyšuje tvrdost gelu, což je dáno zvýšeným počtem a velikostí spojovacích zón během tvorby gelu (zvýšení přitažlivosti mezi methoxylovými, alkoholovými a karboxylovými skupinami pektinu, což v konečném důsledku znamená zvýšení hydrofobních interakcí a vodíkových vazeb mezi sousedními pektiny), čehož důsledkem je zvyšující se tvrdost tavených sýrů.

Relativní lepivost se v případě narůstající koncentrace přísadků všech hydrokoloidů snižovala. Tento jev lze vysvětlit tím, že se při vytváření finální struktury tavených sýrů přísadkem hydrokoloidů vytváří tužší matrice, čímž se snižují adhezivní síly k ostatním materiálům a hodnoty relativní lepivosti klesají [9].

Kohezivnost modelových vzorků se přísadkem hydrokoloidů neměnila ani s jejich narůstající přidanou koncentrací ani dobou skladování. Lze tedy říci, že nedošlo k odhalení vlivu hydrokoloidů na kohezivnost modelových vzorků tavených sýrů.

Výsledky měření parametru pH ve vzorcích jak tavených sýrů, tak i ve vzorcích disperzí odtučněného mléka prokázaly stejné trendy ve změnách tohoto parametru po přísadku tavicích solí. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny po přísadku difosforečnanu sodného. Tento jev lze pravděpodobně připsat monofosforečnanu, jež byl přidáván ve formě hydrogenfosforečnanu sodného. Schopnost disociovat vodík v hydratované formě monofosforečnanu je nejspíše vyšší, než je tomu u difosforečnanu, který ve své primární struktuře atomy vodíku navázané nemá a proto je jeho pH nižší [60].

V případě polyfosforečnanů lze pozorovat pokles hodnot pH se zvyšující se délkou řetězce a to jak ve vzorcích tavených sýrů, tak i disperzích odtučněného mléka. Již od přísadku trifosforečnanu sodného a dále v případě polyfosforečnanů vznikají při jejich reakci s vodou 2 meziproducty (záporné ionty hydrogenfosforečnanu a dihydrogenfosforečnanu), jež jsou schopny při dalších reakcích s vápenatými ionty uvolnit celkem 6 iontů vodíku. Další množství iontů vodíku, jimiž je možno snížit hodnoty pH systému, závisí na délce polyfosforečnanového řetězce. S ionty vápníku reaguje a 6 vodíků vzniká vždy o 1 krát méně, než je střední délka fosforečnanového řetězce [6, 60, 61].

Vyšší hodnoty pH v případě difosforečnanu sodného oproti hydrogenfosforečnanu sodnému i pokles pH v případě přísadku polyfosforečnanových tavicích solí byly změřeny i v případě přísadku ternárních směsí tavicích solí a to jak do tavených sýrů, tak i do disperzí odtučněného mléka. Nejintenzivnější pokles pH byl pozorován v případě

přídavku polyfosforečnanu s nejdelším řetězcem. Záměnou difosforečnanu sodného za trifosforečnan sodný v ternárních směsích byly naměřeny porovnatelné hodnoty pH, teorie zůstávají i v tomto případě zachovány (obr. 2 kapitoly 1.2.1 této práce) [6, 60, 61].

Přídavek jednotlivých fosforečnanových tavicích solí se projevil narůstajícími hodnotami tvrdosti při použití fosforečnanů s narůstající délkou řetězce. Obecně platí, že s narůstající délkou řetězce fosforečnanu roste také schopnost iontové výměny a intenzita dispergace kaseinových bílkovin narůstá. Intenzivnější dispergace kaseinových bílkovin umožní těmto bílkovinám lépe rozvinout své emulgační a hydratační schopnosti a stabilizovat ve směsi přítomný tuk i vodu. S rostoucím rozsahem procesů hydratace proteinů a emulgace tuku narůstá také intenzita interakcí v tavenině a tím také intenzita zesíťování kaseinů. Čím vyšším stupeň zesíťování v matrici výrobku, tím tužší tavený sýr lze očekávat [35, 53, 59, 119].

Úpravou pH došlo při jejím snižování k nárůstu tvrdosti a opačně. Tento jev se vysvětluje prostřednictvím nábojů na kaseinových bílkovinách. K nárůstu tvrdosti dochází, pokud se hodnoty pH přibližují k izoelektrickému bodu kaseinů (uzančně $\approx 4,6$), čímž se náboje na kaseinech vyrovnají a jednotlivé řetězce se více přitahují. Naopak při vzdalování se od izoelektrického bodu kaseinů (zejména při pH vyšším než 6,0) převládají na řetězcích záporné náboje, které zvyšují vzdálenost mezi proteiny, a v konečném důsledku se tvrdost tavených sýrů snižuje [40, 53].

Přídavek ternárních směsí fosforečnanových tavicích solí vedl k nalezení specifického poměru mezi hydrogenfosforečnanem a difosforečnanem (popř. trifosforečnanem), při kterém docházelo k intenzivnímu nárůstu tvrdosti, a jakýkoli odklon od tohoto poměru naopak vedl k prudkému poklesu měřeného parametru, který se zvyšujícím se obsahem polyfosforečnanu ve směsi slábl. Existenci tohoto specifického poměru lze vysvětlit schopností difosforečnanů a trifosforečnanů podporovat tvorbu gelu mléčných bílkovin. Schopnost monofosforečnanů proniknout mezi kaseinové vazby a vázat zde pevně vodu zde rovněž sehrává důležitou úlohu [40, 42, 55, 63]. Kaliappan a Lucey [54] pozorovali v modelových systémech mléka silnou schopnost podporovat tvorbu gelu u směsi monofosforečnanů a difosforečnanů, což vysvětlili možností monofosforečnanů napomáhat tvorbě můstků mezi komplexem vápenatých iontů difosforečnanů a kaseiny. Mizuno and Lucey [40] uvádí, že existuje určitá optimální koncentrace difosforečnanů pro efektivní tvorbu gelu. Jen velmi slabé gely se mohou tvořit při nadměrné nebo naopak nedostatečné koncentraci difosforečnanů. Snižování hodnot tvrdosti s narůstající koncentrací polyfosforečnanu ve směsi lze vysvětlit schopností polyfosforečnanů udělovat kaseinům negativní náboj, což má pravděpodobně za následek snížení intenzity hydrofobních interakcí dispergovaných kaseinů a tudíž i nižší tuhost výsledné matrice [10, 40, 55, 63].

Přídavek polyfosforečnanů s různou střední hodnotou počtu fosforů lineárně vázaných v molekule (5-28 monomerů) ve formě ternárních směsí ovlivnil pouze absolutní hodnoty měřených texturních parametrů, obecný trend závislosti texturních parametrů na složení ternárních směsí tavicích solí typu hydrogenfosforečnan:difosforečnan:polyfosforečnan však zůstal zachován. Hodnoty specifických poměrů P1:P2 nebo P1:P3, ve kterých došlo k rapidnímu nárůstu tuhosti a poklesu kohezivnosti a relativní lepivosti, zůstaly prakticky nezměněny bez ohledu na délku použitého polyfosforečnanu. Použitý typ polyfosforečnanu však ovlivnil absolutní hodnoty tvrdosti tavených sýrů, a to zejména při relativním obsahu polyfosforečnanu v ternárních směsích 20–50 %. S klesajícím počtem monomerů lineárně vázaných v polyfosforečnanu rostly absolutní hodnoty tvrdosti tavených sýrů s obsahem polyfosforečnanu v použité ternární směsi 20–50 %. Tento jev lze pravděpodobně popsat schopností polyfosforečnanů udělovat kaseinům negativní náboj, který s délkou lineárního polyfosforečnanu narůstá [55, 61, 63, 119]. Kratší polyfosforečnany (v našem případě se střední délkou řetězce P5 a P9) pravděpodobně způsobily nižší intenzitu negativního náboje na kaseinech, což vedlo ke zvýšení intenzity hydrofobních interakcí dispergovaných kaseinů a tudíž i vyšší tuhosti výsledné matrice [10, 61, 63]. Při vyšším relativním obsahu polyfosforečnanů (nad 50 %) v ternárních směsích již pravděpodobně převážily vlivy jednotlivých polyfosforečnanů na dispergaci kaseinových bílkovin, které byly popsány výše.

Výměnou difosforečnanu (P2) za trifosforečnan (P3) došlo k mírnému snížení hodnot tvrdosti, ačkoli trendy zůstaly zachovány. Vysvětlení je možno nalézt ve skutečnosti, že trifosforečnany podporují tvorbu gelu kaseinů v menší intenzitě, než je tomu u difosforečnanů [63, 119].

Úprava pH vedla ke změnám absolutních hodnot tvrdosti, výše popsané trendy ovšem zůstaly zachovány. Zdůvodnění lze hledat ve změně intenzity záporného náboje na kaseinech v důsledku pohybu hodnot pH prostředí. Se zvyšujícím se pH roste intenzita záporného náboje na dispergovaných kaseinech, které se více odpuzují, čímž se snižuje intenzita hydrofobních interakcí v systému. Posledně zmíněné procesy se projeví nižší tuhostí výsledného produktu [17, 59].

Hodnoty relativní lepivosti vykazovaly prudký pokles při specifickém poměru hydrogenfosforečnanu a difosforečnanu (popř. trifosforečnanu) 1:1-3:4 při obsahu polyfosforečnanu nižším než 60 %. Jelikož je poměr poklesu relativní lepivosti shodný s prudkým nárůstem hodnot tvrdosti, lze usuzovat, že pokud se vytvoří silnější a tužší matrice taveného sýra, snižují se adhezivní síly vůči ostatním materiálům a výsledky relativní lepivosti jsou nižší. Stejně vysvětlení lze uvést i pro řešení otázky poklesu hodnot měřeného parametru během skladování či úpravy pH kyselinou chlorovodíkovou [9].

Prudký pokles hodnot kohezivnosti byl pozorován ve specifickém poměru monofosforečnanu a difosforečnanu (popř. trifosforečnanu) 1:1-1:2 při obsahu

polyfosforečnanu nižším než 60 %. S narůstající dobou skladování či poklesem pH při jeho úpravě byly hodnoty oproti ostatním vyšší, stejně jako tomu bylo u měřeného parametru tvrdosti. Soudržnost vzorků tedy pravděpodobně úzce souvisí s tvrdostí matrice taveného sýra [119].

Z výsledků měření optické hustoty disperzí odtučněného mléka vyplynulo, že intenzivnější dispergace kaseinových bílkovin je dosaženo při použití polyfosforečnanů s delším řetězcem. Vysvětlení lze hledat ve skutečnosti, že intenzita dispergace kaseinových bílkovin v tavenině závisí zejména na koncentraci a typu tavicích solí [9, 35, 58, 68]. S rostoucí délkou řetězce sodných solí fosforečnanů roste také schopnost iontové výměny (sodných iontů za vápenaté ionty). Přídavek tavicích solí vede k dispergaci kaseinových bílkovin, která je tím intenzivnější, čím účinnější je iontová výměna [35, 38]. Tento jev byl faktorem, který byl použit i pro vysvětlení dějů, jež vedou ke zvýšení hodnot tvrdosti po přidavku jednotlivých tavicích solí do modelových vzorků tavených sýrů. Z těchto výsledků není tedy možno posoudit, zda je dispergace kaseinových bílkovin jediným faktorem, jež v konečném důsledku ovlivňuje vývoj texturních vlastností.

V případě přidavku ternárních směsí tavicích solí se rovněž projevila délka fosforečnanového řetězce na intenzitu dispergace kaseinových bílkovin. S nárůstem délky fosforečnanového řetězce a většího množství polyfosforečnanu v ternární směsi klesala optická hustota disperzí odtučněného mléka. Stejně poznatky byly zjištěny i v pracích Mizuno a Lucey [38].

Specifický poměr, při kterém by došlo k prudkému nárůstu či poklesu optické hustoty, jak tomu bylo při měření texturních parametrů tavených sýrů po přidavku stejných ternárních směsí tavicích solí, zde pozorován nebyl. Lze tedy konstatovat, že texturní parametry tavených sýrů nemohou být vysvětleny pouze vlivem fosforečnanů na dispergaci kaseinových bílkovin v tavenině. Během procesu krémování probíhají i další interakce, které formují finální formu kaseinové matrice (vápenaté a disulfidické můstky, hydrofobní a elektrostatické interakce, vodíkové vazby, vápenato-fosforečnanové komplexy atd.). Nárůst tvrdosti může být projevem specifických vazeb mezi monofosforečnanem a difosforečnanem (difosforečnan musí být v optimální koncentraci). Projevuje se rovněž schopnost monofosforečnanu proniknout mezi proteiny a vázat vodu a tvořit můstky mezi komplexem vápenatých iontů difosforečnanů a kaseiny. Možné změny v důsledku přidavku polyfosforečnanů a jejich schopnosti udělovat kaseinům negativní náboj a tím snížit intenzitu hydrofobních interakcí mezi dispergovanými kaseiny, zde rovněž hraje svou roli [5, 12, 18, 47].

6. PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI

Dnešní sortiment tavených sýrů představuje širokou škálu výrobků různých konzistencí, chutí a vůní. Proto je potřeba dostatečná znalost faktorů, které mohou mít na konečný produkt vliv. Nelze opomíjet stále častější přísadky hydrokoloidů, jež mohou být aplikovány v různých formách a koncentracích. Rovněž tavicí soli hrají při tvorbě struktury taveného sýra důležitou roli, ať už jsou používány samostatně či ve vzájemných směsích. Samotný proces interakcí proteinových bílkovin v matrici po přidavku tavicích solí může rovněž odpovědět na otázku, jaké další děje mají vliv na formaci matrice taveného sýra.

Disertační práce představuje přínos oblasti vědního oboru v následujících aspektech:

- studie interakcí vybraných hydrokoloidů s kaseinovými bílkovinami;
- popis změn texturních vlastností v závislosti na přidavku různých koncentrací vybraných hydrokoloidů;
- popis texturních parametrů a pH po přidavku jednotlivých fosforečnanů s rozdílnou průměrnou střední hodnotou počtu fosforů lineárně vázaných v molekule a jejich vzájemných ternárních směsí;
- srovnání texturních vlastností fosforečnanových tavicích solí, ve kterých došlo k úpravě pH se vzorky, ve kterých pH upravováno nebylo;
- vyhodnocení souvislostí mezi vývojem vybraných texturních parametrů modelových tavených sýrů v důsledku přidavku jednotlivých a ternárních směsí fosforečnanových tavicích solí a vlivem těchto směsí na dispergaci kaseinových micel v modelovém systému odtučněného mléka.

Disertační práce představuje přínos v oblasti praxe v následujících aspektech:

- kompletní přehled přidavku vybraných hydrokoloidů s malým koncentračním krokem na texturní vlastnosti tavených sýrů, což může napomoci při řešení otázky možného přidaného množství pro dosažení požadovaných vlastností tavených sýrů;
- studie texturních vlastností tavených sýrů po přidavku fosforečnanových tavicích solí s proměnlivou délkou střední hodnoty počtu fosforů lineárně vázaných v molekule a jejich ternárních směsí může být využita při sestavování surovinové skladby produktu o daných konzistenčních vlastnostech.

7. ZÁVĚR

Na základě výsledků z experimentální části lze vyvodit následující závěry:

- po přidavku κ -karagenanu a čtyř z pektinů byl pozorován nárůst hodnot tvrdosti s narůstající koncentrací uvedených hydrokoloidů, pro alginát sodný, agar a zbylé dva pektiny byla nalezena hraniční koncentrace, jež měnila původně pozvolnější nárůst hodnot tvrdosti na intenzivnější nebo opačně,
- nejvyšší hodnoty pH byly zjištěny po přidavku difosforečnanu sodného a to jak v tavených sýrech, tak i disperzích odtučněného mléka, s narůstající délkou řetězce fosforečnanových tavicích solí naměřené hodnoty pH klesaly;
- tvrdost tavených sýrů se zvyšovala a optická hustota disperzí odtučněného mléka klesala s narůstající délkou řetězce jednotlivě přidané fosforečnanové tavicí soli;
- po přidavku ternárních směsí tavicích solí byl nalezen specifický poměr mezi hydrogenfosforečnanem a difosforečnanem 1:1-3:4 (při obsahu polyfosforečnanů nižším než 60 %), který výrazně zvyšoval hodnoty tvrdosti tavených sýrů;
- jakýkoli odklon od výše uvedeného poměru znamenal prudké snížení hodnot tvrdosti, který se zvyšujícím se obsahem polyfosforečnanu ve směsi slábl;
- srovnáním polyfosforečnanů s různou délkou řetězce v ternárních směsích bylo zjištěno, že použitý typ polyfosforečnanu ovlivnil absolutní hodnoty tvrdosti, zejména při relativním obsahu polyfosforečnanu v ternárních směsích 20–50 %, s klesající střední hodnotou počtu fosforů lineárně vázaných v molekule rostly absolutní hodnoty tvrdosti;
- úpravou pH došlo při jeho snižování k nárůstu tvrdosti a relativní lepivosti a poklesu kohezivnosti a opačně, přičemž výše popsané trendy zůstaly zachovány;
- výměnou difosforečnanu v ternární směsi za trifosforečnan sodný byly zachovány všechny trendy pro ternární směsi popsané výše, pouze absolutní hodnoty v případě přidavku trifosforečnanu byly nižší;
- intenzivnější dispergace kaseinových bílkovin bylo dosaženo při použití tavicí soli s delším fosforečnanovým řetězcem a jeho vyšší koncentrací;
- popis dispergace kaseinových bílkovin není dostačující pro vysvětlení změn texturních vlastností tavených sýrů po přidavku tavicích solí.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] ČESKO. Spotřeba potravin a nealkoholických nápojů (na obyvatele za rok) v ČR v letech 2001 – 2013. In: *Český statistický úřad*. [online]. Praha: Český statistický úřad, 2013. [cit. 2013-07-06]. Dostupné z: [http://www.czso.cz/csu/2012edicniplan.nsf/t/C40050A1DB/\\$File/21391201.pdf](http://www.czso.cz/csu/2012edicniplan.nsf/t/C40050A1DB/$File/21391201.pdf)

[2] DOSTÁLOVÁ, Jana a Ladislav ČURDA. Význam tavených sýrů ve výživě, In: *Fórum zdravé výživy* [online]. IKEM, 2012. [cit. 2013-07-06]. Dostupné z: <http://www.fzv.cz/promedia/tiskovematerialy/starsitiskovematerialy/vyznam-tavenych-syru-ve-vyzive/154-vyznam-tavenych-syru-ve-vyzive.aspx>

[3] FOX, F. Patrick et al. *Cheese: chemistry, physics and microbiology*. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier, ©2004, 434 s. ISBN 0-1226-3653-8

[4] KADLEC, Pavel. *Technologie potravin II*. Praha: VŠCHT, ©2002, 236 s. ISBN 80-708-0510-2

[5] KAPOOR, Rohit a Liloyd E. METZGER. Process Cheese: Scientific and Technological Aspects – A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 2008, roč. 7, č. 2, s. 194-214 [cit. 2012-11-26]. ISSN 1541-4337. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1541-4337.2008.00040.x>

[6] BUŇKA, František a Jan HRABĚ. Tavené sýry. *Potravinářská revue*. 2006, č. 4, s. 13-16. ISSN 1801-9102

[7] ČESKO. 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. 2003. Dostupné z: <http://www.esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=2003s77>

[8] PAVELKA, Antonín. *Mléčné výrobky pro vaše zdraví*. Praha: Litera, ©1996, 106 s. ISBN 80-857-6309-5

[9] CARIĆ, Marijana a Miloslav KALÁB. Processed Cheese Products. In: *Cheese Chemistry, Physics and Microbiology. Major Cheese Groups*, 2nd ed., London: Chapman & Hall, ©1997, s. 467-505. ISBN 0-412-535106

- [10] SHIRASHOJI, N., J. J. JAEGGI a J. A. LUCEY. Effect of Sodium Hexametaphosphate Concentration and Cooking Time on the Physicochemical Properties of Pasteurized Process Cheese. *Journal of Dairy Science* [online]. 2010, roč. 93, č. 7, s. 2827-2837 [cit. 2012-08-12] ISSN 0022-0302. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2960>
- [11] KAPOOR, Rohit et al. Effect of Natural Cheese Characteristics on Process Cheese Properties. *Journal of Dairy Science* [online]. 2007, roč. 90, č. 4, s. 1625-1634 [cit. 2013-10-15]. ISSN 0022-0302. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2006-746>
- [12] LEE, S. K., S. ANEMA a H. KLOSTERMEYER. The Influence of Moisture Content on the Rheological Properties of Processed Cheese Spreads. *International Journal of Food Science and Technology* [online]. 2004, roč. 39, č. 7, s. 763-771 [cit. 2011-12-20]. ISSN 0950-5423. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00842.x>
- [13] FORMAN, Ladislav. *Mlékárenská technologie II.*, Praha: VŠCHT, ©1996, 217 s. ISBN 80-70-7080-250-2
- [14] GAJDŮŠEK, Stanislav. *Mlékařství II.* Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, ©2010, 135 s. ISBN 80-715-7342-6
- [15] Code of Federal Regulations: In *Food and Drugs Administration*. 21 Part 133 Cheese and Related Cheese Products [online]. Washington: Department of Health and Human Services. 2006. [cit. 2013-01-15]. Dostupné z: <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2004-title21-vol2/pdf/CFR-2004-title21-vol2-part133.pdf>
- [16] LU, Y., N. SHIRASHOJI a J. A. LUCEY. Rheological, Textural and Melting Properties of Commercial Samples of some of the Different Types of Pasteurized Processed Cheese. *International Journal of Dairy Technology* [online]. 2007, roč. 60, č. 2, s. 74-80 [cit. 2013-10-16]. ISSN 1364-727X. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01616.x>
- [17] LEE, Siew Kim et al. Changes in the Rheology and Microstructure of Processed Cheese during Cooking. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2003, roč. 36, č. 3, s. 339-345 [cit. 2013-08-11]. ISSN 0023-6438. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00012-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00012-4)

[18] SHIRASHOJI, N., J. J. JAEGGI a J. A. LUCEY. Effect of Trisodium Citrate Concentration and Cooking Time on the Physicochemical Properties of Pasteurized Process Cheese. *Journal of Dairy Science* [online]. 2006, roč. 89, č. 1, s. 15-28 [cit. 2013-11-06]. ISSN 0022-0302. Dostupné z: [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(06\)72065-3](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(06)72065-3)

[19] BUŇKA, František a Leona BUŇKOVÁ. Úloha tavicích solí při výrobě tavených sýrů. *Potravinářská revue*. 2009, č. 1, s. 13-16. ISSN 1801-9102

[20] LEE, Siew Kim a Henning KLOSTERMEYER. The Effect of pH on the Rheological Properties of Reduced-fat Model Processed Cheese Spreads. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2001, roč. 34, č. 5, s. 288-292. [cit. 2012-11-22]. ISSN 0023-6438. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1006/fstl.2001.0761>

[21] KAWASAKI, Yoshihiro. Influence of „Creaming“ on the Properties of Processed Cheese and Changes in the Structure of Casein during Cheese Making. *Milchwissenschaft*. 2008, roč. 63, č. 2, s. 149-152. ISSN 0026-3788.

[22] BERGER, William. *Processed cheese manufacture*. A Joha Guide, Ladenburg: BK Giulini Chemie GmbH & Co. OHG, ©1998, 238 s. ISBN 0-1642-5546-3

[23] JOHNSON, E. Mark et al. Reduction of Sodium and Fat Levels in Natural and Processed Cheeses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 2009, roč. 8, č. 3, s. 252-268 [cit. 2012-12-11]. ISSN 1541-4337. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00080.x>

[24] ČERNÍKOVÁ, Michaela et al. Replacement of Traditional Emulsifying Salts by Selected Hydrocolloids in Processed Cheese Production. *International Dairy Journal* [online]. 2010, roč. 20, č. 5, s. 336-343 [cit. 2013-08-12]. ISSN 0958-6946. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.12.012>

[25] LIU, H., X. M. XU a S. D. GUO. Comparison of Full-fat and Low-fat Cheese Analogues with or without Pectin Gel through Microstructure, Texture, Rheology, Thermal and Sensory Analysis. *International Journal of Food Science* [online]. 2008, roč. 43, č. 9, s. 1581-1592 [cit. 2013-11-22]. ISSN 0950-5423. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01616.x>

- [26] FRENCH, J. Sidney et al. Effect of Different Protein Concentrates and Emulsifying Salt Conditions on the Characteristics of a Processed Cheese Product. *Milkwissenschaft*. 2002, roč. 57, č. 2, s. 79-8. ISSN 0026-3788
- [27] MACKŮ, Ivana et al. Effect of Addition of Selected Solid Cosolutes on Viscoelastic Properties of Model Processed Cheese Containing Pectin. *Food Hydrocolloids* [online]. 2009, roč. 23, č. 8, s. 2078-2084 [cit. 2013-11-22]. ISSN 0268-005X. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.03.020>
- [28] BUŇKA, F., L. BUŇKOVÁ a S. KRÁČMAR. *Základní principy výroby tavených sýrů*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, ©2009, 70 s. ISBN 978-80-7375-336-8
- [29] DRDÁK, Milan. *Základy potravinářských technologií: spracovanie rastlinných a živočišných surovín, cereálne a fermentačné technológie, uchovávanie, hygiena a ekológia potravín*. Bratislava: Malé centrum, ©1996, 511 s. ISBN 80-967-0641-1
- [30] TAMIME, Adman. *Structure of Dairy Products*. Oxford: Blackwell, ©2007, 288 s. ISBN 978-047-0995-921
- [31] GUINEE, Timothy P. Pasteurized Processed Cheese Products. In: *Encyclopedia of Dairy Science*. ©2003, s. 411-418. ISBN 1-85573-395-1
- [32] ČESKO. Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 4/2008 Sb., kterou se stanoví *Druhy a podmínky použití přídatných látek a extrakčních rozpouštědel při výrobě potravin*. 2008. Dostupné z: <http://www.esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=2008s4>
- [33] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1333/2008 ze dne 16. prosince 2008 *O potravinářských přídatných látkách*. 2008. Dostupné z: <http://www.szpi.gov.cz/docDetail.aspx?docid=1000105&docType=ART&nid=11324>
- [34] LOPEZ, Christelle et al. Thermal and Structural Behavior of Milk Fat. *Journal of Colloid and Interface Science* [online]. 2002, roč. 254, č. 1, s. 64-78 [cit. 2012-10-22]. ISSN 0022-0302. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1006/jcis.2002.8548>
- [35] DIMITRELI, Georgia a Apostolos S. THOMAREIS. Effect of Chemical Composition on the Linear Viscoelastic Properties of Spreadable-type Processed Cheese. *Journal of Food Engineering* [online]. 2008, roč. 84, č. 3,

s. 368-374 [cit. 2011-10-05]. ISSN 0260-8774. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.05.030>

[36] EL-BAKRY, Mamdouh et al. Effect of Chelating Salt Type on Casein Hydration and Fat Emulsification during Manufacture and Post-manufacture Functionality of Imitation Cheese. *Journal of Food Engineering* [online]. 2011, roč. 102, č. 2, s. 145-153 [cit. 2014-01-22]. ISSN 0260-8774. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.08.012>

[37] EL-BAKRY, Mamdouh et al. Effects of Emulsifying Salts Reduction on Imitation Cheese Manufacture and Functional properties. *Journal of Food Engineering* [online]. 2010, roč. 100, č. 4, s. 596-603 [cit. 2012-02-16]. ISSN 0260-8774. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.05.007>

[38] MIZUNO, Robert a John A. LUCEY. Effects of Emulsifying Salts on the Turbidity and Calcium-Phosphate-Protein Interactions in Casein Micelles. *Journal of Dairy Science*. 2005, roč. 88, č. 1, s. 3070-3078. ISSN 0022-0302.

[39] MAYER, K. Helmut. Bitterness in Processed Cheese Caused by an Overdose of a Specific Emulsifying Agent? *International Dairy Journal* [online]. 2001, roč. 11, č. 7, s. 533-542 [cit. 2014-02-14]. ISSN 0958-6946. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00068-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00068-1)

[40] MIZUNO, Robert a John A. LUCEY. Properties of Milk Protein Gels Formed by Phosphates. *Journal of Dairy Science* [online]. 2007, roč. 90, č. 10, s. 4524-4531 [cit. 2013-11-22] ISSN 0022-0302. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2007-0229>

[41] AWAD, A. Robert et al. Texture and Microstructure of Block Type Processed Cheese with Formulated Emulsifying Salt Mixtures. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2002, roč. 35, č. 1, s. 54-61 [cit. 2014-01-06]. ISSN 0023-6438. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1006/fstl.2001.0828>

[42] LU, Y., N. SHIRASHOJI a J. A. LUCEY. Effects of pH on the Textural Properties and Meltability of Pasteurized Process Cheese Made with Different Types of Emulsifying Salts. *Journal of Food Science* [online]. 2008, roč. 73, č. 8, s. 363-369 [cit. 2013-02-11]. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00914.x>

[43] FOX, Patrick. *Fundamentals of cheese science*. Gaithersburg, MD: Aspen Publishing, ©2000, 587 s. ISBN 978-0-8342-1260-2

- [44] BUŇKA, František et al. Základní charakteristika tavených sýrů a jejich analogů. *Potravinářský zpravodaj*. 2010, č. 6, s. 30. ISSN 1801-9110
- [45] CUNHA, Clarissa R. a Walkiria H. VIOTTO. Casein Peptization, Functional Properties, and Sensory Acceptance of Processed Cheese Spreads Made with Different Emulsifying Salts. *Journal of Food Science* [online]. 2010, roč. 75, č. 1, s. 113-12 [cit. 2014-02-02]. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01444.x>
- [46] CAVALIERSALOU, Cleare a John C. CHEFTEL. Emulsifying Salts Influence on Characteristics of Cheese Analogs from Calcium Caseinate. *Journal of Food Science* [online]. 1991, roč. 56, č. 6, s. 1542-1547 [cit. 2013-10-16]. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb08636.x>
- [47] WANG, Fang et al. Effect of Proteolysis and Calcium Equilibrium on Functional Properties of Natural Cheddar Cheese during Ripening and the Resultant Processed Cheese. *Journal of Food Science* [online]. 2011, roč. 76, č. 3, s. 248-253 [cit. 2014-01-03]. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02085.x>
- [48] BOWLAND, L. Eilene a Allen E. FOEGEDING. Small Strain Oscillatory Shear and Microstructural Analyses of a Model Processed Cheese. *Journal of Dairy Science*. 2001, roč. 84, č. 11, s. 2372-2380. ISSN 0022-0302
- [49] HORNE, S. David. Casein Interactions: Casting Light on the Black Boxes, the Structure in Dairy Products. *International Dairy Journal* [online]. 1998, roč. 8, č. 3, s. 171-177 [cit. 2013-05-12]. ISSN 0958-6946. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946\(98\)00040-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946(98)00040-5)
- [50] ENNIS, P. Michael et al. Compositional Characteristics of Rennet Caseins and Hydration Characteristics of the Caseins in a Model System as Indicators of Performance in Mozzarella Cheese Analogue Manufacture. *Food Hydrocolloids* [online]. 1999, roč. 13, č. 4, s. 325-337 [cit. 2014-02-16]. ISSN 0268-005X. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X\(99\)00015-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X(99)00015-6)
- [51] AGUILERA, M. José a John E. KINSELLA. Compression Strength of Dairy Gels and Microstructural Interpretation. *Journal of Food Science* [online]. 1991, roč. 56, č. 5, s. 1224-1228 [cit. 2013-11-07]. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb04739.x>

[52] LOPEZ, Christelle et al. Thermal and Structural Behavior of Milk Fat. *Journal of Colloid and Interface Science* [online]. 2005, roč. 88, č. 2, s. 511-526 [cit. 2013-10-16]. ISSN 0022-0302. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1006/jcis.2002.8548>

[53] HOFFMANN, Wolfgang et al. Effect of Emulsifying Salts Containing Potassium on the Quality of Block-type Processed Cheese. *International Dairy Journal* [online]. 2012, roč. 25, č. 1, s. 66-72 [cit. 2014-02-02]. ISSN 0958-6946. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.11.010>

[54] KALIAPPAN, Sivasamy a John A. LUCEY. Influence of Mixtures of Calcium-chelating Salts on the Physicochemical Properties of Casein Micelles. *Journal of Dairy Science* [online]. 2011, roč. 94, č. 9, s. 4255-4263 [cit. 2014-02-02]. ISSN 0022-0302. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2010-3343>

[55] BUŇKA, František et al. The Effect of Different Ternary Mixtures of Sodium Phosphates on Hardness of Processed Cheese Spreads. *International Journal of Food Science* [online]. 2012, roč. 47, č. 10, s. 2063-2071 [cit. 2012-11-11]. ISSN 0950-5423. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03070.x>

[56] SÁDLÍKOVÁ, Ivana et al. The Effect of Selected Phosphate Emulsifying Salts on Viscoelastic Properties of Processed Cheese. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2010, roč. 43, č. 8, s. 1220-1225 [cit. 2013-10-16]. ISSN 0023-6438. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2010.04.012>

[57] ABDEL-HAMID, B. Laila et al. Chemical Properties of Processed Ras Cheese Spreads and Affected by Emulsifying Salt Mixtures. *Journal of Food Processing and Preservation* [online]. 2000, roč. 24, č. 3, s. 191-208 [cit. 2014-02-11]. ISSN 0145-8892. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4549.2000.tb00413.x>

[58] BRICKLEY, A. Ciara et al. Influence of Emulsifying Salts on the Textural Properties of Nonfat Process Cheese Made from Direct Acid Cheese Bases. *Journal of Dairy Science* [online]. 2008, roč. 91, č. 1, s. 39-48 [cit. 2014-01-14]. ISSN 0022-0302. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2007-0393>

[59] MARCHESSEAU, Sylvie a Jean-Luis CUQ. Water-holding Capacity and Characterization of Protein-interactions in Processed Cheese. *Journal of Dairy Science*. 1995, roč. 62, s. 479-489. ISSN 0022-0299

- [60] REMY, Heinrich. *Anorganická chemie*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, ©1961, 862 s.
- [61] NAGYOVÁ, Gabriela et al. Vliv délky fosforečnanového řetězce na texturní vlastnosti tavených sýrů. *Mlékařské listy*. 2012, č. 133. ISSN 1212 - 950X
- [62] HASSAN, A., M. E. JOHNSON a J. A. LUCEY. Changes in Proportion of Soluble and Insoluble Calcium during the Ripening of Cheddar Cheese. *Journal of Dairy Science*. 2004, roč. 87, č. 22, s. 854-862. ISSN 0854-0862.
- [63] BUŇKA, František et al. The Effect of Ternary Emulsifying Salt Composition and Cheese Maturity on the Textural Properties of Processed Cheese. *International Dairy Journal* [online]. 2013, roč. 29, č. 1, s. 1-7 [cit. 2014-02-22]. ISSN 0958-6946. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2012.09.006>
- [64] BACHMANN, Hans Peter. Cheese Analogues: A Review. *International Dairy Journal*. 2001, roč. 11, č. 3, s. 505-515. ISSN 0958-6946
- [65] AWAD, A. Robert et al. Physical and Sensory Properties of Block Processed Cheese with Formulated Emulsifying Salt Mixtures. *International Journal of Food Properties* [online]. 2004, roč. 7, č. 429-448, s. 429-448 [cit. 2014-02-09]. ISSN 1094-2912. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1081/JFP-120040199>
- [66] MOLINS, Ricardo A. *Phosphates in food*. Boca Raton: CRC Press, ©1991, 261 s. ISBN 08-493-4588-X
- [67] PURNA, S. K. G., A. POLLARD, A. a L. E. METZGER. Effect of Formulation and Manufacturing Parameters on Process Cheese Food Functionality – I. Trisodium Citrate. *Journal of Dairy Science*. 2006, roč. 89, č. 7, s. 2386-2396. ISSN 0022-0302
- [68] BAYARRI, S., I. CARBONELL a E. COSTELL. Viscoelasticity and Texture of Spreadable Cheeses with Different Fat Contents at Refrigeration and Room Temperatures. *Journal of Dairy Science* [online]. 2012, roč. 95, č. 12, s. 6926-6936. [cit. 2014-01-11]. ISSN 0022-0302. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-5711>
- [69] FAGAN, C. Colette et al. Prediction of Processed Cheese Instrumental Texture and Meltability by Mid-infrared Spectroscopy Coupled with

Chemometric Tools. *Journal of Food Engineering* [online]. 2007, roč. 80, č. 15, s. 1068-1077 [cit. 2013-12-12]. ISSN 0260-8774. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.068>

[70] SWENSON, B. J., W. L. WENDORFF a R. C. LINDSAY. Effects of Ingredients on the Functionality of Fat-free Process Cheese Spreads. *Journal of Food Science* [online]. 2000, roč. 65, č. 5, s. 822-825 [cit. 2014-02-11]. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb13594.x>

[71] GLIBOWSKI, P., P. ZARZYCKI a M. KRZEPKOWSKA. The Rheological and Instrumental Textural Properties of Selected Table Fats. *International Journal of Food Properties* [online]. 2008, roč. 11, č. 3, s. 678-686 [cit. 2013-12-11]. ISSN 1094-2912. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1080/10942910701622599>

[72] UPRETI, Praveen a Liyod E. METZGER. Influence of Calcium and Phosphorus, Residual Lactose, and Salt-to-moisture Ratio on Cheddar Cheese Quality: Manufacture and Composition. *Journal of Dairy Science*. 2006, roč. 89, č. 1, s. 420-428. ISSN 0022-0302

[73] ANDERSON, L. David et al. Reduced Fat Cheddar Cheese from Condensed Milk. 1. Manufacture, Composition, and Ripening. *Journal of Dairy Science*. 1993, roč. 76, č. 11, s. 2832-2844. ISSN 0022-0302

[74] BRICKLEY, A. Ciara et al. The Effect of Natural Cheddar Cheese Ripening on the Functional and Textural Properties of the Processed Cheese Manufactured Therefrom. *Journal of Food Science* [online]. 2007, roč. 72, č. 9, s. 483-490 [cit. 2013-11-22]. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00539.x>

[75] PISKA, Ivo a Jiří ŠTĚTINA. Influence of Cheese Ripening and Rate of Cooling of the Processed Cheese Mixture on Rheological Properties of Processed Cheese. *Journal of Food Engineering*. 2004, roč. 61, č. 4, s. 551-555. ISSN 0260-8774

[76] FORDE, Amanda et al. Biotechnological Approaches to the Understanding and Improvement of Mature Cheese Flavour. *Current Opinion in Biotechnology* [online]. 2000, roč. 11, č. 5, s. 484-489 [cit. 2012-12-11]. ISSN 0958-1669. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-1669\(00\)00130-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-1669(00)00130-0)

[77] CUNHA, R. Clarissa et al. Effect of the Type of Fat on Rheology, Functional Properties and Sensory Acceptance of Spreadable Cheese Analogue. *International Journal of Dairy Technology* [online]. 2013, roč. 66, č. 1, s. 54-62 [cit. 2014-01-19]. ISSN 1364-727X. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1471-0307.2012.00876.x>

[78] ZHONG, Q., C. R. DAUBERT a I. FARKAS. Cooling Effects on Processed Cheese Functionality. *Journal of Food Process Engineering* [online]. 2004, roč. 27, č 5, s. 392-412 [cit. 2013-10-16]. ISSN 0145-8876. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4530.2004.00390.x>

[79] PHILLIPS, O. Glyn a Peter A. WILLIAMS. *Handbook of Hydrocolloids*. Boca Raton: CRC Press. ©2007, 450 s. ISBN 08-493-0850-X

[80] PHILLIPS, O. Glyn a Peter A. WILLIAMS. *Handbook of Hydrocolloids*. 2nd ed., Woodhead Publishing. ©2009, 982 s. ISBN 978-1-61583-113-5

[81] DICKINSON, Edward. Hydrocolloids at Interferences and the Influence on the Properties of Dispersed Systems. *Food Hydrocolloids*. 2003, roč. 17, č. 7, s. 25-39. ISSN 0268-005X

[82] SYRBE, A., W. J. BAUER a N. KLOSTERMEYER. Polymer Science Concepts in Dairy Systems - an Overview of Milk Protein and Food Hydrocolloid Interaction. *International Dairy Journal* [online]. 1998, roč. 8, č. 3, s. 179-193 [cit. 2013-10-16]. ISSN 0958-6946. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946\(98\)00041-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946(98)00041-7)

[83] VELÍŠEK, Jan. *Chemie potravin 1*. Tábor: OSSIS, ©1999, 352 s. ISBN 80-902392-3-7

[84] KODET, J., M. ŠOTOLOVÁ a S. ŠTĚRBA. *Plnicí, zahušťovací, gelotvorné a stabilizační látky pro potraviny: (Potravinářské hydrokoloidy)*. Praha: Středisko potravinářských informací, ©1993, 235 s. ISBN 80-851-2032-1

[85] VEGA, Cameron et al. Effect of kappa-carrageenan Addition to Dairy Emulsions Containing Sodium Caseinate and Locust Bean Gum. *Food Hydrocolloids*. 2005, roč. 19, č. 2, s. 187-195. ISSN 0268-005X

[86] GARTI, Nissim a Martin E. LESER. Emulsification Properties of Hydrocolloids. *Polymers for Advanced Technologies*. 2001, roč. 12, č. 17, s. 123-135. ISSN 1042-7147

- [87] TAN, Yun Long et al. Effects of Biopolymer Addition on the Dynamic Rheology and Microstructure of Renneted Skim Milk Systems. *Journal of Texture Studies* [online]. 2007, roč. 38, č. 3, s. 404-422 [cit. 2013-10-16]. ISSN 0022-4901. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4603.2007.00104.x>
- [88] ČERNÍKOVÁ, Michaela et al. Effect of Carrageenan Type on Viscoelastic Properties of Processed Cheese. *Food Hydrocolloids* [online]. 2008, roč. 22, č. 6, s. 1054-1061 [cit. 2012-11-22]. ISSN 0268-005X. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.05.020>
- [89] REHM, H. A. Bernard. *Alginates: Biology and Applications*. Dordrecht: Springer. ©2009, 266 s. ISBN 35-409-2678-X
- [90] JOHNSON, A. Fiona et al. The Effects of Alginate Molecular Structure and Formulation Variables on the Physical Characteristics of Alginate Raft Systems. *International Journal of Pharmaceutics* [online]. 1997, roč. 159, č. 1, s. 35-42 [cit. 2014-02-09]. ISSN 0378-5173. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-5173\(97\)00266-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-5173(97)00266-4)
- [91] LAAMAN, Thomas. *Hydrocolloids in Food Processing*. Iowa: Wiley-Blackwell, ©2010, 344 s. ISBN 978-047-0961-896
- [92] PATHAK, Tara Sankar. Effect of Calcium Ion (Cross-linker) Concentration on Porosity, Surface Morphology and Thermal Behavior of Calcium Alginates Prepared from Algae (*Undaria Pinnatifida*). *Carbohydrate Polymers* [online]. 2010, roč. 81, č. 3, s. 633-639 [cit. 2012-11-22]. ISSN 0144-8617. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.03.025>
- [93] ANDRIAMANANTOANINA, Hanta a Marguerite RINAUDO. Relationship Between the Molecular Structure of Alginates and their Gelation in Acidic Conditions. *Polymer International* [online]. 2010, roč. 59, č. 11, s. 1531-1541 [cit. 2013-10-16]. ISSN 0959-8103. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1002/pi.2943>
- [94] DRAGET, Kurt, I.: Alginates. In *Handbook of hydrocolloids (2nd Edition)*. Woodhead Pub, ©2009, s. 335-360. ISBN 978-184-5694-142
- [95] DOMB, Alan a Jay Prakash JAIN. *Biodegradable Polymers in Clinical Use and Clinical Development*. Hoboken: Wiley, ©2011, 734 s. ISBN 978-047-0424-759

[96] STONE, K. Andrea a Michael T. NICKERSON Formation and Functionality of Whey Protein Isolate – (κ -, ι - and λ -type) Carrageenan Electrostatic Complexes. *Food Hydrocolloids*. 2012, roč. 27, č. 2, s. 271-277. ISSN 0268-005X

[97] SHCHIPUNOV, Yu. A. a A. Villiam CHESNOKOV. Carrageenan Gels in Skim Milk: Formation and Rheological Properties. *Colloid Journal* [online]. 2012, roč. 65, č. 1, s. 105-113 [cit. 2014-02-11]. ISSN 1061-933X. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022335428512>

[98] LANGENDORFF, Virginie. Effects of Carrageenan Type on the Behaviour of Carrageenan/milk Mixtures. *Food Hydrocolloids* [online]. 2011, roč. 14, č. 4, s. 273-280 [cit. 2013-10-16]. ISSN 0268-005X. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X\(99\)00064-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X(99)00064-8)

[99] MEDINA-TORRESA , Lucia et al. Structural Characteristics of Gels Formed by Mixtures of Carrageenan and Mucilage Gum from *Opuntia Ficus Indica*. *Carbohydrate Polymers* [online]. 2006, roč. 63, č. 3, s. 299-309 [cit. 2013-12-22]. ISSN 0144-8617. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.04.022>

[100] NICKERSON, T. Michael, Allan T. PAULSON a Ross F. HALLETT. Dilute Solution Properties of κ -carrageenan Polysaccharides: Effect of Potassium and Calcium Ions on Chain Conformation. *Carbohydrate Polymers* [online]. 2004, roč. 58, č. 1, s. 25-33 [cit. 2014-03-11]. ISSN 0144-8617. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.06.017>

[101] RIBEIRO, K. Olivier, Mechanical Properties of Acid Sodium Caseinate- κ -carrageenan Gels: Effect of Co-solute Addition. *Food Hydrocolloids*. 2004, roč. 18, č. 1, s. 71-79. ISSN 0268-005X

[102] LANGENDORFF, Virginie. Casein Micelle/iota Carrageenan Interactions in Milk: Influence of Temperature. *Food Hydrocolloids* [online]. 1999, roč. 13, č. 3, s. 211-218 [cit. 2014-02-11]. ISSN 0268-005X. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X\(98\)00087-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X(98)00087-3)

[103] GARNIER, Catherine et al. Iota-carrageenan/casein Micelles Interactions: Evidence at Different Scales. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* [online]. 2003, roč. 31, č. 4, s. 177-184 [cit. 2013-10-16]. ISSN 0927-7765. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0927-7765\(03\)00137-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0927-7765(03)00137-1)

[104] TZIBOULA, Antina a David S. HORNE. Influence of Milk Proteins on κ -carrageenan Gelation. *International Dairy Journal* [online]. 1999, roč. 9, č.

3-6, s. 359-364 [cit. 2014-01-11]. ISSN 0958-6946. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946\(99\)00088-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946(99)00088-6)

[105] THAIUDOM, Siwatt a Douglas H. GOFF. Effect of κ -carrageenan on Milk Protein Polysaccharide Mixtures. *International Dairy Journal* [online]. 2003, roč. 13, č. 9, s. 763-771 [cit. 2013-10-16]. ISSN 0958-6946. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00097-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00097-9)

[106] BOURRIOT et al. Micellar-casein- κ -carageenan mixtures. I. Phase separation and utrastructure. *Carbohydrate Polymers* [online]. 1999, roč. 40, č. 2, s. 145-157 [cit. 2014-02-11]. ISSN 0144-8617. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0144-8617\(99\)00044-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0144-8617(99)00044-2)

[107] IMESON, A. *Food stabilisers, thickeners and gelling agents*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell Pub., ©2010, 352 s. ISBN 14-051-3267-1

[108] OLIVARES, L. Maria et al. Study of Milk/ κ -carrageenan Mixtures by Atomic Force Microscopy. *Food Hydrocolloids* [online]. 2010, roč. 24, č. 8, s. 776-782 [cit. 2014-02-05]. ISSN 0268-005X. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.004>

[109] BEAULIEU et al. Rheology, Texture and Microstructure of Whey proteins/low Methoxyl Pectins Mixed Gels with Added Calcium: Influence of Temperature. *International Dairy Journal* [online]. 2001, roč. 11, č. 12, s. 961-967 [cit. 2013-11-22]. ISSN 0958-6946. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00127-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00127-3)

[110] SHARMA, K. Shri, Albert LIPTAY a Marc LE MAGUER. Molecular Characterization, Physico-chemical and Functional Properties of Tomato Fruit Pectin. *Food Research International* [online]. 1997, roč. 30, č. 7, s. 543-547 [cit. 2014-02-22]. ISSN 0963-9969. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0963-9969\(98\)00017-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0963-9969(98)00017-9)

[111] YOO, Sang-Ho et al. Viscometric Behavior of High-methoxy and Low-methoxy Pectin Solutions. *Food Hydrocolloids* [online]. 2006, roč. 20, č. 1, s. 62-67 [cit. 2013-11-09]. ISSN 0268-005X. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.03.003>

[112] MAROZIENE, Audrone et al. Interaction of Pectin and Casein Micelles: Influence of Temperature. *Food Hydrocolloids* [online]. 2006, roč. 14, č. 4, s. 391-394 [cit. 2014-02-11]. ISSN 0268-005X. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2960>

- [113] ČSN EN ISO 5534. *Sýry a tavené sýry – Stanovení obsahu celkové sušiny (Referenční metoda)*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [114] ROSENTHAL, J. Andrew. *Food texture: measurement and perception*. Gaithersburg: Aspen Publishers, ©1999, 311 s. ISBN 08-342-1238-2
- [115] FISZMAN, Susana a Miguel H. DAMÁSIO. Instrumental Measurement of Adhesiveness in Solid and Semi-solid Foods. A Survey. *Journal of Texture Studies* [online]. 2000, roč. 31, č. 1, s. 69-91 [cit. 2014-01-11]. ISSN 0022-4901. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4603.2000.tb00285.x>
- [116] BREUIL, Patrice a Jean-Francois MEULLENET. A Comparison of Three Instrumental Tests for Predicting Sensory Texture Profiles of Cheese. *Journal of Texture Studies* [online]. 2001, roč. 32, č. 1, s. 41-55 [cit. 2013-10-16]. ISSN 0022-4901. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4603.2001.tb01033.x>
- [117] CHEN, Jinshe. Food Oral Processing – A Review. *Food Hydrocolloids*[online]. 2009, roč. 23, č. 1, s. 1-25 [cit. 2013-10-16]. ISSN 0268-005X. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.11.013>
- [118] FLOURY, Juliane et al. Reducing Salt Level in Food: Part 1. Factors Affecting the Manufacture of Model Cheese Systems and Their Structure-texture Relationships. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2009, roč. 42, č. 10, s. 1611-1620 [cit. 2014-02-22]. ISSN 0023-6438. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2009.05.026>
- [119] WEISEROVÁ, Eva et al. The Effect of Combinations of Sodium Phosphates in Binary Mixtures on Selected Texture Parameters of Processed Cheese Spreads. *International Dairy Journal* [online]. 2011, roč. 21, č. 12, s. 979-986 [cit. 2012-11-09]. ISSN 0958-6946. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.06.006>

9. SEZNAM ILUSTRACÍ

<i>Obr. 1: Iontová výměna vápenatých iontů za sodné v přítomnosti tavicích solí při výrobě tavených sýrů (NaA - tavicí sůl obsahující sodný kationt; CaA - tavicí sůl s navázaným vápenatým kationtem) [upraveno podle 5]</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 2: Strukturní znázornění a) monofosforečnanu; b) difosforečnanu; c) trifosforečnanu; d) polyfosforečnanu; ve kterých je atom vodíku již disociován [upraveno podle 60]</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 3: Schématické znázornění: a) blok α-L-guluronátu (G); b) blok β-D-mannuronátu (M), c) řetězec tvořený střídajícími se bloky G a M, [upraveno podle 83]</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 4: Schéma utváření „egg box“ modelu [upraveno podle 83]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 5: Strukturní vzorec agarosy [upraveno podle 83]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 6: Tvorba agarosového gelu</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 7: Strukturní vzorec ι-karagenanu, κ-karagenanu a λ-karagenanu [upraveno podle 83]</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 8: Strukturní vzorec pektinu a esterifikovaného pektinu, kde v pozici R může být navázán vodík nebo methylenový zbytek [upraveno podle 83]</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 9: Rozčlenění praktické části disertační práce; použité zkratky: SE-stupeň esterifikace, TS-tavicí soli, Px-přidaná fosforečnanové tavicí sůl, kde x představuje počet atomů fosforu lineárně vázaných v molekule.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 10: Křivka texturní profilové analýzy [upraveno podle 117]</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 11: Vliv koncentrace alginátu sodného na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 12: Vliv koncentrace agaru na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 13: Vliv koncentrace κ-karagenanu na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 14: Vliv koncentrace pektinu se stupněm esterifikace 47,3 % na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 15: Vliv koncentrace pektinu se stupněm esterifikace 56,3 % na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 16: Vliv koncentrace pektinu se stupněm esterifikace 61,5 % na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 17: Vliv koncentrace pektinu se stupněm esterifikace 64,5 % na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu</i>	<i>53</i>

- Obr. 18: Vliv koncentrace pektinu se stupněm esterifikace 65,0 % na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu..... 54
- Obr. 19: Vliv koncentrace pektinu se stupněm esterifikace 71,7 % na tvrdost [N] tavených sýrů po 1, 7 a 30 dnech skladování; výsledky vyhodnoceny regresní analýzou polynomu 3. řádu..... 55
- Obr. 20: Vliv přídavku ternárních směsí hydrogenfosforečnanu (P1), difosforečnanu (P2) a polyfosforečnanů (Pn; n = střední hodnota počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5, 9, 13, 20 a 28) sodných na pH tavených sýrů po 2 dnech skladování 60
- Obr. 21: Vliv přídavku ternárních směsí hydrogenfosforečnanu (P1), triifosforečnanu (P3) a polyfosforečnanů (Pn; n = střední hodnota počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5, 9, 13, 20 a 28) sodných na pH tavených sýrů po 2 dnech skladování 61
- Obr. 22: Vliv přídavku ternárních směsí hydrogenfosforečnanu (P1), difosforečnanu (P2) a polyfosforečnanů (Pn; n = střední hodnota počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5, 9, 13, 20 a 28) sodných na pH disperzí odtučněného mléka..... 62
- Obr. 23: Vliv délky fosforečnanového řetězce hydrogenfosforečnanu sodného (P1); difosforečnanu sodného (P2); trifosforečnanu sodného (P3) a polyfosforečnanů sodných s různou střední hodnotou počtu fosforů lineárně vázaných v molekule (P5, P9, P13, P20 a P28) na tvrdost [N] tavených sýrů po 2, 9 a 30 dnech skladování; u vzorků označených * došlo k úpravě pH..... 64
- Obr. 24: Vliv přídavku ternární směsi P1:P2:P5 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH 69
- Obr. 25: Vliv přídavku ternární směsi P1:P2:P9 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH 70
- Obr. 26: Vliv přídavku ternární směsi P1:P2:P13 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH 71
- Obr. 27: Vliv přídavku ternární směsi P1:P2:P20 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH 72
- Obr. 28: Vliv přídavku ternární směsi P1:P2:P28 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl

- C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH.....73*
- Obr. 29: Vliv přídavku ternární směsi P1:P3:P5 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH.....74*
- Obr. 30: Vliv přídavku ternární směsi P1:P3:P9 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH.....75*
- Obr. 31: Vliv přídavku ternární směsi P1:P3:P13 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH.....76*
- Obr. 32: Vliv přídavku ternární směsi P1:P3:P20 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH.....77*
- Obr. 33: Vliv přídavku ternární směsi P1:P3:P28 na tvrdost [N] tavených sýrů; oddíl A – po 2 dnech skladování; oddíl B – po 9 dnech skladování, oddíl C – po 30 dnech skladování; plné vzorky – bez úpravy pH; prázdné vzorky – s úpravou pH.....78*
- Obr. 34: Vliv délky fosforečnanového řetězce hydrogenfosforečnanu sodného (P1); difosforečnanu sodného (P2); trifosforečnanu sodného (P3) a polyfosforečnanů sodných s různou střední hodnotou počtu fosforů lineárně vázaných v molekule (P5, P9, P13, P20 a P28) na optickou hustotu tavených sýrů; hodnoty jsou vztaženy relativně ke kontrolnímu vzorku (bez přídavku tavicích solí).....80*
- Obr. 35: Vliv přídavku ternární směsi P1:P2:Pn (Pn; n = střední hodnota počtu fosforů lineárně vázaných v molekule 5, 9, 13, 20 a 28) na optickou hustotu tavených sýrů; hodnoty jsou vztaženy relativně ke kontrolnímu vzorku (bez přídavku tavicích solí).....81*

10. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Fosforečnany používané při výrobě tavených sýrů a hodnoty pH jejich 1% (w/w) vodných roztoků; kde n v případě vzorce polyfosforečnanů představuje střední hodnotu počtu fosforů lineárně vázaných v molekule [upraveno dle 3, 7, 28].....	17
Tabulka 2 Citronany používané při výrobě tavených sýrů a hodnoty pH jejich 1% (w/w) vodných roztoků [upraveno dle 3, 31, 66].....	18
Tabulka 3 Závislost hodnot pH modelových tavených sýrů (bez úpravy pH) na délce řetězce (P1–P28) aplikovaných sodných solí fosforečnanů *; měřeno po 2 dnech skladování	57
Tabulka 4 Závislost hodnot pH modelových vzorků disperzí odtučněného mléka na délce řetězce (P1–P28) aplikovaných sodných solí fosforečnanů *	57

11. SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

ES	Evropské společenství
SE	stupeň esterifikace
SD	Směrodatná odchylka
TS	tavicí soli

12. SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA

Příspěvky publikované v impaktovaných časopisech

BUŇKA, F., DOUDOVÁ, L., WEISEROVÁ, E., KUCHAR, D., PONÍŽIL, P., ZAČALOVÁ, D., NAGYOVÁ, G., PACHLOVÁ, V., MICHÁLEK, J. The Effect of Ternary Emulsifying Salt Composition and Cheese Maturity on the Textural Properties of Processed Cheese. *International Dairy Journal*. 2013, roč. 29, č. 1, s. 1–7. ISSN 0023-6438

BUŇKA, F., DOUDOVÁ, L., WEISEROVÁ, E., ČERNÍKOVÁ, M., KUCHAR, D., SLAVÍKOVÁ, Š., NAGYOVÁ, G., PONÍŽIL, P., GRÜBER, T., MICHÁLEK, J. The Effect of Concentration and Composition of Ternary Emulsifying Salts on the Textural Properties of Processed Cheese. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie-Food Science and Technology*. 2013, roč. 58, č. 1, s. 244–255. ISSN 0023-6438

NAGYOVÁ, G., BUŇKA, F., SALEK, R. N., ČERNÍKOVÁ, M., MANČÍK, P., GRÜBER, T., KUCHAR, D. Use of Sodium Polyphosphates with Different Linear Lengths in the Production of Spreadable Processed Cheese. *Journal of Dairy Science*. 2014, roč. 97, č. 1, s. 111–122. ISSN 0022-0302

Příspěvek procházející recenzním řízením v impaktovaném časopise

SALEK, R. NAGYOVÁ, G., ČERNÍKOVÁ, M., BAČOVÁ, H. MYNARČÍKOVÁ, L., BUŇKA, F., The Effect Composition of Ternary Emulsifying Salt Containing Citrates on the Textural Properties of Processed Cheese Spreads (*International Dairy Journal*)

Příspěvky v recenzovaných časopisech

NAGYOVÁ, G., BUŇKA, F., KUCHAR, D., GRÜBER, T. Vliv délky fosforečnanového řetězce na texturní vlastnosti tavených sýrů. *Mlékařské listy*, 2012, č. 133, IV–VI. ISSN 1212-950X

BUŇKA, F., NAGYOVÁ, G., SALEK, R. N., ČERNÍKOVÁ, M., BAČOVÁ, H., KRÁČMAR, S. The Effect of Individual Phosphate Emulsifying Salts and Their Selected Binary Mixtures on Hardness of Processed Cheese Spreads. *Potravinářstvo*. 2013, roč. 7, č. 1, s. 191–196. ISSN 1801-9110

Příspěvky ve sbornících z konferencí v cizím jazyce

NAGYOVÁ, G., BUŇKA, F., HLADKÁ, K. Využití alginátů při výrobě potravin. In *Bezpečnost a kontrola potravin*. Nitra (SR): SPU, 30. – 31. března 2011. s. 108–111. ISBN 978-80-552-0559-5.

NAGYOVÁ, G., BUŇKA, F., MYNARČÍKOVÁ, L. Vliv přídavku alginátu sodného na tvrdost tavených sýrů. In *Food Hygiene and Technology 41th Lenfeld's and Hökl's Days*. Brno: VFU, 12. – 13. října 2011, s. 149–151. ISBN 978-80-7305-594-3.

NAGYOVÁ, G., BUŇKA, F., BAČOVÁ, H., NOVÁK P. Vliv složení binárních směsí hydrokoloidů na pevnost tavených sýrů. In *Konference Mléko a sýry*. Praha: VŠCHT, 22. – 24. ledna 2012. s. 208–213. ISBN 978-80-7080-838-2.

SALEK, R. N., BUŇKA, F., ČERNÍKOVÁ, M., **NAGYOVÁ, G.**, KUCHARŤ, D., BAČOVÁ, H., MYNARČÍKOVÁ, L. Ternární směsi tavicích solí obsahující citronan sodný a jejich vliv na tvrdost modelových tavených sýrů. In *Konference Mléko a sýry*. Praha: VŠCHT, 22. – 24. ledna 2014.

13. CURRICULUM VITAE

OSOBNÍ ÚDAJE

Jméno a příjmení: Ing. Gabriela Nagyová

E-mail: nagyova@ft.utb.cz

VZDĚLÁNÍ

- 1999 – 2003 **Gymnázium, Kojetín, Svatopluka Čecha 683**
- 2003 – 2007 **UTB ve Zlíně, Fakulta technologická**
bakalářské studium; obor Chemie a technologie potravin
- 2007 – 2009 **UTB ve Zlíně, Fakulta technologická**
navazující magisterské studium; obor Technologie, hygiena
a ekonomika výroby potravin
- 2010 – doposud **UTB ve Zlíně, Fakulta technologická**
doktorské studium; obor Technologie potravin

PROJEKTY ŘEŠENÉ V RÁMCI INTERNÍ GRANTOVÉ AGENTURY UTB

- 2011 **IGA/18/FT/11/D** (člen řešitelského týmu)
Vliv různých kombinací fosforečnanových tavicích solí a použití
vybraných hydrokoloidů na texturní vlastnosti tavených sýrů
- 2012 **IGA/FT/2012/026** (hlavní řešitel)
Vliv aplikace směsí fosforečnanových solí na texturní vlastnosti
vybraných produktů živočišného původu
- 2013 **IGA/FT/2013/010** (hlavní řešitel)
Ternární směsi fosforečnanových a citronanových solí při výrobě
tavených sýrů
- 2014 **IGA/FT/2014/001** (člen řešitelského týmu)
Aplikace fosforečnanu a hydrokoloidů do vybraných potravin

JAZYKOVÉ ZNALOSTI

- Anglický jazyk Pokročilá znalost - aktivně
Maďarský jazyk Pokročilá znalost - aktivně
Německý jazyk Středně pokročilá znalost

OSTATNÍ DOVEDNOSTI

- Práce s PC OS Windows, MS Office (Word, Excel, PowerPoint)
Řidičský průkaz Skupina B