

**Ing. Ivana Macků**

**VISKOELASTICKÉ A SENZORICKÉ VLASTNOSTI  
TAVENÝCH SÝRŮ S PŘÍDAVKEM PEKTINU**

**VISCOELASTIC AND SENSORY PROPERTIES OF  
PROCESSED CHEESE WITH PECTIN ADDITION**

**DISERTAČNÍ PRÁCE**

Program: P2901      Chemie a technologie potravin

Obor:            2901V013    Technologie potravin

Školitel:      doc. Ing. Jan Hrabě, Ph.D.

Konzultant: doc. Ing. František Buňka, Ph.D.

Zlín, 2009

# PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala zejména svému školiteli doc. Ing. Janu Hraběti, Ph.D. a svému konzultantovi doc. Ing. Františkovi Buňkovi, Ph.D. za vedení mého doktorského studia, za cenné náměty, připomínky a rady, které mi poskytovali během celého doktorského studia.

Dále bych ráda poděkovala doc. Dr. Ing. Vladimíru Pavlínkovi z Centra polymerních materiálů Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně za odbornou pomoc při práci s přístrojem Bohlin GEMINI a jeho cenné rady při vyhodnocování výsledků.

Nakonec bych ráda vyjádřila svůj dík všem, kteří se jakýmkoli způsobem podíleli na vzniku této disertační práce, a také děkuji své rodině za morální podporu během celého studia.

Práce vznikla za podpory projektu MŠMT (MSM 7088352101).

## ABSTRAKT

Cílem disertační práce bylo pomocí dynamické oscilační reometrie a senzorické analýzy prostudovat vliv přídatku pektinu na konzistenci a senzorické vlastnosti tavených sýrů. Dále byl zkoumán vliv přítomnosti nízkomolekulárních sacharidů a vybraných fosforečnanových tavicích solí, resp. jejich směsí, na viskoelastické a senzorické vlastnosti modelových tavených sýrů (40 % w/w sušina, 50 % w/w tuk v sušině) s obsahem pektinu. Všechny vzorky byly podrobeny rovněž základní chemické analýze (obsah sušiny, tuku, popela a pH). Byl zkoumán vliv přídatku různé koncentrace pektinu (0,2 až 0,8 % w/w) na viskoelastické a senzorické vlastnosti modelových tavených sýrů skladovaných v lednici při teplotě  $6 \pm 2$  °C. Přídavek pektinu způsobil vždy zvýšení tuhosti a snížení roztíratelnosti modelového vzorku v porovnání s kontrolním taveným sýrem bez pektinu. Se zvyšující se koncentrací pektinu se vzorky stávaly více elastickými. Zvýšení tuhosti systému v důsledku přidání pektinu nevykazovalo lineární závislost. Přídavek nízkomolekulárního sacharidu (D-glukózy, D-fruktózy, D-galaktózy, laktózy a sacharózy) do tavené směsi bez pektinu či s pektinem) způsobil vždy pokles tuhosti taveného sýra oproti kontrole. Všechny nízkomolekulární sacharidy způsobily snížení tuhosti vzorků na obdobnou hladinu, pokles tuhosti tedy nebyl ovlivněn povahou testovaného nízkomolekulárního sacharidu. Použitím různých fosforečnanových tavicích solí vznikly tavené sýry rozdílné konzistence. Tuhost tavených sýrů se postupně zvyšovala přídatkem fosforečnanů v následujícím pořadí: monofosforečnany < polyfosforečnany < difosforečnany < trifosforečnany. Přídavek pektinu ztužil tavené sýry bez ohledu na typ použitého fosforečnanu či směs fosforečnanů. Sledované senzorické atributy nebyly přídatkem pektinu zhoršeny.

Klíčová slova: tavený sýr, pektin, tavicí soli, reologie, sacharidy, senzorická analýza

## ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the changes of consistency and sensory properties of processed cheese (40% w/w dry matter and 50% w/w fat in dry matter) with pectin addition. The consistency of model processed cheese with pectin addition was investigated by using dynamic oscillation rheometry. Sensory attributes were evaluated by means of sensory analysis. Further, the impact of different low-molecular saccharides and various phosphates (and their combinations) on the processed cheese consistency with added pectin was examined. All samples were also evaluated by basic chemical analysis containing measuring of dry matter, fat, ash content and pH. The effect of pectin addition on viscoelastic properties of model processed cheeses stored at temperature  $6 \pm 2$  °C has been investigated using dynamic oscillation rheometry. The role of pectin concentration (0.2, 0.4, 0.6 and 0.8% w/w) has been studied. Also, the sensory evaluation of samples has been made to assess cheese appearance, rigidity, spreadability and flavour. All samples with the pectin addition were more rigid and less spreadable compared to processed cheeses without pectin. The higher was the pectin concentration, the more rigid cheese was obtained and the nature of gel was changed to more elastic material. The dependence of processed cheese rigidity on pectin concentration (in range 0–0.8% w/w) was not linear. All applied low molecular saccharides (D-glucose, D-fructose, D-galactose, lactose and saccharose) caused the decrease in the firmness of model processed cheese with or without pectin. The rigidity of three-dimensional network in processed cheese was declined by these cosolutes mostly to the similar level regardless of their nature. Processed cheese manufactured with different phosphates showed various viscoelastic properties. The rigidity of samples was increased by various phosphates in following order: orthophosphate < polyphosphate < diphosphate < triphosphate. The rigidity of processed cheese was always increased by pectin addition regardless of the phosphate type used or type of phosphate mixtures applied. The appearance and flavour were not worse by pectin addition.

Keywords: processed cheese, pectin, emulsifying salts, rheology, saccharides, sensory analysis

# OBSAH

<b>1</b>	<b>SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY</b>	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>Tavené sýry</b>	<b>12</b>
1.1.1	Dělení tavených sýrů	12
1.1.2	Suroviny pro výrobu tavených sýrů	13
1.1.3	Technologie výroby tavených sýrů	14
1.1.4	Základní principy výroby tavených sýrů	15
<b>1.2</b>	<b>Tavicí soli</b>	<b>16</b>
1.2.1	Citronanové tavicí soli	17
1.2.2	Fosforečnanové tavicí soli	17
<b>1.3</b>	<b>Faktory ovlivňující konzistenci tavených sýrů</b>	<b>19</b>
1.3.1	Obsah sušiny a tuku v taveném sýru	20
1.3.2	Aktivní kyselost taveného sýra	21
1.3.3	Obsah vápenatých kationtů v taveném sýru	21
1.3.4	Druh přírodního sýra a jeho stupeň zralosti	22
1.3.5	Ostatní suroviny použité při výrobě tavených sýrů	22
1.3.6	Skladba a množství tavicích solí	26
1.3.7	Způsob zpracování taveniny	27
1.3.8	Délka a způsob skladování tavených sýrů	27
<b>1.4</b>	<b>Hydrokoloidy</b>	<b>28</b>
<b>1.5</b>	<b>Pektin</b>	<b>28</b>
1.5.1	Chemická struktura pektinu	29
1.5.2	Vlastnosti pektinu	30
1.5.3	Interakce kaseinů s pektiny	33
1.5.4	Využití pektinů v potravinářství	35
<b>2</b>	<b>CÍLE PRÁCE</b>	<b>37</b>
<b>3</b>	<b>ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ</b>	<b>38</b>
<b>3.1</b>	<b>Experimenty disertační práce</b>	<b>38</b>
3.1.1	Popis experimentu č.1	38
3.1.2	Popis experimentu č. 2	39
3.1.3	Popis experimentu č. 3	40
<b>3.2</b>	<b>Suroviny pro výrobu modelových vzorků</b>	<b>41</b>
<b>3.3</b>	<b>Výroba modelových vzorků</b>	<b>42</b>
<b>3.4</b>	<b>Základní chemická analýza</b>	<b>42</b>
<b>3.5</b>	<b>Dynamická oscilační reometrie</b>	<b>43</b>
<b>3.6</b>	<b>Senzorická analýza</b>	<b>43</b>
<b>3.7</b>	<b>Statistická analýza naměřených dat</b>	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE</b>	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Výsledky a diskuze k experimentu č. 1</b>	<b>45</b>
4.1.1	Chemická analýza modelových tavených sýrů	45

4.1.2	Reologická analýza modelových tavených sýrů.....	45
4.1.3	Senzorická analýza modelových tavených sýrů.....	52
<b>4.2</b>	<b>Výsledky a diskuze k experimentu č. 2.....</b>	<b>55</b>
4.2.1	Chemická analýza modelových tavených sýrů.....	55
4.2.2	Reologická analýza modelových tavených sýrů.....	55
4.2.3	Senzorická analýza modelových tavených sýrů.....	64
<b>4.3</b>	<b>Výsledky a diskuze k experimentu č. 3.....</b>	<b>66</b>
4.3.1	Chemická analýza modelových tavených sýrů.....	66
4.3.2	Modelové tavené sýry obsahující jednotlivé fosforečnany .....	66
4.3.3	Modelové tavené sýry obsahující směs dvou fosforečnanů .....	77
<b>5</b>	<b>PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI .....</b>	<b>88</b>
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>89</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>90</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA.....</b>	<b>100</b>
<b>9</b>	<b>CURRICULUM VITAE.....</b>	<b>102</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>103</b>

# SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1	Iontová výměna pomocí tavicích solí při výrobě tavených sýrů .....	15
Obr. 1.2	Základní struktura homogalakturonanu .....	29
Obr. 1.3	Základní struktura ramnogalakturonanu .....	30
Obr. 1.4	Interakce LMP s vápenatými kationty, tzv. „egg-box model“.....	32
Obr. 1.5	Znázornění depleční flokulace .....	34
Obr. 3.1	Jednotlivé experimenty realizované v rámci disertační práce .....	38
Obr. 4.1	Závislost elastického a ztrátového modulu na frekvenci pro tavené sýry skupiny I .....	50
Obr. 4.2	Závislost komplexního modulu na frekvenci pro tavené sýry skupiny V.....	63
Obr. 4.3	Závislost komplexního modulu na frekvenci pro tavené sýry skupiny VII.....	64
Obr. 4.4	Závislost komplexního modulu na frekvenci pro tavené sýry skupiny IX .....	70
Obr. 4.5	Závislost komplexního modulu na frekvenci pro tavené sýry skupiny XIV .....	79

## SEZNAM TABULEK

Tab. I	Sodné soli kyseliny fosforečné používané v České republice jako tavicí soli při výrobě tavených sýrů a jejich E-kódy .....	17
Tab. II	Jednotlivé šarže tavených sýrů vyrobených v rámci experimentů č. 1 a 2.....	40
Tab. III	Jednotlivé šarže tavených sýrů vyrobených v rámci experimentu č. 3 a poměry jednotlivých fosforečnanů použitých ve směsi.....	41
Tab. IV	Hodnoty elastického a ztrátového modulu pružnosti a hodnoty tangentu úhlu fázového posunu pro referenční frekvenci 1 Hz pro I., II. a III. skupinu tavených sýrů .....	48
Tab. V	Hodnoty síly gelu a interakčního faktoru pro I., II. a III. skupinu tavených sýrů .....	49
Tab. VI	Průměrné hodnoty komplexního modulu pro referenční frekvenci 1 Hz pro skupiny I, II a III tavených sýrů a hodnoty regresních koeficientů ( $a_i$ ) a koeficientů determinace ( $r^2$ ) pro vybrané modely (lineární, kvadratický a kubický) vyjadřující změny komplexního modulu v závislosti na množství přidaného pektinu.....	51
Tab. VII	Výsledky senzorké analýzy tavených sýrů skupin I–III.....	53
Tab. VIII	Chemické složení tavených sýrů ve skupinách IV až VII.....	55
Tab. IX	Hodnoty elastického a ztrátového modulu a hodnoty tangentu úhlu fázového posunu pro referenční frekvenci 1 Hz pro IV. a V. skupinu tavených sýrů .....	59
Tab. X	Hodnoty síly gelu a interakčního faktoru pro IV. a V. skupinu tavených sýrů .....	60
Tab. XI	Hodnoty elastického a ztrátového modulu a hodnoty tangentu úhlu fázového posunu pro referenční frekvenci 1 Hz pro VI. a VII. skupinu tavených sýrů.....	61
Tab. XII	Hodnoty síly gelu a interakčního faktoru pro VI. a VII. skupinu tavených sýrů .....	62
Tab. XIII	Výsledky senzorké analýzy vybraných tavených sýrů experimentu č. 2.....	65



Tab. XIV	Chemické složení tavených sýrů obsahujících jednotlivé fosforečnanové tavicí soli, resp. jejich směsi .....	66
Tab. XV	Hodnoty pH tavených sýrů skupin VIII až X obsahujících jednotlivé fosforečnanové tavicí soli.....	67
Tab. XVI	Hodnoty elastického a ztrátového modulu pružnosti a hodnoty tangentu úhlu fázového posunu pro referenční frekvenci 1 Hz pro VIII. a IX. skupinu tavených sýrů.....	72
Tab. XVII	Hodnoty síly gelu a interakčního faktoru pro VIII. a IX. skupinu tavených sýrů .....	73
Tab. XVIII	Hodnoty elastického a ztrátového modulu pružnosti, tangentu úhlu fázového posunu, síly gelu a interakčního faktoru pro referenční frekvenci 1 Hz pro X. skupinu tavených sýrů.....	76
Tab. XIX	Hodnoty pH tavených sýrů skupin XI až XVI obsahujících směs dvou fosforečnanových tavicích solí.....	80
Tab. XX	Hodnoty elastického a ztrátového modulu pružnosti a hodnoty tangentu úhlu fázového posunu pro referenční frekvenci 1 Hz pro XI. a XII. skupinu tavených sýrů obsahujících dvě tavicí soli (PoP:Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ) v různém poměru .....	81
Tab. XXI	Hodnoty síly gelu a interakčního faktoru pro XI. a XII. skupinu tavených sýrů obsahujících dvě tavicí soli (PoP:Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ) v různém poměru.....	82
Tab. XXII	Hodnoty elastického a ztrátového modulu pružnosti a hodnoty tangentu úhlu fázového posunu pro referenční frekvenci 1 Hz pro XIV. a XV. skupinu tavených sýrů obsahujících dvě tavicí soli (PoP:Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ) v různém poměru .....	83
Tab. XXIII	Hodnoty síly gelu a interakčního faktoru pro XIV. a XV. skupinu tavených sýrů obsahujících dvě tavicí soli (PoP:Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ) v různém poměru .....	84
Tab. XXIV	Hodnoty elastického a ztrátového modulu pružnosti, hodnoty tangentu úhlu fázového posunu, síly gelu a interakčního faktoru pro referenční frekvenci 1 Hz pro XIII. skupinu tavených sýrů obsahujících dvě tavicí soli (PoP:Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ) v různém poměru.....	86

Tab. XXV	Hodnoty elastického a ztrátového modulu pružnosti, hodnoty tangentu úhlu fázového posunu, síly gelu a interakčního faktoru pro referenční frekvenci 1 Hz pro XVI. skupinu tavených sýrů obsahujících dvě tavící soli (PoP:Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ) v různém poměru .....	87
----------	---	----

## POUŽITÉ SYMBOLY A ZKRATKY

CP .....	pektin
DE.....	stupeň esterifikace pektinu
Fru .....	D-fruktóza
Gal .....	D-galaktóza
Glc .....	D-glukóza
HMP .....	vysokoesterifikovaný pektin
K.....	kontrolní vzorek
Lak.....	laktóza
LMP.....	nízkoesterifikovaný pektin
PoP .....	polyfosforečnan sodný
Sac .....	sacharóza
TVS .....	tuk v sušině

# 1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Tavené sýry patří v současnosti k oblíbené spotřebitelské komoditě. Zatímco dříve se tavené sýry vyráběly především za účelem zpracování jinak nepoužitelných přírodních sýrů, v dnešní době jsou žádanými potravinami a jejich spotřeba i nadále vzrůstá.

Kromě chuti, vůně a vzhledu si spotřebitel vybírá výrobek také podle jeho konzistence. Proto se pozornost stále více zaměřuje na zkoumání různých faktorů ovlivňujících reologické vlastnosti tavených sýrů, protože jejich znalost je nutná pro produkci výrobků vhodných viskoelastických vlastností přijatelných pro spotřebitele. Při výrobě tavených sýrů z méně jakostních surovin či při náhradě tradičních surovin může být připraven produkt nežádoucích viskoelastických vlastností. Toto negativum lze řešit např. přidávkou vhodného hydrokoloidu. Mezi hojně využívané hydrokoloidy patří také pektin, který našel své uplatnění v mnoha potravinářských odvětvích.

## 1.1 Tavené sýry

Tavené sýry jsou mlékárenské výrobky, které se vyrábí z přírodních sýrů. Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 77/2003 Sb. v platném znění definuje tavený sýr jako sýr, který byl tepelně upraven za přídavku tavicích solí. Podle této vyhlášky musí minimálně 51 % w/w hmotnosti sušiny taveného sýra pocházet ze sýra přírodního. Tavené sýry jsou vyráběny již od počátku 19. století a na jejich celosvětovou produkci je využito přibližně 10 až 12 % vyrobených přírodních sýrů [1, 2].

Hlavními výhodami tavených sýrů ve srovnání s klasickými sýry přírodními jsou jejich delší trvanlivost, nižší výrobní náklady a možnost produkce rozmanité škály výrobků. Na našem trhu se můžeme setkat s tavenými sýry různých tvarů, chutí či fyzikálních vlastností, tj. se sýry měkkými, tuhými či dobře roztíratelnými [2, 3, 4, 5].

Spotřeba tavených sýrů na 1 obyvatele v České republice činila v roce 2007 2,6 kg. V témže roce bylo spotřebováno celkem 13,7 kg sýrů/osobu, a tedy zhruba pětinu ze všech spotřebovaných sýrů představovaly sýry tavené [6].

### 1.1.1 Dělení tavených sýrů

Tavené sýry se podle výše uvedené vyhlášky rozdělují podle obsahu tuku v sušině (TVS) na tavené sýry nízkotučné obsahující maximálně 30 % w/w TVS a tavené sýry vysokotučné s nejméně 60 % w/w TVS [1]. Tavené sýry s 30 – 60 % w/w TVS jsou běžně dostupné v tržní síti, avšak i přesto jsou skupinou nepojmenovanou. Tavené sýry s obsahem TVS nižším než 20 % w/w se

prakticky nevyrábějí, stejně tak jako tavené sýry obsahující více než 70 % w/w TVS, které už nemají charakter taveného sýra [1, 7].

Pokud je tavený sýr vyroben převážně z jednoho deklarovaného druhu sýra, jedná se o výrobek jednodruhový. Je-li při výrobě taveného sýra použita směs různých druhů přírodních sýrů za účelem získání výrobku požadovaných vlastností, hovoříme o taveném sýru směsném. Podle výsledné konzistence se tavené sýry dělí na výrobky roztíratelné a na krájení. Tavené sýry na krájení se vyznačují tužší konzistencí, vyšším obsahem sušiny a obvykle nižším pH (5,4 – 5,6), zatímco roztíratelné výrobky mají obvykle vyšší obsah tuku či nižší obsah sušiny, krémovitou konzistenci a pH v rozsahu 5,6 – 5,9 [7-9].

### **1.1.2 Suroviny pro výrobu tavených sýrů**

Hlavními surovinami pro výrobu tavených sýrů jsou přírodní sýry různého stupně zralosti a tavicí soli. V České republice se zpracovává zejména Eidamská cihla, Eidamský blok, Moravský blok či Primátor. V zahraničí se do tavených sýrů zpracovává např. Gouda či Čedar. Využívají se zejména přírodní sýry vzhledově poškozené (např. tzv. slepé sýry bez tvorby ok, sýry s trhlinami) [3, 4, 10]. Jako tavicí soli se obvykle používají sodné soli fosforečnanů, polyfosforečnanů či citronanů [3, 4, 11, 12].

Kromě těchto základních složek (přírodní sýr a tavicí soli) se do tavené směsi přidávají další složky mléčné povahy (např. máslo, tvaroh, kasein, kaseináty, mléčný tuk, smetana, sušené mléko, podmásli, syrovátka, krém, aj.) i ostatní suroviny (např. voda, ochucující přísady, konzervanty, barviva, hydrokoloidy, jedlá sůl, aj.). Právě prostřednictvím různých surovin (např. přísady ovlivňující chuť, přírodní nebo modifikované škroby, sušená syrovátka, sušené mléko) se mohou dostat monosacharidy či disacharidy do tavených sýrů a mohou ovlivnit i jejich konzistenci. Jedná se zejména o laktózu, nicméně v tavených sýrech se může vyskytovat i řada dalších nízkomolekulárních sacharidů, např. glukóza, galaktóza, fruktóza, sacharóza, aj. [3, 4, 5, 7, 10, 11, 13, 14].

V ČR mohou být podle vyhlášky č. 77/2003 Sb. do tavených sýrů druhově pojmenovaných kromě přírodního sýra přidány další mléčné složky pouze pro standardizaci tuku (máslo, máselný koncentrát, máselný tuk, smetana), avšak přídavek jiných mléčných komponent je zakázán. Tavené sýry druhově nepojmenované mohou obsahovat i jiné mléčné složky, nicméně obsah laktózy ve finálním výrobku nesmí překročit hranici 5 % w/w. Při překročení tohoto limitu je nutné nazvat produkt jako tavený sýrový výrobek [1].

### 1.1.3 Technologie výroby tavených sýrů

Proces výroby tavených sýrů začíná výběrem a přípravou surovin. Suroviny jsou nejprve důkladně očištěny, omyty a z přírodního sýru jsou odstraněny kůra a poškozená místa [3, 7]. Dále je přírodní sýr rozkrájen a rozemlet na válcových stolicích na menší částice. Zvětšení specifického povrchu přírodního sýra je velmi důležité zejména pro přestup tepla během tavicího procesu, a také jsou podpořeny interakce mezi složkami sýra a ostatními komponentami, např. tavicími solemi.

Podle předem připravené receptury se naváží dezintegrováný přírodní sýr a přidají se ostatní suroviny (např. tavicí soli, voda, aj.), které jsou přepraveny do tavicího kotle, v němž probíhá vlastní proces tavení.

Při tavení dochází k přeměně směsi surovin na homogenní hladkou lesklou hmotu požadovaných vlastností. Tavicí zařízení jsou obvykle vybaveny parou vyhřívaným pláštěm i přímým vstříkem páry a také míchacím zařízením, které zajišťuje konstantní pomalé míchání během celého tepelného zpracování surovin. Tavení probíhá obvykle za sníženého tlaku a může probíhat buď kontinuálním, nebo diskontinuálním způsobem [3, 4]. Při diskontinuálním procesu se směs surovin zahřívá na tavicí teplotu, která se liší např. podle typu zařízení či požadovaných vlastností finálního produktu. V literatuře jsou uváděny různé tavicí teploty v intervalu 80 – 105 °C po dobu několika minut [3, 4, 10, 11, 12, 15]. Při procesu diskontinuálním je většinou dosažen pouze pasterační efekt, při kterém jsou ničeny veškeré vegetativní formy přítomných mikroorganismů. Tento způsob výroby je rozšířen v České republice. Provozní sterility je dosahováno při kontinuálním způsobu výroby tavených sýrů s následným aseptickým balením. Při tomto procesu jsou usmrcovány nejen vegetativní buňky, ale také bakteriální spory [3]. Kontinuální proces se provádí v potrubí z nerezové oceli, jejichž vnitřní povrch je zvrásněn, aby byl co nejvíce zvětšen specifický povrch, a tím podpořen nepřímý kontakt tavené směsi s ohřevným médiem, kterým bývá např. vodní pára. K záhřevu tavené směsi dochází v tenké vrstvě. Dosahované teploty jsou různé v intervalu 110 – 145 °C po dobu několika sekund [3, 4, 12].

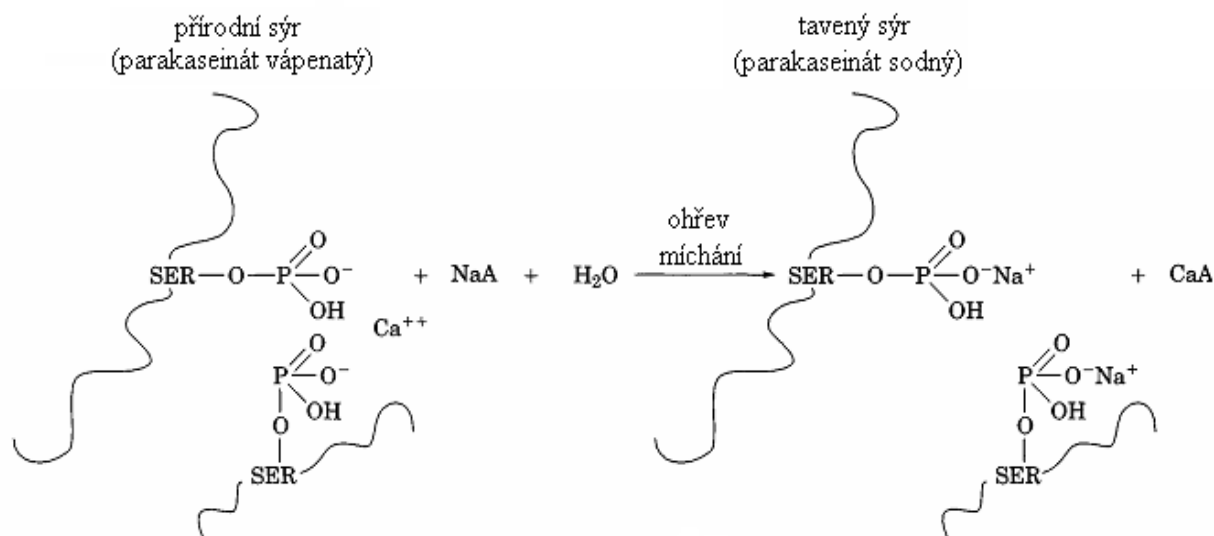
Horká tavenina je dále vedena pomocí uzavřeného potrubního systému do plnicího zařízení, které taveninu automaticky zabalí. V ČR je častěji preferován způsob, při kterém je utavená směs převezena k balicímu zařízení v uzavřených nerezových vozících. Při UHT výrobě tavených sýrů je nutné zabezpečit aseptické balení vyrobeného produktu. Je možné vyrábět tavené sýry různých tvarů. V České republice jsou upřednostňovány především tavené sýry ve formě trojúhelníku zabalené v hliníkové folii s ochrannou lakovanou vrstvou. Také lze vyrábět tavené sýry hranolovitého tvaru, sýry mohou být také baleny do plastových vaniček s víčkem, tub, salámků, apod. Zabalený tavený sýr je

nutné zchladit. Tavené sýry na krájení se obvykle chladí pomaleji než výrobky roztíratelné; ty by měly být zchlazeny co nejrychleji. Teplota skladování tavených sýrů je do 10 °C [4, 7].

#### 1.1.4 Základní principy výroby tavených sýrů

Hlavním principem výroby tavených sýrů je přeměna přírodního sýra na kompaktní hladkou lesklou hmotu požadovaných texturních, strukturních, reologických a organoleptických vlastností. Bez přítomnosti tavicích solí by při tepelném ošetření došlo k rozdělení systému na 3 fáze (vysrážené bílkoviny, vodná fáze a tuková fáze) [3, 7, 8, 10].

Pro vznik taveného sýra, tj. koncentrované emulze tukových kuliček o velikosti 1 – 10 μm rozptýlených v hydratované proteinové matrici, je tedy nutná přítomnost tavicích solí [12, 16]. Ty přeměňují pomocí výměny iontů nerozpustný parakaseinát vápenatý na rozpustný parakaseinát sodný, čímž umožňují přítomným bílkovinám uplatnit své emulgační vlastnosti, jež plynou z jejich amfifilní povahy a jsou nezbytné pro tvorbu emulze olej ve vodě. Tato iontová výměna je přehledně zobrazena na Obr. 1.1.



Obr. 1.1: Iontová výměna pomocí tavicích solí při výrobě tavených sýrů (A...aniont tavicí soli, tj. fosforečnan či citronan; NaA...tavicí sůl obsahující sodný kationt; CaA...tavicí sůl s navázaným vápenatým kationtem)[4]

Vzniklý parakaseinát sodný se také vyznačuje větší schopností vázat vodu, a je tedy podpořena také hydratace a botnání bílkovin. Vedlejšími, avšak neméně důležitými, účinky přidavku tavicích solí jsou zvýšení pH a jeho udržování, stabilizace vzniklé emulze (imobilizací vody) a tvorba struktury taveného sýra [3, 4, 12, 17].

Během procesu tavení dochází tedy k dezintegraci proteinové matrice vlivem odštěpování vápníkových kationtů z para-kaseinu. Dále dochází k vazbě polyvalentních aniontů tavicích solí přes  $\text{Ca}^{2+}$  kationty nebo přes esterovou vazbu na bílkoviny, které tak zvyšují vazbu vody na molekuly bílkovin, a dochází ke vzrůstu viskozity taveniny (tzv. krémování) [3, 10]. Podle Lee a kol. [18] je krémování především reakcí bílkovin. Hydratované bílkoviny obsažené ve vodné fázi pak obalují povrch tukových kuliček, což vede k emulgaci tuku [12]. Také dochází k vzájemným interakcím mezi molekulami kaseinátů tvořících obalové vrstvy tukových kuliček a kaseinátů obsažených ve vodné fázi. Vlivem trvalého míchání dochází k rovnoměrnému rozptýlení tukových kuliček do taveniny, a také ke zmenšení jejich velikosti. Během chlazení pak dochází k částečné krystalizaci tuku, což způsobuje další nárůst viskozity výrobku [3, 11, 12].

## 1.2 Tavicí soli

Jak již bylo výše zmíněno, nutnou podmínkou vzniku homogenního taveného sýra je použití tavicích solí. Podle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 4/2008 Sb. jsou tavicí soli látky měnící vlastnosti bílkovin při výrobě tavených sýrů za účelem zamezení oddělování tuku. Tyto sloučeniny patří do skupiny přídatných látek a na obale výrobku musí být proto označeny číselným kódem, tzv. E-kódem [19].

Tavicí soli obsahují ve své molekule polyvalentní aniont a monovalentní kationt [3, 4, 12, 17]. Mezi nejpoužívanější typy tavicích solí patří zejména sodné soli kyseliny trihydrogenfosforečné a citronové. Kromě sodných solí lze využít také draselné soli kyseliny fosforečné, avšak zde hrozí riziko vzniku hořké chuti finálního výrobku [11, 20]. Dále lze při výrobě tavených sýrů či jejich imitací (např. imitace Mozarely) aplikovat rovněž fosforečnany sodno-hlinité [3, 11]. V literatuře byly dále nalezeny zmínky o použití kyseliny vinné a jejich solí při přípravě „fondue“ [4, 11].

Tavicí soli vyrábí specializované společnosti dle chráněných receptur a složení jednotlivých tavicích solí je obvykle předmětem výrobního tajemství. Obvykle je tavicí sůl směsí několika chemických látek a při výrobě tavených sýrů se převážně používá ještě několik tavicích solí společně [4, 10]. Soli jsou charakterizovány výrobcem na základě jejich schopnosti výměny iontů, úpravy pH a krémujícího účinku [3, 4, 11, 20].

Podle platné české legislativy je do tavených sýrů či jejich analogů povoleno přidávat maximálně  $20\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  fosforečnanů (vyjádřeno jako obsah  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) [19]. Tato hranice odpovídá přibližně použití 3,5 % w/w tavicích solí na celkovou hmotnost vyrobeného produktu. Obvykle se však tavicí soli



přidávají v koncentraci 1 – 3 % w/w [3, 4, 7, 12, 20]. Vyšší koncentrace tavicích solí by mohly kromě nevhodné konzistence zapříčinit vznik hořké příchuti či tvorbu krystalů tavicích solí [4, 21].

Mezi výrobce tavicích solí patří např. BK Giulini GmbH (Ladenburg, Německo) s produkty JOHA<sup>®</sup> a SOLVA<sup>®</sup>, tyto produkty jsou po České republice distribuovány prostřednictvím společnosti MILCOM servis, a.s. Přímou výrobou tavicích solí se v ČR zabývá např. FOSFA akciová společnost, Břeclav.

### 1.2.1 Citronanové tavicí soli

Z citronanů je nejvíce používán citronan trisodný ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ). Monosodná či disodná sůl kyseliny citronové se používají spíše k úpravě pH taveniny s vysokým podílem velmi zralého přírodního sýra o vysokém pH [3]. V porovnání s fosforečnanovými tavicími solemi jsou používány méně často. Obecně mají citronany menší schopnost vazby vápenatých iontů než fosforečnany, a proto se používají při výrobě tužších sýrů s lomivou konzistencí anebo ve směsi s fosforečnany (zejména s polyfosforečnany) [3, 7, 11, 22].

### 1.2.2 Fosforečnanové tavicí soli

Fosforečnany používané při výrobě tavených sýrů se řadí do skupiny ortofosforečnanů, pyrofosforečnanů či polyfosforečnanů.

*Tab. I: Sodné soli kyseliny fosforečné používané v České republice jako tavicí soli při výrobě tavených sýrů a jejich E-kódy [3, 19]*

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

Ortofosforečnany obsahují v molekule pouze jeden fosforečnanový aniont  $(\text{PO}_4)^{3-}$ . Kromě nich se velmi často používají také kondenzované fosforečnany, tj. pyrofosforečnany (obsahují dvě  $(\text{PO}_4)^{3-}$  skupiny) či polyfosforečnany (obsahují 3 a více fosforečnanových aniontů) [3, 4, 23]. Fosforečnanové tavicí

solí používané v České republice při výrobě tavených sýrů jsou společně s jejich E-kódy uvedeny v tabulce I.

Mezi nejdůležitější vlastnosti tavicích solí patří jejich schopnost chelatace kovových monovalentních (např.  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) či polyvalentních (např.  $\text{Ca}^{2+}$ ) kationtů. Schopnost odštěpovat vápenaté kationty z proteinové matrice přírodního sýra je pro výrobu homogenního taveného produktu nezbytná, bez ní by výroba tavených sýrů nebyla možná. Afinita fosforečnanů k vápenatým iontům vzrůstá v následujícím pořadí:  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 < \text{Na}_2\text{HPO}_4 < \text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7 < \text{Na}_3\text{HP}_2\text{O}_7 < \text{Na}_3\text{PO}_4 < \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 < \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  [3, 4, 22, 23]. Polyfosforečnany mají tedy obecně vyšší afinitu k vápenatým kationtům než pyrofosforečnany či ortofosforečnany. Kromě počtu fosforečnanových jednotek v molekule tavicí soli je schopnost chelatace vápníku je ovlivněna ještě dalšími faktory, např. hodnotou pH systému či teplotou. S rostoucím pH se schopnost iontové výměny zvyšuje, stejně tak jako s rostoucí teplotou [3, 20].

Důležitá je rovněž jejich schopnost peptizovat bílkoviny; touto vlastností se vyznačují především polyfosforečnany, zatímco ortofosfosforečnany tuto schopnost díky nižší afinitě k vápenatým kationtům postrádají. Rychlost peptizace kaseinů vzrůstá s délkou řetězce polyfosforečnanů a s jejich koncentrací [4, 23].

Fosforečnanové anionty se vyznačují vysokou vazností vody. Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.1.4, polyvalentní fosforečnanové anionty se při tavení váží přes  $\text{Ca}^{2+}$  kationty nebo přes esterovou vazbu na bílkoviny. Tím zvyšují vazbu vody na molekuly bílkovin, a dochází ke vzrůstu viskozity taveniny (tzv. krémování) [3, 10].

Tavicí soli rovněž ovlivňují pH tavených sýrů. K dosažení optimální hodnoty pH je zapotřebí při výběru tavicích solí zohlednit veškeré faktory ovlivňující tento chemický ukazatel jako např. typ použitého přírodního sýra, jeho stupeň zralosti, obsah tuku a pufrovací schopnost tavicích solí (vykazují ji zejména ortofosforečnany). Pufrovací schopnost fosforečnanů, tj. schopnost stabilizace pH systému vůči okolním vlivům, v tavených sýrech klesá s rostoucí délkou řetězce; téměř žádnou pufrovací schopnost vykazují fosforečnany obsahující více než 10  $(\text{PO}_4)^{3-}$  skupin [3, 20, 23].

Fosforečnanové tavicí soli mohou mít rovněž vliv na tvorbu gelu v taveném sýru. Samy o sobě sice želírujícími vlastnostmi nedisponují, avšak mohou zesílení matrice podpořit. Zejména di- a trifosforečnany jsou schopny vazby, buď přímo či zprostředkovaně přes vápenaté můstky, na molekuly kaseinu, čímž je zesítují. Menší schopnost podpořit tvorbu gelu pak vykazují polyfosforečnany a dále ortofosforečnany [3, 20].

Během výroby a také během skladování tavených sýrů dochází k hydrolyze přítomných lineárně kondenzovaných fosforečnanů až na ortofosforečnany. Rozklad polyfosforečnanů na pyrofosforečnany probíhá velmi rychle, poté se rychlost hydrolyzy podstatně zpomaluje. Rozsah hydrolyzy je ovlivněn následujícími faktory: délkou a teplotou tavení a skladování, obsahem sušiny taveného sýra a délkou polyfosforečnanového řetězce. Hydrolyza vzrůstá s rostoucími hodnotami uvedených parametrů. Následkem hydrolyzy dochází ke změně pufovací schopnosti tavicích solí či změně v afinitě tavicích solí k  $\text{Ca}^{2+}$  iontům. Tím může být ovlivněn stupeň hydratace kaseinů, výsledné pH taveného sýra či jeho tuhost. Hydrolyza fosforečnanů podporuje také nežádoucí tvorbu krystalů (ty vznikají v přítomnosti mono- a difosforečnanů). Krystaly vznikají také při použití nadbytečného množství tavicích solí, pokud nedojde k jejich kompletnímu rozpuštění [3, 4, 12, 23].

Vzhledem k tomu, že jsou tavené sýry obvykle vyráběny s použitím pasteračních teplot, neřadí se mezi produkty sterilní. Tepelným procesem jsou usmrceny pouze vegetativní buňky bakterií, kvasinek i plísní, zatímco bakteriální spory zničeny nejsou (např. spory rodu *Clostridium*). V tavených sýrech tedy může již vlivem tepelného záhřevu či během skladování dojít ke germinaci bakteriálních spor, což může způsobit vznik bombáže, hnití produktu či tvorbu látek negativně ovlivňujících organoleptické vlastnosti výrobku. Dále může být činností bakterie *Clostridium botulinum* do taveného sýra produkován nebezpečný botulotoxin. Některé fosforečnany se vyznačují antimikrobními účinky, zejména baktericidními či bakteriostatickými. Polyfosforečnany a ortofosforečnany dokážou inhibovat růst bakterií různých druhů rodu *Salmonella* či druhy *Bacillus subtilis*, *Clostridium botulinum*, *Clostridium sporogenes*, aj. Jejich antimikrobní účinky spočívají především v chelataci vápenatých či hořečnatých kationtů, které jsou nezbytné pro fyziologické funkce mikroorganismů (např. pro činnost mikrobiálních enzymů či pro správnou tvorbu buněčné stěny grampozitivních bakterií) [3, 20, 23, 24]. Loessner a kol. [25] studovali vliv polyfosforečnanových tavicích solí na růst různých grampozitivních i gramnegativních bakterií. Polyfosforečnany inhibovaly růst a rozmnožování grampozitivních bakterií (např. *Clostridium tyrobutyricum*), zatímco žádný antimikrobní účinek na gramnegativní bakterie pozorován nebyl. Bylo zjištěno, že pro inhibici růstu *Clostridium tyrobutyricum* v taveném sýru je dostatečná koncentrace polyfosforečnanu 0,5 % w/w [25].

### 1.3 Faktory ovlivňující konzistenci tavených sýrů

Velice důležitým organoleptickým znakem tavených sýrů, na který kladou výrobci i spotřebitelé velký důraz, je kromě chuti a vůně jejich konzistence. Konzistence může být ovlivněna řadou různých faktorů např. obsahem sušiny,

tuku, bílkovin, zralostí přírodního sýra, hodnotou pH, přítomností iontů ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), způsobem zpracování taveniny, přidavkem různých surovin, aj. Díky těmto faktorům však lze vyrobit tavené sýry vhodné pro nejrůznější použití (roztíratelné sýry, krájitelné plátkové tavené sýry do sendvičů, sýrové omáčky). [3, 4, 11, 12, 22, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32].

V následujících kapitolách jsou popsány jednotlivé faktory ovlivňující konzistenci tavených sýrů.

### 1.3.1 Obsah sušiny a tuku v taveném sýru

Mezi základní faktory mající vliv na konzistenci tavených sýrů patří obsah sušiny a tuku ve výrobku. Podle odborné literatury tuhost výrobku a jeho elasticita klesá s rostoucím obsahem vlhkosti (za jinak stejných podmínek) [26, 28, 29, 33, 34]. Konzistenci ovlivňuje také množství přítomného tuku (čím více tuku, tím roztíratelnější produkt) [26]. Důležitým parametrem ovlivňujícím tuhost produktu je velikost tukových kuliček; čím menší jsou tukové kuličky, tím tužší a stabilnější vzniká sýr. Se zvyšováním koncentrace tavicích solí (0,5 – 3,0 % w/w), rychlosti míchání a teploty a doby tavení se zvyšuje stupeň emulgace tuku, tj. zmenšuje se velikost tukových kuliček, roste jejich počet a zvyšuje se tak tuhost produktu [3, 22]. Sutheerawattananonda a kol. [35] sledovali velikost tukových kuliček v tavených sýrech přímo při jejich výrobě. Ihned po dosažení teploty 66,5 °C pozorovali v tavené směsi přítomnost široké distribuce velikosti tukových kuliček. Po 5 minutách se již distribuce zešíknila do menších velikostí tukových kuliček, následným tavením již jejich velikost ovlivněna nebyla.

V odborné literatuře byla nalezena také práce Swenson a kol. [36], v níž byly pozorovány opačné trendy; s rostoucí délkou a teplotou tavení tuhost produktu klesala. Těchto výsledků bylo zřejmě dosaženo v důsledku sledování rozdílné matrice, tj. tavených sýrů se sníženým obsahem tuku.

Kromě celkového množství přítomného tuku a počtu a velikosti tukových kuliček může být konzistence ovlivněna také typem použitého tuku. Při výrobě taveného sýra určité tučnosti se obsah tuku na požadovanou hladinu upravuje obvykle přidavkem másla či bezvodého mléčného tuku. V dnešní době lze však v tržní síti narazit také na produkty obsahující tuk rostlinný, tzv. analogy, jež se vyznačují odlišnými viskoelastickými vlastnostmi než sýry tavené díky rozdílnému chemickému složení obsaženého tuku [3, 5, 9, 12, 37, 38].

Kromě imitací obsahujících rostlinné tuky lze v tržní síti nalézt i varianty tavených sýrů se sníženým obsahem tuku. Odstraněním tuku však může dojít k tvorbě tuhé nežádoucí struktury. Drake a kol. [39] zkoumali reologické a senzorické vlastnosti tavených sýrů se sníženým obsahem tuku s přidavkem

lecitinu. Textura tavených sýrů s lecitinem byla jeho přidavkem zlepšena v porovnání s kontrolou bez emulgátoru. Vzorky obsahující lecitin se navíc blížily konzistenci tavených sýrů s obvyklým obsahem tuku. Senzorické vlastnosti nebyly lecitinem negativně ovlivněny. Brummel a Lee [40] nahradili část tuku v tavené směsi vodnou disperzí hydrokoloidu (xanthan, guarová guma, vysokoesterifikovaný pektin, alginát). Tyto hydrokoloidy byly testovány v koncentraci 0,18 – 4,1 % w/w. Vzorky obsahující 2,2 % w/w  $\lambda$ -karagenanu, 1,7 až 2,2 % pektinu či 1,7 % w/w guarové gumy se vyznačovaly obdobnou texturou jako tavené sýry bez sníženého obsahu tuku. Vyšší přídavky hydrokoloidů způsobily zvýšení tuhosti vzorků. Téměř obdobnou konzistenci (jako kontrolní vzorek s nesníženou hladinou tuku) vykazovaly vzorky s redukováným množstvím tuku obsahující pektin.

### 1.3.2 Aktivní kyselost taveného sýra

Významný vliv na tuhost tavených sýrů má jejich hodnota pH. Tato veličina je ovlivněna zejména hodnotou pH sýra přírodního a dále druhem a koncentrací použitých tavicích solí.

Obecně platí, čím starší přírodní sýr je při výrobě taveného sýra použit, tím vzniká výsledný tavený produkt s vyšší hodnotou pH [31]. U tavených sýrů s nízkým pH (4,8 – 5,2) lze očekávat tužší konzistenci než u sýrů méně kyselých (> 6,0), jež jsou roztíratelnější [12]. Čím více se hodnota pH taveného sýra blíží k izoelektrickému bodu kaseinu ( $pI \approx 4,6$ ), tím více se uplatňují vzájemné přitažlivé interakce bílkovin a vzniká tak tužší produkt [11, 41]. Marchesseau a kol. [41] zkoumali vliv zvyšujícího se pH na reologické vlastnosti tavených sýrů s konstantním obsahem tavicích solí. Výsledkem byly klesající hodnoty ztrátového i elastického modulu značící pokles viskozity i elasticity sýra s rostoucím pH. Stejných výsledků dosáhli také Lee a Klostermeyer [15] u tavených sýrových pomazánek se sníženým obsahem tuku (12 % w/w tuku). Naproti tomu Swenson a kol. [36] zjistili pokles tuhosti taveného sýra obsahujícího pouze 0,6 % w/w tuku s klesající hodnotou pH zřejmě z důvodu analýzy matrice rozdílného typu.

### 1.3.3 Obsah vápenatých kationtů v taveném sýru

K tvorbě kompaktní proteinové matrice je zapotřebí přítomnost vápenatých kationtů v taveném sýru. Ty se do výrobku dostávají prostřednictvím použitých surovin, zejména přírodního sýra. Bylo zjištěno, že vyšší obsah vápníku v přírodním sýru způsobuje zvýšení tuhosti sýra taveného díky zapojení  $Ca^{2+}$  iontů do zesílení proteinové matrice výrobku [11, 12].

### **1.3.4 Druh přírodního sýra a jeho stupeň zralosti**

Přírodní sýr je dalším faktorem, který ovlivňuje konzistenci taveného sýra. Při jeho výběru je nutné zohlednit druh přírodního sýra, stupeň zralosti, jeho složení (obsah tuku, sušiny, proteinů, vápníku) i hodnotu pH [3, 4, 11, 42, 43, 31].

Čím více bílkovin přírodní sýr obsahuje, tím je tavený sýr tužší a elastičtější [26, 29]. Podle prací Dimitreli a Thomareis [26, 29] přítomné proteiny vyztužují trojrozměrnou síť taveného sýra, čímž jej ztužují. Se vzrůstajícím stupněm zralosti se zvyšuje stupeň proteolýzy přítomných kaseinů a vznikají tak roztíratelnější produkty [12, 27, 31, 44]. Zatímco pro výrobu blokových (plátkových) tavených sýrů se využívají méně zralé přírodní sýry obsahující přibližně 75 až 90 % intaktního kaseinu, při produkci roztíratelných tavených sýrů se uplatňují středně zralé přírodní sýry (obsah neporušeného kaseinu asi 60 až 70 %). Výhodami použití nezralého přírodního sýra jsou jeho nižší náklady a vznik stabilnějšího produktu v porovnání se sýrem dostatečně zralým, avšak finální výrobek se vyznačuje horší a prázdnější chutí [12, 31].

Brickley a kol. [45] studovali vliv rostoucího stupně proteolýzy čedaru na texturní a viskoelastické vlastnosti vyrobeného taveného sýra. Stupeň proteolýzy čedaru nejrychleji vzrůstal prvních 28 dní po jeho výrobě, což korespondovalo s největším poklesem tuhosti vyrobeného taveného sýra. Během dalšího skladování se stupeň proteolýzy kaseinů nezvyšoval již tak rychle, a také pokles tuhosti taveného sýra byl pozvolnější.

Při výrobě taveného sýra by se měli výrobci vyhnout výběru přezrálé suroviny, která může způsobit texturní vady, např. zrnitost výrobku. Přezrálý přírodní sýr je spíše vhodné použít v kombinaci s méně vyžralými přírodními sýry či s tvarohem. Jak již bylo dříve zmíněno, proteiny hrají důležitou roli při emulgaci přítomného tuku. Pokud by tedy byla proteolýza příliš rozsáhlá, výsledný produkt by mohl mít tendenci uvolňovat nedokonale emulovaný tuk. Rozehnal a kol. [31] sledovali vliv stáří přírodního sýra jakost tavených sýrů. Při použití surovin starších než 2 měsíce se stávaly tavené sýry zrnitými a byly pozorovány kapénky tuku.

### **1.3.5 Ostatní suroviny použité při výrobě tavených sýrů**

Kromě přírodního sýra lze do tavených sýrů přidávat i další mléčné komponenty, např. krém, sušené odstředěné mléko, kasein, kaseináty, sušenou syrovátku, koncentrát syrovátkových bílkovin, koprecipitáty, mléčný retentát (výrobek získaný koncentrací mléčných bílkovin na základě ultrafiltrace mléka, částečně odstředěného mléka nebo odstředěného mléka), dále tzv. cheese base, podmásílí, máslo či bezvodý mléčný tuk [3, 4, 10-12, 28, 31, 32, 46-49].

Výše zmíněné látky jsou obvykle používány pouze jako částečná náhrada přírodního sýra, a to zejména z ekonomických důvodů. Některé suroviny, např. podmáslí či syrovátka, jsou vedlejšími produkty při výrobě některých potravin. U ostatních jmenovaných surovin je nutné kromě jejich ceny věnovat pozornost i vlastnostem, díky kterým by mohlo být jejich použití při výrobě tavených sýrů výhodné. Přestože se tyto suroviny (např. kasein, kaseináty, aj.) mohou na první pohled jevit dražší než samotný přírodní sýr, po přepočtu na sušinou jednotku a po zohlednění ostatních faktorů (vyšší stabilita produktu, nižší přepravní náklady, snadná příprava a aplikovatelnost ve srovnání se sýry přírodními), mohou být z ekonomického hlediska výhodnější než klasická surovina.

Přídavek těchto složek však může významně ovlivnit konzistenci a viskoelastické vlastnosti tavených sýrů [3, 4, 5, 9, 11, 12]. Při použití výše zmíněných surovin lze obvykle určit, zda jejich aplikace způsobí pokles či vzrůst tuhosti finálního produktu. Je však také důležité si uvědomit, že i stejné suroviny se mohou vzájemně lišit, např. v obsahu intaktního kaseinu či množství denaturovaných bílkovin, v závislosti na jejich způsobu výroby či způsobu a délce skladování [49].

#### **1.3.5.1 Krém**

Častou surovinou přidávanou do tavené směsi je tzv. krém. Jedná se o sýr již jednou utavený, který však nebyl zabalen a dále distribuován. Konzistenci tavených sýrů krém ovlivňuje především tím, že obsahuje tavicí soli a již jednou prošel tavicím procesem, v němž podléhá zejména následujícím změnám: iontové výměně, krémování, emulgaci tuku, aj. [11]. Krém vyrobený z nezralého přírodního sýra, používaný obvykle do směsi surovin s vysokým podílem přezralého přírodního sýra, indukuje či podporuje krémování, a tím i vznik typické struktury taveného sýra. Krém s texturou charakteristickou pro tavený sýr se naopak využívá při výrobě tuhých krájitelných tavených sýrů. Přesný mechanismus působení krému není zatím zcela znám [3, 11]. Bylo zjištěno, že všechny druhy krému zvyšují tuhost tavených sýrů. Podle Kapoor a Metzger [11] se do směsi surovin přidává krém v množství 2 až 15 % w/w, podle Muslow a kol. [12] lze použít až 20 % w/w. Tyto koncentrace krému a druh krému (podle zralosti původní suroviny) jsou však pouze teoretické. V praxi se obvykle jako krém využívají neshodný výrobek či zbytky taveného sýra ulpěné na stěnách tavicího zařízení z předchozí várky.

#### **1.3.5.2 Sušené odstředěné mléko, sušená syrovátka**

Obecně bylo zjištěno, že aplikace sušeného odstředěného mléka roztíratelnost tavených sýrů zlepšuje. Přídavek sušeného odstředěného mléka či syrovátky

mohou být nežádoucí z důvodu přítomnosti laktózy, a tedy větší tendence taveného sýra k neenzymatickému hnědnutí již během procesu tavení a dále v průběhu skladování. Přídavek těchto surovin musí být tedy pečlivě kontrolován z důvodu možnosti uplatnění Maillardových reakcí či tvorby krystalů laktózy [3, 11, 12, 50].

### **1.3.5.3 Syrovátkové proteiny**

Přídavek syrovátkových proteinů do tavené směsi surovin ovlivňuje nejen senzorické vlastnosti, ale také tuhost finálních výrobků. Výsledné vlastnosti taveného sýra se liší podle vlastností použitých syrovátkových bílkovin, např. výsledná konzistence může být ovlivněna denaturovanými syrovátkovými proteiny jiným způsobem než stejnými bílkovinami v nativním stavu. Syrovátkové proteiny se používají zejména jako plnidlo, tj. jako látka zvětšující objem potraviny. Ačkoli neinteragují s tavicími solemi, díky vzájemným interakcím syrovátkových proteinů a jejich interakcím s kaseinovými molekulami při zvýšené teplotě dochází ke zvýšení tuhosti tavených sýrů [3, 11, 12]. Gupta a Reuter [28] nahradili při výrobě taveného sýra část čedaru koncentrátem syrovátkových bílkovin získaným ultrafiltrací syrovátky. Se zvyšujícím se obsahem syrovátky ve vzorku došlo ke zvýšení tuhosti vzorků ve srovnání s výrobkem získaným pouze z čedaru.

### **1.3.5.4 Cheese base**

Anglický termín „cheese base“ je v podstatě sýr získaný okyselením ultrafiltrovaného odstředěného mléka, který však kromě kaseinů obsahuje také syrovátkové bílkoviny. Do českého jazyka tento anglický termín nebyl prozatím přeložen. Cheese base se vyrábí z mléčného retentátu, do kterého se přidají bakterie mléčného kvašení, jež sníží pH retentátu na 5,2 – 5,8. Dále je provedena pasteurace produktu a obsah sušiny je obvykle upraven na 60 %. Tento výrobek lze použít jako náhrada části přírodního sýra při výrobě sýrů tavených zejména díky jeho nižší ceně. Díky vysokému obsahu intaktního kaseinu v cheese base se tavené sýry se zvyšujícím se podílem cheese base stávají tužšími [3, 12, 38].

### **1.3.5.5 Koprecipitáty**

Mezi suroviny obsahující jak syrovátkové bílkoviny, tak i kaseiny dále patří tzv. koprecipitáty. Jejich výroba zahrnuje tepelné ošetření mléka na teplotu 80 až 95 °C, následné srážení proteinů okyselením a přidavkem vápenatých iontů obvykle ve formě  $\text{CaCl}_2$  [3, 7, 8]. Koprecipitáty mohou obsahovat 0,5 až 3,0 % w/w vápenatých kationtů, což závisí na množství přidaného chloridu



vápenatého. Do tavené surovinové směsi se přidávají v množství až 5% w/w. Přídavek koprecipitátu do taveného sýra způsobí vzrůst tuhosti výrobku [3].

### **1.3.5.6 Kaseiny a kaseináty**

Další složkou, která se často při výrobě tavených sýrů využívá, jsou kaseiny a kaseináty, zvláště kaseinát sodný či vápenatý. Kasein a kaseináty se vyznačují obdobnou cenou (po přepočtu na sušinou jednotku), lepšími emulgačními vlastnostmi a stálým obsahem neporušeného kaseinu ve srovnání se sýrem přírodním, jež podléhá procesům zrání [3]. Výsledná konzistence taveného sýra může být ovlivněna různou měrou v závislosti na druhu použitého kaseinu či kaseinátu a také na podmínkách, za kterých byly uvedené suroviny vyrobeny [12].

### **1.3.5.7 Podmáslí**

Přídavek podmáslí do tavených sýrů může být realizován jednak z důvodů ekonomických a jednak z důvodu zvýšení nutriční hodnoty výrobku. Podmáslí je zdrojem plnohodnotných mléčných bílkovin, fosfolipidů, laktózy, vitaminů a mnohých minerálních látek [32, 47, 48].

Zatímco např. kaseiny, kaseináty či syrovátkové proteiny jsou používány pro úpravu obsahu sušiny v sýru, podmáslím lze standardizovat obsah vody v produktu. Podle Henning a kol. [5] bylo při výrobě taveného sýra použito sladké podmáslí, jež se získává jako vedlejší produkt při výrobě másla. Zatímco sensorické vlastnosti nebyly přídavkem podmáslí negativně ovlivněny, finální výrobek vykazoval vyšší zdánlivou viskozitu a byl celkově tužší.

Při výrobě tavených sýrů lze využít rovněž aplikaci sušeného podmáslí [32, 47, 48]. Březina a kol. [47] doporučují použít sušené podmáslí v množství 10 až 20 % w/w. Dědková a kol. [32] zkoumali fyzikálně chemické (obsah sušiny, TVS, laktózy, bílkovin, titrační kyselost, pH a peroxidové číslo) a organoleptické vlastnosti tavených sýrů s čerstvým či 3 týdny skladovaným sušeným podmáslím. Přídavek sušeného podmáslí neovlivnil negativně jakost vyrobených tavených sýrů. Je však nutné zabránit vzniku oxidačních produktů při žluknutí tuků, jež by mohly způsobit zhoršení chuti a vůně sušeného podmáslí, a tím i organoleptické vlastnosti tavených sýrů. Z tohoto důvodu by bylo žádoucí používat spíše čerstvé sušené podmáslí, resp. sušené podmáslí skladované co nejkratší dobu či za podmínek omezujících žluknutí tuků.

Podmáslí je dále možné kyselým či kombinovaným srážením zpracovat na tvaroh a ten poté použít do tavené směsi v množství 10 až 20 % w/w [48].

### 1.3.5.8 Hydrokoloidy

Při výrobě tavených sýrů, jejich analogů či tavených sýrů se sníženým obsahem tuku se často využívá přídavku různých hydrokoloidů. Tyto látky jsou mnohdy nezbytné při realizaci náhrad tradičních surovin, tj. přírodního sýra či mléčného tuku. Hydrokoloidy stabilizují vzniklou emulzi, zlepšují vaznost vody či tvoří gely, čímž značně ovlivňují finální konzistenci výrobků. Jejich použití je obvyklé např. při zpracování přežralých přírodních sýrů s vysokým stupněm proteolýzy, kdy nedochází k dostatečnému krémování (tj. nárůstu viskozity díky hydrataci a botnání bílkovin). Také se aplikují při výrobě sýrů s vysokým obsahem vlhkosti ke zvýšení tuhosti produktu [3, 4, 11, 12, 33, 36, 51-53].

Přídavkem různých hydrokoloidů do tavených sýrů či jejich analogů se zabývají odborné práce autorů Swenson a kol. [36], Bennet a kol. [51], Černíková a kol. [52], Gustaw a Mleko [53], Liu a kol. [54], aj. Z hydrokoloidů byly použity např. želatina, škrob, karagenan, guarová guma, lokustová guma či pektin. Ve většině případů došlo přídavkem těchto látek ke zvýšení tuhosti taveného sýra. Velikost zvýšení závisí potom na použité koncentraci hydrokoloidu [36, 51-54]. Jak již bylo uvedeno výše, hydrokoloidy (např. pektin, xanthan, guarová guma, karagenany, aj.) lze s úspěchem aplikovat také při výrobě tavených sýrů se sníženým obsahem tuku [40].

### 1.3.6 Skladba a množství tavicích solí

Mezi nejpoužívanější tavicí soli patří soli kyseliny citronové a trihydrogenfosforečné. Složení směsi tavicích solí (tj. druh použité tavicí soli) a její koncentrace může signifikantně ovlivnit výslednou texturu a konzistenci tavených sýrů. Byly zkoumány různé druhy fosforečnanů a jejich účinky na výslednou konzistenci taveného sýra. Při použití  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  vzniká tužší sýr než např. při použití  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ . Obecně lze říci, že při aplikaci ortofosforečnanů či citronanů vznikají méně tuhé výrobky než při použití kondenzovaných fosforečnanů. Tento fakt je vysvětlován vyšší afinitou polyfosforečnanů k  $\text{Ca}^{2+}$  iontům, což vede k lepší sekvestraci vápníku, ke zvýšení hydratace bílkovin, a tím k tvorbě pevnější struktury výrobku [3, 23, 36]. Gupta a Reuter [28] zkoumali tuhost výrobku s konstantním obsahem syrovátkových proteinů a vzrůstající koncentrací citronanu trisodného. Vzorky s nižším obsahem tavicí soli byly méně tuhé. Stejných závěrů, tj. vyšší tuhosti s rostoucí koncentrací tavicích solí, dosáhli také Raval a Mistry [46]. Další informace týkající se tavicích solí jsou uvedeny v samostatné kapitole 1.2.

### 1.3.7 Způsob zpracování taveniny

Rostoucí délka a teplota tavení způsobují zvýšení tuhosti a elasticity systému, zatímco jeho roztíratelnost klesá [11, 12]. Opačnou závislost pozoroval Swenson a kol. [36], avšak v jejich studii byl použit odtučněný tavený sýr. Při tavicí teplotě  $> 95\text{ }^{\circ}\text{C}$  dochází k poklesu tuhosti taveného sýra (sýry vyráběné UHT ošetřením mají tekutější charakter než sýry vyráběné při nižších teplotách). Pokud je tavenina ponechána příliš dlouhou dobu při teplotě  $70 - 90\text{ }^{\circ}\text{C}$  může dojít k tzv. překrémování (angl. „*over-creaming*“), kdy vzniká produkt velice tuhý a nestabilní se sklonem k uvolňování vody [3, 22].

Rychlost míchání směsi surovin při tavicím procesu je dalším faktorem, který může zapříčinit změny v konzistenci finálního výrobku. Garimella Purna a kol. [44] sledovali ihned po výrobě tuhost tavených sýrů v závislosti na různé rychlosti míchání. V této studii byly testovány 2 rychlosti míchání, a to 450 a 1050 otáček za minutu. Při vyšší rychlosti byl výsledný produkt tužší. Autoři provedli také analýzu pomocí elektronové mikroskopie a zjistili, že velikost tukových kuliček byla u vzorků vyrobených při vyšší rychlosti míchání (1050 rpm) menší v porovnání se vzorky připravených při rychlosti nižší (450 rpm). Počet tukových kuliček se naopak s vyšší rychlostí míchání vzrostl [11, 44]. Tyto závěry se shodují s poznatky uvedenými v kapitole 1.3.1.

Důležitým parametrem ovlivňujícím konzistenci tavených sýrů je rychlost chlazení výrobku po jeho výrobě. Piska a Štětina [27] či Zhong a kol. [30] zjistili, že při rychlém zchlazení výrobku ihned po výrobě vznikají roztíratelnější a méně tuhé produkty než při chlazení pomalejším.

### 1.3.8 Délka a způsob skladování tavených sýrů

Během skladování dochází v matrici taveného sýra k nejrůznějším změnám, které mohou zapříčinit změnu v konzistenci výrobku. Obvykle dochází k postupnému tuhnutí tavených sýrů [55].

Ztráta vody během skladování vede k zisku tužší struktury a je podstatně ovlivněna délkou a teplotou skladování a také typem použitého obalového materiálu a jeho bariérovými vlastnostmi [12, 55]. Např. plátkový tavený sýr skladovaný při  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  po dobu jednoho měsíce může ztratit okolo  $2\text{ až }5\text{ g.kg}^{-1}$  vody [55].

Dalším faktorem, jenž přispívá ke změně konzistence tavených sýrů, je hydrolýza polyfosforečnanových tavicích solí, která začíná již při tavicím procesu a pokračuje během skladování. Hydrolýza je dokončena přibližně po 7 až 10 týdnech skladování a během ní dochází ke snižování pH výrobků. Polyfosforečnany jsou postupně hydrolyzovány až na jednoduché fosforečnany, které mohou přispívat k tvorbě tužší struktury výrobku [12, 55].

Opačný trend, tj. zlepšení roztíratelnosti, může být způsobeno činností enzymů. Většina enzymů je inaktivována během tavicího procesu. V průběhu skladování se však mohou uplatnit termostabilní proteolytické enzymy, což může vést k vyššímu obsahu hydrolyzovaného kaseinu, a tedy ke zvýšení roztíratelnosti výrobku [12, 55].

Podle Awad a kol. [56] se s rostoucí délkou skladování tuhost výrobku zvyšuje. Tento fakt je vysvětlen poklesem hodnoty pH, jež je způsoben hydrolýzou tavicích solí. Podstatnější změny byly sledovány u vzorků skladovaných při pokojové teplotě 20 °C oproti vzorkům uchovávaných při 7 °C. Buňka a kol. [57] se zabývali studiem konzistence sterilovaných tavených sýrů uchovávaných po dobu 2 let při teplotě 8 či 23 °C. Zatímco se tuhost produktu skladovaného při teplotě 8 °C během celých 2 let zvyšovala, u sýrů uchovávaných při teplotě 23 °C začala tuhost po ročním skladování klesat.

## **1.4 Hydrokoloidy**

Hydrokoloidy jsou polymerní látky schopné vázat velký objem vody. Tuto schopnost vykazují polysacharidy a bílkoviny. Mezi nejčastěji používané hydrokoloidy v potravinářském průmyslu patří např. škroby, karagenany, pektiny, arabská guma, lokustová guma, algináty, agar, želatina, kaseináty, aj. Do potravin se obvykle používají v množství do 1 % w/w [58]. V potravinách plní hydrokoloidy nejrůznější funkce, z nichž nejvýznamnější jsou jejich stabilizační účinky (pěny či emulze), tvorba gelu a zahušťovací schopnosti. Některé hydrokoloidy lze využít také při náhradě dražších surovin či tuků (např. při výrobě analogů sýrů či výrobě nízkotučných tavených sýrů). Hydrokoloidy lze využít také jako stabilizátory v tavených sýrech s vysokým obsahem vlhkosti [51]. Podle Code of Federal Regulations je možné při výrobě tavených sýrů používat následující hydrokoloidy: lokustová guma, guarová guma, guma tragant, karagenan, alginát sodný, guma karaja, pektiny a karboxymethylcelulóza v množství do 0,8 % w/w [3, 11, 13, 14].

## **1.5 Pektin**

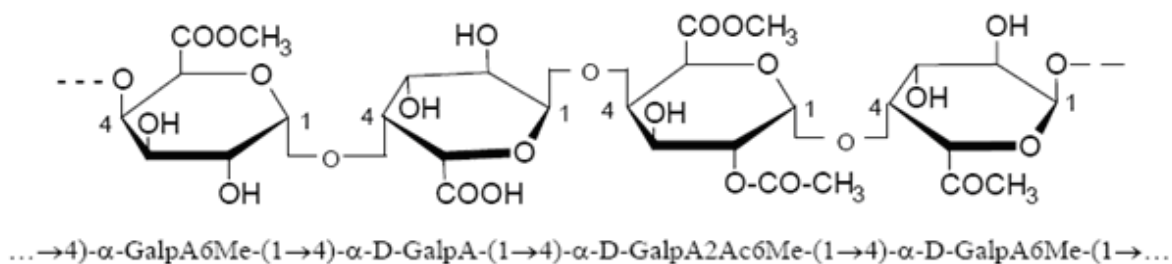
Pektiny jsou komplexní polysacharidy nacházející se v pletivech vyšších rostlin jako součásti stěn primárních buněk a mezibuněčných prostor. V různém množství se vyskytují prakticky ve všech druzích ovoce a zeleniny [59]. Pro své funkční vlastnosti jsou pektiny hojně využívány v potravinářském průmyslu jako želírující látky, stabilizátory, zahušťovadla či emulgátory [60, 61]. V současnosti jsou hlavními zdroji komerčně vyráběných pektinů zejména kůra

z citrusových plodů a jablečné výlisky, z nichž se požadované polysacharidy získávají po okyselení extrakcí vodou [60, 62].

### 1.5.1 Chemická struktura pektinu

Z chemického hlediska se pektiny řadí mezi heteropolysacharidy o proměnném složení. Jejich chemická struktura je velmi složitá a mění se se zdrojem pektinu a s extrakčními podmínkami [59, 63].

Základní struktura všech pektinů je vždy tvořena lineárním řetězcem, který je složen z 25-100 jednotek kyseliny D-galakturonové spojených vazbami  $\alpha$ -(1→4). Hlavní řetězec bývá občas přerušován ramnozylovými zbytky, které jsou ke kyselině galakturonové připojeny vazbami  $\alpha$ -(1→2). Oblasti tvořené pouze kyselinou polygalakturonovou, tzv. homogalakturonany, se nazývají hladké úseky a jsou nesubstituované.

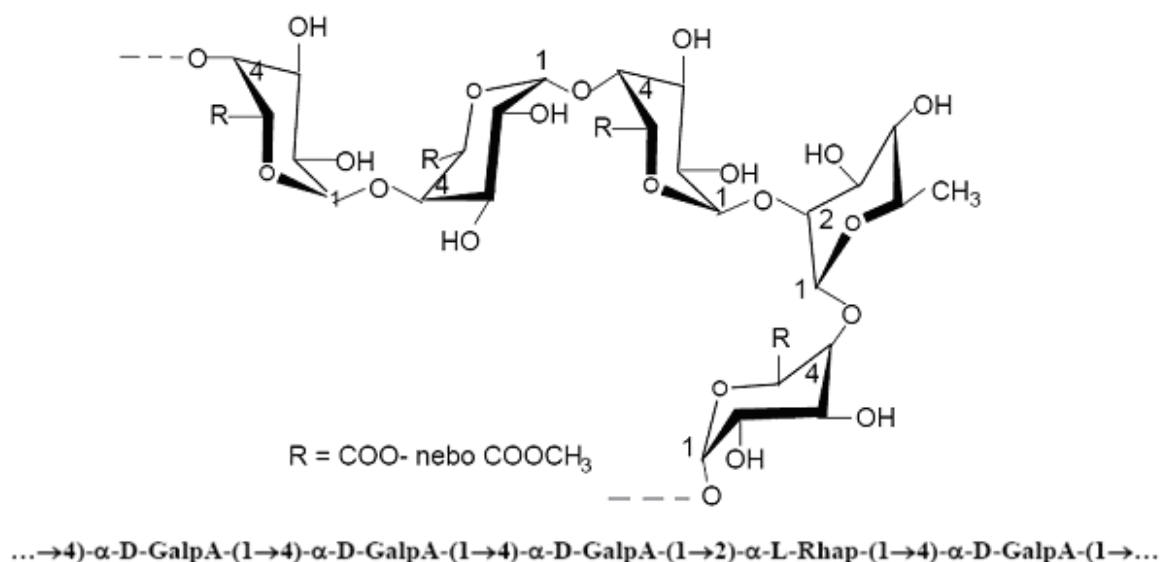


*Obr. 1.2: Základní struktura homogalakturonanu [59]*

Oblasti kyseliny galakturonové přerušované ramnózou, tzv. ramnogalakturonany, bývají substituovány různými neutrálními cukry (např. L-arabinóza, D-galaktóza, D-xylóza, D-glukóza, D-manóza), čímž se vytváří postranní řetězce, a na molekule pektinu tak vznikají tzv. vlasové oblasti [59, 60, 62-64]. Během extrakce pektinů z přírodních materiálů však dochází ke značné hydrolýze postranních řetězců, a proto komerčně dostupné produkty obsahují pouze stopová množství neutrálních cukrů jiných než ramnóza [64].

Jednotky kyseliny galakturonové mohou být v poloze C-6 do různého stupně (průměrně ze 70 %) esterifikovány metanolem. Některé včetně již metylovaných jednotek mohou být dále v poloze C-2 nebo C-3 acetylovány. V poloze C-2, C-3 a C-4 se také mohou nacházet O-metoxylové skupiny. Volné karboxylové skupiny mohou být neutralizovány různými kationty [59, 65]. Podle stupně esterifikace (DE) neboli metylace (na C-6), který udává podíl galakturonových kyselin v % ve formě metylesteru, se pektiny rozdělují na vysokoesterifikované (HMP; DE > 50 %) a nízkoesterifikované (LMP; DE < 50 %) [59, 60, 64]. Zatímco vysokosterifikované pektiny se přirozeně nachází ve vyšších rostlinách

(DE je obvykle 67 až 73 %), nízkometoxylové pektiny se vyrábí jejich deesterifikací (např. kyselou, alkalickou či enzymovou hydrolýzou). Stupeň esterifikace se u komerčně vyráběných vysokoesterifikovaných pektinů pohybuje v rozmezí 58 – 76 %, u nízkoesterifikovaných pektinů v rozmezí 30 – 35 % (resp. 40 %) [64, 66-69].



**Obr. 1.3:** Základní struktura ramnogalakturonanu [59]

### 1.5.2 Vlastnosti pektinu

Pektiny jsou poměrně stabilní v kyselém prostředí. Největší stabilitu vykazují v rozmezí pH 3 - 4. Při hodnotách pH < 2,5 dochází k hydrolýze metoxylových a acetylových skupin a glykosidických vazeb. Ve slabě kyselém prostředí (pH > 5) dochází při zvýšené teplotě ke štěpení polysacharidického řetězce a také začíná samovolně probíhat deesterifikace. Rozpustnost pektinů ve vodném roztoku se mění s odlišnostmi ve struktuře, molekulové hmotnosti, pH a také s obsahem přítomných kationtů. Obecně jsou pektiny rozpustné ve vodě (rozpustnost ve vodě klesá s rostoucím stupněm esterifikace), sacharózovém roztoku, roztoku chloridu sodného a v roztoku etanolu o nízké koncentraci. Rozpustnost v rostlinných olejích a propylenglykolu je omezená. Pektiny jsou nerozpustné v přítomnosti dvojmocných a trojmocných solí [59, 62, 66].

### Tvorba gelů

Želírující vlastnosti pektinů jsou silně ovlivněny stupněm jejich esterifikace (resp. stupněm acetylace a amidace). Stupeň metylace zásadně mění

mechanismus tvorby pektinových gelů a také jejich výsledné reologické vlastnosti.

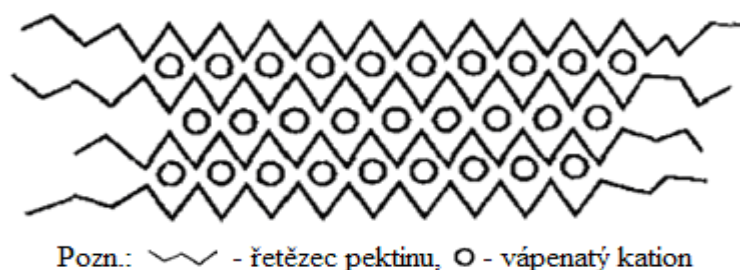
### **a) Vysokoesterifikovaný pektin**

Vysokoesterifikovaný pektin vyžaduje pro vyvolání tvorby gelu přítomnost rozpustných nízkomolekulárních látek (obvykle sacharózu) a kyselé prostředí o  $\text{pH} \approx 3$ . Ke tvorbě trojrozměrné struktury dochází vzájemným spojováním pektinových řetězců. Této asociace se účastní vodíkové můstky a hydrofobní interakce, které vznikají mezi metylovými skupinami sousedních polymerních řetězců [61, 70]. K tvorbě gelu dochází spontánně při ochlazování horkých pektinových roztoků. Výsledné gely jsou tepelně stabilní, tzn. že při opětném zahřátí netají a nejsou tedy termoreverzibilní [59, 64, 71]. Rychlost tvorby gelu závisí na stupni esterifikace pektinu. Pektiny s  $\text{DE} = 70 - 75 \%$  jsou nazývány rychle tuhnoucí, pektiny s  $\text{DE} = 65 - 70 \%$  jsou středně tuhnoucí a s  $\text{DE} = 55 - 65 \%$  pomalu tuhnoucí [66]. K tvorbě gelu HMP dochází pouze v kyselém prostředí. Při vyšších hodnotách  $\text{pH}$  ( $> 4,7$ ) je podle Tsoga a kol. [64] a Evageliou a kol. [71] vzájemné spojování sousedících řetězců potlačováno odpudivými elektrostatickými interakcemi záporně nabitých karboxylových skupin.

Pro tvorbu HMP gelu je velmi důležitá přítomnost rozpuštěných nízkomolekulárních látek. Gelace je obvykle indukována přítomností  $60 - 65 \%$  w/w sacharózy, avšak mohou být použity i monosacharidy, např. glukóza, fruktóza, ribóza, manóza či polyoly. Bez přítomnosti těchto látek dochází ve vodném roztoku pektinu k tvorbě vodíkových můstků mezi vodou a polymerem. Interakce voda-polymer pak brání vzájemné interakci dvou polymerů, která je důležitá pro vznik gelu. Přidáním sacharózy či jiných nízkomolekulárních sacharidů dochází ke snížení aktivity vody, tzn. že dochází k poklesu obsahu vody schopné poutat se vodíkovými můstky k polymeru. Inhibicí interakcí voda-polymer jsou podporovány vzájemné interakce pektinových řetězců, a tedy i vznik trojrozměrné sítě [64, 71]. Účinnost jednotlivých látek při tvorbě gelu v kyselém prostředí stoupá v následujícím pořadí: fruktóza < sacharóza < glukóza [71]. Účinnost sorbitolu a xylitolu je srovnatelná s účinností glukózy či sacharózy [64]. Ve své další práci se Tsoga a kol. [72] detailně zaměřili pouze na anomální chování fruktózy ve vodném roztoku HMP. Nejnižší efektivita fruktózy je zapříčiněna tvorbou specifických komplexů fruktóza-pektin, čímž jsou zeslabeny, nikoli však zcela eliminovány, vzájemné interakce mezi řetězcí pektinů požadované pro vznik gelu. Podobnou efektivitu jako fruktóza vykazovaly glycerol a ethan-1,2-diol [64].

## b) Nízkoesterifikovaný pektin

Nízkomethoxylový pektin využívá při tvorbě gelu zcela jiný mechanismus než HMP. Netvoří se zde přímo vazby pektin-pektin, ale jednotlivé řetězce jsou k sobě poutány přes karboxylové skupiny pomocí polyvalentních (zpravidla vápenatých) kationtů, jejichž přítomnost je pro vznik trojrozměrné sítě nezbytná. Polyvalentní kationty tedy zesítují jednotlivé řetězce polysacharidu a neutralizují záporně nabitě karboxylové skupiny na molekule pektinu. Tento mechanismus tvorby gelu se označuje anglickým termínem „egg-box model“ [70, 73].



**Obr. 1.4:** Interakce LMP s vápenatými kationty, tzv. „egg-box model“ [73]

Tvorba LMP gelu závisí na pH, iontové síle, množství přidaného vápníku, koncentraci pektinu a stupni jeho esterifikace a přítomnosti sekvestrantů (např. di- a polyfosforečnanů a citronanů) [59, 62]. Např. interakce pektinu s  $\text{Ca}^{2+}$  je tím účinnější, čím nižší je stupeň metylace polymeru [68]. LMP mohou v přítomnosti vápenatých kationtů tvořit gely v širokém rozsahu koncentrací rozpustné sušiny (10 – 80 %) a v širokém rozmezí  $\text{pH} > 3$  [60, 62]. Přídavek cukrů (obvykle sacharózy) do systému není pro vznik gelu nutný, avšak jeho přítomnost zvyšuje tuhost a teplotu tání výsledného gelu [60, 74].

LMP tvoří, na rozdíl od HMP, termoreverzibilní gely, které při opětném zahřátí tají. Fu a Rao [75] ve své práci sledovali faktory ovlivňující teplotu ztekucení pektinového gelu, tj. zaměřili se na přechod systému ze stavu gelu do stavu solu během zahřívání. Teplota tání gelu se zvyšovala s rostoucí koncentrací pektinu a sacharózy a naopak klesala s rostoucí koncentrací sorbitolu. Hydroxylové skupiny sacharózy tvoří vodíkové můstky s volnou vodou, čímž ji imobilizují a zabraňují tak nežádoucím interakcím voda-pektin. Pektin má pak více vazebných míst pro vápenaté kationty a může tak vzniknout pevnější gel s vyšší teplotou ztekucení. Sorbitol, na rozdíl od sacharózy, odebírá z roztoku vápenaté kationty a tvoří s nimi komplexy, čímž znemožňuje interakce pektin- $\text{Ca}^{2+}$  potřebné pro tvorbu a pevnost gelu. Na přechod takto vzniklého gelu do stavu solu pak stačí poměrně nízká tepelná energie (nízká teplota ztekucení). Sorbitol má tedy nežádoucí vliv na vznik a pevnost gelu z nízkoesterifikovaného pektinu.



LMP může vytvářet trojrozměrné struktury také za nepřítomnosti  $\text{Ca}^{2+}$ , avšak je nutné snížit pH pod hodnotu 3,3, kdy dochází k výraznému snížení hustoty náboje na molekule pektinu, a tím ke snížení odpuzivých elektrostatických interakcí [76].

LMP je schopen vytvářet gely v širokém rozmezí  $\text{pH} > 3$ . Wehr a kol. [77] uskutečnili experiment, ve kterém se snažili zjistit, zda lze gelaci vyvolat také v alkalickém prostředí a pouze v přítomnosti monovalentních iontů. K roztoku nízkoesterifikovaného pektinu zbaveného  $\text{Ca}^{2+}$  přidali alkalický roztok jednovazebných kationtů (NaOH či KOH). Z výsledků vyplynulo, že v alkalickém prostředí dochází k demetylaci pektinu a k úplné disociaci karboxylových skupin. Záporně nabitě odpuzující se karboxylové skupiny pektinu jsou však neutralizovány  $\text{Na}^+$  či  $\text{K}^+$  ionty a ke gelaci tedy může i za těchto podmínek dojít.

### 1.5.3 Interakce kaseinů s pektiny

Typ interakcí mezi pektiny a kaseinovými bílkovinami se liší zejména podle formy kaseinu, stupně esterifikace pektinu, množství vápníku v systému, pH a iontové síly ve výrobku [78]. Hodnota pH ovlivňuje jednak náboj na kaseinových částicích a jednak na molekule pektinu. Kaseinové micely mohou být na základě pH prostředí nabity kladně, záporně či se mohou navenek jevit jako elektroneutrální.

Při:

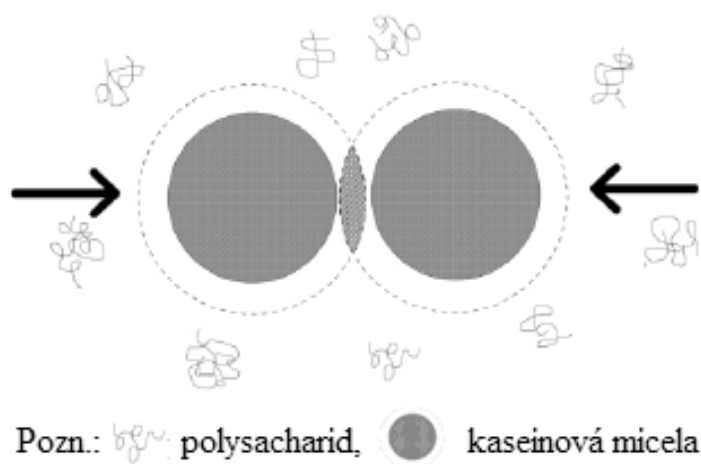
- $\text{pH} < \text{pI}_{\text{KASEIN}}$  ( $\approx 4,6$ ) převažuje v bílkovině kladný náboj a proteiny jsou tedy schopné reagovat se záporně nabitými hydrokoloidy, tj. např. s pektinem,
- $\text{pH} > \text{pI}_{\text{KASEIN}}$  převládá v kaseinové micelle náboj záporný.

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 [79]. Podle hodnoty pH tedy pektin buďto interaguje s micelou s převládajícím kladným nábojem (adsorbuje se na její povrch) či nikoliv.

Jak již bylo zmíněno dříve, také želírující vlastnosti pektinu jsou závislé na pH prostředí. Zatímco HMP tvoří gely v kyselém prostředí ( $\text{pH}_{\text{MAX}} \approx 4,7$ ), LMP tvoří gely v širokém rozsahu  $\text{pH} > 3$ . Podle kyselosti prostředí může být pektin želírujícím či neželírujícím hydrokoloidem.

Marozienne a de Kruif [80] sledovali interakce pektinu (HMP i LMP) s kaseinovými micelami při téměř neutrálním pH 6,7. Protože je při této hodnotě

$pK_{\text{PEKTIN}} < \text{pH} > pI_{\text{KASEIN}}$ , jsou pektin i micely záporně nabitý a k přitažlivým elektrostatickým interakcím (např. k adsorpci) nedochází. Zatímco zředěné vzorky vykazovaly stabilitu, při vyšších koncentracích došlo v důsledku vzájemné nemísitelnosti obou polymerů k rozdělení systému na dvě fáze. Rozdělení systému na dvě zřetelné vrstvy je připisováno tzv. depleční flokulaci. Při ní jsou molekuly polysacharidu vyloučeny z nejtěsnějšího okolí téměř kulovitých micel (tzv. vyloučený objem) a následkem velkého osmotického tlaku okolního prostředí jsou micely tlačeny k sobě, čímž dochází k jejich agregaci (viz Obr. 1.5) [81, 82]. V horní fázi se nacházel pektin, naopak spodní vrstva byla zaplněna kaseinovými micelami. V případě HMP zůstala horní vrstva kapalná, zatímco při použití LMP se v této fázi vytvořil gel. Shodné výsledky získali také Tuinier a kol. [83] u HMP.



**Obr. 1.5:** Znárodnění depleční flokulace [83]

Protože se pektin využívá zejména na stabilizaci kyselých potravin, sledovali Marozienne a de Kruif [80] také chování směsi při nižším pH 5,3. Za těchto podmínek byly karboxylové skupiny pektinu disociovány a pH se již blížilo izoelektrické oblasti kaseinu, tj. záporný náboj na micelách byl redukován. Navzdory skutečnosti, že u obou polymerů převažoval záporný náboj, došlo k adsorpci pektinu na povrch kaseinových micel. Tuinier a kol. [83] uvádí, že povrch kaseinových micel může obsahovat i při  $\text{pH} > pI_{\text{KASEIN}}$  kladně nabitá místa. Při tomto pH je však již minimalizován negativní náboj  $\kappa$ -kaseinu bránící přístupu záporně nabitého polysacharidu k povrchu micely a adsorpce je tedy možná. Adsorpce pektinu na povrch kaseinových micel je vícevrstevná. Při zvýšení pH z hodnoty 5,3 zpět na neutrální hodnotu došlo k desorpci pektinu z kaseinových micel a k poklesu viskozity vzorku. Desorpce však probíhala pomaleji než adsorpce [80].

Při nízké koncentraci pektinu (při pH 5,3) byla pozorována pouze mŕstková flokulace, při koncentraci polysacharidu dostatečné pro úplné pokrytí povrchu micel pak došlo ke stabilizaci systému (polymerová stabilizace). K polymerní stabilizaci kaseinových micel je dostačující nižší koncentrace HMP ve srovnání s LMP. Další zvyšování koncentrace pektinu způsobilo depleční flokulaci, tj. destabilizaci koloidní disperze [80]. Tyto závěry se plně shodují s prací Syrbe a kol. [79]. Při velmi vysokých koncentracích pektinu pak obzvláště LMP může vytvářet spojitou síť (tj. gel), kterou lze dispergovat zředěním systému.

V odborné literatuře byly dále nalezeny informace o interakcích pektinu s kaseinátem. Einhorn-Stoll a kol. [84] zkoumali vzájemnou slučitelnost pektinu o různém DE (26 – 54 %) s kaseinátem sodným za různých podmínek (iontová síla, pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ). Slučitelnost těchto dvou složek vzrůstala s rostoucím pH a klesající iontovou silou systému či klesajícím DE pektinu.

#### **1.5.4 Využití pektinů v potravinářství**

Pro své funkční vlastnosti jsou pektiny hojně využívány v potravinářském průmyslu. Upravují texturu mnoha potravin a využívají se především jako želírující látky, stabilizátory, zahušřovadla či emulgátory [60, 61]. Účinek pektinu je ve všech potravinářských aplikacích silně závislý na vlastnostech výrobku, tj. na jeho pH, iontové síle, složení, koncentraci a typu přítomných sladidel aj. Pokud je navíc do výrobku přidáno ovoce, pak záleží i na povaze a množství pektinu z něj pocházejícího [62].

Nejdříve byl pektin využíván jako želírující činidlo při výrobě marmelád, džemů a zavařenin, v nichž vytváří roztíratelné gely. V těchto produktech se nachází velké množství cukrů (rozpustná sušina 60 – 70 %) a pH se pohybuje v rozmezí 3,0 – 3,3, a proto je vhodné v těchto aplikacích použít HMP. Další uplatnění pektinů nalezl zejména v mlékárenském průmyslu (jogurty, ochucená jogurtová mléka aj.) a při výrobě cukrovinek (želé, náplně do čokolád, polevy aj.) [62, 85]. Dále se používá také jako stabilizátor nápojů fortifikovaných bílkoviny [86]. V současnosti se zkoumá možnost využití pektinu jako náhrady tuku při produkci nejrůznějších nízkotučných či odtučněných výrobků např. do pomazánek, majonéz, tavených sýrů, zmrzlin či pekárenských výrobků [54].

V mlékárenském průmyslu je pektin hojně využívaným a velmi perspektivním hydrokoloidem. Přídavkem pektinu do mléčných výrobků můžeme měnit jejich stabilitu a texturu.

### **a) Stabilizační účinky pektinu**

Pomocí pektinu lze stabilizovat např. jogurtová mléka, syrovátkové nápoje či směsi mléka s ovocnými šťávami. Stabilizační účinky tohoto hydrokoloidu spočívají 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 HMP, a to v koncentraci min. 0,3 % [87, 88]. Mechanismus stabilizace je založen na interakcích pektinu s kaseiny. Zejména se využívá tzv. polymerní stabilizace, např. u jogurtových mlék (angl. „*acid milk beverages*“) a jogurtů, u nichž dochází následkem snížení pH při fermentaci bakteriemi mléčného kvašení k agregaci kaseinových micel, a tím k destabilizaci těchto mléčných výrobků. Polysacharidové molekuly zde zcela obalí přítomné koloidní částice, čímž je stabilizují [78, 79, 86-90].

### **b) Želírující a zahušťovací účinky pektinu**

Těchto schopností se využívá pro zvýšení viskozity nebo tuhosti systému zejména u jogurtů s rozmíchaným koagulátem (angl. „*stirred yoghurts*“), avšak také u jogurtů s nerozmíchaným koagulátem (angl. „*set yoghurts*“). Přídavkem pektinu dochází k poklesu náboje na kaseinových částicích a k tvorbě gelu [88]. Pektin lze aplikovat také do sýrových pomazánek (angl. „*cheese spread*“), kde dochází ke vzniku gelu. Vhodným želírujícím činidlem je vzhledem k vyšší hodnotě pH výrobku LMP [85].

## 2 CÍLE PRÁCE

Základním cílem této práce bylo zhodnotit viskoelastické a sensorické vlastnosti tavených sýrů s přídavkem pektinu.

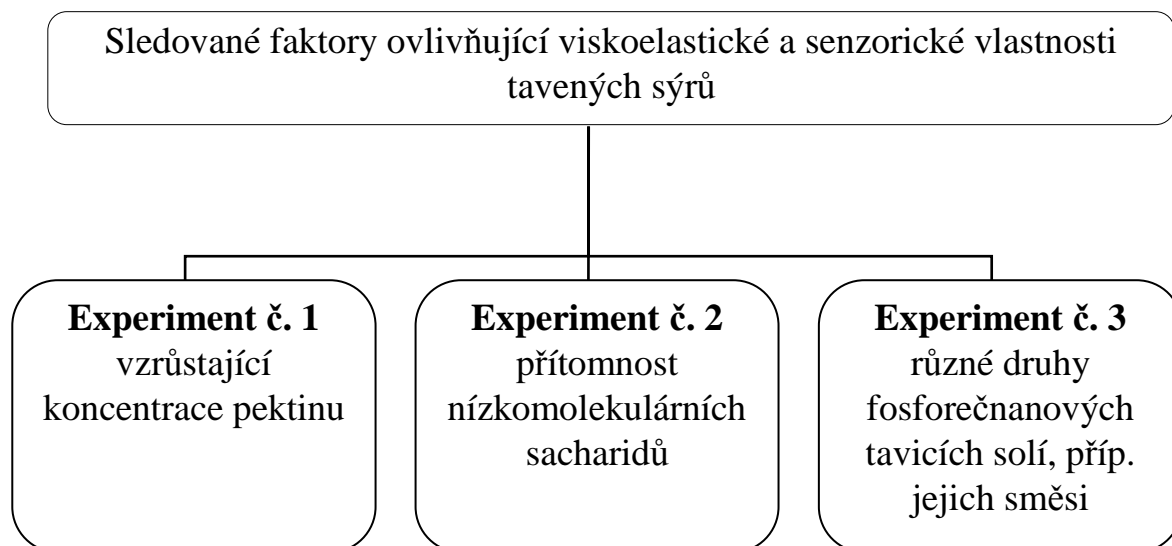
Dílčí cíle práce:

- vytvořit literární rešerši zabývající se především konzistencí tavených sýrů a faktory, které ji mohou ovlivňovat, a dále vlastnostmi pektinu a jeho interakcemi s kaseinem
- pomocí dynamické oscilační reometrie a sensorické analýzy posoudit vliv přídavku neesterifikovaného pektinu na viskoelastické a sensorické vlastnosti modelových tavených sýrů
- vyhodnotit vliv vybraných nízkomolekulárních sacharidů přítomných v tomto výrobku jako součást některých surovin, na konzistenci a sensorické vlastnosti tavených sýrů s přídavkem pektinu
- zjistit, zda je jejich konzistence ovlivněna všemi vybranými nízkomolekulárními sacharidy stejnou měrou či zda se různé nízkomolekulární sacharidy liší ve velikosti jejich účinku
- vyhodnotit vliv jednotlivých fosforečnanových tavicích solí a jejich vybraných směsí na viskoelastické vlastnosti tavených sýrů s přidaným pektinem

## 3 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

### 3.1 Experimenty disertační práce

V rámci této disertační práce byly prováděny tři na sebe navazující experimenty:



*Obr. 3.1: Jednotlivé experimenty realizované v rámci disertační práce*

#### 3.1.1 Popis experimentu č.1

V prvním pokusu byl zkoumán vliv přidavku různých koncentrací neesterifikovaného pektinu (0,2; 0,4; 0,6; 0,8 % w/w) na reologické a sensorické vlastnosti modelových vzorků tavených sýrů se 40 % w/w sušiny a 50 % w/w tuku v sušině. Bylo sledováno, zda přidavek pektinu způsobí změny v tuhosti vzorku, a zda je tato změna s rostoucím obsahem přidaného pektinu lineární či nikoliv.

V rámci prvního experimentu byly vyrobeny tři skupiny modelových tavených sýrů (I, II, III) připravené stejným technologickým postupem lišící se pouze v obsahu pektinu ve vzorku. V rámci každé skupiny bylo vyrobeno 5 následujících šarží sýrů: kontrolní vzorek bez přidavku pektinu a vzorky obsahující 0,2, 0,4, 0,6 a 0,8 % w/w pektinu. Seznam vyrobených šarží je uveden v Tab. II.

### 3.1.2 Popis experimentu č. 2

Ve druhém experimentu byl zkoumán vliv vybraných nízkomolekulárních sacharidů (D-fruktóza, D-glukóza, D-galaktóza, laktóza, sacharóza) na reologické a senzorické vlastnosti modelových vzorků tavených sýrů (40 % w/w sušina a 50 % w/w tuku v sušině) s přidavkem neesterifikovaného pektinu (0,2 a 0,4 % w/w). Monosacharidy či disacharidy se mohou do taveného sýra či do tavených výrobků dostat prostřednictvím různých ingrediencí (příspěvky ovlivňující chuť, přírodní nebo modifikované škroby, sušená syrovátka, sušené mléko), kterých mohou být součástí [3]. Bylo sledováno, zda je konzistence vzorků ovlivněna všemi vybranými nízkomolekulárními sacharidy (při stejné koncentraci) stejnou měrou či zda se různé nízkomolekulární sacharidy (rozdílné prostorové uspořádání, přítomnost různé funkční skupiny v molekule) liší ve velikosti jejich účinku. Srovnáván byl také účinek přidavku monosacharidu a disacharidu na konzistenci modelových tavených sýrů.

Pro experiment č. 2 byly vyrobeny celkem čtyři skupiny modelových tavených sýrů (IV, V, VI, VII). Všechny tyto skupiny modelových tavených sýrů obsahovaly vždy 12 různých šarží lišících se přidavkem nízkomolekulárního sacharidu či pektinu.

První dvě skupiny vzorků (IV a V) tohoto pokusu byly připraveny s přidavkem 1 % w/w monosacharidu (D-glukóza, D-fruktóza či D-galaktóza) a/nebo s přidavkem pektinu (0,2 nebo 0,4 % w/w). Byly tedy studovány účinky různých monosacharidů na viskoelastické vlastnosti tavených sýrů bez pektinu či s pektinem.

Skupiny VI a VII byly připraveny za účelem srovnání účinku monosacharidů s disacharidy a dále na porovnání účinku redukujících a neredukujících sacharidů. Při výrobě vzorků byly použity D-galaktóza, laktóza a sacharóza. Monosacharid D-galaktóza byl znovu použit z důvodu možnosti vzájemného porovnání účinků na viskoelastické vlastnosti vzorků skupiny VI a VII s výsledky získanými ve skupinách IV a V.

Všechny čtyři skupiny obsahovaly vždy kontrolní vzorek bez přidavku pektinu. Seznam vyrobených šarží je uveden v Tab. II. Z důvodu odlišnosti viskoelastických vlastností stejných šarží vzorků v různých skupinách, v důsledku použití různě zralých vstupních surovin, byly zkoumané vzorky vždy vztahovány ke kontrolnímu vzorku dané skupiny.

**Tab. II:** Jednotlivé šarže tavených sýrů vyrobených v rámci experimentů č. 1 a 2 \*

Skupina tavených sýrů		
Experiment č. 1	Experiment č. 2	
I, II, III	IV, V	VI, VII
K	K	K
0,2 % w/w CP	Gal	Gal
0,4 % w/w CP	Fru	Lac
0,6 % w/w CP	Glc	Sac
0,8 % w/w CP	0,2 % w/w CP	0,2 % w/w CP
	0,2 % w/w CP; Gal	0,2 % w/w CP; Gal
	0,2 % w/w CP; Fru	0,2 % w/w CP; Lac
	0,2 % w/w CP; Glc	0,2 % w/w CP; Sac
	0,4 % w/w CP	0,4 % w/w CP
	0,4 % w/w CP; Gal	0,4 % w/w CP; Gal
	0,4 % w/w CP; Fru	0,4 % w/w CP; Lac
	0,4 % w/w CP;Glc	0,4 % w/w CP; Sac

\* Gal – D-galaktóza; Fru – D-fruktóza; Glc – D-glukóza; Lac – laktóza; Sac – sacharóza; CP – pektin; K – kontrola

### 3.1.3 Popis experimentu č. 3

V posledním realizovaném experimentu byl zkoumán vliv přídatku různých druhů jednotlivých fosforečnanových tavicích solí (orto-, pyro- a polyfosforečnanů sodné) a jejich směsí na reologické vlastnosti tavených sýrů bez přídatku a s přídatkem pektinu.

V rámci tohoto experimentu byly vyrobeny modelové tavené sýry obsahující vždy jednu sodnou sůl kyseliny fosforečné jako tavicí sůl (skupiny VIII – X) či jejich směsí (skupiny XI – XVI). Podrobnější specifikace jednotlivých fosforečnanů je uvedena v kapitole 3.2. Ke všem vzorkům byly vždy vyrobeny rovněž varianty obsahující 0,4 % w/w pektinu.

Dále byly připraveny tavené sýry se směsmi dvou tavicích solí v různých poměrech. Dvojice tavicích solí byly sestaveny z polyfosforečnanu a pyrofosforečnanu a dále z polyfosforečnanu a ortofosforečnanu. Byly tedy vybrány vždy takové dvě tavicí soli, které se podstatně liší v pufrovacích



a chelatačních schopnostech (viz kapitola 1.2.2). Přehled jednotlivých šarží vyrobených v rámci skupin VIII až XVI je uveden v Tab. III.

V další etapě tohoto pokusu byla provedena úprava pH vzorků na obdobnou hladinu (v rámci skupiny) z důvodu vyloučení pH jako jednoho z faktorů ovlivňujícího viskoelastické vlastnosti tavených sýrů. pH bylo upraveno dle potřeby pomocí přidavku kyseliny či zásady. Úprava pH byla provedena u modelových tavených sýrů skupin X, XIII a XVI.

*Tab. III: Jednotlivé skupiny tavených sýrů vyrobených v rámci experimentu č. 3 a poměry jednotlivých fosforečnanů použitých ve směsi \**

Skupina tavených sýrů		
VIII, IX, X	XI, XII, XIII	XIV, XV, XVI
	PoP: Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	PoP: Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	100:0	100:0
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	75:25	75:25
Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	50:50	50:50
Na <sub>2</sub> H <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	25:75	25:75
Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	0:100	0:100
Polyfosforečnan sodný (PoP)		

\* V rámci skupin VIII – XVI byly ke všem vzorkům uvedeným v tabulce vyrobeny rovněž varianty obsahující 0,4 % w/w pektinu.

### 3.2 Suroviny pro výrobu modelových vzorků

V experimentu č. 1 byly vyrobeny modelové tavené sýry (40 % w/w sušina, 50 % w/w TVS) z následujících surovin:

- přírodní polotvrdý sýr typu Eidam (Mlékárna Kroměříž – KROMILK s.r.o.; 30 % w/w tuk v sušině; 50 % w/w sušina, stáří 8 – 10 týdnů)
- čerstvé máslo (min. 82 % w/w tuk)
- deionizovaná voda
- komerční tavicí soli (JOHA, BK Giulini GmbH, Ladenburg, Německo)
- neesterifikovaný pektin získaný z citrusových plodů (Sigma Aldrich, Inc., St. Louis, USA; > 90 % w/w sušina, > 74 % w/w obsah kyseliny galakturonové)

Všechny bloky přírodního sýra byly získány vždy od stejného výrobce. Záměrně byly pro výrobu různých skupin tavených sýrů použity Eidamské cihly různého stupně zralosti a odlišné šarže. Rozličná surovina byla použita z důvodu vyšší vypovídací schopnosti výsledků pro průmyslovou praxi, kde je velmi obtížné zajistit surovinu konstantních vlastností v delším časovém období, zejména surovinu s konstantním stupněm zralosti.

V experimentu č. 2 byly dále použity stejné suroviny včetně pektinu jako v prvním experimentu, avšak navíc byly použity následující nízkomolekulární sacharidy: D-glukóza (Glc; PENTA, Chrudim, ČR), D-fruktóza (Fru; PENTA, Chrudim, ČR), D-galaktóza (Gal; Fisher Scientific, Pardubice, ČR), laktóza (Lac; Lach-Ner, Neratovice, ČR) a sacharóza (Sac; Lach-Ner, Neratovice, ČR).

V experimentu č. 3 byly použity stejné suroviny včetně pektinu jako v experimentech předchozích, avšak tavicí soli JOHA byly nahrazeny jednotlivými fosforečnany od firmy FOSFA akciová společnost (Břeclav, ČR):  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ , polyfosforečnan sodný (PoP).

### 3.3 Výroba modelových vzorků

Modelové tavené sýry (40 % w/w sušina, 50 % w/w tuk v sušině) byly vyrobeny pomocí zařízení Vorwerk Thermomix TM 31 blender cooker (Vorwerk & Co. Thermomix, GmbH, Wupertal, Německo). Nejprve byla v Thermomixu provedena hydratace pektinu ve vodě zahřáté na 60 °C po dobu 10 minut. Poté byly přidány pokrájený přírodní sýr, čerstvé máslo, tavicí soli a zbytek deionizované vody nespotřebované na hydrataci pektinu. Nízkomolekulární sacharidy použité pouze v experimentu č. 2 byly před přidáním do směsi surovin rozpuštěny ve vodě. Tavení připravené směsi surovin bylo provedeno při tavicí teplotě  $90 \pm 1$  °C po dobu 1 minuty. Vzorky byly po utavení zabaleny do 100g polystyrénových vaniček a až do analýz uchovány v lednici při teplotě  $6 \pm 2$  °C.

### 3.4 Základní chemická analýza

Pro základní charakterizaci vzorků bylo provedeno stanovení obsahu sušiny, pH, tuku a popela. Obsah sušiny byl určen gravimetricky podle ČSN EN ISO 5534:2004 [91], obsah tuku byl stanoven acidobutyrometricky podle van Gulika [92], pH bylo zjištěno pomocí pH-metru Gryf 208 L (Gryf, Havlíčkův Brod, ČR) se skleněnou elektrodou THETA 90 HC 113 (Gryf, Havlíčkův Brod, ČR) při  $20 \pm 2$  °C a popel byl stanoven žíháním vzorku v muflové peci při teplotě  $550 \pm 5$  °C po dobu 4 hodin [93].

### 3.5 Dynamická oscilační reometrie

Reologické vlastnosti vyrobených vzorků byly hodnoceny pomocí dynamické oscilační reometrie (reometr Bohlin GEMINI, Malvern Instruments Ltd., Velká Británie) s měřicí geometrií deska-deska (průměr 40 mm, štěrbina přibližně 1 mm). Analyzovaný vzorek byl umístěn mezi statickou a oscilující deskou reometru a na okraje vzorku byl nanesen silikonový olej zabraňující odpařování vlhkosti měřeného materiálu. Reologická měření vzorků byla prováděna při konstantní teplotě  $20,0 \pm 0,1$  °C v rozsahu frekvencí 0,1–50,0 Hz v oblasti lineární viskoelastivity vzorků. Reologická měření byla realizována v Centru polymerních materiálů (Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně) po 14 dnech skladování při teplotě  $6 \pm 2$  °C.

Na základě zjištění z odborné literatury byla jako referenční frekvence zvolena hodnota 1 Hz [27, 51, 94, 95]. Ze získaných hodnot elastického ( $G'$ ) a ztrátového ( $G''$ ) modulu byly pro zvolenou referenční frekvenci 1 Hz vypočteny hodnoty tangentu úhlu fázového posunu ( $\tan \delta$ ) a hodnoty komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) podle následujících vztahů (3.1) a (3.2):

$$\tan \delta = G'' / G' \quad (3.1)$$

$$G^*(\omega) = \sqrt{G'(\omega)^2 + G''(\omega)^2} \quad (3.2)$$

Pro hodnocení viskoelastických změn byl dále použit Winterův model kritického gelu (Winter's critical gel theory) [96]. Podle Gabriele a kol. [97], kteří aplikovali tuto teorii na potraviny, může být komplexní modul vyjádřen následovně:

$$G^*(\omega) = A_F \omega^{1/z} \quad (3.3)$$

kde ( $A_F$ ) vyjadřuje sílu gelu a ( $z$ ) počet vzájemných interakcí v trojrozměrné síti, tzv. interakční faktor (angl. „*interaction factor*“).

### 3.6 Senzorická analýza

Senzorická analýza byla prováděna panelem 20 – 24 vybraných posuzovatelů (zaměstnanci a studenti Ústavu potravinářského inženýrství, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně) školených podle ČSN ISO 8586-1 [98]. Senzorické hodnocení bylo prováděno v senzorické laboratoři vybavené senzorickými kójiemi v souladu s normou ISO 8589 [99]. Vzorky byly hodnoceny při teplotě  $22 \pm 2$  °C. Pomocí pětibodových či sedmibodových ordinálních hédonických a intenzitních stupnic byly hodnoceny následující znaky: vzhled, tuhost, lesk, roztíratelnost a chuť a vůně vzorku. Příklad dotazníku a stupnice pro senzorické hodnocení modelových tavených sýrů jsou uvedeny v přílohách A a B. V rámci experimentu č. 1 bylo

provedeno senzoričké hodnocení vzhledu, tuhosti, roztíratelnosti, lesku a chuti a vůně vzorku. V druhém experimentu byly senzoričcky posuzovány tuhost a roztíratelnost vzorku.

### **3.7 Statistická analýza naměřených dat**

Získané výsledky byly statisticky zpracovány pomocí programů Unistat Version 5.5 a StatK25. K hodnocení byly využity jak parametrické (t-test), tak i neparametrické testy (Wilcoxonův test, Kruskal-Wallisův test). Hladina statistické významnosti byla zvolena 5 %.

Závislost komplexního modulu na koncentraci pektinu byla vyhodnocena pomocí regresní analýzy s využitím metody nejmenších čtverců s využitím programu Microsoft Office Excel. Výše zmíněná závislost byla testována pomocí tří zvolených modelů – lineárního ( $y = a_1 + a_2x$ ), kvadratického ( $y = a_1 + a_2x + a_3x^2$ ; polynom 2. stupně) a kubického ( $y = a_1 + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3$ ; polynom 3. stupně). V rovnicích  $y$  představuje hodnotu komplexního modulu [Pa],  $x$  koncentraci pektinu [% w/w],  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$  představují hodnoty regresních koeficientů a  $r^2$  koeficienty determinace.

## 4 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 4.1 Výsledky a diskuze k experimentu č. 1

V rámci tohoto pokusu byly analyzovány viskoelastické a senzorické vlastnosti modelových tavených sýrů bez a s přidavkem pektinu (0,2, 0,4, 0,6 a 0,8 % w/w).

#### 4.1.1 Chemická analýza modelových tavených sýrů

Výsledky získané základní chemickou analýzou (sušina, pH) se v rámci jednotlivých skupin vzájemně významně nelišily ( $P \geq 0,05$ ). Hodnoty sušiny se pohybovaly u sýrů skupiny I v rozmezí 41,86 – 42,90 % w/w, u skupiny II 42,57 – 43,72 % w/w a u skupiny III 42,39 – 42,95 % w/w. Naměřené hodnoty pH byly následující: 5,84 – 5,96 (skupina I), 5,64 – 5,72 (skupina II) a 5,91 – 5,94 (skupina III).

Konzistence tavených sýrů a účinnost pektinu jsou podstatně ovlivněny obsahem vlhkosti ve vzorku a hodnotou jeho pH, proto lze díky statisticky nevýznamným odchylkám těchto parametrů v rámci jednotlivých skupin vzájemně tyto vzorky porovnat [27, 33, 41, 100, 101].

#### 4.1.2 Reologická analýza modelových tavených sýrů

Reologie se zabývá studiem vztahů mezi působícími napětími a odezvou při deformaci látek. Reologická měření hrají v dnešní době důležitou roli při hodnocení fyzikálních vlastností nejrůznějších potravinářských surovin, polotovarů či finálních výrobků [97]. V odborné literatuře lze nalézt mnoho odborných prací zabývajících se měřením viskoelastických vlastností potravin, zejména se můžeme setkat s měřením reologických vlastností těsta, majonéz, emulgovaných tuků, jogurtů a v neposlední řadě také tavených sýrů [16, 22, 27, 33, 34, 41, 95, 102, 103, 104, 105, 106, 107].

V tomto experimentu byla hodnocena tuhost vzorku bez přidavku a s přidavkem potravinářsky hojně využívaného hydrokoloidu pektinu pomocí měření elastického ( $G'$ ) a ztrátového ( $G''$ ) modulu pružnosti. Dalšími veličinami, které byly využity k charakterizaci reologického chování tavených sýrů byly tangens úhlu fázového posunu ( $\tan \delta$ ) a komplexní modul pružnosti ( $G^*$ ), které lze jednoduše vypočítat z naměřených hodnot podle vztahů (3.1) a (3.2). Zvyšující se hodnoty elastického, resp. ztrátového modulu pružnosti indikují rostoucí elastickou, resp. viskozitní složku vzorku. Tangens úhlu fázového posunu znázorňuje podíl viskózní a elastické složky, kdy s jeho klesající hodnotou roste elasticita vzorku. Zvyšující se komplexní modul pružnosti pak odpovídá rostoucí tuhosti systému.

Tabulka IV znázorňuje hodnoty elastického a ztrátového modulu pružnosti a hodnoty tangentu úhlu fázového posunu pro referenční frekvenci 1 Hz pro I., II. a III. skupinu tavených sýrů. Z uvedených výsledků vyplývá, že přidavek 0,2 % w/w až 0,8 % w/w pektinu do vzorku způsobil vzrůst hodnot elastického i ztrátového modulu pružnosti ve srovnání s kontrolním vzorkem, který pektin neobsahoval ( $P < 0,05$ ). Tento trend byl pozorován u všech testovaných skupin modelových tavených sýrů. Studium vlivu přídatku hydrokoloidů na viskoelastické vlastnosti tavených sýrů se zabýval např. Swenson a kol. [36], který zjistil obdobný vzrůst tuhosti systému ve srovnání s kontrolou po přidavku želatiny, karagenanu, lokustové či guarové gummy. Stejný trend byl potvrzen také v pracích autorů Bennet a kol. [51], Černíková a kol. [52], Gustaw a Mleko [53], Liu a kol. [54]. Ve všech případech došlo přidavkem těchto látek ke zvýšení tuhosti taveného sýra. Velikost zvýšení závisela potom na použité koncentraci hydrokoloidu.

Pro názornost byl vytvořen graf znázorňující závislost elastického a ztrátového modulu na vzrůstající frekvenci pro modelové tavené sýry skupiny I (Obr. 4.1). Z grafu je patrné, že se hodnoty těchto veličin s rostoucí frekvencí v celém měřeném rozsahu (0,1 – 50,0 Hz) zvyšují. Také u zbývajících skupin tavených sýrů měřených v rámci tohoto pokusu hodnoty měřených parametrů se zvyšující se frekvencí rostly (tato data však nejsou v práci graficky prezentována).

Statistické vyhodnocení získaných výsledků ukázalo, že se hodnoty elastického i ztrátového modulu pro referenční frekvenci 1 Hz u většiny šarží významně zvyšovaly s rostoucí koncentrací použitého hydrokoloidu ( $P < 0,05$ ), viz Tab. IV. Obecně lze tedy říci, čím vyšší je koncentrace pektinu, tím silnější gel vzniká, a tím tužší je finální produkt. El-Nawawi a Heikal [69] zkoumali sílu gelu v umělém systému vytvořeném z vody, pektinu, sacharózy a vápenatých kationtů. Zjistili podobné chování, kdy se se zvyšujícím obsahem nízkomolekulárního pektinu zvyšovala tuhost vytvořeného gelu.

Tabulka IV dále také ukazuje, že vzrůstající množství pektinu v testovaném vzorku způsobilo pokles hodnoty tangentu úhlu fázového posunu většiny testovaných šarží oproti kontrole, což značí vzrůst tuhosti taveného sýra díky převažující elastické složce systému. Díky přidavku pektinu se tedy matrice taveného sýra stává tužším a více elastickým.

V rámci vyhodnocení reologických měření byla na výsledky aplikována tzv. Winterova teorie kritického gelu využívající následující veličiny: síla gelu ( $A_F$ ) a interakční faktor ( $z$ ), které byly vypočteny podle vzorce (3.3). Vypočtené hodnoty výše uvedených parametrů jsou znázorněny v tabulce V. Také pomocí síly gelu a interakčního faktoru byl potvrzen obdobný trend jako v případě hodnot elastického a ztrátového modulu, tj. se vzrůstající koncentrací pektinu se

hodnoty síly gelu i interakčního faktoru zvyšovaly. Podle Martínez-Ruvalcaba a kol. [108] a Gabriele a kol. [97] platí, čím vyšší je hodnota interakčního faktoru, tím se uplatňuje větší počet interakcí v systému a ten se stává tužším a pevnějším. Silnější gel a zvyšování jeho elasticity tedy může být vysvětleno větším počtem interakcí podílejících se na tvorbě trojrozměrné sítě v produktu.

Zvýšení celkové tuhosti vzorku díky přidavku pektinu bylo prokázáno rovněž vypočtením hodnot komplexního modulu podle rovnice (3.2). Získané hodnoty jsou znázorněny v tabulce VI. Jsou zde uvedeny hodnoty komplexního modulu pro referenční frekvenci 1 Hz pro všechny tři skupiny tavených sýrů. V tabulce VI jsou rovněž prezentovány výsledky získané pomocí regresní analýzy, tj. hodnoty koeficientů determinace ( $r^2$ ) a regresních koeficientů ( $a_i$ ). Z porovnání všech tří testovaných modelů (koeficientů determinace) vyplývá, že kvadratický či kubický model vystihují danou závislost přesněji než model lineární. Obecně řečeno, tuhost finálního výrobku nevzrůstá lineárně se zvyšující se koncentrací pektinu. Tuto skutečnost dokazují také výsledky vyplývající z prací Wade [109] a Sharma a kol. [100], v nichž bylo zjištěno, že závislost vyjadřující vztah mezi koncentrací pektinu a silou gelu pektinu nemusí být lineární.

**Tab. IV.** Hodnoty elastického ( $G'$ ) a ztrátového ( $G''$ ) modulu pružnosti a hodnoty tangentu úhlu fázového posunu ( $\tan \delta$ ) pro referenční frekvenci 1 Hz pro I., II. a III. skupinu tavených sýrů

Pektin (% /w)	Skupina tavených sýrů*								
	I			II			III		
	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]
–	2511 ± 112 <sup>a</sup>	1901 ± 67 <sup>a</sup>	0,757	4494 ± 457 <sup>a</sup>	2812 ± 184 <sup>a</sup>	0,626	2863 ± 20 <sup>a</sup>	2209 ± 30 <sup>a</sup>	0,771
0,2	5367 ± 367 <sup>b</sup>	2837 ± 175 <sup>b</sup>	0,529	10245 ± 141 <sup>b</sup>	5449 ± 66 <sup>b</sup>	0,532	7378 ± 139 <sup>b</sup>	4236 ± 32 <sup>b</sup>	0,574
0,4	8862 ± 26 <sup>c</sup>	4023 ± 48 <sup>c</sup>	0,454	10890 ± 67 <sup>c</sup>	5530 ± 21 <sup>c</sup>	0,489	9018 ± 107 <sup>c</sup>	4699 ± 17 <sup>c</sup>	0,521
0,6	12400 ± 226 <sup>d</sup>	5184 ± 145 <sup>d</sup>	0,418	14230 ± 128 <sup>d</sup>	5891 ± 123 <sup>d</sup>	0,414	11205 ± 244 <sup>d</sup>	5386 ± 141 <sup>d</sup>	0,481
0,8	14135 ± 92 <sup>e</sup>	5746 ± 49 <sup>e</sup>	0,407	14370 ± 99 <sup>d</sup>	6567 ± 108 <sup>e</sup>	0,457	14480 ± 322 <sup>e</sup>	6272 ± 185 <sup>e</sup>	0,433

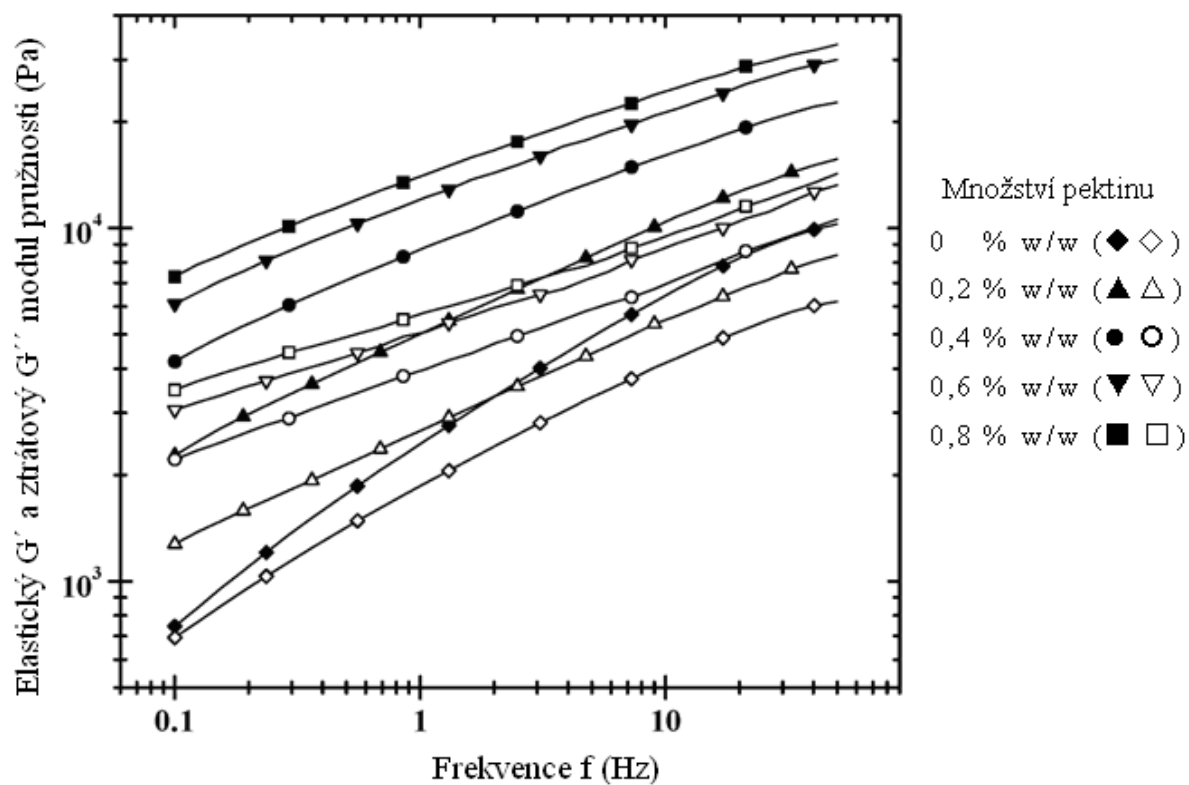
\*  $G'$  – elastický modul pružnosti,  $G''$  – ztrátový modul pružnosti,  $\tan \delta$  – tangens úhlu fázového posunu ( $\tan \delta = G''/G'$ ); veličiny vyjádřeny jako aritmetický průměr ± směrodatná odchylka. Rozdílné písmenné indexy značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce.



**Tab. V.** Hodnoty síly gelu ( $A_F$ ) a interakčního faktoru ( $z$ ) pro I., II. a III. skupinu tavených sýrů

Pektin (% w/w)	Skupina tavených sýrů*					
	I		II		III	
	$A_F$ [Pa·s <sup>1/z</sup> ]	$z$	$A_F$ [Pa·s <sup>1/z</sup> ]	$z$	$A_F$ [Pa·s <sup>1/z</sup> ]	$z$
–	3136 ± 142 <sup>a</sup>	2,67 ± 0,05 <sup>a</sup>	5246 ± 462 <sup>a</sup>	2,95 ± 0,13 <sup>a</sup>	3595 ± 51 <sup>a</sup>	2,64 ± 0,08 <sup>a</sup>
0,2	5990 ± 385 <sup>b</sup>	3,29 ± 0,03 <sup>b</sup>	11330 ± 861 <sup>b</sup>	3,55 ± 0,10 <sup>b</sup>	8371 ± 129 <sup>b</sup>	3,23 ± 0,05 <sup>b</sup>
0,4	9565 ± 64 <sup>c</sup>	3,85 ± 0,03 <sup>c</sup>	11885 ± 996 <sup>b</sup>	3,67 ± 0,19 <sup>b</sup>	9956 ± 102 <sup>c</sup>	3,50 ± 0,03 <sup>c</sup>
0,6	13192 ± 282 <sup>d</sup>	4,10 ± 0,04 <sup>d</sup>	15132 ± 405 <sup>c</sup>	3,83 ± 0,14 <sup>c</sup>	12150 ± 578 <sup>d</sup>	3,71 ± 0,06 <sup>d</sup>
0,8	14997 ± 128 <sup>e</sup>	4,26 ± 0,01 <sup>e</sup>	15497 ± 213 <sup>c</sup>	3,87 ± 0,15 <sup>c</sup>	15442 ± 633 <sup>e</sup>	4,03 ± 0,04 <sup>e</sup>

\* Síla gelu ( $A_F$ ) a interakční faktor ( $z$ ) jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr ± standardní odchylka. Rozdílné písmenné indexy značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce.



**Obr. 4.1:** Závislost elastického  $G'$  (plné symboly) a ztrátového  $G''$  (prázdné symboly) modulu na frekvenci pro modelové tavené sýry skupiny I

**Tab. VI:** Průměrné hodnoty komplexního modulu ( $G^*$ ) pro referenční frekvenci 1 Hz pro skupiny I, II a III tavených sýrů a hodnoty regresních koeficientů ( $a_i$ ) a koeficientů determinace ( $r^2$ ) pro vybrané modely (lineární, kvadratický a kubický) vyjadřující změny komplexního modulu v závislosti na množství přidaného pektinu \*

	Pektin (% w/w)	Skupina tavených sýrů		
		I	II	III
$G^*$ [Pa]	–	$3150 \pm 146^a$	$5302 \pm 486^a$	$3616 \pm 34^a$
	0,2	$6071 \pm 407^b$	$11605 \pm 912^b$	$8508 \pm 136^b$
	0,4	$9732 \pm 44^c$	$12125 \pm 1082^b$	$10170 \pm 99^c$
	0,6	$13445 \pm 262^d$	$15400 \pm 411^c$	$12435 \pm 544^d$
	0,8	$15265 \pm 106^e$	$15800 \pm 285^c$	$15780 \pm 651^e$
$y = a_1 + a_2x$		$a_1 = 3238,0$ $a_2 = 15758,0$ $r^2 = 0,9851$	$a_1 = 7087,9$ $a_2 = 12396,0$ $r^2 = 0,8519$	$a_1 = 4450,6$ $a_2 = 14128,0$ $r^2 = 0,9657$
$y = a_1 + a_2x + a_3x^2$		$a_1 = 2709,4$ $a_2 = 19723,0$ $a_3 = -4625,2$ $r^2 = 0,9900$	$a_1 = 5794,8$ $a_2 = 25327,0$ $a_3 = -16164,0$ $r^2 = 0,9329$	$a_1 = 4094,8$ $a_2 = 17686,0$ $a_3 = -4447,3$ $r^2 = 0,9710$
$y = a_1 + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3$		$a_1 = 3185,4$ $a_2 = 9302,9$ $a_3 = 19371,0$ $a_4 = -27622,0$ $r^2 = 0,9981$	$a_1 = 5503,9$ $a_2 = 35750,0$ $a_3 = -52521,0$ $a_4 = 30297,0$ $r^2 = 0,9446$	$a_1 = 3663,9$ $a_2 = 33126,0$ $a_3 = -58310,0$ $a_4 = 44885,0$ $r^2 = 0,9935$

\* V rovnici regrese  $y$  vyjadřuje hodnoty komplexního modulu ( $G^*$ ) a  $x$  množství přidaného pektinu. Komplexní modul ( $G^*$ ) je vyjádřen jako aritmetický průměr  $\pm$  standardní odchylka. Rozdílné písmenné indexy značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce.

### 4.1.3 Senzorická analýza modelových tavených sýrů

V rámci prvního pokusu byla dále realizována senzorická analýza vyrobených modelových vzorků. Bylo sledováno, zda budou vybraní hodnotitelé schopni rozpoznat rozdíly mezi jednotlivými vzorky s různým přídatkem pektinu (tzv. rozdílový práh), a zda jsou tyto vzorky pro konzumenta přijatelné. Byly provedeny stupnicové testy hodnotící vzhled a barvu, lesk, konzistenci, tuhost, roztíratelnost a chuť a vzorků. Dále byly vzorky v rámci senzorické analýzy podrobeny pořadovým testům, ve kterých byla opět hodnocena jejich tuhost a roztíratelnost a dále byl proveden také pořadový preferenční test.

Vybrané výsledky ze stupnicových testů hodnotících vzhled a barvu, tuhost, roztíratelnost a chuť a vůni vzorků všech tří testovaných skupin modelových tavených sýrů jsou uvedeny v tabulce VII. Pomocí těchto testů bylo zjištěno, že vzhled a barva vzorků nebyly přídatkem pektinu do tavené směsi zhoršeny u žádné z vyrobených šarží tavených sýrů ( $P \geq 0,05$ ). Navíc vzorky s přídatkem 0,2 % w/w pektinu ve skupinách I a II byly hodnotiteli klasifikovány jako vynikající, u skupiny III byly vzorky s 0,2 % w/w pektinu ohodnoceny stejně jako kontrolní vzorek bez pektinu stupněm výborný (viz Tab. VII a Příloha A). Modelové tavené sýry s vyššími přídatky pektinu byly ve všech případech hodnoceny stejně jako kontrola stupněm výborný. Obecně lze tedy říci, že přídatek pektinu neovlivňuje v negativním slova smyslu ani vzhled ani barvu tavených sýrů. Velmi důležitým senzorickým znakem všech potravin je jejich chuť. Všechny vzorky s přídatkem pektinu byly hodnoceny jako výborné či velmi dobré, stejně jako kontrolní vzorky. Z hlediska konzumenta je tedy přídatek pektinu do tavených sýrů akceptovatelný a negativně neovlivní chuť a vůni produktu.

Všechny tavené sýry, do kterých byl přidán hydrokoloid, byly posouzeny jako tužší a méně roztíratelné než kontrolní vzorek ( $P < 0,05$ ). Se vzrůstajícím obsahem pektinu ve vzorku, se hodnoty mediánů postupně snižovaly, což odpovídá zvyšující se tuhosti a menší roztíratelnosti vzorků s přibývajícím pektinem (viz Tab. VII).

Vybraní posuzovatelé byly schopni rozlišit vzrůstající tuhost vzorků skupin I a III vlivem zvyšujícího se obsahu pektinu až do jeho koncentrace 0,6 % w/w ( $P < 0,05$ ). Stejný trend byl pozorován také u vzorků skupiny II, avšak zde hodnotitelé nedokázali rozpoznat rozdíly v tuhosti tavených sýrů při použití koncentrací 0,2 a 0,4 % w/w pektinu.

Výsledky stupnicových testů zcela korelují s výsledky reologické analýzy, podle nichž byla tuhost vzorků přídatkem různých koncentrací pektinu signifikantně změněna (viz hodnoty komplexního modulu v Tab. VI). Rovněž nebyl zjištěn signifikantní rozdíl v hodnotách komplexního modulu vzorků skupiny II s obsahem 0,2 a 0,4 % w/w pektinu, viz Tab. VI. Výsledky

stupnicových testů jsou tedy plně v souladu s výsledky získanými reologickým měřením.

**Tab. VII:** Výsledky senzoričké analýzy modelových tavených sýrů skupin I-III \*

Skupina tavených sýrů	Pektin (% w/w)	Hodnocený znak (medián)			
		Vzhled a barva	Tuhost	Roztíratelnost	Chuť a vůně
I	–	2 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>
	0,2	1 <sup>b</sup>	4 <sup>b</sup>	4 <sup>b</sup>	2 <sup>a</sup>
	0,4	2 <sup>a</sup>	3 <sup>c</sup>	3 <sup>c</sup>	2 <sup>a</sup>
	0,6	2 <sup>a</sup>	2 <sup>d</sup>	2 <sup>d</sup>	3 <sup>a</sup>
	0,8	2 <sup>a</sup>	2 <sup>d</sup>	2 <sup>d</sup>	3 <sup>a</sup>
II	–	2 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
	0,2	1 <sup>b</sup>	3 <sup>b</sup>	3 <sup>b</sup>	2 <sup>a</sup>
	0,4	2 <sup>a</sup>	3 <sup>b</sup>	3 <sup>b</sup>	2 <sup>a</sup>
	0,6	2 <sup>a</sup>	2 <sup>c</sup>	2 <sup>c</sup>	3 <sup>a</sup>
	0,8	2 <sup>a</sup>	2 <sup>c</sup>	2 <sup>c</sup>	3 <sup>a</sup>
III	–	2 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
	0,2	2 <sup>a</sup>	4 <sup>b</sup>	4 <sup>b</sup>	2 <sup>a</sup>
	0,4	2 <sup>a</sup>	3 <sup>c</sup>	4 <sup>b</sup>	3 <sup>a</sup>
	0,6	2 <sup>a</sup>	2 <sup>d</sup>	3 <sup>c</sup>	3 <sup>a</sup>
	0,8	2 <sup>a</sup>	2 <sup>d</sup>	3 <sup>c</sup>	3 <sup>a</sup>

\* Rozdílné písmenné indexy značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce.

\* Vzhled a barva: 1 – vynikající → 7 – nepříjemný.

Tuhost: 1 – velmi tuhý → 4 – optimální tuhost → 7 – velmi měkký.

Roztíratelnost: 1 – vzorek neroztíratelný → 4 – optimální roztíratelnost → 7 – vzorek má tekutý charakter.

Chuť a vůně: 1 – vynikající → 7 – nepříjemná.

U modelových tavených sýrů skupin I a III byl pomocí dynamické oscilační reometrie zjištěn signifikantní rozdíl mezi vzorky s obsahem 0,6 a 0,8 % w/w pektinu ( $P < 0,05$ ). Sensorickou analýzou však nebyl žádný rozdíl v tuhosti uvedených vzorků sledán ( $P \geq 0,05$ ). Tuto skutečnost lze vysvětlit tvorbou velmi silných a tuhých gelů, u nichž jsou rozdíly v jejich tuhosti a roztíratelnosti pro vybrané hodnotitele již podprahové z hlediska jejich rozdílového prahu. Tento práh je přitom definován jako hodnota nejmenšího vnímatelného rozdílu ve fyzikální intenzitě podnětu [110]. S obdobnými problémy s rozdílovým prahem hodnotitelů se setkali také např. Hough a kol. [111], kteří studovali vztahy mezi metodami instrumentální a sensorické analýzy pro hodnocení textury a chuti a vůně sýrů. Výsledky této práce tedy naznačují, že u vzorků s vyšším přídávkem pektinu ( $> 0,6$  % w/w) nemusí vybraní hodnotitelé jednoznačně rozpoznat rozdíly v tuhosti či roztíratelnosti vzorků obsahujících málo rozdílné množství hydrokoloidu (na rozdíl od vzorků s nižším obsahem pektinu, kde jsou tyto rozdíly pro hodnotitele rozpoznatelné).

Všechny vzorky byly podrobeny také pořadovým testům. Výsledky z těchto testů týkající se tuhosti a roztíratelnosti modelových tavených sýrů pouze potvrzují zjištění z testů stupnicových, tj. nárůst tuhosti a snížení roztíratelnosti díky zvyšujícímu se přídávku hydrokoloidu. Pořadový preferenční test rovněž potvrzuje, že přídavek pektinu do vzorku negativně neovlivní jeho sensorickou hodnotu. Vybraní hodnotitelé nejvíce preferovali tavené sýry s přídávkem 0,2 % w/w pektinu. Tato skutečnost může být vysvětlena lepším leskem tohoto taveného sýra ve srovnání s kontrolním vzorkem či vzorky obsahujícími vyšší koncentrace pektinu.

## 4.2 Výsledky a diskuze k experimentu č. 2

V rámci tohoto pokusu byl sledován vliv přítomnosti nízkomolekulárních sacharidů, které mohou být běžnou součástí různých surovin či přísad používaných při výrobě tavených sýrů, na viskoelastické a sensorické vlastnosti modelových tavených sýrů bez a s přidavkem pektinu (0,2 a 0,4 % w/w).

Bylo sledováno, zda je konzistence vzorků ovlivněna všemi vybranými nízkomolekulárními sacharidy (při stejné koncentraci) stejnou měrou či zda se různé nízkomolekulární sacharidy (rozdílné prostorové uspořádání, přítomnost různé funkční skupiny v molekule) liší ve velikosti jejich účinku. Srovnáván byl také účinek přidavku monosacharidu a disacharidu na konzistenci modelových tavených sýrů.

### 4.2.1 Chemická analýza modelových tavených sýrů

Modelové tavené sýry skupin IV až VII byly podrobeny základní chemické analýze. Byla stanovena jejich sušina, tuk, popel a pH. Hodnoty těchto parametrů jsou uvedeny v Tabulce VIII. I v tomto případě platí, že jsou konzistence tavených sýrů a účinnost pektinu podstatně ovlivněny obsahem vlhkosti ve vzorku a hodnotou jeho pH. Díky statisticky nevýznamným rozdílům ( $P \geq 0,05$ ) těchto parametrů v rámci jednotlivých skupin lze vzájemně tyto vzorky porovnat [27, 33, 41, 100, 101].

*Tab. VIII: Chemické složení modelových tavených sýrů ve skupinách IV až VII*

Skupina tavených sýrů	Sušina (% w/w)	Tuk (% w/w)	Popel (% w/w)	pH (–)
IV	41,98 – 43,38	22,0 – 23,0	3,8 – 4,5	5,90 – 5,96
V	40,52 – 42,45	22,5 – 23,0	4,1 – 4,7	5,88 – 5,97
VI	41,89 – 43,29	21,5 – 22,0	3,9 – 4,5	5,79 – 5,85
VII	40,93 – 42,84	21,5 – 22,0	4,0 – 4,5	5,79 – 5,83

Hodnoty pH připravených tavených sýrů se v tomto pokusu pohybovaly v rozmezí 5,79 až 5,97, což je optimální pH pro získání finálního výrobku vhodných sensorických či strukturních vlastností [3, 41, 95].

### 4.2.2 Reologická analýza modelových tavených sýrů

Stejně jako v experimentu č. 1 i zde byly měřeny hodnoty elastického a ztrátového modulu v rozsahu frekvencí 0,1 až 50,0 Hz v oblasti lineární viskoelasticity vzorků. Z nich byly pro referenční frekvenci 1 Hz vypočteny

hodnoty tangentu úhlu fázového posunu a komplexního modulu. Byl opět aplikován také Winterův model kritického gelu.

Tento experiment byl rozdělen na dvě části. V první části byl sledován vliv přítomných monosacharidů (1 % w/w) na viskoelastické vlastnosti tavených sýrů bez a s přidavkem pektinu (0,2 a 0,4 % w/w) ve skupinách IV a V. Byly zde vzájemně srovnávány účinky tří různých monosacharidů (D-glukóza, D-fruktóza a D-galaktóza).

Výsledky z první části druhého experimentu jsou uvedeny v tabulce IX. Jak již bylo zjištěno v prvním pokusu této práce, tak také zde způsobil přidavek pektinu (0,2 % w/w nebo 0,4 % w/w) zvýšení hodnot elastického a ztrátového modulu vůči kontrole ( $P < 0,05$ ) a tedy celkové zvýšení tuhosti výrobků. Také hodnoty tangentu úhlu fázového posunu byly přidavkem pektinu sníženy, což značí zvýšení elasticity vzorků ve srovnání s kontrolou téže skupiny tavených sýrů ( $P < 0,05$ ) [27, 52]. Tyto výsledky byly potvrzeny také Winterovou teorií kritického gelu. Hodnoty síly gelu a interakčního faktoru pro skupiny IV a V jsou uvedeny v tabulce X. Tyto vypočtené hodnoty korespondují s výsledky získanými reologickým měřením. Vyšší hodnoty síly gelu mohou být vysvětleny zvýšením počtu interakcí v rámci matrice taveného sýra díky zapojení pektinových molekul do síťování (viz hodnoty  $A_F$  a  $z$  v tabulce X).

Přídavek 1 % w/w monosacharidu (D-glukóza, D-fruktóza a D-galaktóza) do taveného sýru bez pektinu způsobil vždy signifikantní pokles elastického a ztrátového modulu ve srovnání s kontrolou ( $P < 0,05$ ). Tangens úhlu fázového posunu těchto vzorků byl vlivem přídavku nízkomolekulárního sacharidu zvýšen, to znamená snížení elasticity vzorků ve srovnání s kontrolou bez pektinu a monosacharidů ( $P < 0,05$ ). Hodnoty elastického a ztrátového modulu poklesly přidavkem nízkomolekulárního sacharidu ve většině případů na stejnou hodnotu ( $P \geq 0,05$ ). Snížení síly gelu pouze potvrzuje pokles tuhosti taveného sýra a může být opět vysvětleno snížením hodnoty interakčního faktoru vlivem přídavku monosacharidu do vzorku (viz Tabulka X).

Dále byl zkoumán vliv přídavku monosacharidu na konzistenci tavených sýrů s přidaným pektinem (0,2 % w/w nebo 0,4 % w/w). Podle tabulky IX byly hodnoty elastického a fázového modulu modelových tavených sýrů s přidavkem 0,2 % w/w (resp. 0,4 % w/w) pektinu a 1 % w/w monosacharidu signifikantně sníženy ve srovnání se vorkem obsahujícím pouze pektin (buď 0,2 % w/w nebo 0,4 % w/w). Obecně lze říci, že vzorky s monosacharidem byly tekutější než vzorky bez něj. Tato zjištění byla opět potvrzena i Winterovou teorií kritického gelu (viz Tabulka X).

Pro názornost byl vytvořen graf závislosti komplexního modulu na frekvenci pro skupinu V modelových tavených sýrů, který je znázorněn na Obr. 4.2. Protože všechny nízkomolekulární sacharidy způsobily obdobné snížení tuhosti



vzorků oproti kontrole, pro přehlednost byla do grafů vybrána pouze D-galaktóza jako jejich zástupce. Křivky závislosti komplexního modulu na frekvenci znázorněné v grafu mají se vzrůstající frekvencí (0,1 – 50,0 Hz) rostoucí charakter. Z tohoto grafu je dále patrné, že přídavek pektinu ke vzorku způsobil zvýšení jeho tuhosti, zatímco přídavek nízkomolekulárního sacharidu do taveného sýra se projevil opačným účinkem.

Pokles tuhosti vzorku vlivem přídavku nízkomolekulárního sacharidu nebyl závislý na prostorovém uspořádání nízkomolekulárního sacharidu ani na přítomnosti aldo- či ketoskupiny v molekule sledovaných monosacharidů. D-glukóza (aldohexóza) snížila tuhost sýra bez pektinu či s pektinem stejně jako D-fruktóza (ketohexóza), D-glukóza způsobila stejný pokles tuhosti vzorků jako její C-4 epimer D-galaktóza.

V druhé části experimentu č. 2 byl srovnáván účinek přídavku monosacharidu (D-galaktóza) a disacharidu (laktóza, sacharóza) na konzistenci modelových tavených sýrů skupin VI a VII bez přídavku a s přídavkem pektinu (0,2 % w/w nebo 0,4 % w/w). Dále byly vzájemně porovnány účinky redukujícího a neredukujícího disacharidu. V této části byla opět použita galaktóza z důvodu možnosti vzájemného propojení obou experimentálních částí pokusu č. 2. Změny reologických vlastností vzorků skupin VI a VII jsou uvedeny v tabulce XI. Tyto výsledky potvrzují zjištění z první části tohoto experimentu. Přídavek pektinu způsobil zvýšení tuhosti vzorku, zatímco přídavek monosacharidu či disacharidu jeho tuhost snížil ve srovnání se vzorkem bez či s pektinem ( $P < 0,05$ ). Hodnoty interakčního faktoru byly přídavkem nízkomolekulárního sacharidu sníženy, což znamená snížení počtu interakcí v matici vzorku a způsobuje tak i snížení síly gelu. Hodnoty síly gelu a interakčního faktoru jsou uvedeny v tabulce XII. Všechny použité nízkomolekulární sacharidy snížily tuhost vzorku na obdobnou hladinu bez ohledu na jejich redukující vlastnosti ( $P \geq 0,05$ ). Srovnatelné účinky vykazaly jak redukující (D-galaktóza, laktóza), tak i neredukující (sacharóza) nízkomolekulární sacharidy. Stejný účinek byl pozorován také u monosacharidu (D-galaktóza) a disacharidů (laktóza, sacharóza).

I pro tuto část experimentu č. 2 byl pro sedmou skupinu modelových vzorků vytvořen graf závislosti komplexního modulu na rostoucí frekvenci a je znázorněn na Obr. 4.3. Protože i zde byly hodnoty měřených parametrů sníženy nízkomolekulárními sacharidy na obdobnou hodnotu, byla do grafu vybrána laktóza jako jejich zástupce.

V dostupné literatuře byla nalezena pouze práce zabývající se studiem účinku různých nízkomolekulárních sacharidů (např. sacharóza) či cukerných alkoholů (např. sorbitol) na gelaci nízkoesterifikovaného či vysokoesterifikovaného pektinu obsaženého v modelových systémech. Tyto systémy byly připraveny

pouze z vody, pektinu a nízkomolekulárního sacharidu či cukerného alkoholu [60, 64, 72, 75]. Ve zmíněných pracích byly připraveny pektinové gely obsahující přibližně 1 % w/w pektinu a 50 – 65 % w/w nízkomolekulárních sacharidů při použití HMP, resp. 10 – 30 % w/w nízkomolekulárních sacharidů u LMP [64, 72, 75]. Bylo zjištěno, že interakce mezi polymerem a alditolem či nízkomolekulárním sacharidem konkurují interakcím polymer-polymer nezbytným pro tvorbu trojrozměrné sítě, čímž mohou oslabit sílu vzniklého gelu. Podle studie Tsoga a kol. [64] však jednotlivé substance působí při tvorbě vysokoesterifikovaného pektinového gelu s různou účinností. Podle Tsoga a kol. [64] existuje vzájemný vztah mezi účinností těchto látek a jejich bodem tání. Jejich účinnost při inhibici vzájemných interakcí polymerů klesá v následujícím pořadí: xylitol > sobitol > glukóza > sacharóza. Rozdílné výsledky této práce a studie Tsoga a kol. [64] však mohou být zapříčiněny použitím rozdílného typu pektinu (LMP versus HMP) či celkovou povahou testovaného systému. Zatímco v této práci byl sledován reálný systém obsahující pektin, ve výše zmíněné literatuře byl zkoumán umělý systém vytvořený pouze ze základních surovin nezbytných pro vznik gelu, tj. voda, pektin, aj. Účinnost jednotlivých nízkomolekulárních sacharidů v reálném vzorku může být tedy podstatně ovlivněna přítomností nejrůznějších interakcí uplatňujících se v rámci matrice vzorku, např. interakce pektin-kasein, monosacharid-kasein, atd. [112]. Matrice taveného sýra je tvořena zejména spojitou proteinovou sítí, která však může být přerušena jemně rozptýleným tukem či vodou [46, 113]. Obdobný účinek by mohly vykazovat také nízkomolekulární sacharidy. Možné přerušování kontinuity bílkovinné sítě by pak mohlo mít za následek snížení tuhosti taveného sýra vlivem přídatku mono- či disacharidu.

**Tab. IX:** Hodnoty elastického ( $G'$ ) a ztrátového ( $G''$ ) modulu pružnosti a hodnoty tangentu úhlu fázového posunu ( $\tan \delta$ ) pro referenční frekvenci 1 Hz pro IV. a V. skupinu tavených sýrů \*

		Skupina tavených sýrů					
		IV			V		
Pektin	Monosacharid	$G'$ [Pa] <sup>+</sup>	$G''$ [Pa] <sup>+</sup>	$\tan \delta$ [-]	$G'$ [Pa] <sup>+</sup>	$G''$ [Pa] <sup>+</sup>	$\tan \delta$ [-]
–	–	6084 ± 314 <sup>a,d,f</sup>	3723 ± 314 <sup>a</sup>	0,612	4381 ± 470 <sup>a,f</sup>	3071 ± 370 <sup>a,e</sup>	0,701
	Gal	3623 ± 218 <sup>b</sup>	2844 ± 218 <sup>b</sup>	0,785	1854 ± 115 <sup>b</sup>	1577 ± 115 <sup>b</sup>	0,851
	Fru	3491 ± 204 <sup>b</sup>	2674 ± 204 <sup>b</sup>	0,766	1870 ± 74 <sup>b</sup>	1666 ± 74 <sup>b</sup>	0,891
	Glc	3568 ± 451 <sup>b</sup>	2776 ± 351 <sup>b</sup>	0,778	1894 ± 41 <sup>b</sup>	1684 ± 41 <sup>b</sup>	0,889
0,2 % w/w	–	8896 ± 453 <sup>c</sup>	4537 ± 253 <sup>a,c</sup>	0,510	6118 ± 318 <sup>c</sup>	3738 ± 218 <sup>a,e</sup>	0,611
	Gal	5812 ± 526 <sup>a,d,f</sup>	3964 ± 326 <sup>a</sup>	0,682	4333 ± 475 <sup>a,f</sup>	3167 ± 375 <sup>a,e</sup>	0,731
	Fru	5955 ± 166 <sup>a</sup>	4115 ± 166 <sup>a</sup>	0,691	4570 ± 156 <sup>a,g</sup>	3281 ± 156 <sup>a</sup>	0,718
	Glc	5864 ± 397 <sup>a,d</sup>	4022 ± 297 <sup>a</sup>	0,686	4344 ± 132 <sup>a</sup>	3154 ± 132 <sup>a</sup>	0,726
0,4 % w/w	–	10353 ± 631 <sup>c</sup>	4969 ± 331 <sup>c</sup>	0,480	8570 ± 354 <sup>d</sup>	4482 ± 234 <sup>c</sup>	0,523
	Gal	6689 ± 258 <sup>d,e</sup>	4341 ± 258 <sup>a,c</sup>	0,649	5428 ± 42 <sup>e</sup>	3637 ± 42 <sup>d,e</sup>	0,670
	Fru	6983 ± 186 <sup>e</sup>	4385 ± 186 <sup>a,c</sup>	0,628	5101 ± 143 <sup>f</sup>	3377 ± 143 <sup>a,d</sup>	0,662
	Glc	6826 ± 211 <sup>e,f</sup>	4348 ± 211 <sup>a,c</sup>	0,637	5354 ± 453 <sup>c,e,f,g</sup>	3651 ± 253 <sup>a,d</sup>	0,682

\*  $G'$  – elastický modul pružnosti,  $G''$  – ztrátový modul pružnosti,  $\tan \delta$  – tangens úhlu fázového posunu ( $\tan \delta = G''/G'$ ), Gal – D-galaktóza, Fru – D-fruktóza, Glc – D-glukóza. Veličiny jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr ± směrodatná odchylka. Rozdílné písmenné indexy značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce.

**Tab. X:** Hodnoty síly gelu ( $A_F$ ) a interakčního faktoru ( $z$ ) pro IV. a V. skupinu tavených sýrů \*

		Skupina tavených sýrů			
Pektin	Monosacharid	IV		V	
		$A_F$ [ $\text{Pa}\cdot\text{s}^{1/z}$ ]	$z$	$A_F$ [ $\text{Pa}\cdot\text{s}^{1/z}$ ]	$z$
–	–	$6740 \pm 458^a$	$3,29 \pm 0,08^{a,d}$	$5614 \pm 638^{a,h}$	$3,24 \pm 0,17^a$
	Gal	$4560 \pm 312^b$	$2,97 \pm 0,09^b$	$2466 \pm 167^b$	$2,66 \pm 0,08^b$
	Fru	$4190 \pm 283^c$	$2,93 \pm 0,08^b$	$2312 \pm 97^c$	$2,67 \pm 0,05^b$
	Glc	$4541 \pm 574^{b,c}$	$2,91 \pm 0,18^b$	$2410 \pm 55^b$	$2,65 \pm 0,03^b$
0,2 % w/w	–	$10195 \pm 543^d$	$3,57 \pm 0,09^c$	$6954 \pm 384^d$	$3,24 \pm 0,08^a$
	Gal	$6938 \pm 599^{a,e}$	$3,24 \pm 0,14^a$	$4218 \pm 481^e$	$2,93 \pm 0,15^c$
	Fru	$7409 \pm 253^e$	$3,36 \pm 0,05^d$	$4681 \pm 192^f$	$3,08 \pm 0,05^d$
	Glc	$7050 \pm 498^{a,e}$	$3,30 \pm 0,11^{a,d}$	$4386 \pm 158^e$	$2,91 \pm 0,04^c$
0,4 % w/w	–	$10761 \pm 687^d$	$3,77 \pm 0,11^e$	$8380 \pm 391^g$	$3,49 \pm 0,07^e$
	Gal	$8516 \pm 417^f$	$3,44 \pm 0,06^f$	$5554 \pm 54^a$	$3,20 \pm 0,01^a$
	Fru	$8445 \pm 292^f$	$3,48 \pm 0,04^{f,g}$	$5293 \pm 186^h$	$3,24 \pm 0,04^a$
	Glc	$8080 \pm 320^g$	$3,51 \pm 0,05^{c,g}$	$5503 \pm 424^{a,h}$	$3,21 \pm 0,13^a$

\* Gal – D-galaktóza, Fru – D-fruktóza, Glc – D-glukóza. Síla gelu ( $A_F$ ) a interakční faktor ( $z$ ) jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr  $\pm$  standardní odchylka. Rozdílné písmenné indexy značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce.

**Tab. XI:** Hodnoty elastického ( $G'$ ) a ztrátového ( $G''$ ) modulu pružnosti a hodnoty tangentu úhlu fázového posunu ( $\tan \delta$ ) pro referenční frekvenci 1 Hz pro VI. a VII. skupinu tavených sýrů \*

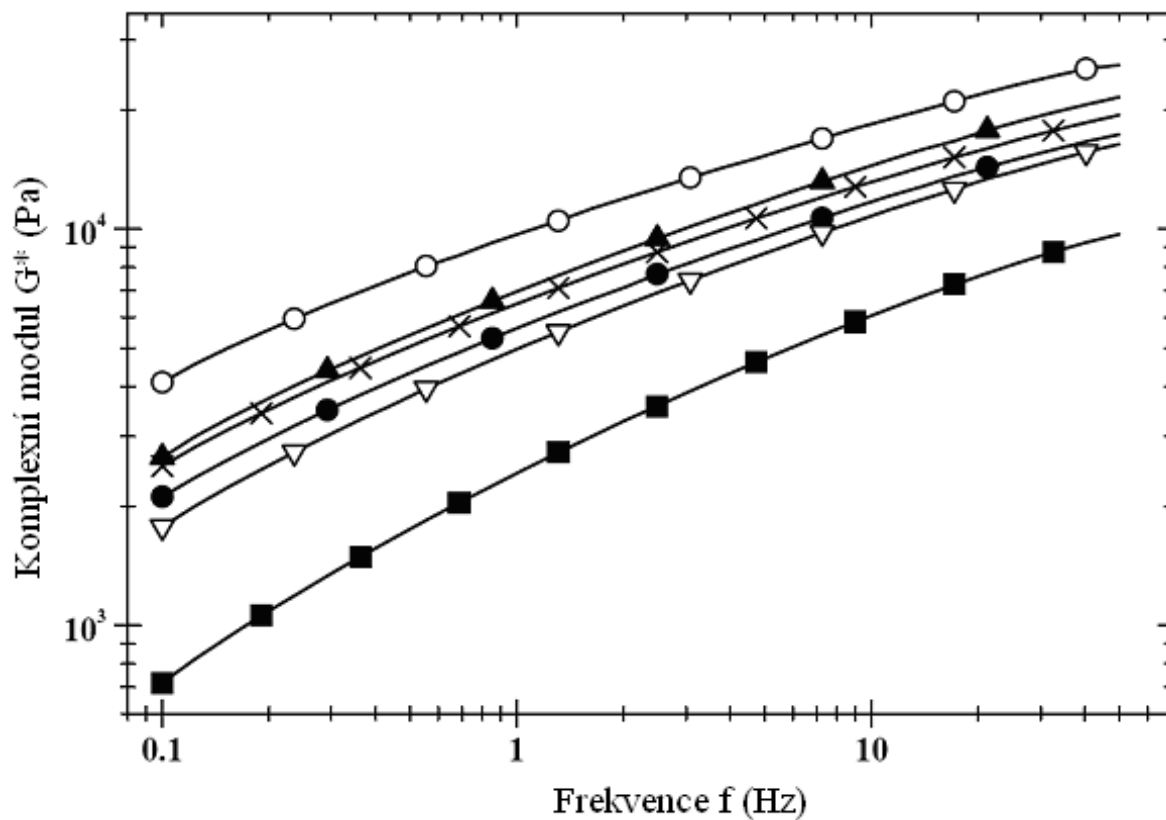
		Skupina tavených sýrů					
		VI			VII		
Pektin	Monosacharid	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]
–	–	$3655 \pm 163^a$	$2304 \pm 126^a$	0,630	$3140 \pm 111^a$	$2087 \pm 74^{a,d}$	0,665
	Gal	$2867 \pm 80^b$	$1963 \pm 41^b$	0,685	$2409 \pm 41^b$	$1740 \pm 30^b$	0,722
	Lac	$2589 \pm 272^c$	$1797 \pm 153^{b,c}$	0,694	$2396 \pm 73^b$	$1735 \pm 53^b$	0,724
	Sac	$2625 \pm 26^c$	$1708 \pm 17^c$	0,651	$2349 \pm 250^b$	$1648 \pm 159^b$	0,702
0,2 % w/w	–	$4470 \pm 203^d$	$2540 \pm 176^a$	0,568	$4214 \pm 144^c$	$2542 \pm 87^c$	0,603
	Gal	$3894 \pm 179^a$	$2359 \pm 94^a$	0,606	$3597 \pm 333^a$	$2249 \pm 208^{a,c,d}$	0,625
	Lac	$3643 \pm 113^a$	$2241 \pm 36^a$	0,615	$3377 \pm 222^a$	$2067 \pm 136^d$	0,612
	Sac	$3774 \pm 47^a$	$2226 \pm 46^a$	0,590	$3440 \pm 288^a$	$2113 \pm 177^d$	0,614
0,4 % w/w	–	$7753 \pm 299^e$	$3727 \pm 107^d$	0,481	$6969 \pm 120^d$	$3647 \pm 63^e$	0,523
	Gal	$6029 \pm 195^f$	$3169 \pm 109^e$	0,391	$5522 \pm 128^e$	$2888 \pm 27^f$	0,523
	Lac	$5918 \pm 54^f$	$3105 \pm 90^e$	0,379	$5918 \pm 412^e$	$3105 \pm 216^f$	0,525
	Sac	$6128 \pm 304^f$	$3177 \pm 129^e$	0,363	$5706 \pm 274^e$	$2993 \pm 144^f$	0,525

\*  $G'$  – elastický modul pružnosti,  $G''$  – ztrátový modul pružnosti,  $\tan \delta$  – tangens úhlu fázového posunu ( $\tan \delta = G''/G'$ ), Gal – D-galaktóza, Lac – laktóza; Sac – sacharóza. Veličiny jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr  $\pm$  směrodatná odchylka. Rozdílné písmenné indexy značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce.

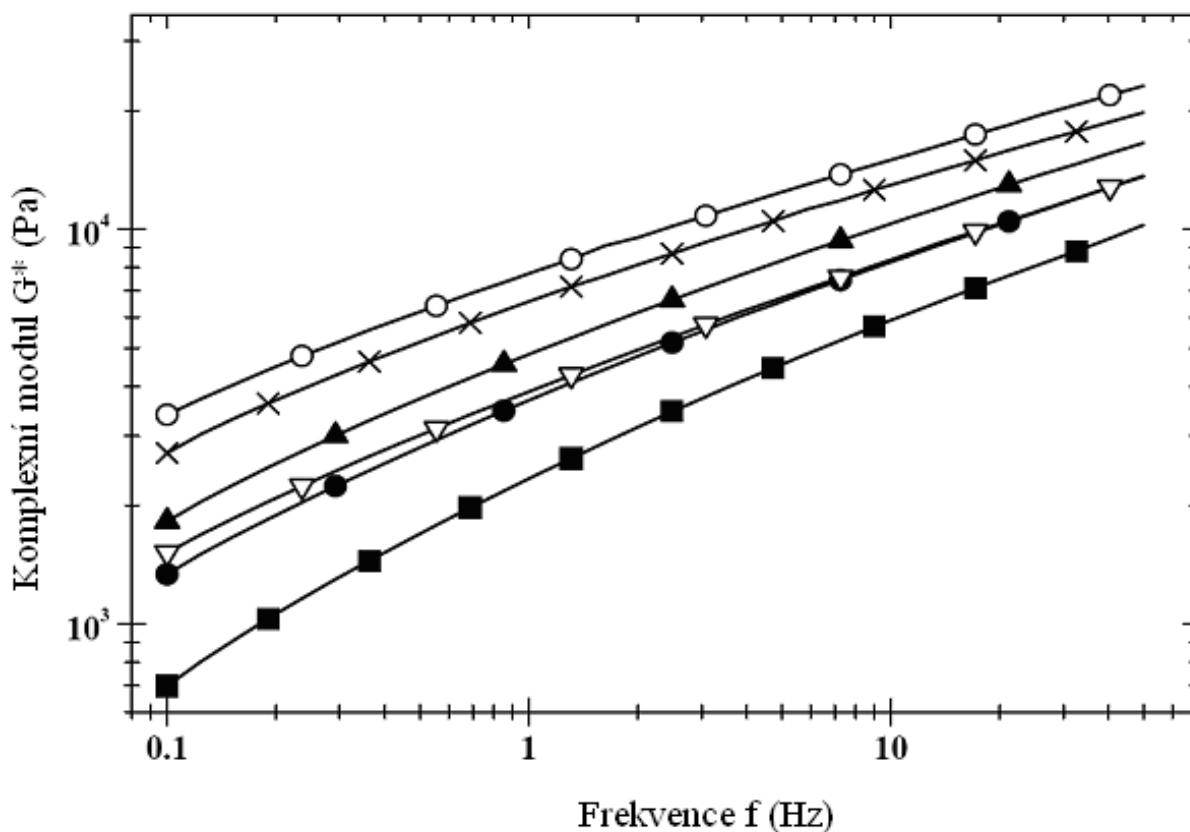
**Tab. XII:** Hodnoty síly gelu ( $A_F$ ) a interakčního faktoru ( $z$ ) pro VI. a VII. skupinu tavených sýrů \*

Pektin	Monosacharid, disacharid	Skupina tavených sýrů			
		VI		VII	
		$A_F$ [ $\text{Pa}\cdot\text{s}^{1/z}$ ]	$z$	$A_F$ [ $\text{Pa}\cdot\text{s}^{1/z}$ ]	$z$
–	–	$4236 \pm 201^a$	$3,03 \pm 0,06^a$	$3695 \pm 130^a$	$2,91 \pm 0,05^{a,d}$
	Gal	$3417 \pm 68^b$	$2,81 \pm 0,03^b$	$2920 \pm 49^b$	$2,77 \pm 0,02^b$
	Lac	$3078 \pm 285^c$	$2,81 \pm 0,13^{b,c}$	$2911 \pm 89^b$	$2,76 \pm 0,04^b$
	Sac	$3071 \pm 29^c$	$2,86 \pm 0,01^c$	$2821 \pm 285^b$	$2,75 \pm 0,14^b$
0,2 % w/w	–	$5012 \pm 286^d$	$3,23 \pm 0,07^d$	$4818 \pm 164^c$	$3,07 \pm 0,05^c$
	Gal	$4438 \pm 190^a$	$3,10 \pm 0,07^{e,f}$	$4154 \pm 383^d$	$3,00 \pm 0,13^{a,c}$
	Lac	$4193 \pm 99^e$	$3,05 \pm 0,05^{a,e}$	$3883 \pm 252^{a,d}$	$3,04 \pm 0,09^c$
	Sac	$4292 \pm 70^e$	$3,13 \pm 0,02^f$	$3950 \pm 328^{a,d}$	$3,00 \pm 0,12^{c,d}$
0,4 % w/w	–	$8425 \pm 283^f$	$3,65 \pm 0,07^g$	$7686 \pm 131^e$	$3,47 \pm 0,03^e$
	Gal	$6661 \pm 220^g$	$3,45 \pm 0,05^h$	$6091 \pm 98^f$	$3,45 \pm 0,04^e$
	Lac	$6514 \pm 124^g$	$3,41 \pm 0,01^i$	$6514 \pm 453^g$	$3,41 \pm 0,11^e$
	Sac	$6744 \pm 302^g$	$3,50 \pm 0,08^h$	$6304 \pm 303^{f,g}$	$3,45 \pm 0,08^e$

\* Gal – D-galaktóza, Lac – laktóza; Sac – sacharóza. Síla gelu ( $A_F$ ) a interakční faktor ( $z$ ) jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr  $\pm$  standardní odchylka. Rozdílné písmenné indexy značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce.



**Obr. 4.2:** Závislost komplexního modulu ( $G^*$ ) na frekvenci ( $f$ ) pro tavené sýry skupiny V (kontrolní vzorek bez přídavku pektinu i nízkomolekulárního sacharidu (●), vzorek s 0,2 % w/w pektinu (▲), vzorek s 0,4 % w/w pektinu (○), vzorek s 1 % w/w D-galaktózy (■), vzorek s 0,2 % w/w pektinu a 1 % w/w D-galaktózy (▽), vzorek s 0,4 % w/w pektinu a 1 % w/w D-galaktózy (×)).



**Obr. 4.3:** Závislost komplexního modulu ( $G^*$ ) na frekvenci ( $f$ ) pro tavené sýry skupiny VII (kontrolní vzorek (●), vzorek s 0,2 % w/w pektinu (▲), vzorek s 0,4 % w/w pektinu (○), vzorek s 1 % w/w laktózy (■), vzorek s 0,2 % w/w pektinu a 1 % w/w laktózy (▽), vzorek s 0,4 % w/w pektinu a 1 % w/w laktózy (×)).

#### 4.2.3 Senzorická analýza modelových tavených sýrů

V rámci sensorické analýzy bylo provedeno hodnocení vzorků pomocí stupnicových metod. Testovanými atributy byly tuhost a roztíratelnost vzorku.

Výsledky sensorického hodnocení jsou uvedeny v tabulce XIII. Pomocí sensorické analýzy bylo zjištěno, že tuhost vzorků byla přidavkem monosacharidu ve většině případů snížena oproti kontrole ( $P < 0,05$ ). Pokud měla podle hodnotitelů kontrola optimální tuhost, pak vzorky s monosacharidem byly hodnoceny jako mírně měkčí. Posuzovatelé obvykle ohodnotili vzorky obsahující různý monosacharid jako stejně tuhé i stejně roztíratelné.



**Tab. XIII:** Výsledky senzorické analýzy vybraných tavených sýrů experimentu č. 2\*

Hodnocení	Pektin	Monosacharid, disacharid	Tuhost	Roztíratelnost
1	–	K	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		Fru	4 <sup>b</sup>	4 <sup>b</sup>
		Glc	4 <sup>b</sup>	4 <sup>b</sup>
2	–	K	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		Fru	4 <sup>b</sup>	4 <sup>b</sup>
		Gal	3 <sup>a,b</sup>	3 <sup>a,b</sup>
3	–	K	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
	0,2 % w/w	–	2 <sup>b</sup>	2 <sup>b</sup>
	0,2 % w/w	Glc	3 <sup>a,b</sup>	3 <sup>a,b</sup>
4	–	K	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
	0,4 % w/w	–	2,5 <sup>b</sup>	3 <sup>b</sup>
	0,4 % w/w	Glc	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>

\* K – kontrolní vzorek bez přídavku pektinu či nízkomolekulárního sacharidu. Rozdílné písmenné indexy ve sloupci značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami tuhosti, resp. roztíratelnosti, vzorků v rámci jednoho hodnocení.

\* Tuhost: 1 – velmi tuhý → 3 – optimální tuhost → 5 – velmi měkký.

Roztíratelnost: 1 – vzorek neroztíratelný → 3 – optimální roztíratelnost → 5 – vzorek má tekutý charakter.

Z Tab. XIII je dále patrné, že k poklesu tuhosti sýra vlivem přídavku nízkomolekulárního sacharidu došlo také u vzorků obsahujících 0,2 % w/w či 0,4 % w/w pektinu. Opět z důvodu shodných výsledků získaných reologickou analýzou pro všechny použité nízkomolekulární sacharidy byly senzorickému testování podrobeny pouze vzorky s pektinem a glukózou (ta byla vybrána jako zástupce všech použitých nízkomolekulárních sacharidů). Ve všech případech hodnotitelé postřehli snížení tuhosti vzorků s pektinem vlivem přídavku glukózy, avšak tato změna nebyla vždy statisticky průkazná. Zde se jednoznačně ukazuje vyšší citlivost instrumentálních metod ve srovnání se senzorickou analýzou, která může být zatížena subjektivními vlivy vybraných posuzovatelů.

### 4.3 Výsledky a diskuze k experimentu č. 3

V rámci tohoto pokusu byl sledován vliv jednotlivých fosforečnanových tavicích solí a jejich vybraných směsí na viskoelastické vlastnosti modelových tavených sýrů bez a s přidavkem pektinu (0,4 % w/w).

#### 4.3.1 Chemická analýza modelových tavených sýrů

Výsledky chemických analýz modelových tavených sýrů (obsah sušiny, tuku a popela) s obsahem jednotlivých tavicích solí, případně jejich směsí, jsou uvedeny v tabulce XIV. Stejně jako v předchozích dvou experimentech i zde byla snaha udržet tyto sledované parametry v určitém rozmezí z důvodu jejich potenciálního vlivu na zkoumané viskoelastické vlastnosti vzorků [27, 33, 41, 100, 101].

*Tab. XIV: Chemické složení modelových tavených sýrů obsahujících jednotlivé fosforečnanové tavicí soli, resp. jejich směsi*

Skupina tavených sýrů	Sušina (% w/w)	Tuk (% w/w)	Popel (% w/w)
VIII	41,87 – 42,99	21,5 – 22,0	5,1 – 5,3
IX	42,10 – 42,85	21,0 – 22,0	4,7 – 5,1
X	41,90 – 42,98	21,0 – 22,5	4,7 – 5,2
XI	41,82 – 42,61	21,0 – 21,5	4,8 – 5,1
XII	42,00 – 43,45	21,0 – 22,0	4,7 – 5,0
XIII	42,06 – 43,67	22,0 – 22,5	4,7 – 5,1
XIV	42,07 – 43,88	22,0 – 23,0	4,9 – 5,2
XV	42,03 – 43,07	21,0 – 22,0	5,0 – 5,2
XVI	42,38 – 42,99	21,5 – 22,5	5,0 – 5,1

#### 4.3.2 Modelové tavené sýry obsahující jednotlivé fosforečnany

##### 1.3.5.9 pH modelových tavených sýrů bez úpravy pH (skupiny VIII a IX)

Kromě výše zmíněných chemických ukazatelů bylo dále sledováno rovněž pH vyrobených tavených sýrů, tyto hodnoty jsou znázorněny v tabulce XV. Přidavkem 0,4 % w/w pektinu bylo pH tavených sýrů změněno vždy pouze nepatrně ( $P \geq 0,05$ ), proto nejsou tyto hodnoty v tabulce XV prezentovány.

Vyrobené tavené sýry obsahovaly vždy přibližně 3 % w/w tavicích solí, proto bylo pro srovnání provedeno i měření pH 3% vodných roztoků používaných fosforečnanů. Výsledky z tohoto měření jsou uvedeny v tabulce XV.

**Tab. XV:** Hodnoty pH modelových tavených sýrů skupin VIII až X obsahujících jednotlivé fosforečnanové tavicí soli \*

Tavicí sůl	pH roztoku (3 % w/w)	Skupina tavených sýrů		
		VIII pH	IX pH	X pH
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	12,27 ± 0,01	7,01 ± 0,01	6,93 ± 0,03	5,62 ± 0,02
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	8,82 ± 0,01	6,32 ± 0,01	6,64 ± 0,02	5,57 ± 0,01
Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	9,68 ± 0,01	6,70 ± 0,01	6,84 ± 0,02	5,56 ± 0,03
Na <sub>2</sub> H <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	4,54 ± 0,01	4,94 ± 0,01	4,67 ± 0,02	5,62 ± 0,01
Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	9,26 ± 0,01	6,55 ± 0,01	6,74 ± 0,01	5,55 ± 0,03
PoP	5,97 ± 0,01	5,56 ± 0,01	5,79 ± 0,02	5,61 ± 0,02

\* U skupiny X byla pomocí kyseliny či zásady provedena úprava pH tavených sýrů. Hodnoty pH jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr ± standardní odchylka. Hodnoty pH modelových tavených sýrů s 0,4 % w/w pektinu zde nejsou prezentovány.

Hodnoty pH jednotlivých vzorků obsahujících různé fosforečnanové tavicí soli se vzájemně lišily. Získané hodnoty pH se pohybovaly v širokém rozmezí 4,6 – 7,0. Podle Guinee a kol. [3], Lee a Klostermeyer [15], Marchesseau a kol. [41], či Lu a kol. [95] se pH optimální pro tavený sýr přijatelné konzistence a dobrých texturních vlastností pohybuje u průmyslově vyráběných tavených sýrů v rozmezí 5,5 až 6,0. Z modelových vzorků do tohoto ideálního rozmezí spadá pouze vzorek připravený s použitím polyfosforečnanu sodného, jehož pH se pohybovalo kolem hodnoty 5,6. Samostatná aplikace ostatních fosforečnanů způsobila vzrůst hodnot pH tavených sýrů sledovaných skupin v porovnání se sýrem přírodním, z něhož byly vzorky vyrobeny (pH přírodního sýra se pohybovalo v rozmezí 5,6 – 5,9). Výjimkou byl pouze dihydrogendifosforečnan sodný (Na<sub>2</sub>H<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), jehož přidávkem vznikl vždy tavený sýr s nevhodně nízkou hodnotou pH (viz Tab. XV). V důsledku použití jednotlivých fosforečnanů se pH finálních výrobků zvyšovalo v následujícím pořadí: Na<sub>2</sub>H<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> < PoP < Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> < Na<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub> < Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> < Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, tento trend lze vypočítat již z měření pH jednotlivých 3% vodných roztoků jednotlivých fosforečnanů

(viz Tab. XV). Z výsledků je tedy patrné, že jednotlivé tavicí soli mají schopnost upravovat a stabilizovat pH prostředí, v němž se nachází. Cavalier-Salou a Cheftel [114] pozorovali vzrůst pH tavených analogů vyrobených z kaseinátu vápenatého při použití 3 % w/w fosforečnanů sodných v obdobném pořadí:  $\text{PoP} < \text{Na}_2\text{HPO}_4 < \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} \approx \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ . Rovněž Gupta a kol. [115] připravili tavené sýry, v nichž bylo pH signifikantně ovlivněno přidavkem různých fosforečnanových tavicích solí. [38, 114, 115].

### **1.3.5.10 Reologická analýza modelových tavených sýrů bez úpravy pH (skupiny VIII a IX)**

Výsledky získané reologickou analýzou modelových vzorků skupin VIII a IX vyrobených v experimentu č. 3 společně s veličinami vypočtenými v rámci Winterova modelu kritického gelu jsou uvedeny v tabulkách XVI a XVII.

V tabulce XVI jsou prezentovány hodnoty elastického a ztrátového modulu a tangentu úhlu fázového posunu pro modelové tavené sýry skupin VIII a IX, tj. vzorků obsahujících vždy jeden fosforečnan. Jsou zde uvedeny jednak vzorky bez pektinu i tavené sýry s 0,4 % w/w pektinu. Z naměřených výsledků vyplývá, že různé fosforečnanové tavicí soli zapříčinily vznik produktu rozdílných viskoelastických vlastností. Porovnáme-li produkty obsahující stejný fosforečnan, avšak lišící se v přítomnosti pektinu, lze konstatovat, že přidavkem tohoto hydrokoloidu došlo ve většině případů ke ztužení tavených sýrů bez ohledu na typ použité tavicí soli. Toto zvýšení hodnot elastického či ztrátového modulu vlivem přidavku pektinu nebylo statisticky průkazné pouze v případě použití  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  ( $P \geq 0,05$ ). V tabulce XVI jsou dále prezentovány hodnoty úhlu fázového posunu, jehož pokles značí vzrůst elasticity vzorku. Ve všech případech došlo přidavkem pektinu ke zvýšení elasticity vzorků skupin VIII a IX ve srovnání se sýry bez přidavku hydrokoloidu bez ohledu na typ použité fosforečnanové tavicí soli.

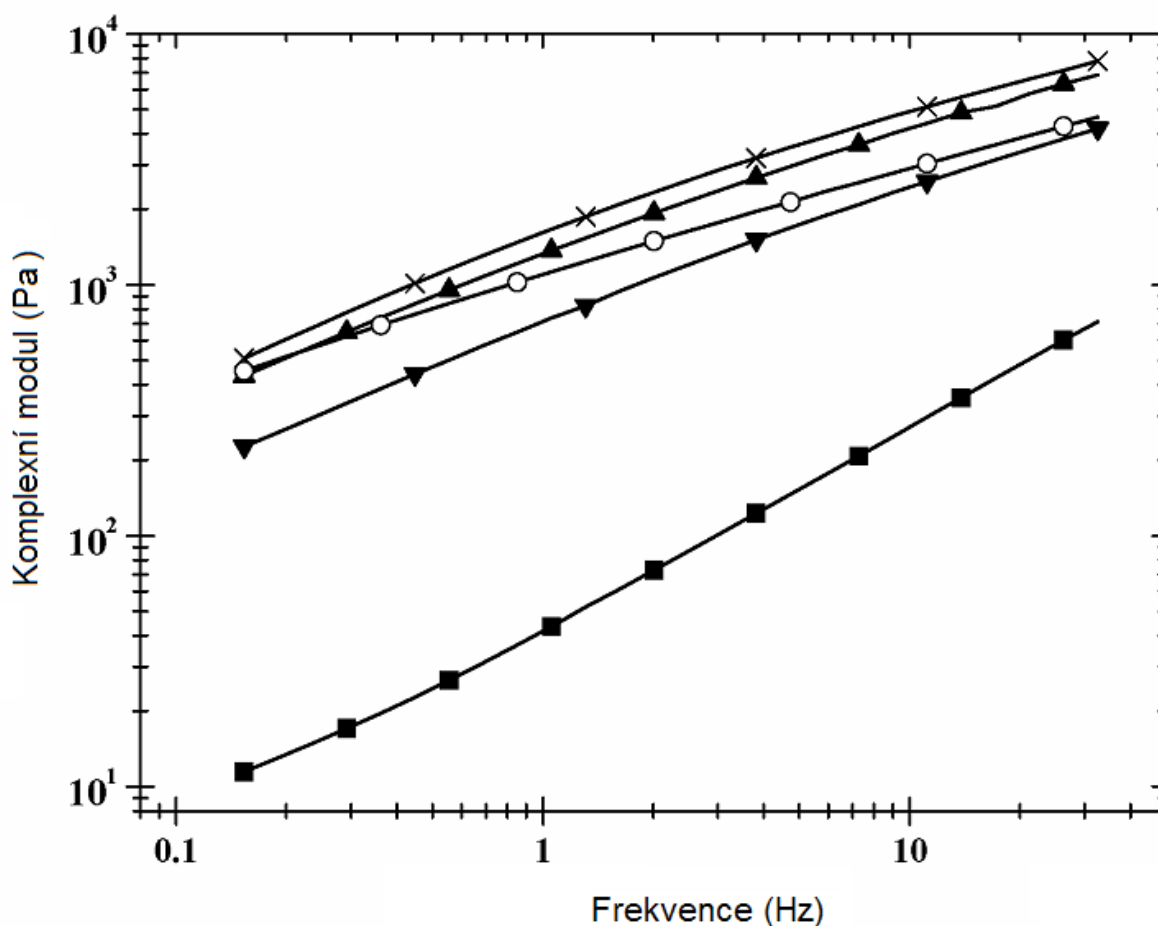
Nejnižší hodnoty modulů pružnosti vykazovali vždy vzorky vyrobené s použitím ortofosforečnanů ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$  či  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ). Navíc u těchto vzorků vždy ztrátový modul vyjadřující viskozitní složku systému převažoval nad elastickým modulem. Tyto vzorky tedy nevykazovaly viskoelastické vlastnosti charakteristické pro roztíratelný tavený sýr, ale byly téměř tekuté. Modelové tavené sýry vyrobené s přidavkem difosforečnanu ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) měly hodnoty sledovaných modulů vždy o něco vyšší ve srovnání se vzorky s ortofosforečnanem. Nejvyšší hodnoty elastického a ztrátového modulu vykazovaly vzorky vyrobené s použitím trifosforečnanu ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ). Tavené sýry s polyfosforečnanem sodným byly méně tuhé v porovnání se vzorkem obsahujícím trifosforečnan sodný, avšak byly podstatně tužší než vzorky vyrobené s použitím difosforečnanů či monofosforečnanů ( $P < 0,05$ ). Nejvyšší

hodnoty tangentu úhlu fázového posunu vykazovaly právě vzorky s polyfosforečnanem. I přesto, že tento vzorek nebyl nejtuzší, převládal zde ze všech vzorků nejvíce elastický modul nad modulem ztrátovým.

Pro tavené sýry s obsahem jednoho fosforečnanu byly ze získaných dat dále vypočteny hodnoty interakčního faktoru a síly gelu, jež jsou uvedeny v tabulce XVII. Získané hodnoty potvrzují, že s rostoucím počtem fosforečnanových aniontů v molekule fosforečnanu se zvyšoval interakční faktor a také síla gelu. Tzn. že vzrostl počet interakcí v trojrozměrné síti výrobku, a tím se zvýšila síla vytvořeného gelu. Vzhledem k faktu, že fosforečnany jsou schopny vázat se na molekuly bílkovin, je pravděpodobné, že čím více fosforečnanových skupin je přítomno, tím se může uplatnit více vazebných míst schopných dalších interakcí. Porovnáme-li hodnoty interakčního faktoru a síly gelu vzorku bez pektinu a shodného vzorku s 0,4 % w/w pektinu, hodnoty obou sledovaných parametrů jsou vyšší u vzorků s pektinem. Bylo tedy potvrzeno, že se pektin zapojil do interakcí uvnitř taveného sýra (neboť zvýšil hodnotu interakčního faktoru), čímž způsobil další zpevnění matrice vzorku.

Obrázek 4.4 prezentuje závislost komplexního modulu pružnosti na frekvenci pro tavené sýry skupiny IX. Vzhledem k tomu, že komplexní modul vyjadřuje celkovou tuhost systému, je z grafu patrné, že nejméně účinný při tvorbě trojrozměrné struktury sýra je ortofosforečnan následovaný difosforečnanem a trifosforečnanem. Vzorky obsahující polyfosforečnan pak vykazují vyšší tuhost než použité monofosforečnany a u frekvencí vyšších než 0,3 Hz nižší tuhost než di- a trifosforečnany.

Obecně tedy ze získaných výsledků vyplývá, že jednotlivé tavicí soli ovlivňují podstatně pH tavených sýrů, čímž beze sporu ovlivňují vlastnosti přítomných bílkovin (náboj na molekule bílkoviny, hydratace proteinů, jejich emulgační schopnost) [3, 4, 11, 12, 23]. Účinnost ortofosforečnanů při tvorbě struktury taveného sýra je nižší než účinnost difosforečnanů a polyfosforečnanů. Zatímco při použití monofosforečnanů vznikaly výrobky téměř tekuté, pyrofosforečnany a polyfosforečnany dávaly ve většině případů tavené sýry více či méně optimální konzistence. Nejtuzší vzorky byly získány při použití difosforečnanů a trifosforečnanu. Ty mají největší schopnost podpořit zesílení matrice vzorku [3, 20]. Mizuno a Lucey [116] tvrdí, že některé typy fosforečnanů (uvádí pyrofosforečnany) mohou za určitých podmínek indukovat gelaci tvorbou komplexů kasein-vápník-fosforečnan, dokonce i ze zředěných roztoků bílkovin. Navíc pyrofosforečnany a trifosforečnany silně podporují emulgaci tuku na rozdíl od ortofosforečnanů [56]. Pektin vždy ztuhlil vzorek bez ohledu na výsledné pH taveného sýra či typ použité tavicí soli. Aplikace hydrokoloidu při výrobě taveného sýra s nedostatečně účinným fosforečnanem může stabilizovat viskoelastické vlastnosti finálního produktu.



**Obr. 4.4:** Závislost komplexního modulu ( $G^*$ ) na frekvenci ( $f$ ) pro tavené sýry skupiny IX obsahující jednotlivé fosforečnany ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$  (■),  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (▼),  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  (▲),  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  (×), PoP (○)).

Kromě výše zmíněných fosforečnanů byly dále vyrobeny rovněž vzorky obsahující dihydrogendifosforečnan sodný ( $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ). Tyto tavené sýry však nebyly měřitelné z důvodu rozpadavé konzistence a uvolňování vodné a tukové fáze způsobené pravděpodobně nízkou hodnotou pH produktu (viz Tab. XV). Obdobný jev, tj. uvolňování vody z produktu pozorovali ve své práci Dimitreli a kol. [34] při použití hexametafosforečnanu sodného ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> jako tavicí soli při výrobě tavených sýrů (pH  $\approx$  5,2). Podle Gupta a kol. [115] vznikají při použití hexametafosforečnanu sodného ( $\leq 3$  % w/w), či některých dalších tavicích solí, tavené sýry s příliš nízkou hodnotou pH ( $\leq 5,2$ ), což má za následek nedostatečnou emulgaci tuku. Zároveň při tomto pH nedochází k tvorbě spojitě proteinové matrice taveného sýra. Při takto nízkém pH výrobků (viz rovněž Tab. XV), jež se blíží izoelektrickému bodu kaseinu, byly tedy zřejmě upřednostněny přitažlivé interakce proteinových molekul, čímž došlo k jejich částečné agregaci. Vysrážené bílkovinné molekuly pak nebyly schopny vázat dostatečné množství vody (nedostatečná hydratace) a nemohly uplatnit své

přirozené emulgační vlastnosti. V příliš kyselém prostředí zde není přítomno ani dostatečné množství disociovaných fosfátových skupin tavicí soli, jež by mohly rovněž interagovat s vodou [11, 34, 41, 115]. Drobivou konzistenci tavených sýrů s nízkým pH = 5,2 pozorovali také Marchesseau a kol. [41].

**Tab. XVI:** Hodnoty elastického ( $G'$ ) a ztrátového ( $G''$ ) modulu pružnosti a hodnoty tangentu úhlu fázového posunu ( $\tan \delta$ ) pro referenční frekvenci 1 Hz pro VIII. a IX. skupinu tavených sýrů \*

		Skupina tavených sýrů					
Pektin	Tavicí sůl	VIII			IX		
		$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]
–	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	114 ± 10 <sup>a,A</sup>	257 ± 24 <sup>a,A</sup>	2,250	11 ± 6 <sup>a,A</sup>	42 ± 13 <sup>a,A</sup>	3,792
	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	398 ± 27 <sup>b,A</sup>	597 ± 22 <sup>b,A</sup>	1,497	482 ± 32 <sup>b,A</sup>	558 ± 22 <sup>b,A</sup>	1,157
	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	1447 ± 129 <sup>c,A</sup>	1604 ± 95 <sup>c,A</sup>	1,109	955 ± 6 <sup>c,A</sup>	980 ± 13 <sup>c,A</sup>	1,026
	Na <sub>2</sub> H <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	4275 ± 410 <sup>d,A</sup>	3193 ± 319 <sup>d,A</sup>	0,747	1121 ± 8 <sup>d,A</sup>	1232 ± 2 <sup>d,A</sup>	1,099
	PoP	3800 ± 352 <sup>d,A</sup>	2094 ± 237 <sup>e,A</sup>	0,551	886 ± 22 <sup>e,A</sup>	695 ± 17 <sup>e,A</sup>	0,784
0,4 % w/w	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1968 ± 148 <sup>a,B</sup>	1565 ± 94 <sup>a,B</sup>	0,795	689 ± 19 <sup>a,B</sup>	513 ± 5 <sup>a,B</sup>	0,744
	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1946 ± 199 <sup>a,B</sup>	1713 ± 121 <sup>a,B</sup>	0,880	2929 ± 11 <sup>b,B</sup>	2000 ± 37 <sup>b,B</sup>	0,683
	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	4604 ± 273 <sup>b,B</sup>	3615 ± 98 <sup>b,B</sup>	0,785	1800 ± 62 <sup>c,B</sup>	1779 ± 65 <sup>c,B</sup>	0,989
	Na <sub>2</sub> H <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	4455 ± 399 <sup>b,A</sup>	2807 ± 204 <sup>c,B</sup>	0,630	1487 ± 121 <sup>d,B</sup>	1236 ± 6 <sup>d,A</sup>	0,831
	PoP	6490 ± 682 <sup>c,B</sup>	2708 ± 297 <sup>c,B</sup>	0,417	4960 ± 303 <sup>e,B</sup>	2212 ± 91 <sup>e,B</sup>	0,446

\*  $G'$  – elastický modul pružnosti,  $G''$  – ztrátový modul pružnosti,  $\tan \delta$  – tangens úhlu fázového posunu ( $\tan \delta = G''/G'$ ) jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr ± standardní odchylka. Rozdílná malá písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce (samostatně hodnoceny vorky s pektinem a bez pektinu). Rozdílná velká písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi vzorky určité skupiny obsahujícími stejný fosforečnan lišícími se pouze v přítomnosti pektinu. ND – vzorek nebyl měřen.



**Tab. XVII:** Hodnoty síly gelu ( $A_F$ ) a interakčního faktoru ( $z$ ) pro VIII. a IX. skupinu tavených sýrů \*

		Skupina tavených sýrů			
		I		II	
Pektin	Tavicí sůl	$A_F$ [ $\text{Pa}\cdot\text{s}^{1/z}$ ]	$z$	$A_F$ [ $\text{Pa}\cdot\text{s}^{1/z}$ ]	$z$
–	$\text{Na}_3\text{PO}_4$	$300 \pm 28$ <sup>a,A</sup>	$1,64 \pm 0,09$ <sup>a,A</sup>	$41 \pm 12$ <sup>a,A</sup>	$1,22 \pm 0,02$ <sup>a,A</sup>
	$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	$741 \pm 31$ <sup>b,A</sup>	$1,91 \pm 0,03$ <sup>b,A</sup>	$751 \pm 36$ <sup>b,A</sup>	$1,99 \pm 0,01$ <sup>b,A</sup>
	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	$2179 \pm 147$ <sup>c,A</sup>	$2,25 \pm 0,04$ <sup>c,A</sup>	$1383 \pm 3$ <sup>c,A</sup>	$2,14 \pm 0,01$ <sup>c,A</sup>
	$\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$	ND	ND	ND	ND
	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	$5228 \pm 418$ <sup>d,A</sup>	$2,87 \pm 0,10$ <sup>d,A</sup>	$1682 \pm 7$ <sup>d,A</sup>	$2,22 \pm 0,01$ <sup>d,A</sup>
	PoP	$4252 \pm 332$ <sup>e,A</sup>	$3,13 \pm 0,09$ <sup>e,A</sup>	$1105 \pm 28$ <sup>e,A</sup>	$2,40 \pm 0,02$ <sup>e,A</sup>
0,4 % w/w	$\text{Na}_3\text{PO}_4$	$2504 \pm 210$ <sup>a,B</sup>	$2,45 \pm 0,04$ <sup>a,B</sup>	$831 \pm 20$ <sup>a,B</sup>	$2,38 \pm 0,02$ <sup>a,B</sup>
	$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	$2566 \pm 199$ <sup>a,B</sup>	$2,50 \pm 0,12$ <sup>a,B</sup>	$3487 \pm 33$ <sup>b,B</sup>	$2,86 \pm 0,02$ <sup>b,B</sup>
	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	$5745 \pm 258$ <sup>b,B</sup>	$2,79 \pm 0,03$ <sup>b,B</sup>	$2543 \pm 86$ <sup>c,B</sup>	$2,32 \pm 0,05$ <sup>c,B</sup>
	$\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$	ND	ND	ND	ND
	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	$5257 \pm 470$ <sup>b,A</sup>	$3,01 \pm 0,01$ <sup>c,B</sup>	$1755 \pm 45$ <sup>d,B</sup>	$2,30 \pm 0,01$ <sup>c,B</sup>
	PoP	$6917 \pm 711$ <sup>c,B</sup>	$3,85 \pm 0,02$ <sup>d,B</sup>	$5354 \pm 323$ <sup>e,B</sup>	$3,50 \pm 0,04$ <sup>d,B</sup>

\* Síla gelu ( $A_F$ ) a interakční faktor ( $z$ ) jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr  $\pm$  standardní odchylka. Rozdílná malá písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce (samostatně hodnoceny vorky s pektinem a bez pektinu). Rozdílná velká písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi vzorky určité skupiny obsahujícími stejný fosforečnan lišícími se pouze v přítomnosti pektinu. ND – vzorek nebyl měřen.

### **1.3.5.11pH modelových tavených sýrů s úpravou pH (skupina X)**

Vzhledem k faktu, že hodnota pH ovlivňuje viskoelastické vlastnosti tavených sýrů, byl dále proveden pokus, při kterém bylo pH vzorků upraveno ještě při jejich výrobě na přibližně obdobné hodnoty, jaké vykazují běžně dostupné komerční produkty. Úprava pH vzorků vyrobených s použitím samostatných tavicích solí byla prováděna pomocí kyseliny mléčné či hydroxidu sodného v práci Shirashoji a kol. [22].

V případě vzorků vyrobených s jednotlivými fosforečnany se původní široké rozmezí pH tavených sýrů (4,94 – 7,01 u skupiny VIII, 4,67 – 6,93 u skupiny IX) podařilo zúžit přidávkem kyseliny či zásady na 5,55 – 5,62 (skupina X), viz Tab. XV.

### **1.3.5.12Reologická analýza modelových tavených sýrů s úpravou pH (skupina X)**

Výsledky získané reologickou analýzou modelových vzorků skupiny X, u nichž bylo pH upraveno přidávkem kyseliny či zásady na optimální hodnotu (z hlediska průmyslové praxe), společně s veličinami vypočtenými v rámci Winterova modelu kritického gelu jsou uvedeny v tabulce XVIII. Jsou zde prezentovány hodnoty elastického a ztrátového modulu, tangentu úhlu fázového posunu, hodnoty síly gelu a interakčního faktoru vzorků obsahujících jeden fosforečnan pro referenční frekvenci 1 Hz.

I po odstranění vlivu pH, jako jednoho z faktorů ovlivňujících viskoelastické vlastnosti tavených sýrů, lze pozorovat obdobné trendy jako u tavených sýrů bez úpravy pH. Tavené sýry obsahující ortofosforečnany byly nejméně tuhé a elastické. Vzorky s difosforečnany vykazovaly vyšší hodnoty sledovaných modulů, nejtěžším byl produkt obsahující trifosforečnan ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ). Také zde přidavek pektinu ztuhl vzorek bez ohledu na typ použité tavicí soli.

Po upravení pH na optimální hodnotu bylo již možné změřit také vzorek obsahující dihydrogendifosforečnan sodný ( $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ). Uvolňování vodné aniontové fázi či vysrážené bílkoviny nebyly v tomto případě již pozorovány. Vysvětlením může být vzdálení hodnoty pH od izoelektrického bodu kaseinu, čímž se zvyšuje záporný náboj na molekule bílkoviny. Jednotlivé proteinové řetězce se pak více odpuzují, tím dochází ke změně prostorového uspořádání molekuly a jsou tak odkryta další možná reakční místa. Voda se již tedy může vázat na bílkovinu, čímž je podpořena hydratace proteinů. Ta může být ještě více podpořena vazbou fosforečnanových aniontů na bílkoviny (esterově či přes vápenaté můstky), čímž se dále zvyšuje vazba přítomné vody. Neagregované

bílkoviny rovněž mohou uplatnit své přirozené emulgační vlastnosti [3, 4, 23, 41].

Aplikace obou difosforečnanů ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  i  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ) zapříčinila vznik produktů obdobných viskoelastických vlastností (viz Tab. XVIII). Po úpravě pH všech vzorků na obdobnou hodnotu, se účinnost obou používaných difosforečnanů tedy vyrovnala.

**Tab. XVIII:** Hodnoty elastického ( $G'$ ) a ztrátového ( $G''$ ) modulu pružnosti, tangentu úhlu fázového posunu ( $\tan \delta$ ), síly gelu ( $A_F$ ) a interakčního faktoru ( $z$ ) pro referenční frekvenci 1 Hz pro X. skupinu tavených sýrů \*

Pektin	Tavicí sůl	pH	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]	$A_F$ [Pa·s <sup>1/z</sup> ]	$z$
–	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	5,62 ± 0,02	479 ± 38 <sup>a</sup>	391 ± 6 <sup>a</sup>	0,816	616 ± 44 <sup>a</sup>	2,05 ± 0,10 <sup>a</sup>
	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5,57 ± 0,01	203 ± 60 <sup>b,A</sup>	159 ± 40 <sup>b,A</sup>	0,783	231 ± 74 <sup>b,A</sup>	1,91 ± 0,09 <sup>b,A</sup>
	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	5,56 ± 0,03	657 ± 19 <sup>c,A</sup>	618 ± 10 <sup>c,A</sup>	0,942	898 ± 17 <sup>c,A</sup>	2,30 ± 0,01 <sup>c,A</sup>
	Na <sub>2</sub> H <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	5,62 ± 0,01	657 ± 39 <sup>c,A</sup>	685 ± 32 <sup>d,A</sup>	1,043	963 ± 48 <sup>c,A</sup>	2,16 ± 0,01 <sup>d,A</sup>
	Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	5,55 ± 0,03	1650 ± 163 <sup>d,A</sup>	1097 ± 54 <sup>e,A</sup>	0,665	1955 ± 159 <sup>d,A</sup>	2,48 ± 0,11 <sup>e,A</sup>
	PoP	5,61 ± 0,02	1435 ± 53 <sup>e,A</sup>	1012 ± 1 <sup>f,A</sup>	0,705	1720 ± 46 <sup>e,A</sup>	2,64 ± 0,05 <sup>f,A</sup>
0,4 % w/w	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	5,57 ± 0,01	ND	ND	ND	ND	ND
	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5,49 ± 0,01	1818 ± 171 <sup>a,B</sup>	172 ± 16 <sup>a,A</sup>	0,995	2247 ± 186 <sup>a,B</sup>	2,60 ± 0,05 <sup>a,B</sup>
	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	5,50 ± 0,01	2971 ± 61 <sup>b,B</sup>	1625 ± 16 <sup>b,B</sup>	0,547	3306 ± 58 <sup>b,B</sup>	3,29 ± 0,01 <sup>b,B</sup>
	Na <sub>2</sub> H <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	5,60 ± 0,04	3236 ± 18 <sup>c,B</sup>	1893 ± 11 <sup>c,B</sup>	0,585	3659 ± 12 <sup>c,B</sup>	3,07 ± 0,01 <sup>c,B</sup>
	Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	5,49 ± 0,01	3024 ± 35 <sup>b,B</sup>	1656 ± 5 <sup>d,B</sup>	0,548	3363 ± 40 <sup>b,B</sup>	3,26 ± 0,02 <sup>d,B</sup>
	PoP	5,57 ± 0,02	3399 ± 153 <sup>c,B</sup>	1830 ± 69 <sup>b,B</sup>	0,538	3785 ± 165 <sup>c,B</sup>	3,22 ± 0,01 <sup>e,B</sup>

\*  $G'$  – elastický modul pružnosti,  $G''$  – ztrátový modul pružnosti,  $\tan \delta$  – tangens úhlu fázového posunu ( $\tan \delta = G''/G'$ ),  $A_F$  – síla gelu,  $z$  – interakční faktor. Veličiny jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr ± standardní odchylka. Rozdílná malá písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce (samostatně byly hodnoceny vzorky bez pektinu a s pektinem). Rozdílná velká písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi vzorky obsahujícími stejný fosforečnan lišícími se pouze v přítomnosti pektinu. ND – vzorek nebyl měřen.

### **4.3.3 Modelové tavené sýry obsahující směs dvou fosforečnanů**

#### **4.3.3.1 pH modelových tavených sýrů bez úpravy pH (skupiny XI, XII, XIV, XV)**

U modelových tavených sýrů vyrobených se směsí dvou fosforečnanů (polyfosforečnan + ortofosforečnan, resp. polyfosforečnan + pyrofosforečnan) byly rovněž změřeny hodnoty jejich pH. Ty jsou pro obě testované směsi uvedeny v tabulce XIX.

Jak bylo řečeno dříve, modelové vzorky vyrobené s použitím polyfosforečnanu spadaly do optimálního intervalu pH (okolo 5,5 – 5,6). Z tabulky XIX je patrné, že s přibývajícím množstvím ortofosforečnanu, resp. pyrofosforečnanu, ve směsi za současného snižování obsahu polyfosforečnanu docházelo postupně ke zvyšování hodnot pH taveného sýra. Stejného trendu bylo dosaženo v práci Abdel-Hamid a kol. [117], v níž byly testovány vzorky obsahující kromě směsi polyfosforečnan + pyrofosforečnan, také směsi tří a čtyř fosforečnanů.

S postupně se měnícím poměrem fosforečnanů ve směsi ve prospěch polyfosforečnanu se pH vzorků tedy snižovalo. Nejprve klesalo pozvolně, od poměru 25:75 (v případě  $\text{PoP}:\text{Na}_2\text{HPO}_4$  a rovněž  $\text{PoP}:\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) byl již tento pokles s postupně se zvyšujícím obsahem polyfosforečnanu ve směsi strmější.

#### **4.3.3.2 Reologická analýza modelových tavených sýrů bez úpravy pH (skupiny XI, XII, XIV, XV)**

Hodnoty měřených reologických parametrů tavených sýrů obsahujících směs dvou fosforečnanů jsou uvedeny v tabulkách XX až XXIII. Směs byla tvořena buď polyfosforečnanem + ortofosforečnanem ( $\text{PoP}:\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) nebo polyfosforečnanem + difosforečnanem ( $\text{PoP}:\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ).

S rostoucím podílem polyfosforečnanu ve směsi  $\text{PoP}:\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , resp.  $\text{PoP}:\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ , docházelo nejprve ke vzrůstu elastického či ztrátového modulu ( $P < 0,05$ ) a k poklesu tangentu úhlu fázového posunu, což značilo vzrůst tuhosti a elasticity vzorků. Po dosažení určité hranice polyfosforečnanu ve směsi (zpravidla 50 % polyfosforečnanu ve směsi) však začaly hodnoty modulů klesat a tangens úhlu fázového posunu vzrůstal.

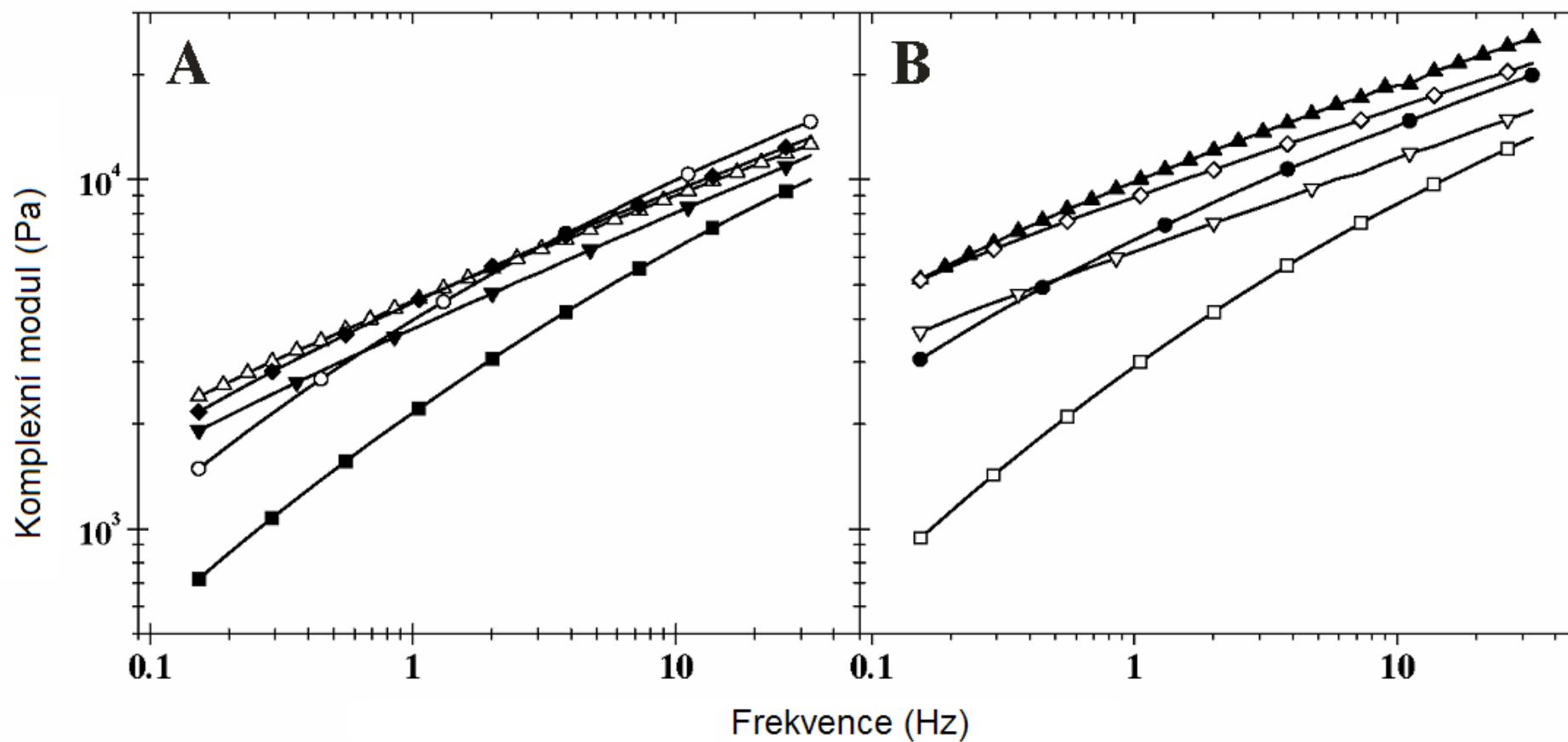
Prvotní vzrůst tuhosti a elasticity vzorků může být způsoben postupnou hydrolyzou přibývajícího polyfosforečnanu ve směsi za vzniku difosforečnanů, trifosforečnanů a delších štěpů. Hydrolyza polyfosforečnanů probíhá již od samotného procesu tavení a pokračuje i během skladování [3, 4, 11, 12, 55].

Zejména vznikající di- a trifosforečnanů se vyznačují schopností podpořit tvorbu gelu uvnitř matrice taveného sýra, čímž mohou zapříčinit vznik tužšího a elastičtějšího produktu [3, 20]. Čím více je tedy polyfosforečnanů ve směsi, tím více vzniká zesílení podporujících di- a trifosforečnanů. Při určitém obsahu polyfosforečnanů ve směsi však již může převažovat obsah nehydrolyzovaných polyfosforečnanů či jejich delších štěpů. Ty mohou způsobit pokles tuhosti vzorků, který může být vysvětlen příliš pevnou vazbou sekvestrovaných vápenatých kationtů na přítomný polyfosforečnan, resp. na jeho delší hydrolytické štěpy. Vápenaté ionty hrají velmi důležitou roli při tvorbě finální struktury výrobku. Při chladnutí tavených sýrů je část vápníku uvolněna z tavicí soli a zapojuje se prostřednictvím vápenatých můstků do zesílení matrice taveného sýra. Afinita k vápenatým kationtům vzrůstá s rostoucím počtem atomů fosforu v molekule tavicí soli [3, 4, 11, 12, 20]. Polyfosforečnanů se tedy vyznačují vysokou afinitou k vápenatým kationtům. Mohou je tedy dosti pevně vázat a znemožňovat tak jejich zapojení do zesílení taveného sýra. Tím mohou vznikat výrobky s menším počtem interakcí uvnitř produktu, tzn. roztíratelnější produkty [12].

Při určitém poměru fosforečnanů ve směsi tedy bylo dosaženo maximum tuhosti a elasticity vzorku. Toto maximum bylo v různých skupinách modelových vzorků dosaženo při rozdílných poměrech tavicích solí. Tyto rozdíly mohou být způsobeny různými faktory, jež ovlivňují tuhost tavených sýrů.

Současně bylo prováděno také měření vzorků se směsí dvou fosforečnanů obsahujících 0,4 % w/w pektinu. Výsledky z reologických analýz a hodnoty interakčního faktoru a síly gelu (vypočtené v rámci Winterova modelu kritického gelu těchto modelových tavených sýrů s pektinem jsou uvedeny v tabulkách XX až XXIII. Přídavkem pektinu došlo vždy ke ztužení produktů a ke zvýšení jejich elasticity ve srovnání se vzorkem bez hydrokoloidu, což bylo rovněž dokázáno zvýšením hodnot interakčního faktoru a síly gelu. Pektin byl tedy účinný při všech použitých kombinacích testovaných fosforečnanů.

Pro názornost byl vytvořen graf znázorňující závislost komplexního modulu na frekvenci pro modelové tavené sýry skupiny XIV obsahující směs  $\text{POP}:\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ , z něhož je patrné postupné zvyšování tuhosti vzorků následované jejím poklesem s rostoucím podílem polyfosforečnanu ve směsi (viz Obr. 4.5). Zatímco levý graf (A) ukazuje vzorky bez pektinu, v pravém grafu (B) jsou vykresleny reologické křivky pro vzorky obsahující 0,4 % w/w pektinu.



**Obr. 4.5:** Závislost komplexního modulu ( $G^*$ ) na frekvenci ( $f$ ) pro tavené sýry skupiny XIV obsahujících směs dvou vybraných fosforečnanů ( $PO_4:Na_4P_2O_7$ ) v různém poměru. Vzorky bez přídavku pektinu (A), vzorky obsahující 0,4 % w/w pektinu (B); 0:100 (■□); 25:75 (○●), 50:50 (△▲), 75:25 (◆◇), 100:0 (▼▽).

**Tab. XIX:** Hodnoty pH modelových tavených sýrů skupin XI až XVI obsahujících směs dvou fosforečnanových tavicích solí (PoP:Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, resp. PoP:Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) \*

Poměr fosforečnanů ve směsi	Skupina tavených sýrů					
	PoP:Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>			PoP:Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>		
	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
0:100	6,35 ± 0,01	6,56 ± 0,01	5,78 ± 0,01	6,70 ± 0,01	6,74 ± 0,01	5,78 ± 0,01
25:75	6,33 ± 0,01	6,49 ± 0,01	5,69 ± 0,01	6,62 ± 0,01	6,64 ± 0,01	5,72 ± 0,01
50:50	5,97 ± 0,01	6,05 ± 0,01	5,80 ± 0,01	6,20 ± 0,01	6,21 ± 0,01	5,49 ± 0,02
75:25	5,73 ± 0,01	5,79 ± 0,01	5,79 ± 0,01	5,85 ± 0,01	5,85 ± 0,01	5,28 ± 0,01
100:0	5,54 ± 0,01	5,55 ± 0,01	5,74 ± 0,01	5,51 ± 0,01	5,54 ± 0,01	5,43 ± 0,01

\* U skupin XIII a XVI byla provedena úprava pH tavených sýrů.



**Tab. XX:** Hodnoty elastického ( $G'$ ) a ztrátového ( $G''$ ) modulu pružnosti a hodnoty tangentu úhlu fázového posunu ( $\tan \delta$ ) pro referenční frekvenci 1 Hz pro XI. a XII. skupinu tavených sýrů obsahujících dvě tavicí soli ( $\text{PoP}:\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) v různém poměru \*

Pektin	Poměr fosforečnanů ve směsi	Skupina tavených sýrů					
		XI			XII		
		$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]
–	0:100	302 ± 62 <sup>a,A</sup>	404 ± 34 <sup>a,A</sup>	1,339	623 ± 24 <sup>a,A</sup>	735 ± 26 <sup>a,A</sup>	1,180
	25:75	2888 ± 316 <sup>b,A</sup>	2065 ± 117 <sup>b,A</sup>	0,715	4006 ± 102 <sup>b,A</sup>	2622 ± 57 <sup>b,A</sup>	0,655
	50:50	2185 ± 55 <sup>c,A</sup>	1484 ± 14 <sup>c,A</sup>	0,679	2987 ± 104 <sup>c,A</sup>	2040 ± 21 <sup>c,A</sup>	0,683
	75:25	1544 ± 105 <sup>d,A</sup>	1093 ± 71 <sup>d,A</sup>	0,708	3751 ± 190 <sup>d,A</sup>	2114 ± 120 <sup>c,A</sup>	0,564
	100:0	860 ± 14 <sup>e,A</sup>	716 ± 21 <sup>e,A</sup>	0,832	1936 ± 106 <sup>e,A</sup>	1228 ± 17 <sup>d,A</sup>	0,634
0,4 % w/w	0:100	1913 ± 86 <sup>a,B</sup>	1589 ± 45 <sup>a,B</sup>	0,831	4055 ± 308 <sup>a,B</sup>	2360 ± 157 <sup>a,B</sup>	0,582
	25:75	4759 ± 91 <sup>b,B</sup>	2544 ± 57 <sup>b,B</sup>	0,535	7195 ± 370 <sup>b,B</sup>	3541 ± 103 <sup>b,B</sup>	0,492
	50:50	4488 ± 410 <sup>b,B</sup>	2353 ± 192 <sup>b,c,B</sup>	0,524	6007 ± 37 <sup>c,B</sup>	2943 ± 23 <sup>c,B</sup>	0,490
	75:25	4021 ± 190 <sup>c,B</sup>	2197 ± 35 <sup>c,B</sup>	0,546	5602 ± 217 <sup>d,B</sup>	2616 ± 22 <sup>d,B</sup>	0,467
	100:0	3052 ± 212 <sup>d,B</sup>	1752 ± 64 <sup>d,B</sup>	0,574	5280 ± 216 <sup>e,B</sup>	2428 ± 189 <sup>a,d,B</sup>	0,460

\*  $G'$  – elastický modul pružnosti,  $G''$  – ztrátový modul pružnosti,  $\tan \delta$  – tangens úhlu fázového posunu ( $\tan \delta = G''/G'$ ). Veličiny jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr ± standardní odchylka. Rozdílná malá písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce (samostatně hodnoceny vorky s pektinem a bez pektinu). Rozdílná velká písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi vzorky určité skupiny vyrobenými se stejným poměrem fosforečnanů ve směsi lišícími se pouze v přítomnosti pektinu.

**Tab. XXI:** Hodnoty síly gelu ( $A_F$ ) a interakčního faktoru ( $z$ ) pro XI. a XII. skupinu tavených sýrů obsahujících dvě tavicí soli ( $PoP:Na_2HPO_4$ ) v různém poměru \*

Pektin	Poměr fosforečnanů ve směsi	Skupina tavených sýrů			
		XI		XII	
		$A_F$ [ $Pa \cdot s^{1/z}$ ]	$z$	$A_F$ [ $Pa \cdot s^{1/z}$ ]	$z$
–	0:100	522 ± 61 <sup>a,A</sup>	1,84 ± 0,06 <sup>a,A</sup>	977 ± 38 <sup>a,A</sup>	2,09 ± 0,01 <sup>a,A</sup>
	25:75	3483 ± 324 <sup>b,A</sup>	2,81 ± 0,09 <sup>b,A</sup>	4674 ± 104 <sup>b,A</sup>	3,02 ± 0,04 <sup>b,A</sup>
	50:50	2595 ± 57 <sup>c,A</sup>	2,79 ± 0,01 <sup>b,A</sup>	3554 ± 87 <sup>c,A</sup>	2,79 ± 0,01 <sup>c,A</sup>
	75:25	1850 ± 126 <sup>d,A</sup>	2,67 ± 0,01 <sup>c,A</sup>	4215 ± 213 <sup>d,A</sup>	2,67 ± 0,01 <sup>d,A</sup>
	100:0	1101 ± 24 <sup>e,A</sup>	2,39 ± 0,01 <sup>d,A</sup>	2246 ± 102 <sup>e,A</sup>	2,39 ± 0,01 <sup>e,A</sup>
0,4 % w/w	0:100	2461 ± 91 <sup>a,B</sup>	2,52 ± 0,02 <sup>a,B</sup>	4591 ± 340 <sup>a,B</sup>	3,17 ± 0,03 <sup>a,B</sup>
	25:75	5268 ± 115 <sup>b,B</sup>	3,43 ± 0,03 <sup>b,B</sup>	7818 ± 382 <sup>b,B</sup>	3,68 ± 0,04 <sup>b,B</sup>
	50:50	4942 ± 448 <sup>b,B</sup>	3,40 ± 0,02 <sup>b,B</sup>	6553 ± 21 <sup>c,B</sup>	3,60 ± 0,05 <sup>c,B</sup>
	75:25	4210 ± 257 <sup>c,B</sup>	3,28 ± 0,05 <sup>c,B</sup>	6057 ± 212 <sup>d,B</sup>	3,55 ± 0,03 <sup>c,B</sup>
	100:0	3450 ± 219 <sup>d,B</sup>	3,08 ± 0,05 <sup>d,B</sup>	5702 ± 247 <sup>e,B</sup>	3,60 ± 0,16 <sup>b,c,B</sup>

\* Síla gelu ( $A_F$ ) a interakční faktor ( $z$ ) jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr ± standardní odchylka. Rozdílná malá písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce (samostatně hodnoceny vorky s pektinem a bez pektinu). Rozdílná velká písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi vzorky určité skupiny vyrobenými se stejným poměrem fosforečnanů ve směsi lišícími se pouze v přítomnosti pektinu.

**Tab. XXII:** Hodnoty elastického ( $G'$ ) a ztrátového ( $G''$ ) modulu pružnosti a hodnoty tangentu úhlu fázového posunu ( $\tan \delta$ ) pro referenční frekvenci 1 Hz pro XIV. a XV. skupinu tavených sýrů obsahujících dvě tavicí soli ( $\text{PoP}:\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) v různém poměru \*

Pektin	Poměr fosforečnanů ve směsi	Skupina tavených sýrů					
		XIV			XV		
		$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]
–	0:100	1553 ± 54 <sup>a,A</sup>	1571 ± 19 <sup>a,A</sup>	1,011	1671 ± 138 <sup>a,A</sup>	1585 ± 94 <sup>a,A</sup>	0,949
	25:75	3153 ± 69 <sup>b,A</sup>	2563 ± 89 <sup>b,A</sup>	0,813	2794 ± 106 <sup>b,A</sup>	2194 ± 61 <sup>b,A</sup>	0,785
	50:50	4061 ± 218 <sup>c,A</sup>	2084 ± 56 <sup>c,A</sup>	0,513	2993 ± 71 <sup>c,A</sup>	1906 ± 5 <sup>c,A</sup>	0,637
	75:25	3932 ± 291 <sup>c,A</sup>	2254 ± 132 <sup>d,A</sup>	0,573	3269 ± 51 <sup>d,A</sup>	2000 ± 25 <sup>d,A</sup>	0,612
	100:0	3302 ± 158 <sup>b,A</sup>	1889 ± 90 <sup>e,A</sup>	0,572	2275 ± 298 <sup>e,A</sup>	1441 ± 171 <sup>a,A</sup>	0,633
0,4 % w/w	0:100	2049 ± 169 <sup>a,B</sup>	2195 ± 114 <sup>a,B</sup>	1,071	1904 ± 25 <sup>a,B</sup>	1929 ± 20 <sup>a,B</sup>	1,013
	25:75	5810 ± 252 <sup>b,B</sup>	3645 ± 167 <sup>b,B</sup>	0,627	5218 ± 7 <sup>b,B</sup>	3150 ± 64 <sup>b,B</sup>	0,604
	50:50	8924 ± 141 <sup>c,B</sup>	4555 ± 146 <sup>c,B</sup>	0,510	5067 ± 313 <sup>b,B</sup>	2982 ± 165 <sup>b,B</sup>	0,589
	75:25	8296 ± 336 <sup>d,B</sup>	3535 ± 132 <sup>b,B</sup>	0,426	5449 ± 367 <sup>b,B</sup>	2681 ± 143 <sup>c,B</sup>	0,492
	100:0	5797 ± 72 <sup>b,B</sup>	2505 ± 52 <sup>d,B</sup>	0,432	7521 ± 509 <sup>c,B</sup>	3218 ± 288 <sup>b,B</sup>	0,428

\*  $G'$  – elastický modul pružnosti,  $G''$  – ztrátový modul pružnosti,  $\tan \delta$  – tangens úhlu fázového posunu ( $\tan \delta = G''/G'$ ). Veličiny jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr ± standardní odchylka. Rozdílná malá písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce (samostatně hodnoceny vorky s pektinem a bez pektinu). Rozdílná velká písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi vzorky určité skupiny vyrobenými se stejným poměrem fosforečnanů ve směsi lišícími se pouze v přítomnosti pektinu.

**Tab. XXIII:** Hodnoty síly gelu ( $A_F$ ) a interakčního faktoru ( $z$ ) pro XIV. a XV. skupinu tavených sýrů obsahujících dvě tavicí soli (PoP:Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) v různém poměru \*

Pektin	Poměr fosforečnanů ve směsi	Skupina tavených sýrů			
		XIV		XV	
		$A_F$ [Pa·s <sup>1/z</sup> ]	$z$	$A_F$ [Pa·s <sup>1/z</sup> ]	$z$
–	0:100	2231 ± 56 <sup>a,A</sup>	2,27 ± 0,01 <sup>a,A</sup>	2308 ± 160 <sup>a,A</sup>	2,34 ± 0,04 <sup>a,A</sup>
	25:75	4019 ± 107 <sup>b,A</sup>	2,62 ± 0,01 <sup>b,A</sup>	3511 ± 123 <sup>b,A</sup>	2,62 ± 0,01 <sup>b,A</sup>
	50:50	4474 ± 225 <sup>c,A</sup>	3,32 ± 0,05 <sup>c,A</sup>	3486 ± 61 <sup>b,A</sup>	2,92 ± 0,05 <sup>c,A</sup>
	75:25	4424 ± 304 <sup>c,A</sup>	3,14 ± 0,07 <sup>d,A</sup>	3757 ± 56 <sup>c,A</sup>	3,01 ± 0,02 <sup>d,A</sup>
	100:0	3737 ± 169 <sup>b,A</sup>	3,03 ± 0,03 <sup>e,A</sup>	2643 ± 341 <sup>a,A</sup>	2,81 ± 0,03 <sup>e,A</sup>
0,4 % w/w	0:100	3036 ± 167 <sup>a,B</sup>	2,31 ± 0,03 <sup>a,A</sup>	2719 ± 29 <sup>a,B</sup>	2,34 ± 0,02 <sup>a,A</sup>
	25:75	6704 ± 285 <sup>b,B</sup>	3,12 ± 0,01 <sup>b,B</sup>	5971 ± 35 <sup>b,B</sup>	3,08 ± 0,09 <sup>b,B</sup>
	50:50	9770 ± 186 <sup>c,B</sup>	3,58 ± 0,02 <sup>c,B</sup>	5736 ± 350 <sup>b,B</sup>	3,20 ± 0,02 <sup>c,B</sup>
	75:25	8852 ± 328 <sup>d,A</sup>	3,89 ± 0,05 <sup>d,B</sup>	5942 ± 391 <sup>b,B</sup>	3,55 ± 0,03 <sup>d,B</sup>
	100:0	6202 ± 90 <sup>e,B</sup>	3,74 ± 0,07 <sup>e,B</sup>	8035 ± 575 <sup>c,B</sup>	3,77 ± 0,03 <sup>e,B</sup>

\* Síla gelu ( $A_F$ ) a interakční faktor ( $z$ ) jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr ± standardní odchylka. Rozdílná malá písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce (samostatně hodnoceny vorky s pektinem a bez pektinu). Rozdílná velká písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi vzorky určité skupiny vyrobenými se stejným poměrem fosforečnanů ve směsi lišícími se pouze v přítomnosti pektinu.

#### **4.3.3.3 pH modelových tavených sýrů s úpravou pH (skupiny XIII a XVI)**

Rovněž u vzorků vyrobených pomocí směsí dvou fosforečnanových tavicích solí byl proveden pokus, v němž bylo pH vzorků upraveno. Hodnoty pH tavených sýrů se po přidavku kyseliny či zásady pohybovaly v rámci skupiny XIII v rozmezí 5,69 – 5,80. U skupiny XVI byly hodnoty zúženy na 5,28 – 5,78 (viz Tab. XIX).

#### **4.3.3.4 Reologická analýza modelových tavených sýrů s úpravou pH (skupiny XIII a XVI)**

Z tabulek XXIV a XXV vyplývá, že závislost viskoelastických vlastností na koncentraci polyfosforečnanu ve směsi vykazovala obdobný trend jako vzorky bez upraveného pH. Pektin byl účinným gelotvorným činidlem i při úpravě pH. Hodnoty sledovaných modulů byly vyšší v porovnání se vzorky vyrobenými se stejným fosforečnanem, jež neobsahovaly zmíněný hydrokoloid ( $P < 0,05$ ).

Lze předpokládat, že hodnota pH nebyla tedy tím nejdůležitějším faktorem vysvětlujícím rozdíly v konzistenci modelových tavených sýrů, ale že se zde uplatňují i ostatní činitele (např. typ fosforečnanu, poměr jednotlivých fosforečnanů ve směsi, hydrolýza polyfosforečnanů, afinita vápenatých kationtů k fosforečnanům atd.). Navíc se různé činitele mohou vzájemně ovlivňovat. Při posuzování konzistence tavených sýrů je tedy nutné pohlížet na veškeré faktory ji ovlivňující komplexně, nikoli odděleně. [3, 4, 11, 12, 20].

**Tab. XXIV:** Hodnoty elastického ( $G'$ ) a ztrátového ( $G''$ ) modulu pružnosti, hodnoty tangentu úhlu fázového posunu ( $\tan \delta$ ), síly gelu ( $A_F$ ) a interakčního faktoru ( $z$ ) pro referenční frekvenci 1 Hz pro XIII. skupinu tavených sýrů obsahujících dvě tavicí soli ( $PoP:Na_2HPO_4$ ) v různém poměru \*

Pektin	Poměr fosforečnanů ve směsi	pH	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]	$A_F$ [Pa·s <sup>1/z</sup> ]	$z$
–	0:100	5,78 ± 0,01	61 ± 3 <sup>a,A</sup>	116 ± 10 <sup>a,A</sup>	1,900	126 ± 14 <sup>a,A</sup>	1,46 ± 0,06 <sup>a,A</sup>
	25:75	5,69 ± 0,01	1560 ± 127 <sup>b,A</sup>	1105 ± 86 <sup>b,A</sup>	0,708	1871 ± 147 <sup>b,A</sup>	2,71 ± 0,02 <sup>b,A</sup>
	50:50	5,80 ± 0,01	2228 ± 47 <sup>c,A</sup>	1507 ± 23 <sup>c,A</sup>	0,677	2639 ± 58 <sup>c,A</sup>	2,83 ± 0,01 <sup>c,A</sup>
	75:25	5,79 ± 0,01	1394 ± 7 <sup>d,A</sup>	981 ± 6 <sup>d,A</sup>	0,704	1671 ± 10 <sup>d,A</sup>	2,63 ± 0,01 <sup>d,A</sup>
	100:0	5,74 ± 0,01	809 ± 2 <sup>e,A</sup>	671 ± 9 <sup>e,A</sup>	0,829	1041 ± 3 <sup>e,A</sup>	2,31 ± 0,06 <sup>e,A</sup>
0,4 % w/w	0:100	5,77 ± 0,01	2041 ± 50 <sup>a,B</sup>	1414 ± 33 <sup>a,B</sup>	0,693	2440 ± 60 <sup>a,B</sup>	2,78 ± 0,01 <sup>a,B</sup>
	25:75	5,70 ± 0,01	4887 ± 440 <sup>b,B</sup>	2299 ± 240 <sup>b,B</sup>	0,470	5274 ± 477 <sup>b,B</sup>	3,71 ± 0,02 <sup>b,B</sup>
	50:50	5,73 ± 0,01	3274 ± 27 <sup>c,B</sup>	1785 ± 65 <sup>c,B</sup>	0,545	3636 ± 5 <sup>c,B</sup>	3,28 ± 0,08 <sup>c,B</sup>
	75:25	5,80 ± 0,01	2795 ± 307 <sup>d,B</sup>	1600 ± 117 <sup>d,B</sup>	0,572	3151 ± 307 <sup>d,B</sup>	3,09 ± 0,01 <sup>d,B</sup>
	100:0	5,73 ± 0,01	1729 ± 42 <sup>e,B</sup>	1171 ± 37 <sup>e,B</sup>	0,677	2051 ± 59 <sup>e,B</sup>	2,76 ± 0,02 <sup>e,B</sup>

\*  $G'$  – elastický modul pružnosti,  $G''$  – ztrátový modul pružnosti,  $\tan \delta$  – tangens úhlu fázového posunu ( $\tan \delta = G''/G'$ ),  $A_F$  – síla gelu,  $z$  – interakční faktor. Veličiny jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr ± standardní odchylka. Rozdílná malá písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce (samostatně hodnoceny vorky s pektinem a bez pektinu). Rozdílná velká písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi stejnými vzorky vyrobenými se stejným poměrem fosforečnanů ve směsi lišícími se pouze v přítomnosti pektinu.

**Tab. XXV:** Hodnoty elastického ( $G'$ ) a ztrátového ( $G''$ ) modulu pružnosti, hodnoty tangentu úhlu fázového posunu ( $\tan \delta$ ), síly gelu ( $A_F$ ) a interakčního faktoru ( $z$ ) pro referenční frekvenci 1 Hz pro XVI. skupinu tavených sýrů obsahujících dvě tavicí soli (PoP:  $Na_4P_2O_7$ ) v různém poměru \*

Pektin	Poměr fosforečnanů ve směsi	pH	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [-]	$A_F$ [Pa·s <sup>1/2</sup> ]	$z$
–	0:100	5,78 ± 0,01	766 ± 43 <sup>a,A</sup>	722 ± 19 <sup>a,A</sup>	0,942	1045 ± 40 <sup>a,A</sup>	2,33 ± 0,04 <sup>a,A</sup>
	25:75	5,72 ± 0,01	2236 ± 121 <sup>b,A</sup>	1227 ± 6 <sup>b,A</sup>	0,549	2494 ± 106 <sup>b,A</sup>	3,15 ± 0,04 <sup>b,A</sup>
	50:50	5,49 ± 0,02	2326 ± 5 <sup>b,A</sup>	1335 ± 19 <sup>c,A</sup>	0,574	2624 ± 12 <sup>c,A</sup>	3,05 ± 0,01 <sup>c,A</sup>
	75:25	5,28 ± 0,01	1849 ± 106 <sup>c,A</sup>	1123 ± 48 <sup>d,A</sup>	0,607	2114 ± 109 <sup>d,A</sup>	2,83 ± 0,02 <sup>d,A</sup>
	100:0	5,43 ± 0,01	1010 ± 29 <sup>d,A</sup>	803 ± 24 <sup>e,A</sup>	0,795	1271 ± 38 <sup>e,A</sup>	2,45 ± 0,01 <sup>e,A</sup>
0,4 % w/w	0:100	5,74 ± 0,01	3072 ± 103 <sup>a,B</sup>	1741 ± 45 <sup>a,B</sup>	0,567	3432 ± 116 <sup>a,B</sup>	3,23 ± 0,01 <sup>a,B</sup>
	25:75	5,75 ± 0,01	3553 ± 52 <sup>b,B</sup>	1940 ± 27 <sup>b,B</sup>	0,546	3981 ± 113 <sup>b,B</sup>	3,27 ± 0,06 <sup>a,b,B</sup>
	50:50	5,52 ± 0,01	3868 ± 127 <sup>c,B</sup>	2068 ± 76 <sup>c,B</sup>	0,535	4276 ± 160 <sup>c,B</sup>	3,31 ± 0,03 <sup>b,B</sup>
	75:25	5,24 ± 0,01	4532 ± 281 <sup>d,B</sup>	2283 ± 79 <sup>d,B</sup>	0,504	4947 ± 286 <sup>d,B</sup>	3,46 ± 0,08 <sup>c,B</sup>
	100:0	5,37 ± 0,02	2939 ± 170 <sup>a,B</sup>	1702 ± 73 <sup>a,B</sup>	0,579	3314 ± 186 <sup>a,B</sup>	3,10 ± 0,05 <sup>d,B</sup>

\*  $G'$  – elastický modul pružnosti,  $G''$  – ztrátový modul pružnosti,  $\tan \delta$  – tangens úhlu fázového posunu ( $\tan \delta = G''/G'$ ),  $A_F$  – síla gelu,  $z$  – interakční faktor. Veličiny jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr ± standardní odchylka. Rozdílná malá písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi hodnotami v rámci jednoho sloupce (samostatně hodnoceny vorky s pektinem a bez pektinu). Rozdílná velká písmena v horním indexu značí signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi stejnými vzorky vyrobenými se stejným poměrem fosforečnanů ve směsi lišícími se pouze v přítomnosti pektinu.

## 5 PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI

V dnešní době si spotřebitel vybírá výrobek nejen podle jeho chuti a vůně, ale také podle jeho konzistence. Proto je nutná znalost faktorů, které mohou ovlivnit jeho tuhost, elasticitu, roztíratelnost či další znaky související s konzistencí.

Přínos pro vědu:

- \* V rámci této práce jsou popsány možné interakce pektinu s kaseinovými molekulami v modelových systémech.
- \* Dále jsou zde charakterizovány změny konzistence tavených sýrů vlivem přídavku pektinu v reálných vzorcích.
- \* Jsou zde popsány různé faktory ovlivňující konzistenci tavených sýrů, zejména vliv přídavku různých surovin do tavené směsi (fosforečnany, nízkomolekulární sacharidy).

Přínos pro praxi:

- \* Z výsledků této práce vyplývá, že potravinářsky hojně používaný hydrokoloid může být bez problémů využit při výrobě tavených sýrů. Vzhledem k faktu, že přídavek pektinu způsobí ztužení matrice taveného sýra, byla by možná jeho aplikace např. při výrobě tavených sýrů připravovaných z přezrálé suroviny, kde by mohlo přídavkem pektinu dojít ke zpevnění konzistence výsledného produktu. Obdobné chování lze předpokládat rovněž při aplikaci pektinu do analogů sýrů vyrobených z kaseinu či kaseinátu.
- \* Podle výsledků sensorické analýzy, kdy byl vzorek s pektinem hodnocen lépe než kontrolní vzorek, lze usoudit, že přídavek pektinu by mohl přispět k vylepšení plnosti chuti, jež je velkým nedostatkem tavených sýrů se sníženým obsahem tuku či odtučněných výrobků.
- \* Pektin je běžnou součástí rozpustné vlákniny, proto jeho aplikace do mléčného výrobku může zvýšit výživovou hodnotu taveného sýra.
- \* Dále jsou zde popsány jednotlivé fosforečnany sodné (resp. jejich směsi) používané při výrobě tavených sýrů a jejich vliv na hodnotu pH a konzistenci finálního výrobku. Změnou poměru jednotlivých fosforečnanů ve směsi lze tedy upravit pH taveného sýra na optimální hodnotu.
- \* Pektin ztužuje tavené sýry při použití všech zkoumaných fosforečnanů či jejich směsí, rovněž je účinný také v přítomnosti testovaných nízkomolekulárních sacharidů.



## 6 ZÁVĚR

Závěry vyplývající z této disertační práce jsou následující:

- \* Přídavek pektinu (0,2 až 0,8 % w/w) způsobil zvýšení tuhosti a snížení roztíratelnosti modelového vzorku v porovnání s kontrolním taveným sýrem bez pektinu. Se zvyšující se koncentrací pektinu se vzorky stávaly více elastickými.
- \* Zvýšení tuhosti taveného sýra v důsledku přidání pektinu nevykazovalo lineární závislost. Kvadratický či kubický model vystihují danou závislost přesněji než model lineární.
- \* Chuť a vůně vzorku nebyly přídavkem pektinu zhoršeny, naopak vzorky obsahující 0,2 % w/w pektinu byly pro vybrané posuzovatele přijatelnější než kontrolní vzorek bez pektinu. Lesk vzorku s 0,2 % w/w pektinu byl hodnocen lépe kontrola či vzorky obsahujícími vyšší koncentrace pektinu.
- \* Přídavek D-glukózy, D-fruktózy, D-galaktózy, laktózy či sacharózy do tavené směsi (bez pektinu či s pektinem) způsobil vždy pokles tuhosti taveného sýra oproti kontrole bez přídavku mono- či disacharidu.
- \* Snížení tuhosti tavených sýrů s pektinem či bez něj vlivem přítomnosti nízkomolekulárního sacharidu nebylo závislé na jeho (i) redukujících vlastnostech (redukující či neredukující); (ii) struktuře (aldóza či ketóza, mono- či disacharid); (iii) prostorovém uspořádání (2 epimery).
- \* Jednotlivé fosforečnanové tavicí soli ovlivňovaly významně hodnotu pH tavených sýrů a vznikly produkty rozdílných viskoelastických vlastností.
- \* Nejméně tuhé produkty byly vyrobeny při použití monofosforečnanu, tužší byly tavené sýry obsahující polyfosforečnan. Nejtužší byly vzorky vyrobené s difosforečnanem či trifosforečnanem.
- \* S rostoucím podílem polyfosforečnanu v testovaných směsích fosforečnanů docházelo nejprve ke vzrůstu tuhosti a elasticity vzorků. Po dosažení určité hranice polyfosforečnanu ve směsi začala jejich tuhost klesat.
- \* Tavené sýry byly pektinem vždy ztuženy bez ohledu na použitý fosforečnan či směs fosforečnanů. Pektin byl účinný, tj. ztužil vzorky, při všech testovaných kombinacích fosforečnanů.

Výsledky této práce vypovídají o vlivu některých surovin a přídatných látek na konzistenci tavených sýrů. V dalším výzkumu by však bylo potřebné zaměřit se hlouběji na interakce uskutečňující se uvnitř této komplexní matrice jakou beze sporu tavený sýr je, zejména na interakce fosforečnanů s kaseinovými frakcemi, resp. s jejich hydrolyzáty.

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] 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.
- [2] DOSTÁLOVÁ, J., ČURDA, L. *Význam tavených sýrů ve výživě* [online]. [cit. 20. března 2009]. Dostupné z: [http://www.fzv.cz/web/fzv-poskytuje/tiskove-materialy/cesky\\_fenomen/syry\\_vyznam](http://www.fzv.cz/web/fzv-poskytuje/tiskove-materialy/cesky_fenomen/syry_vyznam).
- [3] GUINEE, T. P., CARÍĆ, M., KALÁB, M. *Pasteurized Processed Cheese and Substitute/Imitation Cheese Products*. In Fox, P.F. (Ed.) *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. vol. 2, 3<sup>rd</sup> ed. Elsevier Applied Science, London and New York, 2004. p. 349-394. ISBN 0-1226-3653-8.
- [4] CARÍĆ, M., KALÁB, M. *Processed Cheese Products*. In Fox, P.F. (Ed.) *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. vol. 2, Major Cheese Groups, 2<sup>nd</sup> ed. Elsevier Applied Science, London and New York, 1997. p. 467-505.
- [5] HENNING, D.R., BAER, R.J., HASSAN, A.N., DAVE, R. Major Advances in Concentrated and Dry Milk Products, Cheese, and Milk Fat-Based Spreads. *J. Dairy Sci.*, 2006, vol. 89, no. 4, p. 1179-1188.
- [6] *Spotřeba potravin a nealkoholických nápojů na 1 obyvatele v ČR v letech 2000 – 2007* [online]. [cit. 20. března 2009]. Dostupné z: [http://www.czso.cz/csu/2008edicniplan.nsf/41fed56aacfa8529c1256f5100518b03/09db7f66bc984114c125750e004008ea/\\$FILE/30040801.pdf](http://www.czso.cz/csu/2008edicniplan.nsf/41fed56aacfa8529c1256f5100518b03/09db7f66bc984114c125750e004008ea/$FILE/30040801.pdf).
- [7] GAJDŮŠEK, S. *Mlékařství II*, 1.vyd. Brno: MZLU, 1998. s. 86-91. ISBN 80-7157-342-6.
- [8] KADLEC, P. *Technologie potravin II*, 1.vyd. Praha: VŠCHT, 2007. s. 80-81. ISBN 80-7080-510-2.
- [9] BYLUND, G. *Dairy processing handbook*. Lund: Tetra Pak Processing Systems AB, 1995. 436 p.
- [10] BUŇKA, F. Vliv sterilačního záhřevu na jakost tavených sýrů určených pro krizové situace. *Disertační práce*. VVŠPV, Vyškov, 2004. 111 s.
- [11] KAPOOR, R., METZGER, L.E. Process Cheese: Scientific and Technological Aspects – A Review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 2008, vol. 7, no. 2, p. 194-214.
- [12] MULSOW, B.B., JAROS, D., ROHM, H. *Processed Cheese and Cheese Analogues*. In Tamime, A.Y. (Ed.) *Structure of Dairy Products*, 1<sup>st</sup> ed. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 2007. p. 210-235.

- [13] Codex Alimentarius - Codex Standard 287-1978. *Codex General Standard for Process(ed) Cheese Preparations (Process(ed) Cheese Food and Process(ed) Cheese spread)* [online]. [cit. 15. března 2009]. Dostupné z: <[www.codexalimentarius.net/download/standards/179/CXS\\_287e.pdf](http://www.codexalimentarius.net/download/standards/179/CXS_287e.pdf)>.
- [14] Codex Alimentarius - Codex Standard 286-1978. *Codex General Standard for Process(ed) Cheese and Spreadable Process(ed) Cheese* [online]. [cit. 15. března 2009]. Dostupné z: <[www.codexalimentarius.net/download/standards/178/cxs\\_286e.pdf](http://www.codexalimentarius.net/download/standards/178/cxs_286e.pdf)>.
- [15] LEE, S.K., KLOSTERMEYER, H. The effect of pH on the Rheological Properties of Reduced-fat Model Processed Cheese Spreads. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2001, vol. 34, no. 5, p. 288-292.
- [16] BOWLAND, E.L., FOEGEDING, E.A. (2001). Small Strain Oscillatory Shear and Microstructural Analyses of a Model Processed Cheese. *J. Dairy Sci.*, 2001, vol. 84, no. 11, p. 2372-2380.
- [17] AWAD, R.A., ABDEL-HAMID, L.B., EL-SHABRAWY, S.A., SINGH, R.K. Physical and Sensory Properties of Block Processed Cheese with Formulated Emulsifying Salt Mixtures. *Int. J. Food Prop.*, 2004, vol. 7, no. 3, p. 429-448.
- [18] LEE, S.K., BUWALDA, R.J., EUSTON, S.R., FOEDING, E.A., MCKENNA, A.B. Changes in the rheology and microstructure of processed cheese during cooking. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2003, vol. 36, no. 3, p. 339-345.
- [19] Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 4/2008 Sb., kterou se stanoví druhy a podmínky použití přídatných látek a extrakčních rozpouštědel při výrobě potravin.
- [20] BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L. Úloha tavicích solí při výrobě tavených sýrů. *Potravinářská revue*, 2009, č. 1, s. 13-16.
- [21] BUŇKA, F., HRABĚ, J. Tavené sýry. *Potravinářská revue*, 2006, č. 4, s. 13-16.
- [22] SHIRASHOJI, N., JAEGGI, J.J., LUCEY, J.A. Effect of Trisodium Citrate Concentration and Cooking Time on the Physicochemical Properties of Pasteurized Process Cheese. *J. Dairy Sci.*, 2006, vol. 89, no.1, p. 15-28.
- [23] MOLINS, R. A. *Phosphates in food*. Boca Raton: CRC Press, 1991. 261 p. ISBN 0-8493-4588-X.
- [24] BUŇKOVÁ, L., PLEVA, P., BUŇKA, F., VALÁŠEK, P., KRÁČMAR, S. Antibacterial effects of commercially available phosphates on selected

microorganisms. *Acta univ. agric. et Silv. Mendel. Brun.*, 2008, vol. LVI, no. 5, p. 19-24.

[25] LOESSNER, M. J., MAIER, S. K., SCHIWEK, P., SCHERER, S. Long-Chain Polyphosphates Inhibit Growth of *Clostridium tyrobutyricum* in Processed Cheese Spreads. *J. Food Prot.*, 1997, vol. 60, no. 5, p. 493-498.

[26] DIMITRELI, G., THOMAREIS, A.S. Texture evaluation of block-type processed cheese as a function of chemical composition and in relation to its apparent viscosity. *J. Food Eng.*, 2007, vol. 79, no. 4, p. 1364-1373

[27] PISKA, I., ŠTĚTINA, J. Influence of cheese ripening and rate of cooling of the processed cheese mixture on rheological properties of processed cheese. *J. Food Eng.*, 2004, vol. 61, no. 4, p. 551-555.

[28] GUPTA, V.K., REUTER, H. Firmness and melting quality of processed cheese foods with added whey protein concentrates. *Lait*, 1993, vol. 73, no. 4, p. 381-388.

[29] DIMITRELI, G., THOMAREIS, A.S. Effect of chemical composition on the linear viscoelastic properties of spreadable-type processed cheese. *J. Food Eng.*, 2008, vol. 84, no. 3, p. 368-374.

[30] ZHONG, Q., DAUBERT, C.R., FARKAS, B.E. Cooling effects on processed cheese functionality. *J. Food Process Eng.*, 2004, vol. 27, no. 5, p. 392-412.

[31] ROZEHNAL, Z., BEZDĚKA, Z., BŘEZINA P., BARTOŠEK, V. A BOHÁČ, V. Vliv suroviny na jakost tavených sýrů. *Průmysl potravin*, 1987, roč. 38, s. 533.

[32] DĚDKOVÁ, T., BŘEZINA, P., ŠLAPAL, M., HYNŠTOVÁ, M. A BARTOŠEK, V. Tavené sýry s přísadkou sušeného podmásli. *Průmysl potravin*, 1988, roč. 39, s. 525.

[33] LEE, S.K., ANEMA, S., KLOSTERMEYER, H. The influence of moisture content on the rheological properties of processed cheese spreads. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2004, vol. 39, no. 7, p. 763-771.

[34] DIMITRELI, G., THOMAREIS, A.S., SMITH, P.G. Effect of Emulsifying Salts on Casein Peptization and Apparent Viscosity of Processed Cheese. *J. Food Eng.*, 2008, vol. 1, no. 4, p. 1-17.

[35] SUTHEERAWATTANANONDA, M., FULCHER, R.G., MARTIN, F.B., BASTIAN, E.D. Fluorescence Image Analysis of Process Cheese Manufactured with Trisodium Citrate and Sodium Chloride. *J. Dairy Sci.*, 1997, vol. 80, no. 4, p. 620-627.

- [36] SWENSON, B.J., WENDORFF, W.L., LINDSAY, R.C. Effects of ingredients on the Functionality of Fat-free Process Cheese Spreads. *J. Food Sci.*, 2000, vol. 65, no. 5, p. 822-825.
- [37] BACHMANN, H.P. Cheese Analogues: A Review. *Int. Dairy J.*, 2001, vol. 11, no. 4-7, p. 505- 515.
- [38] FOX, P.F., GUINEE, T.P., COGAN, T.M., McSWEENEY, P.L.H. *Fundamentals of Cheese Science*. Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc., 2000. ISBN 0-8342-1260-9. 638 s.
- [39] DRAKE, M.A., TRUONG, V.D., DAUBERT, C.R. Rheological and Sensory Properties of Reduced-Fat Processed Cheeses Containing Lecithin. *J. Food Sci.*, 1999, vol. 64, no. 4, p. 744-747.
- [40] BRUMMEL, S.E., LEE, K. Soluble Hydrocolloids Enable Fat Reduction in Process Cheese Spreads. *J. Food Sci.*, 1990, vol. 55, no. 5, p. 1290-1292.
- [41] MARCHESSEAU, S., GASTALDI, E., LAGAUDE, A., CUQ, J.L. Influence of pH on Protein Interactions and Microstructure of Process Cheese. *J. Dairy Sci.*, 1997, vol. 80, no. 8, p. 1483-1489.
- [42] VAKALERIS, D.G., OLSON, N.F., PRICE, W.V. Effects of Proteolysis of Natural Cheese on Body and Melting Properties of Pasteurized Process Cheese Spread. *J. Dairy Sci.*, 1962, vol. 45, no. 4, 492-494.
- [43] KAPOOR, R., METZGER, L.E., BISWAS, A.C., MUTHUKUMARAPPAN, K. Effect of Natural Cheese Characteristics on Process Cheese Properties. *J. Dairy Sci.*, 2007, vol. 90, no. 4, p. 1625-1634.
- [44] GARIMELLA PURNA, S.K., POLLARD, A., METZGER, L.E. Effect of Formulation and manufacturing Parameters on Process Cheese Food Functionality – I. Trisodium Citrate. *J. Dairy Sci.*, 2006, vol. 89, no. 7, p. 2386-2396.
- [45] BRICKLEY, C.A., AUTY, M.A.E., PIRAINO, P., McSWEENEY, P.L.H. The Effect of Cheddar Cheese Ripening on the Functional and Textural Properties of the Processed Cheese Manufactured Therefrom. *J. Food Sci.*, 2007, vol. 72, no. 9, p. 483-490.
- [46] RAVAL, D.M., MISTRY, V.V. Application of Ultrafiltered Sweet Buttermilk in the Manufacture of Reduced Fat Process Cheese. *J. Dairy Sci.*, 1999, vol. 82, no. 11, 2334-2343.
- [47] BŘEZINA, P., ČURDA, L., VONDRUŠKA, V., PLACHÝ, B., BARTOŠEK, V. *Mlékárenské výrobky fortifikované fosfolipidy*. Autorské osvědčení č. 237476, 1987a.

- [48] BŘEZINA, P., ČURDA, L., PLACHÝ, B., BARTOŠEK, V. *Způsoby výroby mlékárenských výrobků fortifikovaných fosfolipidy*. Autorské osvědčení č. 237477, 1987b.
- [49] FRENCH, S.J., LEE, K.M., DECASTRO, M., HARPER, W.J. Effects of Different Protein Concentrates and Emulsifying Salt Conditions on the Characteristics of a Processed Cheese Products. *Milchwiss.-Milk Sci. Int.*, 2002, vol. 57, no. 2, p. 79-83.
- [50] LAZÁRKOVÁ, Z., BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L., HOLÁŇ, F., KRÁČMAR, S., HRABĚ, J. Effect of Different Heat Sterilization Regimes on the Quality of Canned Processed Cheese. *J. Food Process Eng.* – Accepted for publication (5. 1. 2009).
- [51] BENNETT, R.J., TRIVEDI, D., HEMAR, Y., REID, D.C.W., ILLINGWORTH, D., LEE, S.K. The effect of starch addition on the rheological and microstructural properties of model processed cheese. *Aust. J. Dairy Technol.*, 2006, vol. 61, no. 2, p. 157-159.
- [52] ČERNÍKOVÁ, M., BUŇKA, F., PAVLÍNEK, V., BŘEZINA, P., HRABĚ, J., VALÁŠEK, P. Effect of carrageenan type on viscoelastic properties of processed cheese. *Food Hydrocolloids*, 2008, vol. 22, no. 6, p. 1054-1061.
- [53] GUSTAW, W., MLEKO, S. The effect of polysaccharides and NaCl on physical properties of processed cheese analogs containing whey proteins. *Milchwiss.-Milk Sci. Int.*, 2007, vol. 62, no. 1, p. 59-62.
- [54] LIU, H., XU, X.M., GUO, S.D. Comparison of full-fat cheese analogues with or without pectin gel through microstructure, texture, rheology, thermal and sensory analysis. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2008, vol. 43, no. 9, p. 1581-1592.
- [55] SCHÄR, W., BOSSET, J.O. Chemical and Physicochemical Changes in Processed Cheese and Ready-made Fondue during Storage. A Review. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2002, vol. 35, no. 1, p. 15-20.
- [56] AWAD, R.A., Abd El-HAMID, L.B., El-SHABRAWY, S.A., SINGH, R.K. Texture and Microstructure of Block Type Processed Cheese with Formulated Emulsifying Salt Mixtures. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2002, vol. 35, no. 1, p. 54-61.
- [57] BUŇKA, F., ŠTĚTINA, J., HRABĚ, J. The Effect of Storage Temperature and Time on the Consistency and Color of Sterilized Processed Cheese. *Eur. Food Res. Technol.*, 2008, vol. 228, no. 2, p. 223-229.
- [58] WILLIAMS, P.A., PHILLIPS, G.O. Introduction to food hydrocolloids. In *Handbook of hydrocolloids*. Eds. Phillips, G.O. & Williams, P.A. Woodhead Publishing Limited and CRC Press: Boca Raton, 2000. p. 169-188. ISBN 0-8493-0850-X.

- [59] VELÍŠEK, J., CEJPEK, K., MÍKOVÁ, K., PÁNEK, J., POKORNÝ, J., DAVÍDEK, T. *Chemie potravin I*. 2. vyd. Tábor: OSSIS, 2002. 344 s. ISBN 80-86659-00-3.
- [60] FU, J.T., RAO, M.A. Rheology and structure development during gelation of low-methoxyl pectin gels: the effect of sucrose. *Food Hydrocolloids*, 2001, vol. 15, no. 1, p. 93-100.
- [61] SATO, Y., KAWABUCHI, S., IRIMOTO, Y., MIYAWAKI, O. Effect of water activity and solvent-ordering on intermolecular interaction of high-methoxyl pectins in various sugar solutions. *Food Hydrocolloids*, 2004, vol. 18, no. 4, p. 527-534.
- [62] MAY, C. D. Pectins. In *Handbook of hydrocolloids*. Eds. Phillips, G.O., Williams, P.A. Woodhead Publishing Limited and CRC Press: Boca Raton, 2000. p. 169-188. ISBN 0-8493-0850-X.
- [63] LEROUX, J., LANGENDORFF, V., SCHICK, G., VAISHNAV, V., MAZOYER, J. Emulsion stabilizing properties of pectin. *Food Hydrocolloids*, 2003, vol. 17, no. 4, p. 455-462.
- [64] TSOGA, A., RICHARDSON, R.K., MORRIS, E.R. Role of cosolutes in gelation of high-methoxy pectin. Part 1. Comparison of sugars and polyols. *Food Hydrocolloids*, 2004a, vol. 18, no. 6, p. 907-919.
- [65] YOO, S.H., FISHMAN, M.L., HOTCHKISS, A.T., LEE, H.G. Viscometric behaviour of high-methoxy and low methoxy pectin solutions. *Food Hydrocolloids*, 2006, vol. 20, no. 1, p. 62-67.
- [66] SMITH, J. Food Additives Data Book. 2003. ISBN 0-632-06395-5.
- [67] EINHORN-STOLL, U., ULBRICH, M., SEVER, S., KUNZEK, H. Formation of milk protein-pectin conjugates with improved emulsifying properties by controlled dry heating. *Nahrung/Food*, 2005, vol. 19, no. 2, p. 329-340.
- [68] GILSENAN, P.M., RICHARDSON, R.K., MORRIS, E.R. Thermally reversible acid-induced gelation of low-methoxy pectin. *Carbohydr. Polym.*, 2000, vol. 41, no. 4, p. 339-349.
- [69] EL-NAWAWI, S.A., HEIKAL, Y.A. Production of A low ester pectin by de-esterification of high ester citrus pectin. *Carbohydr. Polym.*, 1995, vol. 27, no. 3, p. 191-195.
- [70] GROSSO, C.R.F., RAO, M.A. Dynamic rheology of structure development in low-methoxyl pectin + Ca<sup>2+</sup> + sugar gels. *Food Hydrocolloids*, 1998, vol. 12, no. 3, p. 357-363.

- [71] EVAGELIOU, V., RICHARDSON, R.K., MORRIS, E.R. Effect of pH, sugar type and thermal annealing on high-methoxy pectin gels. *Carbohydr. Polym.*, 2000, vol. 42, no. 3, p. 245-259.
- [72] TSOGA, A., RICHARDSON, R.K., MORRIS, E.R. Role of cosolutes in gelation of high-methoxy pectin. Part 2. Anomalous behaviour of fructose: calorimetric evidence of site-binding. *Food Hydrocolloids*, 2004b, vol. 18, no. 6, p. 921-932.
- [73] GRANT, G.T., MORRIS, E.R., REES, D.A., SMITH, P.J.C., THOM, D. Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: The egg-box model. *FEBS Letters*, 1973, vol. 32, no. 1, p. 195-198.
- [74] NORZIAH, M.H., KONG, S.S., KARIM, A.A., SEOW, C.C. Pectin-sucrose-Ca<sup>2+</sup> interactions: effects on rheological properties. *Food Hydrocolloids*, 2001, vol. 15, no. 4-6, p. 491-498.
- [75] FU, J.T., RAO, M.A. The influence of sucrose and sorbitol on gel-sol transition of low-methoxyl pectin + Ca<sup>2+</sup> gels. *Food Hydrocolloids*, 1999, vol. 13, no. 5, p. 371-380.
- [76] CAPEL, F. NICOLAI, T., DURAND, D., BOULENGUER, P., LANGENDORFF, V. Calcium and acid induced gelation of (amidated) low methoxyl pectin. *Food Hydrocolloids*, 2006, vol. 20, no. 6, p. 901-907.
- [77] WEHR, J.B., MENZIES, N.W., BLAMEY, F.P.C. Alkali hydroxide-induced gelation of pectin. *Food Hydrocolloids*, 2004, vol. 18, no. 3, p. 375-378.
- [78] YE, A. Complexation between Milk Proteins and Polysaccharides via Electrostatic Interaction: Principles and Applications – A Review. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2008, vol. 43, no. 3, p. 406-415.
- [79] SYRBE, A., BAUER, W.J., KLOSTERMEYER, H. Polymer Science Concepts in Dairy Systems - An Overview of Milk Protein and Food Hydrocolloid Interaction. *Int. Dairy J.*, 1998, vol. 8, no. 3, p. 179-193.
- [80] MAROZIENE, A., de KRUIF, C.G. Interaction of pectin and casein micelles. *Food Hydrocolloids*, 2000, vol. 14, no. 4, p. 391-394.
- [81] RADFORD, S.J., DICKINSON, E. Depletion flocculation of caseinate-stabilised emulsions: what is the optimum size of the non-adsorbed protein nano-particles? *Colloids and Surfaces A. Physicochem. Eng. Aspects*, 2004, vol. 238, no. 1-3, p. 71-81.
- [82] TUINIER, R., RIEGER, J., de KRUIF, C.G. Depletion-induced phase separation in colloid-polymer mixtures. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 2003, vol. 103, no. 1, p. 1-31.



- [83] TUINIER, R., ROLIN, C., de KRUIF, C.G. Electrosorption of Pectin onto Casein Micelles. *Biomacromolecules*, 2002, vol. 3, no. 3, p. 632-638.
- [84] EINHORN-STOLL, U., SALAZAR, T., JAAFAR, B., KUNZEK, H. Thermodynamic compatibility of sodium caseinate with different pectins. Influence of the milieu conditions and pectin modifications. *Nahrung/Food*, 2001, vol. 45, no. 1, p. 332-337.
- [85] BeMILLER, J.N. Gums. In *Encyclopaedia of Food Science and Technology. Volume 1*. 2<sup>nd</sup> ed. Eds. FRANCIS, J.F. John Wiley & Sons: New York, 2000. p. 1216-1224. ISBN 0-471-19255-4.
- [86] PEREYRA, R., SCHMIDT, K.A., WICKER, L. Interaction and Stabilization of Acidified Casein Dispersions with Low and High Methoxyl Pectins. *J. Agric. Food Chem.*, 1997, vol. 45, no. 9, p. 3448-3451.
- [87] KOKSOY, A., KILIC, M. Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. *Food Hydrocolloids*, 2004, vol. 18, no. 4, p. 593-600.
- [88] MATIA-MERINO, L., SINGH, H. Acid-induced gelation of milk protein concentrates with added pectin: Effect of casein micelle dissociation. *Food Hydrocolloids*, 2007, vol. 21, no. 5-6, p. 765-775.
- [89] TROMP, R. H. On the mechanism of stabilization of acidified milk drinks by pectin. *Food Hydrocolloids*, 2004, vol. 18, no. 4, p. 565-572.
- [90] LAURENT, M. A., BOULENGUER, P. Stabilization mechanism of acid dairy drinks (ADD) induced by pectin. *Food Hydrocolloids*, 2003, vol. 17, no. 4, p. 445-454.
- [91] ČSN EN ISO 5534, Sýry a tavené sýry – Stanovení obsahu celkové sušiny (Referenční metoda), Český normalizační institut, 2005, 12 s.
- [92] ISO Standard No. 3433:2008, Cheese – Determination of fat content – van Gulik method. International Organization for Standardization Geneva.
- [93] ČERNÁ, E., MERGL, M. *Kontrolní metody v mlékařství*. Praha: STN, 1971.
- [94] BUŇKA, F., PAVLÍNEK, V., HRABĚ, J., ROP, O., JANIŠ, R., KREJČÍ, J. Effect of 1-monoglycerides on Viscoelastic Properties of Processed Cheeses. *Int. J. Food Prop.*, 2007, vol. 10, no. 4, p. 819-828.
- [95] LU, Y., SHIRASHOJI, N., LUCEY, J.A. Rheological, textural and melting properties of commercial samples of some of the different types of pasteurized processed cheese. *Int. J. Dairy Sci.*, 2007, vol. 60, no. 2, 74-80.
- [96] WINTER, H.H., CHAMBON, F. Analysis of Linear Viscoelasticity of a Crosslinking Polymer at the Gel Point. *J. Rheol.*, 1986, vol. 30, no. 2, p. 367-382.

- [97] GABRIELE, D., de CINDIO, B., D'ANTONA, P. A Weak Gel Model for Foods. *Rheol. Acta*, 2001, vol. 40, no. 2, p. 120-127.
- [98] ČSN ISO 8586-1, Senzorická analýza - Obecná směrnice pro výběr, výcvik a sledování činnosti posuzovatelů - Část 1: Vybraní posuzovatelé, Český normalizační institut, 2003, 24 s.
- [99] ČSN ISO 8589, Senzorická analýza. Obecná směrnice pro uspořádání senzorického pracoviště, Český normalizační institut, 1993, 16 s.
- [100] SHARMA, S.K., LIPTAY, A., MAGUER, M.L. (1998). Molecular Characterization, Physico-Chemical and Functional Properties of Tomato Fruit Pectin. *Food Res. Int.*, 1998, vol. 30, no. 7, p. 543-547.
- [101] LOOTENS, D., CAPEL, F., DURAND, D., NICOLAI, T., BOULENGUER, P., LANGENDORFF, V. Influence of pH, Ca Concentration, Temperature and Amidation on the Gelation of Low Methoxyl Pectin. *Food Hydrocolloids*, 2003, vol. 17, no. 3, p. 237-244.
- [102] GUNASEKARAN, S., AK, M.M. Dynamic Oscillatory Shear Testing of Foods-selected Applications. *Trends Food Sci. Tech.*, 2000, vol. 11, no. 3, p. 115-127.
- [103] LUCEY, J.A. Formation and Physical Properties of Milk Protein Gels. *J. Dairy Sci.*, 2002, vol. **85**, no. X, p. 281-294.
- [104] DRAKE, M.A., GERARD, P.D. Relationship between instrumental and sensory measurements of cheese texture. *J. Texture Stud.*, 1999, vol. 30, no. 4, p. 451-476.
- [105] SUBRAMANIAN, R., MUTHUKUMARAPPAN, K., GUNASEKARAN, S. Linear viscoelastic properties of regular- and reduced-fat pasteurized process cheese during heating and cooling. *Int. J. Food Prop.*, 2006, vol. 9, no. 3, p. 377-393.
- [106] JOSHI, N.S., JHALA, R.P., MUTHUKUMARAPPAN, K., ACHARYA, M.R., MISTRY, V.V. Textural and Rheological Properties of Processed Cheese. *Int. J. Food Prop.*, 2004, vol. 7, no. 3, p. 519-530.
- [107] SUTHEERAWATTANANONDA, M., BASTIAN, E.D. Monitoring Process Cheese Meltability Using Dynamic Stress Rheometry. *J. Texture Stud.*, 1998, vol. 29, no. 2, p. 169-183.
- [108] MARTÍEZ-RUVALCABA, A., CHORNET, E., RODRIGUE, D. Viscoelastic Properties of Dispersed Chitosan/Xanthan Hydrogels. *Carbohydr. Polym.*, 2007, vol. 67, no. 4, p. 586-595.

- [109] WADE, P. Relationship of the Strength of High Solids Pectin Gels to the Concentration and Jelly-forming Capacity of the Pectin Present. *Nature*, 1957, vol. 180, p. 1067–1068.
- [110] ČSN ISO 5492 Senzorická analýza – slovník, Český normalizační institut, 1999, 36 s.
- [111] HOUGH, G., CALIFANO, A.N., BERTOLA, N.C., BEVILACQUA, A.E., MARTINEZ, E., VEGA, M.J., ZARITZKY, N.E. Partial least squares correlations between sensory and instrumental measurements of flavour and texture for Reggiano grating cheese. *Food Qual. Prefer.*, 1996, vol. 7, no. 1, p. 47–53.
- [112] NILSSON, S., PICULELL, L., MALMSTEN, M. Nature of Macromolecular Denaturation by Urea and Other Cosolutes: Experiments on Agarose Interpreted within a Lattice Model for Adsorption from a Mixed Solvent. *J. Phys. Chem.*, 1990, vol. 94, no. 12, p. 5149-5154.
- [113] UDYARAJAN, C.U., HORNE, D.S., LUCEY, J.A. (2007). Use of Time-Temperature Superposition to Study the Rheological Properties of Cheese during Heating and Cooling. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2008, vol. 42, no. 686-698.
- [114] CAVALIER-SALOU, C., CHEFTEL, J. C. Emulsifying Salts Influence On Characteristics Of Cheese Analogs From Calcium Caseinate. *J. Food Sci.*, 1991, vol. 56, no. 6, p. 1542-1547.
- [115] GUPTA, S. K., KARAHADIAN, C., LINDSAY, R.C. Effect of Emulsifier Salts on Textural and Flavor Properties of Processed Cheeses. *J. Dairy Sci.*, 1984, vol. 67, no. 4, p. 764-778.
- [116] MIZUNO, R., LUCEY, J.A. Effects of Emulsifying Salts on the Turbidity and Calcium-Phosphate-Protein Interactions in Casein Micelles. *J. Dairy Sci.*, 2005, vol. 88, no. 9, p. 3070-3078.
- [117] ABDEL-HAMID, L.B., EL-SHABRAWY, S.A., AWAD, R.A., SINGH, R.K. Chemical Properties of Processed Ras Cheese Spreads as Affected by Emulsifying Salt Mixtures. *J. Food Process. Preserv.*, 2000, vol. 24, no. 3, p. 191-208.

## 8 SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA

### Články v mezinárodních impaktovaných časopisech

MACKŮ, I., BUŇKA, F., VOLDÁNOVÁ, B., PAVLÍNEK, V. Effect of addition of selected solid cosolutes on viscoelastic properties of model processed cheese containing pectin. *Food Hydrocolloids*, doi:10.1016/j.foodhyd.2009.03.020. IF = 0,941.

MACKŮ, I., BUŇKA, F., PAVLÍNEK, V., LECIÁNOVÁ, P., HRABĚ, J. The effect of pectin concentration on viscoelastic and sensory properties of processed cheese. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2008, vol. 43, no. 9, p. 1663-1670. IF = 2,492.

### Citace podle Web of Science:

MACKŮ, I., BUŇKA, F., PAVLÍNEK, V., LECIÁNOVÁ, P., HRABĚ, J. The effect of pectin concentration on viscoelastic and sensory properties of processed cheese. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2008, vol. 43, no. 9, p. 1663-1670.

1. KEMP, S.E. Application of sensory evaluation in food research: Editorial. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2008, vol. 43, no. 9, p. 1507-1511.
2. LUNDIN, L., GOLDING, M. Structure design for healthy food. *Aust. J. Dairy Technol.*, 2009, vol. 64, no. 1, p. 68-74.

### Ostatní články v časopisech

LAZÁRKOVÁ, Z., BUŇKOVÁ, L., MACKŮ, I. Vliv 24měsíčního skladování na senzorigovou jakost sterilovaných tavených sýrů. *Acta fytotechnica et zootechnica*, 2009, vol. 12, p. 349-355.

### Příspěvky či abstrakty v recenzovaných sbornících z konferencí ve světovém jazyce

MACKŮ, I., BUŇKA, F., PAVLÍNEK, V., KRÁČMAR, S., HRABĚ, J. Viscoelastic properties of processed cheese as a function of pectin concentration. In *7<sup>th</sup> International Conference on Risk Factors of Food Chain*. Nitra: SPU, 11. 10. 2007, p. 130-133, ISBN 978-80-8069-948-2.

MACKŮ, I., BUŇKA, F., PAVLÍNEK, V., LECIÁNOVÁ, P., HRABĚ, J. The effect of solid cosolutes on pectin gelation in processed cheese. In *Safety and Quality of Raw Materials and Foodstuffs III*. Nitra: SPU, 31. 1. – 1. 2. 2008, p. 335-340, ISBN 978-80-8069-997-0.

VÍTOVÁ, E., LOUPANCOVÁ, B., ŠTOUDKOVÁ, B., ZEMANOVÁ, J., BABÁK, L., MACKŮ, I. Comparison of aroma profiles of several types of dark chocolate. In *4<sup>th</sup> Meeting on Chemistry and Life*. VUT v Brně, 9. – 11. 9. 2008, Chemické listy, vol. 102, no. 15, p. 817-818.

AMARAKOON, R., BUŇKA, F., MACKŮ, I., KRÁČMAR, S. Methods to eliminate anti-nutritional factors in legumes. In *8<sup>th</sup> International Conference on Risk Factors in Food Chain*. Krakow, 17. 9. 2008, Slovak J. Anim. Sci., vol. 41, no. 4, p. 195.

MACKŮ, I., LAZÁRKOVÁ, Z., BUŇKA, F., HRABĚ, J. Biogenic Amine Content in Mould Cheese during Storage. In *8<sup>th</sup> International Conference Risk Factors in Food Chain*. Krakow, 17. 9. 2008, Slovak J. Anim. Sci., vol. 41, no. 4, p. 207-208.

### **Příspěvky či abstrakty v recenzovaných sbornících z konferencí v českém jazyce**

VÍTOVÁ, E., LOUPANCOVÁ, B., ŠTOUDKOVÁ, B., ZEMANOVÁ, J., MACKŮ, I. Analýza mastných kyselin v čokoládě metodou plynové chromatografie. In *58. sjezd Asociací českých a slovenských chemických společností*. Ústí nad Labem, 4. – 7. 9. 2006, Chemické listy, vol. 100, no. 8, p. 728.

MACKŮ, I., BUŇKA, F., PAVLÍNEK, V., HRABĚ, J. Vliv přísadku pektinu a vybraných cukrů na viskoelastické a senzorické vlastnosti tavených sýrů. In *Mléko a sýry*, Praha: VŠCHT, 24. 1. 2008, p. 262-267, ISBN 978-80-7080-695-1.

## 9 CURRICULUM VITAE

**Jméno:** Ing. Ivana Macků  
**Adresa:** Majrov 625, 664 11 Zbýšov  
**Telefon:** +420 576 031 542  
**E-mail:** imacku@ft.utb.cz

### Vzdělání:

1997 – 2001 Gymnázium T.G.Masaryka, Zastávka  
2001 – 2006 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická  
Obor: Potravinářská chemie a biotechnologie  
2006 – doposud Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta  
technologická, Ústav technologie a mikrobiologie  
potravin  
Obor: Technologie potravin

### Pracovní zkušenosti:

II/2008 – doposud Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta  
technologická, Ústav biochemie a analýzy potravin

### Projekty:

2008 FRVŠ 1041/2008/G4 – Řešitel  
Název: Využití kapalinové chromatografie pro  
stanovení biogenních aminů v mléčných výrobcích

### Dovednosti:

Jazykové znalosti anglický jazyk – více pokročilý  
německý jazyk – pasivní znalost  
Práce s PC MS Office (Word, Excel, PowerPoint),  
Internet Explorer  
Ostatní řidičský průkaz skupiny B

## 10 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A	Dotazník pro sensorické hodnocení modelových tavených sýrů skupin I – III .....	104
Příloha B	Stupnice pro sensorické hodnocení modelových tavených sýrů skupin I – III .....	106

**Příloha A:** Dotazník pro sensorické hodnocení modelových tavených sýrů skupin I – III

**PROTOKOL PRO SENZORICKÉ HODNOCENÍ TAVENÝCH SÝRŮ**

Jméno:

Datum a hodina:

Podpis:

**Úkol 1 – Sensorické hodnocení pomocí stupnic (zapište zvolený stupeň)**

Tavený sýr	Znak						
	Vzhled a barva	Lesk	Konzistence	Tuhost	Roztíratelnost	Chuť a vůně	Celkové hodnocení
A							
B							
C							
D							
E							
H							

**Úkol 2 – Pořadové testy intenzity znaků**

Seřaďte následující vzorky podle intenzity znaku (1 – vzorek nejméně tuhý, 6 – nejtěžší vzorek pro tuhost; 1 – vzorek nejméně roztíratelný, 6 – nejvíce roztíratelný pro roztíratelnost, dva a více vzorků nesmí mít stejné pořadí)

Znak	Tavený sýr					
	A	B	C	D	E	H
Tuhost						
Roztíratelnost						



### Úkol 3 – Pořadový preferenční test

Seřaďte následující vzorky podle Vašich preferencí (1 – nejlepší, 6 – nejhorší, dva a více vzorků nesmí mít stejné pořadí)

Znak	Tavený sýr					
	A	B	C	D	E	H
Preference						

Tavený sýr	Poznámky
A	
B	
C	
D	
E	
H	

## **HODNOCENÍ TAVENÝCH ROZTÍRATELNÝCH SÝRŮ**

### ***Vzhled a barva***

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

## *Lesk sýra*

1. **Vynikající vysoký lesk** – sýr s vynikajícím leskem
2. **Výborný lesk**
3. **Dobrý lesk**
4. **Uspokojivý lesk**
5. **Méně dobrý lesk**
6. **Nevyhovující lesk**
7. **Naprostο nevhovující lesk** – naprostο matný sýr

## *Konzistence*

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

## *Tuhost*

## *Roztíratelnost taveného sýra*

- |   |   |
|---|---|
| 1. <b>Tavený sýr velmi tuhý</b>                   | 1. <b>Tavený sýr není roztíratelný</b>                    |
| 2. <b>Tavený sýr tuhý</b>                         | 2. <b>Tavený sýr je obtížně roztíratelný</b>              |
| 3. <b>Tavený sýr mírně tužší</b>                  | 3. <b>Tavený sýr je hůře roztíratelný</b>                 |
| 4. <b>Tuhost taveného sýra optimální</b>          | 4. <b>Roztíratelnost je typická, optimální</b>            |
| 5. <b>Tavený sýr mírně měkčí než jeho optimum</b> | 5. <b>Tavený sýr je velmi roztíratelný až mírně řídký</b> |
| 6. <b>Tavený sýr měkký</b>                        | 6. <b>Tavený sýr je roztékavý</b>                         |
| 7. <b>Tavený sýr velmi měkký</b>                  | 7. <b>Tavený sýr má tekutý charakter</b>                  |

## *Chuť a vůně*

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

## *Celkové hodnocení*

zohledňují se všechny ukazatele, prioritní postavení mají **chuť a vůně**, dalšími relevantními ukazateli jsou **vzhled a barva a konzistence**, ostatní deskriptory mají pouze „poradní sílu“

1. **Vynikající** – chuť a vůně musí mít hodnocení vynikající, ve všech ostatních relevantních ukazatelích ne hůře než výborný.
2. **Výborný** – chuť a vůně musí mít hodnocení ne horší než výborný, ve všech ostatních relevantních ukazatelích ne hůře než velmi dobrý.
3. **Velmi dobrý** – chuť a vůně musí mít hodnocení ne horší než velmi dobrý, ve všech ostatních relevantních ukazatelích ne hůře než dobrý.
4. **Dobrý** – chuť a vůně musí mít hodnocení ne horší než dobrý, ve všech ostatních ukazatelích ne hůře než méně dobrý.
5. **Méně dobrý** – tavený sýr hodnocený ve všech ukazatelích ne hůře než méně dobrý.
6. **Nevyhovující** – tavený sýr hodnocený ve všech ukazatelích ne hůře než nevyhovující.
7. **Naprosto nevyhovující** – tavený sýr, který je u jakéhokoliv ukazatele hodnocen jako naprosto nevyhovující.