

Vliv obsahu reworku na konzistenci tavených sýrů

Bc. Romana Popková

Diplomová práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Romana Popková**
Osobní číslo: **T15296**
Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor: **Technologie potravin**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vliv obsahu reworku na konzistenci tavených sýrů**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Charakteristika tavených sýrů
2. Stručný popis technologie výroby tavených sýrů
3. Charakteristika vlastností, funkce a důvody používání reworku v tavených sýrech

II. Praktická část

1. Vyrobít tavené sýry s různým přídatkem reworku
2. Provést analýzu viskoelastických vlastností vyrobených modelových vzorků
3. Diskuze výsledků, vyvození závěrů a jejich formulace

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] KALÁB, M., YUN, J., YIU, S. H.: Textural Properties and Microstructure of Process Cheese Food Rework. Food Structure. 1987. Vol. 6, No. 2, pp. 181-192.

[2] KAPOOR, R., METZGER, L. E.: Process Cheese: Scientific and Technological Aspects A Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2008. Vol. 7, No. 2, pp. 194-214.

[3] TAMINE, A. Structure of Dairy Products. 2007. 288 pp. ISBN-13: 978-1-4051-2975-6.

[4] SALEK, R. N., ČERNÍKOVÁ, M., MADĚROVÁ, S., LAPČÍK, L., BUŇKA, F. The effect of different composition of ternary mixtures of emulsifying salts on the consistency of processed cheese spreads manufactured from Swiss-type cheese with different degrees of maturity. Journal of Dairy Science. 2016. Vol. 99, No. 5, pp. 3274-3287.

Vedoucí diplomové práce: **MVDr. Michaela Černíková, Ph.D.**
Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce: **2. února 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **25. dubna 2018**

Ve Zlíně dne 2. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno: Popková Romana

Obor: Technologie potravin

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 7. 5. 2018

Popková Romana
.....

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

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

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

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

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

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

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

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

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

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

ABSTRAKT

Cílem práce bylo sledování a zhodnocení viskoelastických vlastností modelových vzorků tavených sýrů, vyrobených s přidavkem různého množství reworku (0,0; 2,5; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0 % w/w). Dalším sledovaným parametrem byl způsob výroby, neboť jedna skupina vzorků byla vyráběna za laboratorních podmínek s nepřímým ohřevem a při rychlosti míchání 3000 otáček za minutu. Druhá skupina vzorků byla vyrobena průmyslově s kombinovaným způsobem ohřevu a při rychlosti míchání 1500 otáček za minutu. V průběhu skladování byly vzorky tavených sýrů podrobeny stanovení pH, obsahu sušiny, obsahu tuku v sušině, zkoumání viskoelastických vlastností a mikrostruktury. Přidání reworku v množství 2,5; 5,0 a 10,0 % (w/w) zvýšilo tuhost taveného sýra. S dalším přidavkem reworku se již konzistence tavených sýrů neměnila. Výsledky získané měřením viskoelastických vlastností byly podpořeny skenovací elektronovou mikroskopií, kde se tukové kuličky s postupným přidavkem reworku zmenšovaly, a to do hodnot přidavku 10,0 % (w/w). Další přidavek reworku již na velikost tukových kuliček, obdobně jako na viskoelastické vlastnosti produkovaných tavených sýrů neměl statisticky významný ($P \geq 0,05$) vliv.

Klíčová slova: tavený sýr, rework, konzistence, dynamická oscilační reometrie, skenovací elektronová mikroskopie

ABSTRACT

The aim of this work was to monitor and evaluate the viscoelastic properties of model processed cheeses samples produced with the addition of different amounts of rework (0,0; 2,5; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0 % w/w). Another followed parameter was the production method because one group of samples was manufactured in laboratory under indirect heating with agitation speed 3000 rpm. The second group of samples was manufactured industrially with a combined heating and agitation speed 1500 rpm. During the storage time pH, dry matter content and fat in dry matter content, viscoelastic properties and microstructure of processed cheese samples were observed. Adding rework at 2,5; 5,0 and 10,0% (w/w) increased the firmness of the processed cheese. With the other addition of rework, the consistency of the processed cheese did not change. The results obtained by measuring the viscoelastic properties were supported by scanning electron microscopy, where the fat droplets with the gradual rework addition were reduced to the rework concentration 10,0 % (w/w). The addition of rework in amount above 10,0 % (w/w) no significantly ($P \geq 0,05$) affected the fat droplets size and viscoelastic properties of processed cheese samples.

Keywords: processed cheese, rework, consistency, dynamic oscillatory rheometry, scanning electron microscopy

Na tomto místě bych velmi ráda poděkovala MVDr. Michaelě Černíkové, PhD., nejen za vedení a odborné rady, ale především za ochotu, trpělivost a čas, který mi při psaní této diplomové práce věnovala. Dále bych chtěla poděkovat paní laborantce Ing. *et* Ing. Ludmile Zálešákové za pomoc při provádění chemických analýz.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TAVENÉ SÝRY	13
1.1 HISTORIE	14
1.2 CHARAKTERISTIKA	14
1.3 KLASIFIKACE	15
2 TECHNOLOGIE VÝROBY	17
2.1 SUROVINY	17
2.2 TAVICÍ SOLI	18
2.2.1 Tavicí soli na bázi fosforečnanů	20
2.2.2 Tavicí soli na bázi citronanů	22
2.2.3 Tavené sýry bez tavicích solí	22
2.2.4 Analogy tavených sýrů	24
2.3 VLASTNÍ PROCES TAVENÍ	24
2.3.1 Diskontinuální způsob	24
2.3.2 Kontinuální způsob	25
2.4 DOKONČOVACÍ OPERACE	25
3 REWORK	27
3.1 SKENOVACÍ ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE	31
3.1.1 Skenovací elektronový mikroskop	31
II PRAKTICKÁ ČÁST	33
4 CÍL PRÁCE	34
5 METODIKA	35
5.1 POPIS EXPERIMENTU	35
5.2 LABORATORNÍ VÝROBA MODELOVÝCH VZORKŮ	35
5.3 PRŮMYSLOVÁ VÝROBA MODELOVÝCH VZORKŮ	36
5.4 CHEMICKÁ ANALÝZA VZORKŮ	36
5.4.1 Sušina	36
5.4.2 pH	37
5.4.3 Tuk	37
5.5 DYNAMICKÁ OSCILAČNÍ REOMETRIE	37
5.6 SKENOVACÍ ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE	38
5.7 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT	39
6 VÝSLEDKY A DISKUZE	40

6.1	VÝSLEDKY CHEMICKÉ ANALÝZY	40
6.2	VÝSLEDKY DYNAMICKÉ OSCILAČNÍ REOMETRIE	42
6.3	VÝSLEDKY SKENOVACÍ ELEKTRONOVÉ MIKROSKOPIE	49
ZÁVĚR		54
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		55
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		65
SEZNAM OBRÁZKŮ		66
SEZNAM TABULEK.....		68
SEZNAM PŘÍLOH.....		69

ÚVOD

V České republice se tavené sýry řadí k velmi oblíbeným a často konzumovaným produktům. Hlavním důvodem oblíbenosti tavených sýrů je především několikaměsíční trvanlivost. K dalším přednostem patří z výživového hlediska poměrně vysoký obsah bílkovin významných pro stavbu těla, tuku jako zdroje energie a v neposlední řadě i obsah vápníku. Mezi konzumenty si našly své místo jak tavené sýry vysokotučné, tak i se sníženým obsahem tuku a také sýry obohacené o různé příchutě (např. paprika, šunka, houby). Nejen obsah tuku a obohacující složky jsou však pro konzumenty rozhodujícím faktorem při výběru taveného sýra. Dále zde řadíme objem a druh balení, kdy nejznámější je hliníková fólie, konzistence výrobku a také cena.

Všeobecně je tavený sýr definován jako sýr vyráběný zahříváním směsi přírodního sýra za přídavku tavicích solí a za částečného podtlaku a míchání až do doby dosažení homogenní hmoty. Počátečním krokem výroby je výběr kvalitního přírodního sýra, dále se přidává voda a máslo, avšak i tvaroh, aromatické a ochucující složky a další potraviny. K základním surovinám však neodmyslitelně patří také tavicí soli, které jsou používány ve směsi a tvoří 2–3 % hmotnosti surovinové skladby. Právě díky tavicím solím je docíleno typické struktury konečného výrobku.

Variabilita tavených sýrů spočívá také v konzistenci, která může být ovlivněna řadou faktorů, jako je například doba skladování, hodnota pH, podmínky při výrobě a také suroviny použité k výrobě.

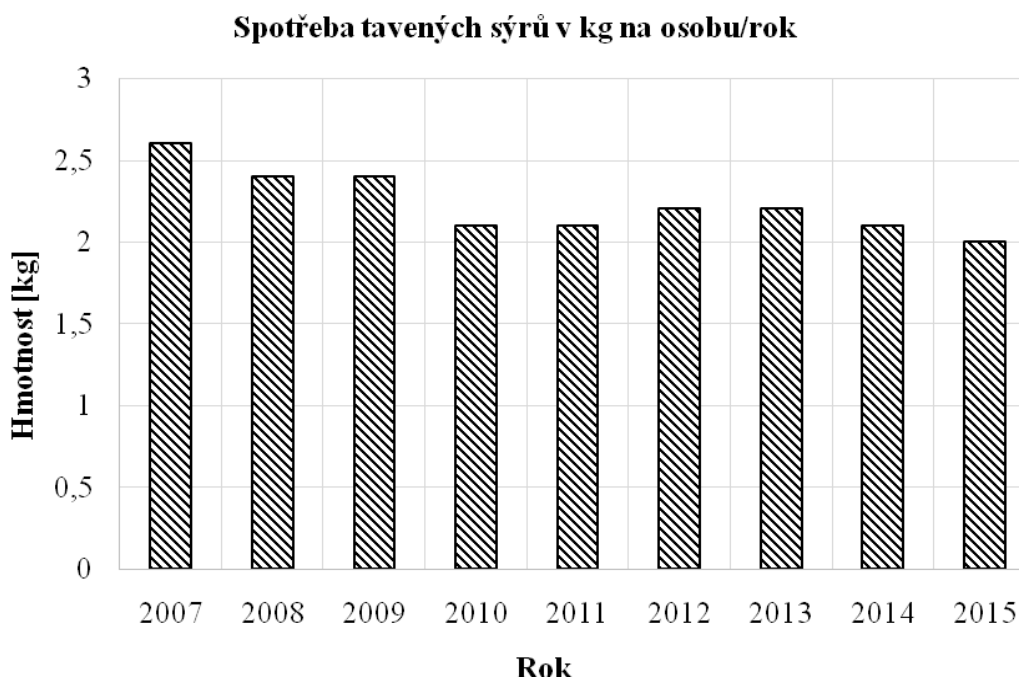
Teoretická část práce se zabývá základní charakteristikou tavených sýrů, jejich výrobou, reworkem a také charakteristikou skenovací elektronové mikroskopie. Praktická část této práce je zaměřena na výrobu modelových vzorků tavených sýrů s různým množstvím reworku, sledování změn konzistence během skladování pomocí dynamické oscilační reometrie a pozorování jejich mikrostruktury skenovací elektronovou mikroskopií. V rámci experimentu byla prováděna také základní chemická analýza vzorků spočívající ve stanovení pH, sušiny a obsahu tuku v sušině.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TAVENÉ SÝRY

Konzumace tavených sýrů v České republice od roku 2007 do roku 2015 činí v ročním průměru okolo 2,2 kg na osobu za rok. Ve stejném období bylo zkonsumováno průměrně 13,1 kg různých druhů sýrů na osobu za rok, tedy přibližně jednu pětinu všech zkonsumovaných sýrů činí právě sýry tavené [1].

Tavené sýry můžeme řadit to skupiny tzv. *convenience food*, což znamená, že je jejich použití jednoduché, rychlé a hlavně pohodlné. Vzhledem k dlouhodobější trvanlivosti představují tavené sýry jakousi "sýrovou polokonzervu" a nejen díky přijatelné cenové dostupnosti, ale právě i svou trvanlivostí a jednoduchostí použití jsou mezi konzumenty stále oblíbené [2, 3]. Ačkoli dle Českého statistického úřadu viz Obr. 1 je zřetelný mírný pokles spotřeby tavených sýrů v průběhu uvedených 9 let [1].



Obr. 1. Spotřeba tavených sýrů v ČR v kg na osobu za rok [1].

Nutriční hodnota tavených sýrů je odvislá od složení surovin použitých k jejich výrobě, přičemž významnou složku tvoří mléčná bílkovina (kazein) a mléčný tuk. Tavený sýr je tedy zdrojem esenciálních aminokyselin (valin, leucin, izoleucin, lysin, treonin, tryptofan, metionin, fenylalanin). Využitelnost těchto uvedených aminokyselin v kazeinu se pohybuje kolem 89,1 %, zatímco u celkové mléčné bílkoviny je to přibližně 85,7 %.

Tavený sýr dále obsahuje vitaminy rozpustné v tucích i ve vodě, především A, D, E, B₁, B₂, B₆ a C [4, 5].

1.1 Historie

Vznik tavených sýru se datuje na přelom 19. a 20. století, kdy byly tvrdé sýry ze Švýcarska převáženy na lodích do USA. Při dlouhých plavbách nebylo možné sýry dostatečně chladit, takže docházelo ke zhoršování jejich kvality a ovlivnění zdravotní nezávadnosti. Cílem tedy bylo prodloužit trvanlivost sýrů dopravovaných na dlouhé vzdálenosti a do oblastí s teplým podnebím. Řešením tohoto problému se začala zabývat švýcarská firma Gerber a spol., kdy roku 1905 započala nákladné experimenty na výrobu sýra s delší dobou trvanlivosti i za vyšší teploty. K úspěchu, tedy ke vzniku taveného sýra dospěla až roku 1911. Tato výroba byla velmi rychle šířena ve Švýcarsku i po celém světě. Přestože výroba tavených sýrů patří k nejmladším výrobním postupům v oblasti mlékárenství, řadí se tyto výrobky k celosvětově oblíbeným a hojně konzumovaným [6].

1.2 Charakteristika

V České republice je dle vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 397/2016 Sb. definován tavený sýr jako sýr, který byl tepelně upraven za přídavku tavicích solí. Pokud tavený sýr obsahuje více než 5 % laktózy, musí být označován jako "tavený sýrový výrobek" [7].

Jak již bylo řečeno výše, základní surovinou pro výrobu tavených sýrů jsou přírodní sýry. K výrobě tavených sýrů mohou být použity i takové přírodní sýry, které z estetických důvodů (především mechanické vady tvaru, vada obalu apod.) nejsou vhodné k prodeji přímému spotřebiteli. Není možné do surovinové skladby pro výrobu tavených sýrů využívat přírodní sýry s mikrobiologickými vadami, které mohou být zdrojem kontaminace a znehodnocení taveného sýra. Mezi mikroorganismy podílející se na vadách přírodních sýrů se řadí např. sporulující bakterie, bakterie čeledi *Enterobacteriaceae* a také plísňe a kvasinky [8, 9]. K vysoce nežádoucím kontaminantům tavených sýrů se řadí endospory tvořené bakteriemi rodu *Bacillus* a *Clostridium*. Hauerlandová *et al.* [10] zkoumali přežití bakterií *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Clostridium butyricum* a *Clostridium sporogenes* v modelových vzorcích tavených sýrů s přídavkem monoacylglycerolů a v tavených sýrech s různým množstvím tuku v sušině (30, 40 a 50 %).

Bylo zjištěno, že kyseliny obsažené v monoacylglycerolech i zvýšené množství tuku v sušině zabránilo růstu i množení obou druhů bakterie rodu *Bacillus* po celou dobu skladování taveného sýra. U obou druhů bakterií rodu *Clostridium* byla pozorována částečná inhibice růstu a množení.

Sortiment tavených sýrů je velmi široký, zahrnuje produkty vzniklé různými kombinacemi druhově odlišných přírodních sýrů s obsahem různých ochucujících složek a především v různém stupni zralosti. Na trhu jsou k dostání tavené sýry s variabilní konzistencí, od pevné, lomivé přes krémové a snadno roztíratelné až po tekuté či plátkované [11, 12]. Další variabilita a rozšíření sortimentu spočívá v balení tavených sýrů, kde se dostáváme od tenké hliníkové fólie, přes hliníkové tuby, plastová střívka, sklenice až po plastové kelímky. Pro další využití v gastronomii se tavené sýry plní do kbelíků nebo sudů [13, 14].

1.3 Klasifikace

Dle vyhlášky Ministerstva zemědělství České republiky č. 397/2016 Sb., v platném znění jsou tavené sýry děleny do dvou podskupin, a to na roztíratelné a s lomem [7]. Dříve, tedy do 31. 12. 2016, však byly tavené sýry děleny dle obsahu tuku v sušině na vysokotučné (obsah tuku v sušině nejméně 60 % hmotnostních) a sýry nízkotučné (obsah tuku v sušině nejvýše 30 % hmotnostních).

Gajdůšek [15] rozděluje tavené sýry dle obsahu tuku v sušině na vysokotučné (60–70 % TVS), plnotučné (45–55 % TVS), polotučné (30–45 % TVS) a nízkotučné (30 % a méně TVS). Uvádí také, že tavené sýry do 20 % TVS a nad 70 % TVS již postrádají vlastnosti taveného sýra a proto se spíše nevyrábějí.

Dle *Code for Federal Regulation* (CFR) jsou tavené sýry rozdělovány do čtyř kategorií:

- 1) *Pasteurized blended cheese* (pasterované směsné sýry)
- 2) *Pasteurized processed cheese* (pasterované tavené sýry)
- 3) *Pasteurized processed cheese food* (pasterované tavené sýrové výrobky)
- 4) *Pasteurized processed cheese spread* (pasterované tavené sýrové pomazánky)

Jednotlivé kategorie jsou pak dále rozšířeny o přídavky ovoce, zeleniny či masa [16].

Mezi další aspekty, dle kterých je možné tavené sýry rozdělovat, lze zahrnovat také konzistenci, suroviny použité k výrobě a ochucující přísady. Dle konzistence je možné dělit výrobky na roztíratelné, krémové, tuhé, pevné až lomivé, avšak vždy je důležité, aby byla jejich struktura stejnorodá [15]. Podle použitých surovin je možné tavené sýry dělit na tavené sýry jednodruhové (vyrobené z jednoho druhu přírodního sýra) či více-druhové nebo také směsné (k výrobě použito více druhů sýrů v různých stupních zralosti a poměrovém zastoupení) [15, 17]. V neposlední řadě pak dělení podle ochucujících přísad na tavené sýry neochucené (bez ochucujících složek) a ochucené (s přídavkem zeleniny, koření, hub, bylinek apod.) [15, 18, 19].

2 TECHNOLOGIE VÝROBY

Všeobecně lze říci, že jsou tavené sýry vyráběny zahříváním přírodních sýrů v různém stupni zralosti s tavicími solemi za stálého míchání a mírného podtlaku, kdy dochází ke vzniku homogenní hmoty. V současnosti lze tavené sýry vyrábět diskontinuálně či kontinuálně, avšak ve střední Evropě se stále více upřednostňuje výroba diskontinuálním způsobem. Diskontinuální způsob je možno dělit do čtyř fází – určení složení tavicích solí, příprava směsi k tavení, tavení připravené směsi a dokončovací operace, k nimž se řadí balení, chlazení, skladování a expedice [11, 19–21].

2.1 Suroviny

Základními surovinami k výrobě tavených sýrů jsou sýry přírodní, zpravidla holandského nebo švýcarského typu, máslo, voda a tavicí soli. V praxi se nejčastěji používají kombinace přírodních sýrů v různém stupni zralosti pro dosažení optimální chuti, aroma a konzistence taveného sýra. Nejčastěji zpracovávanými sýry jsou u nás Eidamská cihla, Primátor či Moravský blok, v zahraničí například Gouda. Především se využívají sýry, které jsou určeny pro obchodování, ale je možné využít také sýry mechanicky poškozené, vzhledově či tvarově nevyhovující (např. sýry bez tvorby ok – tzv. slepé), avšak nikdy ne mikrobiologicky či jinak závadné. Máslo se používá především k navýšení tučnosti a také jemnosti taveného sýra. Další nezbytnou složkou je pitná voda, která se využívá především k úpravě obsahu sušiny. Při výpočtu surovinové směsi je potřeba počítat i s vodou ve formě páry a kondenzovanou vodou vznikající v průběhu vlastního procesu tavení [20, 22–24].

Tavené sýry je možné vyrábět i za použití reworku, neboli krému či nátavku, kterému je dále věnována samostatná kapitola. Dalšími velmi rozšířenými surovinami, které je možné k výrobě tavených sýrů použít či jimi nahradit část přírodních sýrů, jsou složky mléčné povahy, a to smetana pro navýšení tučnosti, tvaroh ke zvýšení sušiny a dále pak mléčné koncentráty (sušené odstředěné mléko, syrovátka, syrovátkové proteiny, kazein, kazeináty). Všechny výše zmíněné suroviny či náhražky použité při výrobě významně ovlivňují sensorické vlastnosti finálního výrobku [25–28]. Také mohou být přidávány přísady ovlivňující chuť či barvu (především u tavených sýrů s příchutí – zelenina, žampiony, koření apod.) [21].

Část sýrů použitých k výrobě je možné nahradit i surovinami nemléčného původu, zahrnují nativní a modifikované škroby a další polysacharidy, což má podstatný vliv na jakost výrobku. Hlavním důvodem těchto náhrad je především snížení nákladů na surovinovou skladbu a tím i snížení nákladů spotřebitele za finální výrobek. Stále častěji výrobci přidávají i hydrokoloidní látky s cílem zvýšit a zlepšit vaznost vody a stabilizovat konzistenci tavených sýrů [29].

Před dávkováním jsou vybrané suroviny očištěny, případně omyty a rovnoměrně rozmělněny. Dle připravené receptury jsou suroviny naváženy a následně dávkovány do tavicího kotle [12].

2.2 Tavicí soli

Dle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1333/2008 o potravinářských přídatných látkách v platném znění, se tavicími solemi rozumí látky, které převádějí bílkoviny obsažené v sýru do disperzní formy za účelem homogenního rozložení tuků a ostatních složek [30].

Tavicí soli jsou nedílnou součástí taveného sýra. Jejich kombinace a množství má významný vliv na výslednou konzistenci taveného sýra. Obecně lze tvrdit, že se zvyšujícím se množstvím přidávaných tavicích solí dochází ke zvyšování tuhosti výrobku. Jedním z důvodů zvýšené tuhosti může být intenzivnější výměna vápenatých iontů za sodné. Přesné složení a kombinace tavicích solí bývá však často předmětem výrobního tajemství, proto je těžce dohledatelné objasnění jejich vlivu na konzistenci tavených sýrů [29, 31].

Nagyová *et al.* [32] se zabývali sledováním textury modelových vzorků tavených sýrů s přidavkem trísložkových tavicích solí obsahujících fosforečnan sodný (DSP), tetrasodnou sůl difosforečnanu (TSPP) a polyfosforečnan sodný s odlišnou délkou řetězce ($n \approx 5, 9, 13, 20$ a 28). Při nízkém obsahu polyfosforečnanu (pod 60 % ve směsi) se zvýšila tvrdost zpracovaného sýra a soudržnost s relativní přilnavostí klesly v poměru DSP k TSPP přibližně 1:1 až 3:4. Zvyšující se množství polyfosforečnanu (v ternární směsi) vedlo ke snížení tvrdosti zpracovaného sýra v tomto specifickém poměru. Při relativním množství polyfosforečnanů dosahujících ≥ 60 % ve směsi se vliv tohoto specifického poměru stal nevýznamným. Tento trend byl pozorován u všech ternárních směsí. Obecný trend týkající se závislosti složení fosforečnanových ternárních směsí na parametrech

textury tavených sýrů nelze připsat pouze účinkům fosforečnanů na disperzi kazeinových struktur v tavenině. Během procesu krémování dochází k dalším interakcím, které ovlivňují konečnou formu kazeinové matrice.

Salek *et al.* [33] zjistili, že nejvyšší celková tuhost vzorku taveného sýra byla dosažena při použití binární směsi hydrogenfosforečnanu sodného a tetrasodné soli difosforečnanu v poměru 1:1. Dále také tvrdí, že se zvyšující se zralostí přírodního sýra klesá tvrdost taveného sýra bez ohledu na použité směsi tavicích solí.

Kazeiny, obsažené v tavených sýrech zapřičiňují emulgaci tuku a stabilizaci vody. V přírodních sýrech se kazeiny vyskytují ve formě trojrozměrné struktury uspořádané pomocí vápenatých můstků, což znemožňuje jejich schopnost emulgace. Tento jev je hlavním důvodem nutnosti použití tavicích solí při výrobě tavených sýrů, jelikož mají schopnost vytvořit pomocí iontové výměny z nerozpustného parakazeinanu vápenatého lépe rozpustný parakazeinan sodný, který už je schopen plnit emulgační a stabilizační funkci. Schematické znázornění výměny iontů se nachází na Obr. 2 [34, 35].

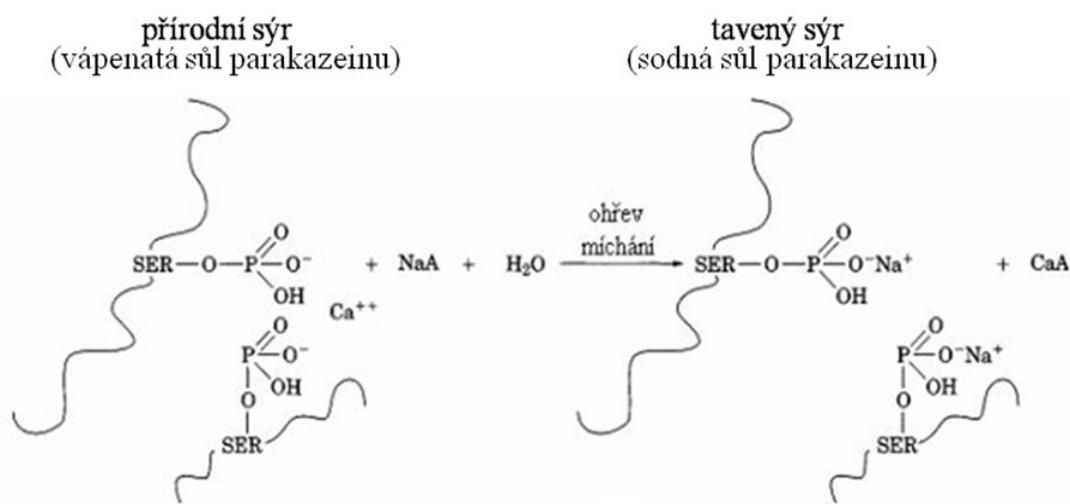
Hlavními požadavky na tavicí soli tedy jsou výměna iontů, dobrá rozpustnost ve vodě a v neposlední řadě také neutrální sensorické vlastnosti. Schopnost výměny iontů a tvorba trojrozměrné struktury je u jednotlivých tavicích solí odlišná a klesá v následujícím pořadí: polyfosforečnany > trifosforečnany > difosforečnany > monofosforečnany \approx citronany [36–38].

Naopak El-Bakry *et al.* [39] tvrdí, že citronany nemají přibližně stejnou, ale naopak vyšší schopnost výměny iontů než monofosforečnany. Delší fosforečnanový řetězec vede ke zvýšené hydrataci kazeinu v důsledku intenzivnější schopnosti iontové výměny. Čím více je kazein dispergován, tím lépe dochází k hydrataci a emulgaci bílkovin a ke stabilizaci oleje a vody přítomné v tavicí směsi. Zvyšující se hydratace bílkovin a emulgace tuků vede ke zvýšení interakce kazeinu v tavenině, což má za následek zesíťování struktury kazeinu, a získání taveného sýra s vyšší tvrdostí.

K výrobě tavených sýrů se běžně používají tavicí soli obvykle ve směsi v celkovém množství 2–3 % na hmotnost surovinové skladby. Obsah tavicích solí závisí i na faktorech jako je druh a prozrálost používaných přírodních sýrů, pH suroviny a konzistence finálního výrobku. Vlastní dávkování je klíčovým krokem při výrobě tavených sýrů,

jelikož při předávkování může dojít ke změně požadované konzistence či k negativní změně chuti (hořká pachut') [29].

Tavicí soli dodávané výrobcům tavených sýrů jsou předmětem obchodního tajemství a jsou směsí několika chemických látek. Výrobci těchto solí pouze charakterizují jednotlivé soli z hlediska výměny iontů (Ca^{2+} za Na^+), pH a pomocí vlivu na konzistenci výrobku, avšak neudávají jejich přesné poměry [40].



Obr. 2. Schéma iontové výměny vápenatých iontů za ionty sodné v přítomnosti tavicích solí při tavení (NaA – tavicí sůl se sodným kationtem; CaA – tavicí sůl s vápenatým kationtem) [22].

2.2.1 Tavicí soli na bázi fosforečnanů

Fosforečnany jsou soli kyseliny fosforečné (H_3PO_4). Skupina fosforečnanů obsahující pouze jeden anion $(\text{PO}_4)^{3-}$ se označuje jako ortofosforečnany. Při zvýšené teplotě může dojít ke ztrátě vody hydroxylových skupin dvou ortofosforečnanů a k jejich kondenzaci, tedy ke vzniku polymeru. Z monomerů pak vzniká dimer – pyrofosforečnan. Každá $(\text{PO}_4)^{3-}$ skupina může sdílet až 3 atomy kyslíku s jinou $(\text{PO}_4)^{3-}$ skupinou, dochází tak ke vzniku lineárních řetězců polyfosforečnanů i k tvorbě trojrozměrných struktur. Jednotlivé skupiny fosforečnanů, jejich vzorce a E-kódy jsou uvedeny v Tab. 1. V potravinách fosforečnany ovlivňují především jejich vnitřní prostředí (pH, iontová síla roztoku, odštěpení kationtů apod.). Dále mají vliv při reakcích, kdy dochází k jejich navázání na protein, čímž změní jeho vlastnosti (např. bobtnání, tvorba gelu, hydratace) [41, 42].

Další důležitou vlastností fosforečnanů je i úprava pH prostředí, kdy optimální pH pro tavené sýry s roztíratelnou konzistencí je v rozmezí 5,6–6,0. Výrazná odchylka pH od tohoto rozmezí se projeví zhoršením jakosti výrobku. K výrobě tavených sýrů s požadovanou konzistencí je tedy potřeba vybrat kombinaci fosforečnanů, která zajistí optimální pH finálního výrobku [40]. Při nižších hodnotách pH byla u tavených sýrů pozorována tuhá až drobná konzistence, naopak při hodnotách vyšších byla konzistence měkká až roztékavá [43].

Tab. 1. Fosforečnany používané jako tavicí soli [22].

Skupina	Látka	Vzorec	Obsah P ₂ O ₅ (%)	E-kód	pH 1% vodného roztoku
Ortofosforečnany	Dihydrogenfosforečnan sodný	NaH ₂ PO ₄	59,15	E339	4,5
	Monohydrogenfosforečnan sodný	Na ₂ HPO ₄	50,00	E339	9,1
	Fosforečnan sodný	Na ₃ PO ₄	43,93	E339	11,9
Difosforečnany (pyrofosforečnany)	Dihydrogendifosforečnan sodný	Na ₂ H ₂ P ₂ O ₇	63,95	E450	4,1
	Difosforečnan sodný	Na ₄ P ₂ O ₇	53,38	E450	10,2

Klíčovou vlastností fosforečnanů pro výrobu tavených sýrů je schopnost odštěpovat a zároveň na sebe vázat kationty kovů, což následně umožní proveditelnost tradiční výroby tavených sýrů [22]. Při procesu tavení se projeví také schopnost fosforečnanů zvýšit vaznost vody bílkovinami, což je mimo jiné závislé na teplotě a intenzitě míchání. Fosforečnany se přes vápenaté ionty začnou navazovat na kazeinové frakce za následného zvýšení jejich hydrofilního charakteru. Následuje navázání vody, čímž vzroste viskozita taveniny (dochází k tzv. krémování) [40].

Fosforečnanové tavicí soli používané k výrobě tavených sýrů mají také baktericidní či bakteriostatické účinky [44]. Dle studie Buňkové *et al.* [45] byl tento fakt přesněji zkoumán jak na grampozitivních (*Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus*, *Enterococcus faecalis*), tak i na gramnegativních (*Escheri-*

chia coli, *Salmonella enterica*, *Proteus mirabilis*, *Citrobacter freundii*, *Pseudomonas aeruginosa*) bakteriích. *Micrococcus luteus* byl na přítomnost polyfosforečnanů HEXA 68 a HEXA 70 nejvíce citlivý, již při koncentraci 0,3 % nevykazoval žádný růst a u soli PYRO 52 (0,4 %) bylo dosaženo stejného účinku. Použití 0,5% množství solí HEXA 68, PYRO 52 a TRIKRYSTAL způsobilo nevhodné podmínky pro rozvoj bakterie *Staphylococcus aureus*. Gramnegativní bakterie reagovaly na přítomnost všech použitých solí znatelně až při nejvyšší zkoumané koncentraci, tj. 2,0 %, avšak pouze zpomalením růstu, úplné inhibice růstu nebylo dosaženo.

2.2.2 Tavicí soli na bázi citronanů

Citronany jsou soli odvozené od kyseliny citronové – $C_6H_8O_7$. Pro výrobu tavených sýrů jsou jako tavicí soli nejčastěji využívány citronany trojsodné, a to z toho důvodu, že monosodný a disodný citronan působí výrazné okyselení směsi za vzniku nestabilní emulze, která uvolňuje vodu. Je však možné je použít k případné úpravě vysokého pH taveniny. Citronany nezvyšují hydrataci proteinů a mají také nízkou afinitu k vápenatým iontům. Neúčastní se zesíťování proteinové matrice. Citronan trojsodný je používán především ve směsích s jinými tavicími solemi (polyfosforečnany) [22, 46]. Vzorce používaných citronanů jsou uvedeny v Tab. 2.

Tab. 2. Citronany používané jako tavicí soli [46].

Citronany	Vzorec	pH 1% vodného roztoku	E-kód
sodný	$C_6H_7NaO_7$	3,75	E 331
disodný	$C_6H_6Na_2O_7$	5,00	
trisodný	$C_6H_5Na_3O_7$	7,95	

2.2.3 Tavené sýry bez tavicích solí

V poslední době se objevují snahy o vyrobení taveného sýra bez použití výše zmíněných tavicích solí [21, 29].

Kwak *et al.* [47] ve své studii použili jako náhradu tavicích solí částečně hydrolyzovaný kazein, avšak při úplném nahrazení byla zhoršena tavitelnost směsi a docházelo k uvolňování tuku u konečného výrobku. Přijatelné konzistence tavených sýrů bylo tedy dosaženo pouze při částečném nahrazení tavicích solí (do 50 %).

Dle provedených studií Pluty *et al.* [48] byly jako náhražky tavicích solí použity hydrokoloidy (modifikovaný škrob, xantanová guma, nízkometylovaný pektin) za dosažení poměrně uspokojivých výsledků.

Černíková *et al.* [49] zkoumali přísady vybraných hydrokoloidů jakožto náhražky tavicích solí v tavených sýrech. Do výzkumu zařadili nízkoesterifikovaný pektin, lokusovou gumu, modifikovaný škrob, κ -karagenan a ι -karagenan. Tyto hydrokoloidy použili v množství od 0,1 do 1,0 %. Došli k závěru, že κ - a ι -karagenan mohou být potenciálními náhražkami tradičních tavicích solí, zejména v koncentraci 1,0 %, při které se zjistila jak makroskopická, tak i mikroskopická homogenita konečných produktů. Schopnost těchto složek stabilizovat tuk v tavených sýrech je pravděpodobně spojena se schopností vázat se na hydrofobní části proteinů (zejména kazeinových frakcí) za přítomnosti iontů vápníku a tak stabilizovat jak vodu, tak i tuk. Bohužel však výrobky s karagenanem byly vyhodnoceny jako velmi tvrdé a obtížně roztíratelné. Aby bylo možné tyto náhražky použít, bude nutné prověřit stabilitu systému, snížit tvrdost a zlepšit roztíratelnost. Navíc by měly být zkoumány vlastnosti tání, charakteristiky mazání a profilová analýza struktury vzorků, kde jsou tradiční tavicí soli na bázi fosforečnanů a citronanů nahrazeny karagenany.

Hladká *et al.* [50] nahrazovali tavicí soli 1,0% (w/w) přísadou karagenanu. Jednotlivé modelové vzorky byly porovnány se vzorky kontrolními, u kterých bylo k výrobě použito 2,5 % fosforečnanových tavicích solí. Z pohledu mikroskopie byly oba typy vzorků homogenní bez ohledu na stupeň zralosti použitých přírodních sýrů. Se zvyšujícím se stupněm prozrálости přírodních sýrů použitých k výrobě klesala pevnost vzorků. Dále sledovali nárůst pevnosti vzorků tavených sýrů během 30 dnů skladování, kdy tavené sýry s přísadou tavicích solí vykazovaly nejvyšší pevnost 30. den skladování a tavené sýry s přísadou karagenanu 7. den skladování. Při použití tavicích solí je změna konzistence tavených sýrů připisována hydrolyze polyfosforečnanů a utváření kazeinové matrice v průběhu skladování. Při použití karagenanu lze tvrdit, že v prvních dnech probíhá dotváření struktury karagenan-protein za pevnějšího vázání vody.

2.2.4 Analogy tavených sýrů

Analogy neboli imitace tavených sýrů jsou výrobky, jež se vyrábí především z kazeinanů, bílkovin nemléčného původu, rostlinných olejů apod. Hlavním důvodem výroby analogů je snížení nákladů na surovinu, jelikož mléčná, poměrně drahá surovina je nahrazena levnějšími surovinami rostlinného původu. Dle platné legislativy České republiky není pojem analog taveného sýra definován, v praxi se pro výrobky tohoto typu používá název tavený výrobek či pomazánka. Vlastní technologie výroby analogů je obdobná jako pro klasické tavené sýry [12, 29]. V současnosti analogy tavených sýrů tvoří rozšíření sortimentu polotovarů na trhu a také nacházejí uplatnění v provozovnách fast-food, kde jsou levnější dostupnou surovinou. Další uplatnění lze hledat při použití do sýrových omáček, hamburgerů, salátů, pomazánek, strouhaných sýrových směsí apod., a to jak v provozovnách rychlého občerstvení, tak i ve školních jídelnách. Je však důležité, aby nedocházelo ke klamání spotřebitele a on si tedy byl vědom konzumace sýrového analogu [51–53].

2.3 Vlastní proces tavení

2.3.1 Diskontinuální způsob

Rozmělněná směs přírodních sýrů se dopraví k tavicímu kotli za přídavku dalších surovin (tavicí soli, máslo, tvaroh apod.). Následně se tavicí kotel uzavře. K záhřevu dochází buď mezipláštěm nebo kombinovaně se vsřikováním horké páry do tavicího kotle. Při použití záhřevu horkou parou musí být brány ohledy na množství přídavku pitné vody do surovinové skladby. Pro dosažení výrobku bez vzduchových bublin, se provede snížení tlaku a následně se směs rychle zahřeje na teplotu 90–110 °C (tzv. tavicí teplota). Za stálého míchání je tato teplota udržována po dobu několika sekund a dále následuje balení a chlazení výrobku na teplotu skladování [18, 29, 54].

Během tavicího procesu může docházet ke dvěma extrémním případům. Jedním je přešlehání, kdy dochází k pomalému záhřevu a dojde tak k nedokonalému vzniku vazeb mezi bílkovinami a tavicími solemi. Získá se tavenina s příliš řídkou konzistencí. Druhým případem je naopak příliš rychlý záhřev na vysokou teplotu za velmi intenzivního míchání, kdy dochází ke vzniku pevné až pudinkové konzistence. Aby se těmto jevům předcházelo, je velmi důležité tavení ukončit v optimálním bodě [55].

2.3.2 Kontinuální způsob

Tento výrobní postup se používá v menší míře, proto není tak detailně popsán. Při výrobě tavených sýrů kontinuálním způsobem je mísení jednotlivých surovin řízeno programem a používají se vyšší teploty oproti výrobě diskontinuální, a to 130–145 °C s výdrží 2–3 sekundy. K záhřevu dochází působením přímého vstříku páry. Následně dochází k mžikovému ochlazení na 90 °C a poté k promíchávání taveniny po dobu až 15 minut. Výroba je prováděna za aseptických podmínek, aby bylo dosaženo delší trvanlivosti výrobku [56].

2.4 Dokončovací operace

K dokončovacím operacím výroby tavených sýrů patří formování, chlazení, balení, skladování a expedice. Ještě horká tavenina se dopravuje z kotle a vypouští čerpadlem či samospádem do formovacího automatu, odkud dále putuje k balicím strojům, kde následně dochází k uzavření. Během balení by teplota taveniny neměla klesnout pod 70 °C především z důvodu možné mikrobiální kontaminace, ale také z důvodu snadnějšího balení, protože s klesající teplotou výrobek tuhne. Vliv na kvalitu a konzistenci má také rychlost a teplota chlazení. Obecně platí, že čím pomalejší je chlazení, tím tužší bude výsledná konzistence. Hotové výrobky jsou skladovány při teplotě 4–8 °C [15, 20, 57].

Za předpokladu stabilní mikrobiologické jakosti tavených sýrů všeobecně platí, že výrobky s tužší konzistencí si zachovají vyhovující jakost delší dobu než výrobky s roztíratelnější konzistencí (s vyšším obsahem vody nebo tuku). Během skladování může docházet také ke zvyšování množství těkavých látek (např. aldehydy, ketony), což má za následek změny aroma taveného sýra. Za prekurzory vzniku těkavých látek jsou považovány především laktóza a bílkoviny. Se zvyšující se teplotou skladování obvykle narůstá i množství těkavých látek a je tak ovlivněna sensorická jakost tavených sýrů. Tyto reakce nabývají na intenzitě za přístupu světla a kyslíku, proto je důležité použití nepropustných a neprodyšných obalových materiálů [29, 58].

Během skladování dochází také k hydrolýze fosforečnanových tavicích solí, která nastává již při procesu tavení. V době skladování 7–10 týdnů dochází k hydrolýze většiny polyfosforečnanů. To má za následek postupné uvolňování vápenatých iontů z tavicích

solí a jejich zapojování do tvorby zesíťované proteinové matrice, a to také vede ke zvýšení tuhosti tavených sýrů [59].

Skladování při nízkých teplotách může mít také negativní vliv na kvalitu tavených sýrů, a to především při skladování pod 10 °C, kdy může docházet ke krystalizaci tavicích solí. Krystaly tavicí soli na bázi fosforečnanů způsobují tzv. písčítost, tavicí soli na bázi citronanů tzv. mramorování. Při obsahu > 5 % hmotnosti výrobku má sklony ke krystalizaci také laktóza [60].

Na českém trhu lze najít tavené sýry balené v zavařených hliníkových fóliích s impregnací ze svařitelného plastu. Toto balení se liší dle druhu sýra, k dostání jsou trojboké hranolky či kvádríky, které jsou dále baleny do skupinového obalu, nejčastěji papírových krabiček po více kusech (2, 3, 6, 8, 10, 12). Čím dál častěji se však objevuje balení do plastových kelímků s plastovým nebo přivařeným hliníkovým víčkem. Ochucené tavené sýry či sýry uzené se také běžně plní do umělých střívek na narážkách a hotový výrobek má tak vzhled salámu [29, 55].

3 REWORK

Do surovinové skladby může být použit i tzv. krém nebo také nátavek (z anglického „rework“ – sýr již utavený). Rework je termín používaný k popisu taveného sýra, který není prodáván z několika důvodů. V průmyslové výrobě může být vyroben buď úmyslně (záměrná výroba reworku z nepoužitých odřezků přírodních sýrů, zbytků přírodních sýrů po plátkování, zbytky taveného sýra ve výrobním zařízení) nebo neúmyslně (sýr původně určen pro tržní síť, který nebyl uveden k prodeji například z důvodu nevhodného obalu, hmotnosti, obsahu sušiny či tuku v sušině). Všechny tyto zmíněné aspekty jsou pro výrobce z ekonomického hlediska velmi důležité. Kaláb *et al.* [61] rozdělují rework na čerstvý (ihned po výrobě zmrazen), obyčejný rework z předchozí výroby a tzv. "horká tavenina", což vysvětlují jako tavený sýr vystavený extrémnímu namáhání (zchlazen z 82 °C na 4 °C za 5 hodin). Obvykle je však rework používán v čerstvém stavu nebo 3–14 dní starý. V pracích Guinee *et al.* [20] a Meyer [62] je rework dělen do tří skupin: z mladého sýra s dlouhými bílkovinnými řetězci, obyčejný tavený sýr s krémovou strukturou a překrémovaný produkt s jemnou strukturou.

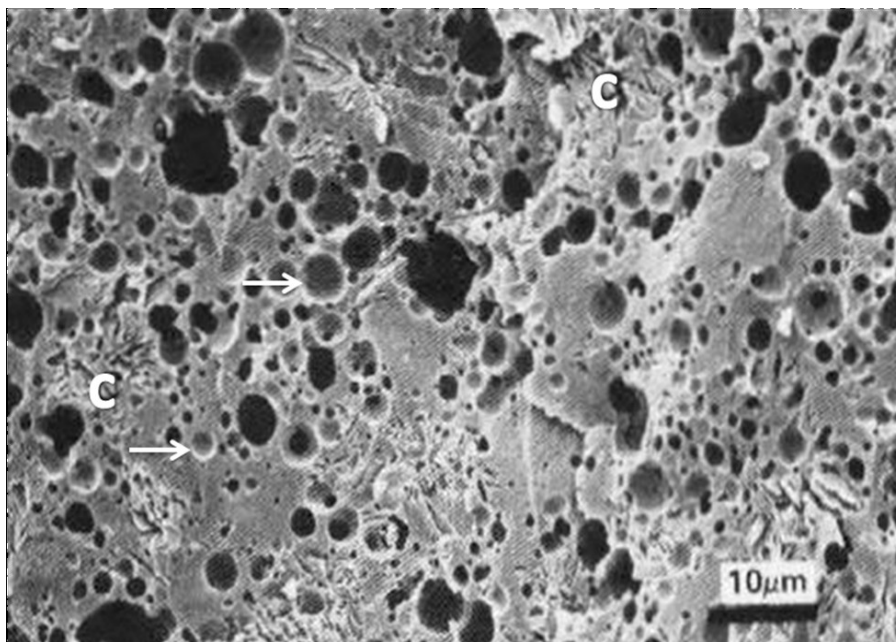
Vzhledem k tomu, že rework je vlastně tavený sýr vyrobený běžným způsobem – má tedy ukončen proces emulgování a obsahuje již tavicí soli. Z čehož vyplývá, že má schopnost ovlivnit funkční vlastnosti výsledného taveného sýra, do kterého je při výrobě přidáván. Obecně platí, že čím vyšší přídavek reworku, tím pevnější, méně roztékavou a tužší konzistenci má výsledný tavený sýr. Při výrobě z reworku lze také snížit množství tavicích solí, jelikož rework již emulgační sůl obsahuje [21, 48, 61, 63].

Jednotlivé typy reworku jsou při výrobě přidávány v různých množstvích a také z různých důvodů. Meyer [62] uvádí, že použitím čerstvého reworku v množství 1–2 % (w/w), lze dosáhnout roztíratelných tavených sýrů i za použití přezrálých přírodních sýrů. Druhý typ reworku (obyčejný tavený sýr s krémovou strukturou) doporučuje použít v množství 2–30 % (w/w) pro výrobu blokových tavených sýrů a to proto, aby bylo dosaženo zvýšení pevnosti a pružnosti výrobku. Třetí typ reworku (překrémovaný s jemnou strukturou) doporučuje použít pouze v množství menším než 1 % (w/w), protože má velmi silný krémující účinek a snadno by mohlo dojít k překrémování výsledného produktu. Dle Lauck [63] se přídavek reworku v taveném sýru může pohybovat v rozmezí 2–15 % (w/w).

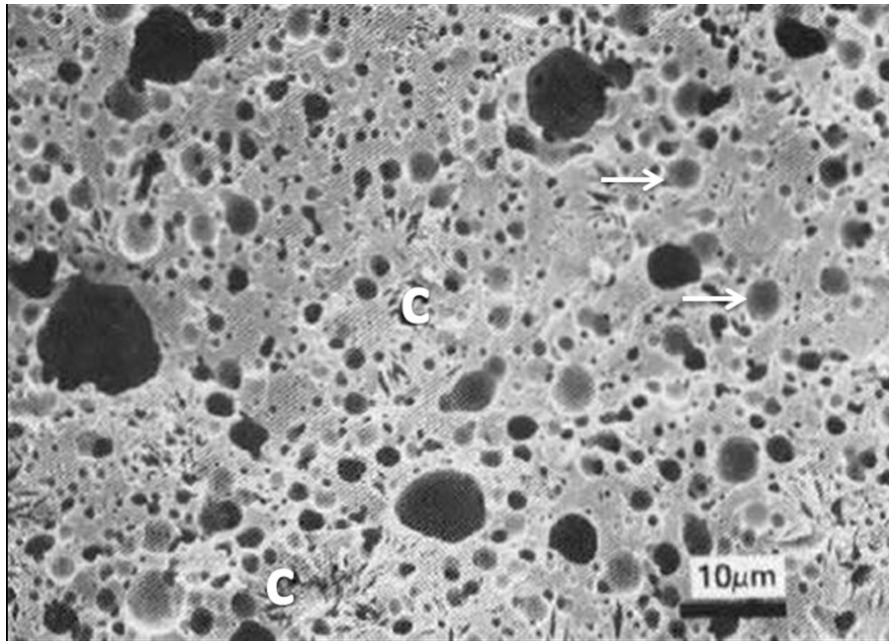
Rework může být také používán za účelem zlepšení opětovné tavitelnosti taveného sýra. Čerstvý rework má totiž slabě hydratované proteiny, čímž může stabilizovat tavený sýr, který má tendenci ke vzniku překrémování, a to i při běžných tavicích podmínkách. Za tímto účelem se pak přidavek reworku pohybuje v množství 2–30 % (w/w) [21].

Vysvětlení použití jednotlivých typů reworku uvádí Guinee *et al.* [20], který tvrdí, že dodatečné zahřátí předem připraveného taveného sýra může způsobit vyšší stupeň dehydratace vyvolaný teplotou a agregací parakazeinu, a to zejména v případě třetího typu reworku (překrémovaný s jemnou strukturou), což zvyšuje pružnost výsledného produktu. Účinnější disperze emulgačních solí v reworku vede k rychlejší hydrataci parakazeinu a k vyšší koncentraci bílkovin, právě díky vysokému stupni emulgace, což dále zapříčiní zvýšenou viskozitu a účinnější disperzi tuku u výsledného produktu.

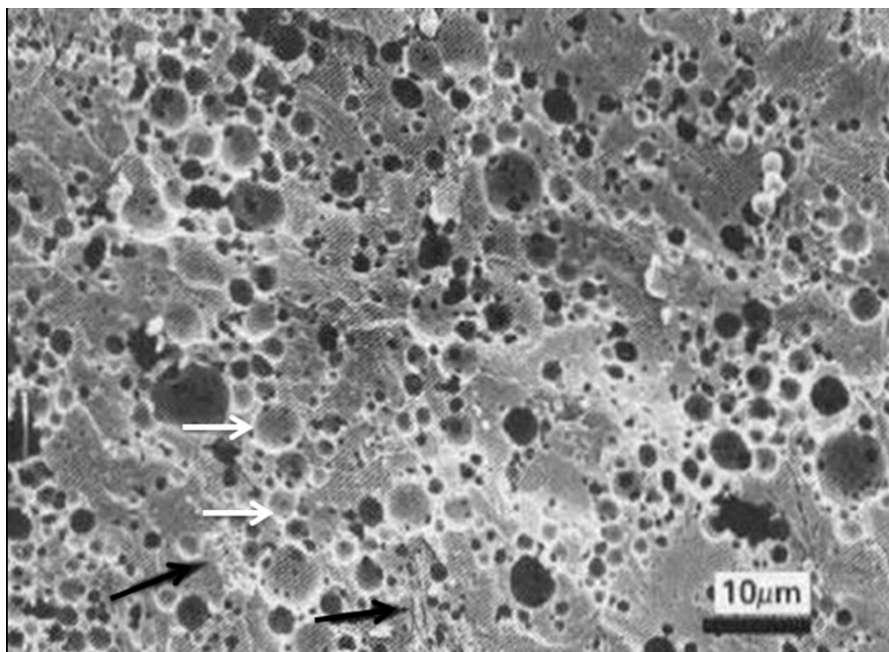
Kaláb *et al.* [61] ve své studii uvádí, že s přidavkem reworku dochází k lepší emulgaci tuku, než u tavených sýrů bez přidavku reworku, což dokazují rovnoměrným rozložením tukových kuliček na fotografiích pořízených elektronovým mikroskopem (Obr. 3–7). Zároveň poukazují na lepší rozpustnost tavicích solí při dlouhodobějším záhřevu a při použití reworku.



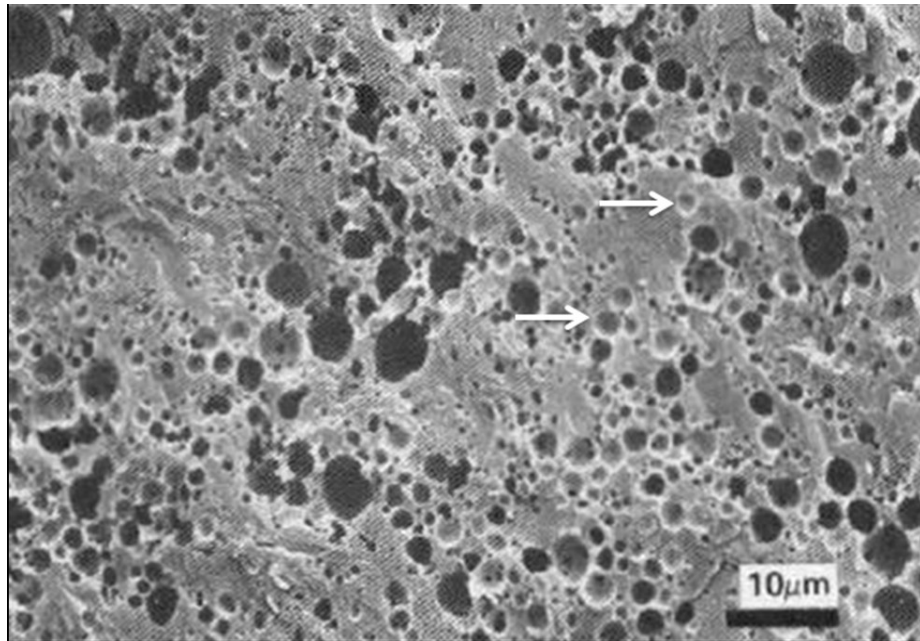
Obr. 3. Fotografie vzorku taveného sýra krátce zahřátého na 82 °C. C = shluk tavicí soli. Šipky poukazují na tukové kuličky [61].



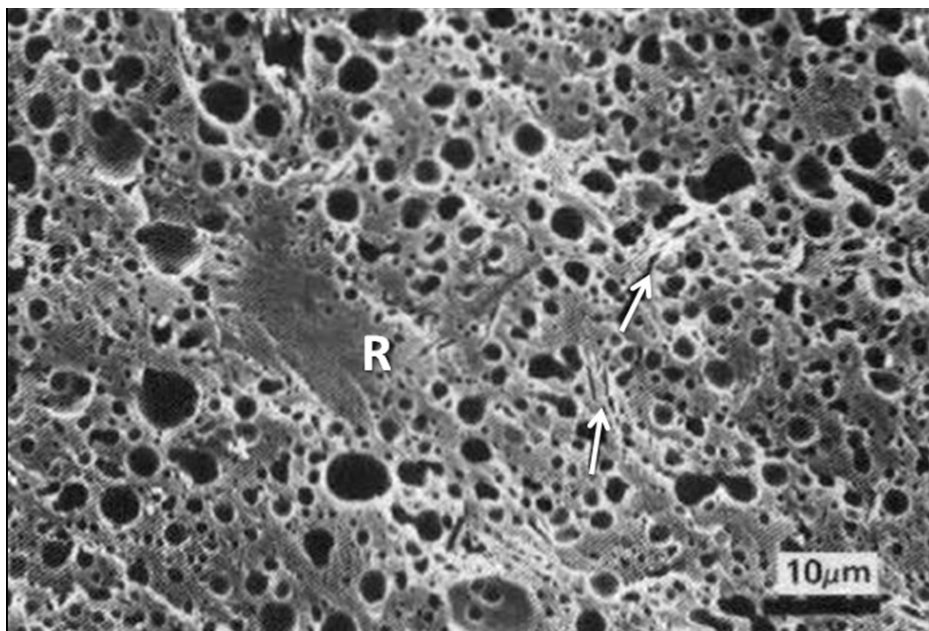
Obr. 4. Fotografie vzorku taveného sýra zahřátého na 82 °C po dobu 1 hodiny. C= shluk tavicí soli. Šipky poukazují na tukové kuličky [61].



Obr. 5. Fotografie vzorku taveného sýra zahřátého na 82 °C po dobu 5 hodin. Černé šipky poukazují na shluky tavicích soli. Bílé šipky poukazují na tukové kuličky [61].



Obr. 6. Fotografie vzorku taveného sýra zahřátého na 82 °C po dobu 5 hodin, následně zmrazeného na - 10 °C po dobu 24 hodin. Shluky tavicí soli již nejsou viditelné. Šipky poukazují na tukové kuličky [61].



Obr. 7. Fotografie vzorku taveného sýra zahřátého na 82 °C po dobu 5 hodin, následně zmrazeného na - 10 °C po dobu 24 hodin s 20,0% (w/w) přídavkem reworku. R = kompaktní oblast. Šipky poukazují na rezidua tavicích solí [61].

3.1 Skenovací elektronová mikroskopie

Všeobecně mikroskopie s vyšším rozlišením poskytuje komplexní informace o mikrostruktuře a složení látek, což vede k lepšímu pochopení chování potravin (např. proč je daná látka elastická nebo roztíratelná) nebo proč dochází ke změnám struktury potravin během skladování. V praxi jsou nejčastěji používány dva typy mikroskopů, a to optické a elektronové, přičemž rozdíl spočívá v intenzitě rozlišovací schopnosti. Optické mikroskopy jsou poměrně snadno použitelné, umožňují zvětšení až 2000x a ke zvětšování obrazu jsou využívány fotony. Při vyšším zvětšení se sice zobrazují větší detaily, ale menší plochy. Elektronové mikroskopy poskytují podstatně vyšší rozlišení a to proto, že ke zvětšování obrazu dochází pomocí paprsku elektronů generovaného ze žhavičového wolframu nebo elektrody s hexaboridovým lantanem. Elektronové mikroskopy jsou děleny do dvou hlavních skupin – skenovací elektronové mikroskopy (SEM) a transmisní elektronové mikroskopy (TEM). Při použití TEM je důležité, aby pozorovaný vzorek byl ve velmi tenké vrstvě, jelikož skrz něj musí projít proud elektronů. Výsledkem je pak dvojrozměrný obraz. SEM fungují na principu proudu elektronů skenujících povrch pozorovaného vzorku a vyvolávajících tvorbu sekundárních elektronů, které jsou pak identifikovány. Výsledkem je trojrozměrný obraz. TEM je používán převážně k odhalení vnitřních struktur vzorků a naopak SEM slouží k zobrazení povrchů vzorků [64, 65].

3.1.1 Skenovací elektronový mikroskop

Skenovací elektronový mikroskop slouží k pozorování povrchů různých objektů. Na rozdíl od světelného mikroskopu je obraz tvořen díky sekundárnímu signálu zpětně odražených nebo sekundárních elektronů. Předností SEM je hloubka ostrosti, pomocí níž je možné ve dvojrozměrných fotografiích nalézt trojrozměrný aspekt [66, 67].

Biologické materiály nelze sledovat pomocí SEM bez úpravy, proto existuje několik metod přípravy vzorků v závislosti na účelu studie. Preparát určený pro sledování pomocí SEM musí splňovat následující kritéria – na povrchu vzorku se nesmí vyskytovat cizí částice (např. prach), ve vakuu musí být stabilní, a to i při ozáření paprskem elektronů a musí produkovat dostačující množství signálu. Pokud vzorek obsahuje vodu, musí z něj být odstraněna, protože při vložení do vakua by mohlo dojít k jeho deformaci. Příprava biologických preparátů začíná fixací, následuje dehydratace a sušení. Vzo-

rek také nesmí být vodivý. Tomu je možné zabránit nanesením tenké vrstvy kovu na jeho povrch. Vlastní příprava vzorků pak probíhá buď fyzikálními, nebo chemickými metodami. Chemická metoda zahrnuje: čištění povrchu vzorku, fixaci pomocí fixačních činidel v pufru, promývání, dehydrataci organickými rozpouštědly, sušení, lepení vzorku a pokovování jeho povrchu. Fyzikální postupy zahrnují zmrazování nebo také mikrovlnné záření [66, 68, 69].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

Cílem této práce bylo sledovat a zhodnotit viskoelastické vlastnosti tavených sýrů s přídavkem reworku.

Dílčí cíle:

- sepsat literární rešerši zabývající se stručně charakteristikou tavených sýrů a technologií jejich výroby
- popsat jednotlivé typy reworku z hlediska jejich vlastností, možností výroby a použití
- vyrobit modelové vzorky tavených sýrů s různým přídavkem reworku v laboratorních a průmyslových podmínkách
- u všech vzorků provést základní chemickou analýzu – stanovení pH, obsahu sušiny a obsahu tuku v sušině
- dynamickou oscilační reometrií sledovat vliv reworku na konzistenci tavených sýrů v průběhu doby skladování
- provést analýzu mikrostruktury vyrobených vzorků pomocí skenovací elektronové mikroskopie
- vyhodnotit výsledky a vhodně je diskutovat s dostupnou literaturou
- formulovat závěry práce

5 METODIKA

5.1 Popis experimentu

V průběhu experimentu byl zkoumán vliv přídavku různého množství reworku (0,0; 2,5; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0 % w/w) na reologické vlastnosti modelových vzorků tavených sýrů s obsahem sušiny 36 % (w/w) a tuku v sušině 45 % (w/w). Jednotlivé analýzy byly prováděny 1., 7., 14., 30. a 60. den od výroby. U všech vzorků bylo vždy měřeno pH, stanoveno množství sušiny a obsahu tuku v sušině, aby bylo možné zjistit, zda se uvedené vzorky mezi sebou navzájem liší. Bylo pozorováno, zda se zvyšujícím se přídavkem reworku dochází ke zvyšování tuhosti vzorku či naopak.

V rámci experimentu byly vyrobeny dvě sady modelových vzorků tavených sýrů, a to ve spolupráci s mlékárnou LACRUM Velké Meziříčí s.r.o., průmyslově vyrobené vzorky a v laboratoři Ústavu technologie potravin Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně laboratorně vyrobené vzorky.

5.2 Laboratorní výroba modelových vzorků

K výrobě tavených sýrů byl použit přístroj Stephan UMC-5 (Stephan Machinery GmbH, Německo). Surovinami byly: Eidamská cihla (30 % w/w tuku v sušině, 50 % w/w sušiny), čerstvé máslo (82 % w/w tuku, 84 % w/w sušiny), pitná voda, směs tavicích solí a rework (36 % w/w sušiny, 17 % w/w tuku). Eidamská cihla byla rozkrájena na kousky o rozměrech přibližně $2 \times 2 \times 2$ cm, přemístěna do tavicího přístroje a následně po dobu 1 minuty při 3000 otáčkách za minutu rozmělnována. Následně bylo přidáno máslo, voda, směs tavicích solí a rework. Rework, který byl přidáván do surovinové skladby byl vyroben ze stejných surovin jako modelové vzorky tavených sýrů (bez reworku) a používán po 3 dnech skladování při teplotě 6 ± 2 °C. Poté byla tavicí nádoba uzavřena s vytvořením mírného vakua a nastaveny otáčky na 3000 otáček za minutu. Po dosažení tavicí teploty 90 °C následovala výdrž po dobu jedné minuty a následně byly vzorky plněny do plastových kelímků a uzavřeny přitavitelným hliníkovým víčkem. Poté byly vzorky zchlazeny na skladovací teplotu 6 ± 2 °C a uchovány v lednici až do doby provádění analýz (1., 7., 14., 30. a 60. den skladování).

5.3 Průmyslová výroba modelových vzorků

K výrobě průmyslových modelových vzorků byly použity následující suroviny: Eidamská cihla (obsah sušiny 50 % w/w, obsah tuku v sušině 30 % w/w), nesolené máslo (obsah sušiny 84 % w/w, obsah tuku 82 % w/w), pitná voda, rework a směs tavicích solí v poměrovém zastoupení – 34 % Na_2HPO_4 , 26 % NaH_2PO_4 , 20 % $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ a 20 % polyfosforečnanu sodného. Poměry jednotlivých surovin byly zachovány jako při laboratorní výrobě modelových vzorků. Výroby probíhaly na zařízení Stephan UM 130 (Machinery GmbH, Hameln, Německo). Teplota tavení byla 90 °C s dobou výdrže 1 minuta za použití 1500 otáček za minutu a pomocí vakuové pumpy byl v tavicím kotli vytvořen mírný podtlak. Vyrobené vzorky byly plněny do plastových kelímků, uzavřeny víčkem a chlazení i skladování probíhalo za stejných podmínek jako u laboratorně vyrobených vzorků.

5.4 Chemická analýza vzorků

5.4.1 Sušina

Obsah celkové sušiny byl stanoven dle ČSN EN ISO 5534:2005 [70]. Tavený sýr byl navážen s přesností na čtyři desetinná místa a rozetřen ve vysoušecích miskách spolu s křemenným pískem a poté sušen přibližně 3 hodiny při teplotě 105 ± 2 °C do konstantního úbytku hmotnosti. Následně byly misky s vysušenými vzorky umístěny do exikátoru a po zchlazení byla odečítána hmotnost pomocí analytických vah. Každý vzorek byl měřen třikrát a výsledek je interpretován jako rozmezí nejnižší a nejvyšší naměřené hodnoty. Před a po vysušení vzorku byl zjišťován obsah vody z rozdílu hmotností dle následujícího vzorce (1):

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$$

(1)

Kde:

W = obsah vody v hmotnostních %

m_1 = hmotnost vysoušecí misky s pískem, vzorkem a třecí tyčinkou před vysušením v g

m_2 = hmotnost vysoušecí misky s pískem, vzorkem a třecí tyčinkou po vysušení v g

m_3 = hmotnost vysoušecí misky s pískem a třecí tyčinkou v g

Poté byl obsah sušiny (S) ve vzorku v hmotnostních % přepočten dle vzorce (2):

$$S = 100 - W$$

(2)

5.4.2 pH

pH bylo měřeno pomocí vpichového pH metru (Spear Eutech – pH tester s pevnou vpichovou elektrodou, Eutech Instruments, Nijkerk, Nizozemí) při teplotě 22 ± 1 °C. Každý vzorek byl měřen šestkrát v různých místech taveného sýra a výsledek je uveden jako aritmetický průměr \pm směrodatná odchylka.

5.4.3 Tuk

Obsah tuku byl stanoven acidobutyrometrickou metodou dle van Gulika ČSN ISO 3433 (57 1009):2010 [71]. Z naměřených hodnot byl následně vypočítán obsah tuku v sušině (TVS) v procentech hmotnostních dle následujícího vzorce (3):

$$TVS (\%) = \frac{\text{obsah tuku} (\%) \times 100}{\text{obsah sušiny} (\%)}$$

(3)

5.5 Dynamická oscilační reometrie

Zjišťování reologických vlastností modelových vzorků bylo prováděno pomocí dynamické oscilační reometrie na pracovišti Ústavu technologie potravin, Fakulty technologické, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Dynamická oscilační reometrie je založena na řízené deformaci měřeného vzorku, kdy dochází ke zjišťování chování látek při toku.

Komplexní modul pružnosti vzorku (G^*) byl vypočten z naměřených parametrů elastického (G') a ztrátového (G'') modulu pružnosti dle vztahu (4):

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

(4)

K hodnocení viskoelastických změn byly použity Winterovy modely a vypočítány parametry A_F a z dle vzorce (5):

$$G^*(\omega) = A_F \cdot \omega^{\frac{1}{z}}$$

(5)

Kde:

A_F = pevnost gelu v $\text{Pa} \cdot \text{s}^{1/z}$

z = interakční faktor

Měření bylo prováděno na přístroji HAAKE RheoStress 1 (Thermo Scientific™, Bremen, Německo). Pro tento experiment byla použita geometrie deska-deska (průměr 35 mm se šířkou štěrbinu 1 mm) a teplota měření byla $20,0 \pm 0,1$ °C. Zvolená frekvence byla 0,05 – 100,0 Hz, amplituda smykového napětí 20 Pa. Analyzovaný vzorek byl nanesen mezi statickou a oscilující desku v tenké vrstvě a po zaplnění štěrbinu byl přebytečný vzorek odstraněn a na okraj nanesen silikonový olej, aby bylo zabráněno unikání vlhkosti. Každý vzorek byl analyzován třikrát.

5.6 Skenovací elektronová mikroskopie

Pro studium mikrostruktury a distribuce tukových kuliček průmyslově vyrobených modelových vzorků tavených sýrů byl použit skenovací elektronový mikroskop JEOL JSM-7401F (JEOL, Japonsko) s kryosystémem ALTO 2500 (Gatan, Abingdon, Velká Británie). Každý vzorek taveného sýra byl umístěn do držáku vzorků, rychle zmrazen tekutým dusíkem a pod vakuem přenesen do kryo komory systému Alto 2500, který byl připojen k mikroskopu. Zde byl vzorek rozlomen při teplotě - 135 °C. Dále byl vzorek přesunut do skenovacího elektronového mikroskopu a zkoumán při teplotě - 135 °C. Každý snímek byl analyzován pomocí softwaru ImageJ (Bethesda, Maryland). Fotografie každého vzorku byla analyzována pro určení průměru tukových kuliček (μm). Každý vzorek byl analyzován dvakrát a výsledky jsou vyjádřeny jako průměr \pm směrodatná odchylka.

5.7 Statistické vyhodnocení dat

Ke statistickému vyhodnocení získaných výsledků byly použity Kruskal-Wallisův a Wilcoxonův test (hladina významnosti 0,05) a hodnoty A_F a z byly získány použitím nelineární regresní analýzy pomocí softwarového systému Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, Washington). Pro porovnání rozdělení tukových kuliček u modelových vzorků s různou koncentrací reworku by použit Pearsonův chí-kvadrát test.

6 VÝSLEDKY A DISKUZE

6.1 Výsledky chemické analýzy

Vzorky tavených sýrů byly vyráběny s obsahem sušiny 36 % (w/w) a tuku v sušině 45 % (w/w) s přidavkem reworku, a to v koncentracích 0,0; 2,5; 5,0; 10,0; 15,0 a 20,0 % (w/w) a skladovány po dobu 60 dní. Všechny modelové vzorky byly podrobeny chemické analýze – pH, stanovení obsahu sušiny a tuku v sušině.

V rámci jednotlivých dnů skladování byly hodnoty pH průmyslově i laboratorně vyrobených vzorků s různým přidavkem reworku srovnatelné ($P \geq 0,05$). Výsledky měření pH u všech vzorků během doby skladování 60 dní jsou uvedeny v Tab. 3 a 4. Během skladování došlo pouze k mírnému poklesu hodnot pH ($P < 0,05$), které popsali rovněž Salek *et al.* [42] a Weiserová *et al.* [72], a to v rozmezí 0,1–0,2 což vysvětlují hydrolyzou fosforečnanových solí nebo změnou vazeb přítomných sloučenin a změnou jejich disociace.

Tab. 3. Hodnoty pH laboratorně vyrobených vzorků tavených sýrů s přidavkem reworku po 1.; 7.; 14.; 30. a 60. dni skladování (hodnoty jsou uvedené jako průměr \pm směrodatná odchylka).

Přídavek reworku % (w/w)	pH				
	Dny skladování				
	1	7	14	30	60
0,0	5,84 \pm 0,01	5,95 \pm 0,01	5,95 \pm 0,01	6,05 \pm 0,00	5,70 \pm 0,01
2,5	5,89 \pm 0,01	5,95 \pm 0,00	6,00 \pm 0,01	6,12 \pm 0,01	5,70 \pm 0,00
5,0	5,93 \pm 0,01	5,98 \pm 0,01	6,01 \pm 0,01	6,13 \pm 0,01	5,73 \pm 0,02
10,0	5,95 \pm 0,03	6,00 \pm 0,01	6,00 \pm 0,01	6,18 \pm 0,01	5,77 \pm 0,00
15,0	5,93 \pm 0,00	6,03 \pm 0,01	6,05 \pm 0,00	6,05 \pm 0,00	5,77 \pm 0,01
20,0	5,97 \pm 0,01	6,03 \pm 0,01	6,06 \pm 0,00	6,06 \pm 0,00	5,71 \pm 0,05

Tab. 4. Hodnoty pH průmyslově vyrobených vzorků tavených sýrů s přidavkem reworku po 1.; 7.; 14.; 30. a 60. dni skladování (hodnoty jsou uvedené jako průměr \pm směrodatná odchylka).

Přídavek reworku % (w/w)	pH				
	Dny skladování				
	1	7	14	30	60
0,0	5,73 \pm 0,03	5,61 \pm 0,03	5,60 \pm 0,04	5,56 \pm 0,02	5,50 \pm 0,03
2,5	5,71 \pm 0,03	5,60 \pm 0,03	5,60 \pm 0,02	5,51 \pm 0,03	5,49 \pm 0,03
5,0	5,75 \pm 0,03	5,62 \pm 0,02	5,56 \pm 0,03	5,54 \pm 0,02	5,48 \pm 0,02
10,0	5,69 \pm 0,03	5,62 \pm 0,03	5,58 \pm 0,02	5,51 \pm 0,03	5,51 \pm 0,02
15,0	5,74 \pm 0,02	5,64 \pm 0,02	5,61 \pm 0,03	5,52 \pm 0,02	5,52 \pm 0,03
20,0	5,75 \pm 0,02	5,62 \pm 0,03	5,61 \pm 0,05	5,53 \pm 0,02	5,52 \pm 0,02

Dle Lee a Klostermeyer [43] je optimální hodnota pH taveného sýra v rozmezí hodnot 5,6–6,0, kdy dochází k vytvoření homogenní sítě a tukové kuličky jsou v ní rovnoměrně rozmístěny. Pokud pH klesne pod optimální hodnotu, přiblíží se proteiny hodnotě izoelektrického bodu a dojde ke vzniku agregátů. Takový tavený sýr má pak výrazně pevnou až drobivou konzistenci. Pokud však hodnoty pH přesahují hodnoty optimální, dochází naopak k interakcím mezi proteiny velmi omezeně a výsledkem je velmi měkký tavený sýr. Marchesseau *et al.* [73] ve své studii uvádí, že konečná hodnota pH taveného sýra má významný vliv na kvalitu, mikrostrukturu a typ proteinových interakcí. Dále tvrdí, že rozsah pH u kvalitních tavených sýrů by měl být mezi 5,4 a 5,8. Zjistili také, že tavený sýr s nižším pH (5,2) vytváří interakce protein-protein, protože proteiny jsou blíže k jejich izoelektrickému bodu, čímž se podpoří agregace proteinů, což vede ke slabší emulgaci tukové fáze. Při vyšším pH (6,1) Marchesseau *et al.* [73] zjistili, že tavený sýr má otevřenou strukturu a proto slabší emulgaci. Tavený sýr s hodnotou pH 5,7 dle jejich studie vytvářel homogenní tukovou emulzi a uzavřenou proteinovou síť. V důsledku toho tedy konstatovali, že pH je důležitým faktorem k ovlivnění konečné struktury tave-

ného sýra. Dle Palmer a Sly [74] se stabilita emulze tavených sýrů snižuje pokud je pH nižší než 5,4 nebo vyšší než 5,8.

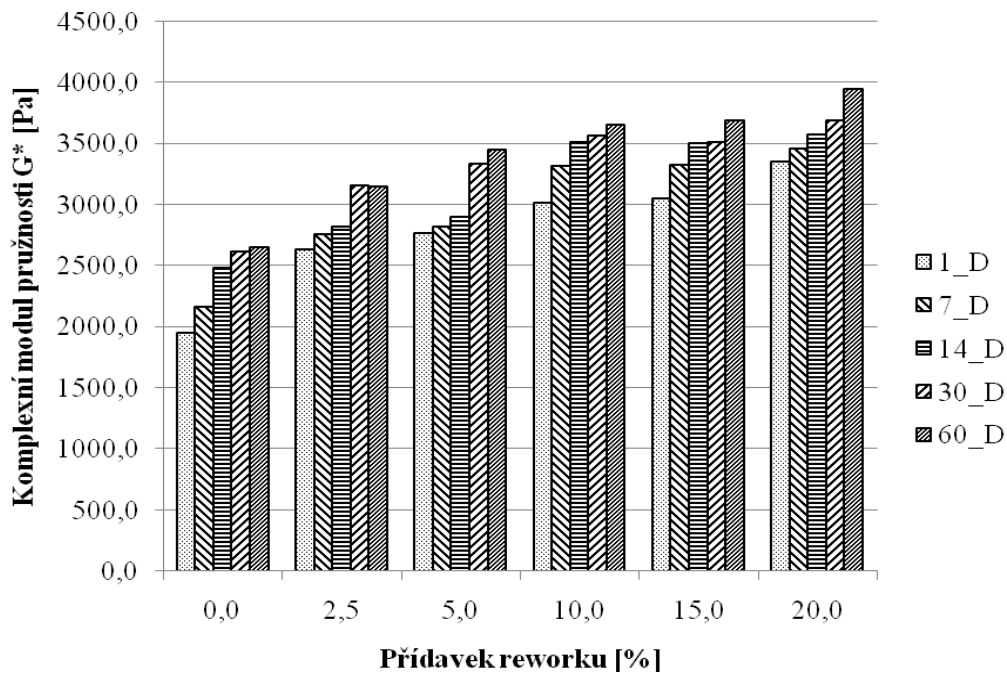
Obsah sušiny laboratorně vyrobených modelových vzorků tavených sýrů kolísal v rozmezí 39,17–40,55 % (w/w), zatímco obsah tuku v sušině byl 44,11–46,10 % (w/w). U průmyslově vyrobených modelových vzorků byl stanoven obsah sušiny v rozmezí 34,91–36,86 % (w/w) a zjištěný obsah tuku v sušině byl v rozmezí 45,21–48,22 % (w/w).

Černíková *et al.* [69] zkoumali vliv obsahu sušiny (35 až 45 % w/w) a tuku v sušině (40 a 50 % w/w) na texturní a viskoelastické vlastnosti tavených sýrů. Tavené sýry byly skladovány po dobu 14 dnů při teplotě 6 ± 2 °C. Tato doba skladování je dostačující pro vytvoření finální konzistence taveného sýra. Bylo zjištěno, že se zvyšujícím se obsahem sušiny rostla tuhost tavených sýrů a zmenšovala se velikost tukových kuliček. Se zvyšujícím se obsahem tuku v sušině se tuhost tavených sýrů naopak snižovala a velikost tukových kuliček narůstala. Stejně tak Guinee a O'Callaghan [75] potvrzují, že se zvyšujícím se obsahem tuku dochází ke snižování tuhosti tavených sýrů a naopak.

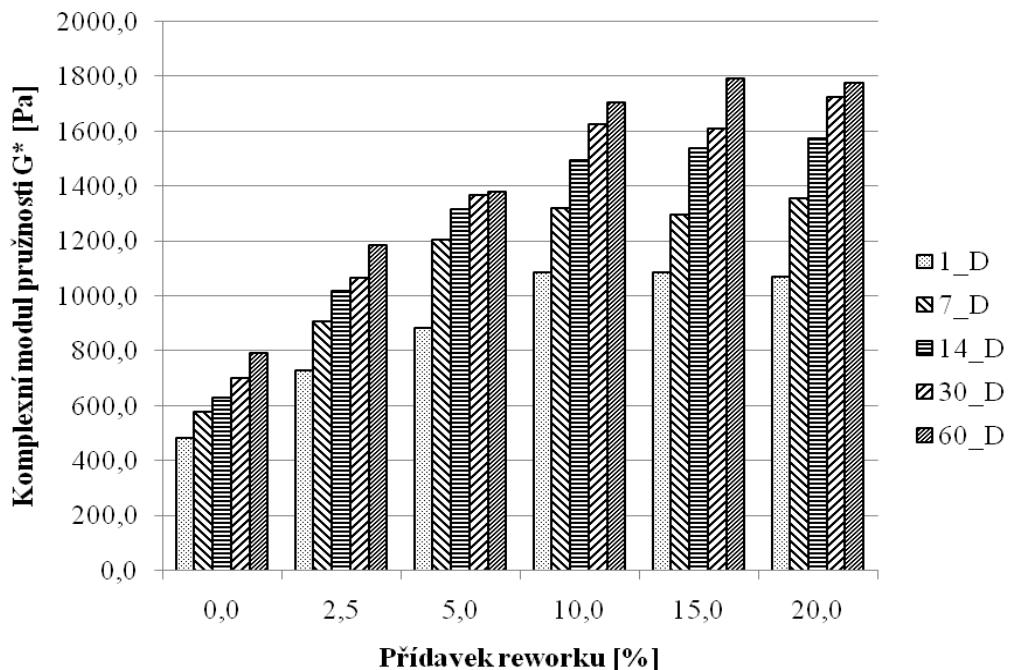
Z výsledků chemické analýzy vyplývá, že byla zajištěna standardnost všech modelových vzorků, jsou tedy mezi sebou porovnatelné a je možné dále hodnotit vliv přídavku reworku na jejich konzistenci v průběhu skladování. Tyto vzorky byly následně podrobeny skenovací elektronové mikroskopii a dynamické oscilační reometrii, díky které bylo možné zhodnotit viskoelastické vlastnosti vzorků působením mechanické deformace.

6.2 Výsledky dynamické oscilační reometrie

Díky dynamické oscilační reometrii byly získány hodnoty elastického (G' ; Pa) a ztrátového (G'' ; Pa) modulu pružnosti a z těchto hodnot byl dle vzorce (4) vypočten komplexní modul pružnosti (G^* ; Pa), dle vzorce (5) hodnoty pevnosti gelu (A_F ; Pa·s^{1/2}) a interakčního faktoru (z ; -). Se zvyšujícími se hodnotami G^* , A_F i z dochází také ke zvyšování tuhosti tavených sýrů a naopak [24, 76].



Obr. 8. Závislost komplexního modulu pružnosti (G^* ; Pa) laboratorně vyrobených vzorků na přídavku reworku v průběhu 60-denního skladování (1., 7., 14., 30. a 60. den).



Obr. 9. Závislost komplexního modulu pružnosti (G^* ; Pa) průmyslově vyrobených vzorků na přídavku reworku v průběhu 60-denního skladování (1., 7., 14., 30. a 60. den).

Z uvedených výsledků na Obr. 8 a 9 je patrné, že s rostoucím přídatkem reworku u laboratorně i průmyslově vyrobených vzorků došlo během 60 denního skladování k nárůstu hodnot komplexního modulu pružnosti. Výše uvedené výsledky modulů pružnosti jsou podporovány taktéž rostoucími hodnotami pevnosti gelu (A_F) uvedenými v Tab. 5 pro laboratorní vzorky a v Tab. 6 pro průmyslové vzorky a interakčním faktorem (z) uvedeným v Tab. 7 a 8. Pevnost gelu se zvýšila, i když bylo přidáno pouze 2,5 % (w/w) reworku. Současně se zvýšila i hodnota interakčního faktoru, což je důkazem počtu intermolekulárních vazeb mezi proteiny. Stejně tak lze říci, že tuhost tavených sýrů roste s prodlužující se délkou skladování. Rostoucí pevnost gelu tedy byla dána počtem interakcí ve studovaném trojrozměrném systému [57, 77]. Ke stejnému závěru dospěli také Buňka *et al.* [78].

Tab. 5. Hodnoty pevnosti gelu (A_F ; $kPa \cdot s^{1/2}$) laboratorně vyrobených modelových vzorků tavených sýrů po 1, 7, 14, 30 a 60 dnech skladování uvedeny pro jednotlivé přídatky reworku (hodnoty jsou uvedené jako průměr \pm směrodatná odchylka).

Přídavek reworku % (w/w)	A_F Dny skladování				
	1	7	14	30	60
0,0	1,94 \pm 0,10	2,19 \pm 0,13	2,48 \pm 0,06	2,59 \pm 0,09	2,67 \pm 0,15
2,5	2,65 \pm 0,14	2,74 \pm 0,10	2,84 \pm 0,14	3,16 \pm 0,17	3,19 \pm 0,12
5,0	2,78 \pm 0,12	2,81 \pm 0,18	2,93 \pm 0,16	3,31 \pm 0,20	3,46 \pm 0,16
10,0	3,05 \pm 0,11	3,34 \pm 0,18	3,53 \pm 0,18	3,59 \pm 0,19	3,66 \pm 0,24
15,0	3,04 \pm 0,10	3,31 \pm 0,16	3,48 \pm 0,18	3,47 \pm 0,21	3,67 \pm 0,20
20,0	3,19 \pm 0,15	3,34 \pm 0,20	3,42 \pm 0,14	3,57 \pm 0,15	3,75 \pm 0,23

Tab. 6. Hodnoty pevnosti gelu (A_F ; $kPa \cdot s^{1/z}$) průmyslově vyrobených modelových vzorků tavených sýrů po 1, 7, 14, 30 a 60 dnech skladování uvedeny pro jednotlivé přídavky reworku (hodnoty jsou uvedené jako průměr \pm směrodatná odchylka).

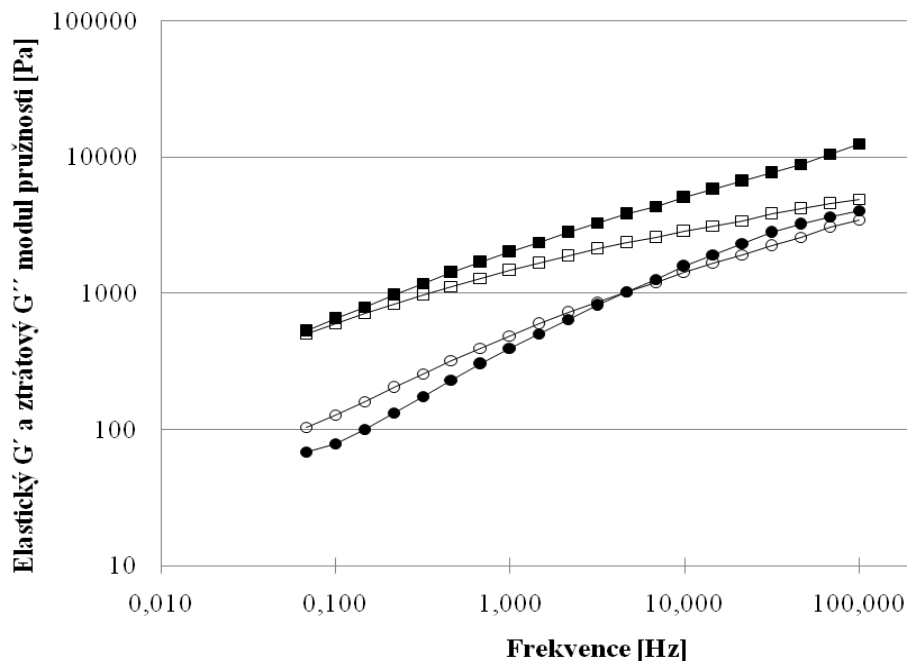
Přídavek reworku % (w/w)	A_F				
	Dny skladování				
	1	7	14	30	60
0,0	0,56 \pm 0,03	0,63 \pm 0,04	0,70 \pm 0,03	0,76 \pm 0,03	0,87 \pm 0,04
2,5	0,83 \pm 0,03	1,00 \pm 0,06	1,09 \pm 0,05	1,14 \pm 0,04	1,26 \pm 0,05
5,0	0,94 \pm 0,04	1,28 \pm 0,07	1,35 \pm 0,09	1,44 \pm 0,07	1,38 \pm 0,06
10,0	1,12 \pm 0,07	1,39 \pm 0,06	1,50 \pm 0,07	1,60 \pm 0,09	1,77 \pm 0,10
15,0	1,15 \pm 0,05	1,30 \pm 0,06	1,55 \pm 0,11	1,58 \pm 0,08	1,85 \pm 0,09
20,0	1,03 \pm 0,05	1,33 \pm 0,07	1,50 \pm 0,05	1,62 \pm 0,09	1,73 \pm 0,09

Tab. 7. Hodnoty interakčního faktoru (z) laboratorně vyrobených modelových vzorků tavených sýrů po 1, 7, 14, 30 a 60 dnech skladování uvedeny pro jednotlivé přídavky reworku (hodnoty jsou uvedené jako průměr \pm směrodatná odchylka).

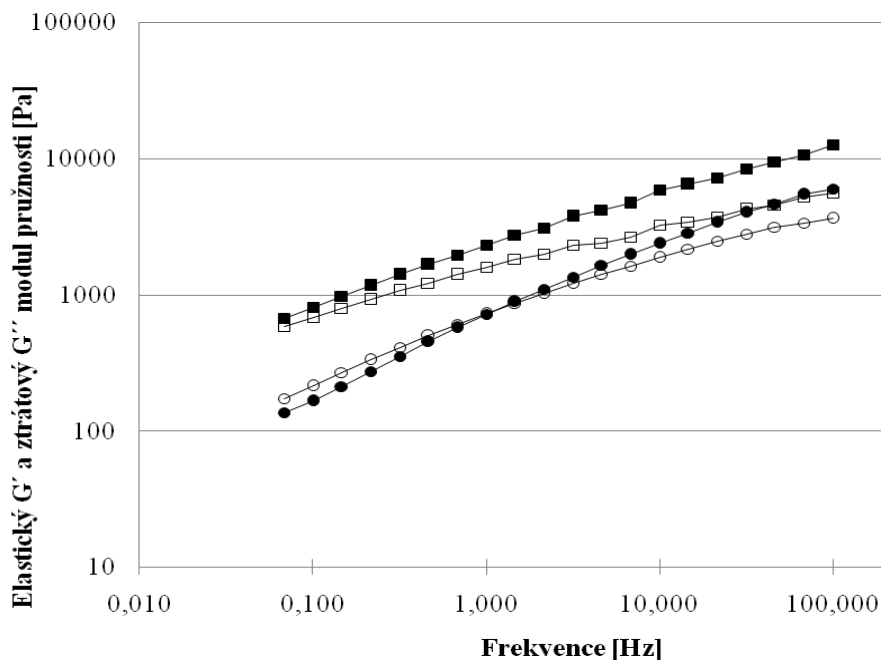
Přídavek reworku % (w/w)	z				
	Dny skladování				
	1	7	14	30	60
0,0	2,55 \pm 0,15	2,65 \pm 0,12	2,77 \pm 0,12	2,78 \pm 0,18	2,81 \pm 0,16
2,5	2,80 \pm 0,12	2,82 \pm 0,08	2,91 \pm 0,15	2,95 \pm 0,15	2,94 \pm 0,16
5,0	2,86 \pm 0,16	2,85 \pm 0,11	2,90 \pm 0,15	3,00 \pm 0,13	3,02 \pm 0,20
10,0	2,96 \pm 0,11	2,97 \pm 0,18	3,06 \pm 0,10	3,06 \pm 0,16	3,09 \pm 0,14
15,0	2,94 \pm 0,15	2,98 \pm 0,17	3,02 \pm 0,19	3,08 \pm 0,18	3,07 \pm 0,13
20,0	2,92 \pm 0,16	2,98 \pm 0,16	3,03 \pm 0,18	3,05 \pm 0,18	3,10 \pm 0,14

Tab. 8. Hodnoty interakčního faktoru (z) průmyslově vyrobených modelových vzorků tavených sýrů po 1, 7, 14, 30 a 60 dnech skladování uvedeny pro jednotlivé přídavky reworku (hodnoty jsou uvedené jako průměr \pm směrodatná odchylka).

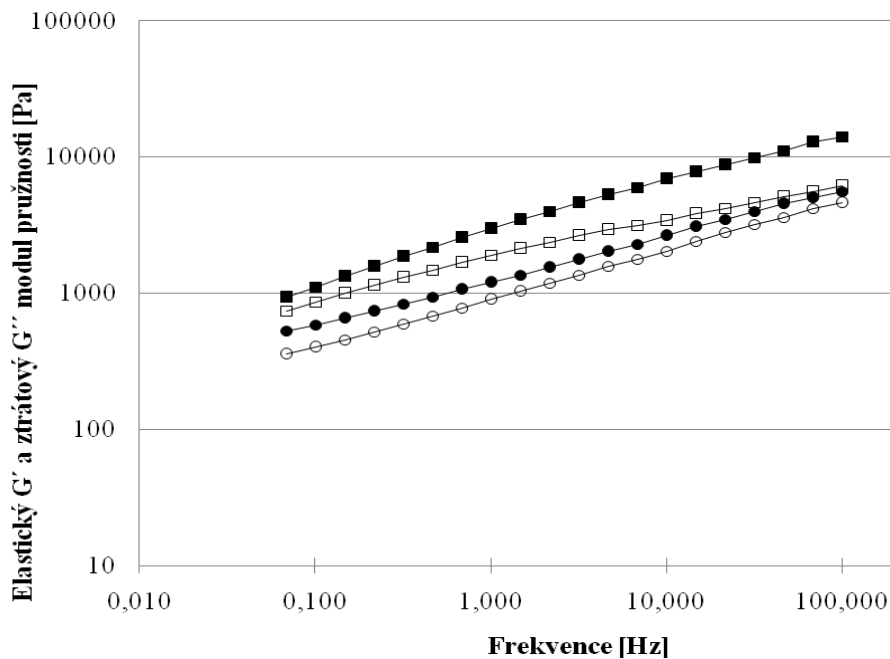
Přídavek reworku % (w/w)	z				
	Dny skladování				
	1	7	14	30	60
0,0	2,05 \pm 0,15	2,09 \pm 0,11	2,16 \pm 0,09	2,20 \pm 0,13	2,23 \pm 0,07
2,5	2,23 \pm 0,12	2,31 \pm 0,11	2,34 \pm 0,09	2,42 \pm 0,13	2,47 \pm 0,12
5,0	2,27 \pm 0,16	2,43 \pm 0,14	2,53 \pm 0,14	2,61 \pm 0,11	2,83 \pm 0,18
10,0	2,42 \pm 0,09	2,48 \pm 0,15	2,86 \pm 0,10	2,93 \pm 0,15	2,71 \pm 0,18
15,0	2,64 \pm 0,13	2,45 \pm 0,12	2,86 \pm 0,10	2,93 \pm 0,12	2,68 \pm 0,13
20,0	2,50 \pm 0,14	2,56 \pm 0,13	2,86 \pm 0,14	2,93 \pm 0,14	2,92 \pm 0,18



Obr. 10. Závislost elastického (G' ; plné symboly) a ztrátového (G'' ; prázdné symboly) modulu pružnosti po 14 dnech skladování při 6 ± 2 °C na frekvenci pro laboratorní vzorky (\square ■) a průmyslové vzorky (\circ ●) s 0,0% (w/w) přidavkem reworku.



Obr. 11. Závislost elastického (G' ; plné symboly) a ztrátového (G'' ; prázdné symboly) modulu pružnosti po 14 dnech skladování při 6 ± 2 °C na frekvenci pro laboratorní vzorky (\square ■) a průmyslové vzorky (\circ ●) s 2,5% (w/w) přidavkem reworku.



Obr. 12. Závislost elastického (G' ; plné symboly) a ztrátového (G'' ; prázdné symboly) modulu pružnosti po 14 dnech skladování při 6 ± 2 °C na frekvenci pro laboratorní vzorky (\square ■) a průmyslové vzorky (\circ ●) s 10,0% (w/w) přidavkem reworku.

Výsledky elastických (G' ; Pa) a ztrátových (G'' ; Pa) modulů pružnosti v závislosti na frekvenci jsou uvedeny na Obr. 10–12. Pro lepší srovnání a prezentování výsledků byl vybrán 0,0%, 2,5% a 10,0% (w/w) přidavek reworku po 14 dnech skladování. Na základě porovnání těchto hodnot lze jednoznačně konstatovat, že rework významně zvýší pevnost výsledného taveného sýra. Kaláb *et al.* [61] tvrdí, že přidavek reworku do 4 % nemá vliv na změnu konzistence konečného produktu. Dle Obr. 11 lze říci, že již od 2,5% (w/w) přidavku reworku docházelo ke zvýšení tuhosti vzorků tavených sýrů. Rework má tedy podstatný vliv na změnu konzistence výsledného taveného sýra, jehož tuhost se zvyšuje v důsledku zvyšujícího se přidavku. Statisticky významně ($P < 0,05$) však tuhost vzorků rostla pouze do 10,0% (w/w) přidavku reworku, s dalším přidavkem reworku již zvýšení tuhosti nebylo statisticky významné ($P \geq 0,05$).

Při podrobnějším porovnání průběhu elastického a ztrátového modulu pružnosti u modelových vzorků na Obr. 10 (tedy bez přidavku reworku) je patrné, že u vzorků průmyslových jsou při nižších frekvencích hodnoty ztrátového modulu pružnosti (G'') vyšší

než hodnoty elastického modulu pružnosti (G'). Předpokládá se, že pokud dochází ke stavu $G'' > G'$, znamená to, že intermolekulární vazby v tavenině (proteinová síť) mají během oscilačního cyklu dostatečný čas k oslabení. Při zvýšení frekvence oscilace se tyto křivky protínají. To proto, že u vyšších frekvencí již nemají intermolekulární vazby dostatek času k oslabení, takže se vzorek taveného sýra chová spíše jako pevná látka [77]. Obdobný trend byl pozorován i u vzorků tavených sýrů s 2,5% (viz Obr. 11) a 5,0% (hodnoty nejsou uvedeny) přídavkem reworku, avšak je nutno zmínit, že k protnutí křivek docházelo již při nižších frekvencích. U laboratorních i průmyslových vzorků s 10,0% a vyšším přídavkem reworku byly hodnoty elastického modulu pružnosti nad hodnotami ztrátového modulu pružnosti ($G' > G''$) již při nižších frekvencích, chovaly se tedy více jako pevná látka. Tento jev je charakteristický pro hustě propojené biopolymerní síť [77]. Po 60 dnech skladování se všechny vzorky s přídavkem reworku od 2,5 % do 20,0 % (w/w) chovaly jako pevné látky, protože hodnoty G' byly v celém rozmezí měřených frekvencí vyšší než hodnoty G'' .

Hodnoty jednotlivých modulů pružnosti získané při dynamické oscilační reometrii jsou pro laboratorně vyrobené vzorky vždy vyšší oproti hodnotám pro vzorky vyrobené průmyslově. Jak již bylo uvedeno v metodice práce, při výrobě laboratorních a průmyslových vzorků byly použity odlišné rychlosti otáček, a to 1500 otáček za minutu pro vzorky průmyslové a 3000 otáček za minutu pro vzorky laboratorní. Díky tomu bylo také možné pozorovat, že rychlost otáček významně ovlivnila konzistenci tavených sýrů a to tak, že se zvyšujícími se otáčkami tuhost tavených sýrů narůstala. Tento jev ve svých studiích potvrdili také Noronha *et al.* [79] a Černíková *et al.* [80].

6.3 Výsledky skenovací elektronové mikroskopie

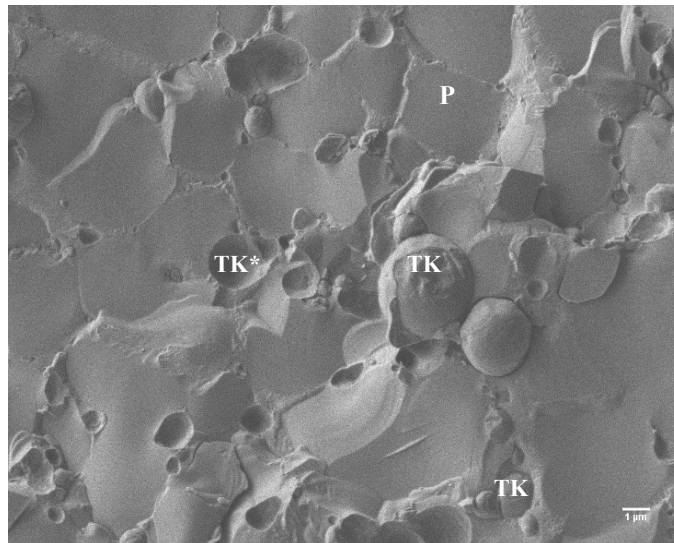
Kromě vzájemné propojenosti proteinové sítě vyhodnocené pomocí interakčního faktoru a pevnosti gelu, je možné popsat změnu konzistence průmyslově vyrobených vzorků tavených sýrů s různým přídavkem reworku také podle různých velikostí tukových kuliček (Tab. 9 a Obr. 13–18). Statisticky se průměrná hodnota velikosti tukových kuliček ve vzorku bez přídavku reworku podstatně lišila od vzorků s reworkem ($P < 0,05$). Nižak významně se však mezi sebou již nelišily velikosti tukových kuliček u vzorků s přídavkem reworku o koncentraci 10,0–20,0 % ($P \geq 0,05$). Je možné si všimnout kore-

lace mezi kompaktností sítě bílkovin a pevností gelu (A_F) a interakčním faktorem (z), kdy s vyšším počtem interakčních faktorů je proteinová síť kompaktnější.

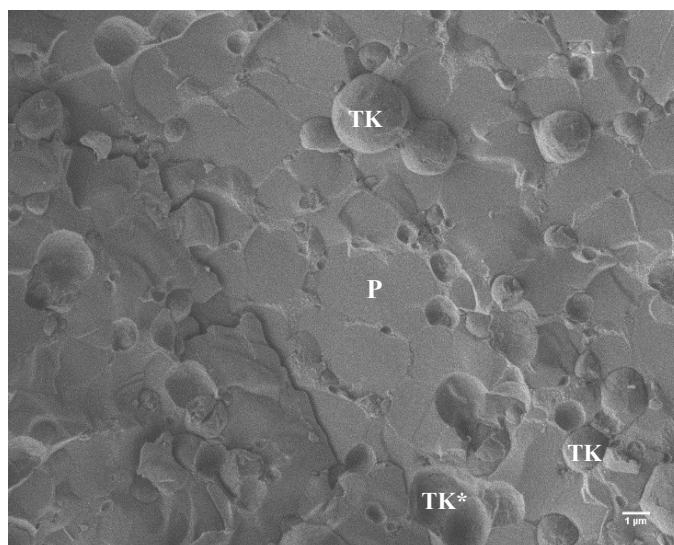
Tab. 9. Hodnoty velikosti tukových kuliček průmyslově vyrobených modelových vzorků tavených sýrů po 60 dnech skladování pro jednotlivé přídavky reworku (hodnoty jsou uvedené jako průměr \pm směrodatná odchylka).

Přídavek reworku v % (w/w)	Velikost tukových kuliček (μm)
0,0	0,92 \pm 0,09
2,5	0,84 \pm 0,06
5,0	0,77 \pm 0,08
10,0	0,65 \pm 0,06
15,0	0,54 \pm 0,05
20,0	0,56 \pm 0,04

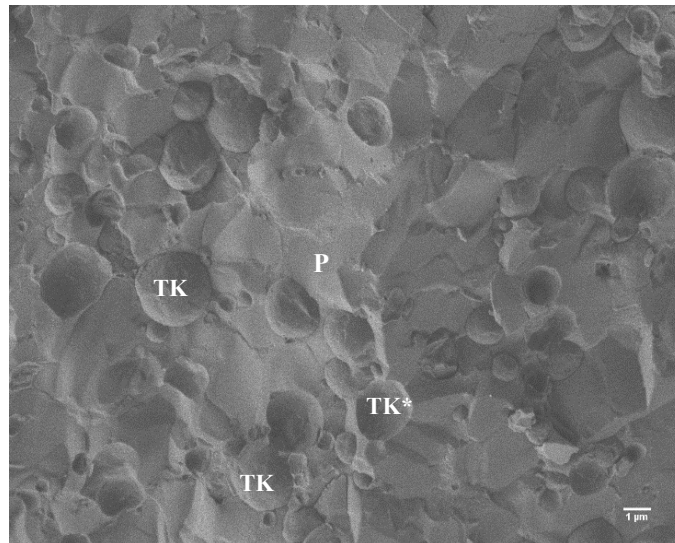
Přídavek reworku ovlivnil emulzi tuku, což bylo prokázáno snížením velikosti tukových kuliček. Vzhledem k rostoucímu stupni emulgace tuku došlo ke zvýšení tuhosti taveného sýra. Tento jev odpovídá také pracím Kapoor a Metzger [21], Černíková *et al.* [69] a Lee *et al.* [81]. Při vyšších přídavcích reworku (nad 10,0 % w/w, viz Obr. 16–18) již další změny tukových kuliček nebyly pozorovány. Kaláb *et al.* [61], kteří používali ke svému experimentu blokové tavené sýry s obsahem sušiny 55,0 % (w/w) však naopak změny struktury a konzistence u výrobků s obsahem reworku vyšším než 10,0 % (w/w) pozorovali.



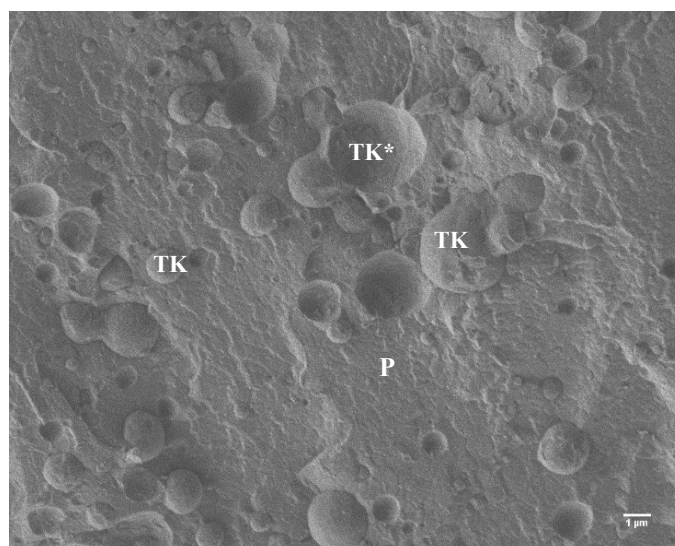
Obr. 13. Snímek modelového vzorku taveného sýra s 0,0% (w/w) přidavkem reworku po 60 dnech skladování. TK = tuková kulička, TK = vyjmutá tuková kulička, P = proteinová fáze. Měřítka = 1 μm.*



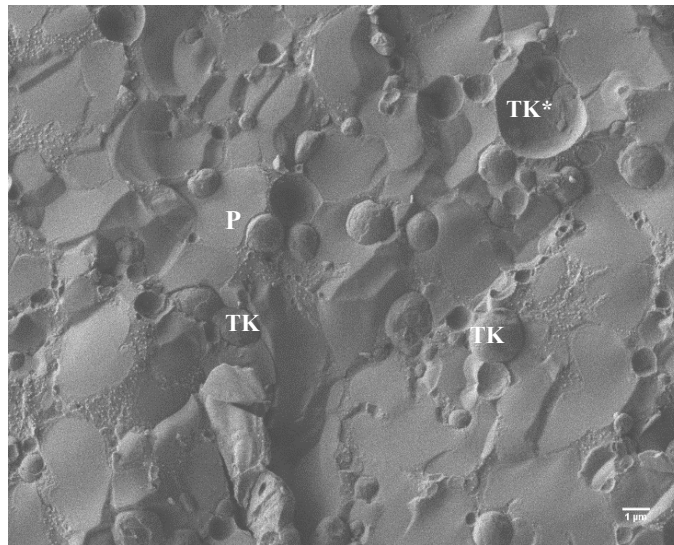
Obr. 14. Snímek modelového vzorku taveného sýra s 2,5% (w/w) přidavkem reworku po 60 dnech skladování. TK = tuková kulička, TK = vyjmutá tuková kulička, P = proteinová fáze. Měřítka = 1 μm.*



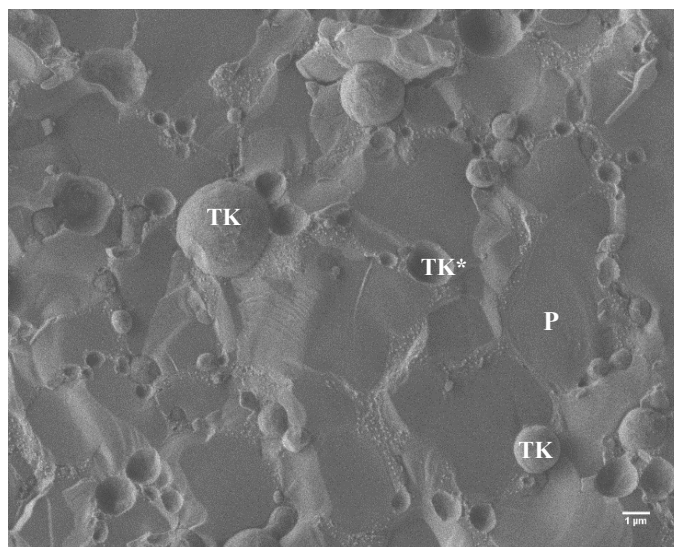
Obr. 15. Snímek průmyslově vyrobeného modelového vzorku taveného sýra s 5,0% (w/w) přídavkem reworku po 60 dnech skladování. TK = tuková kulička, TK = vyjmutá tuková kulička, P = proteinová fáze. Měřítko = 1 µm.*



Obr. 16. Snímek průmyslově vyrobeného modelového vzorku taveného sýra s 10,0% (w/w) přídavkem reworku po 60 dnech skladování. TK = tuková kulička, TK = vyjmutá tuková kulička, P = proteinová fáze. Měřítko = 1 µm.*



Obr. 17. Snímek průmyslově vyrobeného modelového vzorku taveného sýra s 15,0% (w/w) přídavkem reworku po 60 dnech skladování. TK = tuková kulička, TK = vyjmutá tuková kulička, P = proteinová fáze. Měřítka = 1 μm.*



Obr. 18. Snímek průmyslově vyrobeného modelového vzorku taveného sýra s 20,0% (w/w) přídavkem reworku po 60 dnech skladování. TK = tuková kulička, TK = vyjmutá tuková kulička, P = proteinová fáze. Měřítka = 1 μm.*

ZÁVĚR

Tato práce zkoumala vliv přídavku reworku (skladovaného 3 dny při teplotě 6 ± 2 °C) v koncentracích 0,0; 2,5; 5,0; 10,0; 15,0 a 20,0 % (w/w) na konzistenci taveného sýra. Změny konzistence tavených sýrů byly sledovány během skladování při teplotě 6 ± 2 °C po dobu dvou měsíců. Konkrétně byly jednotlivé analýzy prováděny 1., 7., 14., 30. a 60. den po výrobě. V jednotlivých dnech byly všechny vzorky podrobeny chemické analýze (měření pH, stanovení obsahu sušiny a obsahu tuku v sušině), dále dynamické oscilační reometrii a skenovací elektronové mikroskopii. Chemickou analýzou bylo potvrzeno dosažení standardnosti vyrobených vzorků tavených sýrů. V neposlední řadě byl také vyhodnocen vliv délky skladování na konzistenci vzorků tavených sýrů, kdy bylo zjištěno, že s prodlužující se délkou skladování docházelo ke zvýšení tuhosti tavených sýrů. Dále bylo zjištěno, že přídavek reworku v množství do 10,0 % (w/w) způsobil postupné zvyšování tuhosti tavených sýrů a současně se postupně snižovala velikost tukových kuliček, což je důsledkem především zlepšení emulgačních vlastností proteinů. Přestože se koncentrace reworku v surovinové skladbě dále zvyšovala (od 10,0 do 20,0 % w/w), již nedocházelo k výrazné změně konzistence ani k dalšímu zmenšení velikosti tukových kuliček ($P \geq 0,05$).

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. Tab. 1. Spotřeba potravin a nealkoholických nápojů (na obyvatele za rok). *Český statistický úřad* [online]. 8. 12. 2016 [cit. 2016-12-8]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/32782524/2701391601.pdf/ceb2a48c-c8b34383b684-f12ff8bcd1fe?version=1.0>
- [2] DOSTÁLOVÁ, J., ČURDA, L. Význam tavených sýrů ve výživě. *Výživa a potraviny*, 2010, 2, 29-30. PRAHA: Výživaservis s.r.o. ISSN 1211-846X.
- [3] DOSTÁLOVÁ, J., KADLEC, P. *Potravinářské zboží: technologie potravin* Ostrava: Key Publishing. Monografie, 2014. ISBN 978-80-7418-208-2.
- [4] KOPÁČEK, J. 100 let tavených sýrů = 100 let tavicích solí. *Potravinářská revue*, 2012, 1, 25-27. Praha: AGRAL s. r. o. ISSN 1801-9102.
- [5] VELÍŠEK, J. *Chemie potravin*. 2. Vyd. 2. upr. Tábor: OSSIS, 2002. ISBN 80-86659-01-1.
- [6] KOPÁČEK, J., LIKLER L. Tavené sýry. *Potravinářská revue*, 2010, 6, 33-35. Praha: AGRAL. ISSN 1801-9102.
- [7] ANONYM. Vyhláška č 397/2016 Sb., o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje, v platném znění.
- [8] BUŇKA, F., HRABĚ, J., HOZA, I. Tavené sýry ve výživě člověka. *Výživa a potraviny: časopis Společnosti pro výživu*, 2006, 5, 135-136. Praha: Výživa servis s.r.o. ISSN 1211-846x
- [9] LEE, H., KIM, K., CHOI, K. H., YOON, Y. Quantitative microbial risk assessment for *Staphylococcus aureus* in natural and processed cheese in Korea. *Journal of Dairy Science* [online]. 2015, **98**(9), 5931-5945 [cit. 2017-04-29]. DOI: 10.3168/jds.2015-9611. ISSN 00220302. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002203021500483X>
- [10] HAUERLANDOVÁ, I., LORENCOVÁ E., BUŇKA F., NAVRÁTIL, J., JANEČKOVÁ, K., BUŇKOVÁ, L. The influence of fat and monoacylglycerols on growth of spore-forming bacteria in processed cheese. *International Journal of Food Microbiology* [online]. 2014, **182-183**, 37-43 [cit. 2017-04-18].

- DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.04.027. ISSN 01681605. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168160514002037>
- [11] BUŇKA, F., HRABĚ, J. Tavené sýry. *Potravinářská revue*, 2006, vol. 3, s. 13-16.
- [12] BUŇKA, F., ČERNÍKOVÁ, M., HLADKÁ, K., BUŇKOVÁ, L. Základní charakteristika tavených sýrů a jejich analogů. *Potravinářská revue*, 2010, 6. 29-32. Praha: AGRAL s. r. o. ISSN 1801-9102.
- [13] FOX, P. F., GUINEE, T. P., COGAN, T. P., MCSWEENEY, P. L. H. Processed Cheese and Substitute/Imitation Cheese Products. *Fundamentals of Cheese Science* [online]. Boston, MA: Springer US, 2017, s. 589-627 DOI: 10.1007/978-1-4899-7681-9_17. ISBN 978-1-4899-7679-6.
- [14] GUINEE, T. P., 2003: Pasteurized Processed Cheese Products. *Encyclopedia of Dairy Science*, vol. 1, 411-418. ISBN 0122272358.
- [15] GAJDŮŠEK, S. *Mlékařství II*. 1. vyd. Brno: MZLU, 1998, s. 86 - 91. ISBN 80-7157-342-6.
- [16] ANONYM. *Food and Drugs Administration. Code of Federal Regulations: 21 Part 133 Cheese and Related Cheese Products* [online]. Washington, DC: Department of Health and Human Services. 2004. [cit. 2016-12-12]. Dostupné na: <http://www.accessdata.fda.gov/SCRIPTS/cdrh/cfdocs/cfCFR/CFRSearch.cfm?fr=133.10&SearchTerm=cheese>
- [17] PAVELKA A. *Mléčné výrobky pro vaše zdraví*. Brno: Littera, 1996, ISBN 80-85763095.
- [18] FORMAN, L. *Mlékárenská technologie II.*, Praha: VŠCHT, 1996, 217 s. ISBN 80-70-7080-250-2.
- [19] FORMAN, L., STRMISKA, J. *Mlékárenství II*. 1. vyd., Praha: SNTL, 1984, 176 s.
- [20] GUINEE, T. P., CARIĆ, M., KALÁB, M. Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. *Major Cheese Groups* [online]. Elsevier, 2004, s. 349-394 [cit. 2017-02-13]. Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology

- gy. DOI: 10.1016/S1874-558X(04)80052-6. ISBN 9780122636530. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1874558X04800526>
- [21] KAPOOR, R., METZGER, L. E. Process Cheese: Scientific and Technological Aspects—A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 2008, 7(2), 194-214 [cit. 2018-02-13]. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2008.00040.x. ISSN 1541-4337. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1541-4337.2008.00040.x>
- [22] CARÍĆ, M., KALÁB, M. Processed cheese products. *Cheese Chemistry, physics and Microbiology. Volume 2. Major cheese groups*. Elsevier Applied Science, London and New York, 1997. 467-505. ISBN: 978-1-4613-6138-1.
- [23] PIJANOWSKI, E. Základy chémie a technológie mliekárstva II. diel., 1978. Bratislava: PRÍRODA.
- [24] PISKA, I., ŠTĚTINA, J. Influence of cheese ripening and rate of cooling of the processed cheese mixture on rheological properties of processed cheese. *Journal of Food Engineering* [online]. 2004, 61(4), 551-555 [cit. 2017-04-04]. DOI: 10.1016/S0260-8774(03)00217-6. ISSN 02608774. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877403002176>
- [25] MULSOW, B. B., JAROS, D., ROHM, H. *Processed Cheese and Cheese Analogues*. Structure of Dairy Products, 1st ed. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 2007, p. 210-235.
- [26] 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.
- [27] HRABĚ, J., BŘEZINA, P., VALÁŠEK, P. *Technologie výroby potravin živočišného původu: bakalářský směr*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2006. ISBN 80-7318-405-2.
- [28] KADLEC, P. *Technologie potravin I*, 1.vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2007. ISBN 80-7080-509-9.
- [29] BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L., KRÁČMAR, S. *Základní principy výroby tavených sýrů: Basic principles of processed cheese production : monografie*. Brno: Men

- delova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. ISBN 978-80-7375-336-8.
- [30] ANONYM. Nařízení Evropského Parlamentu a Rady č. 1333/2008 o potravinářských přídatných látkách, v platném znění.
- [31] BERGER, W., KLOSTERMAYER, H., MERKENICH, K., UHLMANN, G. *Processed Cheese Manufacture*. Ladenburg: BK Giulini Chemie GmbH and Co. OHG, 1998.
- [32] NAGYOVÁ, G., BUŇKA, F., SALEK, R. N., ČERNÍKOVÁ, M., MANČÍK, P., GRÜBER, T., KUCHAR, D. Use of sodium polyphosphates with different linear lengths in the production of spreadable processed cheese. *Journal of Dairy Science* [online]. 2014, **97**(1), 111-122 [cit. 2017-02-02]. DOI: 10.3168/jds.2013-7210. ISSN 00220302. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030213007807>
- [33] SALEK, R. N., ČERNÍKOVÁ, M., MADĚROVÁ, S., LAPČÍK, L., BUŇKA, F. The effect of different composition of ternary mixtures of emulsifying salts on the consistency of processed cheese spreads manufactured from Swiss-type cheese with different degrees of maturity. *Journal of Dairy Science*, 2016, **99**(5), 3274-3287. DOI: 10.3168/jds.2015-10028. ISSN 00220302.
- [34] KALIAPPAN, S., LUCEY, J. A. Influence of mixtures of calcium-chelating salts on the physicochemical properties of casein micelles. *Journal of Dairy Science* [online]. 2011, **94**(9), 4255-4263 [cit. 2017-02-03]. DOI: 10.3168/jds.2010-3343. ISSN 00220302. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030211004383>
- [35] BACHMANN, H. P. Cheese analogues: A review. *International Dairy Journal*, 2001, vol. 11, p. 505 – 515.
- [36] ABDEL-HAMID, L. B., EL-SHABRAWY, S. A., AWAD, R. A. Chemical properties of processed ras cheese spreads as affected by emulsifying salt mixtures. *Journal of Food Processing and Preservation* [online]. 2000, **24**(3), 191-208 [cit. 2017-03-02]. DOI: 10.1111/j.1745-4549.2000.tb00413.x. ISSN 0145-8892. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1745-4549.2000.tb00413.x>

- [37] LEE, S. K., ANEMA, S., KLOSTERMEYER, H. The influence of moisture content on the rheological properties of processed cheese spreads. *International Journal of Food Science and Technology* [online]. 2004, **39**(7), 763-771 [cit. 2017-01-18]. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2004.00842.x. ISSN 0950-5423. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2621.2004.00842.x>
- [38] SÁDLÍKOVÁ, I., BUŇKA, F., BUDÍNSKÝ, P., VOLDÁNOVÁ, B., PAVLÍNEK, V., HOZA, I. The effect of selected phosphate emulsifying salts on viscoelastic properties of processed cheese. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2010, **43**(8), 1220-1225 [cit. 2016-12-12]. DOI: 10.1016/j.lwt.2010.04.012. ISSN 00236438. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002364381000143X>
- [39] EL-BAKRY, M., DUGGAN, E., O'RIORDAN, O'SULLIVAN, M. Effect of chelating salt type on casein hydration and fat emulsification during manufacture and post-manufacture functionality of imitation cheese. *Journal of Food Engineering* [online]. 2011, **102**(2), 145-153 [cit. 2017-02-19]. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.08.012. ISSN 02608774. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877410004000>
- [40] BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L. Úloha tavicích solí při výrobě tavených sýrů. *Potravinářská revue*, 2009, 1. 13-16. Praha: AGRAL s. r. o. ISSN 1801-9102.
- [41] MOLINS, R., A. *Phosphates in food*. Boca Raton: CRC Press, 1991. ISBN 084934588X.
- [42] SALEK, R. N., ČERNÍKOVÁ, M., NAGYOVÁ, G., KUCHAR, D., BAČOVÁ, H., MINARČÍKOVÁ, L., BUŇKA, F. The effect of composition of ternary mixtures containing phosphate and citrate emulsifying salts on selected textural properties of spreadable processed cheese. *International Dairy Journal* [online]. 2015, **44**, 37-43 [cit. 2017-02-19]. DOI: 10.1016/j.idairyj.2014.12.009. ISSN 09586946. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0958694614002611>
- [43] LEE, S. K., KLOSTERMEYER, H. The Effect of pH on the Rheological Properties of Reduced-fat Model Processed Cheese Spreads. *LWT - Food Science and*

- Technology* [online], 2001, roč. 34, č. 5, s. 288-292. [cit. 2017-11-22]. ISSN 0023-6438. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1006/fstl.2001.0761>.
- [44] LORENCOVÁ, E., VLTAVSKÁ, P., BUDINSKÝ, P., KOUTNÝ, M. Antibacterial effect of phosphates and polyphosphates with different chain length. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* [online], 2012, **47**(14), 2241-2245 [cit. 2017-04-14]. DOI: 10.1080/10934529.2012.707544. ISSN 1093-4529.
- [45] BUŇKOVÁ, L., LORENCOVÁ, E., JURČOVÁ, D., BUŇKA, F., KRÁČMAR, S. Effect of sodium phosphates on selected food grade bacteria. *Potravinářstvo* [online], 2011, **5**(2), [cit. 2017-04-14]. DOI: 10.5219/141. ISSN 1337-0960.
- [46] FOX, F. P. *Cheese: chemistry, physics and microbiology*. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2004, 434 s. ISBN 0-1226-3653-8.
- [47] KWAK, H. S., CHOI, S. S., AHN, J., LEE, S. W. Casein Hydrolysate Fractions Act as Emulsifiers in Process Cheese. *Journal of Food Science* [online], 2002, **67**(2), 821-825. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb10684.x. ISSN 0022-1147.
- [48] PLUTA, A., ZIARNO, M., SMOLINSKA, A. Możliwości zastosowania hydrokoloidów w produkcji serów topionych. *Przemysł Spożywczy*, 2000, **54**, 42-44. ISSN 0033-250X.
- [49] ČERNÍKOVÁ, M., BUŇKA, F., POSPIECH, M., TREMLOVÁ, B., HLADKÁ, K., PAVLÍNEK, V., BŘEZINA, P. Replacement of traditional emulsifying salts by selected hydrocolloids in processed cheese production. *International Dairy Journal* [online]. 2010, **20**(5), 336-343 [cit. 2017-01-20]. DOI: 10.1016/j.idairyj.2009.12.012. ISSN 09586946. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0958694609002544>
- [50] HLADKÁ, K., RANDULOVÁ, Z., TREMLOVÁ, B., PONÍŽIL, P., MANČÍK, P., ČERNÍKOVÁ, M., BUŇKA, F. The effect of cheese maturity on selected properties of processed cheese without traditional emulsifying agents. *LWT - Food Science and Technology* [online], 2014, **55**(2), 650-656 [cit. 2017-04-16]. DOI: 10.1016/j.lwt.2013.10.023. ISSN 00236438.

- [51] ROGINSKI, H., FUQUAY, J. W., FOX, P. F., 2002: *Encyklopedia of Dairy Sciences*. Cheese Analogues, Academic Press, London. ISBN 0-12-227235-8.
- [52] TAMINE, A. Y., SHENANA, M. E., MUIR, M. E., DAWOOD, A. H. Processed Cheese Analogues Incorporating Fat-Substitutes 1. Composition, Microbiological Quality and Flavour Changes During Storage at 5°C. *Lebensmittel-Wissenschaft-und-Technologie*, 1999, vol. 32, No. 1, p. 50-59. ISSN 0023-6438
- [53] TAMIME, A. Y. *Processed cheese and analogues*. UK: Blackwell Publishing Ltd., 2011. ISBN 978-1-4051-8642-1.
- [54] SWENSON, B. J., WENDORFF, W. L., LINDSAY, R. C. Effects of Ingredients on the Functionality of Fat-free Process Cheese Spreads. *Journal of Food Science* [online]. 2000, **65**(5), 822-825 [cit. 2017-01-18]. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2000.tb13594.x. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2621.2000.tb13594.x>
- [55] ŠUSTOVÁ, K., SÝKORA, V. *Mlékárenské technologie*. V Brně: Mendelova univerzita, 2013. ISBN 978-80-7375-704-5.
- [56] ČEPIČKA, J. *Obecná potravinářská technologie*. Praha: VŠCHT, 1995, ISBN 80-7080-239-1.
- [57] TAMIME, A. Y. *Structure of dairy products*. Ames, Iowa: Blackwell Pub., 2007. ISBN 978-1-4051-2975-6.
- [58] SUNESEN, L. O., LUND, P., SORENSEN, J., HOLMER, G. Development of Volatile Compounds in Processed Cheese during Storage. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2002, **35**(2), 128-134 [cit. 2017-02-15]. DOI:10.1006/fstl.2001.0815. ISSN 00236438. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643801908151>
- [59] MIZUNO, R., LUCEY, J. A. Effects of Emulsifying Salts on the Turbidity and Calcium-Phosphate-Protein Interactions in Casein Micelles. *Journal of Dairy Science* [online]. 2005, **88**(9), 3070-3078 [cit. 2017-02-15]. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72988-X. ISSN 00220302. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002203020572988X>

- [60] SHIRASHOJI, N., JAEGGI, J. J., LUCEY, J. A. Effect of Trisodium Citrate Concentration and Cooking Time on the Physicochemical Properties of Pasteurized Process Cheese. *Journal of Dairy Science* [online]. 2006, **89**(1), 15-28 [cit. 2017-02-15]. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72065-3. ISSN 00220302. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030206720653>
- [61] KALÁB, M., YUN J., YIU, SH. Textural properties and microstructure of process cheese food rework. *Food Microstructure*. 1987, 6:181–92.
- [62] MEYER, A. *Processed cheese manufacture: previously published as: JOHA Schmelzkäsebuch*. London: Food Trade Press, 1973. ISBN 0900379081.
- [63] LAUCK, R. M., inventor; Stauffer Chemical Co., assignee. Using salvage cheese in preparing pasteurized process cheese. New York, 1972, U.S. patent 3, 697, 292.
- [64] KALÁB, M. *Food microscopy*. Food microscopy: Foods under the microscope [online], 2013. Dostupné z: <http://www.magma.ca/~scimat/foodmicr.htm>
- [65] MORRIS, V. J., GROVES, K. *Food Microstructures: Microscopy, measurement and modelling*. Woodhead Publishing Limited, 2013, 438 p. ISBN 978-0-85709-525-1.
- [66] NEBESÁŘOVÁ, J., VANCOVÁ, M., NEBESÁŘ, M. Elektronová mikroskopie pro biology. *Elektronová mikroskopie pro biology* [online], 2001. Dostupné z: <http://www.paru.cas.cz/lem/book/Podkap/autori.html>.
- [67] GOLDSTEIN, J. *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis*. 3rd ed. New York: Springer, 2003, xix, 690 s., [6] s. obr. příl. ISBN 0-306-47292-9
- [68] VISWANATHAN, P. *Electron microscopy*. Chennai: MJP Publishers, 2011, 532 p. ISBN 978-81-8094-075-0.
- [69] ČERNÍKOVÁ, M., NEBESÁŘOVÁ, J., SALEK, R. N., ŘIHÁČKOVÁ, L., BUŇKA, F. Microstructure and textural and viscoelastic properties of model processed cheese with different dry matter and fat in dry matter content. *Journal of Dairy Science*, 2017. DOI: 10.3168/jds.2016-12120. ISSN 00220302.

- [70] ANONYM. ČSN EN ISO 5534:2005, Sýry a tavené sýry – stanovení obsahu celkové sušiny (Referenční metoda). Praha: Český normalizační institut.
- [71] ANONYM. ČSN ISO 3433 (57 1009):2010, Sýry - Stanovení obsahu tuku – Van Gulikova metoda. Praha: Český normalizační institut
- [72] WEISEROVÁ, E., DOUDOVÁ, L., GALIOVÁ, L., ŽÁK, L., MICHÁLEK, J., JANIŠ, R., BUŇKA, F. The effect of combinations of sodium phosphates in binary mixtures on selected texture parameters of processed cheese spreads. *International Dairy Journal*, 2011, 21(12), 979-986. DOI: 10.1016/j.idairyj.2011.06.006. ISSN 09586946.
- [73] MARCHESSEAU, S, GASTALDI, E., LAGAUDE, A., CUQ, J. L. Influence of pH on Protein Interactions and Microstructure of Process Cheese. *Journal of Dairy Science* [online]. 1997, **80**(8), 1483-1489 [cit. 2017-02-16]. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76076-4. ISSN 00220302. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030297760764>
- [74] PALMER, H. J., SLY, W. H. Oil separation in processed cheese. *Dairy Ind*, 1943, 8:427–30.
- [75] GUINEE, T.P., O'CALLAGHAN, D. J. Effect of increasing the protein-to-fat ratio and reducing fat content on the chemical and physical properties of processed cheese product. *Journal of Dairy Science*, 2013, 96(11), 6830-6839. DOI: 10.3168/jds.2013-6685. ISSN 00220302.
- [76] WINTER, H. H., CHAMBON, F. Analysis of linear viscoelasticity of a crosslinking polymer at the gel point. *Journal of rheology*, 1986, vol. 30, n. 2, p. 367-382.
- [77] CUNHA, R. C., GRIMALDI, M. R. Effect of the Type of Fat on Rheology, Functional Properties and Sensory Acceptance of Spreadable Cheese Analogue. *International Journal of Dairy Technology* [online], 2013, roč. 66, č. 1, s. 54-62 ISSN 1364-727X.
- [78] BUŇKA, F., ŠTĚTINA, J., HRABĚ, J. The effect of storage temperature and time on the consistency and color of sterilized processed cheese. *European Food Research and Technology*, 2008, vol. 228, p. 223–229. ISSN 1438K2385

- [79] NORONHA, N., O'RIORDAN, E. D., O'SULLIVAN, M. Influence of processing parameters on the texture and microstructure of imitation cheese. *European Food Research and Technology*, 2008, 226, 385-393.
- [80] ČERNÍKOVÁ, M., SALEK, R. N. KOZÁČKOVÁ, D., BĚHALOVÁ, H., LUŇÁKOVÁ, L., BUŇKA F. The effect of selected processing parameters on viscoelastic properties of model processed cheese spreads. *International Dairy Journal* [online]. 2017, 66, 84-90 [cit. 2018-04-29]. DOI: 10.1016/j.idairyj.2016.11.007. ISSN 09586946. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0958694616303375>
- [81] LEE, S. K., KLOSTERMEYER, H., ANEMA, S. G. Effect of fat and protein in water concentration on the properties of model processed cheese. *Int. Dairy J.*, 2015, 50:15–23. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.06.001>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SEM	Skenovací elektronový mikroskop
TEM	Transmisní elektronový mikroskop
TVS	Obsah tuku v sušině
G^*	Komplexní modul pružnosti
G'	Elastický modul pružnosti
G''	Ztrátový modul pružnosti
A_F	Pevnost gelu
z	Interakční faktor

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Spotřeba tavených sýrů v ČR v kg na osobu za rok [1].	13
Obr. 2. Schéma iontové výměny vápenatých iontů za ionty sodné v přítomnosti tavicích solí při tavení (NaA – tavicí sůl se sodným kationtem; CaA – tavicí sůl s vápenatým kationtem) [22].	20
Obr. 3. Fotografie vzorku taveného sýra krátce zahřátého na 82 °C. C = shluk tavicí soli. Šipky poukazují na tukové kuličky [61].	28
Obr. 4. Fotografie vzorku taveného sýra zahřátého na 82 °C po dobu 1 hodiny. C = shluk tavicí soli. Šipky poukazují na tukové kuličky [61].	29
Obr. 5. Fotografie vzorku taveného sýra zahřátého na 82 °C po dobu 5 hodin. Černé šipky poukazují na shluky tavicích solí. Bílé šipky poukazují na tukové kuličky [61].	29
Obr. 6. Fotografie vzorku taveného sýra zahřátého na 82 °C po dobu 5 hodin, následně zmrazeného na - 10 °C po dobu 24 hodin. Shluky tavicí soli již nejsou viditelné. Šipky poukazují na tukové kuličky [61].	30
Obr. 7. Fotografie vzorku taveného sýra zahřátého na 82 °C po dobu 5 hodin, následně zmrazeného na - 10 °C po dobu 24 hodin s 20,0% (w/w) přídavkem reworku. R = kompaktní oblast. Šipky poukazují na rezidua tavicích solí [61].	30
Obr. 8. Závislost komplexního modulu pružnosti (G^* ; Pa) laboratorně vyrobených vzorků na přídavku reworku v průběhu 60-denního skladování (1., 7., 14., 30. a 60. den).	43
Obr. 9. Závislost komplexního modulu pružnosti (G^* ; Pa) průmyslově vyrobených vzorků na přídavku reworku v průběhu 60-denního skladování (1., 7., 14., 30. a 60. den).	43
Obr. 10. Závislost elastického (G' ; plné symboly) a ztrátového (G'' ; prázdné symboly) modulu pružnosti po 14 dnech skladování při 6 ± 2 °C na frekvenci pro laboratorní vzorky (\square , \blacksquare) a průmyslové vzorky (\circ , \bullet) s 0,0% (w/w) přídavkem reworku.	47
Obr. 11. Závislost elastického (G' ; plné symboly) a ztrátového (G'' ; prázdné symboly) modulu pružnosti po 14 dnech skladování při 6 ± 2 °C na frekvenci	

- pro laboratorní vzorky (□■) a průmyslové vzorky (○●) s 2,5% (w/w) přídavkem reworku..... 47
- Obr. 12. Závislost elastického (G' ; plné symboly) a ztrátového (G'' ; prázdné symboly) modulu pružnosti po 14 dnech skladování při 6 ± 2 °C na frekvenci pro laboratorní vzorky (□■) a průmyslové vzorky (○●) s 10,0% (w/w) přídavkem reworku..... 48
- Obr. 13. Snímek modelového vzorku taveného sýra s 0,0% (w/w) přídavkem reworku po 60 dnech skladování. TK = tuková kulička, TK* = vyjmutá tuková kulička, P = proteinová fáze. Měřítko = $1 \mu\text{m}$ 51
- Obr. 14. Snímek modelového vzorku taveného sýra s 2,5% (w/w) přídavkem reworku po 60 dnech skladování. TK = tuková kulička, TK* = vyjmutá tuková kulička, P = proteinová fáze. Měřítko = $1 \mu\text{m}$ 51
- Obr. 15. Snímek průmyslově vyrobeného modelového vzorku taveného sýra s 5,0% (w/w) přídavkem reworku po 60 dnech skladování. TK = tuková kulička, TK* = vyjmutá tuková kulička, P = proteinová fáze. Měřítko = $1 \mu\text{m}$ 52
- Obr. 16. Snímek průmyslově vyrobeného modelového vzorku taveného sýra s 10,0% (w/w) přídavkem reworku po 60 dnech skladování. TK = tuková kulička, TK* = vyjmutá tuková kulička, P = proteinová fáze. Měřítko = $1 \mu\text{m}$ 52
- Obr. 17. Snímek průmyslově vyrobeného modelového vzorku taveného sýra s 15,0% (w/w) přídavkem reworku po 60 dnech skladování. TK = tuková kulička, TK* = vyjmutá tuková kulička, P = proteinová fáze. Měřítko = $1 \mu\text{m}$ 53
- Obr. 18. Snímek průmyslově vyrobeného modelového vzorku taveného sýra s 20,0% (w/w) přídavkem reworku po 60 dnech skladování. TK = tuková kulička, TK* = vyjmutá tuková kulička, P = proteinová fáze. Měřítko = $1 \mu\text{m}$ 53

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Fosforečnany používané jako tavicí soli [22].</i>	21
<i>Tab. 2. Citronany používané jako tavicí soli [46].</i>	22
<i>Tab. 3. Hodnoty pH laboratorně vyrobených vzorků tavených sýrů s přidavkem reworku po 1.; 7.; 14.; 30. a 60. dni skladování (hodnoty jsou uvedené jako průměr ± směrodatná odchylka).</i>	40
<i>Tab. 4. Hodnoty pH průmyslově vyrobených vzorků tavených sýrů s přidavkem reworku po 1.; 7.; 14.; 30. a 60. dni skladování (hodnoty jsou uvedené jako průměr ± směrodatná odchylka).</i>	41
<i>Tab. 5. Hodnoty pevnosti gelu (A_F; $kPa \cdot s^{1/2}$) laboratorně vyrobených modelových vzorků tavených sýrů po 1, 7, 14, 30 a 60 dnech skladování uvedeny pro jednotlivé přísady reworku (hodnoty jsou uvedené jako průměr ± směrodatná odchylka).</i>	44
<i>Tab. 6. Hodnoty pevnosti gelu (A_F; $kPa \cdot s^{1/2}$) průmyslově vyrobených modelových vzorků tavených sýrů po 1, 7, 14, 30 a 60 dnech skladování uvedeny pro jednotlivé přísady reworku (hodnoty jsou uvedené jako průměr ± směrodatná odchylka).</i>	45
<i>Tab. 7. Hodnoty interakčního faktoru (z) laboratorně vyrobených modelových vzorků tavených sýrů po 1, 7, 14, 30 a 60 dnech skladování uvedeny pro jednotlivé přísady reworku (hodnoty jsou uvedené jako průměr ± směrodatná odchylka).</i>	45
<i>Tab. 8. Hodnoty interakčního faktoru (z) průmyslově vyrobených modelových vzorků tavených sýrů po 1, 7, 14, 30 a 60 dnech skladování uvedeny pro jednotlivé přísady reworku (hodnoty jsou uvedené jako průměr ± směrodatná odchylka).</i>	46
<i>Tab. 9. Hodnoty velikosti tukových kuliček průmyslově vyrobených modelových vzorků tavených sýrů po 60 dnech skladování pro jednotlivé přísady reworku (hodnoty jsou uvedené jako průměr ± směrodatná odchylka).</i>	50

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: PUBLIKACE – JOURNAL OF DAIRY SCIENCE (ČERNÍKOVÁ
ET AL., 2018)

PŘÍLOHA P I: PUBLIKACE – JOURNAL OF DAIRY SCIENCE (ČERNÍKOVÁ *ET AL.*, 2018)



J. Dairy Sci. 101:2956–2962
<https://doi.org/10.3168/jds.2017-13742>
© American Dairy Science Association®, 2018.

The effect of rework content addition on the microstructure and viscoelastic properties of processed cheese

Michaela Černíková,*¹ Jana Nebesářová,† Richardos Nikolaos Salek,* Romana Popková,* and František Buňka*

*Department of Food Technology, Faculty of Technology, Tomas Bata University in Zlín, T.G. Masaryka 5555, 760 01, Zlín, Czech Republic
†Laboratory of Electron Microscopy, Institute of Parasitology, Biology Centre, Czech Academy of Science, v.v.i., Branišovská 31, 370 05, České Budějovice, Czech Republic

ABSTRACT

The aim of this work was to add various amounts of rework (0.0 to 20.0% wt/wt) to processed cheeses with a dry matter content of 36% (wt/wt) and fat with a dry matter content of 45% (wt/wt). The effect of the rework addition on the viscoelastic properties and microstructure of the processed cheeses was observed. The addition of rework (in this case, to processed cheese with a spreadable consistency) in the amounts of 2.5, 5.0, and 10.0% (wt/wt) increased the firmness of the processed cheese. With the further addition of rework, the consistency of the processed cheeses no longer differed significantly. The conclusions obtained by the measurement of viscoelastic properties were supported by cryo-scanning electron microscopy, where fat droplets in samples with added rework of over 10.0% (wt/wt) were smaller than fat droplets in processed cheeses with lower additions of rework.

Key words: processed cheese, rework, rheology, cryo-scanning electron microscopy

INTRODUCTION

Processed cheeses (PC) are produced at an increased temperature and under moderate underpressure, from basic raw materials (cheeses, butter, water, emulsifying salts) to which other ingredients of a dairy or nondairy origin can be added. The consistency of PC is affected by several different factors, which we can divide into the following groups: (1) raw material composition (content of cheeses of various types and maturity, DM and fat in DM contents, concentration and composition of emulsifying salts, presence of hydrocolloids, rework content, and so on), (2) technological production parameters (agitation speed, agitation duration, cooling time and

rate, and so on), (3) storage conditions (storage length and temperature, packaging characteristics; Kapoor and Metzger, 2008; Salek et al., 2015; Černíková et al., 2017).

Rework is a PC that has already been processed once and in which creaming has already occurred; it is used as a raw material for the production of PC. Therefore, its consistency is affected by all of the aforementioned factors. Rework is created in the industry either (1) intentionally (production of PC for rework or residue of PC in production equipment) or (2) unintentionally (production of PC originally intended for the market network but ultimately not released for market; for example, due to unsuitable packaging or incorrect DM or fat in DM content). Rework is usually used fresh (PC residue in production equipment) or 3 to 14 d old (PC unsuitable for the market network due to unsuitable fat or DM content, or an incorrect packaging weight). Meyer (1973) and Guinee et al. (2004) defined 3 types of rework: (1) from young cheese with long protein chains (unripened raw material used for processing), (2) regular PC with a creamy structure, and (3) over-creamed product with a delicate structure. In Kaláb et al. (1987), 3 types of rework were also used: (1) fresh rework (produced and rapidly frozen immediately after production), (2) regular rework from previous processes, and (3) the so-called hot melt, which simulates PC subjected to extreme stress (cooled from 82 to 4°C in 5 h), which Meyer (1973) refers to as over-creamed. All of the aforementioned types of reworks are processed under industrial conditions to prevent economic losses (Kaláb et al., 1987). The reasons for using rework can be economic (see above), but it is also used to increase viscosity (with the increasing age of the rework and with its increasing concentration) after production, increase firmness, improve meltability, or reduce the emulsifying salt content, as rework already contains emulsifying salt (Lauck, 1972; Meyer, 1973; Kaláb et al., 1987; Pluta et al., 2000; Kapoor and Metzger, 2008). However, individual types of reworks are added in different quantities for various reasons.

Received August 25, 2017.

Accepted December 2, 2017.

¹Corresponding author: cernikova@utb.cz

If we use the division as per Meyer (1973), then fresh rework is used in a concentration of 1 to 2% (wt/wt) to increase the creaming of PC spreads, which contain a high proportion of ripened or very ripened cheeses in their raw material composition with intact casein content approximately 70%, or more precisely, less than 65%. The second type of rework (regular PC with a creamy structure) is used for block-type PC, to increase firmness and elasticity, in a quantity of 2 to 30% (wt/wt). Meyer (1973) recommended that the third type of rework (over-creamed product with a delicate structure) be used only in a quantity of less than 1%, as it has a very strong creaming effect and could easily lead to over-creaming. Lauck (1972) wrote about the addition of rework, usually in a quantity of 2 to 15% (wt/wt). Explanations of the applications of individual types of reworks are listed by Guinee et al. (2004), who claims that the additional heating of preprepared PC can cause a higher degree of temperature-induced dehydration and paracasein aggregation, particularly in the third type of rework (over-creamed product with a delicate structure), which increases the elasticity of the resulting product. The more effective dispersion of the emulsifying salts in rework (due to a longer contact period) leads to the faster hydration of paracasein and the high concentration of proteins, thanks to the high degree of emulsification and in the third type of rework (over-creamed product with a delicate structure), which leads to increased viscosity, the effective dispersion of fat, and the emulsification of the fresh melting mixture.

The literature has not described the effects of various concentrations of rework on the consistency of PC in detail, and in practice rework is added exclusively on the basis of empiricism. The aim of this study was to observe the effect of adding various quantities of rework to the raw material composition on the resulting consistency of the PC. Model samples with a DM content of 36% and fat in DM content of 45% were produced with an addition of 0.0, 2.5, 5.0, 10.0, 15.0, and 20.0% (wt/wt) rework under industrial conditions. The consistency was examined using dynamic oscillatory rheometry over a 60-d storage period. Individual analyses were performed on d 1, 7, 14, 30, and 60 after production.

MATERIALS AND METHODS

The model samples of PC were produced under industrial conditions, from raw materials manufactured by the PC producer. The following were used: Dutch-type cheese [50% (wt/wt) DM content, 30% (wt/wt) fat in DM content, 8-wk maturity, Lacrum PLC, Velké Meziříčí, Czech Republic], unsalted butter [84% (wt/wt) DM content and 82% (wt/wt) fat content, Lacrum

PLC], water, emulsifying salts [3% (wt/wt) calculated per total weight, composition of emulsifying salts (% relative): 34% Na_2HPO_4 , 26% NaH_2PO_4 , 20% $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, and 20% sodium polyphosphate; Fosfa PLC, Břeclav, Czech Republic], and rework. The effect of individual emulsifying salts on pH shift in a model environment of deionized water, liquid dairy system, and PC was presented in Nagyová et al. (2014) and Salek et al. (2015). The rework added to the raw material composition was produced from the same raw material composition as the control sample (without the addition of rework) and added after 3 d of storage at a temperature of $6 \pm 2^\circ\text{C}$ (72 h), in quantities of 0.0, 2.5, 5.0, 10.0, 15.0, and 20.0% (wt/wt). The samples were produced using Stephan UM 130 equipment (Stephan Machinery GmbH, Hameln, Germany), at a melting temperature of 90°C (the holding time was 1 min and direct heating was used) and a blade revolution speed of 1,500 rpm. The total producing time was about 9 to 10 min. Before the manufacture, slight underpressure was generated in the kettle (using a vacuum pump). Each PC with the certain rework concentration was manufactured 3 times (3 repetitions \times 6 concentrations of rework = 18 manufactured batches). After production, the samples were packaged in plastic jars closed with lids, cooled to $6 \pm 2^\circ\text{C}$, and stored for a period of 2 mo. The samples of each manufactured batch were analyzed after 1, 7, 14, 30, and 60 d of storage.

The DM content and the fat content of the PC samples were gravimetrically determined according to ISO 5534 (ISO, 2004a) and ISO 1735 (ISO, 2004b), respectively. The pH values were measured at ambient temperature using the glass tip electrode of a pH meter (pH Spear, Eutech Instruments Europe B.V., Landsmeer, the Netherlands), by directly inserting the spear into the PC samples in 3 randomly selected spots (in each packaging).

The rheological analysis of the PC samples was performed using a dynamic oscillatory shear rheometer (RheoStress 1, Haake, Bremen, Germany) with a plate-plate geometry (diameter 35 mm, gap 1.0 mm) at $20.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$. Storage (G') and loss (G'') moduli [determined as functions of frequency (ω) ranging from 0.1 to 100.0 Hz] were monitored (shear stress amplitude 20 Pa). The complex modulus (G^*) was calculated using the following formula:

$$G^* = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2}. \quad [1]$$

Increasing G' , G'' , and G^* indicated the growing gel strength and firmness of the PC (Lee et al., 2004; Černíková et al., 2017). A frequency (ω) of 1 Hz was chosen as the reference for the presentation of G^* . Win-

ter's critical gel theory was also implemented using the following equation (Gabriele et al., 2001):

$$G^*(\omega) = A_F \cdot \omega^z, \quad [2]$$

where A_F is the gel strength ($\text{Pa}\cdot\text{s}^{1/z}$) and z is the interaction factor (defined as the number of structure units interacting with one another in a 3-dimensional network; unitless). The higher the interaction factor is, the more interactions occur in the matrix of the sample (Gabriele et al., 2001). Each sample was analyzed 3 times (3 repetitions \times 3 samples; $n = 9$) and the results were expressed as median \pm standard deviation.

A Jeol JSM-7401F scanning electron microscope (Jeol, Tokyo, Japan) equipped with cryo-system ALTO 2500 (Gatan, Abingdon, UK) was used to study the microstructure of the model PC and distribution of fat globule size. Model PC samples were inserted in the sample holder, frozen rapidly with slush nitrogen, and transferred under vacuum to the cryo chamber of the Alto 2500 system, which was connected to the microscope. Here the sample was fractured at a temperature of -135°C and a high vacuum (less than 10^{-4} Pa). Then, the sample was moved into the scanning electron microscope cold stage and examined at -135°C . Each image was analyzed using ImageJ software (National Institutes of Health, Bethesda, MD). The photograph of each model sample was analyzed to determine the fat globule diameter (μm). Each sample was analyzed twice (3 repetitions \times 2 samples; $n = 6$) and the results were expressed as median \pm standard error.

Kruskal-Wallis and Wilcoxon tests were used to evaluate the obtained results (the significance level was 0.05). For the estimation of A_F and z , nonlinear regression analysis (the Marquardt-Levenburg method; $A_F > 0$ and $z \geq 0$) was used. For the comparison of the fat

globule distribution of samples with different rework concentration, chi-squared test was used. Unistat 6.5 software (Unistat, London, UK) and Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA) were used for the statistical analysis.

RESULTS AND DISCUSSION

The DM content of individual processes cheeses fluctuated within a range of 36.31 to 36.68% (wt/wt; $P \geq 0.05$), whereas the fat content was 16.3 to 16.5% (wt/wt; $P \geq 0.05$). The basic chemical parameters of the model samples are comparable; therefore, the samples can be evaluated in terms of the effect of the additions of various quantities of rework. The results of the pH measurements for all the samples during the 60-d storage period are listed in Table 1. Within the scope of individual storage days, the pH values of samples with various quantities of added rework were comparable ($P \geq 0.05$). During the 60-d storage period, there was a slight decrease in pH ($P < 0.05$), which was observed for these types of model samples in several works (Dimitreli and Thomareis, 2009; Weiserová et al., 2011; Salek et al., 2015). The explanation could lie in hydrolysis of phosphate salts or change of bonds of the compounds present and in the change of their dissociation (Dimitreli and Thomareis, 2009; Weiserová et al., 2011; Salek et al., 2015).

The results of the elastic (G') and loss (G'') moduli for individual model samples are listed in Figure 1 for d 1 and 60 of storage, at 6°C , contingent on oscillation frequency (0.1–100 Hz). The rework is a PC produced in the usual manner (i.e., with a completed emulsification process) and already contains emulsifying salt; it has the ability to influence the functional properties of the resulting PC to which it is added during production. According to Kaláb et al. (1987), the addition of

Table 1. Results of pH measurement of model processed cheese manufactured with addition of rework after 1 d (24 h), 7 d, 14 d, 30 d, and 60 d of storage and size of fat globules of model processed cheese after 60 d of storage¹

Rework amount (% wt/wt)	pH					Size of fat globules (μm)
	1 d	7 d	14 d	30 d	60 d	
0.0	5.73 \pm 0.03 ^{a,A}	5.61 \pm 0.03 ^{a,B}	5.60 \pm 0.04 ^{a,B}	5.56 \pm 0.02 ^{a,B}	5.50 \pm 0.03 ^{a,C}	0.92 \pm 0.09 ^a
2.5	5.71 \pm 0.03 ^{a,A}	5.60 \pm 0.03 ^{a,B}	5.60 \pm 0.02 ^{a,B}	5.51 \pm 0.03 ^{a,C}	5.49 \pm 0.03 ^{a,C}	0.84 \pm 0.06 ^b
5.0	5.75 \pm 0.03 ^{a,A}	5.62 \pm 0.02 ^{a,B}	5.56 \pm 0.03 ^{a,B}	5.54 \pm 0.02 ^{a,B}	5.48 \pm 0.02 ^{a,C}	0.77 \pm 0.08 ^c
10.0	5.69 \pm 0.03 ^{a,A}	5.62 \pm 0.03 ^{a,B}	5.58 \pm 0.02 ^{a,B}	5.51 \pm 0.03 ^{a,C}	5.51 \pm 0.02 ^{a,C}	0.65 \pm 0.06 ^d
15.0	5.74 \pm 0.02 ^{a,A}	5.64 \pm 0.02 ^{a,B}	5.61 \pm 0.03 ^{a,B}	5.52 \pm 0.02 ^{a,C}	5.52 \pm 0.03 ^{a,C}	0.54 \pm 0.05 ^d
20.0	5.75 \pm 0.02 ^{a,A}	5.62 \pm 0.03 ^{a,B}	5.61 \pm 0.05 ^{a,B}	5.53 \pm 0.02 ^{a,C}	5.52 \pm 0.02 ^{a,C}	0.56 \pm 0.04 ^d

^{a–d}Means within a column (the difference between the amount of rework added) followed by different lowercase letters differ ($P < 0.05$); samples stored during different times were evaluated independently.

^{A–C}Means within a row (the difference between the storage time) followed by different uppercase letters differ ($P < 0.05$); samples manufactured using a different amount of rework were evaluated independently.

¹Values were expressed as mean \pm SD (for pH values; $n = 9$) and mean \pm SE (for size of fat globules; $n = 6$).

rework at a maximum quantity of 4% (wt/wt) does not affect the change in consistency of the final product. On the basis of the results presented in Figure 1 and the complex modulus (G^*) values and the gel strength values (A_F) listed in Tables 2 and 3, we can state that the addition of only 2.5% (wt/wt) rework has a significant ($P < 0.05$) effect on the change in consistency of the resulting PC, whose firmness increases as a result of the added rework. Furthermore, we can state that a significant ($P < 0.05$) increase in firmness was observed until the addition of 10.0% (wt/wt) rework. With the addition of rework over 10.0% (wt/wt), the firmness of the produced PC no longer increased significantly ($P \geq 0.05$). Through a more detailed comparison of individual model samples in Figure 1, we can say that, at lower frequencies and on the first day after production, PC produced without any addition of rework showed higher values ($P < 0.05$) in the loss module (G'') than in the elastic module (G'). It is assumed that if the values of $G'' > G'$, the intermolecular bonds in the melt (protein network) have sufficient time to weaken during the oscillation cycle. As the measurement frequency increased, the curves of the elastic and loss flexibility modules for a sample without added rework intersected. That is because, at higher frequencies, the intermolecular bonds no longer have sufficient time to weaken, so the PC behaves more like a solid (Cunha et al., 2013). A similar trend was also observed in PC with 2.5 and 5.0% (wt/wt) rework contents (Figure 1, A–C). However, we must point out that the intersection of both curves (G' and G'') moved to lower frequencies ($P < 0.05$) as the rework content increased. Samples with added rework of 10.0% (wt/wt) and more (Figure 1, D–F) behaved more like solids at lower frequency measurements, as $G' > G''$, which is characteristic of densely interconnected biopolymeric networks (Cunha et al., 2013). As the storage time lengthened, changes

occurred in the matrix of the PC even without added rework. G' and G'' for d 60 of storage are also listed in Figure 1. In the sample without added rework, the loss flexibility module (G'') once again prevailed at lower frequencies ($P < 0.05$), and the intersection of both curves (G' and G'') occurred at lower frequencies than the first day after production (Figure 1, A). Therefore, at lower frequencies, the samples behaved more like a fluid than a solid. All samples with added rework from 2.5 to 20.0% (wt/wt) behaved like solids after d 60 of storage, as their G' showed higher values than G'' for the entire period of measured frequencies (Figure 1, B–F). The aforementioned results are supported by the gel firmness values (A_F) and the interaction factor (z) set forth in Tables 3 and 4. Gel firmness increased significantly even when only 2.5% (wt/wt) of rework was added ($P < 0.05$). At the same time, the value of the interaction factor increased ($P < 0.05$), which is evidence of the number of structural units interacting with one another in the protein network, or more precisely of the number of intermolecular bonds among the proteins. Thus, the increasing firmness of the gel was given by the increasing number of interactions in the 3-dimensional system studied (Macků et al., 2008, 2009; Cunha et al., 2013). Generally, the increase in the firmness of PC after the addition of rework was also described by Kaláb et al. (1987), who also stated that the firmest samples were ones with a “hot melt” content (heated for a longer period without mixing), whereas the softest samples were those without added rework. The work of Kaláb et al. (1987) also involved electron microscopy and stated that the greatest coalescence of fat occurred in hot melt samples. On the basis of the aforementioned results, we can state that regular PC with a creamy structure used as rework has a different effect on consistency and microstructure than rework in the form of an over-creamed product

Table 2. Values of complex modulus at reference frequency of 1 Hz (G^* ; kPa) of model processed cheese after 1 d (24 h), 7 d, 14 d, 30 d, and 60 d of storage using different amounts of rework¹

Rework amount (% wt/wt)	G^*				
	1 d	7 d	14 d	30 d	60 d
0.0	0.49 ± 0.02 ^{a,A}	0.58 ± 0.02 ^{a,B}	0.63 ± 0.04 ^{a,C}	0.70 ± 0.04 ^{a,D}	0.79 ± 0.04 ^{a,E}
2.5	0.73 ± 0.04 ^{b,A}	0.91 ± 0.03 ^{b,B}	1.02 ± 0.05 ^{b,C}	1.07 ± 0.06 ^{b,C}	1.19 ± 0.05 ^{b,D}
5.0	0.88 ± 0.05 ^{c,A}	1.21 ± 0.05 ^{c,B}	1.32 ± 0.08 ^{c,C}	1.37 ± 0.05 ^{c,C}	1.38 ± 0.05 ^{c,C}
10.0	1.09 ± 0.04 ^{d,A}	1.32 ± 0.06 ^{d,B}	1.50 ± 0.09 ^{d,C}	1.63 ± 0.10 ^{d,D}	1.71 ± 0.07 ^{d,B}
15.0	1.09 ± 0.05 ^{d,A}	1.30 ± 0.04 ^{d,B}	1.54 ± 0.10 ^{d,C}	1.61 ± 0.06 ^{d,C}	1.79 ± 0.07 ^{d,D}
20.0	1.07 ± 0.05 ^{d,A}	1.36 ± 0.06 ^{d,B}	1.57 ± 0.07 ^{d,C}	1.73 ± 0.12 ^{d,D}	1.78 ± 0.07 ^{d,D}

^{a–d}Means within a column (the difference between the amount of rework added) followed by different lowercase letters differ ($P < 0.05$); samples stored during different times were evaluated independently.

^{A–E}Means within a row (the difference between the storage time) followed by different uppercase letters differ ($P < 0.05$); samples manufactured using a different amount of rework were evaluated independently.

¹Values were expressed as mean ± SD ($n = 9$).

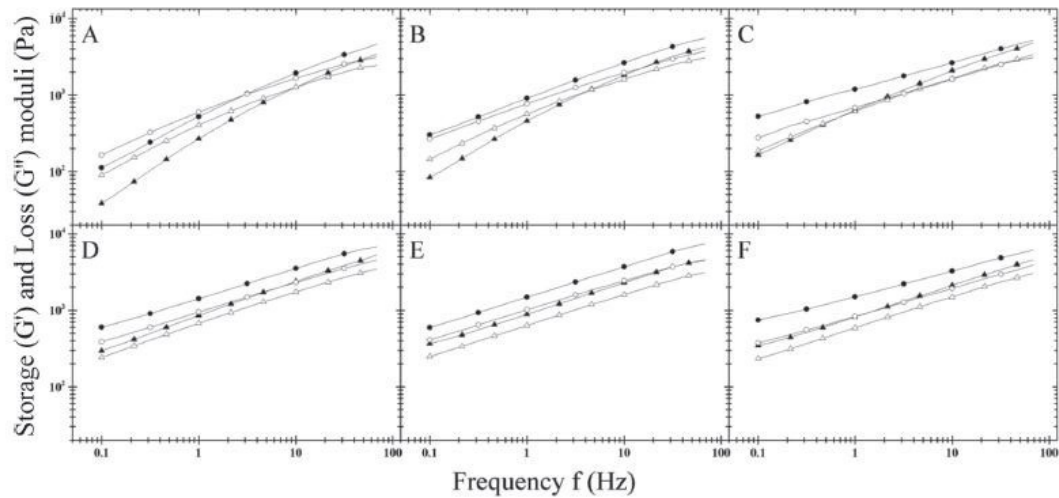


Figure 1. Dependence of the elastic (G' ; full symbols; Pa) and the loss (G'' ; open symbols; Pa) moduli of the processed cheese spreads (36% wt/wt in DM content; 45% wt/wt fat in DM content) after 1 d (\blacktriangle) and 60 d (\bullet) of storage at $6 \pm 2^\circ\text{C}$ on frequency (range of 0.1–100.0 Hz). (A) 0.0% (wt/wt) rework, (B) 2.5% (wt/wt) rework, (C) 5.0% (wt/wt) rework, (D) 10.0% (wt/wt) rework, (E) 15.0% (wt/wt) rework, and (F) 20.0% (wt/wt) rework.

with a delicate structure. The adding or replacing part of the raw material with rework increases the firmness and elasticity of the resulting product (Guinee et al., 2004).

Apart from the interconnectedness of the protein network evaluated by the interaction factor and gel firmness, the different consistencies of the PC with the addition of 2.5 to 10.0% (wt/wt) rework can also be explained by the varying sizes of the fat droplets (Figure 2 and Table 1). Statistically, the median value of fat droplets (Table 1) in a sample without added rework differed significantly from samples with added rework

($P < 0.05$). Statistically, the addition of rework in a concentration of 10.0 to 20.0% (wt/wt; during mutual comparison) no longer significantly affected the size of the fat droplets ($P \geq 0.05$). We could observe possible correlation between compactness of protein network and the gel strength (A_F) and also the interaction factor (z). With higher number of interaction factor we find out more compact protein matrix. The addition of rework affected the intensity of the emulsification of the present fat, which was demonstrated by the reduction in the size of the fat droplets. As the degree of fat emulsification grew, the firmness of the PC increased.

Table 3. Values of gel strength (A_F ; $\text{kPa}\cdot\text{s}^{1/z}$, where z is the interaction factor) of model processed cheese after 1 d (24 h), 7 d, 14 d, 30 d, and 60 d of storage using different amounts of rework¹

Rework amount (% wt/wt)	A_F				
	1 d	7 d	14 d	30 d	60 d
0.0	$0.56 \pm 0.03^{a,A}$	$0.63 \pm 0.04^{a,B}$	$0.70 \pm 0.03^{a,C}$	$0.76 \pm 0.03^{a,C}$	$0.87 \pm 0.04^{a,D}$
2.5	$0.83 \pm 0.03^{b,A}$	$1.00 \pm 0.06^{b,B}$	$1.09 \pm 0.05^{b,C}$	$1.14 \pm 0.04^{b,D}$	$1.26 \pm 0.05^{b,E}$
5.0	$0.94 \pm 0.04^{c,A}$	$1.28 \pm 0.07^{c,B}$	$1.35 \pm 0.09^{c,B}$	$1.44 \pm 0.07^{c,C}$	$1.38 \pm 0.06^{c,B,C}$
10.0	$1.12 \pm 0.07^{d,A}$	$1.39 \pm 0.06^{d,B}$	$1.50 \pm 0.07^{d,C}$	$1.60 \pm 0.09^{d,C}$	$1.77 \pm 0.10^{d,D}$
15.0	$1.15 \pm 0.05^{d,A}$	$1.30 \pm 0.06^{d,B}$	$1.55 \pm 0.11^{d,C}$	$1.58 \pm 0.08^{d,C}$	$1.85 \pm 0.09^{d,D}$
20.0	$1.03 \pm 0.05^{d,A}$	$1.33 \pm 0.07^{d,B}$	$1.50 \pm 0.05^{d,C}$	$1.62 \pm 0.09^{d,D}$	$1.73 \pm 0.09^{d,E}$

^{a-d}Means within a column (the difference between the amount of rework added) followed by different lowercase letters differ ($P < 0.05$); samples stored during different times were evaluated independently.

^{A-E}Means within a row (the difference between the storage time) followed by different uppercase letters differ ($P < 0.05$); samples manufactured using a different amount of rework were evaluated independently.

¹Values were expressed as mean \pm SD ($n = 9$).

Table 4. Values of interaction factor (z) of model processed cheese after 1 d (24 h), 7 d, 14 d, 30 d, and 60 d of storage using different amounts of rework¹

Rework amount (% wt/wt)	z				
	1 d of storage	7 d of storage	14 d of storage	30 d of storage	60 d of storage
0.0	2.05 ± 0.15 ^{a,A}	2.09 ± 0.11 ^{a,A}	2.16 ± 0.09 ^{a,B}	2.20 ± 0.13 ^{a,B}	2.23 ± 0.07 ^{a,BC}
2.5	2.23 ± 0.12 ^{b,A}	2.31 ± 0.11 ^{b,B}	2.34 ± 0.09 ^{b,B}	2.42 ± 0.13 ^{b,C}	2.47 ± 0.12 ^{b,C}
5.0	2.27 ± 0.16 ^{b,A}	2.43 ± 0.14 ^{b,B}	2.53 ± 0.14 ^{c,C}	2.61 ± 0.11 ^{c,D}	2.83 ± 0.18 ^{c,B}
10.0	2.42 ± 0.09 ^{d,A}	2.48 ± 0.15 ^{c,A}	2.86 ± 0.10 ^{d,B}	2.93 ± 0.15 ^{d,B}	2.71 ± 0.18 ^{c,B}
15.0	2.64 ± 0.13 ^{e,A}	2.45 ± 0.12 ^{c,A}	2.86 ± 0.10 ^{d,B}	2.93 ± 0.12 ^{d,B}	2.68 ± 0.13 ^{c,A}
20.0	2.50 ± 0.14 ^{de,A}	2.56 ± 0.13 ^{d,A}	2.86 ± 0.14 ^{d,B}	2.93 ± 0.14 ^{d,C}	2.92 ± 0.18 ^{d,C}

^{a-e}Means within a column (the difference between the amount of rework added) followed by different lowercase letters differ ($P < 0.05$); samples stored during different times were evaluated independently.

^{A-F}Means within a row (the difference between the storage time) followed by different uppercase letters differ ($P < 0.05$); samples manufactured using a different amount of rework were evaluated independently.

¹Values were expressed as mean ± SD ($n = 9$).

This phenomenon corresponds to the results of the works of Kapoor and Metzger (2008), Lee et al. (2015), and Černíková et al. (2017). With higher additions of rework (above 10.0% wt/wt), no further changes in the fat droplets or viscoelastic properties were observed in our work. On the other hand, Kaláb et al. (1987), who used block-type PC with a higher DM content (55% wt/wt) for their experiment, observed structure and consistency changes in products manufactured with the rework content higher than 10.0% (wt/wt).

CONCLUSIONS

This work studied the effect of rework content at an age of 72 h on the consistency of PC. It was discovered that a lower quantity of added rework, up to 10.0% (wt/wt), caused a gradual increase in the firmness of the PC; simultaneously, the size of the fat droplets gradually decreased, which results primarily from the improvement of the emulsification properties as the amount of rework added increases. As the rework concentration in

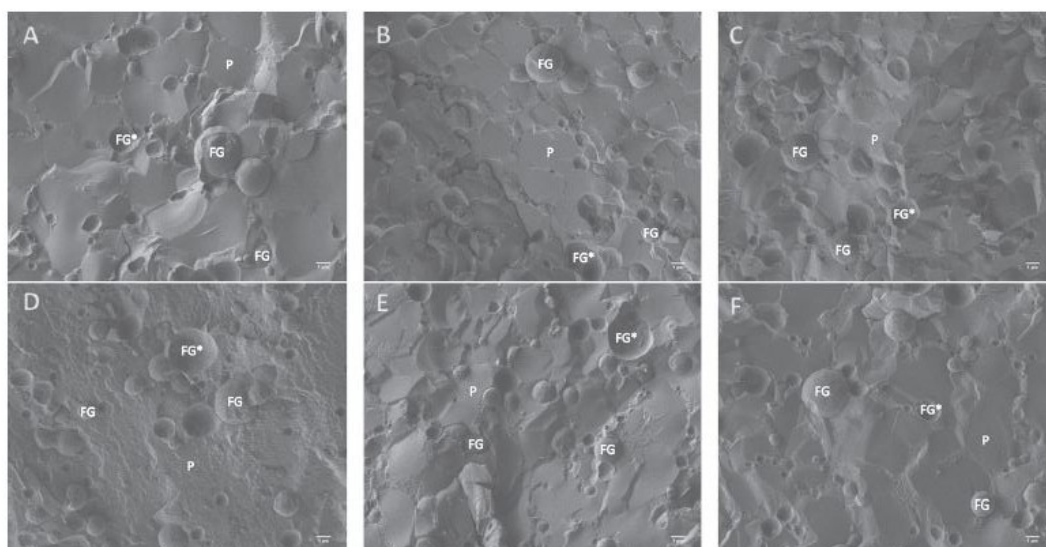


Figure 2. Scanning electron microscopy images of model processed cheese with different rework content. (A) 0.0% (wt/wt) rework, (B) 2.5% (wt/wt) rework, (C) 5.0% (wt/wt) rework, (D) 10.0% (wt/wt) rework, (E) 15.0% (wt/wt) rework, and (F) 20.0% (wt/wt) rework. FG = fat globule; FG* = removed fat globule; P = protein phase. Scale bar = 1 μ m.

the raw material composition increased further (from 10.0–20.0% wt/wt), the firmness of the PC no longer increased, and the median size value of the fat droplets, which was smaller than that in samples with less added rework, also no longer differed significantly.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was kindly supported by a project of the internal grants of Tomas Bata University in Zlin, Czech Republic, no. IGA/FT/2018/003, funded from the resources of specific university research. We acknowledge the core facility Laboratory of Electron Microscopy, Biology Centre of Czech Academy of Science, České Budejovice, supported by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic (LM2015062 Czech-BioImaging, Prague, Czech Republic).

REFERENCES

- Černíková, M., J. Nebesářová, R. N. Salek, L. Řiháčková, and F. Buňka. 2017. Microstructure, textural and viscoelastic properties of model processed cheese with different dry matter and fat in dry matter content. *J. Dairy Sci.* 100:4300–4307. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12120>.
- Cunha, C. R., R. Grimaldi, M. R. Alcantara, and W. H. Viotto. 2013. Effect of the type of fat on rheology, functional properties and sensory acceptance of spreadable cheese analogue. *Int. J. Dairy Technol.* 66:54–62. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2012.00876.x>.
- Dimitreli, G., and A. S. Thomareis. 2009. Instrumental textural and viscoelastic properties of processed cheese as affected by emulsifying salts and in relation to its apparent viscosity. *Int. J. Food Prop.* 12:261–275. <https://doi.org/10.1080/10942910802256164>.
- Gabriele, D., B. de Cindio, and P. D'Antona. 2001. A weak gel model for foods. *Rheol. Acta* 40:120–127. <https://doi.org/10.1007/s003970000139>.
- Guinee, T. P., M. Carić, and M. Kaláb. 2004. Cheese Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. Pages 349–393 in *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, Volume 2: Major Cheese Group. 3rd ed. P. F. Fox, P. L. H. McSweeney, and T. P. Cogan, ed. Elsevier Applied Science, London, UK.
- ISO (International Organization for Standardization). 2004a. ISO Standard No. 5534: Cheese and processed cheese—Determination of the total solid content (reference method). ISO, Geneva, Switzerland.
- ISO (International Organization for Standardization). 2004b. ISO Standard No. 1735: Cheese and processed cheese products—Determination of fat content—Gravimetric method (reference method). ISO, Geneva, Switzerland.
- Kaláb, M., J. Yun, and S. H. Yiu. 1987. Textural properties and microstructure of process cheese food rework. *Food Microstruct.* 6:181–192.
- Kapoor, R., and L. E. Metzger. 2008. Process cheese: Scientific and technological aspects—A review. *Comp. Rev. Food Sci. Saf.* 7:194–214. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2008.00040.x>.
- Lauck, R. M., inventor; Stauffer Chemical Co., assignee. 1972. Using salvage cheese in preparing pasteurized process cheese. New York. US patent 3,697,292.
- Lee, S. K., S. Anema, and H. Klostermeyer. 2004. The influence of moisture content on the rheological properties of processed cheese spreads. *Int. J. Food Sci. Technol.* 39:763–771. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00842.x>.
- Lee, S. K., H. Klostermeyer, and S. G. Anema. 2015. Effect of fat and protein-in-water concentration on the properties of model processed cheese. *Int. Dairy J.* 50:15–23. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.06.001>.
- Maclá, I., F. Buňka, V. Pavlínek, P. Leciánová, and J. Hrabě. 2008. The effect of pectin concentration on viscoelastic and sensory properties of processed cheese. *Int. J. Food Sci. Technol.* 43:1663–1670. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01734.x>.
- Maclá, I., F. Buňka, B. Voldánová, and V. Pavlínek. 2009. Effect of addition of selected solid cosolutes and pectin on viscoelastic properties of model processed cheese. *Food Hydrocoll.* 23:2078–2084. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.03.020>.
- Meyer, A. (1973). *Processed Cheese Manufacture*, Food Trade Press Ltd., London.
- Nagyová, G., F. Buňka, R. N. Salek, M. Černíková, P. Mančík, T. Grüber, and D. Kuchař. 2014. Usage of sodium polyphosphates with different linear length in the production of spreadable processed cheese. *J. Dairy Sci.* 97:111–122. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7210>.
- Pluta, A., M. Ziarno, and A. Smoľńska. 2000. Możliwości zastosowania hydrokoloidów w produkcji serów topionych. *Premysl Spozywczy*. 5:42–44.
- Salek, R. N., M. Černíková, G. Nagyová, D. Kuchař, H. Bačová, L. Minářčková, and F. Buňka. 2015. The effect of ternary mixtures composition containing phosphate and citrate emulsifying salts on selected textural properties of spreadable processed cheese. *Int. Dairy J.* 44:37–43. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.12.009>.
- Weiserová, E., L. Doudová, L. Galiová, L. Žák, J. Michálek, R. Janiš, and F. Buňka. 2011. The effect of combinations of sodium phosphates in binary mixtures on selected texture parameters of processed cheese spreads. *Int. Dairy J.* 21:979–986. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.06.006>.