

# Vliv rychlosti míchání na konzistenci tavených sýrů

Bc. Dana Kozáčková

---

Diplomová práce  
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Dana Kozáčková**  
Osobní číslo: **T15285**  
Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Technologie potravin**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vliv rychlosti míchání na konzistenci tavených sýrů**

Zásady pro vypracování:

### I. Teoretická část

1. Charakterizujte tavené sýry
2. Popište technologii výroby tavených sýrů
3. Popište faktory působící na konzistenci tavených sýrů

### II. Praktická část

1. Vyroberte modelové vzorky tavených sýrů s použitím rozdílné rychlosti a doby míchání
2. Provedte analýzu modelových vzorků, vyhodnoťte a diskutujte výsledky
3. Formulujte závěry vlivu rychlosti míchání na konzistenci tavených sýrů

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

- [1] 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*. 2015. 44, pp. 37-43.
- [2] CARIC, M., GANTAR, M., KALÁB, M. Effect of emulsifying agents on the microstructure and other characteristics of process cheese – a review. *Food Structure*. 1985. 4(2), pp. 279-312.
- [3] KAPOOR, R., METZGER, L. E. Process Cheese: Scientific and Technological Aspects A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2008. 7(2), pp. 194-214.
- [4] LEE, S. K., KLOSTERMEYER, H., ANEMA, S. G. Effect of fat and protein-in-water concentrations on the properties of model processed cheese. *International Dairy Journal*. 2015. 50, pp. 15-23.
- [5] CHATZIANTOUNIOU, S. E., THOMAREIS, A. S., KONTOMINAS, M. G. Effect of chemical composition on physico-chemical, rheological and sensory properties of spreadable processed whey cheese. *European Food Research and Technology*. 2015. 241(6), pp. 737-748.

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

Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce: **3. února 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **28. dubna 2017**

Ve Zlíně dne 3. února 2017



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



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

Příjmení a jméno: .....

Obor: .....

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu 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 .....

.....

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výtěžku 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 výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Cílem práce bylo sledovat vliv rychlosti otáček (1000 ot./min, 1500 ot./min. a 3000 ot./min.) a různé doby výdrže při tavicí teplotě 90 °C (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) na konzistenci tavených sýrů v průběhu 60 dnů skladování při  $6 \pm 2$  °C. Byly vyrobeny modelové vzory s obsahem sušiny 35 % w/w a dvěma obsahy tuku v sušině (40 a 50 % w/w). V jednotlivých dnech analýz (1., 14., 30. a 60. den) byla sledována hodnota pH, obsah sušiny, obsah tuku v sušině, dále změna konzistence tavených sýrů pomocí texturní profilové analýzy a dynamické oscilační reometrie. Od 3. minuty se tuhost tavených sýrů s prodlužující se dobou výdrže (až do 20. minuty) zvyšovala. Při srovnání počtu otáček bylo zjištěno, že nejtušší tavené sýry byly dosahovány při aplikaci 3000 ot./min a delších dobách výdrže tavicí teploty. S prodlužující se dobou skladování tuhost tavených sýrů rostla.

### **Klíčová slova:**

Tavený sýr, rychlost míchání, otáčky, textura, tuhost, tvrdost.

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis was to monitor the influence of agitation speed (1000 rpm., 1500 rpm. and 3000 rpm.) and various holding times at a melting temperature of 90 °C (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 and 20 minutes) on the consistency of processed cheese during 60 days of storage at  $6 \pm 2$  °C. Model processed cheese spreads with 35 % (w/w) dry matter content and two different of fat in dry matter contents (40 and 50 % w/w) were produced. The parameters such as pH, dry matter content, fat in the dry matter content were measured. The change in the consistency of the processed cheese by the textural profile analysis and by the dynamic oscillatory rheometry were observed. All analyses were performed after 1, 14, 30 and 60 days of storage. From the third minute, the firmness of processed cheese was increased with prolonging holding time (up to 20 minutes). The most striking increase was observed in the model processed cheese manufactured at 3000 rpm.

### **Keywords:**

Processed cheese, agitation speed, rpm, texture, hardness.

*Na tomto místě bych chtěla srdečně poděkovat MVDr. Michaele Černíkové, Ph.D., za odborné vedení při vypracování této diplomové práce, poskytnutí času a cenných rad při konzultacích.*

*Dále bych poděkovala paní laborantce Ing. et Ing. Ludmile Zálešákové, kolegyni Romaně Popkové za pomoc při výrobě vzorků a jejich následných analýz.*

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



# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>5</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>6</b>
<b>1 TAVENÉ SÝRY</b> .....	<b>7</b>
1.1 HISTORIE .....	7
1.2 LEGISLATIVA .....	8
1.3 DĚLENÍ TAVENÝCH SÝRŮ.....	9
<b>2 TECHNOLOGIE VÝROBY</b> .....	<b>11</b>
2.1 SUROVINOVÁ SKLADBA .....	11
2.2 TAVICÍ SOLI .....	12
2.3 TAVENÍ.....	13
2.4 FORMOVÁNÍ, BALENÍ, CHLAZENÍ .....	14
<b>3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ STRUKTURU TAVENÝCH SÝRŮ</b> .....	<b>15</b>
3.1 VÝBĚR PŘÍRODNÍCH SÝRŮ .....	15
3.2 MNOŽSTVÍ A DRUH TAVICÍCH SOLÍ .....	15
3.3 TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY.....	17
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>21</b>
<b>4 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>22</b>
<b>5 METODIKA PRÁCE</b> .....	<b>23</b>
5.1 VÝROBA MODELOVÝCH VZORKŮ .....	23
5.2 CHEMICKÁ ANALÝZA.....	24
5.2.1 Stanovení obsahu celkové sušiny .....	24
5.2.2 Stanovení pH .....	24
5.2.3 Stanovení obsahu tuku .....	25
5.3 TEXTURNÍ PROFILOVÁ ANALÝZA .....	25
5.4 DYNAMICKÁ OSCILAČNÍ REOMETRIE .....	26
<b>6 VÝSLEDKY A DISKUZE</b> .....	<b>27</b>
6.1 VYHODNOCENÍ CHEMICKÉ ANALÝZY .....	27
6.2 VLIV VÝDRŽE TAVICÍ TEPLoty V PRŮBĚHU DOBY SKLADOVÁNÍ PŘI JEDNOTLIVÝCH RYCHLOSTECH MÍCHÁNÍ.....	28
6.2.1 Modelové vzorky s obsahem sušiny 35 % (w/w) a TVS 40 % (w/w).....	28
6.2.1.1 Výsledky dynamické oscilační reometrie .....	28
6.2.1.2 Výsledky texturní profilové analýzy .....	35
6.2.2 Modelové vzorky s obsahem sušiny 35 % (w/w) a TVS 50 % (w/w).....	42
6.2.2.1 Výsledky dynamické oscilační reometrie .....	42
6.2.2.2 Výsledky texturní profilové analýzy .....	48
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>53</b>

<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>54</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>62</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>63</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>66</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>67</b>

## ÚVOD

Tavené sýry jsou u většiny českých spotřebitelů velmi známou a z průzkumů i oblíbenou komoditou. Jednotlivé preference směřují k různým charakteristikám, které jsou u tavených sýrů důležité v rámci výběru při nakupování. Volba spotřebitelů se často zaměřuje na objem balení a jeho typ (nejčastěji se jedná o balení v hliníkové folii či v plastových kelímčích) a u potravin v popředí vždy figuruje chuť spolu s konzistencí. Jedná se o nejvíce vlivné charakteristiky a na základě nichž si existuje široký sortiment nabízených produktů. Díky této variabilitě je možnost nabízet stále nové a na trhu dosud třeba i neznámé kombinace vstupních surovin přítomných ve výrobcích. Čas a oblíbenost poté určuje, zda se na trhu podařilo vyhovět zákazníkům či nikoli. Je třeba se ale zaměřit na začátek této problematiky a uvažovat o procesu, kterým je utvářena daná potravina, konkrétně tavený sýr, a jaké kroky a dílčí postupy je třeba pozorovat pro vytvoření požadované konzistence. Vnesení odchylek v podobě navážek surovin, technologických parametrů a operací provedených po výrobě, ovlivňuje následné chování u již vyrobených tavených sýrů. Zákazníci kladou důraz na jistou uniformitu výrobků, a pokud jsou ztotožněny s určitými parametry, které vlastní daná potravina, pak ji i nadále vyžadují. Jak staré moudro říká, co člověk, to originál, a s tímto souvisí i množství nabízených druhů a skupin potravin. Konzumenti jsou vždy na vrcholu pomyslné pyramidy a uvádějí jakýsi trend, jakým způsobem budou výrobci vyrábět potraviny, které si poté zákazníci budou s oblibou kupovat. Toto přirovnání je názorné právě pro širokou škálu tavených sýrů a dává tak možnost výrobcům používat při výrobě různé surovinové skladby a technologické parametry, které ovlivní jejich výslednou konzistenci. Tato práce pojednává o vlivu rychlosti míchání a doby výdrže tavicí teploty na konzistenci tavených sýrů. Vliv technologických parametrů byl sledován v průběhu dvouměsíční doby skladování.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 TAVENÉ SÝRY

Tavené sýry patří k často konzumovaným potravinám. Výrobci dodávají na trh široký sortiment tavených sýrů odlišujících se od sebe v mnoha znacích. Klíčovým se stává chuť, ale i způsob spotřebitelského balení, které je třeba přizpůsobit vzhledem k charakteru taveného sýra. Proto je nutné u výroby dbát na spoustu faktorů, které by mohly mít vliv na profil tavených sýrů během celé technologie [1, 2].

Tavené sýry se vyrábějí obvykle z přírodních sýrů různých zralostí, másla, vody, tavicích solí a dalších přísad nesoucí požadavek patřičné chuti či konzistence [3]. Tavený sýr je několika složkový komplex jemné struktury. Proteinová frakce vytváří stabilizační nosnou síť vlivem působení tavicích solí. Do této matrice se pak zabudovávají ostatní přítomné jemně rozptýlené složky [4].

Tak jako na každý výrobek určený ke konzumaci člověkem, je třeba nahlížet nejen z pohledu chemického, ale i z výživového hlediska. Média manipulují dnešní snadno ovlivnitelnou společností v masivním měřítku a mnohdy uživatelé berou neodbornou informaci za věrohodnou a šíří ji do svého okolí. Tyto nepodložené informace jsou s jistotou vyvráceny každým odborníkem a výrobcem tavených sýrů, že se nejedná o směs zbytků z mlékárenského průmyslu držící pohromadě po přidavku zdraví nebezpečných přídatných látek. Mnohdy bývají v černém světle představovány tavicí soli, z důvodu zvýšeného vyplavování vápníku z kostí. Tento proces je dán výměnou vápenatých iontů za sodné při procesu tavení, což sice sníží biologickou využitelnost vápníku, ale jeho hodnoty zde nejsou jednoznačně nulové. Navýšení hladiny vápníku v těle je možné hlavně konzumací mléka a fermentovaných mléčných výrobků [5].

### 1.1 Historie

Prvenství ve výrobě tavených sýrů si v roce 1911 připsala švýcarská společnost Gerber, která tavený sýr vyrobila roztavením tvrdých švýcarských sýrů za použití tavicích solí. Důvodem vzniku tavených sýrů byla potřeba zachovat sýr v takovém stavu, aby se prodloužila jeho trvanlivost a bylo možné zajistit stále se zvyšující export do tropických zemí [3, 6]. Krátce po švýcarské výrobě následovala ve Spojených státech amerických i společnost Kraft, která dodávala vojskům bojujícím v první světové válce přírodní sýr čedar sterilovaný v malých plechovkách. Výroba poté pokračovala roku 1917 ve Francii, a právě zde se

objevila světová značka Veselá kráva (1921). V Německu se výroba zahájila v roce 1920. V Československu se tavené sýry vyráběli od roku 1923 a jejich výroba v České republice trvá do současnosti. Tento rozvíjející se trend ve výrobě tavených sýrů měl velký úspěch a jejich spotřeba se nadále zvyšovala. Dnes se celosvětově vyrábí cca 2,5 milionů tun tavených sýrů a tavených sýrových pomazánek. Výrobou tavených sýrů se zabývá 14 českých mlékárenských podniků. Podle průzkumu NMS Market Research provedeného v březnu roku 2016, kdy na osobu za rok připadalo 2,2 kg tavených sýrů tak patříme celosvětově k největším konzumentům tavených sýrů [6].

Trend oblíbenosti tavených sýrů stále stoupá, neboť mají široké využití v gastronomii a trvanlivost těchto produktů dává zákazníkům možnost uchovávat tyto sýry déle ve svých domácnostech.

## 1.2 Legislativa

Dle vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 397/2016 Sb., kterou se stanoví požadavky pro mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje, v platném znění, je označen tavený sýr za sýr, který byl tepelně upraven za přídavku tavicích solí. Tavený sýr druhově nepojmenovaný musí splňovat maximální obsah laktózy 5 hmot. %. Dále musí splňovat přítomnost, či nepřítomnost sacharidů se sladícím účinkem, jedlé soli, bakteriální kultury, enzymů, koření a sezónní zeleniny a ostatních zdravotně nezávadných potravin [7].

Vyhláška č. 77/2003 Sb. nahrazena vyhláškou č. 397/2016 Sb. dále označovala tavené sýry dle obsahu tuku v sušině, a to nejvýše 30 % tuku v sušině jako nízkotučné, nejméně 60 % tuku v sušině jako vysokotučné [8]. Označení názvu v rozpětí mezi 30–60 % tuku v sušině tato vyhláška neuváděla. Dle konzistence nynější platná vyhláška rozděluje tavené sýry na roztíratelné a tavené sýry s lomem. Vedle skupiny tavených sýrů ještě uvádí odlišnou skupinu tavených sýrových výrobků [7].

Existuje však řada sýrů imitujících tavené sýry, které nesplňují parametry pro označení „tavený sýr“. Jedná se dle vyhlášky č. 397/2016 o tavený sýrový výrobek, který obsahuje více než 5 % laktózy [7].

### 1.3 Dělení tavených sýrů

Legislativně byly tavené sýry do 31. 12. 2016 než přišla v platnost od 1. 1. 2017 vyhláška č. 397/2016 Sb., rozpracovaněji děleny dle obsahu tuku v sušině (TVS) na vysokotučné (nad 60 % TVS) a nízkotučné (pod 30 % TVS) [8]. Jiné dělení podle obsahu TVS uvádí Gajdůšek (1998), který dělí tavené sýry na vysokotučné (60–70 % TVS), plnotučné (45–55 % TVS), polotučné (30–45 % TVS) a nízkotučné (30 % a méně) [2]. Dále uvádí, že tavené sýry s obsahem 20 % a méně TVS se spíše nevyrábějí a stejně tak i v opačném případě, s vyšší tučností 70 % a výše, kde takový výrobek již nemá charakter taveného sýra. Na základě použitých surovin lze dělit tavené sýry na skupiny jednodruhových tavených sýrů, kde převyšuje v použité surovinové skladbě jeden deklarovaný druh sýra a na skupinu směsných tavených sýrů, s vyšší variací použité suroviny a poměrů jednotlivých přírodních sýrů [2, 9]. Z hlediska ochucujících přísad se mohou tavené sýry dělit na neochucené a ochucené nejčastěji s přidavkem zeleniny, koření, bylinek, masných výrobků, hub, ale i ořechů. Přídavek těchto doplňujících komponent bývá často zařazen přímo do procesu výroby tavených sýrů, nebo až ve finální úpravě přimícháním do utaveného sýra [2, 10]. Při rozdělování tavených sýrů nelze vynechat konzistenci, která má být kompaktní, stejnorodá bez krupiček a bez nedostatečně rozmělněných shluků vstupních surovin, jež mohou negativně ovlivnit vnímání při konzumaci. Konzistenci lze rozdělovat na pevnou, lomivou, dále tavené sýry jemnější snadno roztíratelné, až dokonce krémovité či husté [2].

Odlišně rozděluje tavené sýry anglická literatura dle Code for Federal Regulation (CFR), a to na kategorie:

- Pasteurized processed cheese (pasterované tavené sýry)
- Pasteurized blended cheese (pasterované směsné sýry)
- Pasteurized processed cheese food (pasterované tavené sýrové výrobky)
- Pasteurized processed cheese spread (pasterované tavené sýrové pomazánky) [11].

Kategorie pasterovaných tavených sýrů umožňuje navíc přidavek ovoce, zeleniny a masa [11].

Snaha výrobců a součinnost zákazníků, produkovat a kupovat levné potraviny, vedly k výrobě produktů, které jsou vizuálně podobné, ovšem při výrobě se nepoužívají základní suroviny. Ty jsou nahrazeny jinými, které je napodobují a mohou je tak svými vlastnostmi

s určitými benefity dohánět, za předpokladu přidavku pomocných látek udržujících jejich vlastnosti, a to například tvar a aroma. Potravinu, u které došlo k zaměnění mléčné složky za složku rostlinnou, ať už se týká nahrazení mléčných bílkovin či tuku za rostlinné, nelze označit termínem „sýr“. Legislativa neoznačuje tyto výrobky určitým výrazem a často se lze setkat se zaběhnutým označením analogy či imitace tavených výrobků, nebo tavených pomazánek, které jsou pro některé skupiny konzumentů neznámým označením vyplývající z průzkumu [12]. Myšlenka realizace a počátek produkce těchto analogů spočívala ve zvyšující se poptávce po pizzách, kdy na počátku 70 let 20. století ve Spojených státech začala jejich výroba [13].

Postupně se výroba rozšiřovala z ekonomického hlediska kvůli preferenci obyvatel kupovat levnější tavené sýry. Zhotovení takových produktů je zavedeno z důvodu ušetření hlavních surovin, zejména přírodního sýra, a dalších mléčných bílkovin. Také cena kaseinů a kaseinátů mimo Evropskou Unii se pohybuje v nižších relacích v porovnání s kaseiny obsaženými v syrovém mléce. Lze pak očekávat preference obchodníků rychlého občerstvení a fast-food provozoven těchto levnějších produktů [14].

Absence mléčného tuku v analogích bývá často nahrazena rostlinnými oleji, které jsou zejména zdrojem nenasycených mastných kyselin a současně je snaha redukovat množství nasyčených mastných kyselin. Vynecháním živočišných tuků se současně může vyloučit i majoritní přítomnost cholesterolu. Z výživového hlediska se apeluje také na redukci přítomnosti soli, respektive sodíku a kalorická hodnota bývá snížena [15, 16].

Zákazníci ovšem při koupi takového produktu v řetězcích nesmí být uvedeni v omyl, dle zákona č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích, v platném znění, který hovoří o řádném označení na obalu potravin bez klamných a zavádějících informací [17].



## 2 TECHNOLOGIE VÝROBY

Proces výroby spočívá v dodržení základních kroků, přičemž je nutné nastavit a ovládat parametry vedoucí k docílení požadovaného finálního výrobku. Vybrané suroviny se podle receptury dávkuje do výrobních kotlů, kde probíhá plynulé promíchávání a tavení při vysokých teplotách a podtlaku, což vede k vytvoření homogenní struktury taveniny.

### 2.1 Surovinová skladba

Pro výrobu je zcela zásadní výběr a množství vstupních surovin, konkrétně přírodních sýrů, emulgačních solí a další složky mléčného či nemléčného charakteru.

Při výběru základní složky, přírodních sýrů, je důležité sledovat obsah sušiny a obsah tuku v sušině, která se odrazí na konzistenci a textuře výsledného produktu. Kritérií při volbě přírodních sýrů je mnoho, sleduje se druh sýru (př. čedar používaný ve Velké Británii, ementál v západní Evropě), stupeň zralosti a s tím související konzistence a aroma. Aby se docílilo větší variability druhů a konzistencí tavených sýrů, používá se buď jeden druh přírodních sýrů, nebo se kombinují přírodní sýry různých druhů, a také v různém stupni zralosti, tedy sýry vyzrálé a nevyzrálé [18]. Pro výrobu se používají standardní jakostní bloky přírodních sýrů, ale také i nestandardní bloky, které se při výrobě zdeformovaly, a pro obchodování by se nenalezlo vhodné využití. Ovšem pokud jsou takové kusy i mikrobiálně kontaminované, nelze je k výrobě tavených sýrů použít [19].

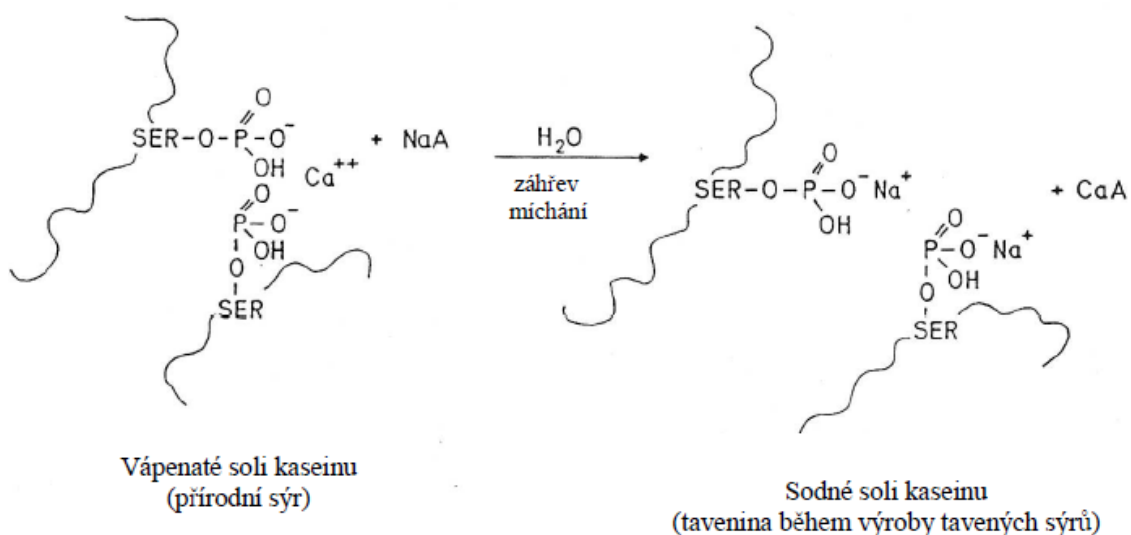
Výběr přírodních sýrů, většinou používané sýry Eidam, čedar, gouda, mohou zpestřit i jiné druhy sýrů. Například sýr Kasserl, tradiční řecký polotvrdý sýr vyrobený z ovčího nebo kozího mléka, vyznačující se smetanově zlatavou barvou a ostrou příchutí [20].

K základním složkám dále patří pitná voda, máslo a tavicí soli. Lze využít mnoho dalších surovin, se kterými si tavený sýr zachová svůj charakter, ale zároveň se budou od sebe odlišovat například v chuti a konzistenci, vlivem přídavku ochucujících složek. Dále je možné vyrábět různé varianty z pohledu odlišných tvarů a velikostí. Pro úpravu složení se využívá přídavek mléčného tuku k navýšení tučnosti a jemnosti taveného sýra (smetana, máslo), tvaroh pro navýšení sušiny, dále rework (již utavený sýr někdy označovaný jako nátavek či krém), přísady ovlivňující barvu a chuť, mléčné koncentráty (sušená syrovátka, sušené mléko, kasein a jeho soli, sérové bílkoviny) [15].

## 2.2 Tavicí soli

Důležitou složkou pro výrobu tavených sýrů jsou tavicí soli, které se účastní chemických interakcí a vznikají nové vazby uvnitř proteinové matrice. Zajišťují výměnu vápenatých, bivalentních iontů v tavenině a ionty sodné. Tavicí soli se podílejí na tvorbě homogenní struktury tavených sýrů a principy reakcí budou dále popsány.

Hlavní funkcí tavicích solí (viz Obr. 1) je hydratovat a zvýšit rozpustnost bílkovin výměnou iontů vápníku, které jsou přitahovány silnějšími elektrostatickými silami k fosfátům, za ionty sodíku, jež jsou uvolněny z fosfátu a váží se na vazebné místo kaseinu [18]. Schopnost navázat kationty na tavicí soli je dána i množstvím fosforečnanových jednotek v molekule. Pokud se zvýší počet jednotek fosforu ve sloučenině, pak vzájemný vztah a jejich vazba mezi kationtem a aniontem vzroste [15]. Dochází k přeměně z nerozpustného parakaseinanu vápenatého na rozpustný parakaseinan sodný. Toto uspořádání ve vytvářející se tavenině vede k bobtnání bílkovin a podpoře tvorby gelu. Posiluje i emulgaci tuku a vytvoření vyššího počtu menších tukových kuliček, než bylo původně v přírodním sýru. Dále tavicí soli mají důležitou funkci v dalších fázích technologického zpracování, a to konkrétně při ochlazování výrobku, neboť přispívají k dotváření konečné struktury taveného sýra [21, 22].



Obr. č. 1: Chemická reakce výměny  $\text{Ca}^{2+}$  iontů za  $\text{Na}^+$  ionty při procesu tavení ( $A$  – anion tavicí soli,  $\text{SER}$  – serinové zbytky,  $\text{NaA}$  – tavicí sůl obsahující sodný kation,  $\text{CaA}$  – tavicí sůl s navázaným vápenatým kationtem). [15]

Jako tavicí soli se používají soli s vícesytnými anionty, zejména fosforečnany, jejich polymery a citronany s monovalentními alkalickými kovy, kde nejvyužívanější je sodík. V malé míře se využívá draslík, ale mezi jeho negativní vlastnosti patří vnášení hořké chuti do sýrů a současně i menší síla iontové výměny v porovnání se sodíkem [23].

V tavenině se mohou tavicí soli vyskytovat v různém složení a poměrovém zastoupení, které jsou důležité pro vytváření výsledné konzistence taveného sýra. Přídavek tavicích solí a jejich vliv je blíže rozepsán v kapitole 3.2.

### 2.3 Tavení

Proces tavení je souhrn několika kroků vedoucí k vytvoření finálního výrobku požadované struktury. Tavení je možné provádět v diskontinuálním tavicím kotli opatřeným duplikátorovou stěnou k vyhřívání stěn kotle. Dosažení homogenní a jemné struktury je docíleno nejen přítomností tavicích solí a reakcemi probíhajícími během tavení (výše popsanými), ale i noži, kterými je tavicí kotel vybaven. Nože zpočátku slouží pro rozmělnění přírodních sýrů a dále během tavení zajišťují rozbíjení nežádoucích shluků vstupních surovin. Další technologický vliv má i otáčení míchadla o konstantní rychlosti. Aby bylo docíleno rychlejšího ohřevu utvářející se taveniny, využívá se kromě duplikátorového ohřevu i přímý vstřík páry. Současně je v tavicím kotli udržován mírný podtlak (cca 0,05 MPa), který odsává přítomný vzduch případně některé těkavější pachové látky.

Nezanedbatelnou součástí tavení je ohřívání nadávkovaných komponentů. Faktor zvýšení teploty tavení vede ke zvyšujícímu se stupni molekulárního pohybu, čímž se snižuje dosah přitažlivých sil mezi molekulami. Viskozita tavených sýrů se postupně snižuje a sýr tak měkne [24].

Délka a teploty taveb se u autorů odlišují, například Carić & Kaláb [18] uvádějí 71–95 °C, Gajdůšek [2] 75–90 °C, Čepička [25] 85–95 °C a Kadlec a kol. [26] 80–95 °C. Doba tavení se obecně udává v rozmezí 5-15 minut. Kombinace zvolené teploty a délky tavení patří mezi faktory ovlivňující konzistenci tavených sýrů popisované v kapitole 3.3.

Vedle diskontinuálního způsobu tavení sýrů, při kterém je dosaženo pasteračního efektu, lze využít i postupu kontinuální výroby, kde již dochází ke sterilování sýru. Směs je přiveдена k vyšším teplotám okolo 130-145 °C na několik sekund a poté je tavenina intenzivně míchána k dosažení krémovité textury.

Proces tavení, současně s mikrostrukturou, texturou a reologickým chováním, je ovlivněn také výkyvy hodnot pH při utvářející se tavenině [27]. Při tavení začíná docházet k interakcím zejména tavicích solí s proteinovou maticí. Zahajující se disociace solí se postupně odrazí na bilancování hodnoty pH během tavení. Konečné pH bývá upravováno přidávkem zásad a kyselin do alkalické nebo kyselé oblasti v rámci požadované hodnoty [3].

## 2.4 Formování, balení, chlazení

Po utavení následuje nalévání ještě horké směsi plně automatizovanými přístroji do připravených obalů. Teplota při plnění vyrobených tavených sýrů by neměla klesnout pod hodnoty 60-70 °C z důvodu možné mikrobiální kontaminace, která by mohla vést ke zkáze výrobku [28].

Mikrobiální kontaminace souvisí se způsobem a včasností balení. Zpravidla dochází k balení bezprostředně po naplnění do obalu vzhledem k faktu, že výrobní linky jsou plně mechanizované a časové prodlevy jsou zanedbatelné. Potencionálním zdrojem kontaminace mohou být i obaly, ale díky pravidelné kontrole a optimálním podmínkám skladování je možné kontaminaci tavených sýrů z obalových materiálů zabránit, nebo ji minimalizovat. Největší oblíbenost si v České republice získal obal typu hliníkové fólie, která bývá často tvarována do trojúhelníků, čtverců či obdélníků. Tento typ obalu má navíc z vnitřní strany povrch ošetřen lakem pro pohodlnější otevírání a vyjímání sýru z obalu. Uplatňovány jsou i plastové kelímky, vaničky a tuby v různých velikostech. V zahraničí se používají již zmíněné obalové materiály, dále plechové obaly, konzervy, vhodné právě pro již řečené sterilované tavené sýry [13, 15].

Po naplnění následuje chlazení, krok velmi důležitý pro utváření konzistence. Rychlost dosažení chladírenských teplot 4-8 °C potřebných pro skladování a následně pro expedici má dopad na vytvoření konzistence [2, 25]. O dalších vlivech působících na strukturu a konzistenci tavených sýrů pojednává následující kapitola.

### 3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ STRUKTURU TAVENÝCH SÝRŮ

#### 3.1 Výběr přírodních sýrů

Kritérií při volbě přírodních sýrů je mnoho, sleduje se výběr typu přírodních sýrů, dále hodnota pH, konzistence a vůně.

Struktura tavených sýrů je ve velké míře ovlivněna základní surovinou - přírodním sýrem, respektive stupněm jeho vyzrálosti. Aplikace nevyzrálých přírodních sýrů působí na konzistenci tavených sýrů tak, že tavené sýry jsou ve výsledku gumovité a tužší. Tyto přírodní sýry nedosáhly určitého stupně zralosti, kdy se začínají peptidové vazby štěpit a tím pádem i struktura nevyzrálých přírodních sýrů v porovnání s vyzrálými přírodními sýry je výrazně pevnější [15]. S tužší konzistencí přírodních sýrů souvisí i vyšší obsah vápníku, sýr se jeví pevnější a je méně tavitelný [29, 30].

Použitím vyzrálých přírodních sýrů při výrobě dochází k vytvoření krémovější a roztíratelnější povaze tavených sýrů. Bílkoviny jsou již vlivem zrání naštěpeny na kratší úseky, které nejen přispívají k jemnější konzistenci, ale také budou propůjčovat sýrům díky senzoryckým aktivním látkám rozvinuté aroma [15].

#### 3.2 Množství a druh tavicích solí

Nezbytnou součástí při výrobě tavených sýrů je správný výběr tavicích solí a jejich množství. Mezi užívané tavicí soli se řadí soli na bázi fosforečnanů a citranů. Fosforečnany se jako tavicí soli při výrobě aplikují v těchto typech skupin - monofosforečnany, difosforečnany, trifosforečnany a polyfosforečnany [31].

Tavicí soli mají důležitou vlastnost, která je klíčová pro korekci hodnoty pH. Soli mohou být kyselé a zásadité, a pro úpravu pH ve výrobku je důležitá jejich pufrční schopnost, jenž zajistí udržení dané hodnoty pH ve směsi. Pufrace je ovlivněna délkou řetězce, čím delší řetězec tavicí soli, tím menší pufrční schopnost lze očekávat. Z tohoto faktu přímo vyplývá další tvrzení, že nejlepší stabilizaci pH systému dosahují monofosforečnany. S rostoucí délkou řetězce solí současně souvisí nejen pufrční schopnost, ale i vliv na pH, který dále ovlivňuje texturu tavených sýrů. Nízké pH je měřeno u tavených sýrů velmi měkkých, kdežto vysokého pH dosahují tavené sýry, které jsou vysoce tvrdé až drobné [15, 19, 23]. Konzistence dle Gajduška [32] je ovlivněna výběrem tavicích solí. Roztíratel-

né tavené sýry lze vyrobit aplikací fosforečnanových tavicích solí vážící na sebe daleko větší množství vápenatých iontů, ve srovnání s citrátovými tavicími solemi. Citrátové tavicí soli pak v opačném případě působí na strukturu tavených sýrů tak, že jsou tuhé, až drobné a nejsou roztíratelné.

Pro vznik gelů se využívá schopnost difosforečnanů, kde se váží vápenaté difosforečnany na kasein a tím se snižují odpudivé síly mezi kaseinovými řetězci. Ovšem i tento cílený proces tvorby gelu má svoje limity a při nadměrném dávkování difosforečnanů se pevnost gelu ztrácí [15].

Pro vytvoření gelu je dalším faktorem délka lineárních polyfosforečnanů s vysokým počtem atomů fosforu v molekule. V takovém případě je tvorba gelu velmi omezená a naopak nízkomolekulární polyfosforečnany k tvorbě gelu výrazně přispívají [23].

Skupiny tavicích solí mají odlišné působení na konzistenci tavených sýrů [31]. Studie Nagyové a kol. [33] uvádí vliv jednotlivých skupin tavicích solí na tvrdost tavených sýrů. Nárůst počtu fosfátových jednotek v řetězci (od 5 do 28 jednotek) vede k pevnější konzistenci a tvrdost sýrů roste v důsledku zvýšeného zesíťování proteinové matrice. Sestupně pak působí na tvrdost difosforečnan sodný (TSPP), fosforečnan sodný (DSP) a citronan sodný (TSC). Kombinacemi solí a sledování jejich účinků se zabývali Salek a kol. [34]. Použití ternární směsi DSP : TSPP : TSC vedlo k nárůstu tvrdosti, dále bylo zjištěno, že s rostoucím podílem TSC tvrdost tavených sýrů klesá. Paralelně vyrobené tavené sýry sestavené z tavicích solí v binární směsi TSC : TSPP vykazovali nejtvrďší strukturu [34]. Shirashoji a kol. [35] potvrzuje skutečnost tvrdého a navíc i gumovitého profilu tavených sýrů po použití TSPP ve srovnání s DSP, které jsou poté drobné a nesoudržné.

Užití citranů jako jednosložkové tavicí soli se nevyužívá z důvodu vzniku nestabilní emulze. Monosodný či disodný citran silně okyseluje vznikající směs a vede k uvolňování vody, proteiny nehydratuje a nezačleňuje se do zesíťované matrice. Využívají se do směsi solí s fosforečnany pro své vynikající pufrční schopnosti, tedy schopnost udržet danou hodnotu pH [15].

Množství tavicích solí je z legislativního hlediska limitované na bázi fosforečnanů. Nařízení Evropského Parlamentu a Rady č. 1333/2008 o potravinářských přídatných látkách, v platném znění definuje tavicí soli jako látky, které převádějí bílkoviny obsažené v sýru do disperzní formy za účelem homogenního rozložení tuků a ostatních složek [36]. Legis-

lativní limit fosforečnanů a polyfosforečnanů, značených pod kódem E 338 – 452, je určen dle tohoto nařízení na maximální množství 20 000 mg·kg<sup>-1</sup> [36]. Vyhláška 4/2008 Sb., kterou se stanoví druhy a podmínky použití přídatných látek a extrakčních rozpouštědel při výrobě potravin, stanovuje v příloze č. 2 nejvyšší přípustná množství 20 000 mg·kg<sup>-1</sup> pro fosforečnany vápenaté (E 341) v tavených sýrech a analogích tavených sýrů [37]. Množství solí na bázi citranů tato vyhláška neuvádí.

Přídavek tavicích solí se výrobcí neustále snaží eliminovat. Jedná se zejména o přítomnosti sodíku jak v emulgačních solích, tak i v přírodních sýrech a běžné kuchyňské soli. Řada výzkumů vedla své kroky obecně k redukci solení a výskytu sodíku, který je zastoupen právě v přírodních sýrech, které vstupují do výroby tavených sýrů. Aby byl omezen přísun množství solí, vyzdvihlo se používání draselných solí a náhražek solí, aniž by se tato aplikace dotkla negativního vlivu na sensorické a funkční vlastnosti tavených sýrů [38].

Nové možnosti a probádané technologie umožňují zcela vypustit ze skladby tavicí soli. Společnost Bel Sýry nahradila tavicí soli surovinami na bázi mléčného minerálního koncentráту. Výrobek Veselá kráva lahodná bez „ěček“ vyrobená z obnoveného odtučněného mléka, 16 % sýru čedar, tvarohu, másla, mléčných minerálních koncentrátů, mléčných bílkovin a zahuštěné prokysané syrovátky si i přes absenci tavicích solí zachovala sensorické vlastnosti a roztíratelnou konzistenci. Způsobem, jak vyrobit tavený sýr pomocí náhradních tavicích solí, jsou věnované práce autorů Černíkové a kol. [40] a Hladké a kol. [41].

Poměry a výběrem tavicích solí se zabývá spousta studií a jejich působení na tavené sýry jsou zájmem pro vznik dalších studií, pohlížející na problematiku z hlediska naleznutí nových poznatků. [4, 15, 34, 35]

### 3.3 Technologické parametry

Pro vytvoření zamýšleného produktu určitých vlastností jsou důležité nejen vstupní suroviny, ale i postupy a kroky, jimž je třeba během výroby věnovat určitou pozornost, jelikož mohou ovlivňovat konzistenční chování během tavení, následně při chlazení a i v době skladování. Výběr zákazníků je pak dozajista předurčen charakterem chování taveného sýra při manipulaci v domácnostech nebo ve stravovacím zařízení [42].

Z fyzikálního hlediska je tavený sýr považován za koncentrovanou emulzi olej ve vodě, a právě posloupnost technologických parametrů má význam pro vytvoření hydratované proteinové matrice se zabudovanými emulgovanými tukovými kuličkami. Proto, aby docházelo k této emulgaci a vzniku jemné homogenní hmoty, je zapotřebí intenzivní míchání surovin za současného působení dalších parametrů, jako je teplota a doba míchání, respektive doba tavení.

Se zvyšujícími se otáčkami roste tuhost tavených sýrů. Studie Garimella a kol. [43] prokazuje vliv rychlosti míchání na konzistenci, kdy při vyšších otáčkách než (1050 ot./min.) byl sýr tužší než při nižších rychlostech míchání (450 ot./min.). Pevnou konzistenci synergicky doplňuje i vyšší teplota tavení. Obecně se teplota tavení udává v rozmezí 70–100 °C. Čím vyšší je teplota tavení (90–100 °C), tím je dle Mizuno & Lucey [44] vyšší schopnost navázání kationtů do proteinové matrice. Ovšem tento proces je takzvaně reverzibilní a s klesající teplotou možnost vazby kationtů klesá a dochází ke zpětné reorganizaci systému. Různými kombinacemi teploty, doby tavení a rychlostí otáček se mohou vytvářet tavené sýry odlišné textury v závislosti na použitém výrobním postupu. Typ uspořádání zařízení, a to diskontinuální, nebo kontinuálního, vede současně k rozdílné konzistenci finálního výrobku. Současně se zvyšující se dobou tavení a teplotou roste tuhost a zároveň i elasticita, naopak roztíratelnost je velmi malá [44]. Swenson a kol. [45] se zabývali těmito závislostmi, ovšem jejich práce spočívala ve výrobě odtučněného taveného sýra skládajícího se z mladého přírodního sýra (8 týdnů starý), vyrobeného z odstředěného mléka, ze směsi tavicích solí, sladké sušené syrovátky, odtučněného sušeného mléka a vody. Dospěl k závěrům, že zvýšená doba tavení přispívá k měkčím a tavitelnějším sýrům s vyšší roztíratelností. Konkrétně stanovené doby výdrže při teplotě 75 °C (0, 5, 10, 15 a 20 min.) v uvedeném pořadí měly efekt na klesající pevnost a roztíratelnost. Kdežto tavitelnost se s rostoucí délkou výdrže naopak zvyšovala. Zabýval se i teplotami (60, 70, 80 a 90 °C) tavení. Pevnost a roztíratelnost odtučněných tavených sýrů s rostoucí teplotou klesala [45]. V kontrastu stojí závěry studie Shirashoji a kol. [35] u vyrobeného taveného sýra vyrobeného z přírodního sýra (4 měsíce zralý, 34 % (w/w) TVS), směsi tavicích solí, pro modifikaci pH hydroxidu sodného a kyseliny mléčné. Konstatuje vliv prodlužující se délky tavy na rostoucí pevnost tavených sýrů, ale tavitelnost naopak klesá. Současně s delší dobou tavení dochází k silnější emulgaci, rozrušují se tukové kuličky a utváří se vyšší počet podstatně menších tukových kuliček [35].



Glenn a kol. [46] sestavoval ve své práci parametry (rychlost míchání: 50, 100, 150 ot./min.; teploty: 74, 80 a 86 °C; dobu tavení: 1, 5, 10, 15, 25, 35 min.). Porovnávána byla pětice parametrů otáček a teplot (50 ot./min. při 74 °C, 150 ot./min. při 74 °C, 100 ot./min. při 80 °C, 50 ot./min. při 86 °C a 150 ot./min. při 86 °C). Postupné zvyšování doby tavení vedlo k nárůstu pevnosti a tuhosti tavených sýrů, obdobně působil i nárůst rychlosti otáček [43].

Nejen parametry, ale i konkrétní výběr přístroje k tavení, značně ovlivňuje průběh procesu. Volba zařízení současně s nastavením rychlosti a délky míchání má mimo jiné dopad na utváření konzistence. Noronha a kol. [47] uvádějí vliv použitých typů přístrojů odlišné konstrukce, konkrétně dvoušnekovice a aparatury s jednou čepelí, na tuhost, soudržnost a tavitelnost.

Důležitým faktorem během výroby je způsob chlazení vyrobených vzorků. S prodlužující se dobou potřebnou pro zchlazení narůstá tuhost a zhoršuje se roztíratelnost tavených sýrů [48]. Krémování probíhá při teplotách nad 25 °C. Rychlost zchlazování taveniny udává charakter konzistence, tedy zda bude výsledný tavený sýr měkký či tvrdý. Rychlé zchlazení zanechá sýru měkkou konzistenci, naopak při pomalém chlazení bude konzistence výsledného produktu tvrdá. Pomalé chlazení (50 hodin) na teplotu 20 °C dodává taveným sýrům pevnou texturu o vysoké přilnavosti a gumovitý charakter. V opačném případě velmi rychlé zchlazení (do hodiny) na teplotu 20 °C zabrání ztuhnutí do pevné konzistence a sýr je významně měkký [30, 48]. Další parametr ovlivňující konzistenci je následná délka skladování, která pozměňuje i nutriční profil, jak poukazují některé studie [49]. Expozicí tavených sýrů po delší době skladování byl zaznamenán pokles obsahu mastných kyselin (MK). Teplota skladování má zásadní vliv na obsah mastných kyselin v tavených sýrech. Doporučení skladování při chladírenských teplotách  $6 \pm 2^\circ\text{C}$  nedegraduje MK v takovém měřítku, jako kdyby byl sýr vystaven vyšším teplotám, kde se na degradaci podílí přítomnost vzduchu, respektive kyslíku, který bude přispívat k autooxidaci. S tímto procesem by současně následovala i mírná produkce kyselin, jako odraz rozkladu mastných kyselin [49].

Mnozí výrobci se snaží fixovat ne zcela kompaktní konzistenci tavených sýrů přidávkem hydrokoloidů, kterými docílí atraktivnější a příjemnější soudržnost sýra pro konzumování. Jejich používání je také otázkou snížení ceny výrobku a především se využívají z důvodu menší lepkavosti na obal. Swenson a kol. [45] pozorovali vliv přídatku čtyř různých hydrokoloidů na konzistenci odtučněných tavených sýrů. Přítomnost hydrokoloidů obecně zvyšuje

je viskozitu a největšího zpevnění bylo dosaženo použitím lokusové gummy, dále  $\kappa$ -karagenanu, želatiny, guarové gummy, ale i modifikovaného škrob a nízkoesterifikovaného pektinu [40, 41, 45].

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍL PRÁCE

Cílem práce bylo zhodnotit vliv vybraných technologických parametrů na konzistenci tavených sýrů. Pro realizaci této práce byly stanoveny následující dílčí cíle:

- vyrobit dvě sady modelových vzorků o obsahu 35 % (w/w) sušiny a obsahu tuku v sušině 40 % (w/w) a 50 % (w/w),
- použít při výrobě modelových vzorků odlišné technologické parametry, a to tři rychlosti míchání 1000, 1500 a 3000 ot./min. s různou délkou výdrže tavicí teploty od 0 do 20 minut (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) a provést u vzorků základní chemickou analýzu (stanovení pH, obsahu sušiny a tuku v sušině) 1., 14., 30. a 60. den po výrobě,
- ve stejných časových intervalech stanovit viskoelastické vlastnosti vyrobených modelových vzorků tavených sýrů pomocí dynamické oscilační reometrie a provést texturní profilovou analýzu,
- vyhodnotit výsledky jednotlivých měření a popsat vliv rychlosti míchání a doby výdrže tavicí teploty na konzistenci tavených sýrů a stanovit, zda má délka skladování vliv na konzistenci tavených sýrů,
- porovnat vliv technologických parametrů na modelové vzorky lišící se mezi sebou obsahem tuku v sušině.

## 5 METODIKA PRÁCE

Dle receptur byly vyrobeny dva druhy tavených sýrů, lišící se obsahem tuku v sušině, a následně dle časového harmonogramu skladování byly podrobeny po 1., 14., 30., a 60. dnech skladování chemické, texturní a reologické analýze. Parametry taveb se od sebe odlišovaly v rychlostech otáček za minutu – 1000, 1500, 3000 ot./min. a v jednotlivých rychlostech doby výdrže, a to 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut.

### 5.1 Výroba modelových vzorků

Pro vyhodnocení stanovených analýz byly vyrobeny dva druhy tavených sýrů se základními parametry obsahu sušiny a tuku v sušině (TVS):

- modelové vzorky první sady: obsah sušiny 35 % (w/w) a TVS 40 % (w/w),
- modelové vzorky druhé sady: obsah sušiny 35 % (w/w) a TVS 50 % (w/w).

K výrobě tavených sýrů byly použity eidamské cihly (obsah sušiny 50 % (w/w), obsah tuku 15 % (w/w) a obsah TVS 30 % (w/w)) o dvou zralostech, přičemž z celkového množství přírodního sýra byla ze 70% dávkována eidamská cihla 1 měsíc zralá a 30 % tvořila 8 měsíců vyzrálější eidamská cihla. Dále do surovinové skladby bylo přidáno čerstvé máslo (82 % (w/w) tuku, 84 % (w/w) sušiny), pitná voda a směs tavicích solí (poměrové zastoupení tavicích solí 38 %  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , 18 %  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ , 22 %  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ , 22 % sodné soli polyfosforečnanů). Takto sestavená surovinová skladba při výrobách obou druhů modelových vzorků byla tavena na přístroji Stephan UMC-5 (Stephan Machinery GmbH, Německo). Do tavicího kotle byl přírodní sýr nakrájen na kostky o hraně cca 2 cm, které byly 30 sekund dezintegrovány při 3000 ot./min.. Následně se k přírodnímu sýru přidalo máslo a voda spolu se směsí tavicích solí. Tato kompletní směs se ve výrobníku víkem uzavřela, vývěvou byl vytvořen podtlak (pro zabránění vzniku vzduchových bublin a následné oxidaci vzorků), odvzdušňovací ventil se uzavřel. Po nastavení rychlosti otáček (1000, 1500 nebo 3000 ot./min.) se obsah v kotli pomocí nožů míchal. Dosažením teploty cca 90 °C (obvykle trvající okolo 10 minut) následovalo její udržení po požadovanou dobu (0 – 20 minut). Utavený sýr se naléval do plastových kelímků, které byly následně zažehleny hliníkovými víčky. Víčka byla řádně označena. Postupně byly vzorky zchlazeny na teplotu skladování ( $6 \pm 2$  °C).

## 5.2 Chemická analýza

Modelové vzorky byly podrobeny základní chemické analýze, při které se sledoval obsah celkové sušiny, hodnoty pH a obsah tuku v sušině během doby skladování.

### 5.2.1 Stanovení obsahu celkové sušiny

Obsah sušiny byl stanoven dle ČSN EN ISO 5534:2005 u všech vzorků dle stanoveného harmonogramu [50]. Každý vzorek byl navážen třikrát o hmotnosti  $\pm 3$  g s přesností na čtyři desetinná místa do hliníkové misky s mořským pískem a tyčinkou, která byla při teplotě  $102 \pm 2$  °C vysušena a ochlazená na laboratorní teplotu. Takto připravené vzorky v miskách se sušily po dosažení teploty  $102 \pm 2$  °C zhruba 3 hodiny do konstantního úbytku hmotnosti. Po vysušení se misky se vzorky vložily do exsikátoru a po ochlazení se odečetla hmotnost na analytických vahách. Přesný výpočet obsahu sušiny ve vzorcích je dán rovnicemi (1a a 1b):

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (1a)$$

W ... obsah vody [% (w/w)]

$m_1$  ... hmotnost hliníkové misky s mořským pískem [g]

$m_2$  ... hmotnost hliníkové misky s mořským pískem a vzorkem sýra [g]

$m_3$  ... hmotnost hliníkové misky po sušení [g]

$$S = 100 - W \quad (1b)$$

S ... obsah sušiny [% (w/w)] [51].

### 5.2.2 Stanovení pH

Hodnoty pH se měřily prostřednictvím vpichového pH metru (Spear Eutech - pH tester s vpichovou elektrodou, EUTECH INSTRUMENTS The Netherlands, Nijkerk, zakoupený u firmy BioTech a.s., Praha) při laboratorní teplotě  $22 \pm 1$  °C. Každý vzorek byl proměřen šestkrát, a to vždy v různých místech kelímku, z důvodu možného vnesení odchylek a fak-

torů ovlivňující pH od výroby až po dobu otevření vzorku. Výsledky jsou uvedeny v intervalech hodnot pH.

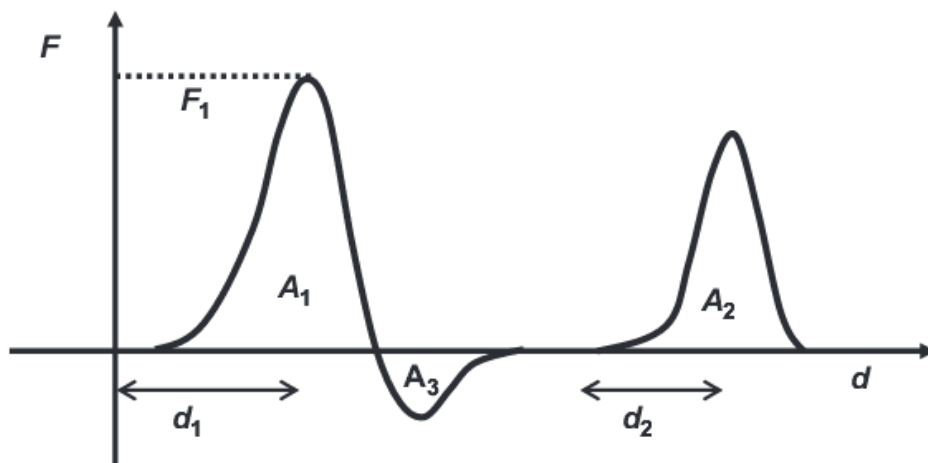
### 5.2.3 Stanovení obsahu tuku

Tuk v modelových vzorcích dle metodického postupu byl stanoven Van Gulikovou metodou – ČSN ISO 3433:2010 [52]. Ze získaných hodnot tučnosti v modelových tavených sýrech se dle vzorce (2) vypočítal obsah tuku v sušině (TVS):

$$\text{TVS (\%)} = \frac{\text{obsah tuku (\%)} \times 100}{\text{obsah sušiny (\%)}} \quad (2)$$

### 5.3 Texturní profilová analýza

Texturní profilová analýza, provedena přístrojem TA.XT.plus (StableMicro Systems Ltd., Godalming, Velká Británie), blíže specifikující chování vzorku při mechanickém namáhání s využitím velkých deformací. V nastaveném testu sonda o průměru 20 mm penetruje rychlostí  $2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  do vzorku, a to do hloubky 10 mm a vrací se zpět do výchozí pozice. Poté následuje druhá penetrace a opětovné navrácení. Z tzv. zátěžové křivky (typická je zobrazena na Obr. 2) byly vypočteny tvrdost, soudržnost (kohezivnost) a relativní lepivost. Každý vzorek byl měřen čtyřikrát.



Obr. č. 2: Obecné znázornění průběhu texturní profilové analýzy (závislost síly na čase). Použité symboly a texturní parametry vyplývající z průběhu testu: tvrdost:  $F_1$ , soudržnost (kohezivita):  $A_2/A_1$ , relativní lepivost:  $A_3/A_1$ . [53]

## 5.4 Dynamická oscilační reometrie

Dynamická oscilační reometrie spočívá v řízené deformaci vzorku (v malém rozsahu deformací), při které se zkoumá chování při toku látek. Tato metoda slouží mimo jiné ke zjišťování elastického ( $G'$ ) a ztrátového ( $G''$ ) modulu pružnosti v závislosti na zvoleném rozsahu frekvencí. Pro výpočet komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) dále platí:

$$G^* = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2} \quad (3)$$

Pro hodnocení viskoelastických změn byly aplikovány Winterovy modely a vypočteny parametry  $A_F$  a  $z$ , a to podle vztahu [54]:

$$G^*(\omega) = A_F \cdot \omega^{\frac{1}{z}} \quad (4)$$

kde  $A_F$  vyjadřuje pevnost gelu [ $\text{Pa} \cdot \text{s}^{1/z}$ ] a hodnoty  $z$  interakční faktor udávající počet strukturních jednotek v trojrozměrné síti.

K měření byl použit rotační viskozimetr Thermo Scientific™ HAAKE RheoStress 1, (Bremen, Německo) s geometrií deska – deska, kde průměr desky činil 35 mm. Výška štěrbin byla nastavena na 1 mm. Při každém měření se přístroj temperoval pomocí teplotního senzoru propojeného s vodní lázní na teplotu  $20,0 \pm 0,1$  °C. Po nanesení reprezentativního vzorku na dolní desku, byla spuštěna horní deska na štěrbinu o výšce 1 mm. Přebytečný tavený sýr byl opatrně odstraněn a okraje potřeny malou vrstvou silikonového oleje pro zabránění vysychání. Po 5 minutové relaxaci bylo měření elastického a ztrátového modulu pružnosti realizováno při frekvencích 0.05 – 100.00 Hz (vzorky s 40 % (w/w)) a 0.1 – 10.0 Hz (vzorky s 50 % (w/w)). Amplituda smykového napětí byla nastavena na 20 Pa (vzorky s 40 % (w/w)) a 1 Pa (vzorky s 50 % (w/w)).



## 6 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 6.1 Vyhodnocení chemické analýzy

Modelové vzorky tavených sýrů byly vyráběny s obsahem sušiny 35 % (w/w) a obsahy tuku v sušině (TVS) 40 % (w/w) a 50 % (w/w). Jednotlivé vzorky byly vyráběny při různých rychlostech míchání s dobou výdrže od 0 do 20 minut a skladovány po dobu 60 dní. Všechny vyrobené vzorky byly podrobeny základní chemické analýze. Stanoven byl obsah sušiny, tuku v sušině a pH. Hodnoty pH tavených sýrů s obsahem sušiny 35 % (w/w) a TVS 40 % (w/w) byly naměřeny v prvním dni skladování v intervalu hodnot 5,92–6,01 ( $P \geq 0,05$ , data nejsou uvedena). Tyto hodnoty odpovídají nastaveným parametrům u vyrobených tavených sýrů [27, 30, 34]. U jednotlivých otáček v rámci prodlužující se délky skladování hodnoty pH vždy poklesly minimálně v řádech setin, konkrétně v 60 dni skladování o 0,1–0,2 ( $P < 0,05$ ), (hodnoty nejsou uvedeny). Další rozbor přinesl výsledky obsahu sušiny ve vzorcích pohybující se mezi 36,05–36,48 % (w/w) a přítomnost tuku v sušině byla vypočtena v rozsahu hodnot 36,13–43,06 % (w/w).

Druhá sada vzorků tavených sýrů s obsahem sušiny 35 % (w/w) a TVS 50 % (w/w) vykazovaly v průběhu sledovaných parametrů rozsah hodnot pH 5,74–6,06. Obsah sušiny byl stanoven v rozmezí hodnot 35,11–38,18 % (w/w) a obsah tuku v sušině 47,04–57,76 % (w/w).

Na základě výsledků chemické analýzy lze říci, že jednotlivé vzorky jsou mezi sebou navzájem porovnatelné a je tedy možno hodnotit vliv jednotlivých technologických parametrů na jejich konzistenci. Modelové vzorky tavených sýrů byly podrobeny instrumentálnímu měření zaznamenávajícímu chování struktury vzorků při jejich deformaci, a to texturní profilovou analýzou a dynamickou oscilační reometrií.

Vyhodnocení chemické analýzy je důležité i v rámci předpokládaného chování vzorků pro následné měření konzistenčního chování. Zejména je kladen důraz na hodnoty pH, jenž svými nižšími hodnotami ( $\text{pH} < 5,2$ ) ovlivní právě zmiňovanou konzistenci a jsou poté nesoudržné až drobnivé [23, 55]. Mulsow a kol. [27] se shodují s tvrzeními ovlivnění texturního a reologického chování právě hodnotami pH. Při vysokém pH ( $\text{pH} > 6,4$ ) jsou tavené sýry velice měkké, neboť vysoké hodnoty pH jsou odrazem vysokého elektrostatického odpuzování v proteinové matici. Tato ne tak pevně vázaná síť dokáže přítomnou vodu

lépe pojmout a zabudovat ji tak do trojrozměrné kaseinové sítě mající vláčnější strukturu [55].

## 6.2 Vliv výdrže tavicí teploty v průběhu doby skladování při jednotlivých rychlostech míchání

### 6.2.1 Modelové vzorky s obsahem sušiny 35 % (w/w) a TVS 40 % (w/w)

#### 6.2.1.1 Výsledky dynamické oscilační reometrie

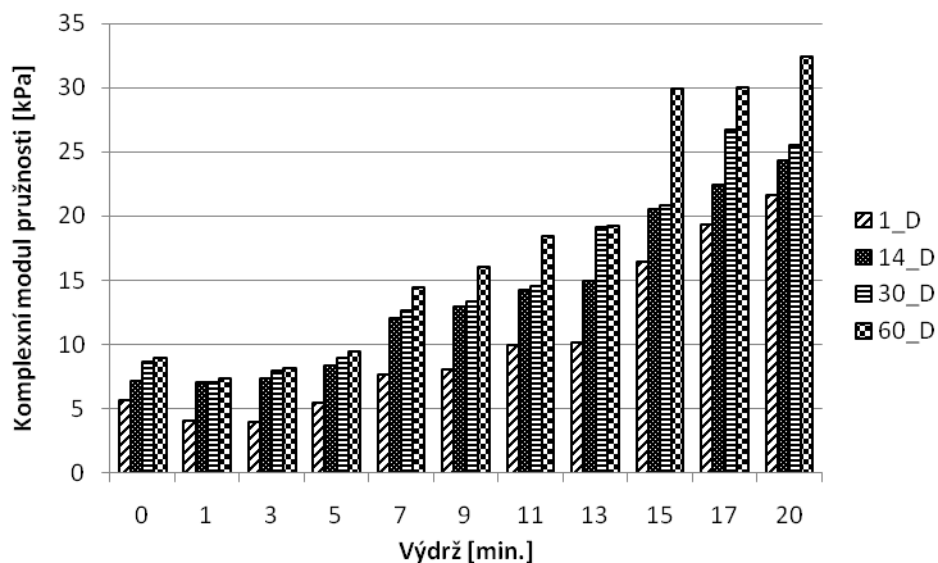
Dynamickou oscilační reometrií byly měřeny parametry elastického a ztrátového modulu pružnosti. Ze získaných hodnot  $G'$  a  $G''$  byl dle vzorce (3) vypočten komplexní modul pružnosti. Gabriele a kol. [54], Piska & Štětina [48] a Winter & Chambon [56] uvádí, že s rostoucími hodnotami  $G^*$ ,  $A_F$ , a  $z$  se zvyšuje tuhost tavených sýrů (a naopak).

Z uvedeného sloupcového grafu na Obr. 3 vyplývají změny komplexního modulu pružnosti  $G^*$  vyrobených modelových vzorků tavených sýrů vyrobených při rychlosti míchání 1000 otáček/minutu pro jednotlivé doby výdrže tavicí teploty (0–20 minut). Z grafu je patrné, že v průběhu prvních minut doby výdrže (od nulové výdrže do doby výdrže tři minuty po dosažení tavicí teploty) dochází k poklesu tuhosti taveného sýra charakterizované snížením hodnot komplexního modulu pružnosti. Od třetí minuty výdrže docházelo k nárůstu komplexního modulu pružnosti až do 20 minutové výdrže tavicí teploty. Tento trend byl pozorovatelný ve všech dnech, ve kterých probíhaly analýzy, a také pro všechny rychlosti otáček za minutu (viz Obr. 3–5). Pevnost (síla) gelu charakterizovaná hodnotou  $A_F$  ( $\text{kPa}\cdot\text{s}^{1/2}$ ), vypočtenou podle vztahu (4) je pro jednotlivé rychlosti míchání uvedena v Tabulce 1 a potvrzuje výše popsané trendy.

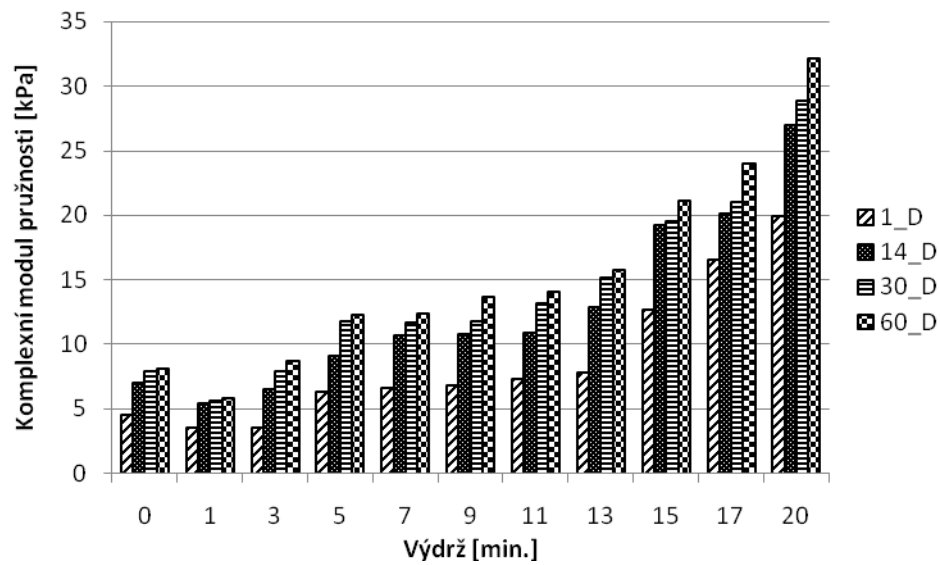
Porovnáním hodnot  $G^*$  pro jednotlivé rychlosti míchání v závislosti na délce výdrže tavení při tavicí teplotě 90 °C vnesených do grafů a znázorněných na Obr. 3–5 je zřejmé, že při absenci výdrže (0 minut) a při krátké době výdrže tavicí teploty (1 a 3 minuty) byly modelové vzorky tavených sýrů vyráběných při 1000 otáčkách za minutu tužší než vzorky vyráběné při 3000 otáčkách za minutu. Shrnutí vlivů rychlostí otáček (1000–3000 ot./min.) je pro 1 a 30 skladovací den uvedeno na Obr. 6 a 7.

Z grafů (viz Obr. 3–5), současně i z tabulek 1 a 2 je rovněž zřejmé, že v průběhu šedesátidenní doby skladování docházelo u modelových vzorků tavených sýrů k nárůstu hodnot  $G^*$

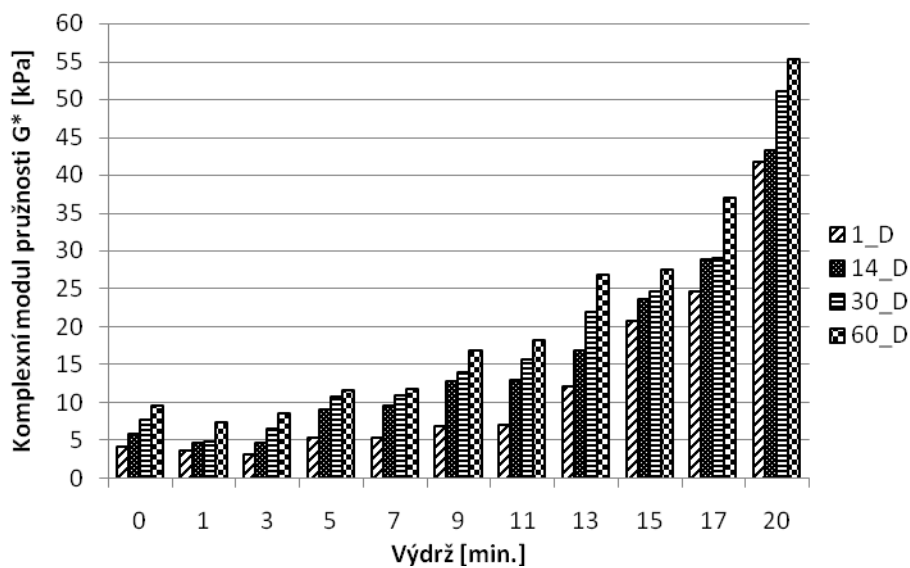
a zároveň k nárůstu hodnot  $A_F$  (Tab. 1) a  $z$  faktoru (Tab. 2). Vysvětlení je možné nalézt v množství zvyšujících se interakcí a také z dalších procesů, které probíhají v průběhu skladování tavených sýrů. Mezi tyto procesy patří například polymorfismus mléčného tuku a následné změny jeho krystalické struktury, dále mírný pokles hodnot pH, (který je reprezentován výše), hydrolýza tavicích solí (difosforečnanových a polyfosforečnanových) a nakonec možné změny disociace solí a dalších přítomných složek taveného sýra [27, 49, 57, 58, 59, 60]. K závěru, že s prodlužující se délkou skladování roste tuhost tavených sýrů, dospěli také Buňka a kol. [61] a Sádliková a kol. [31].



Obrázek 3: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 1000 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).



Obr. č. 4: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 1500 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).



Obr. č. 5: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 3000 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).

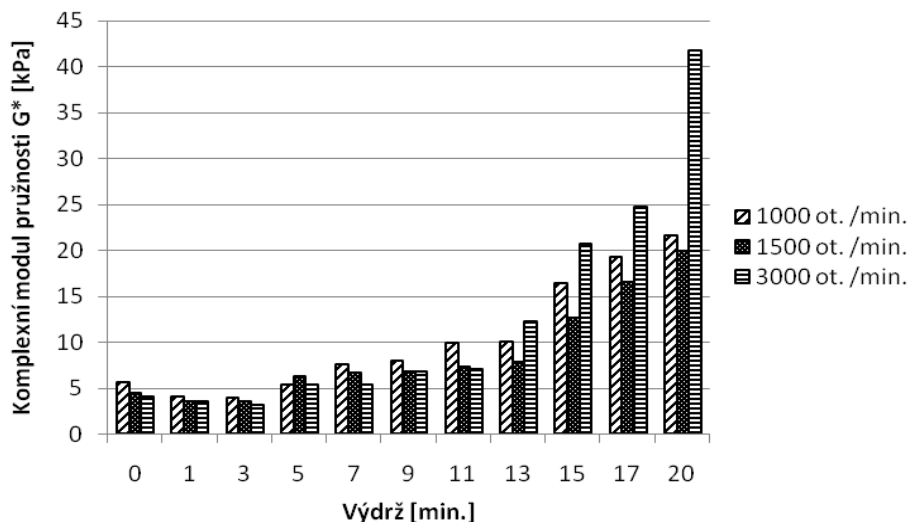
Tab. č. 1: Hodnoty pevnosti gelu ( $A_F$ ;  $kPa \cdot s^{1/2}$ ) tavených sýrů po 1, 14, 30 a 60 dnech skladování uvedeny pro jednotlivé rychlosti míchání a délky výdrže.

Výdrž	Dny skladování			
	1	14	30	60
1000 ot./min.				
0	5,8 ± 0,2	7,2 ± 0,3	8,6 ± 0,4	9,1 ± 0,3
1	4,2 ± 0,0	7,1 ± 0,1	7,1 ± 0,1	7,3 ± 0,1
3	4,0 ± 0,1	7,3 ± 0,3	8,0 ± 0,3	8,3 ± 0,1
5	5,5 ± 0,2	8,4 ± 0,3	9,1 ± 0,4	9,5 ± 0,4
7	7,6 ± 0,3	12,1 ± 0,3	12,6 ± 0,6	14,3 ± 0,6
9	8,1 ± 0,3	13,0 ± 0,4	13,3 ± 0,7	15,9 ± 0,5
11	9,9 ± 0,6	14,3 ± 0,7	14,6 ± 0,7	18,4 ± 0,5
13	10,1 ± 0,3	15,0 ± 0,7	19,1 ± 0,6	19,3 ± 1,1
15	16,4 ± 0,8	20,6 ± 0,8	20,8 ± 0,8	29,8 ± 1,4
17	19,4 ± 0,6	22,3 ± 1,1	26,6 ± 0,9	30,1 ± 1,0
20	21,7 ± 0,9	24,3 ± 1,1	25,4 ± 1,0	32,1 ± 1,3
1500 ot./min.				
0	4,6 ± 0,2	7,1 ± 0,3	8,0 ± 0,3	8,2 ± 0,3
1	3,6 ± 0,1	5,6 ± 0,2	5,7 ± 0,2	5,9 ± 0,1
3	3,7 ± 0,2	6,6 ± 0,3	8,0 ± 0,1	8,8 ± 0,3
5	6,3 ± 0,3	9,1 ± 0,3	12,2 ± 0,5	12,2 ± 0,4
7	6,7 ± 0,3	10,7 ± 0,5	13,1 ± 0,5	12,4 ± 0,5
9	6,8 ± 0,3	10,8 ± 0,4	13,0 ± 0,5	13,7 ± 0,5
11	7,4 ± 0,3	10,9 ± 0,5	13,7 ± 0,7	14,1 ± 0,5
13	7,9 ± 0,3	12,8 ± 0,5	15,1 ± 0,4	15,7 ± 0,6
15	12,7 ± 0,3	19,3 ± 0,8	19,5 ± 0,6	21,1 ± 1,0
17	16,6 ± 0,9	20,1 ± 0,7	21,1 ± 0,8	24,0 ± 0,8
20	19,9 ± 0,6	26,8 ± 1,1	28,7 ± 1,2	32,0 ± 1,3
3000 ot./min.				
0	4,3 ± 0,2	5,9 ± 0,2	7,8 ± 0,3	10,4 ± 0,4
1	3,7 ± 0,0	4,8 ± 0,1	5,0 ± 0,1	7,4 ± 0,3
3	3,2 ± 0,1	4,7 ± 0,2	6,6 ± 0,3	8,7 ± 0,2
5	5,5 ± 0,2	9,1 ± 0,3	10,6 ± 0,5	11,7 ± 0,6
7	5,4 ± 0,2	9,6 ± 0,4	11,0 ± 0,5	12,0 ± 0,4
9	6,9 ± 0,2	12,8 ± 0,5	13,9 ± 0,5	16,9 ± 0,6
11	7,0 ± 0,4	13,0 ± 0,6	15,7 ± 0,9	18,2 ± 0,8
13	12,3 ± 0,3	16,8 ± 0,5	22,0 ± 0,7	26,9 ± 1,1
15	20,8 ± 0,8	23,6 ± 1,1	24,8 ± 1,2	27,5 ± 1,0
17	24,9 ± 0,8	29,1 ± 0,9	29,2 ± 1,2	37,1 ± 1,1
20	41,7 ± 1,9	43,1 ± 1,8	51,0 ± 2,1	55,4 ± 2,3

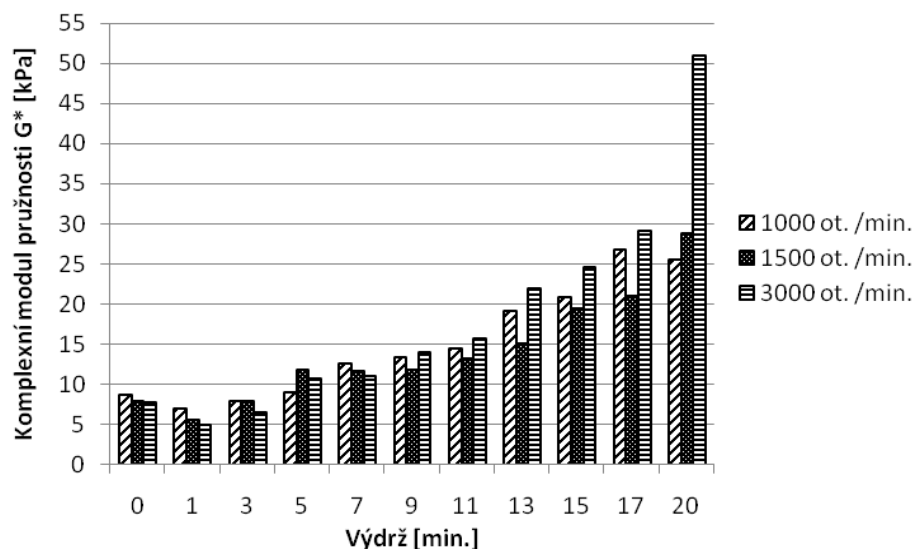
Tab. č. 2: Hodnoty interakčního faktoru ( $z$ ; -) modelových vzorků tavených sýrů po 1, 14, 30 a 60 dnech skladování uvedeny pro jednotlivé rychlosti míchání a délky výdrže.

Výdrž	Dny skladování			
	1	14	30	60
<b>1000 ot./min.</b>				
0	5,8 ± 0,2	7,2 ± 0,3	8,6 ± 0,4	9,1 ± 0,3
1	4,2 ± 0,0	7,1 ± 0,1	7,1 ± 0,1	7,3 ± 0,1
3	4,0 ± 0,1	7,3 ± 0,3	8,0 ± 0,3	8,3 ± 0,1
5	5,5 ± 0,2	8,4 ± 0,3	9,1 ± 0,4	9,5 ± 0,4
7	7,6 ± 0,3	12,1 ± 0,3	12,6 ± 0,6	14,3 ± 0,6
9	8,1 ± 0,3	13,0 ± 0,4	13,3 ± 0,7	15,9 ± 0,5
11	9,9 ± 0,6	14,3 ± 0,7	14,6 ± 0,7	18,4 ± 0,5
13	10,1 ± 0,3	15,0 ± 0,7	19,1 ± 0,6	19,3 ± 1,1
15	16,4 ± 0,8	20,6 ± 0,8	20,8 ± 0,8	29,8 ± 1,4
17	19,4 ± 0,6	22,3 ± 1,1	26,6 ± 0,9	30,1 ± 1,0
20	21,7 ± 0,9	24,3 ± 1,1	25,4 ± 1,0	32,1 ± 1,3
<b>1500 ot./min.</b>				
0	4,6 ± 0,2	7,1 ± 0,3	8,0 ± 0,3	8,2 ± 0,3
1	3,6 ± 0,1	5,6 ± 0,2	5,7 ± 0,2	5,9 ± 0,1
3	3,7 ± 0,2	6,6 ± 0,3	8,0 ± 0,1	8,8 ± 0,3
5	6,3 ± 0,3	9,1 ± 0,3	12,2 ± 0,5	12,2 ± 0,4
7	6,7 ± 0,3	10,7 ± 0,5	13,1 ± 0,5	12,4 ± 0,5
9	6,8 ± 0,3	10,8 ± 0,4	13,0 ± 0,5	13,7 ± 0,5
11	7,4 ± 0,3	10,9 ± 0,5	13,7 ± 0,7	14,1 ± 0,5
13	7,9 ± 0,3	12,8 ± 0,5	15,1 ± 0,4	15,7 ± 0,6
15	12,7 ± 0,3	19,3 ± 0,8	19,5 ± 0,6	21,1 ± 1,0
17	16,6 ± 0,9	20,1 ± 0,7	21,1 ± 0,8	24,0 ± 0,8
20	19,9 ± 0,6	26,8 ± 1,1	28,7 ± 1,2	32,0 ± 1,3
<b>3000 ot./min.</b>				
0	4,3 ± 0,2	5,9 ± 0,2	7,8 ± 0,3	10,4 ± 0,4
1	3,7 ± 0,0	4,8 ± 0,1	5,0 ± 0,1	7,4 ± 0,3
3	3,2 ± 0,1	4,7 ± 0,2	6,6 ± 0,3	8,7 ± 0,2
5	5,5 ± 0,2	9,1 ± 0,3	10,6 ± 0,5	11,7 ± 0,6
7	5,4 ± 0,2	9,6 ± 0,4	11,0 ± 0,5	12,0 ± 0,4
9	6,9 ± 0,2	12,8 ± 0,5	13,9 ± 0,5	16,9 ± 0,6
11	7,0 ± 0,4	13,0 ± 0,6	15,7 ± 0,9	18,2 ± 0,8
13	12,3 ± 0,3	16,8 ± 0,5	22,0 ± 0,7	26,9 ± 1,1
15	20,8 ± 0,8	23,6 ± 1,1	24,8 ± 1,2	27,5 ± 1,0
17	24,9 ± 0,8	29,1 ± 0,9	29,2 ± 1,2	37,1 ± 1,1
20	41,7 ± 1,9	43,1 ± 1,8	51,0 ± 2,1	55,4 ± 2,3

Z Obr. 6 a 7 je možné pozorovat nejvýraznější vzestup  $G^*$  v prvních 30 dnech skladování u vzorků vyrobených při použití rychlosti míchání 3000 ot./min. v porovnání s nižšími použitými rychlostmi míchání.

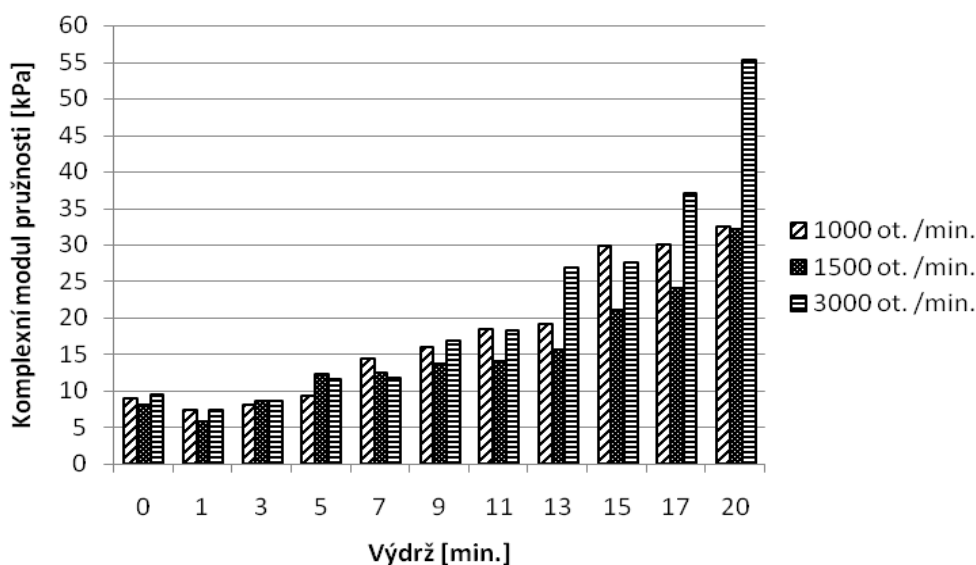


Obrázek 6: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 1. den skladování.



Obr. č. 7: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 30. den skladování.

Literatura uvádí, že změna rychlosti otáček ovlivňuje konzistenci tavených sýrů. Redlinger [62] konstatuje navyšující rychlost míchání jako proces vedoucí k intenzivnějšímu rozrušení proteinové matrice a ke zvýšení počtu nových center pro zabudování tukových kuliček, které se po čase výroby distribuují do menších útvarů. Tyto interakce mají za následek zvýšení pevnosti a dodávají tak nově vytvořené síti vyšší soudržnost. Ke stejným závěrům, tedy že s rostoucím počtem otáček se zvyšuje výsledná tuhost tavených sýrů, došel také Noronha a kol. [47]. Toto chování a zmíněné narůstání tuhosti je u rychlosti míchání 3000 ot./min. v porovnání s výrobami při 1000 ot./min. patrné z Obr. 7. Ke zvyšování tuhosti nedochází jen při vyšších rychlostech míchání, ale také při delším udržování tavicí teploty, tedy s prodlužující se dobou výdrže míchání. Spojení délky výdrže tavení a rychlostí míchání kombinuje dva faktory, které se při spojení umocňují a dochází tak k výraznému navýšení konzistence. Působení nejvyšší testované rychlosti míchání a nejdelší výdrže tavicí teploty daly vznik nejtěžším modelovým vzorkům, které si zachovaly nejvyšší hodnoty  $G^*$  po celou dobu skladování. Maximální hodnota  $G^*$  byla 55,2 kPa (Obr. 8).



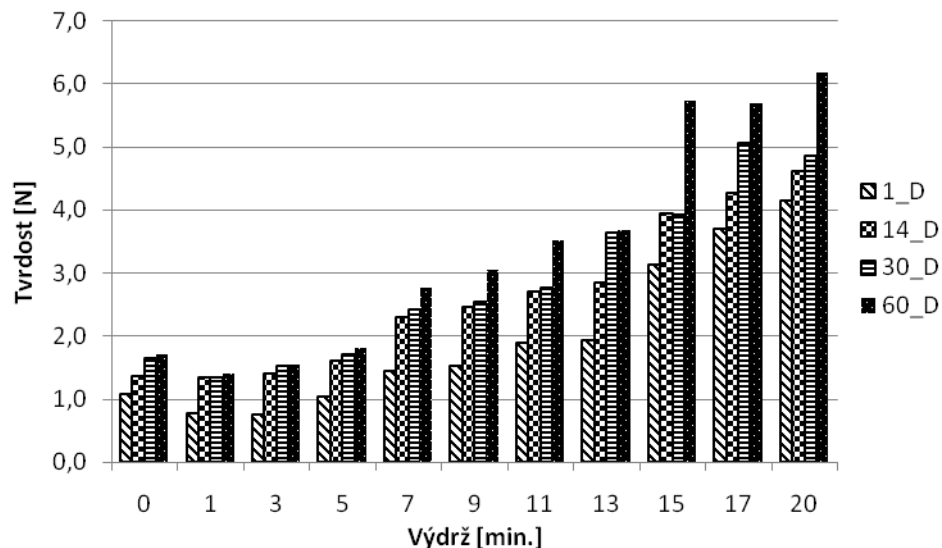
Obr. č. 8: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 60. den skladování.



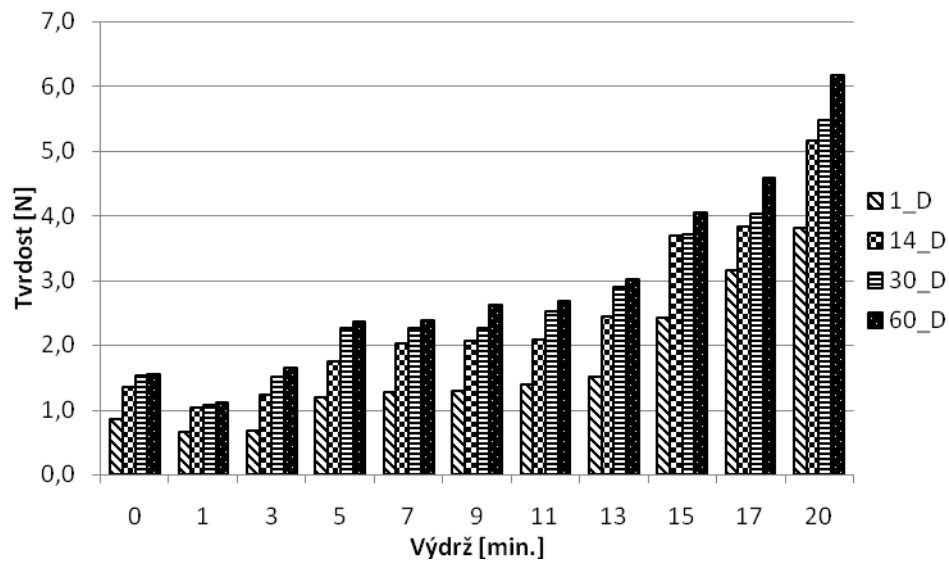
### 6.2.1.2 Výsledky texturní profilové analýzy

Texturní profilovou analýzou byly stanoveny tři základní vlastnosti modelových vzorků při penetrometrickém měření, a to tvrdost, kohezivnost a relativní lepivost. Průběh měření lze sledovat obecně ze zátěžové křivky (Obr. 2). Důležitou vlastností těchto testovaných modelových vzorků byla tvrdost, která je charakterizována jako maximální síla potřebná k deformaci produktu při první penetraci [63].

Porovnávání v rámci jednotlivých dnů skladování byly modelové vzorky vyrobené při jednotlivých rychlostech otáček a různé době výdrže. Vliv délky výdrže tavicí teploty na tvrdost modelových vzorků pro jednotlivé rychlosti míchání je v průběhu doby skladování uveden na Obr. 9–11.



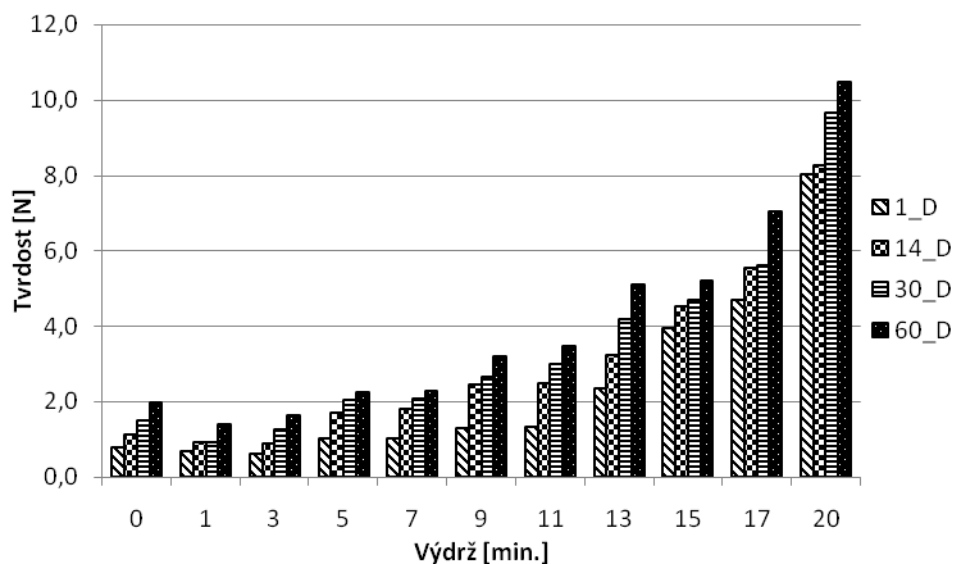
Obr. č. 9: Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 1000 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).



Obr. č. 10: Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 1500 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).

Trend klesající tvrdosti tavených sýrů při krátkých délkách výdrže tavicí teploty (0–3 minuty) je zřejmý u všech rychlostí míchání. V průběhu měření byl u modelových vzorků vyrobených při rychlosti míchání 1000 ot./min. (Obr. 9) sledován mírný pokles tvrdosti do 3 minut výdrže v 1. a 14. dni skladování. U měsíčního a dvou měsíčního (30 a 60 dní) skladování se pokles tvrdosti zastavil již v 1. minutě výdrže a s nárůstem délky výdrže následoval již nárůst tvrdosti jednotlivých vzorků. V tomto případě lze i usuzovat možný synergický vliv větší časové prodlevy při tavení s delším skladováním, jak popisují i studie Suthewattananonda a kol. [64] a Bowland & Foegeding [65]. Krémování taveného sýra a zvyšování jeho viskozity je dáno interakcemi působící právě na proteinovou matici a nárůst tvrdosti je výsledkem zesílení pomocí vodíkových můstků, disulfidických můstků, hydrofobních interakcí a reakcí vápníku interagujícího s emulgačními solemi [27, 30]. Vysvětlení mírné odlišnosti výsledků tvrdosti v porovnání s výsledky viskoelastických vlastností modelových vzorků tavených sýrů popsanych výše je rozsah použitých deformací v případě měření texturních (oblast velkých deformací) a viskoelastických vlastností (oblast malých deformací), které za jistých okolností mohou poskytovat mírně jiné trendy vývoje viskoelastických matic dané odlišnou odezvou materiálů na různé deformace. Právě z posledně zmíněného důvodu je vhodné chování materiálů zkoumat při různých rozsazích

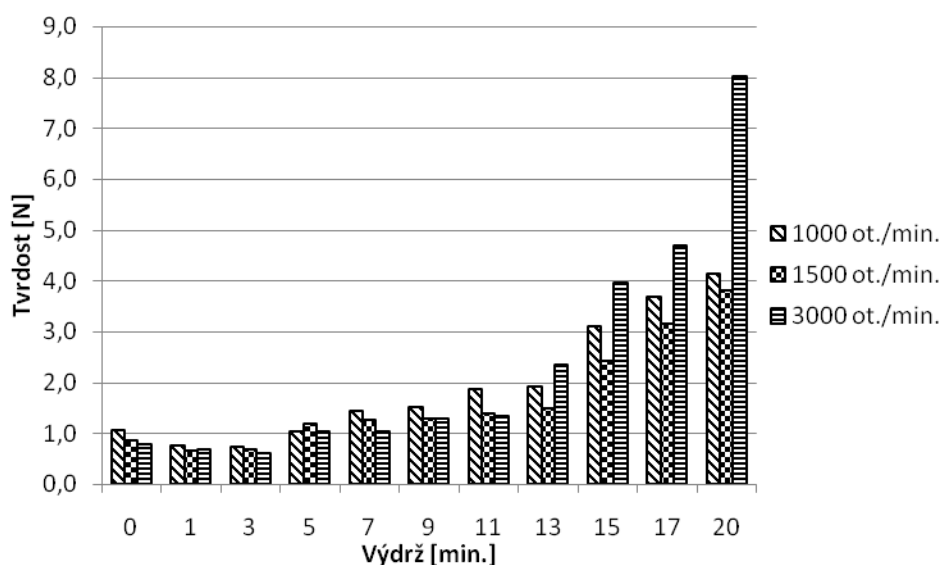
deformací. Obr. 11 zobrazující 3000 ot./min. ukazuje mírný pokles tvrdosti do 3. minuty výdrže tavicí teploty pro skladovací období 1. a 14. den. Tyto rozdíly nejsou statisticky významné ( $P > 0,05$ ), ovšem lze s jistotou konstatovat, že u nižší délky výdrže (1 minuta) nedošlo k tak intenzivnímu provázání jednotlivých komponent taveného sýra a k penetraci sondy do vzorku bylo zapotřebí menších sil pro překonání pevnosti materiálu. U rychlosti míchání 1500 ot./min. byl pokles tvrdosti sledován pouze do minutové výdrže a poté se zvyšující se dobou výdrže tvrdost vzorků rostla, což bylo pozorováno u analýz prováděných ve všech skladovacích dnech. Statisticky významný vliv ( $P < 0,05$ ) byl zaznamenán při porovnávání hodnot tvrdosti pro jednotlivé skladovací dny u rychlosti míchání 1500 ot./min., kdy během celé doby skladování došlo k významnému navýšení ( $P < 0,05$ ) tvrdosti mezi 1. a 20. minutou výdrže tavicí teploty (Obr. 10).



Obr. č. 11: Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 3000 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).

Obdobné zjištění bylo dosaženo u rychlosti míchání 3000 ot./min. ( $P < 0,05$ ), kdy se v celém rozsahu skladování tvrdost modelových vzorků významně zvýšila (Obr. 11). Kupříkladu se jednalo u 3000 ot./min. (mezi 3.. a 20. minutou výdrže) o nárůst hodnot tvrdosti vyjádřených v jednotkách síly [N] v 1. dni skladování z 0,03–0,21 N na hodnoty 0,06–0,38 N v 60. dni skladování. Vliv délky skladování na změny textury tavených sýrů zjistili i Awad a kol. [57] a Schär & Bosset [66]. Ovšem ne vždy s rostoucím počtem dnů

docházelo k získávání tužší konzistence, jak uvádějí některé studie. Khetra a kol. [67] otestovali účinek sýru mozzarella, jako suroviny, určené pro výrobu tavených sýrů. Sledování vlivu skladování bylo jimi zvoleno na nultý den, tedy v den výroby, dále na 7., 14., 21., 28., 35., 42., 49. a 56. den. Během skladování bylo měřeno i pH, které s nárůstem počtu dnů klesá, obdobně jako u testovaných modelových vzorků v této práci. S nárůstem délky skladování obdrželi klesající trend hodnot tvrdosti právě při použitém sýru mozzarella a možném působení dodaných sodných a draselných solí v různém poměru, které nejen ovlivnily texturu proteinové matrice, ale navíc draselné soli negativně ovlivnily organoleptické vlastnosti v důsledku vnesení hořké chuti do vzorků [67]. Naopak Salek a kol. [68] pozorovali nárůst tuhosti tavených sýrů vyrobených ze sýrů typu Mozzarella v průběhu skladování. Použití čedaru a vliv jeho zralosti na tavené sýry v průběhu skladování sledovali Brickley a kol. [69]. Studie uvádí růst texturních a viskoelastických vlastností tavených sýrů jako výsledek hodnot tvrdosti pro prodlužující se délku skladování. Růst hodnot tvrdosti byl zaznamenán do 28. dne skladování, kdy byla ukončena proteolýza čedaru a od tohoto skladovacího dne již nebyly zaznamenány vyšší hodnoty tvrdosti. Následné dny pak byly charakterizovány stagnací až mírným poklesem tvrdosti [69]. Námi vyrobené modelové vzorky u všech rychlostí použitých otáček s nárůstem délky skladování vykazovaly zvyšující pevnost textury a tím se hodnoty tvrdosti zvyšovaly.

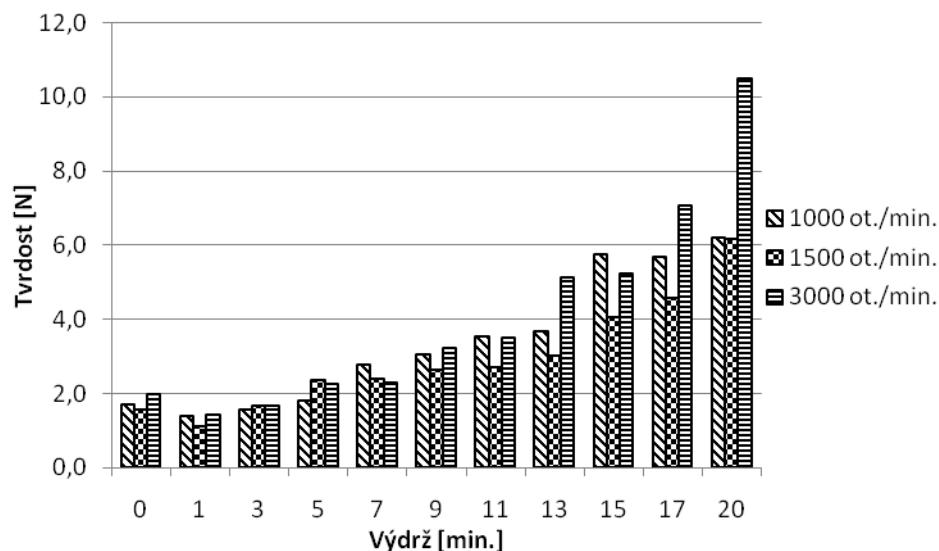


Obr. č. 12: Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 1. den skladování.

Vliv rychlosti míchání u texturní analýzy v průběhu skladování měl podobný profil jako u reometrického měření. U všech měřených otáček při tavení, v celém rozsahu stanovených dnů skladování, byl shodný trend jako u výsledků dynamické oscilační reometrie. Nárůst výdrže tavení do 3 minuty se potýkal opět se snižováním pevnosti testovaných modelových vzorků, respektive klesala jejich tvrdost. Závislost tvrdostí vzorků na stanovených délkách výdrží tavicí teploty při výrobě s jednotlivými rychlostmi otáček po prvním dni skladování znázorňuje Obr. 12. V průběhu výdrží byl statisticky významný vliv ( $P < 0,05$ ) v prvním dni skladování mezi 1500 ot./min. a 3000 ot./min., kde došlo k výraznému nárůstu pevnosti ve struktuře tavených sýrů. Po 14 dnech skladování (obrázek není prezentován) došlo k navýšení hodnot pevnosti a tím byla současně prokázána vyšší stabilita proteinové matrice v rámci rychlosti míchání. Analýza po 14 dnech ukázala stále signifikantní rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi rychlosti míchání 1500 a 3000 ot./min. Vliv otáček v prvním dni skladování měl statisticky významný vliv ( $P < 0,05$ ) nejen v texturních parametrech mezi otáčkami 1500 a 3000 ot./min., ale také v reologické analýze, kde navíc byla rozdílnost tuhosti ( $P < 0,05$ ) zaznamenaná i mezi 1000 a 3000 ot./min. v průběhu jednotlivých délek výdrží. Výsledky po 60. dni skladování jsou pro tvrdost uvedeny na Obr. 13. Z výsledků reologické a texturní analýzy lze konstatovat, že po dvouměsíčním skladování se výsledky obou

instrumentálních metod v rámci konzistence ve sledovaném rozsahu výdrží tavicí teploty statisticky významně neliší ( $P > 0,05$ ) a tedy, že obě instrumentální analýzy přinesly shodné závěry.

Průnik sondy modelovými vzorky byl s prodlužující délkou skladování stále více vystaven většímu odporu materiálu, díky narůstající kompatibilitě struktury vzorku. Pro průnik sondy matricí modelových vzorků bylo třeba vyvinout větší sílu. Zvyšující se hodnoty tvrdosti jsou viditelné na Obr. 12 a 13. Zároveň je možné pozorovat vliv rychlosti míchání na výslednou tvrdost modelových vzorků tavených sýrů. Zpočátku klesající tvrdost byla zaznamenána při všech použitých rychlostech míchání (1000, 1500, 3000 ot./min.), a to opět do tří minut výdrže tavicí teploty (Obr. 12). V případě vzorků analyzovaných po měsíci a současně i po dvou měsících skladování byl patrný pokles pouze u vzorků vyrobených bez výdrže tavicí teploty a s výdrží jedné minuty. U vzorků s výdrží tři minuty byl již zaznamenán, pro 30 a 60 dnů skladování, mírný nárůst tvrdosti, což může souviset s interakcemi v proteinové matici, které jsou vlivem prodlužující délky skladování pevnější a i vyšší minutové výdrže napomáhají vytvořit tužší texturu [31, 57]. Obdobné výsledky navyšující tuhosti uvádí i grafy z reologického měření, pro 30. a 60. den skladování, (Obr. 7 a 8) pro tytéž modelové vzorky s obsahem TVS 40 % (w/w).



Obr. č. 13: Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 60. den skladování.

Rychlosti otáček s narůstající délkou výdrže tavení (od 1 do 3 minut) navyšovaly tvrdost a tím i sílu potřebnou pro penetraci do vzorku. Grafy uvádějící působení otáček při 14. a 30. dni skladování nejsou v práci uvedeny, neboť průběh a trend již vyplývá z kontextu komentovaných výsledků. Odlišná působení nebyla při měření a vyhodnocování pozorována. Při všech rychlostech otáček docházelo jak při 14., tak i při 30. dnech skladování k nárůstu tvrdosti. Působení rychlosti míchání je důležitým parametrem a i bodem při výrobě tavených sýrů, jak ukazují výsledky prezentované na Obr. 6–8 z reologické analýzy a Obr. 12 a 13 z texturní analýzy. Glenn a kol. [46] prokázali jednoznačný vliv narůstajícího počtu otáček při tavení k navyšování viskozity vzorků tavených sýrů. Striktně porovnat chování našich modelových vzorků s výše citovanou studií nelze, neboť v jejich práci byly použity nižší rychlosti míchání (50, 100 a 150 ot./min.). Nižší rychlosti míchání 50 ot./min. až do 150 ot./min. ovlivňovaly viskozitu vzorků tak, že s rostoucími otáčkami narůstala i viskozita. Průběh navyšování sledovali Glenn a kol. [46] i z pohledu prodlužujícího se času tavení a dodává zpočátku mírný a postupně s delší dobou tavení postupný nárůst viskozity. Obdobně i parametr délky výdrže při tavení používá ve srovnání s našimi délkami držení v širším rozpětí. Rovněž doba výdrže se v Glennově práci liší od námi prováděného experimentu, neboť byly použity pouze desetiminutové intervaly (10, 20, 30 a 40 minut výdrže a tři tavicí teploty 74, 80 a 86 °C). Nebylo tedy možné zaznamenat působení vlivu kratší doby výdrže tavicí teploty. Proto byl zaznamenán jen souvislý nárůst viskozity v držení 10, 20, 30 a 40 minut [46].

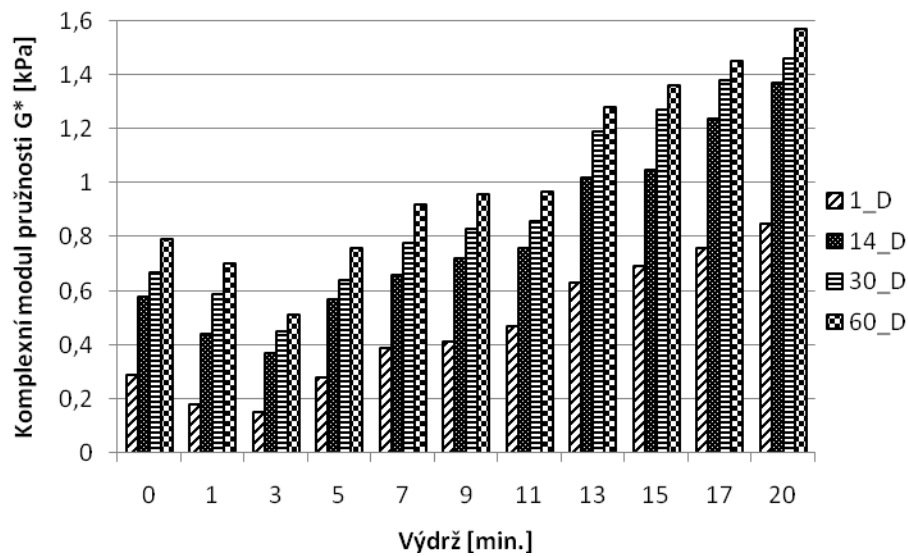
Texturní profilovou analýzou se testovala mimo tvrdost také i relativní lepivost a kohezivita. Relativní lepivost je charakterizována jako síla nutná pro překonání přitažlivosti mezi povrchem modelového vzorku a povrchem sondy (obecné znázornění – Obr. 2). Jak je z obrázku patrné, s velikostí poměru ploch křivky se zvyšuje lepivost, neboť k vytažení sondy ze vzorku je zapotřebí vykonat větší práci. U testovaných modelových vzorků rychlost míchání při tavení podstatně neovlivňovala relativní lepivost, a ta se po celou dobu skladování pohybovala ve všech vzorcích mezi hodnotami 0,475 – 0,489. Dalším testovaným parametrem byla kohezivita (soudržnost). Definovat lze tuto vlastnost jako sílu vnitřních vazeb uvnitř vzorku. Z průběhu zátěžové křivky (Obr. 2) je pak dána podílem ploch  $A_1/A_2$ . S narůstající hodnotou kohezivnosti jsou vazby silnější a sýr je soudržnější. Hodnoty kohezivnosti obdobně jako u měření relativní lepivosti se s otáčkami statisticky výrazně nelišily ( $P > 0,05$ ) a pohybovaly se v rozmezí 0,602 – 0,628 [70].

## 6.2.2 Modelové vzorky s obsahem sušiny 35 % (w/w) a TVS 50 % (w/w)

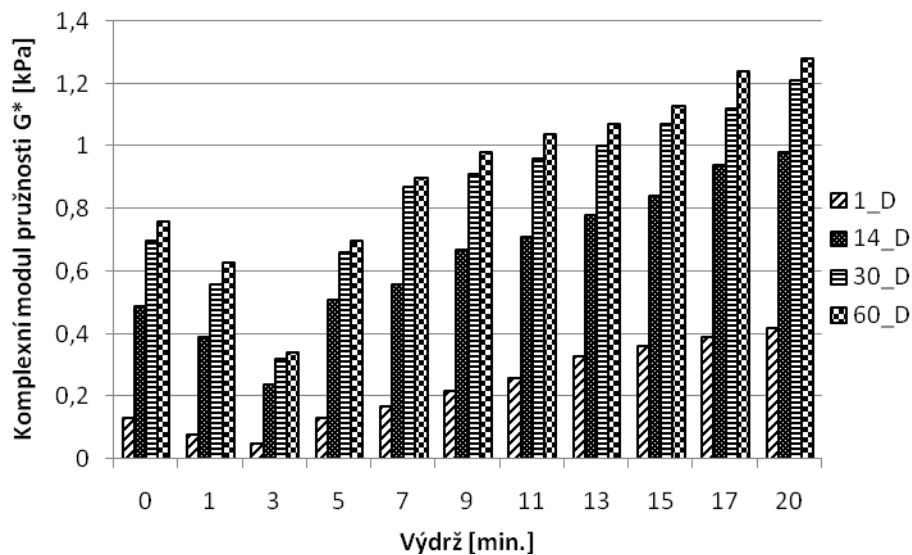
### 6.2.2.1 Výsledky dynamické oscilační reometrie

Navýšení tučnosti na obsah tuku v sušině 50 % (w/w) mělo výrazný vliv na trendy chování modelových vzorků při namáhání ve stanovené amplitudě smykového napětí. Zvýšení tuhosti však samozřejmě mělo podstatný vliv na absolutní hodnoty měřených parametrů. Hodnoty komplexního modulu pružnosti ve srovnání se vzorky tavených sýrů, které obsahovaly 40 % (w/w) tuku v sušině, vykazovaly několikanásobně nižší hodnoty. Vzorky tavených sýrů s vyšším obsahem tuku v sušině by dle Chanziantouniou a kol. [71] měly být měkčí, což potvrzuje i práce Černíkové a kol. [72], která sledovala pomocí elektronové skenovací mikroskopie velikost tukových kuliček a pomocí dynamické oscilační reometrie také viskoelastické vlastnosti tavených sýrů s obsahem 45% a 50 % TVS. Tuto myšlenku lze potvrdit závěry uvedenými v kapitole zabývající se vlivem rychlosti otáček, kde hodnoty komplexního modulu pružnosti tučnějších modelových vzorků (50 % (w/w) TVS) oproti méně tučným vzorkům (40 % (w/w) TVS) vykazovaly nižší hodnoty komplexního modulu pružnosti. Konzistenci v průběhu skladování vyjádřenou  $G^*$  prezentují Obr. 14–16, pro otáčky 1000, 1500 a 3000 ot./min. Pro rychlost míchání 1000 a 1500 ot./min. (Obr. 14 a 15) nebyl zaznamenán významný rozdíl ( $P > 0,05$ ) v hodnotách  $G^*$  mezi dny skladování. U rychlosti míchání 3000 ot./min. (Obr. 16) bylo zaznamenáno významné působení délek skladování ovlivňující konzistenci tavených sýrů.

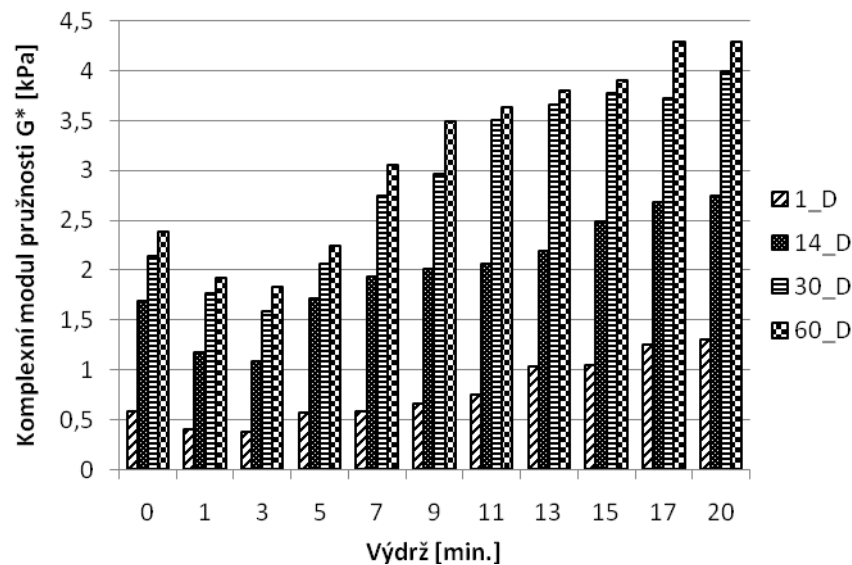




Obr. č. 14: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 1000 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).



Obr. č. 15: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 1500 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).



Obr. č. 16: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 3000 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).

Nejvyšší rychlost míchání (3000 ot./min.) dodala vzorkům tavených sýrů opět nejvyšší hodnoty tuhosti. Zde docházelo v rámci jednotlivých dnů skladování k důraznějšímu posílení tuhosti (Obr. 16). Vyrobené sýry při použitých otáčkách 3000 ot./min. se v konzistenčním chování výrazně lišily. Významný nárůst tuhosti ( $P < 0,05$ ) byl mezi 1. a 30. dnem skladování, a také mezi 1. a 60. dnem ( $P < 0,05$ ). Obdobné závěry, tedy že se zvyšující se délkou skladování roste tuhost tavených sýrů, byly prezentovány v práci Chaziantouniou a kol [71] a Schär & Bosset [66].

Pro další porovnání s modelovými vzorky obsahující 40 % (w/w) TVS jsou dodány hodnoty  $A_F$  a  $z$  v následujících tabulkách 3 a 4. Nejen, že je zde možné pozorovat vliv skladování pro jednotlivé rychlosti míchání, ale také to, jak dokáže vyšší obsah tuku v sušině (o 10 % (w/w)) pozměnit (ve srovnání s tabulkami 1 a 2) pevnost gelu ( $A_F$ ) a interakční faktor ( $z$ ).

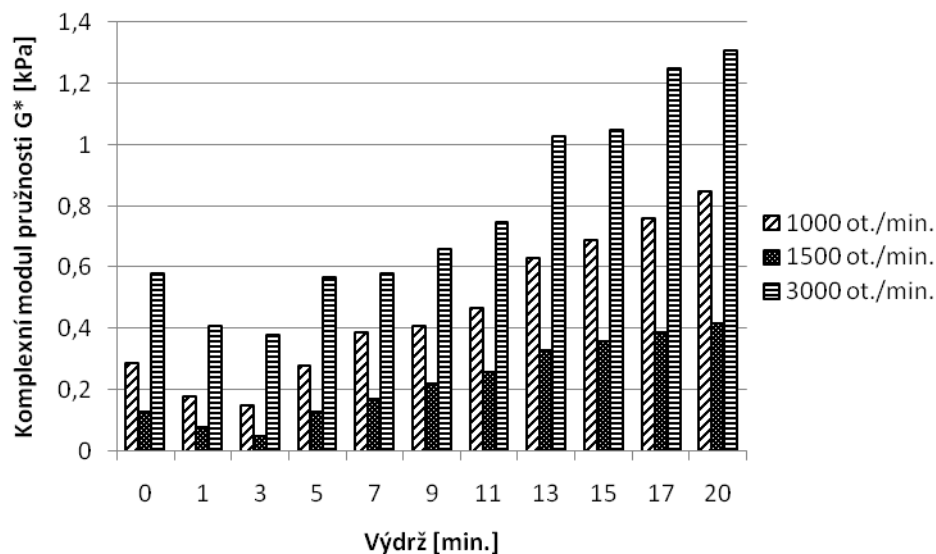
Tab. č. 3: Hodnoty pevnosti gelu ( $A_F$ ;  $kPa \cdot s^{1/2}$ ) tavených sýrů po 1, 14, 30 a 60 dnech skladování uvedeny pro jednotlivé rychlosti míchání a délky výdrže.

Výdrž	Dny skladování			
	1	14	30	60
1000 ot./min.				
0	0,30 ± 0,01	0,59 ± 0,03	0,69 ± 0,03	0,81 ± 0,03
1	0,19 ± 0,01	0,45 ± 0,02	0,61 ± 0,03	0,71 ± 0,04
3	0,15 ± 0,01	0,38 ± 0,02	0,46 ± 0,02	0,52 ± 0,02
5	0,29 ± 0,01	0,57 ± 0,03	0,66 ± 0,04	0,81 ± 0,03
7	0,40 ± 0,02	0,67 ± 0,04	0,80 ± 0,04	1,01 ± 0,05
9	0,43 ± 0,02	0,74 ± 0,04	0,85 ± 0,04	0,98 ± 0,05
11	0,49 ± 0,02	0,78 ± 0,04	0,87 ± 0,04	0,98 ± 0,05
13	0,65 ± 0,03	1,05 ± 0,05	1,20 ± 0,06	1,30 ± 0,06
15	0,70 ± 0,04	1,06 ± 0,05	1,30 ± 0,07	1,38 ± 0,06
17	0,78 ± 0,04	1,26 ± 0,06	1,41 ± 0,07	1,53 ± 0,08
20	0,87 ± 0,05	1,39 ± 0,06	1,48 ± 0,07	1,61 ± 0,09
1500 ot./min.				
0	0,13 ± 0,01	0,50 ± 0,03	0,71 ± 0,03	0,77 ± 0,04
1	0,08 ± 0,00	0,40 ± 0,02	0,59 ± 0,03	0,64 ± 0,04
3	0,06 ± 0,00	0,25 ± 0,01	0,33 ± 0,02	0,36 ± 0,02
5	0,14 ± 0,01	0,52 ± 0,03	0,67 ± 0,03	0,73 ± 0,03
7	0,18 ± 0,01	0,58 ± 0,03	0,89 ± 0,04	0,92 ± 0,05
9	0,23 ± 0,01	0,69 ± 0,03	0,91 ± 0,04	1,00 ± 0,05
11	0,27 ± 0,01	0,73 ± 0,04	0,97 ± 0,05	1,06 ± 0,06
13	0,34 ± 0,02	0,80 ± 0,04	1,01 ± 0,05	1,09 ± 0,07
15	0,37 ± 0,02	0,85 ± 0,04	1,09 ± 0,05	1,16 ± 0,07
17	0,40 ± 0,02	0,95 ± 0,05	1,15 ± 0,06	1,27 ± 0,07
20	0,43 ± 0,02	1,00 ± 0,05	1,24 ± 0,05	1,30 ± 0,06
3000 ot./min.				
0	0,59 ± 0,03	1,69 ± 0,10	2,15 ± 0,11	2,41 ± 0,12
1	0,41 ± 0,02	1,19 ± 0,06	1,77 ± 0,09	1,94 ± 0,09
3	0,39 ± 0,02	1,10 ± 0,05	1,62 ± 0,07	1,87 ± 0,10
5	0,58 ± 0,03	1,75 ± 0,09	2,08 ± 0,11	2,26 ± 0,13
7	0,59 ± 0,03	1,97 ± 0,10	2,77 ± 0,12	3,09 ± 0,16
9	0,67 ± 0,03	2,01 ± 0,11	3,00 ± 0,16	3,52 ± 0,18
11	0,76 ± 0,04	2,08 ± 0,07	3,56 ± 0,16	3,68 ± 0,19
13	1,05 ± 0,05	2,21 ± 0,12	3,69 ± 0,18	3,86 ± 0,19
15	1,06 ± 0,06	2,52 ± 0,12	3,83 ± 0,21	3,97 ± 0,22
17	1,27 ± 0,06	2,72 ± 0,12	3,78 ± 0,21	4,36 ± 0,22
20	1,32 ± 0,08	2,77 ± 0,12	4,04 ± 0,19	4,36 ± 0,26

Tab. č. 4: Hodnoty interakčního faktoru ( $z$ ; -) modelových vzorků tavených sýrů po 1, 14, 30 a 60 dnech skladování uvedeny pro jednotlivé rychlosti míchání a délky výdrže.

Výdrž	Dny skladování			
	1	14	30	60
<b>1000 ot./min.</b>				
0	3,99 ± 0,18	4,85 ± 0,22	5,65 ± 0,31	6,29 ± 0,37
1	3,14 ± 0,15	5,01 ± 0,25	4,58 ± 0,23	5,38 ± 0,32
3	2,89 ± 0,15	4,25 ± 0,25	4,02 ± 0,20	4,35 ± 0,25
5	3,60 ± 0,17	4,73 ± 0,21	5,22 ± 0,29	4,46 ± 0,24
7	4,50 ± 0,19	5,50 ± 0,31	5,62 ± 0,28	5,54 ± 0,25
9	4,80 ± 0,19	4,72 ± 0,22	5,93 ± 0,31	6,41 ± 0,35
11	4,66 ± 0,23	5,95 ± 0,30	5,78 ± 0,30	5,86 ± 0,28
13	4,44 ± 0,24	5,93 ± 0,28	6,47 ± 0,40	6,12 ± 0,33
15	5,39 ± 0,29	6,76 ± 0,31	6,31 ± 0,34	6,71 ± 0,38
17	5,36 ± 0,25	6,11 ± 0,30	5,88 ± 0,25	6,89 ± 0,39
20	4,69 ± 0,26	5,33 ± 0,27	5,86 ± 0,23	5,90 ± 0,31
<b>1500 ot./min.</b>				
0	2,94 ± 0,17	5,32 ± 0,23	5,53 ± 0,29	5,21 ± 0,26
1	2,38 ± 0,13	4,86 ± 0,24	4,77 ± 0,27	5,47 ± 0,30
3	2,06 ± 0,10	4,02 ± 0,20	4,41 ± 0,24	4,30 ± 0,26
5	3,08 ± 0,18	5,13 ± 0,30	5,39 ± 0,25	5,13 ± 0,24
7	3,36 ± 0,17	5,47 ± 0,27	5,80 ± 0,32	5,45 ± 0,27
9	3,93 ± 0,22	5,14 ± 0,29	6,39 ± 0,36	6,36 ± 0,31
11	3,96 ± 0,18	5,09 ± 0,30	5,67 ± 0,27	5,64 ± 0,23
13	4,44 ± 0,23	6,07 ± 0,31	6,43 ± 0,31	5,46 ± 0,28
15	3,70 ± 0,19	5,77 ± 0,28	4,90 ± 0,26	6,05 ± 0,32
17	4,67 ± 0,22	6,44 ± 0,32	5,98 ± 0,36	5,97 ± 0,29
20	3,99 ± 0,20	5,04 ± 0,29	6,73 ± 0,29	6,33 ± 0,31
<b>3000 ot./min.</b>				
0	4,07 ± 0,21	6,49 ± 0,33	7,13 ± 0,37	7,76 ± 0,39
1	3,90 ± 0,17	4,69 ± 0,25	6,41 ± 0,35	6,72 ± 0,30
3	3,41 ± 0,14	4,69 ± 0,23	6,53 ± 0,39	5,20 ± 0,27
5	3,63 ± 0,18	6,89 ± 0,35	5,56 ± 0,28	5,75 ± 0,36
7	4,84 ± 0,28	5,80 ± 0,34	6,24 ± 0,30	6,08 ± 0,26
9	5,00 ± 0,27	6,56 ± 0,38	6,17 ± 0,30	7,03 ± 0,28
11	5,50 ± 0,28	5,56 ± 0,32	6,81 ± 0,34	6,91 ± 0,26
13	4,89 ± 0,26	5,44 ± 0,26	5,31 ± 0,28	5,67 ± 0,29
15	5,65 ± 0,27	6,68 ± 0,45	5,96 ± 0,33	6,86 ± 0,31
17	5,16 ± 0,30	5,38 ± 0,23	7,13 ± 0,39	5,53 ± 0,30
20	5,24 ± 0,29	6,24 ± 0,32	5,17 ± 0,25	5,53 ± 0,29

Lee a kol. [73] a Černíková a kol. [72] se zabývali porovnáním přítomností a absencí tuku v tavených sýrech. Dodávají, že přítomnost tuku ve vzorcích při měření ovlivňuje konzistenci. Stejně tak se i v práci Lee a kol. [73] sledovalo chování vzorků tavených sýrů s prodlužující délkou výdrže. Parametr délky tavení sýrů se odlišuje s prací Lee a kol. [73], kteří testovali vliv výdrže tavicí teploty s desetiminutovými intervaly nárůstu délky tavení, čili zkoumány byly vzorky po 0, 10, 20, 30, 40 a 50-ti minutách výdrže tavicí teploty. Jak již bylo dříve zmíněno, s navyšující délkou výdrže při tavení, také rostla i tuhost výrobku [73]. Zjištěním naší práce byl fakt, že s rostoucí výdrží tavicí teploty 90 °C v rozmezí od 0 do 3 minut, docházelo k oslabení proteinové sítě, kdežto s dalším navyšováním doby výdrže tavicí teploty se tuhost vzorku zvyšovala. Uvedené výsledky byly potvrzeny jak měřením viskoelastických vlastností [72], tak také texturními parametry modelových tavených sýrů. Sledování chování viskozity tavených sýrů přineslo zjištění, že i nad 20-ti minutové držení docházelo k nárůstu hodnot viskozity, konkrétně tomu bylo mezi 20 – 30 minutami [73].

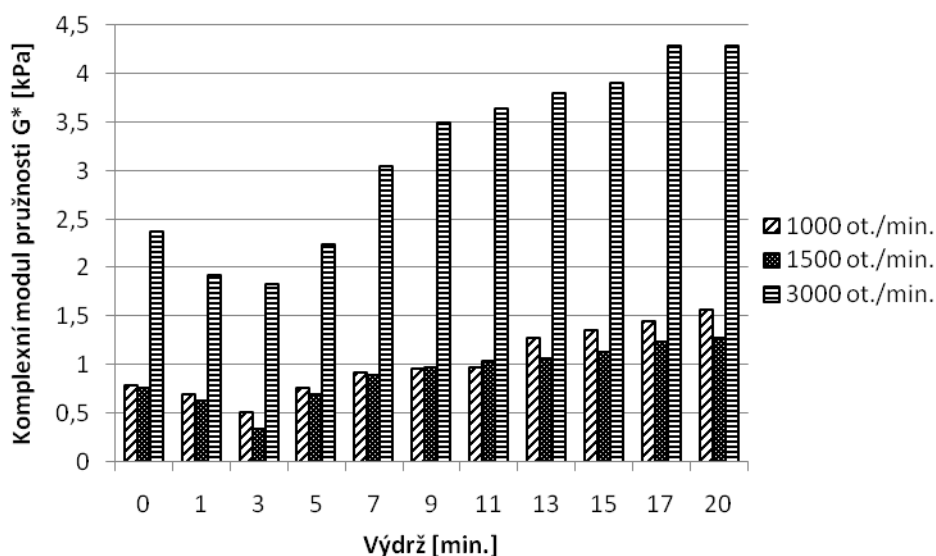


Obr. č. 17: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 1. den skladování.

Působení 0 – 20 minut při tavení a s ním i výsledky testování reologického měření modelových vzorků s obsahem tuku v sušině 50 % (w/w) po 1 dni od výroby je uvedeno

na Obr. 17. Z obrázku je patrné, že hodnoty komplexního modulu pružnosti jsou v porovnání s Obr. 6, který zobrazuje tentýž den skladování vzorky tavených sýrů s obsahem tuku v sušině 40 % (w/w), podstatně nižší.

Přítomnost tuku narušila kontinuitu různě propletené proteinové sítě a sýr se při namáhání chová poddajněji a má krémový až smetanový vzhled. Velikost tukových kuliček může být také ovlivněna rychlostmi otáček a také faktem, zda distribuce tuku v připravovaném množství taveného sýra je či není rovnoměrná. S menšími tukovými kuličkami se méně naruší proteinová matrice a struktura modelových vzorků je pevnější [47]. Rychlost míchání ovlivňovala tuhost tavených sýrů (komplexního modulu pružnosti) vzorků v rámci skladování, kde nárůst  $G^*$  je možné pozorovat v následujícím Obr. 18, pro dobu skladování 60 dnů.

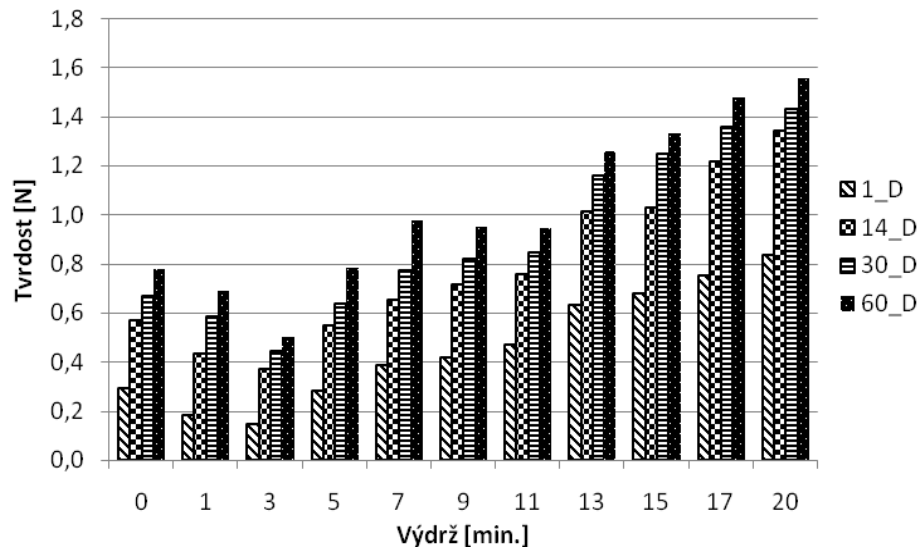


Obr. č. 18: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 60. den skladování.

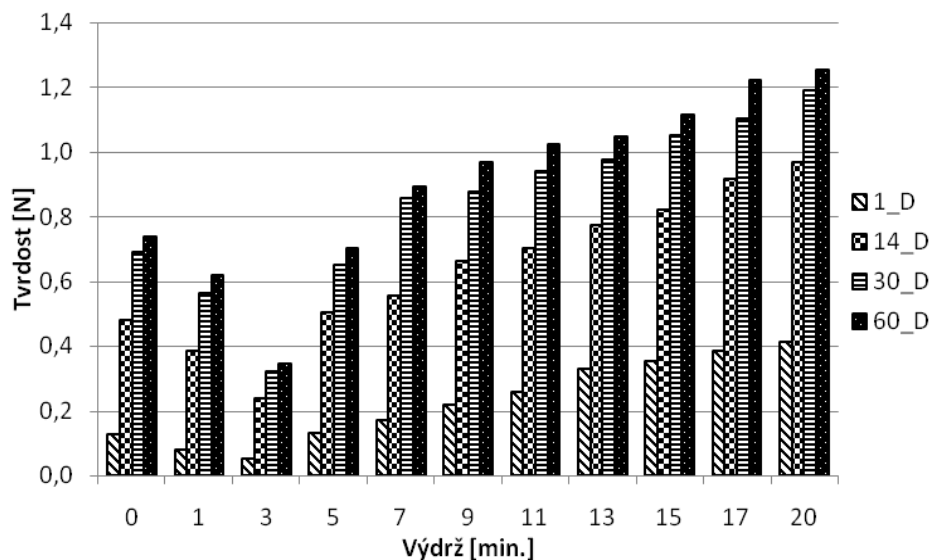
### 6.2.2.2 Výsledky texturní profilové analýzy

Výsledky texturní profilové analýzy a dynamické oscilační reometrie prokázaly shodné působení skladovacího procesu vedoucího k posílení a větší agregaci struktury tavených sýrů. Vliv testovaných skladovacích dnů při měřených otáčkách uvádí Obr. 19–21. Rych-

lost míchání podporuje tvorbu pevnější struktury tavených sýrů [46]. Rychlosti míchání použité v této práci však s tímto tvrzením nekorespondují v celém rozsahu, neboť jak bylo vícekrát řečeno, při rychlosti míchání 1500 ot./min. byla zaznamenána nižší tuhost ve srovnání se vzorky, kde byly aplikovány otáčky 1000 ot./min. (Obr. 19 a 20).



Obr. č. 19: Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 1000 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).



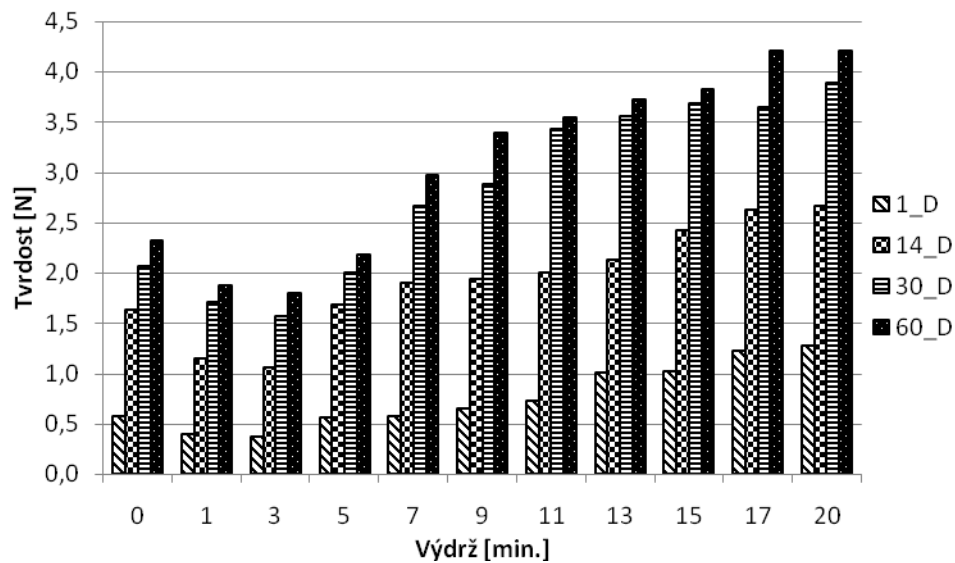
Obr. č. 20: Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 1500 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).

Výroba modelových vzorků spočívala v neměnné surovinové skladbě a v odlišném působení technologických parametrů. Proto odlišné texturní i viskoelastické vlastnosti modelových vzorků vyrobených při 1500 ot./min. nebylo dáno surovinovou skladbou, ale způsobem zpracování a faktory, působící při procesu tavení. Zdůraznění vlivu surovinové skladby popisuje právě Hladká a kol. [74], kde zejména použití přírodních sýrů a jejich stupně prozrálosti zásadně ovlivňuje texturní parametry vyrobených tavených sýrů. Zvolená kombinace přírodních sýrů v našich vyrobených vzorcích byla neměnná, a proto ovlivnění poklesu tvrdosti při otáčkách 1500 ot./min. (Obr. 20) nelze dát do souvislosti se změnou surovinové skladby, ale lze přičíst pouze nastaveným technologickým parametrům při výrobě a následným interakcím, které probíhaly nejen s nárůstem minutových výdrží, ale i s délkou skladování. Významně ( $P < 0,05$ ) byl nárůst tvrdosti zaznamenán mezi 1. dnem od výroby a až 30. dnem skladování. Stejně tomu bylo i v případě 1. a 60. dne skladování ( $P < 0,05$ ), kde bylo třeba při měření vyvinout ještě větší sílu pro proniknutí sondy do matrice taveného sýra.

Hodnoty tvrdosti byly u míchání 1000 ot./min. (Obr. 19) vyšší ve srovnání s 1500 ot./min. (Obr. 20). Obecně pokud tvrdíme, že posílení tuhosti je dáno prodlužující délkou skladování a vyšší minutovou výdrží (pomineme-li působení výdrže 0 – 3 minuty, kde oslabení proteinové matrice je pozorováno u všech vyrobených vzorků), pak možná odchylka ( $P < 0,05$ ) byla zaznamenána u vzorků vyrobených při 1000 ot./min. (Obr. 19). Vliv skladování 60 dnů mělo tendenci v délce držení 7, 9 a 11 minut mírného poklesu či stagnaci hodnot tvrdosti, ale i hodnot komplexního modulu pružnosti (Obr. 14).

Vliv délky skladování na tuhost vzorků měl opět od 3. minuty výdrže pro všechny otáčky dopad na nárůst tuhosti a konzistence tavených sýrů byla tedy s minutovými nárůsty (od 3. – 20. minuty) tužší, výjimkou bylo výše popsané působení 7 – 11 minuty (Obr. 19).

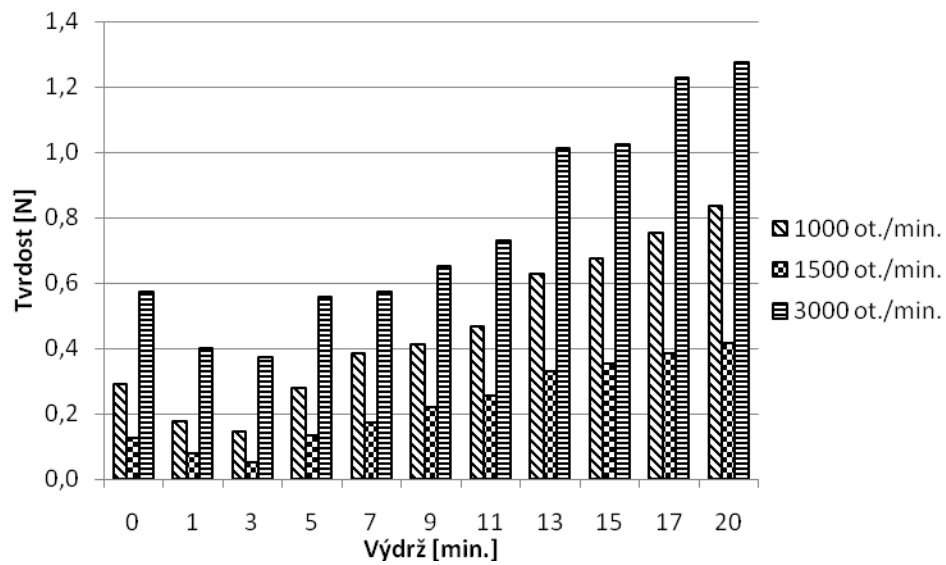




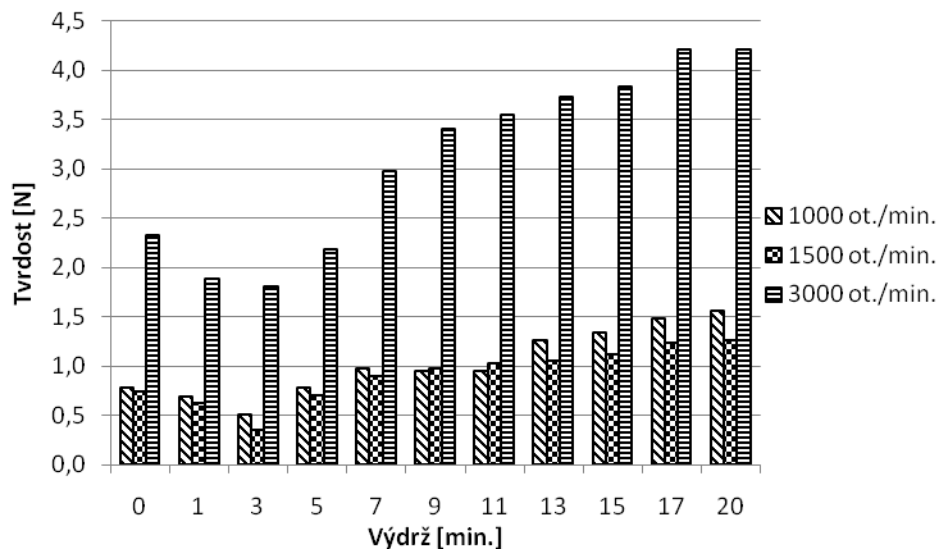
Obr. č. 21: Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 3000 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).

Narůstající dny skladování jsou i v případě nejvyšších použitých otáček u sady tučnějších modelových vzorků důvodem zvýšení tvrdosti. Mezi 1. a 30. dnem skladování se výrazně ( $P < 0,05$ ) posílila textura modelových vzorků a obdobně tomu bylo i u sledovaného měsíčního skladování ( $P < 0,05$ ), tedy mezi 1. a 60 dnem skladování.

Závislost tvrdosti tavených sýrů na rychlosti otáček a délce výdrže je ukázána na Obr. 22 (1. den skladování) a Obr. 23 (60 dnů skladování). Jako u výsledků z dynamické oscilační reometrie byly tavené sýry, které byly vyrobeny s využitím rychlosti otáček 1500 ot./min nejméně tuhé, následovaly vzorky s 1000 ot./min a nejtuzší byly produkty s 3000 ot./min ( $P < 0,05$ ). Tento trend byl vysledován po celé skladovací období.



Obr. č. 22: Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 1. den skladování.



Obr. č. 23: Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 60. den skladování.

## ZÁVĚR

V diplomové práci byl sledován vliv rychlosti míchání na konzistenci modelových vzorků tavených sýrů s odlišným zastoupením tuku v sušině, 40 % (w/w) a 50 % (w/w) TVS. Současně během nastavených rychlostí míchání (1000, 1500 a 3000 ot. /min.) bylo sledováno působení doby výdrže (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) tavicí teploty 90 °C. Konzistence tavených sýrů pak byla sledována v průběhu dvou-měsíčního skladování. Jednotlivé analýzy byly prováděny 1., 14., 30. a 60. den. Vyrobené tavené sýry byly nejdříve podrobeny chemické analýze, a to měření hodnot pH, stanovení obsahu sušiny a tuku v sušině. Poté byly pomocí instrumentálních metod zjišťovány viskoelastické a texturní vlastnosti modelových vzorků tavených sýrů v závislosti na použité rychlosti míchání a doby výdrže tavicí teploty. Vyhodnocen byl rovněž vliv délky skladování. Bylo zjištěno, že s prodlužující se délkou skladování se hodnoty tvrdosti i tuhosti tavených sýrů navyšovaly. U všech vzorků byl zaznamenán obdobný trend vlivu prodlužující se délky výdrže tavicí teploty na konzistenci tavených sýrů. Od 0. – 3. minuty výdrže klesaly hodnoty tvrdosti i tuhosti a následně od 3. – 20. minuty postupně docházelo ke zvyšování tuhosti i tvrdosti modelových vzorků. Porovnáním vzorků rozdílné tučnosti, je možné říci, že tavené sýry s vyšším obsahem tuku v sušině 50 % (w/w) byly měkkčí než vzorky se 40 % (w/w) TVS. Tento experiment přinesl v souvislosti s použitými rychlostmi míchání dosud nepopsané závěry. Prozatím publikované studie popisují působení navyšujících se otáček za minutu k postupnému zvyšování tuhosti tavených sýrů, stejně tak deklarují pouze zvyšování tuhosti tavených sýrů s prodlužující se dobou výdrže tavicí teploty. Z této práce vyplynul vliv rychlosti míchání na zvyšování tuhosti a tvrdosti tavených sýrů v následujícím pořadí 1500, 1000 a poté 3000 ot. /min. Další odborné práce by se mohly zabývat působením nižších rychlostí míchání na konzistenci tavených sýrů. Současně by bylo vhodné prostudovat působení kratších výdrží tavicí teploty, resp. zmenšit intervaly mezi jednotlivými výdržemi tavicí teploty a ještě blíže popsat procesy při výrobě tavených sýrů z hlediska vybraných procesních parametrů a jejich vlivu na konzistenci tavených sýrů.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] EDINSON, E. B. T., JOSÉ, U. S. V. & DIEGO A. R. M. Characterization of a processed cheese spread produced from fresh cheese (*Revista Facultad Nacional De Agronomia Medellin* [online]. 2016, vol. 69, no. 2, p. 8015. ISSN 03042847.
- [2] GAJDŮŠEK, S. *Mlékařství II*. 1. vyd. Brno: MZLU, 1998, s. 86 - 91. ISBN 80-7157-342-6.
- [3] LEE S. K. & SKELTE G. A. The effect of the pH at cooking on the properties of processed cheese spreads containing whey proteins. *Food Chemistry*, 2009, vol. 115, issue 4, p. 1373-1380. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.01.057.
- [4] MARCHESSEAU, S, GASTALDI, E., LAGAUDE, A. & CUQ, J. L. Influence of pH on protein interactions and microstructure of process cheese. *Journal of Dairy Science*, 1997, vol. 80, no. 8, p. 1483-1489.
- [5] BUŇKA, F. & KOPÁČEK, J. Mýty o tavených sýrech a jak proti nim argumentovat. *Potravinářská revue*, 2012, p. 28-31.
- [6] 100 let od zahájení výroby tavených sýrů. *Svět potravin* [online]. 2011 [cit. 2016-08-30]. Dostupné z: <http://www.svet-potravin.cz/clanek.aspx?id=2590>.
- [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] ANONYM. Vyhláška 77/2003 Sb., kterou se stanoví požadavky pro mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje, v platném znění.
- [9] PAVELKA A., *Mléčné výrobky pro vaše zdraví*. Brno: Littera 1996. ISBN 80 – 85763 09 5.
- [10] FORMAN, L. & STRMISKA, J. *Mlékárenství II*. 1. vyd., Praha: SNTL, 1984, 176 s.
- [11] 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. 2016-12-11]. Dostupné na: <http://www.accessdata.fda.gov/SCRIPTS/cdrh/cfdocs/cfCFR/CFRSearch.cfm?fr=133.10&SearchTerm=cheese>

- [12] SAMKOVÁ, E., HASONOVÁ, L., JOKLOVÁ, V. & JŮZL, M. Sýry a analogové výrobky – vývoj spotřeby a dotazníkové šetření. *Výživa a potraviny*. 2012, s. 3.
- [13] GUINEE, T. P., CARIĆ, M. & KALAB, M. *Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products*. Cheese: chemistry, physics and microbiology, 2004, vol. 2, p. 349-394.
- [14] BACHMANN, H. P. Cheese analogues: A review. *International Dairy Journal*, 2001, vol. 11, p. 505 – 515.
- [15] BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L. & KRÁČMAR, S. *Základní principy výroby tavených sýrů: Basic principles of processed cheese production : monografie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. ISBN 978-80-7375-336-8.
- [16] RANKEN, M. D., KILL, R. C. & BAKER, C. G. J. *Food Industries Manual*. 24.ed. Great Britain: Chapman & Hall, 1997, p. 653. ISBN 0-7514-0404-7.
- [17] ANONYM. Zákon č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů, v platném znění.
- [18] CARIĆ, M. & KALÁB, M. Processed cheese products. In: *Cheese: chemistry, physics and microbiology*. Springer US (ed. P. F. Fox), 2<sup>nd</sup>, vol. 2, Capman & Hall, London, 1993. p. 467-505.
- [19] BUŇKA, F. & HRABĚ, J. Tavené sýry. *Potravinářská revue*. 2006, vol. 3, s. 13-16.
- [20] KAMINARIDES, S. & STACHTIARIS, S. Production of processed cheese using kasseri cheese and processed cheese analogues incorporating whey protein concentrate and soybean oil. *International Journal of Dairy Technology*, 2000, vol. 53, n. 2, p. 69-74.
- [21] GUINEE, T. P. Pasteurized Processed Cheese Product. *Encyclopedia of Dairy Science*, 2003, vol. 1, 411-418. ISBN 0122272358.
- [22] TURNER, J. Developing processed cheese. *Dairy Field*, 2003, vol. 186, n. 3, s. 53. ISSN 10550607.
- [23] BUŇKA, F. & BUŇKOVÁ, L. Úloha tavicích solí při výrobě tavených sýrů. *Potravinářská Revue*. 2009, č. 1, [online]. p. 13-16. ISSN 1801-9102.

- [24] DARBY, R. *Chemical enegineering fluid mechanics*.1996, New York, Basel, Hong Kong; Marcel Dekker, Inc.
- [25] ČEPIČKA, J. *Obecná potravinářská technologie*. 1. vyd., Praha: VŠCHT, 1995, s. 246. ISBN 80-7080-239-1.
- [26] KADLEC, P. a kol. *Technologie potravin II*. 1. vyd., Praha: VŠCHT, 2002, 236 s. ISBN 80-7080-510-2.
- [27] MULSOW, B. B., JAROS, D. & ROHM, H. *Processed Cheese and Cheese Analogues.. Structure of Dairy Products*, 1<sup>st</sup> ed. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 2007. p. 210-235.
- [28] PLOCKOVÁ, M. & BŘEZINA, P. *Mikrobiologie mléka a tuků*. Praha: MON, 1988, 228 s.
- [29] ZEHREN, V. L. & NUSBAUM, D. D. *Processed Cheese*, 2000, *Cheese Reporter Publishing Company. Inc.*, 2<sup>nd</sup> ed., Madison, WI. p. 364.
- [30] KAPOOR, R. & METZGER, L E. *Process Cheese: Scientific and Technological Aspects — A Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 2008, vol. 7, n. 2, p. 194-214 [cit. 2016-09-25]. ISSN 1541-4337.
- [31] 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*, vol. 43, 2010, p. 1220–1225. ISSN 0023K6438.
- [32] GAJDŮŠEK S. *Mlékařství II*. Vyd. MZLU Brno, 2002. ISBN 80-7157-342-6, 135 s.
- [33] NAGYOVÁ, G., BUŇKA, F., SALEK, R. N., ČERNÍKOVÁ, M., BAČOVÁ, H. & S. KRÁČMAR. The Effect of Individual Phosphate Emulsifying Salts and their Selected Binary Mixtures on Hardness of Processed Cheese Spreads. *Scientific Journal for Food Industry*, 2013, vol. 7, p. 191-196.
- [34] 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 selectes textural properties of spreadable processed cheese. *International Dairy Journal*. 2015. vol. 44, p. 37-43.

- [35] SHIRASHOJI, N., JAEGGI, J. J. & LUCEY, J. A. Effect of Trisodium Citrate Concentration and Cooking Time on the Physicochemical Properties of Pasteurized Process Cheese. *J. Dairy Science*. 2006, vol. 89, no. 1, p. 15-28.
- [36] ANONYM. Nařízení Evropského Parlamentu a Rady č. 1333/2008 o potravinářských přídatných látkách, v platném znění.
- [37] ANONYM. Vyhláška č. 4/2008 Sb., kterou se stanoví druhy a podmínky použití přídatných látek a extrakčních rozpouštědel při výrobě potravin, v platném znění.
- [38] JOHNSON, M. E., KAPOOR, R., McMAHON, D. J., McCOY, D. R. & NARASIMMON, R. G. Reduction of sodium and fat levels in natural and processed cheeses: scientific and technological aspects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2009, vol. 8, n. 3, p. 252-268.
- [39] *Veselá kráva® Lahodná bez E* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.veselakrava.cz/aktuality/nazev-aktuality-s-dlouhym-nazvem-01/>.
- [40] 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*, 2010, vol. 20, n. 5, p. 336-343.
- [41] 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*, 2014, vol. 55, n. 2, p. 650-656.
- [42] DIMITRELI, G. & THOMAREIS, A. S. Effect of temperature and chemical composition on processed cheese apparent viscosity. *Journal of Food Engineering*, 2004, vol. 64, n. 2, p. 265-271.
- [43] GARIMELLA P. S. K., POLLARD, A. & METZGER, L. E. Effect of Formulation and manufacturing Parameters on Process Cheese Food Functionality – I. Trisodium Citrate. *J. Dairy Science*, 2006, vol. 89, no. 7, p. 2386-2396.
- [44] MIZUNO, R. & LUCEY J. A. Properties of Milk Protein Gels Formed by Phosphates. *Journal of Dairy Science*. 2007, vyd. 90, č. 10, s. 4524-4531. DOI: 10.3168/jds.2007-0229.

- [45] SWENSON, B. J., WENDORFF, W. L. & LINDSAY, R. C. Effects of ingredients on the Functionality of Fat-free Process Cheese Spreads. *J. Food Science*. 2000, vol. 65, no. 5, p. 822-825.
- [46] GLENN, T. A., DAUBERT, C. R., FARKAS, B. E. & STEFANSKI, L. A. A statistical analysis of creaming variables impacting process cheese melt quality. *J Food Quality*. 2003, vol. 26, p. 299–321.
- [47] 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, vol. 226, n. 3, p. 385-393.
- [48] 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*, 2004, vol. 61, n. 4, p. 551-555.
- [49] WEISEROVÁ, E., DOUDOVÁ, L., GALIOVÁ, L., ŽÁK, L., MICHÁLEK, J., JANIŠ, R. & BUŇKA, F. The effect of combinations of sodium phosphates in binary mixtures on selected texture parameters of processed cheese spreads. *International Dairy Journal*, 2011, vol. 21, p. 979 – 986.
- [50] ANONYM. ČSN EN ISO 5534:2005, Sýry a tavené sýry – Stanovení obsahu celkové sušiny (Referenční metoda). Praha: Český normalizační institut.
- [51] DAVÍDEK, J. a kol. *Laboratorní příručka analýzy potravin*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1997. 720 s.
- [52] ANONYM. ČSN ISO 3433 (57 1009):2010, Sýry – Stanovení obsahu tuku – Van Gulikova metoda. Praha: Český normalizační institut.
- [53] CHEN, J. Food Oral Processing –A Review. *Food Hydrocolloids* [online]. 2009, roč. 23, č. 1, s. 1-25 [cit. 2017-03-27]. ISSN 0268-005X.
- [54] GABRIELE, D., de CINDIO, B., & D'ANTONA, P. A weak gel model for foods. *Rheologica Acta*, 2001, vol. 40, p. 120 – 127.
- [55] CARIĆ, M., GANTAR, M. & KALÁB, M. Effects of emulsifying agents on the microstructure and other characteristics of process cheese - a review. *Food Structure*, 1985, vol. 4, n. 2, p. 13.



- [56] 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.
- [57] AWAD, R. A., ABDEL-HAMID, L. B., EL-SHABRAWY, S. A. & SINGH, R. K. Texture and Microstructure of Block Type Processed Cheese with Formulated Emulsifying Salt Mixtures. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2002, vol. 35, n. 1, p. 54-61.
- [58] DIMITRELI, G. & THOMAREIS, A. S. Instrumental textural and viscoelastic properties of processed cheese as affected by emulsifying salts and in relation to its apparent viscosity. *International Journal of Food Properties*, 2009, vol. 12, p. 261 – 275.
- [59] NAGYOVÁ, G., BUŇKA, F., SALEK, R. N., ČERNÍKOVÁ, M., MANČÍK, P., GRŮBER T. & KUCHAR, D. Usage of sodium polyphosphates with different linear length in the production of spreadable processed cheese. *Journal of Dairy Science*, 2014, vol. 97, p. 111 – 122.
- [60] SHIRASHOJI, N., JAEGGI, J. J. & LUCEY, J. A. Effect of sodium hexametaphosphate concentration and cooking time on the physicochemical properties of pasteurized process cheese. *Journal of Dairy Science*, 2010, vol. 93, p. 2827 – 2837.
- [61] 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*, vol. 228, 2008, p. 223–229. ISSN 1438K2385.
- [62] REDLINGER, P. A. Appearance. *Encyclopedia of Food Science, Food Technology and Nutrition*. Academic Press, San Diego, C. A.; 1993, p. 4054–4059.
- [63] BOURNE, M. C. *Food texture and viscosity concept and measurement*. 2<sup>nd</sup> ed. San Diego: Academic Press, 2002. ISBN 9780080491332.
- [64] SUTHEERAWATTANANONDA, M., FULCHER, R., MARTIN F. B., & BASTIAN, E. D. Fluorescence image analysis of process cheese manufactured with trisodium citrate and sodium chloride. *Journal of Dairy Science*, 1997, vol. 80, p. 620 -627.
- [65] BOWLAND, E. L. & FOEGEDING, E. A. Factors determining large-strain (fracture) rheological properties of model processed cheese. *Journal of Dairy Science*, 1999, vol. 82, p. 1851 – 1859.

- [66] SCHÄR, W. & BOSSET, J. O. Chemical and Physicochemical Changes in Processed Cheese and Ready-made Fondue during Storage. A Review. *LWT Food Science and Technology-Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. 2002, vol. 35, n. 1, p. 15-20.
- [67] KHETRA, Y., CHAVHAN, G. B., KANAWJIA, S. K., & PURI, R. Storage changes in low sodium-processed Mozzarella cheese prepared using potassium-based emulsifying salts. *Dairy Science and Technology*, 2015, vol. 95, p. 639-649.
- [68] SALEK, R. N., ČERNÍKOVÁ, M., PACHLOVÁ, V., BUBELOVÁ, Z., KONEČNÁ V. & BUŇKA, F. Properties of spreadable processed Mozzarella cheese with divergent compositions of emulsifying salts in relation to the applied cheese storage period. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, vol. 77, p. 30-38.
- [69] BRICKLEY, C. A., AUTY, M. A. E., PIRAINO, P. & Mc SWEENEY, P. L. H. The Effect of Cheddar Cheese Ripening on the Functional and Textural Properties of the Processed Cheese Manufactured Therefrom. *J. Food Science.*, 2007, vol. 72, n. 9, p. 483-490.
- [70] MUIR, M. E., TAMIME, A. Y., SHENANA, 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*. vol. 32, n. 1, 1999. p. 50 – 59. ISSN 0023-6438.
- [71] CHATZIANTONIOU, S. E.; THOMAREIS, A. S. & KONTOMINAS, M. G. Effect of chemical composition on physico-chemical, rheological and sensory properties of spreadable processed whey cheese. *European Food Research and Technology*, 2015, vol. 241, n. 6, p. 737-748.
- [72] 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*, 2017, vol. 66, p. 84-90.
- [73] LEE, S. K., BUWALDA, R. J., EUSTON, S. R., FOEGEDING, E. A. & McKENNA, A. B. Changes in the rheology and microstructure of processed cheese during cooking. *LWT-Food Science and technology*, 2003, vol. 36, n. 3, p. 339-345.

- [74] HLADKÁ, K., RANDULOVÁ, Z., TREMLOVÁ, B., MANČÍK, P., ČERNÍKOVÁ, M. & BUŇKA, F. Pevnost tavených sýrů vyrobených bez tradičních tavicích solí. 2011. *Mlékařské listy*, č. 12, s. 3.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

TVS	Obsah tuku v sušině
$G'$	Elastický modul pružnosti (modul ve smyku)
$G''$	Ztrátový modul pružnosti
$G^*$	Komplexní modul pružnosti
$A_F$	Pevnost (síla) gelu
$z$	Interakční faktor

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1: Chemická reakce výměny $Ca^{2+}$ iontů za $Na^+$ ionty při procesu tavení ( $A$ – anion tavicí soli, $SER$ – serinové zbytky, $NaA$ – tavicí sůl obsahující sodný kation, $CaA$ – tavicí sůl s navázaným vápenatým kationtem) .....	12
Obr. č. 2: Obecné znázornění průběhu texturní profilové analýzy (závislost síly na čase). Použité symboly a texturní parametry vyplývající z průběhu testu: tvrdost: $F_1$ , soudržnost (kohezivita): $A_2/A_1$ , relativní lepivost: $A_3/A_1$ .....	25
Obrázek 3: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 1000 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den). .....	29
Obr. č. 4: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 1500 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den). .....	30
Obr. č. 5: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 3000 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den). .....	30
Obrázek 6: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 1. den skladování. ....	33
Obr. č. 7: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 30. den skladování. ....	33
Obr. č. 8: Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 60. den skladování. ....	34

- Obr. č. 9: *Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 1000 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).* ..... 35
- Obr. č. 10: *Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 1500 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).* ..... 36
- Obr. č. 11: *Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 3000 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).* ..... 37
- Obr. č. 12: *Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 1. den skladování.* ..... 39
- Obr. č. 13: *Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 60. den skladování.* ..... 40
- Obr. č. 14: *Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 1000 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).* ..... 43
- Obr. č. 15: *Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 1500 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).* ..... 43
- Obr. č. 16: *Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 3000 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).* ..... 44
- Obr. č. 17: *Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 1. den skladování.* ..... 47
- Obr. č. 18: *Závislost komplexního modulu pružnosti ( $G^*$ ) tavených sýrů stanoveného při frekvenci 1 Hz na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a*

20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 60. den skladování.....	48
Obr. č. 19: Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 1000 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).....	49
Obr. č. 20: Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 1500 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).....	49
Obr. č. 21: Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) při použití rychlosti míchání 3000 ot./min. v průběhu 60-denního skladování (1., 14., 30. a 60. den).....	51
Obr. č. 22: Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 1. den skladování.....	52
Obr. č. 23: Závislost tvrdosti tavených sýrů na délce výdrže tavicí teploty (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 a 20 minut) pro testované rychlosti otáček (1000, 1500 a 3000 ot./min.) pro 60. den skladování.....	52

**SEZNAM TABULEK**

Tab. č. 1: <i>Hodnoty pevnosti gelu (<math>A_F</math>; <math>kPa \cdot s^{1/z}</math>) tavených sýrů po 1, 14, 30 a 60 dnech skladování uvedeny pro jednotlivé rychlosti míchání a délky výdrže.....</i>	31
Tab. č. 2: <i>Hodnoty interakčního faktoru (<math>z</math>; -) modelových vzorků tavených sýrů po 1, 14, 30 a 60 dnech skladování uvedeny pro jednotlivé rychlosti míchání a délky výdrže.....</i>	32
Tab. č. 3: <i>Hodnoty pevnosti gelu (<math>A_F</math>; <math>kPa \cdot s^{1/z}</math>) tavených sýrů po 1, 14, 30 a 60 dnech skladování uvedeny pro jednotlivé rychlosti míchání a délky výdrže.....</i>	45
Tab. č. 4: <i>Hodnoty interakčního faktoru (<math>z</math>; -) modelových vzorků tavených sýrů po 1, 14, 30 a 60 dnech skladování uvedeny pro jednotlivé rychlosti míchání a délky výdrže.....</i>	46



## SEZNAM PŘÍLOH

**PŘÍLOHA P I:** PUBLIKACE – INTERNATIONAL DAIRY JOURNAL  
(ČERNÍKOVÁ A KOL., 2017)

# PŘÍLOHA I: PUBLIKACE – INTERNATIONAL DAIRY JOURNAL (ČERNÍKOVÁ A KOL., 2017)

International Dairy Journal 66 (2017) 84–90



Contents lists available at ScienceDirect

International Dairy Journal

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/idairyj](http://www.elsevier.com/locate/idairyj)



## The effect of selected processing parameters on viscoelastic properties of model processed cheese spreads



Michaela Černíková<sup>a</sup>, Richardos Nikolaos Salek<sup>a</sup>, Dana Kozáčková<sup>a</sup>, Hana Běhalová<sup>b</sup>,  
Ludmila Luňáková<sup>b</sup>, František Buňka<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Food Technology, Faculty of Technology, Tomas Bata University in Zlín, T.G. Masaryka 5555, 760 01, Zlín, Czech Republic

<sup>b</sup> Department of Plant Origin Foodstuffs Hygiene and Behaviour, Faculty of Veterinary Hygiene and Ecology, University of Veterinary and Pharmaceutical Sciences Brno, Palackého tř. 1946/1, 612 42, Brno, Czech Republic

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 22 August 2016

Received in revised form

10 November 2016

Accepted 11 November 2016

Available online 20 November 2016

### ABSTRACT

The effect of different agitation speeds, various holding times of the melt and the storage period on the consistency of model processed cheese spreads with 35% (w/w) dry matter content and 40% (w/w) fat in dry matter content was examined. Viscoelastic properties of the samples, especially the storage ( $G'$ ) and loss ( $G''$ ) moduli within the frequency of 0.1–100.0 Hz were measured. The complex modulus ( $G^*$ ) was calculated and Winter's critical gel theory was implemented to determine the values of the gel strength ( $A_f$ ) and the interaction factor ( $z$ ). Within the first three minutes of the holding time, a continuous decrease in firmness of the samples was observed. Subsequently, a steady increase in firmness of the samples was measured from the third to the twentieth minute of holding time regardless of the speed of agitation tested. All of the processed cheeses showed an increase in firmness over 60 days storage.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

### 1. Introduction

The basic raw materials for the production of traditional processed cheeses (PC) are natural cheeses of Dutch- and Swiss-type; in Anglo-American countries it is usually Cheddar. In areas of the Near and Middle East "white cheeses" are also widely used. Other dairy raw materials (e.g., butter, cream, anhydrous milk fat, curd, milk powder, whey powder) and non-dairy raw materials (e.g., water, flavourings, hydrocolloids) as well as emulsifying salts (especially sodium salts of phosphates, polyphosphates and citrates) are added to this cheese base of different maturity stages. Ingredients are usually heated under constant stirring at a temperature of 90–110 °C until a homogenous mass of desired properties is formed (Kapoor & Metzger, 2008; Khetra, Chavhan, Kanawjia, & Puri, 2015; Muslow, Jaros, & Rohm, 2007).

Consistency is one of the most important properties of PC and can be affected by three groups of factors: (i) the composition of the raw material mixture, (ii) processing parameters during

the production of PC (especially the speed of agitation, holding time, the temperature reached during the melting process and the rate of cooling), and (iii) the storage temperature and period (Bayarri, Carbonell, & Costell, 2012; Dimitreli & Thomareis, 2004; Kapoor & Metzger, 2008; Khetra et al., 2015; Muslow et al., 2007; Schatz, Hoffmann, Schrader, & Maurer, 2014; Subramanian, Muthukumarappan, & Gunasekaran, 2006).

The effect of the composition of the raw material mixture on the rheological properties of PC has recently been studied very intensively, e.g., (i) the effect of moisture/dry matter content, fat content and protein content (Chatziantoniou, Thomareis, & Kontominas, 2015; Guinee & O'Callaghan, 2013; Lee, Klostermeyer, & Anema, 2015), (ii) different composition of emulsifying salts and their concentrations (Buňka et al., 2013; Hoffmann, Gärtner, Lück, Johanssen, & Maurer, 2012; Salek et al., 2015), (iii) maturity stages of the basic raw material (Brickley, Auty, Piraino, & McSweeney, 2007; Buňka et al., 2013; Salek et al., 2015), (iv) the hydrocolloids used and their concentrations (Ciprysová, Buňka, Pavlínek, Hudečková, & Janiš, 2013; Černíková et al., 2008), and (v) the concentrations of calcium and phosphate ions (Biswas, Muthukumarappan, Marella, & Metzger, 2015).

However, in only a small number of studies have been devoted to the effects of processing parameters during the production of

\* Corresponding author. Tel.: +420 576 033 11.

E-mail address: [bunka@ft.utb.cz](mailto:bunka@ft.utb.cz) (F. Buňka).

processed cheeses. Moreover, the results were often contradictory. The reason for the discrepancies in the results may lie in the fact that the individual studies made use of different kinds of processed cheeses (blocks and/or spreads, cheese imitations, etc.), different raw materials and different composition of the ingredients (different dry matter/fat content, etc.).

Swenson, Wendorff, and Lindsay (2000) studied the effect of the holding time (0–20 min) of the melt at 75 °C and constant agitation speed (the exact value of rpm was not presented) on the final consistency of fat-free processed cheese spread. The authors found that by extending holding time, firmness of the processed cheeses was decreased significantly. Bowland and Foegeding (1999) observed the effect of processing time (10, 20 and 30 min) of the raw material at 80 °C and constant agitation speed on the consistency of processed cheese blocks; these authors noted that the strength of the gel in the final product increased as the processing time of the melt extends, unlike the results of Swenson et al. (2000). Sutteerawattananonda, Fulcher, Martin, and Bastian (1997), who studied the effect of the holding time (0–15 min) of the melt at 65.5 °C on the distribution of fat globules in processed cheese blocks, observed that within the first 5 min of the holding time the fat globules decreased in size. However, a further extension of the holding time did not have a significant effect on the size of the fat globules. Lee, Buwalda, Euston, Foegeding, and McKenna (2003) described the changes in viscosity of the hot melt (~80 °C) dosed into a rotational viscometer within a 50 min measurement. The composition of the raw materials for the preparation of the melt corresponded to processed cheese blocks. Within the first 25 min, an increase in viscosity of the hot melt was observed. After reaching the local maximum in viscosity (~25 min), the viscosity of the hot melt started to decrease gradually. However, the consistency of the final product (cold processed cheese) was not studied.

Noronha, O'Riordan, and O'Sullivan (2008) focused on the effect of different agitation speeds (100–1500 rpm) at a constant holding time (~2 min) at 80 °C on the consistency of processed cheese block imitations. Their results showed that with the increasing speed of agitation, the firmness of the final product, its cohesiveness and the storage modulus  $G'$  increased while the size of the fat globules decreased.

It follows from the above-mentioned list of studies published in this area that a study focused on the effect of different agitation speeds and various holding times on the consistency of processed cheese spreads has not yet been published. Therefore, the purpose of this study was to examine the effect of various holding times (0–20 min) at a temperature of 90 °C, different agitation speeds (1000, 1500 and 3000 rpm) and the time of storage (up to 60 d) on the consistency of model processed cheese spreads with 35% (w/w) dry matter content and 40% (w/w) fat in dry matter content. The dependencies detected can be used to adjust the processing parameters in practical production in the processed cheese industry as the whole study was performed under the same conditions (the same raw material, the same production equipment and the same parameters for measuring the individual indicators of consistency) and thus the results are comparable.

## 2. Material and methods

### 2.1. Preparation of the samples

For the manufacture of the model PC samples with 35% (w/w) dry matter content and 40% (w/w) fat in dry matter content, the following materials were used: (i) Dutch-type cheese (50% (w/w), dry matter content; 30% (w/w), fat in dry matter content; Kromilk,

a.s., Kroměříž, Czech Republic), butter (84%, w/w, dry matter content; 82%, w/w, fat content), water and emulsifying salts (the total concentration was 2.7%, w/w, of the total weight of the melt; the composition of the emulsifying salt mixture was: 18%  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ; 39%  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ; 21%  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ , 22% sodium salt of polyphosphate; total weight, 100%).

A Stephan UMC-5 (Stephan Machinery GmbH, Halmen, Germany) with indirect heating was employed for the manufacture of the PC samples. The target temperature of 90 °C (the time for achieving the target temperature varied between 10 and 11 min) was held for 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 and 20 min (11 holding times) and the agitation was set at 1000, 1500 and 3000 rpm (3 agitation speeds). The hot melt was poured into polypropylene containers of cylindrical shape (52 mm in diameter and 50 mm high). The PC samples were cooled and stored at  $6 \pm 2$  °C until analyses were performed. Each PC was produced three times – 99 lots in total were made (11 holding times  $\times$  3 agitation speeds  $\times$  3 repetitions). The analyses were initially performed 24 h after manufacturing (1st day), then on the 14th, 30th and 60th days of storage.

### 2.2. Basic chemical analysis of the PC samples

The dry matter content and the fat content of the PC samples were determined according to ISO 5534 (ISO, 2005) and ISO 1735 (ISO, 2004), respectively. The pH values were measured at ambient temperature using a glass tip electrode of a pH-meter (pH Spear, Eutech Instruments, Oakton, Malaysia) by direct insertion of the spear into the PC samples at three randomly selected spots (in each packaging).

### 2.3. Rheological analysis

Rheological analysis of the PC samples was performed using a dynamic oscillatory shear rheometer (RheoStress 1, Haake, Bremen, Germany) at  $20.0 \pm 0.1$  °C. Additionally, to describe the changes in the viscoelastic properties of the solidified melt mass, a plate–plate geometry (diameter 35 mm) was selected in dependence with frequency (in the range 0.1–100.0 Hz) at  $20.0 \pm 0.1$  °C. The selected monitored parameters included the storage ( $G'$ ) and loss ( $G''$ ) moduli (determined as a function of frequency). The complex modulus ( $G^*$ ) was calculated using the formula:

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

Winter's critical gel theory was implemented to evaluate the changes in the viscoelastic properties of the PC samples. According to the following Eq. (2) the complex modulus (Gabriele, de Cindio, & D'Antona, 2001; Šádlíková et al., 2010; Winter & Chambon, 1986) can be expressed as:

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

where  $A_F$  is the strength of the gel ( $\text{Pa} \cdot \text{s}^{1/2}$ ) and  $z$  is the interaction factor (defined as the number of structure units interacting with one another in a three-dimensional network; unitless). The higher the interaction factor, the more interactions occur in the matrix of the sample (Gabriele et al., 2001; Šádlíková et al., 2010).

### 2.4. Statistical analysis

Kruskal–Wallis and Wilcoxon tests were used to evaluate the results obtained (the significance level was 0.05). For the

estimation of  $A_F$  and  $z$ , a non-linear regression analysis (the Marquardt–Levenburg method;  $A_F > 0$  and  $z \geq 0$ ) was applied. Unistat<sup>®</sup> 6.5 software (Unistat, London, UK) was used for the statistical analysis.

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Results of basic chemical analysis

Dry matter and fat content, which were determined in all the model processed cheeses, ranged within the interval of 36.05–36.48% and 14.62–14.91% (w/w;  $P \geq 0.05$ ; data not shown), respectively, during a 60 d storage period. Similar values of dry matter and fat contents are crucial to maintaining constant conditions and objective monitoring of the factors studied (Chatziantoniou et al., 2015; Dimitreli & Thomareis, 2004; Lee et al., 2015; Muslow et al., 2007). Also, the pH values of the model samples were measured. On the first day of storage, the pH values ranged within the interval of 5.92–6.01 ( $P \geq 0.05$ ; data not shown), which typically corresponds to the level of this parameter in processed cheese spreads (Kapoor & Metzger, 2008; Muslow et al., 2007; Salek et al., 2015). Within the 60 d storage period, the pH value slightly decreased ( $P < 0.05$ ) by 0.1–0.2 (data not shown). This phenomenon could be explained by possible hydrolysis of diphosphates and polyphosphates during the storage period as well as by possible changes in dissociation of the salts or other compounds present (Awad, Abdel-Hamid, & El-Shabrawy, 2002; Dimitreli & Thomareis, 2009; Weiserová et al., 2011).

#### 3.2. The effect of holding time on consistency of samples

Figs. 1A–F and 2A–E show the dependence of the storage ( $G'$ ) and loss ( $G''$ ) moduli of the model processed cheeses (manufactured using the agitation speed of 1000–3000 rpm with the holding time of 0–20 min and analysed after 1 d of storage at  $6 \pm 2^\circ\text{C}$ ) on frequency ( $f$ ). On the basis of the values of  $G'$  and  $G''$ , the values of the complex modulus ( $G^*$ ; see Eq. (1)) for the

frequency of 1 Hz (Piska & Stětina, 2004) were also calculated (shown in Table 1). Tables 2 and 3 show the results of the calculated (see Eq. (2)) gel strength ( $A_F$ ) and interaction factor ( $z$ ) of the model processed cheeses as quantities describing the development of the dependence of the complex modulus values ( $G^*$ ) on the range of the frequencies measured ( $f$ ; 0.1–100.0 Hz). According to Gabriel et al. (2001), Piska and Stětina (2004), and Winter and Chambon (1986) the increase in the values of  $G'$ ,  $G''$ ,  $G^*$  and  $A_F$  is related to the rising gel strength of the model samples of semi-solid materials including foodstuffs.

The curves of the storage and loss moduli ( $G'$  and  $G''$ ) of the processed cheeses made with the holding time of 1 min after 1 d of storage at  $6^\circ\text{C}$  (within the range of the oscillation frequencies measured, i.e., 0.1–100.0 Hz) were lower ( $P < 0.05$ ) in comparison with the curves of the model samples that were packaged and chilled immediately after reaching the melting temperature ( $90^\circ\text{C}$ ) (holding time of 0 min). This trend was observed at all the agitation speeds tested (1000, 1500 and 3000 rpm; see Figs. 1 and 2). A reduction in  $G'$  and  $G''$  of the processed cheeses was accompanied with a decrease in  $G^*$  for the reference frequency of 1 Hz (Table 1; the samples evaluated after 1 day of storage at  $6^\circ\text{C}$ ). The development of the above-mentioned parameters as a result of including the holding time of the melt of 1 min at  $90^\circ\text{C}$  indicates weakening and further disintegration of the protein network of the model processed cheeses, which is supported by the detected decrease ( $P < 0.05$ ) in the gel strength ( $A_F$ ) and interaction factor ( $z$ ) illustrated in Tables 2 and 3. When extending the holding time of the melt (at  $90^\circ\text{C}$ ) to 3 min (still evaluating the samples after 1 d storage at  $6^\circ\text{C}$ ) there was another slight weakening of the protein matrix of the model samples (evaluated according to the decrease in  $G'$ ,  $G''$  and  $G^*$ ;  $P < 0.05$ ; Figs. 1 and 2, Table 1) only at 3000 rpm. This conclusion can also be supported by a decrease in the gel strength of the model products ( $A_F$ ;  $P < 0.05$ ; Table 2). When comparing the processed cheeses manufactured with the holding time of the melting temperature ( $90^\circ\text{C}$ ) of 1 and 3 min, there was not a significant difference between the agitation speeds of 1000 and 1500 ( $P \geq 0.05$ ).

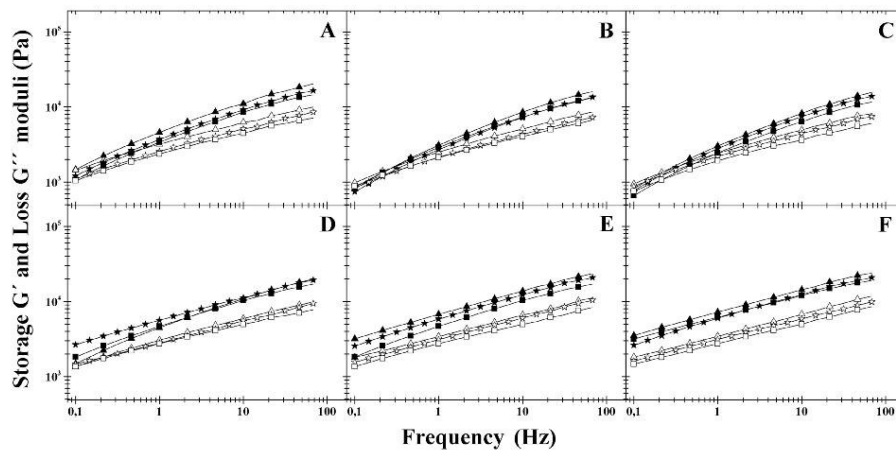
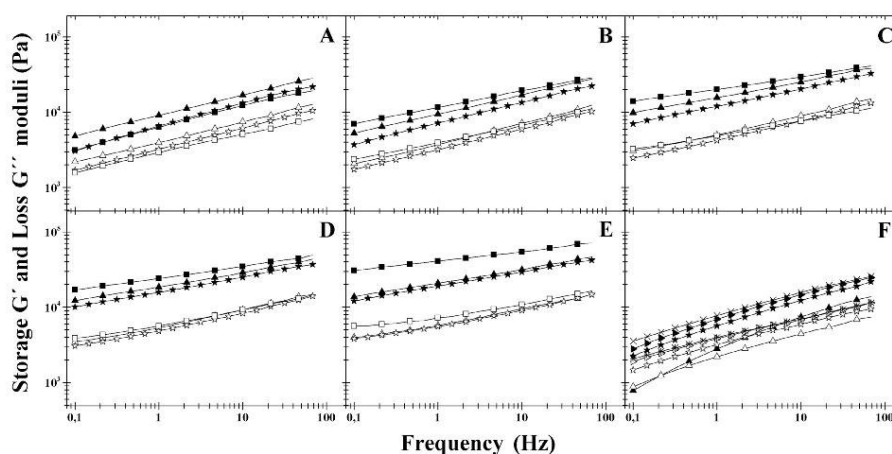


Fig. 1. Dependence of the storage ( $G'$ ; Pa, closed symbols) and loss ( $G''$ ; Pa, open symbols) moduli of the model processed cheeses manufactured using a speed of 1000 ( $\blacktriangle$ ), 1500 ( $\star$ ) and 3000 ( $\blacksquare$ ) revolutions per minute (rpm) at different times at temperature in the Stephan kettle on frequency ( $f$ , in range of 0.1–100.0 Hz). Panels A, B, C, D, E and F are, respectively, maintaining for 0, 1, 3, 5, 7, and 9 min. The processed cheeses were measured 24 h after manufacturing at  $6 \pm 2^\circ\text{C}$ .



**Fig. 2.** Dependence of the storage ( $G'$ ; Pa, closed symbols) and loss ( $G''$ ; Pa, open symbols) moduli of the model processed cheeses manufactured using a speed of 1000 ( $\blacktriangle$ ,  $\blacktriangle$ ), 1500 ( $\star$ ,  $\star$ ) and 3000 ( $\blacksquare$ ,  $\blacksquare$ ) revolutions per minute (rpm) at different times at temperature in the Stephan kettle on frequency ( $f$ ; in range of 0.1–100.0 Hz). Panels A, B, C, D, and E are, respectively, maintaining for 11, 13, 15, 17, and 20 min. The processed cheeses were measured 24 h after manufacturing at  $6 \pm 2$  °C. Panel F shows the frequency dependence of the storage ( $G'$ ; closed symbols) and loss ( $G''$ ; Pa, open symbols) moduli of the model processed cheeses manufactured using a speed of 1500 rpm for 3 min after 1 d ( $\blacktriangle$ ,  $\blacktriangle$ ), 14 d ( $\star$ ,  $\star$ ), 30 d ( $\blacktriangleright$ ,  $\blacktriangleright$ ) and 60 d ( $\times$ ,  $\times$ ) storage.

A further extension of the holding time of the melt at 90 °C (above 3 min) revealed that the values of the curve showing the dependence of  $G'$  and  $G''$  moduli of the model samples on the range of the oscillation frequencies measured (0.1–100.0 Hz) increased significantly ( $P < 0.05$ ) at all the agitation speeds observed (1000, 1500 and 3000 rpm; the samples evaluated after 1 d storage at 6 °C; Figs. 1 and 2). At the same time, the values of  $G^*$  of the processed cheeses (for the reference frequency  $f = 1$  Hz) rose significantly with the extended holding time (within the range of 3–20 min; Table 1) ( $P < 0.05$ ). The continuous strengthening of the protein matrix as a result of extending the holding time of the melt at a temperature of (90 °C) up to 20 min is also indicated by an increase in the gel strength ( $A_f$ ;  $P < 0.05$ ) and rising values of the interaction factor ( $z$ ;  $P < 0.05$ ) indicating more intensive internal bonds (Tables 2 and 3).

After reaching the melting temperature, the “creaming” stage of the processed cheeses occurs during which a new protein network, with emulsified fat and hydrated water, is formed (Kawasaki, 2008; Lee et al., 2003). A wide range of interactions is involved in the process of creaming, e.g., calcium bridges, the bridges of calcium-phosphate complexes (formed during the reactions of emulsifying salts and calcium ions), hydrogen bridges, hydrophobic interactions, disulfide bridges, etc. (Kapoor & Metzger, 2008; Muslow et al., 2007). According to Lee et al. (2003) the creaming is mainly dependent on the interactions of the proteins present and this process also occurs in matrices with the absence of fat. However, Kawasaki (2008) adds that the water and fat present (their absolute amounts and the size of the fat particles) significantly affect the strength of the final protein network.

Our study revealed that (except for the first minutes of the holding time) with the extending stirring time, the strength and coherence of the protein network rises and the final processed cheese is more rigid. A similar trend was also observed in the studies by Sutherawattananonda et al. (1997) and Bowland and Foegeding (1999). In comparison with the latter studies, our results were

obtained for a higher melting temperature (90 °C), which is closer to typical melting temperatures employed in the industry (Kapoor & Metzger, 2008; Muslow et al., 2007). Sutherawattananonda et al. (1997) explained the above-mentioned phenomena by a decreasing size of the fat globules – a larger number of small fat globules break the continuity of the protein matrix less intensively in comparison with a smaller number of bigger fat globules. However, the above-mentioned authors also stated that the size reduction of the fat globules ceases within a few minutes. Therefore, apart from the effect of the size reduction of the fat globules, other interactions in the matrix can be expected with the extending holding time. These interactions could include more intensive solubilisation of caseins and hydration of the water present, i.e., processes which are supported by more extensive mechanical stress (Bowland & Foegeding, 1999; Lee et al., 2003).

### 3.3. The effect of storage period on consistency of samples

From Table 1, a significant ( $P < 0.05$ ) increase in  $G^*$  (for the reference frequency  $f = 1$  Hz) was observed in all the samples during 60 d storage at 6 °C. The dependence of  $G'$  and  $G''$  of the processed cheeses on the range of the frequencies measured (0.1–100.0 Hz) for the model products manufactured at 1500 rpm with the holding time of 3 min is illustrated in Fig. 2F. An increase in the values of  $G'$  and  $G''$  with extended storage time (up to 60 d) is evident in the above-mentioned graph ( $P < 0.05$ ). Slight strengthening of the protein matrix as a result of storing is also supported by the rising values of gel strength ( $A_f$ ;  $P < 0.05$ ) and interaction factor ( $z$ ;  $P < 0.05$ ) during the storage period (Tables 2 and 3). The explanation of this phenomenon may lie in the interactions and processes which could be occurring during the storage period of the processed cheeses, e.g., (i) polymorphism of milk fat and ongoing changes in its crystalline form, (ii) a slight decrease in pH values of the processed cheeses (also detected in our study – see above), (iii) possible hydrolysis of the emulsifying salts (the diphosphates and polyphosphates used),



**Table 3**

Values of the interaction factor ( $\alpha$ ) of the model processed cheese after 1, 14, 30 and 60 days of manufacturing using a different speed of Stephan kettle and different times of temperature maintaining after holding a melting temperature of 90 °C.<sup>a</sup>

Maintaining time (d)	Days of storage			
	1	14	30	60
<b>1000 rpm knife speed</b>				
0	3.00 ± 0.16 <sup>ab</sup>	3.17 ± 0.13 <sup>ab</sup>	3.33 ± 0.17 <sup>ab</sup>	3.34 ± 0.13 <sup>ab</sup>
1	2.77 ± 0.11 <sup>a</sup>	3.12 ± 0.13 <sup>ab</sup>	3.15 ± 0.10 <sup>b</sup>	3.16 ± 0.12 <sup>ab</sup>
3	2.77 ± 0.09 <sup>a</sup>	3.18 ± 0.13 <sup>ab</sup>	3.23 ± 0.09 <sup>ab</sup>	3.27 ± 0.11 <sup>ab</sup>
5	2.97 ± 0.06 <sup>a</sup>	3.33 ± 0.15 <sup>ab</sup>	3.34 ± 0.13 <sup>ab</sup>	3.37 ± 0.07 <sup>b</sup>
7	3.38 ± 0.14 <sup>a</sup>	3.77 ± 0.15 <sup>b</sup>	3.75 ± 0.15 <sup>b</sup>	3.92 ± 0.17 <sup>b</sup>
9	3.46 ± 0.11 <sup>a</sup>	3.92 ± 0.14 <sup>b</sup>	3.99 ± 0.18 <sup>bc</sup>	4.17 ± 0.13 <sup>bc</sup>
11	3.70 ± 0.18 <sup>a</sup>	4.14 ± 0.13 <sup>b</sup>	4.19 ± 0.17 <sup>b</sup>	4.29 ± 0.20 <sup>bc</sup>
13	3.85 ± 0.18 <sup>a</sup>	4.13 ± 0.13 <sup>ab</sup>	4.29 ± 0.17 <sup>ab</sup>	4.41 ± 0.22 <sup>bc</sup>
15	4.58 ± 0.16 <sup>b</sup>	4.83 ± 0.21 <sup>bc</sup>	4.81 ± 0.21 <sup>bc</sup>	5.20 ± 0.18 <sup>c</sup>
17	4.96 ± 0.21 <sup>c</sup>	5.12 ± 0.25 <sup>cd</sup>	5.18 ± 0.27 <sup>cd</sup>	5.29 ± 0.23 <sup>cd</sup>
20	5.25 ± 0.16 <sup>a</sup>	5.34 ± 0.18 <sup>ab</sup>	5.54 ± 0.28 <sup>ab</sup>	5.64 ± 0.18 <sup>ab</sup>
<b>1500 rpm knife speed</b>				
0	2.95 ± 0.13 <sup>a</sup>	3.35 ± 0.10 <sup>ab</sup>	3.35 ± 0.18 <sup>ab</sup>	3.46 ± 0.13 <sup>ab</sup>
1	2.82 ± 0.10 <sup>a</sup>	3.13 ± 0.12 <sup>ab</sup>	3.18 ± 0.13 <sup>ab</sup>	3.14 ± 0.12 <sup>ab</sup>
3	2.82 ± 0.10 <sup>a</sup>	3.25 ± 0.14 <sup>ab</sup>	3.35 ± 0.11 <sup>ab</sup>	3.54 ± 0.16 <sup>bc</sup>
5	3.39 ± 0.13 <sup>ab</sup>	3.92 ± 0.13 <sup>ab</sup>	3.83 ± 0.07 <sup>ab</sup>	3.83 ± 0.12 <sup>bc</sup>
7	3.31 ± 0.12 <sup>a</sup>	3.83 ± 0.13 <sup>ab</sup>	3.96 ± 0.17 <sup>bc</sup>	3.96 ± 0.13 <sup>cb</sup>
9	3.39 ± 0.18 <sup>ab</sup>	3.91 ± 0.13 <sup>ab</sup>	4.03 ± 0.18 <sup>cb</sup>	4.11 ± 0.16 <sup>cd</sup>
11	3.46 ± 0.13 <sup>ab</sup>	4.03 ± 0.19 <sup>cb</sup>	3.96 ± 0.19 <sup>cb</sup>	4.21 ± 0.16 <sup>cd</sup>
13	3.67 ± 0.22 <sup>a</sup>	4.29 ± 0.17 <sup>cb</sup>	4.26 ± 0.20 <sup>cb</sup>	4.39 ± 0.19 <sup>cd</sup>
15	4.19 ± 0.25 <sup>a</sup>	4.68 ± 0.20 <sup>cd</sup>	4.77 ± 0.22 <sup>cd</sup>	4.80 ± 0.17 <sup>b</sup>
17	4.83 ± 0.25 <sup>a</sup>	4.92 ± 0.22 <sup>cd</sup>	4.90 ± 0.24 <sup>cd</sup>	5.07 ± 0.12 <sup>b</sup>
20	5.14 ± 0.15 <sup>a</sup>	5.66 ± 0.18 <sup>ab</sup>	6.17 ± 0.24 <sup>b</sup>	6.36 ± 0.28 <sup>cd</sup>
<b>3000 rpm knife speed</b>				
0	3.06 ± 0.16 <sup>ab</sup>	3.37 ± 0.18 <sup>ab</sup>	3.55 ± 0.13 <sup>bc</sup>	3.79 ± 0.16 <sup>bc</sup>
1	2.98 ± 0.11 <sup>a</sup>	3.20 ± 0.12 <sup>ab</sup>	3.23 ± 0.12 <sup>ab</sup>	3.52 ± 0.15 <sup>bc</sup>
3	2.90 ± 0.10 <sup>a</sup>	3.17 ± 0.15 <sup>ab</sup>	3.45 ± 0.15 <sup>ab</sup>	3.99 ± 0.14 <sup>cd</sup>
5	3.34 ± 0.06 <sup>ab</sup>	4.08 ± 0.19 <sup>bc</sup>	3.80 ± 0.07 <sup>bc</sup>	4.17 ± 0.17 <sup>bc</sup>
7	3.54 ± 0.15 <sup>ab</sup>	3.97 ± 0.20 <sup>bc</sup>	4.01 ± 0.17 <sup>cb</sup>	4.54 ± 0.20 <sup>cd</sup>
9	3.79 ± 0.12 <sup>ab</sup>	4.50 ± 0.20 <sup>bc</sup>	4.50 ± 0.14 <sup>cb</sup>	5.00 ± 0.22 <sup>cd</sup>
11	3.78 ± 0.18 <sup>ab</sup>	4.82 ± 0.19 <sup>bc</sup>	4.83 ± 0.24 <sup>cd</sup>	4.75 ± 0.20 <sup>cd</sup>
13	4.60 ± 0.21 <sup>a</sup>	4.80 ± 0.22 <sup>ab</sup>	5.44 ± 0.24 <sup>cd</sup>	5.77 ± 0.20 <sup>cd</sup>
15	5.92 ± 0.20 <sup>a</sup>	5.89 ± 0.21 <sup>a</sup>	5.84 ± 0.21 <sup>a</sup>	6.28 ± 0.24 <sup>cd</sup>
17	6.15 ± 0.26 <sup>a</sup>	6.29 ± 0.27 <sup>ab</sup>	6.54 ± 0.28 <sup>ab</sup>	7.47 ± 0.25 <sup>cd</sup>
20	7.65 ± 0.36 <sup>a</sup>	7.04 ± 0.22 <sup>a</sup>	7.57 ± 0.24 <sup>a</sup>	8.54 ± 0.36 <sup>cd</sup>

<sup>a</sup> Values are expressed as mean ± standard deviation ( $n = 12$ ). Within a set of data at the same knife speed, means within a column followed by different superscript letters differ significantly ( $P < 0.05$ ). Means within a row followed by superscript uppercase letters differ significantly ( $P < 0.05$ ). At different knife speeds but at the same maintaining time, means within a column followed by different subscript letters differ significantly ( $P < 0.05$ ).

processed cheese blocks), a much shorter holding time (~2 min) and a lower agitation speeds (100–1500 rpm).

#### 4. Conclusion

The aim of the work was to observe viscoelastic properties of model processed cheese spreads at various agitation speeds and holding times at the melting temperature over 60 days cold storage. Under the conditions of our experiment it was discovered that at all the agitation speeds tested (1000, 1500 and 3000 rpm) the firmness of the samples increased steadily from the 3rd to the 20th minute of the holding time. The most striking increase was observed in the model processed cheeses manufactured at 3000 rpm, especially from the 10th minute of the holding time onwards. However, a clear trend in the development of viscoelastic properties of the observed samples depending on the agitation speed could not be determined. This trend changed according to the particular holding time of the melt at the melting temperature. Other experiments will have to be conducted to get a clearer description of the combined effect of the holding time of the melt at the melting temperature and the agitation speed on the consistency of processed cheeses. During the 60 day storage period, the firmness of all the observed processed cheeses increased.

#### Acknowledgement

This study was kindly supported by a project of the internal grants of Tomas Bata University in Zlín, Czech Republic, No. IGA/FT/2016/003 and IGA/FT/2017/004 funded from the resources of specific university research.

#### References

- Awad, R. A., Abdel-Hamid, L. B., & El-Shabrawy, S. A. (2002). Texture and microstructure of block type cheese with formulated emulsifying salt mixture. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie – Food Science and Technology*, *35*, 54–61.
- Bayarri, S., Carbonell, I., & Costell, E. (2012). Viscoelasticity and texture of spreadable cheese with different fat contents at refrigeration and room temperatures. *Journal of Dairy Science*, *95*, 6926–6936.
- Biswas, A. C., Muthukumarappan, K., Marella, C., & Metzger, L. E. (2015). Understanding the role of natural cheese calcium and phosphorous content, residual lactose and salt-in-moisture content on block-type processed cheese functional properties: Cheese hardness and flowability/meltability. *International Journal of Dairy Technology*, *68*, 44–52.
- Bowland, E. L., & Foegeding, E. A. (1999). Factors determining large-strain (fracture) rheological properties of model processed cheese. *Journal of Dairy Science*, *82*, 1851–1859.
- Brickley, C. A., Auty, M. A. E., Piraino, P., & McSweney, P. L. H. (2007). The effect of natural cheddar cheese ripening on the functional and textural properties of the processed cheese manufactured therefrom. *Journal of Food Science*, *72*, 483–490.
- Bunka, F., Doudová, L., Weiserová, E., Kuchar, D., Ponižil, P., Začalová, D., et al. (2013). The effect of ternary emulsifying salt composition and cheese maturity on the textural properties of processed cheese. *International Dairy Journal*, *29*, 1–7.
- Černíková, M., Bunka, F., Pavlínek, V., Brezina, P., Hrábe, J., & Valáček, P. (2008). Effect of carraageenan type on viscoelastic properties of processed cheese. *Food Hydrocolloids*, *22*, 1054–1061.
- Chatziantoniou, S. E., Thomareis, A. S., & Kontominas, M. G. (2015). Effect of chemical composition on physico-chemical, rheological and sensory properties of spreadable processed whey cheese. *European Food Research and Technology*, *241*, 737–748.
- Ciprysová, Z., Bunka, F., Pavlínek, V., Hudečková, L., & Janiš, R. (2013). The effect of selected hydrocolloids on the rheological properties of processed cheese analogues made with vegetable fats during cooling. *International Journal of Dairy Technology*, *66*, 484–489.
- Dimitreli, G., & Thomareis, A. S. (2004). Effect of temperature and chemical composition on processed cheese apparent viscosity. *Journal of Food Engineering*, *64*, 265–271.
- Dimitreli, G., & Thomareis, A. S. (2009). Instrumental textural and viscoelastic properties of processed cheese as affected by emulsifying salts and in relation to its apparent viscosity. *International Journal of Food Properties*, *12*, 261–275.
- Gabriele, D., de Gindio, B., & D'Antona, P. (2001). A weak gel model for foods. *Rheologica Acta*, *40*, 120–127.
- Guinee, T. P., & ÓCallaghan, D. J. (2013). 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*, *96*, 6830–6839.
- Hoffmann, W., Gärtner, J., Lück, K., Johannsen, N., & Maurer, A. (2012). Effect of emulsifying salts containing potassium on the quality of block-type processed cheese. *International Dairy Journal*, *25*, 66–72.
- ISO. (2004). *ISO Standard No. 1735: Cheese and processed cheese—Determination of fat content – Gravimetric method (reference method)*. Geneva, Switzerland: International Organisation for Standardisation.
- ISO. (2005). *ISO Standard No. 5534: Cheese and processed cheese—Determination of the total solid content (reference method)*. Geneva, Switzerland: International Organisation for Standardisation.
- Kapoor, R., & Metzger, L. E. (2008). Process cheese: Scientific and technological aspects – A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *7*, 194–214.
- Kawasaki, Y. (2008). Influence of “creaming” on the properties of processed cheese and changes in the structure of casein during cheese making. *Milchwissenschaft–Milk Science International*, *63*, 149–152.
- Khetra, Y., Chavhan, G. B., Kanawjia, S. K., & Puri, R. (2015). Storage changes in low sodium-processed Mozzarella cheese prepared using potassium-based emulsifying salts. *Dairy Science and Technology*, *95*, 639–649.
- Lee, S. K., Buwalda, R. J., Euston, S. R., Foegeding, E. A., & McKenna, A. B. (2003). Changes in the rheology and microstructure of processed cheese during cooking. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie – Food Science and Technology*, *36*, 339–345.
- Lee, S. K., Klostermeyer, H., & Anema, S. G. (2015). Effect of fat and protein-in-water concentrations on the properties of model processed cheese. *International Dairy Journal*, *50*, 15–23.
- Muslow, B. B., Jaros, D., & Rohm, H. (2007). Processed cheese and cheese analogues. In A. Y. Tamime (Ed.), *Structure of dairy products* (pp. 210–235). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Nagyová, C., Bunka, F., Salek, R. N., Černíková, M., Maňčík, P., Crúber, T., et al. (2014). Usage of sodium polyphosphates with different linear length in the production of spreadable processed cheese. *Journal of Dairy Science*, *97*, 111–122.

- Noronha, N., ÓRiordan, E. D., & ÓSullivan, M. (2008). Influence of processing parameters on the texture and microstructure of imitation cheese. *European Food Research and Technology*, 226, 385–393.
- Piska, I., & Štětina, J. (2004). Influence of cheese ripening and rate of cooling of the processed cheese mixture on rheological properties of processed cheese. *Journal of Food Engineering*, 61, 551–555.
- Sádlíková, I., Buňka, F., Budinský, P., Voldánová, B., Pavlínek, V., & Hoza, I. (2010). The effect of selected phosphate emulsifying salts on viscoelastic properties of processed cheese. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie – Food Science and Technology*, 43, 1220–1225.
- Salek, R. N., Černíková, M., Nagyová, G., Kuchar, D., Bačová, H., Minarčíková, L., et al. (2015). The effect of ternary mixtures composition containing phosphate and citrate emulsifying salts on selected textural properties of spreadable processed cheese. *International Dairy Journal*, 44, 37–43.
- Schatz, K., Hoffmann, W., Schrader, K., & Maurer, A. (2014). Effect of emulsifying salts containing potassium on the melting properties of block-type dairy cheese analogues. *International Journal of Dairy Technology*, 67, 202–210.
- Shirashoji, N., Jaeggi, J. J., & Lucey, J. A. (2010). Effect of sodium hexametaphosphate concentration and cooking time on the physicochemical properties of pasteurized process cheese. *Journal of Dairy Science*, 93, 2827–2837.
- Subramanian, R., Muthukumarappan, K., & Gunasekaran, S. (2006). Linear viscoelastic properties of regular- and reduced-fat pasteurized processed cheese during heating and cooling. *International Journal of Food Properties*, 9, 377–393.
- Sutheerawattananonda, M., Fulcher, R. G., Martin, F. B., & Bastian, E. D. (1997). Fluorescence image analysis of process cheese manufactured with trisodium citrate and sodium chloride. *Journal of Dairy Science*, 80, 620–627.
- Swenson, B. J., Wendorff, W. L., & Lindsay, R. C. (2000). Effects of ingredients on the functionality of fat-free process cheese spreads. *Journal of Food Science*, 65, 822–825.
- Weiserová, E., Doudová, L., Galiová, L., Žák, L., Michálek, J., Janiš, R., et al. (2011). The effect of combinations of sodium phosphates in binary mixtures on selected texture parameters of processed cheese spreads. *International Dairy Journal*, 21, 979–986.
- Winter, H. H., & Chambon, F. (1986). Analysis of linear viscoelasticity of a cross-linking polymer at the gel point. *Journal of Rheology*, 30, 367–382.