

Hodnocení nového taveného sýra s plísní na povrchu během skladování

Bc. Natálie Lyčková

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Natálie Lyčková
Osobní číslo:	T23266
Studijní program:	N0721A210004 Technologie potravin
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Hodnocení nového taveného sýra s plísní na povrchu během skladování

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část:
Obecná charakteristika sýru s bílou plísní na povrchu
Vlastnosti tavených sýrů
Faktory působící na kvalitu tavených sýrů
II. Praktická část:
Vyrobté modelové vzorky
Provést vybrané analýzy
Vyhodnotit výsledky a vyvodit závěry

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] TALBOT-WALSH, Grace, David KANNAR and Cordelia SELOMULYA, 2018. A review on technological parameters and recent advances in the fortification of processed cheese. Trends in Food Science & Technology, 81, 193-202. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2018.09.023
- [2] ZHAI, Wenxuan et al., 2024. Impact of reduced sucrose content on processed cheese: Sensory, textural, and storage stability analysis. Food Bioscience. 60. ISSN 22124292. Dostupné z: doi:10.1016/j.fbio.2024.104405
- [1] BATTY, Danton, Lisbeth, MEUNIER-GODDIK, Joy G. WAITE-CUSIC, 2019. Camembert-type cheese quality and safety implications in relation to the timing of high-pressure processing during aging. Journal of Dairy Science, 102(10), 8721–8733 [cit. 2024-05-28]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2018-16236

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Richardos Nikolaos Salek, Ph.D.**
Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce: **1. ledna 2025**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 14. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji diplomovou 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou 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);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové 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.

Prohlašuji, že

- jsem na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce bylo vyrobit modelové tavené sýry s bílou plísní *Penicillium candidum* na povrchu, bez tavicích solí s přidáním furcellaranem nebo κ -karagenanem, aplikované v koncentraci 1,0 % (w/w). V modelových vzorcích byla provedena základní chemická analýza (měření pH a stanovení celkového obsahu sušiny), dále byla měřena aktivita vody a barva vzorků. Mechanické vlastnosti byly analyzovány pomocí texturní profilové analýzy a dynamické oscilační reometrie. Hodnoty pH vzorků nebyly ovlivněny skladováním. Celkový obsah sušiny byl vyšší u vzorků po aplikaci plísňové kultury a uskladnění, oproti výchozím taveným sýrům. V průběhu skladování docházelo k tmavnutí vzorků. Pomocí TPA byla hodnocena tvrdost, která byla touto analýzou vyhodnocena jako neměnná v průběhu skladování, bez statisticky významného rozdílu mezi jednotlivými vzorky. Dle dynamické oscilační reometrie bylo vyšších hodnot elastického (G') i ztrátového (G'') modulu pružnosti dosaženo u vzorků obsahujících furcellaran. Doba skladování modelových vzorků neovlivnila G' ani G'' . Vzorky vykazovaly dle výsledků elastické vlastnosti ($G' > G''$).

Klíčová slova: tavený sýr, sýry s plísní na povrchu, furcellaran, κ -karagenan

ABSTRACT

The aim of this thesis was to produce model processed cheeses with a surface growth of white mold *Penicillium candidum*, without emulsifying salts and with the addition of furcellaran or κ -carrageenan, applied at a concentration of 1.0 % (w/w). Basic chemical analyses were carried out on model samples (pH measurement and determination of dry matter content). Water activity and color of the samples were also measured. Mechanical properties were analyzed using texture profile analysis (TPA) and dynamic oscillatory rheometry. The pH values of the model samples were not affected by the storage time. The dry matter content was higher in samples after the application of culture and storage compared to the initial processed cheese. During storage, a gradual darkening of the samples was observed. TPA indicated that hardness remained unchanged throughout storage, with no significant differences among the samples. According to dynamic oscillatory rheometry, samples containing furcellaran exhibited higher values of the elastic (G') and viscous (G'') moduli. Storage time had no effect on the values of either G' or G'' . Based on the results, the samples demonstrated predominantly an elastic behavior ($G' > G''$).

Keywords: processed cheese, surface mould-ripened cheeses, furcellaran, κ -carrageenan

Ráda bych poděkovala panu doc. Ing. Richardosovi Nikolaosovi Salekovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost, připomínky, rady a za čas, který mi věnoval při realizaci diplomové práce.

*„Minulosť doznela,
budúcnosť dospela“*
(Para)

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 SÝRY S BÍLOU PLÍSNÍ NA POVRCHU.....	13
1.1 DRUHY SÝRŮ S BÍLOU PLÍSNÍ NA POVRCHU.....	13
1.1.1 Camembert	13
1.1.2 Brie	14
1.1.3 Hermelín.....	15
1.2 PLÍŠŇOVÉ KULTURY	15
1.3 TECHNOLOGIE VÝROBY	18
1.4 BIOCHEMICKÉ A FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ ZMĚNY BĚHEM ZRÁNÍ	19
2 TAVENÉ SÝRY	22
2.1 SUROVINY PRO VÝROBU TAVENÝCH SÝRŮ	22
2.1.1 Přírodní sýry.....	22
2.1.2 Mléčný tuk	23
2.1.3 Tavicí soli.....	23
2.2 POUŽITÍ HYDROKOLOIDŮ PŘI VÝROBĚ TAVENÝCH SÝRŮ.....	25
2.2.1 Agar.....	26
2.2.2 Algináty	26
2.2.3 Karagenany	27
2.2.4 Furcellaran.....	29
2.2.5 Micelární kasein	30
2.3 VÝROBA TAVENÝCH SÝRŮ	31
3 FAKTORY PŮSOBÍCÍ NA KVALITU TAVENÝCH SÝRŮ	34
3.1 VLIV SLOŽENÍ SUROVINOVÉ SKLADBY	34
3.2 VLIV ZPŮSOBU ZPRACOVÁNÍ A CHLAZENÍ TAVENINY	35
3.3 VLIV SKLADOVÁNÍ	38
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	40
4 CÍL PRÁCE	41
5 MATERIÁL A METODIKA	42
5.1 POUŽITÝ MATERIÁL.....	42
5.2 VÝROBA MODELOVÝCH VZORKŮ.....	43
5.3 ZÁKLADNÍ CHEMICKÁ ANALÝZA	46
5.3.1 Stanovení pH.....	46
5.3.2 Stanovení obsahu celkové sušiny.....	46
5.4 INSTRUMENTÁLNÍ ANALÝZA BARVY	47
5.5 STANOVENÍ AKTIVITY VODY	48

5.6	TEXTURNÍ PROFILOVÁ ANALÝZA	48
5.7	DYNAMICKÁ OSCILAČNÍ REOMETRIE	50
6	VÝSLEDKY A DISKUZE	51
6.1	VYHODNOCENÍ ZÁKLADNÍ CHEMICKÉ ANALÝZY	51
6.1.1	pH	51
6.1.2	Celkový obsah sušiny	52
6.2	VYHODNOCENÍ INSTRUMENTÁLNÍ ANALÝZY BARVY	53
6.3	VYHODNOCENÍ AKTIVITY VODY	54
6.4	VYHODNOCENÍ TEXTURNÍ PROFILOVÉ ANALÝZY	55
6.5	VYHODNOCENÍ DYNAMICKÉ OSCILAČNÍ REOMETRIE	58
	ZÁVĚR.....	64
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	77
	SEZNAM TABULEK.....	78
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	79

ÚVOD

Tavené sýry představují specifickou skupinu mléčných výrobků, které se tradičně vyrábí tavením přírodních sýrů za použití tavicích solí, jež umožňují tvorbu homogenní a stabilní emulze. V posledních letech roste zájem o alternativní způsoby výroby tavených sýrů bez použití tavicích solí, které jsou často spojovány s vyšším obsahem sodíku a potenciálně negativními zdravotními dopady. Nahrazení tavicích solí jinými složkami, jako jsou např. polysacharidy (furcellaran, κ -karagenan), může přispět ke zlepšení výživové hodnoty i textury tavených sýrů.

Zároveň existuje snaha inovovat chuťové a senzorické vlastnosti tavených sýrů. Jednou z možných cest je využití povrchové úpravy bílou plísní (*Penicillium candidum*), která je typická pro sýry jako Camembert nebo Brie. Tato technologie však nebyla v kombinaci s tavenými sýry podrobněji studována, a tak představuje zajímavý inovativní směr v rámci vývoje nových mléčných produktů.

Podstatou této diplomové práce bylo připravit tavené sýry s bílou plísní *Penicillium candidum* na povrchu, bez použití tavicích solí, s přídavkem furcellaranu nebo κ -karagenanu v koncentraci 1,0 % (w/w), a provést jejich hodnocení základní chemickou analýzou – měřením pH a celkového obsahu sušiny, dále analýzou aktivity vody, barvy, texturního profilu a viskoelastických vlastností v průběhu skladování.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 SÝRY S BÍLOU PLÍSNÍ NA POVRCHU

Povrchově zrající měkké sýry s plísní jsou charakteristické přítomností bílého plstnatého mycelia, které vzniká obvykle růstem *Penicillium camemberti* na povrchu sýra. Přítomnost plísně dodává sýrům typický vzhled, charakteristickou vůni a chuť. Rovněž vede ke složitějším zrácím procesům než u jiných druhů sýrů. Typickým příkladem této skupiny sýrů je Camembert, sýr s měkkou konzistencí a plochým válcovitým tvarem, pocházející z francouzského regionu Normandie. Dalšími významnými sýry s plísní na povrchu jsou Brie, Coulommier a Carré de l'Est. Rovněž existují produkty pod obchodními názvy. Průmyslová výroba povrchově zrajících sýrů se postupně rozšířila nejprve ve Francii, později v dalších evropských zemích. Nyní roste zájem o tyto sýry také v Severní Americe, Novém Zélandu a v Austrálii (Spinnler, 2017).

1.1 Druhy sýrů s bílou plísní na povrchu

1.1.1 Camembert

Vznik Camembertu je připisován farmářce Marii Harel z malé vesnice Camembert z francouzského regionu Normandie a sahá až do roku 1790. Původně byl vyráběn na farmách, od počátku 20. století se začal vyrábět i průmyslově. Camembert vyráběný v Normandii, který splňuje specifické požadavky, včetně požadavku na použití syrového mléka k výrobě, získal chráněné označení původu (Appellation d'Origine Contrôlée – AOC) pod názvem „Camembert de Normandie“. Dnes je v Normandii povoleno vyrábět Camembert s označením AOC stovkám výrobcům. Ty nejkvalitnější jsou velmi aromatické s chutí připomínající houbovou polévku, s lehce kvasnicovou příchutí (Donnelly, 2013; Harbutt a Denny, 2003; Spinnler, 2017).



Obrázek 1 Camembert de Normandie

(zdroj: Coyau, 2015)

Camembert je měkký povrchově zrající sýr, primárně zrající pomocí plísni. Má tvar plochého válce nebo jeho segmentů. Má téměř bílou až světle žlutou barvu a měkkou ale nedrobivou strukturu, zrající od povrchu ke středu sýra. Kůra musí být měkká a celá pokrytá bílou plísní, ale může mít červené, nahnědlé nebo oranžové skvrny. Proces zrání, při kterém se rozvinou chuťové a strukturní vlastnosti, se obvykle provádí při teplotě 10–16 °C po dobu 10 dnů v závislosti na požadovaném stupni zralosti. K výrobě je používáno kravské nebo buvolí mléko, případně jejich směsi a produkty, dále jsou přidávány přísady, jako startovací kultury bakterií mléčného kvašení a jiných mikroorganismů, včetně *Geotrichum candidum*, *Brevibacterium linens* a kvasinek, syřidlo, chlorid sodný nebo chlorid draselný a pitná voda. Rovněž lze přidávat bezpečné enzymy k urychlení zrání a pomocné látky pro zpracování (např. rýžová a kukuřičná mouka nebo bramborový škrob jako protispékavé látky při ošetření povrchu nakrájených či plátkovaných výrobků, dále mohou být v sýrové hmotě obsaženy barviva či regulátory kyselosti). Tvorba kůry a zrání od povrchu do středu sýru je způsobena převážně *Penicillium candidum*, *Penicillium camemberti* a *Penicillium caseicolum* (Codex Alimentarius Commission, 2009).

1.1.2 Brie

Brie je oblast vzdálená asi 50 km od Paříže, proslulá bohatou sýrařskou historií. Sýr Brie je klasickým příkladem měkkého sýra s bílou plísní na povrchu, s roztékavou krémovou texturou. Je podobný Camembertu, existují však rozdíly ve vnitřním zrání, charakteristické vůni a aroma těchto dvou sýrů. Jak Camembert, tak i Brie zraje rychle, je náchylný ke kažení a musí být konzumován brzy po dozrání (Abbas a Dobson, 2011; Masui a Yamada, 2007).

Brie de Meaux nesoucí AOC je považován za „otce“ sýrů s bílou plísní, první zmínka o tomto sýru pochází z roku 774, kdy ho v Brie ochutnal Karel Veliký a nařídil ho každoročně posílat do Aix. Tento sýr má hladkou, ne zcela tekutou texturu a vůni po houbách s nepatrným nádechem čpavku. Díky tomu, že se původní skot, z jehož mléka se Brie de Meaux vyráběl původně, nahrazuje holštýnsko fríským skotem, se změnila i bohatost a charakter mléka pro jeho výrobu, který není vždy takový, jaký by měl být. Při výrobě tohoto sýra s chráněným označením původu se mléko může zahřát pouze při sýření na maximální teplotu 32 °C. Ke srážení mléka při výrobě Meaux se používá syřidlo a srážení trvá nejvýše 30 minut. Sýřenina se téměř nekrájí, samovolně dochází k odkapávání. Se sýřeninou se při vkládání do forem manipuluje pouze ručně, speciální lžící na Brie. Solí se výhradně nasucho. Brie de Meaux má průměr 36–37 cm, výšku 3,0 až 3,5 cm a jeho hmotnost se pohybuje mezi 2,5–3,0 kg.

Brie de Melun se vyrábí ve stejné oblasti jako Brie de Meaux, jeho chuť je ale výraznější, ostřejší a slanější. Melun se vyrábí působením bakterií mléčného kvašení a koagulace probíhá minimálně 18 hodin. Mléko lze při výrobě zahřát na max. 30 °C. Tento sýr zraje nejméně 4 týdny, mnohdy však 7 až 10 týdnů. Na zralém sýru převládá žlutá plíseň s nádechem červené barvy (Harbutt a Denny, 2003; Masui a Yamada, 2007).

1.1.3 Hermelín

V poválečných letech se i v České republice začal vyrábět sýr s plísní na povrchu. Zpočátku byly výrobky označovány „*Camembert*“, tato značka je však patentově chráněná, a tak byl P. Hojdarem – pozdějším ředitelem potravinářské firmy Madeta, navržen název Hermelín, díky podobnosti bílého plísňového porostu sýra s královským hermelínovým pláštěm z bílých hranostajů. Tento název byl patentově přihlášen 9. 2. 1946 a po tomto roce se užíval pro všechny sýry camembertového typu vyráběné v Československu. Dne 1. 1. 1950 byla do provozu uvedena nová mlékárna v Sedlčanech, zaměřená na výrobu sýrů Hermelín. Technologické zařízení této mlékárny bylo však velmi omezené a jednoduché. Mezi něj patřily 100 litrové hliníkové dvouplášťové hrnce s možností ohřevu mléka pro přípravu sýřeniny, která byla nalévána naběračkou přes nalévací tácy do hliníkových forem podložených dřevěnými drážkovanými rohožemi na odkapávacích stolech. Po odkapání, nasolení v solných lázních a naočkování plísní byly sýry ukládány na dřevěných rohožích se silonovým výpletem do zracích sklepů s chybějící klimatizací. Sýry byly v průběhu zrání otáčeny a před balením vychlazeny. Baleny byly ručně do hliníkových přířezů, loubkových krabiček a papírových kartonů. Až do roku 1960 probíhala výroba pouze příležitostně v zimním období, později začala výroba probíhat celoročně, a to i díky lepší konstrukci technologických zařízení (Kopáček et al., 2007).

1.2 Plísňové kultury

Plísňové kultury hrají klíčovou roli při zrání mnoha druhů sýrů, a to jak po stránce tvorby chuti a vůně, tak i ve vývoji textury a vzhledu. V sýrašství se běžně využívají pro výrobu sýrů s bílou plísní na povrchu plísně *Penicillium camemberti*, v menší míře potom *Geotrichum candidum*, *Claviceps lactis* a *Debaryomyces hansenii*. *Penicillium roqueforti* je zodpovědná za typické aroma a chuť sýrů zrajících s modrou plísní uvnitř hmoty, jako jsou Bleu d'Auvergne, Bleu de Bresse, Gorgonzola nebo Roquefort (Donnelly, 2013; Marcellino a Benson, 2013; Tümer a Barbaros, 1999).

Penicillium camemberti, popř. *Geotrichum candidum* se přidává obvykle jako startovací kultura při výrobě sýrů s plísní na povrchu a patří mezi nejvýznamnější plísně. Plísňovou kulturu lze aplikovat různými způsoby, lze ji přidat do mléka společně se startovací kulturou, případně do solného roztoku. Další metodou je nanesení na povrch sýra.

Penicillium camemberti má několik synonym, mezi něž patří *P. rogeri*, *P. album*, *P. candidum* a *P. caseicolum*. Tato plíseň se vyskytuje téměř výhradně v prostředí sýráren, kromě toho se využívá jako startovací kultura pro fermentované masné výrobky. Optimální teplotní rozmezí pro její růst je 20–25 °C, růst byl zaznamenán i při 5 °C, naopak při 37 °C již nebyl pozorován. Vhodné pH pro růst je v rozmezí 3,5–6,5 a proto je tato plíseň ideálním startovacím mikroorganismem pro výrobu Camembertu a podobných sýrů, jejichž pH se během prvních 24 hodin pohybuje kolem 4,6 a po zrání se zvyšuje na 5,5; na povrchu může dosáhnout až pH 7. Hodnota vodní aktivity pro růst *P. camemberti* je optimálně 0,98 při teplotě 25 °C. Tato plíseň je striktně aerobní, proto roste pouze na povrchu sýra. Dále hraje důležitou roli při proteolýze a lipolýze v procesu zrání sýrů. U jednotlivých kmenů se proteolytická aktivita příliš neliší, zatímco lipolytická aktivita se mezi jednotlivými kmeny liší významně (Abbas a Dobson, 2011; Leclercq-Perlat, 2011; Tümer a Barbaros, 1999).

V sýrech jako je Camembert spolupracuje *Penicillium camemberti* s *Geotrichum candidum*, jehož aminopeptidázy pomáhají odbourávat hořké peptidy, které může *P. camemberti* produkovat a zároveň mohou zlepšovat chuťový profil sýra. Rod *Penicillium* se dále vyznačuje vysokou enzymatickou aktivitou a přispívá k tvorbě specifického aroma – např. uvolňováním metioninu vznikají sirné sloučeniny, které jsou odpovědné za typickou vůni některých zrajících sýrů. Kromě sýrů je rod *Penicillium* nejrozšířenější v masných výrobcích, a to pravděpodobně proto, že tyto plísně dokážou růst při nižších teplotách a nižší vodní aktivitě než jiné plísně, které se v masných výrobcích běžně vyskytují. Ovšem některé druhy *Penicillia* mohou být nežádoucí, např. *Penicillium commune* a *Penicillium caseifulvum* mohou působit na sýrech jako kontaminanty a přerušovat kultury, které byly přidány záměrně pro zrání, čímž mohou negativně ovlivnit kvalitu produktu. Některé kmeny *P. camemberti* mohou produkovat cyklopiazonovou kyselinu, což je mykotoxin, který vykazuje potenciální toxické účinky. Doporučuje se proto, aby se při výběru kmenů pro výrobu sýrů preferovaly netoxické či slabě toxické kmeny (Bruna et al., 2003; Le Bars, 1979; Marcellino a Benson, 2013).

Geotrichum candidum v minulosti způsobovalo sýrařům problémy kvůli své proteolytické aktivitě a tvorbě nevzhledného povrchu sýra, díky svým enzymatickým vlastnostem však hraje významnou roli v tvorbě chuti a aroma sýra. Vhodným výběrem kmenů *G. Candidum*, které tyto nežádoucí vlastnosti nemají, se tento druh plísně stal běžnou součástí výroby. V současnosti se pro zlepšení senzorických vlastností Camembertu z pasteurizovaného mléka přidávají vybrané kmeny přímo do mléka před sýřením, díky čemuž lze dosáhnout chuti bližší tradičnímu Camembertu. Jak již bylo zmíněno, snižují hořkost sýra produkcí aminopeptidáz, které štěpí hořké peptidy a uvolňují volné aminokyseliny. Ty jsou pak dále přeměňovány na aromatické látky jako alkoholy, ketony a sirné sloučeniny, které jsou typické pro některé sýry. Dále přispívá *G. candidum* k neutralizaci povrchu sýra tím, že rozkládá kyselinu mléčnou, jež je produktem startovacích kultur, na oxid uhličitý a vodu. Díky tomu dochází ke zvýšení pH povrchu sýra, čímž se připravuje prostředí pro růst dalších mikroorganismů citlivějších na pH, např. *Brevibacterium linens* (Marcellino a Benson, 2013; Spinnler, 2017).

Morfologicky je *G. candidum* popisována jako kvasinková houba, vzhled kolonií může být různý – existují jak kvasničné (krémově zbarvené, více sporulující), tak vláknité (bílé, plstnaté kolonie) kmeny a jejich výběrem je ovlivněn vzhled i chuť sýra. Růst *Geotrichum candidum* je obvykle pozorován na povrchu sýra kolem třetího dne zrání, u sýru Saint-Marcellin tvoří finální vzhled produktu svou jednotnou bílou sametovou vrstvou, zatímco u jiných sýrů není *G. candidum* na konci zrání příliš patrná. Na vyzrálém Camembertu nebo Brie je překrytá bílou vrstvou *P. camemberti*. Pokud je však *G. candidum* přítomna v nadměrném množství na povrchu Camembertu, je považována za příčinu vad, jako je např. „kluzká kůrka“. Kromě toho, že se podílí na zrání zmíněných měkkých sýrů s plísní na povrchu a polotvrdých sýrů, používá se i při výrobě mazových sýrů (např. Limburger nebo Taleggio). Z technologického hlediska je růst *G. candidum* citlivý na obsah soli – inhibice začíná při koncentraci 1-2 %. To umožňuje sýrárnám regulovat růst této plísně podle požadovaného profilu zrání (Boutrou a Guéguen, 2005; Marcellino a Benson, 2013).

Růst *P. camemberti* a/nebo *G. candidum* dodává sýrům s bílou plísní na povrchu nejen jejich typický vzhled. Kůrka sýrů typu Camembert se obvykle skládá z tzv. „květu“ tvořeného *P. camemberti*, který je přibližně 3 mm silný a má bílou či světle šedou barvu. Pod touto vrstvou se nachází 0,5 mm tmavě oranžová nebo hnědá vrstva, kterou tvoří jiné mikroorganismy, zejména kvasinky a povrchové bakterie (Leclercq-Perlat, 2011).

1.3 Technologie výroby

Výroba sýrů zrajících s plísní na povrchu využívá širokou škálu technologických postupů. Ve skutečnosti existuje tolik různých metod, kolik je výrobců jednotlivých druhů sýrů. Existuje ovšem několik společných rysů výroby (Leclercq-Perlat, 2011).

Srážení mléka

Je třeba zajistit vhodnou rovnováhu mezi kyselinotvornou a enzymatickou aktivitou pro výrobu smíšené sýřeniny. Kysání bakterií mléčného kvašení (BMK) je regulováno množstvím inokulovaných bakterií maximálně $5 \cdot 10^6$ CFU/ml, dále přidáním koagulačního činidla (chymosinu v koncentraci 520 mg/l nebo syřidla, v množství 18–22 ml na 100 l mléka), pH při srážení je kolem 6,25–6,40. Teplota v tomto kroku podporuje činnost BMK i aktivitu koagulačního činidla a pohybuje se mezi 32–35 °C. Srážení trvá 30–90 minut v závislosti na druhu sýra.

Odkapávání sýřeniny

Sýřenina se krájí na kostky o velikosti 0,5–5 cm (dle druhu sýra) a převede se do forem. Syrovátka odtéká perforovanými stěnami forem. Vhodnou formou se tvaruje do požadovaného tvaru výsledného produktu. V této fázi výroby pokračuje okyselování, které vede ke vzniku sýra, sýr má prozatím nízkou soudržnost, pH se pohybuje mezi 4,6–4,7. Rovněž obsah minerálních látek je nízký – obsah vápníku činí 0,3–0,5 % (w/w) a sušina se pohybuje mezi 40–45 % (w/w).

Solení mladých sýrů

Pro mladé sýry se používá buď solení nasucho nebo solný roztok. Povrchově zrající měkké sýry vyžadují 1,5–2,0 % (w/w) chloridu sodného. Mezi významné funkce solení patří mimo dodání specifické chuti a potlačení či zesílení aroma během zrání rovněž podpora dalšího odtoku syrovátky a v neposlední řadě solení zabraňuje růstu patogenních a nežádoucích mikroorganismů.

Zrání

Zrání je důsledkem enzymatické aktivity, která v sýru probíhá především díky mikrobiotě – přirozené či dodané pomocí startovacích kultur. Startovací kultura běžně obsahuje BMK, doprovodné bakterie a *Penicillium camemberti*, část této kultury se přidává do mléka před koagulací, *P. camemberti* se ovšem často rozprašuje na povrch sýra po solení. Zrání probíhá ve dvou fázích, které lze rozdělit na zrání v komoře a zrání po balení. Během

zrání v komoře se teplota pohybuje od 10 do 14 °C a relativní vlhkost vzduchu (RH) od 90 do 95 %. Délka této fáze se může pohybovat od 9 do 30 dnů. Sýry se následně zabalí a uskladní při teplotě 4-6 °C. Zrání v obalu se může značně lišit díky propustnosti obalu vůči vodě, popř. jiným vlastnostem obalového materiálu. Tento krok je důležitý k udržení rozmezí vlastností sýra, např. vzhledu a tloušťky kůry a tvrdosti, které musí být splněny pro uvedení produktu na trh. (Hartmann a Maubois, 2017; Leclercq-Perlat, 2011; Masui a Yamada, 2007)

1.4 Biochemické a fyzikálně-chemické změny během zrání

Sloučeniny, které se podílejí na aroma sýrů s plísní na povrchu pocházejí především ze tří hlavních metabolických cest probíhajících při zrání – katabolismu laktózy, katabolismu lipidů a katabolismu bílkovin. Roli zde hrají endogenní enzymy mléka, srážecí enzymy a v neposlední řadě rovněž mikrobiální enzymy. Látky pocházející z těchto metabolismů jsou hlavně mastné kyseliny, ketony, methylketony, alkoholy, laktony, estery, aldehydy, sirné sloučeniny a aminy. Extracelulární enzymy produkované *P. camemberti* – aspartyl proteáza, metaloproteináza a lipáza jsou hlavními faktory podílející se na biochemických změnách doprovázejících proces zrání těchto sýrů (Calzada et al., 2014; Molimard a Spinnler, 1996).

Metabolismus laktózy a změny pH

Startovací kulturou pro výrobu sýrů s plísní na povrchu jsou homofermentativní mezofilní laktokoky, které rozkládají laktózu především za vzniku kyseliny mléčné. Syřidlo se tradičně přidává do mléka při pH 6,3–6,4, nejintenzivnější acidifikace probíhá během odkapávání syrovátky, kdy pH klesne až na 4,6–4,8. Na povrchu sýra začíná posléze růst mikrobiota složená z kvasinek, *Geotrichum* a *Penicillium*, která využívá kyselinu mléčnou jako zdroj energie, čímž dochází na povrchu sýra ke zvýšení pH. Zároveň migruje laktát z vnitřní části sýra směrem k povrchu, pH na povrchu sýra dosahuje hodnoty 7,0; uvnitř sýra je přibližně 6,0. Tato neutralizace má při zrání velmi důležité funkce. Podporuje růst bakterií, které jsou citlivé na kyselé prostředí, na povrchu se začínají rozvíjet mikrokoky a koryneformní bakterie, které se podílí na tvorbě typického aroma. Další funkcí je vliv na aktivitu enzymů, které jsou aktivní při neutrálním pH. V neposlední řadě je důležitým efektem při neutralizaci migrace minerálních látek, přesun vápníku a fosfátů směrem ven. Povrch Camembertu obsahuje vysoké množství vápníku (17 g/kg) a fosforu (9 g/kg), uvnitř sýra je jejich obsah nižší. Zvýšené pH vede k tvorbě nerozpustného fosforečnanu

vápenatého, který se ukládá v kůrce sýra. Zároveň se mění textura, dochází ke změnám v konzistenci, a sýr postupně měkne (Leclercq-Perlat, 2011, Spinnler, 2017).

Proteolýza

V prostředí sýra je proteolýza katalyzována proteinázami pocházejícími ze syřidla, mléka (zejm. plazmin), primárních a sekundárních kyslíkových kultur, popř. nekyslíkových bakterií mléčného kvašení. Sýry s plísní na povrchu, u kterých je syrovátka odváděna ze sraženiny při nízkém pH, obsahují větší množství zbytkového syřidla. V případě α_{S1} -kaseinu je syřidlem hydrolyzována peptidová vazba mezi fenylalaniny za vzniku dlouhého a krátkého peptidu (McSweeney, 2013; Spinnler 2017).

β -kasein je výrazně rozložen ve vnější části, mnohem méně potom ve středu sýra. Dominantní roli zde hrají enzymy produkované *P. camemberti*. Na konci zrání dochází ve vnější části Camembertu ke zvýšení obsahu γ -kaseinu, který vzniká degradací β -kaseinu působením plazminu. Plazmin je zde aktivnější díky vyššímu pH (Spinnler, 2017).

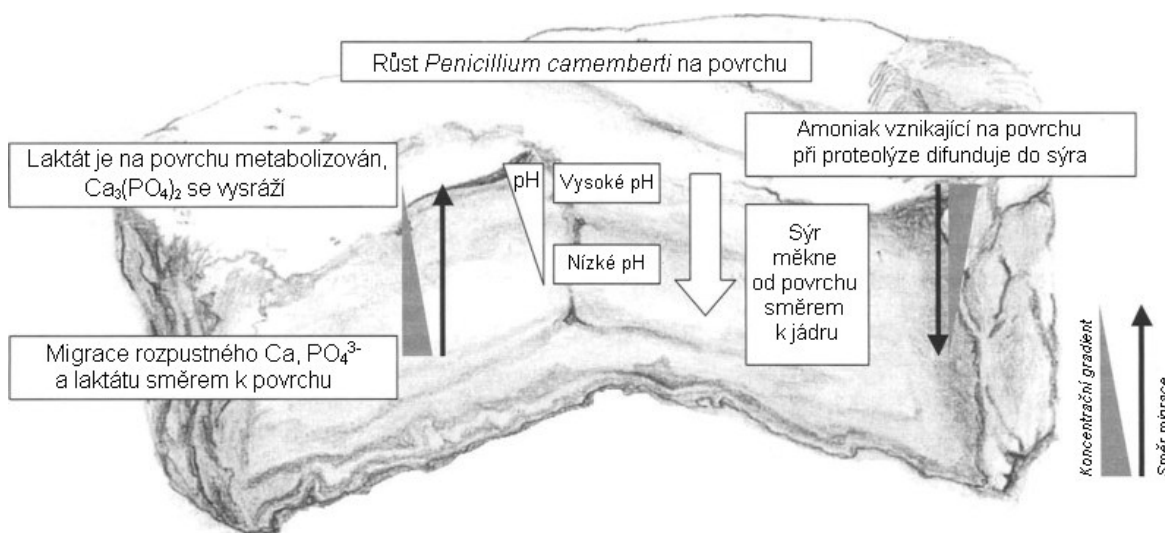
P. camemberti má vysoký proteolytický potenciál, produkuje endo- a exopeptidázy, syntetizuje množství metaloproteinázy a aspartátové proteinázy s optimální aktivitou při pH 5,5–6,0. Během zrání Camembertu dochází v jeho vnější vrstvě k nárůstu proteolytické aktivity mezi 6.-7. dnem, což je doba, kdy začíná růst *Penicillium*. Koncentrace metaloproteinázy a aspartátové proteinázy dosahuje maxima mezi 15.-21. dnem, poté se jejich hladina snižuje. *P. camemberti* produkuje velké množství aminokyselin díky syntéze extracelulárních exopeptidáz. Oxidační deaminací lze aminokyseliny přeměnit na α -ketokyseliny a následně na aldehydy pomocí dekarboxylázy tzv. Streckerovou cestou. Aldehydy mohou být dále redukovány na primární alkoholy nebo oxidovány na kyseliny. Oxidační deaminaci aminokyselin zajišťují oxidoreduktázy, které se vyskytují zejména u *G. candidum* (Molimard a Spinnler, 1996; Spinnler 2017).

V tradičním Camembertu se rovněž vyskytuje amoniak, který vzniká deaminací aminokyselin. Produkci NH_3 lze chápat jako závěrečný krok proteolýzy, jeho koncentrace ve slupce je ve vysoké korelaci s růstem *P. camemberti*. V případě *P. camemberti* je amoniak produkován růstem a sporulací a jeho produkce je vyšší než produkce u plísní *G. candidum*. *G. candidum* se v současné době systematicky přidává do zrajících zákysů také kvůli jeho schopnosti rozkládat nízkomolekulární hořké peptidy produkované *P. camemberti*, přispívá k celkové chuti sýrů díky svému proteolytickému a lipolytickému systému (Leclercq-Perlat, 2011; Marcellino a Benson, 2013).

Lipolýza

Proces lipolýzy je spojován s několika faktory, konkrétně s lipoproteinovou lipázou přítomnou v kravském mléce, s esterázovými aktivitami mléčných bakterií a také s lipázami syntetizovanými plísněmi nebo kvasinkami. Produkty lipolýzy – volné mastné kyseliny mají přímý vliv na chuť sýra, dále slouží jako prekurzory pro sekundární katabolické procesy, které vedou k produkci těkavých látek, jako estery, laktony, thioestery, sekundární alkoholy a methylketony. V Camembertu jsou methylketony zdaleka nejhojnějšími těkavými aromatickými sloučeninami v koncentracích 25–60 mmol na 100 g tuku, přičemž hlavními sloučeninami jsou nonan-2-on a heptan-2-on (Chen et al., 2022; Spinnler, 2017).

Lipolytická aktivita je spojena se změnami mikroflóry během zrání sýrů, *P. camemberti* má tendenci produkovat mastné kyseliny s dlouhým řetězcem, zatímco např. *Kluyveromyces lactis* vytváří mastné kyseliny se středně dlouhým či krátkým řetězcem, které mohou migrovat z kůry dovnitř sýra. Mezi frakcemi volných mastných kyselin v sýru typu Camembert dominují kyselina olejová, myristová a palmitová, jejich koncentrace během zrání roste. Ve volné formě se nachází asi 5–10 % mastných kyselin z jejich celkového obsahu (Chen et al., 2022; McSweeney, 2013).



Obrázek 2 Schématické znázornění změn, které nastávají v sýru s plísní na povrchu během zrání v důsledku růstu *Penicillium camemberti*

(zdroj: upraveno podle McSweeney et al., 2004)

2 TAVENÉ SÝRY

Počátky výroby tavených sýrů (TS) lze datovat do poloviny 90. let 19. století. Záměrem bylo zřejmě vyvinout sýr, který má prodlouženou trvanlivost, popřípadě sýr, který by byl chuťově jemnější. Komerční výroba tavených sýrů začala v Evropě a USA v letech 1910 až 1920, výrobní postupy byly založeny na použití sýru Cheddar a dalších druhů sýrů, jako tavicí soli byly používány citráty nebo fosforečnany. Bohužel první pokusy o výrobu kvalitního taveného sýra nebyly úspěšné, proces tavení se však rozšířil ve 30. letech 20. století, kdy se na trhu objevily tavicí soli (např. polyfosforečnany) a do surovinové skladby se přidaly další mléčné i nemléčné složky. Použití jednotlivých složek se nyní řídí legislativními pravidly platnými pro jednotlivé země výroby. V roce 2023 bylo dle Českého statistického úřadu spotřebováno v České republice 1,9 kg tavených sýrů na obyvatele za rok (Buňka et al., 2024; Český statistický úřad, 2024; El-Bakry a Mehta, 2022; Tamime, 2011).

Dle vyhlášky č. 397/2016 Sb. lze považovat za tavený sýr takový sýr, který byl tepelně upraven tavením. Taktéž existují i imitace či analogy tavených sýrů, ve kterých se v surovinové skladbě zcela či zčásti nahrazují mléčné složky nemléčnými alternativami především rostlinného původu, které jsou levnější než tradiční složky. Tyto alternativy nelze pojmenovat jako „tavený sýr“ a ve vyhlášce nejsou zahrnuty (Česko, 2016; Fox et al., 2017).

2.1 Suroviny pro výrobu tavených sýrů

Běžně se tavené sýry vyrábí ze směsi přírodních sýrů, mléčného tuku – másla či smetany, pitné vody a tavicích solí. Dále se mohou přidávat různé ochucující složky, např. masová složka, zelenina, koření či houby (Buňka et al., 2010).

2.1.1 Přírodní sýry

Přírodní sýry jsou základní složkou pro výrobu TS. Druh použitého sýra se liší v závislosti na typu TS, Cheddar se používá běžně v angloamerických zemích, ale stále více se používá i v Evropě, kde se ale hlavně používají sýry holandského a švýcarského typu nebo Maasdamer. V České republice jsou využívány sýry eidamského typu, méně sýry švýcarského typu a popř. moravský bochník. Sýry pasta-filata se používají v oblasti Středozeří a sýry zrající či uchovávané v solném roztoku se používají na Blízkém a Středním východě. Obecně platí, že používaný přírodní sýr je typický pro geografickou oblast výroby. Často se do surovinové skladby používá více druhů sýrů. S ohledem na požadované vlastnosti TS se volí i stáří a složení sýra, používají se sýry v různých stupních

zralosti, jelikož i tyto parametry ovlivňují texturu a chuť výsledného produktu. Při výrobě TS lze použít také přírodní sýry s určitými vadami, zejména vadami mechanickými – tvarově a rozměrově deformované, dále i s vadami způsobenými analytickými hodnotami, které se liší od hodnot deklarovaných na obalu finálního produktu (obsah sušiny nebo tuku). Dalším zdrojem přírodních sýrů, které lze zpracovat, jsou odřezky vznikající při krájení a balení TS. Sýry kontaminované aerobními a anaerobními sporulujícími bakteriemi jsou nevhodné pro výrobu TS: Vliv přírodních sýrů na TS je popsán v kapitole 3.1. (Buňka et. al., 2010; Buňka et al., 2024; Kapoor et. al., 2007; Salek, 2021; Talbot-Walsh et. al., 2018).

2.1.2 Mléčný tuk

Přídavek tuku do surovinové skladby zajišťuje požadovanou strukturu a senzorické vlastnosti TS. Jako zdroje mléčného tuku se tradičně se využívají máslo či smetana. Také rozsah homogenizace je důležitý při výrobě TS, jelikož velikost, distribuce a množství tukových kuliček přímo ovlivňuje fyzikální vlastnosti končeného produktu. Sýry s větší homogenizací tuku mají sníženou lámavost, což vede ke vzniku tvrdšího produktu. V dnešní době rostou obavy spotřebitelů ohledně vysokého obsahu tuku v potravinách, potravinářské podniky se proto snaží vyvíjet alternativy s nižším obsahem tuku, nicméně bylo zjištěno, že snížení obsahu tuku u TS o více než 50 % negativně ovlivňuje chuť a texturu produktu. Alternativní metodou je nahrazení mléčného tuku tukem rostlinného původu, což výrobcům snižuje náklady a výrobek má nízký obsah cholesterolu, což je zdravotním benefitem pro spotřebitele. Výrobky s obsahem rostlinných olejů se neřadí mezi TS, nýbrž mezi jejich analogy (Talbot-Walsh et. al., 2018).

2.1.3 Tavicí soli

Tavicí soli se do TS přidávají za účelem vytvoření hladké a homogenní konzistence. Jedná se o látky, které zlepšují emulgační schopnosti proteinů (kaseinů), což zvyšuje jejich schopnost fungovat jako emulgátory. Tato funkce tavicích solí je označována jako „hlavní role tavicích solí“. Přestože se tyto látky mnohdy označují jako emulgátory – látky s povrchovou aktivitou, není toto označení zcela přesné, jelikož nemají amfifilní charakter. Podle nařízení EU č. 1333/2008 o potravinářských přídatných látkách lze tavicí soli definovat jako látky, které převádějí bílkoviny obsažené v sýru do disperzní formy za účelem homogenního rozložení tuků a ostatních složek.

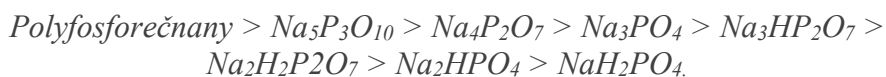
Bez přídavku tavicích solí dochází k degradaci tukových membrán, což vede k uvolnění tukových kuliček, které se začnou shlukovat, dále k agregaci kaseinů, což

zhoršuje jejich emulgační schopnost a v neposlední řadě dochází k oddělení hydrofilních a hydrofobních fází, směs je nehomogenní a neodpovídá požadavkům na kvalitu TS (Buňka et. al., 2024; EU, 2008; Salek, 2021).

Fosforečnany

Fosforečnany jsou soli odvozené od kyseliny trihydrogenfosforečné (H_3PO_4), která se pro potravinářské účely získává z průmyslové H_3PO_4 čištěním. Fosforečnany jsou velkou skupinou sloučenin, jejich řada začíná jednoduchou skupinou PO_4 , která může existovat jako trojnásobně nabitý monofosforečnanový aniont PO_4^{3-} , nebo může tvořit molekuly, kde jsou jeden nebo dva kyslíkové atomy vázány kovalentně na atomy jiné. Přítomný kyslík může rovněž tvořit můstek mezi atomem fosforu a jinými atomy, včetně jiných atomů fosforu, za vzniku dlouhé řady polyfosfátů (kondenzovaných fosfátů). V průmyslové výrobě TS se využívají lineární (dvojrozměrné) polyfosfáty. Obecně se v potravinářském průmyslu však také používají fosforečnany sodné, draselné, amonné, vápenaté, hořečnaté nebo sodno-hlinité. Draselné soli fosfátů jsou obvykle lépe rozpustné, avšak preferovány jsou sodné soli, jelikož nezpůsobují hořkou chuť, a to ani při vyšších koncentracích. Iontově-výměnná schopnost tavicí soli je ovlivněna počtem lineárně vázaných fosforečnanových jednotek v molekule fosforečnanové či polyfosforečnanové soli. Schopnost vyměňovat sodík za vápník mezi tavicími solemi a kaseinovou strukturou přírodního sýra je ovlivněna délkou fosforečnanové soli a cílovou teplotou během tavení. Použití delších fosforečnanových solí a vyšší teploty zvyšuje schopnost výměny iontů, tedy i disperzi kaseinu. Iontová výměna je ovlivněna i pH směsi použitých surovin, obecně platí pH směsi v rozmezí přibližně 5,0–6,5; je-li pH směsi mírně nižší, je vyšší ionexová schopnost soli a naopak (Buňka et al., 2022; Lucey et al., 2011; Salek, 2021).

Buňka et al. (2009, s 17) radí fosforečnany, které se používají jako tavicí soli dle schopnosti měnit ionty sodíku za vápenaté ionty následovně:



Další z vlastností fosforečnanů je úprava pH prostředí, optimální pH pro roztíratelné TS je v rozmezí 5,6–6,0. Různé fosforečnany mají různé pH, je proto nutné vybrat vhodnou kombinaci fosforečnanů pro výrobu TS s vhodnou konzistencí. Některé z tavicích solí na bázi fosforečnanu sodného mají pufrovací kapacitu a jsou schopny stabilizovat pH finálních produktů. Pufrovací kapacita sodné soli je vyšší, čím je fosforečnan či polyfosforečnan kratší (Buňka et. al., 2022).

Citráty

Citráty jsou soli kyseliny citronové (kyseliny 2-hydroxypropan-1,2,3-trikarboxylové). Ta tvoří v závislosti na disociačních stupních citráty, hydrogencitráty a dihydrogencitráty. Citrátové soli se získávají nahrazením kyselých atomů vodíku kationty z trojmocné kyseliny citronové. Konkrétně jsou ionty H^+ neutralizovány ionty Na^+ , čímž vznikají tři typy solí – monosodný, disodný a trisodný citrát. Citrát sodný byl první tavicí solí používanou k výrobě TS. Nevýhodou jeho použití při výrobě TS je kyselost a špatná textura finálního výrobku, proto se nepoužívá samostatně, ale lze jej použít ve směsi tavicích solí ke korekci pH TS. Dále lze zmínit např. dihydrát citrátu trisodného, který je pro výrobce běžnou tavicí solí a je vhodný na výrobu plátků nebo krájených bloků TS. Ve srovnání se sodnými monofosforečnany a difosforečnany má trisodný citrát lepší schopnost výměny vápníkových iontů a lepší schopnost dispergovat kasein. Rovněž draselné nebo amonné citráty se mohou aplikovat při výrobě TS se sníženým obsahem sodíku, při jejich vysokých koncentracích však mohou způsobit intenzivní hořkost produktu (Lucey et. al., 2011; Salek, 2021).

2.2 Použití hydrokoloidů při výrobě tavených sýrů

Hydrokoloidy lze charakterizovat jako biopolymery převážně bílkovinné nebo sacharidové povahy, jež ovlivňují strukturu a stabilitu gelů např. v potravinářství. Jsou to vysokomolekulární látky vykazující vysokou vaznost vody a mnoho z nich je schopno tvořit za vhodných podmínek trojrozměrné matrice (gely). Mohou být použity jako zahušťující prostředky nebo stabilizátory textury produktů zabraňující uvolňování vody při skladování, např. u jogurtů.

Často využívané hydrokoloidy na bázi polysacharidů jsou nativní a modifikované škroby, karagenany, esterifikované pektiny, lokustová guma, arabská guma, algináty, agary a další. Mezi bílkovinné hydrokoloidy řadíme např. želatinu, kasein a jeho soli, sérové bílkoviny atd. Mnohdy se však tyto látky používají ve směsích. Při výrobě TS, tavených sýrových pomazánek a analogů našly hydrokoloidy uplatnění pro úpravu konzistence, zlepšení vazby vody a k prevenci ulpívání výrobků na hliníkové obaly. Používají se i jako náhrada tradičních tavicích solí na bázi fosforečnanů a citranů (Bhattacharya 2023; Buňka et al., 2009; Guinee 2017; Hall, 2009).

2.2.1 Agar

Agar se skládá z agarózy a agaropektinu. Tyto lineární polysacharidy obsahují stavební jednotky β -D-galaktopyranózu a 3,6-anhydro- α -L-galaktopyranózu, které jsou střídavě vázány glykosidickými vazbami α -(1 $\rightarrow$ 3) a β -(1 $\rightarrow$ 4). Agar se získává z červených mořských řas čeledi *Rhodophyceae*. Jejich schopnost tvořit gely se široce využívá v potravinářském průmyslu. Tato schopnost závisí na tvorbě vodíkových vazeb, díky kterým se náhodné struktury spojují ve dvojité helixy. Přítomnost vody vázané uvnitř kaveren těchto helixů podporuje stabilizační funkci. Agarové gely se při zahřátí rozpadají a po ochlazení znovu tvoří, tento proces je plně vratný a lze jej opakovat, ovšem reverzibilita gelace závisí na hodnotě pH a popř. přítomnosti oxidačních látek (Nagyová et al., 2014; Padmesh a Singh, 2021).

Aplikace agaru jsou primárně založeny na jeho mimořádné gelovací schopnosti, vysoké hysterezi a reverzibilitě gelu, vlastností, které jsou dané jeho specifickou strukturou. Agar má širokou škálu využití, jeho tradiční použití jako potravinářské složky představuje 80 % celkové potřeby. V Evropě je klasifikován jako potravinářská přísada E406. Synergie mezi agarem a lokustovou gumou u agarů z rodů *Gelidium* a *Pterocladia* zlepšuje tvrdost a texturu výrobků, současně se snižuje synereze gelů, což znamená, že gely během manipulace, přepravy či skladování uvolňují méně tekutiny. Agar je bez chuti a nelze ho vnímat v potravinách s jemnou chutí. V potravinách se používá v množstvích 0,5-1,5 % celkové hmotnosti výrobku, jeho nutriční přínos je nízký (Armisen a Gaiatas, 2009).

2.2.2 Algináty

Algináty jsou obecně soli kyseliny alginové. Tyto látky se extrahují z mořských řas čeledi *Phaeophyceae*, lze je ale extrahovat i z některých mikroorganismů např. rodu *Azotobacter* nebo *Pseudomonas*. Jsou to lineární polysacharidy složené z β -D-mannuronové kyseliny a α -L-guluronové kyseliny, které jsou spojené glykosidickými vazbami β -(1 $\rightarrow$ 4). Tvorba gelu těchto látek je ovlivněna umístěním a poměrem těchto kyselinových zbytků v polymerním řetězci. Sodné soli alginátů specificky vážou vápenaté ionty za tvorby pevného gelu (Nagyová et al., 2014; Wypych a Wypych, 2022).

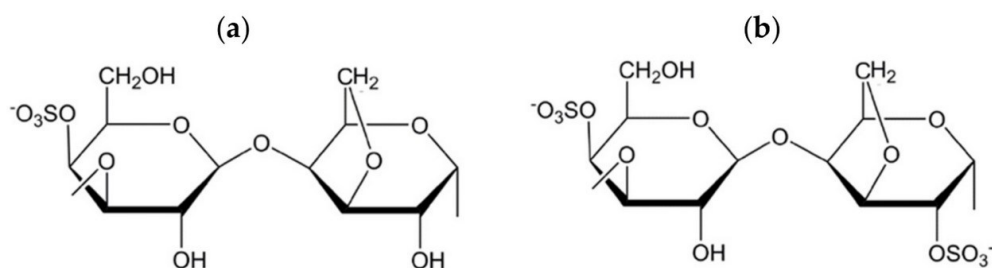
První krok výroby alginátu spočívá v iontové výměně s protony ošetřením mleté řasové tkáně 0,1-0,2 M minerální kyselinou. Poté se kyselina alginová rozpouští neutralizací zásadou, např. uhličitánem nebo hydroxidem sodným za vzniku ve vodě rozpustného alginátu sodného. Následují separační procesy jako prosévání, flotace, centrifugace a filtrace

k odstranění částic řas, po kterých se alginát sodný přímo vysráží alkoholem, chloridem vápenatým nebo minerální kyselinou, popř. se převede zpět na sodnou formu, Nakonec se suší a mele. Algináty mohou zlepšovat, upravovat a stabilizovat strukturu potravinářských produktů, používají se jako potravinářská aditiva – zahušťovadla, želírovací látky a stabilizátory vodných směsí a emulzí obecně. Jejich aplikace vychází ze samotných fyzikálních vlastností alginátů, ale i jejich interakcí s dalšími složkami potravin, např. s proteiny nebo vlákninou (Draget, 2009).

2.2.3 Karagenany

Karagenany jsou skupina lineárních sulfatovaných polysacharidů s vysokou molekulovou hmotností, které se extrahují z červených mořských řas třídy *Rhodophyceae*, nejvíce je karagenan produkován z druhů *Kappaphycus* a *Eucheuma*, a to až z 90 %. Jejich složení je významně ovlivněno faktory prostředí, např. teplotou vody, slaností nebo intenzitou světla. Vlastnosti extraktů se liší dle druhu použitých řas. Karagenany jsou složeny z disacharidu karabiózy, která se skládá z opakujících se jednotek galaktózy a 3,6-anhydrogalaktózy, které jsou sulfatované nebo nesulfatované, spojené střídavě β -(1,3) a α -(1,4) glykosidickými vazbami (Buňka et al., 2009; Krasaekoopt a Bhandari, 2012; Udo et al., 2023).

Mezi hlavní typy karagenanů patří lambda, kappa a iota karagenan, které lze získat purifikací pomocí selektivních extrakčních metod. Mu- a nu-karagenany jsou považovány za prekursorů kappa a iota karagenanu, chemicky se modifikují pomocí alkalického ošetření, čímž vznikají výsledné struktury. Jednotlivé typy karagenanů se liší obsahem esterových sulfátových skupin a 3,6-anhydrogalaktózy a tyto rozdíly ovlivňují pevnost gelu, texturu, rozpustnost, teplotu tání a tuhnutí a synergické účinky. Všechny karagenany obsahují malý podíl materiálu s nízkou molekulovou hmotností. Tento nízkomolekulární podíl je pravděpodobně přirozenou součástí mořských řas (Imeson, 2009, Inamuddin et al., 2021).



Obrázek 3 Chemická struktura κ -karagenanu (a) a ι -karagenanu (b)

(zdroj: Song et al., 2021)

Ve vodném prostředí v závislosti na teplotě se κ -karagenan a ι -karagenan mohou vyskytovat ve dvou stavech, v uspořádané helikální struktuře neboli šroubovici a v neuspořádaném stavu. Teplota, při které přechází uspořádaná struktura do neuspořádané se pohybuje mezi 35 a 55 °C. Rovněž je tato teplota závislá na mnoha faktorech, hlavně pak na typu karagenanu, výskytu a koncentraci iontů. Šroubovicová struktura stojí za schopností karagenanů tvořit gely, které vznikají asociací těchto struktur. Gelovací a zahušťovací vlastnosti různých typů karagenanů se výrazně liší. κ -karagenan vytváří pevný gel v přítomnosti draselných iontů, zatímco ι -karagenan a λ -karagenan jsou těmito ionty ovlivněny pouze minimálně. ι -karagenan reaguje s vápenatými ionty za vzniku měkkých a elastických gelů (Buňka et al., 2009; Imeson, 2009).

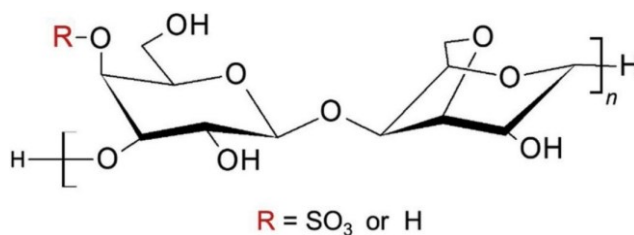
Funkčnost κ -karagenanu v mléčných systémech je studována již mnoho let. κ -karagenan vykazuje synergický efekt s mléčnými bílkovinami, zejména s micelami kaseinu, který vede ke zvýšení viskozity a k tvorbě gelů. Záporně nabitá organosulfátová skupina na karagenanu interaguje s pozitivními oblastmi kaseinů, což vede ke změnám v reologických vlastnostech během zpracování a ve finálních produktech. Jedním z aspektů je schopnost zabránit vizuální fázové separaci mezi micelami kaseinu a polysacharidy, která se vyskytuje kvůli neslučitelnosti biopolymerů. Bylo prokázáno, že přidavkem karagenanu do sýrových výrobků se zlepšuje výtěžnost tvarohu, regenerace syrovátkového proteinu a struktura sýra. Funkce karagenanu je také příležitostně označována jako náhražka tuku, která umožňuje sýrovým výrobkům se sníženým obsahem tuku zlepšit jejich chování při tání a schopnost zadržovat vodu (Spagnuolo et al., 2005; Udo et al., 2023).

Karagenany jsou v problematice TS hojně studovány. Např. studie Černíkové et al. (2008), ve které byl zkoumán vliv přídatku κ -karagenanu a ι -karagenanu v různých koncentracích (od 0,05 % do 0,25 %), poukázala na zvyšování tuhosti TS s rostoucí koncentrací těchto hydrokoloidů, přičemž významněji tuhost ovlivňoval ι -karagenan. Ve studii Ahmad et al. (2016) byl použit κ -karagenan při výrobě taveného sýra čedar a byl sledován jeho vliv na fyzikálně-chemické a texturní vlastnosti výrobku. V této studii byly rovněž získány tužší produkty se zvýšením koncentrace κ -karagenanu a tavitelnost vzorků se snížila.

2.2.4 Furcellaran

Historicky byla směs galaktantů z *Furcellaria lumbricalis* jedním z prvních hydrokoloidů, které byly průmyslově vyráběny z červených řas. První pokusy o výrobu furcellaranu probíhaly v Dánsku v roce 1917. Po mnoho desetiletí byl tento produkt se specifickými vlastnostmi efektivně využíván evropskými potravinářskými výrobci. Červená řasa *Furcellaria lumbricalis*, dříve nazývaná *F. fastigiata*, se vyskytuje v široké oblasti východního i západního severního Atlantiku, od Barentsova moře po Biskajský záliv, a zvláště pak v brakických vodách Baltského moře (Tuvikene et al., 2010).

Furcellaran, též známý jako „dánský agar“ je aniontový sulfatovaný polysacharid s vlastnostmi připomínajícími karagenan. V Evropě bylo furcellaranu nejprve přiděleno samostatné E-číslo, nicméně po přezkoumání a přehodnocení karagenanu a furcellaranu byly klasifikovány společně jako E407. Furcellaran se skládá se především z (1-3)-vázané β -D-galaktopyranózy, (1-4)-vázané 3,6-anhydro- α -D-galaktopyranózy a (1-3)-vázané β -D-galaktopyranózy 4-sulfátu. Alkalická úprava odstranila prekurzorové sekvence sulfátu a vedla k tvorbě 3,6-anhydrogalaktózy, což zlepšilo gelovací schopnost furcellaranu. Strukturou je velmi podobný κ -karagenanu, liší se především ve stupni substituce sulfátem. Hydroxylová jednotka κ -karagenanu je sulfatovaná 100%, zatímco u furcellaranu je to 50 %. Sodné soli furcellaranu jsou rozpustné i ve studené vodě, ale draselné a vápenaté soli se musí zahřát. Rovněž je furcellaran rozpustný v horkých koncentrovaných roztocích cukru, nerozpustný je v koncentrovaných roztocích solí a 35% ethanolu. Je nerozpustný v rostlinných olejích, jeho rozpustnost klesá se snižováním pH. Při nízkém pH se samovolně rozkládá. Zvýšení teploty výrazně zlepšuje jeho disperzi. Furcellaran lze využít jako želírující látku, zahušťovadlo, stabilizátor, flokulant a objemové činidlo. Rovněž stabilizuje emulze a zpomaluje tvorbu ledových krystalů. Komerčně dostupné druhy furcellaranu jsou komplexní směsi široké škály polysacharidů, v důsledku toho se mohou lišit jeho funkční vlastnosti (Imeson, 2009; Mišurcová et al., 2012; Smith a Hong-Shum, 2011).



Obrázek 4 Chemická struktura furcellaranu

(zdroj: Júnior et al., 2021)

Ve studii Kůrová et al., (2022) byly do tavené sýrové pomazánky přidány 2 typy furcellaranu v různém množství (0,10 – 1,00 % w/w) a to s použitím i bez použití tavicích solí. Zvyšující se koncentrace furcellaranu, bez ohledu na jeho typ, měla vliv na viskoelastické vlastnosti a zvyšovala tuhost vzorků. Vzorky vyrobené bez tavicích solí vykazovaly vyšší tuhost.

2.2.5 Micelární kasein

Většina komerčně dostupných kaseinů se vyrábí destabilizací kaseinových micel pomocí syřidla nebo kyselého srážení, což narušuje nativní kaseinové micely. Díky mikrofiltraci polopropustnou membránou s velikostí pórů 0,1 μm lze z odstředěného mléka oddělit kasein se zachovanou micelární strukturou od syrovátkových bílkovin, laktózy a rozpustných solí. Retentát z mikrofiltrace se označuje jako micelární kaseinový koncentrát, ten lze dále koncentrovat pomocí ultrafiltrace, kdy dochází k odstranění přebytečné vody a látek s nízkou molekulovou hmotností (Guinee, 2017; Jana, 2022).

Mikrofiltrace odstředěného mléka se obvykle provádí při teplotě cca 50 °C. Existují různé typy membrán, včetně polymerních spirálově vinutých, membrán s rovnoměrným transmembránovým tlakem, membrán s odstupňovanou propustností a izofluxních keramických membrán. Typ membrány ovlivňuje zejména obsah kaseinových bílkovin, ale i celkové náklady na proces. Kromě typu membrány ovlivňuje separaci kaseinových a syrovátkových bílkovin také počáteční složení mléka, koncentrační faktor a diafiltrace. Koloidní část minerálů z odstředěného mléka zůstává v retentátu, což mění poměr koloidních a sérových iontů. Tekutý retentát lze koncentrovat vakuovým odpařováním, rovněž lze sušit rozprašováním za vzniku prášku, který je třeba před použitím rehydratovat. Současné průmyslové technologie neumožňují úplné oddělení kaseinu a syrovátkových bílkovin, jejich poměr se během zpracování mění přibližně z 80/20 na 92/8 (kasein ku syrovátkovým bílkovinám) (de Boer, 2014; Guinea, 2017; Jana, 2022).

Micelární kaseinové koncentráty (MCC) jsou novým typem suroviny a jejich aplikace jsou stále v počáteční fázi. Využívají se např. při výrobě sýrů za účelem zajištění konstantní kapacity stávající výrobní linky, dále pak specificky při výrobě sterilizovaných tekutých formulí – pro enterální výživu. Výhodou při jeho výrobě je rovněž vznik vedlejšího produktu, kterým je nativní syrovátka. Ta je vynikajícím zdrojem pro výrobu koncentrátů syrovátkových bílkovin. Dosud existuje pouze málo studií o použití micelárního kaseinu v tavených sýrových výrobcích (Guinea, 2017; Jana, 2022).

Výrobou tavených sýrových výrobků s přídavkem micelárního kaseinu se zabývá např. Hammam et al. (2023a), kteří nahradili tavicí soli různými kombinacemi bílkovin z práškového MCC a kultivovaného tekutého MCC (tvaroh, obohacen laktózou z permeátu, pasterován, zchlazen a inokulován startovacími kulturami, s přídavkem kyseliny mléčné).

2.3 Výroba tavených sýrů

V současné době lze TS vyrábět diskontinuálně či kontinuálně, v evropských zemích je však více používán způsob diskontinuální. Buňka et al. (2009) rozdělili diskontinuální výrobu TS do těchto 4 fází:

- 1. příprava směsi určené k tavení,*
- 2. určení složení tavicích solí,*
- 3. vlastní proces tavení připravené směsi,*
- 4. balení taveniny, chlazení, skladování a expedice.*

Při přípravě směsi pro tavení hrají roli např. obsah sušiny, tuku v sušině a požadovaná konzistence výrobku. Suroviny používané při výrobě shrnuje kapitola 2.1. Tavicí soli se přidávají do surovinové skladby obvykle v množství 2–3 % z celkové hmotnosti a jejich určení je závislé na charakteru přírodních sýrů (např. na stupni prozrálosti nebo druhu), ale i na ostatních surovinách. Rovněž pH surovin a požadované vlastnosti výsledného výrobku (hlavně pak konzistence) je třeba zohlednit. Nejen složení tavicích solí, ale i jejich přidané množství je důležité, nadbytečné množství může způsobit vady konzistence nebo negativní změny v chuti TS.

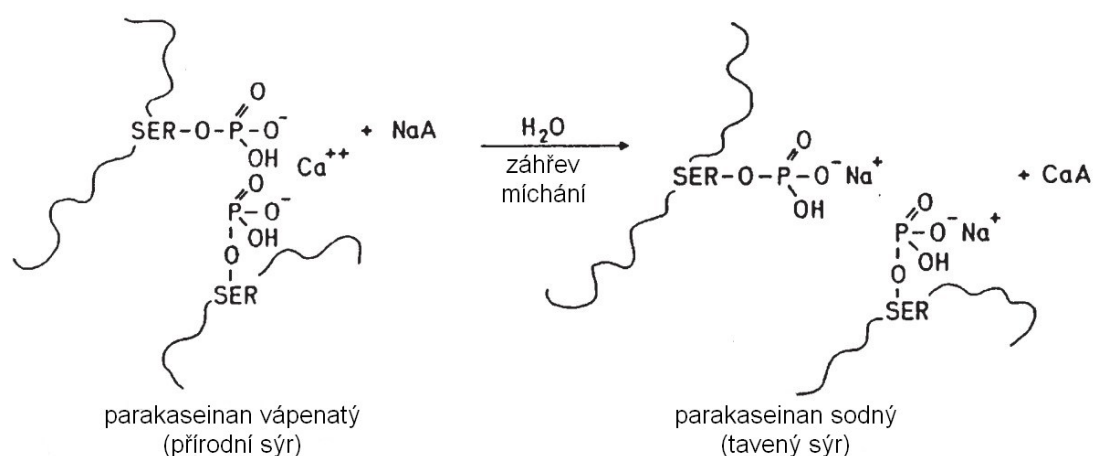
Při diskontinuální výrobě se surovinová směs rozmělněných přírodních sýrů a ostatních surovin (másla, tavicích solí...) nadávkuje do tavicího kotle, který se posléze uzavře a za sníženého tlaku se zvýší teplota v kotli na tzv. tavicí teplotu, která je udržována několik minut. Zpravidla je ohřev zprostředkován přímým vstřikem páry do směsi surovin, tato pára však zkondenzuje, a proto je ji třeba vždy zohlednit při stanovení surovinové skladby. Nejčastěji se používají teploty v rozmezí 90–105 °C, nicméně v literatuře se objevuje rozmezí 80–120 °C. V České republice se TS balí do hranolovitých nebo trojúhelníkových forem vyložených hliníkovou fólií lakovanou z vnitřní strany, mohou se používat i laminované hliníkové obaly, tuby, plasty, kelímky, sklenice atd. Tavenina se musí balit co nejrychleji po utavení, aby se snížilo riziko kontaminace mikroorganismy. Průměrná teplota

při balení se pohybuje mezi 60–70 °C. Preferovanou technikou chlazení je v současné době vakuové chlazení, a to díky jeho účinnosti a prevenci Maillardových reakcí. Po vychlazení se TS skladuje při teplotě 4–8 °C. U kontinuálního způsobu výroby je důležité balit TS asepticky, aby se zachovala jejich sterilita (Buňka et al., 2009; Buňka et al., 2024; Ozturk a Kilic-Akyilmaz, 2022).

U kontinuálního způsobu výroby TS se používají teploty tavení 135–145 °C. Suroviny se předeheřejí na 7–90 °C, poté se dávkuje do UHT (ultravysokoteplotní) jednotky s přímým vstřikováním páry a zpracují se na cílovou teplotu tání. Za UHT jednotkou se nachází záchytná nádrž, kde je tavenina uchována několik sekund. Následuje vakuové chlazení na 80–90 °C. Ve výrobní lince je taktéž zabudován krémovací (homogenizační) tank, kde je tavenina míchána a upravuje se zde její viskozita. Následné balení se nemusí provádět asepticky (Buňka et al., 2024).

Výrobní proces tavených sýrů je charakterizován svou složitostí a je primárně ovlivněn chemickými interakcemi mezi použitými surovinami mléčného původu s přidanými tavicími solemi. Sýrová matrice obsahuje přirozeně emulgátory α S1-kasein, α S2-kasein a β -kasein, tyto biopolymery jsou však vázány ionty vápníku (vápníkovými můstky), které jim zabraňují ve funkci účinných emulgátorů (Kapoor a Metzger, 2008).

Zjednodušeně lze princip výroby rozdělit do 2 fází. Během první fáze, označované také jako „iontově-výměnná fáze“ dochází k uvolnění a dispergaci kaseinů působením tavicích solí, které poté mohou sloužit efektivně jako emulgátory. Ve druhé fázi – „fázi krémování“ dochází k tvorbě nové proteinové sítě, ve které jsou hydratovány bílkoviny a emulgován tuk. Jako tavicí soli se používají monovalentní kationty (sodík, draslík, hliník) a vícemocné anionty (fosforečnany, polyfosforečnany, citráty). Mnohovazné anionty mají ve srovnání s jednomocnými ionty silnější afinitu ke dvojmocným iontům (v sýru jsou to ionty vápníku). Například pokud se přidá sodná sůl fosforečnanu do směsi surovin v přítomnosti vody, za zvýšené teploty a míchání, dojde k výměně iontů vápníku za sodík. Parakaseinát vápenatý, který je nerozpustný se přemění na lépe rozpustný parakaseinát sodný, který se lépe disperguje v tavené sýrové hmotě. Díky tomu mohou dispergované kaseiny v systému účinně působit jako emulgátory. Přidání tavicích solí zvyšuje hodnotu pH směsi surovin z 5,0–5,5 na cílové hodnoty 5,6–6,0, což je podpořeno zvýšením negativního náboje kaseinů. Hydratace bílkovin a emulgace tuku vedou ke zvýšení viskozity tavené hmoty.



Obrázek 5 Schéma výměny iontů sodíku za ionty vápníku při tavení přírodních sýrů tavicí solí se sodnými ionty „NaA“, napravo poté navázané vápenaté ionty na tavicí sůl „CaA“

(zdroj: upraveno podle Buňky a Buňkové, 2009)

Při druhé fázi – krémování – během výdrže při cílové teplotě tavení a následném chlazení dochází k vytvoření nové struktury, tvoří se nová hydratovaná proteinová síť, ve které je emulgován tuk. Interakce, které se podílejí na finální struktuře produktu jsou zejména vápníkové můstky, komplexy fosforečnanů s vápníkem, hydrofobní interakce, vodíkové vazby a/nebo disulfidové vazby. Intenzivně narůstá viskozita hmoty. Na strukturu finálního produktu mají vliv faktory jako účinnost iontové výměny a disperze bílkovin, včetně hodnoty pH, intenzita hydratace bílkovin, intenzita emulgace tuku a počet interakcí mezi kaseiny (Buňka et al., 2024; Černíková et al., 2010; Kapoor a Metzger, 2008; Lucey et al., 2011; Salek, 2021).

3 FAKTORY PŮSOBÍCÍ NA KVALITU TAVENÝCH SÝRŮ

U TS se klade velký důraz vedle chuti a vůně také na konzistenci, která je u těchto výrobků jedním z nejsledovanějších senzorických znaků. Konzistence může být lomivá, dobře roztíratelná nebo tekutá a díky vhodné úpravě technologie nebo surovinové skladby ji lze ovlivnit. Jednotlivé faktory působí současně a samy se mohou ovlivňovat synergicky nebo antagonisticky (Buňka et al., 2009).

3.1 Vliv složení surovinové skladby

Přírodní sýry

Základní surovinou pro výrobu TS jsou již zmiňované přírodní sýry. Jejich výběrem lze ovlivnit konzistence finálního výrobku. Při výběru se bere v úvahu druh, stupeň zralosti, složení (obsah sušiny, tuku, bílkovin a vápníku), hodnota pH a požadované vlastnosti TS (organoleptické, funkční).

Během zrání sýrů dochází k proteolýze – enzymové hydrolýze bílkovin, která vede k fyzikálním, chemickým, senzorickým a funkčním změnám přírodního sýra. Kasein je hydrolyzován na peptidy a volné aminokyseliny. K proteolýze dochází zejména působením nativních mléčných enzymů, enzymů syřidla a exogenního enzymatického systému bakterií mléčného kvašení. Poměr štěpeného a neštěpeného kaseinu ovlivňuje konzistenci TS. Použitím mladého neprozáhlého sýra s nízkým stupněm proteolýzy se získá TS s tužší a gumovitější konzistencí a prázdnou chutí, výhodou jsou nižší náklady. Mladá surovina je vhodná pro výrobu blokových a plátkových výrobků. Vyzrálé přírodní sýry mají naopak za následek snadno tavitelnou směs a jemnou, roztíratelnou konzistenci, je zde ovšem riziko nestabilní až kapalné konzistence v důsledku nízké vazby vody a jejího uvolňování. V praxi se používá směs různě vyzrálých sýrů (Salek et al., 2022).

Také pH přírodních sýrů ovlivňuje konečný výrobek, TS z kyselých sýrů, které mají hodnoty pH mezi 4,6 a 4,9; mají drobivé, suché a neelastické vlastnosti, jelikož kasein je blízko svého izoelektrického bodu (přibližně pH 4,6). Snížení náboje bílkovin způsobuje jejich agregaci a snížení afinity k vodě, což vede k tomu, že TS vykazují tyto vlastnosti. Sýry s vysokými hodnotami pH (6 a více) jsou obecně velmi měkké a pružné, bílkoviny jsou schopné vázat více vody, což vede k vyššímu obsahu vlhkosti ve výrobku (Talbot-Walsh et al., 2018).

Obsah vápníku v přírodním sýru ovlivňuje emulgaci bílkovin, a tedy i vlastnosti finálního TS. Přírodní sýr je hlavní složkou, která přispívá k obsahu vápníku ve formulaci. Vysoký obsah vápníku v přírodním sýru může vést k horší funkčnosti TS, pak je tedy klíčové zvolit vhodné tavicí soli, které vápník zneutralizují. Obecné pravidlo je takové, že sýry s vysokým obsahem vápníku vedou k TS, které jsou pevné a mají sníženou tavitelnost (Nogueira de Oliveria et al., 2011).

Mléčný tuk

Při výrobě TS se používají různé zdroje mléčného tuku, které obsahují odlišné množství povrchově aktivních látek (PAL), např. fosfolipidy, lipoproteiny, glykoproteiny atd. Máslo a bezvodý mléčný tuk obsahují pouze malé množství těchto látek, naopak smetana a přírodní sýry obsahují tuk ve formě tukových kuliček o velikosti od 0,1 do 10,0 μm , jejichž lipoproteinové membrány obsahují povrchově aktivní látky, které v TS mohou přispívat k opětovné emulgaci tuku. Koncentrace PAL může ovlivnit konzistenci výsledného produktu (Černíková et al., 2022).

Stabilita tuku je jedním z nejdůležitějších aspektů při výrobě TS, protože textura a další vlastnosti jako např. tavitelnost či tuhost TS jsou ovlivněny vlastnostmi mléčného tuku. Homogenizací se dosahuje rovnoměrnější distribuce velikosti tukových globulí a pomáhá se udržet stabilní disperze tuku v celém výrobku. I velikost tukové kuličky je důležitá, a to nejen pro stabilitu tukové fáze, ale i proto, že souvisí se složením a množstvím jednotlivých složek v membráně tukové kuličky. Uvnitř tukových kuliček jsou obsaženy triacylglyceroly (TAG), které tvoří asi 98 % tuku v mléce. Dvě třetiny mastných kyselin (MK) v mléce jsou nasycené – především kyselina palmitová, myristová a stearová – ty tvoří více než 50 % všech MK. Kyselina olejová představuje 24 % a kyseliny linolová a linolenová jsou hlavními polynenasycenými MK. Nejen složení MK a jejich pozice v molekule TAG, ale i jejich polymorfismus a tepelné zpracování ovlivňuje krystalizační a tavicí vlastnosti mléčného tuku a viskoelastické vlastnosti výsledného TS (Hill a Ferrer, 2022; Ramel a Marangoni, 2017).

3.2 Vliv způsobu zpracování a chlazení taveniny

Parametry zpracování, jako je teplota tavení, doba udržování teploty, rychlost míchání a rychlost chlazení hrají rovněž velkou roli při tvorbě emulze a výsledných funkčních vlastností TS (Kapoor a Metzger, 2008).

Doba zpracování

Zpracovatelské podmínky se mohou výrazně lišit, teplo a smykové namáhání během zpracování pomáhají hydratovat fosforečnan vápenatý v parakaseinu sýra, přispívají také k emulgaci volného tuku. Prodloužení času zpracování TS je obecně doprovázeno zvýšením dynamické emulgační účinnosti, což se projevuje zvýšením počtu emulgovaných tukových kuliček a snížením jejich průměru. U TS s vysokým obsahem vody tyto děje přispívají k dosažení viskózní konzistence roztavené směsi pro plnění a balení a dodávají finálnímu výrobku hustší, krémovou konzistenci. U těchto výrobků by nedostatečná tvorba emulze mohla vést k řídké konzistenci. U blokových TS bylo zjištěno, že prodloužení doby zpracování z 1 min na 32 min při 80 °C zvyšuje pevnost a elastický modul (G') a zároveň snižuje tekutost a fluiditu TS.

Zvýšená hydratace kaseinu a emulgační účinnost vede k postupnému zahušťování TS s prodlužující se dobou udržování při teplotách 70-90 °C, v průmyslu je toto označované jako „krémování“, které je pravděpodobně způsobeno pokračující interakcí tavicích solí s kaseinem a následným zvýšením zmíněných dějů. Prodloužená doba tavení však může vést k defektu zvanému „překrémování“, které má za následek tuhou, těžkou, pudinkovou konzistenci uvolňující vlhkost, s matným vzhledem a s tukovými kapkami na povrchu. Nadměrné krémování je v praxi nežádoucí, v průmyslu způsobuje problémy při čerpání a plnění a zhoršuje kvalitu TS (Guinee, 2017).

Teplota tavení

Účinky změn teploty při tavení závisí na několika faktorech, např. na koncentraci bílkovin a tuku, stupni proteolýzy, rozsahu teplot, pH či přítomnosti syrovátkových bílkovin. Vyšší teploty pravděpodobně způsobují změny přitažlivých sil mezi částicemi kaseinu. Hydrofobní interakce se zesilují do teploty 60–70 °C, poté se jejich síla mírně snižuje. Elektrostatické interakce (např. mezi opačně nabitými skupinami na proteinech a vápníkovými můstky) se s rostoucí teplotou zesilují. Tvorba proteinových vláken v TS roste s teplotou. Zvýšení teploty zpracování ze 70 °C na 95 °C při výrobě blokového TS vedlo ve studii Guinee (2011) k mírnému zvýšení pevnosti TS. Obecně platí, že pro výrobu blokového TS se používají nižší teploty než pro roztíratelné TS. Tavené sýrové výrobky s vysokým obsahem vlhkosti (např. omáčky) jsou mnohdy podrobeny UHT zpracování, které často vede k produkci tekutějších výrobků, než jsou TS vyrobené při nižších teplotách. Může to být způsobeno tepelnou hydrolýzou polyfosfátových tavicích solí, což snižuje hydrataci

parakaseinu popř. tepelně indukovanou agregací parakaseinu, která snižuje rozsah hydratace a viskozitu (Guinee, 2017; Černíková et al., 2022).

Rychlost míchání

Nejen dobou a teplotou tavení, ale i rychlostí míchání lze ovlivnit výslednou konzistenci TS. Například Guinee (2011) studoval účinek zvyšování rychlosti míchání během výroby blokového TS, kdy zvyšování z 300 na 2700 otáček za minutu (ot/min) významně zvýšilo tuhost a G' výrobku, dále se snížil tok a tekutost roztaveného produktu. Tyto trendy souvisejí s nárůstem stupně emulzifikace tuku se současným zvýšením povrchové plochy bílkovin dostupné pro agregaci a přispění ke struktuře výrobku. Černíková et al. (2018) se zabývali vlivem změn doby držení a různých rychlostí míchání (1000, 1500 a 3000 ot/min) na viskoelastické vlastnosti plnotučných TS, kdy většina TS vyrobených při rychlosti otáček 1500 ot/min měla nejnížší pevnost ve srovnání s ostatními vzorky. Hodnoty komplexního modulu pružnosti (G^*), které souvisí se zvyšující se pevností TS, byly vždy vyšší u vzorků vyrobených při 3000 ot/min. Kvůli intenzivnějšímu mechanickému namáhání mohou vyšší rychlosti míchání, podobně jako delší doby setrvání při teplotě tavení, vést k větší hydrataci přítomných proteinů a emulgaci tuku, čímž přispívají ke zvyšující se pevnosti tavených sýrů. Ovšem chybí vysvětlení poklesu pevnosti TS vyrobených při 1500 ot/min oproti vzorkům vyrobených při 1000 ot/min (Černíková et al., 2018; Guinee, 2011).

Vliv chlazení

Chlazení ovlivňuje konečné vlastnosti, včetně textury, reologických charakteristik a funkčních vlastností TS. Rychlé chlazení vede z reologického hlediska ke snížení G^* a meze kluzu, tedy k měkčí konzistenci a lepší roztíratelnosti, ale zároveň může způsobit větší lepidlost sýra na obal. Naopak pomalé chlazení může vést k pevnější struktuře, ale zároveň zvyšuje riziko Maillardových reakcí způsobujících změnu barvy a chuti, dále může být podporován růst sporotvorných bakterií. Tento efekt se projevuje také v mikrostruktuře TS – při rychlém chlazení se tvoří menší a rovnoměrnější tukové krystaly a vyšší přítomnost β' polymorfu ve srovnání s β polymorfem. Při pomalém chlazení je tomu naopak, dochází k pevnějším interakcím mezi proteiny a k pomalejší krystalizaci tuku, což vede k tvorbě soudržnějších gelových struktur. Proces chlazení je tedy klíčový pro optimalizaci konečné kvality TS, a proto je nutné řídit teplotní profily v chladicích komorách tak, aby se zajistily požadované vlastnosti výrobku. Vyšší rychlost chlazení je tedy potřebná pro výrobu roztíratelných TS, nižší se doporučuje pro výrobu blokových TS (Felfoul a Attia, 2022; Salek, 2021).

Na téma chlazení a jeho vliv na TS reagují Piska a Štětina (2004), kteří ve své studii vyrobili TS, které byly pomalu chlazeny a teploty 20 °C dosáhli za 50 hodin. Kromě těchto modelových vzorků vyrobili 2 šarže TS – jednu z převážně zralé suroviny a jednu z převážně nezralého sýra, obě tyto šarže byly rychle ochlazeny (teploty 20 °C bylo dosaženo za méně než 1 hodinu). Rychlé ochlazení modelových vzorků vedlo ke snížení komplexního modulu, meze kluzu a také texturních parametrů – tvrdosti, lepivosti a gumovitosti, ale byl zvýšen tangens úhlu fázového posunu. Rychle ochlazené vzorky tedy vykazovaly viskóznější chování než vzorky chlazené pomalu. Roztíratelnost byla lepší u rychle ochlazených vzorků, ale během senzorického hodnocení byla zaznamenána velmi měkká konzistence a lepivost ke hliníkové fólii.

3.3 Vliv skladování

Skladování TS je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících texturní a reologické vlastnosti. Změny vlastností TS během skladování, jako jsou vzhled, struktura, barva a chuť jsou způsobeny ztrátou vody, hydrolýzou polyfosfátů, změnami v iontové rovnováze, polymorfismem tuku, tvorbou krystalů, oxidací, neenzymatickým hnědnutím, enzymatickou aktivitou a interakcemi s obalovým materiálem (Salek, 2021).

TS by měl být skladován při teplotě nižší než 10 °C, což může zabránit růstu mikroorganismů, ale naopak může podporovat tvorbu krystalů (např. kalciumfosfátů). Relativní vlhkost vzduchu by měla být udržována cca 85 %, aby se zabránilo nadměrnému vysychání sýra. Skladovací prostory musí být čisté a bez škůdců. Obalové materiály by měly být roztaveným sýrem plněny bez přístupu kyslíku, aby bylo zabráněno růstu plísní. Sýry balené v plastových fóliích mají trvanlivost kolem 3-4 měsíců, produkty v kovových obalech mohou vydržet déle (Felfoul a Attia, 2022).

Během skladování dochází k odpařování vody, což vede k tužší konzistenci. Úbytek hmotnosti urychluje i vyšší teplota skladování. Dále se při skladování rozkládají polyfosfáty na jednodušší sloučeniny, což ovlivňuje pH a strukturu sýra. Hydrolýza polyfosforečnanů začíná již během tavení a následné 7-10týdenní skladování způsobuje hydrolýzu jejich většiny. V lineárním řetězci polyfosforečnanů se snižuje počet monomerů, což způsobuje sníženou afinitu k vápenatým iontům, jejich uvolňování z tavicích solí a zapojování do zesíťování proteinové matrice. To může způsobit zvýšení tuhosti TS během skladování. Dochází rovněž k interakcím mezi proteiny, vápníkem, sodíkem a tavicími solemi, které ovlivňují schopnost vázat vodu. V TS se navíc mohou vytvořit krystaly solí, hlavně pokud

se TS skladují dlouhou dobu při nízkých teplotách a při nadbytku tavicích solí nebo laktózy. Krystaly citranových tavicích solí tvoří „mramorování“ ve formě skvrn a provazcovitých útvarů, fosforečnany způsobují „písčitost“. Naopak při vyšších skladovacích teplotách mohou nastat Maillardovy reakce a způsobit hnědnutí (tmavnutí) a změnu chuti TS. Při Maillardových reakcích, popř. autooxidačních nebo fotosenzibilizovaných oxidacích lipidů, dochází ke vzniku těkavých látek (aldehydy, ketony, alkoholy, mastné kyseliny a uhlovodíky), způsobujících charakteristickou oxidovanou chuť.

I volba obalového materiálu má vliv na konečný produkt během skladování. Průhledné obaly umožňují světlu vyvolat oxidační reakce. Může k tomu přispět např. skladování v maloobchodních prodejnách s osvětlením v prodejním zařízení nebo neúmyslně zvýšená teplota, tyto aspekty zvyšují riziko oxidativního stresu a ohrožují kvalitu TS. Kovové nebo neprůhledné obaly tyto reakce minimalizují. Při interakci TS s obalovými materiály mohou některé látky z obalu migrovat do sýra, např. antioxidanty. Je velmi důležité vybírat vhodné obaly a kontrolovat jejich složení (Buňka, 2009; Felfoul a Attia, 2022; Sunesen et al., 2002).

II PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce bylo vyrobit a zhodnotit tavený sýr s plísní na povrchu během skladování. Práci lze dále rozdělit na dílčí cíle:

- vyrobit modelové vzorky tavených sýrů s plísní na povrchu s obsahem sušiny 40 % (w/w) a obsahem tuku v sušině 55 % (w/w), s náhradou tavicích solí za hydrokoloidy (furcellaran a κ -karagenan) v množství 1 % (w/w),
- provést základní chemickou analýzu modelových vzorků – stanovení hodnoty pH a obsahu sušiny,
- stanovit barvu vzorků instrumentální analýzou,
- stanovit aktivitu vody,
- provést měření viskoelastických parametrů modelových vzorků pomocí dynamické oscilační reometrie,
- zanalyzovat texturní parametry analyzátozem textury,
- všechny zmíněné analýzy provést 7. a 21. den skladování, výsledky měření vyhodnotit a charakterizovat, jak se mění vlastnosti modelových vzorků během skladování.

5 MATERIÁL A METODIKA

Dle zadané surovinové skladby byly vyrobeny modelové vzorky TS s plísní na povrchu. Vzorky byly vyrobeny bez tavicích solí a lišily se použitým druhem hydrokoloidu – konkrétně byl použit furcellaran (FUR) a κ -karagenan (KKAR). Po vyrobení byly sýry ošetřeny kulturou *Penicillium candidum* a přeneseny do klimatizované zrací komory, kde „zrály“ 21 dní. Následně byly vzorky baleny a skladovány při teplotě 6 ± 2 °C. Vzorky byly podrobeny chemické analýze, analýze barvy a vodní aktivity, texturní a reologické analýze po uskladnění, konkrétně 7. a 21. den skladování.

5.1 Použitý materiál

Pro výrobu TS s plísní na povrchu byla použita tato následující surovinová skladba. Množství jednotlivých komponent je uvedeno v Tabulce 1.

- Přírodní sýr – eidamská cihla [obsah TVS 30 % (w/w), výrobce MCC Trading, International GmbH, DE]
- Máslo – [obsah TVS 82 % (w/w), dodavatel MAKRO Cash & Carry ČR s.r.o., ČR]
- Micelární kasein [výrobce NATURALPROTEIN s.r.o., ČR]
- Furcellaran [výrobce Estagar, Kooli, Estonsko] nebo κ -karagenan [výrobce Sigma Aldrich, St. Louis, USA]
- Rajče sušené – prášek [výrobce Jaroslav Kostera, J. K. FOOD s.r.o., ČR]
- NaCl
- Pitná voda

Tabulka 1 Surovinová skladba modelových vzorků

Surovina	Množství [% (w/w)]
Pitná voda	47,42
Máslo	23,71
Eidamská cihla	15,46
Micelární kasein	10,31
Rajče sušené	1,03
NaCl	1,03
Hydrokoloid – FUR nebo KKAR	1,00

Na vzorky byla aplikována plísňová kultura *Penicillium candidum* [SIGMA 74, výrobce Ets. Coquard, FR, dodavatel Vojtěch Toms].

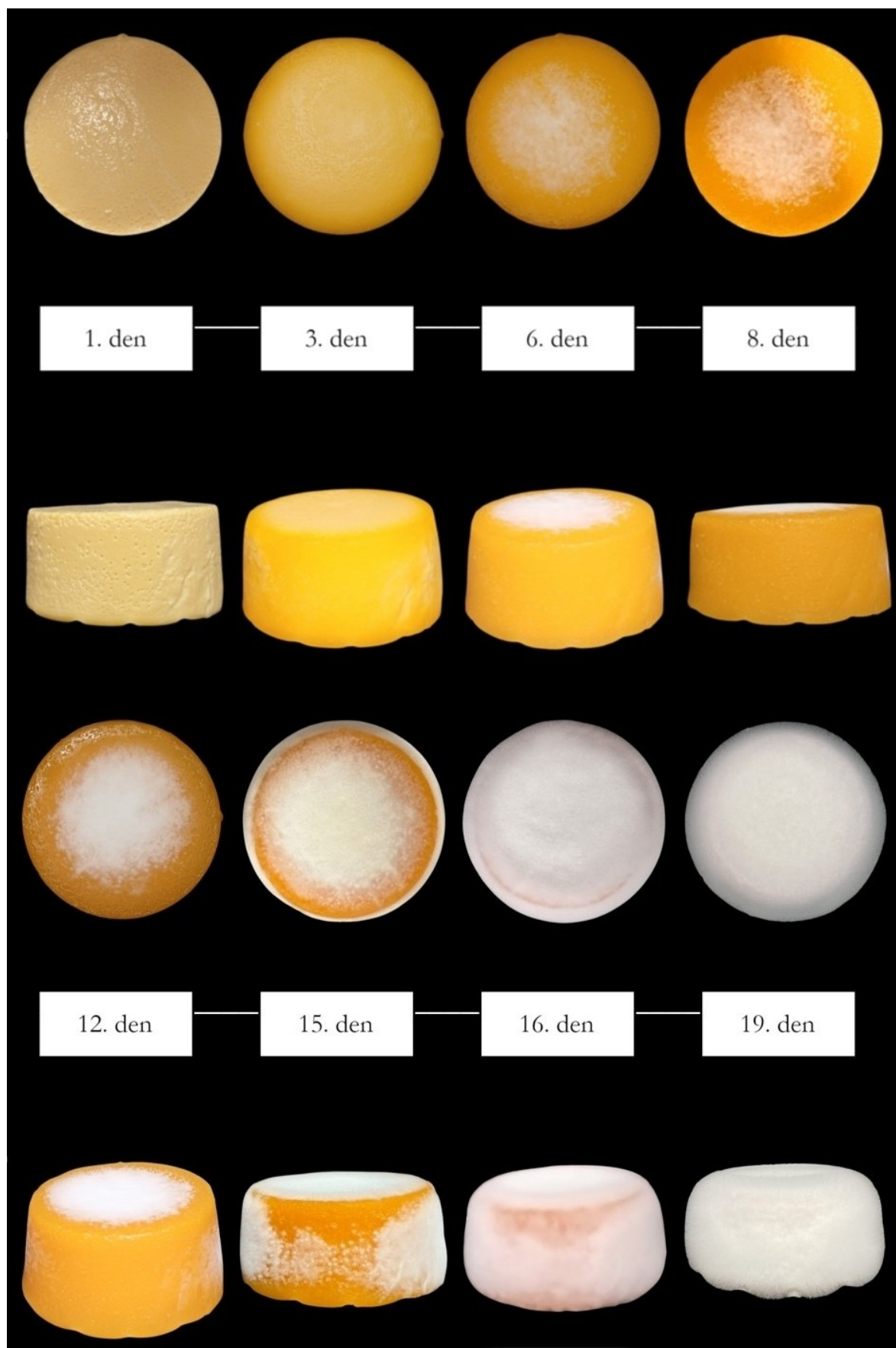
5.2 Výroba modelových vzorků

Výroba modelových vzorků probíhala v laboratořích Ústavu technologie potravin, Fakulty technologické, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Pro výrobu byla použita surovinová skladba uvedená v kapitole 5.1. Prvním krokem při výrobě bylo připravení a navážení jednotlivých surovin, které byly zvoleny tak, aby výsledné produkty byly o obsahu sušiny 40 % (w/w) a obsahu tuku v sušině 55 % (w/w). Suroviny byly postupně dávkovány do přístroje Vorwerk Thermomix TM6 (výrobce Vorwerk GmbH&Co, Wuppertal, Německo). Jako první byla dávkována eidamská cihla, předem nakrájená na kostky, která byla v přístroji rozmělnována po dobu 30 s. Poté byly přidány zbylé suroviny. Směs byla v přístroji zahřívána a následně tavena při teplotě 90 °C po dobu 1 min a rychlosti otáček nožů 3000 ot/min. Tavenina byla posléze nalévána do silikonových forem válcového tvaru s průměrem 6,0 cm a výškou 3,5 cm. Po vychladnutí byly vzorky skladovány při teplotě 6 ± 2 °C, 24 h.

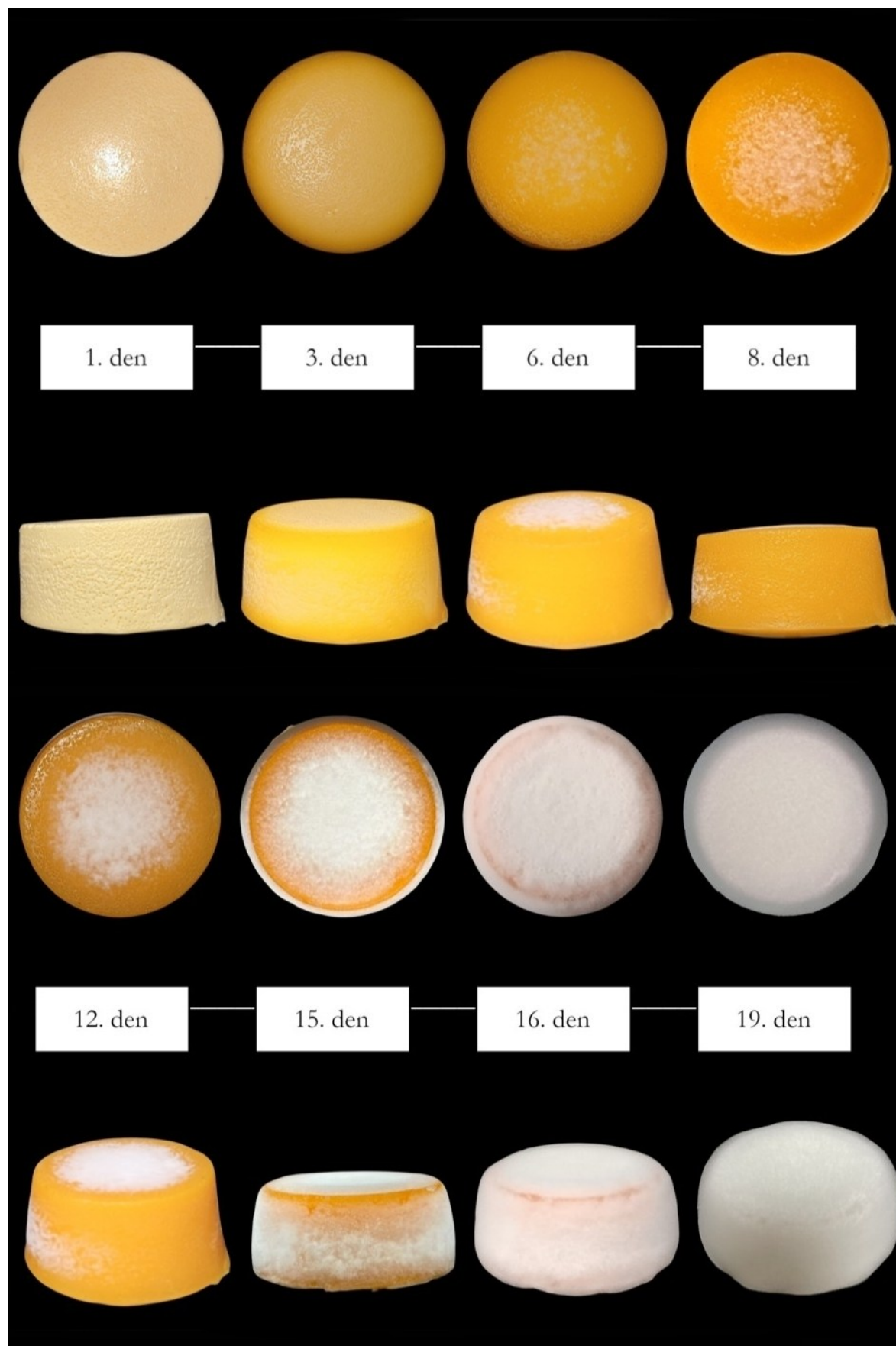
Následujícím krokem byla aplikace plísňové kultury. Bylo připraveno 1000 ml fyziologického roztoku o koncentraci 0,9 % (w/w) NaCl, do které bylo přidáno a rozmícháno 0,4 g kultury *P. candidum*. Vzorky byly vyjmuty ze silikonových forem a ponořeny do této lázně. Po tomto kroku byly vzorky přeneseny na nerezovou mříž a vloženy do klimatizované zrací komory (KRA 2000, dodavatel MASO-PROFIT s.r.o, ČR), kde byly modelové vzorky umístěny po dobu 21 dní. 1.-14. den při teplotě $14,4 \pm 2,2$ °C a relativní vlhkosti (RV) $73,4 \pm 5,7$ % (w/w). Poté byly parametry změněny a 14.-21. den byla teplota v komoře $19,7 \pm 0,4$ °C a RV = $83,0 \pm 0,7$ % (w/w).

Po celou dobu umístění modelových vzorků v klimatizované zrací komoře byly pořizovány fotografie jednotlivých modelových vzorků pomocí mobilního telefonu iPhone 12 (Apple Inc., Kalifornie, USA) a stativu tak, aby byla zajištěna dokumentace růstu plísňové kultury na povrchu tavených sýrů.

Po této době byly vzorky baleny do zracích obalů (Zrací fólie na camembert, hermelín, dodavatel Vojtěch Toms, ČR) o rozměru 21 x 21 cm a následně byly skladovány při chladírenské teplotě 6 ± 2 °C, a to do provedení všech analýz, které byly prováděny po 7 a 21 dnech uskladnění.



Obrázek 6 Modelové vzorky s přidavkem furcellaranu v průběhu zrání

Obrázek 7 Modelové vzorky s přidavkem κ -karagenanu v průběhu zrání

5.3 Základní chemická analýza

Modelové vzorky byly podrobeny základní chemické analýze. Bylo měřeno pH a stanovil se celkový obsah sušiny referenční metodou dle ČSN ISO 5534:2004. Tyto analýzy byly provedeny nejen 7. a 21. den po uskladnění finálních výrobků, ale i u tavených sýrů před aplikací plísňové kultury.

5.3.1 Stanovení pH

Bylo měřeno pH modelových vzorků vpichovým pH metrem (pH Spear, Eutech instruments, Oakton, Malaysia), který byl před měřením kalibrován. Při měření byla vložena vpichová sonda do vzorku TS. Měření probíhalo při laboratorní teplotě 22 ± 1 °C. Každý z modelových vzorků byl měřen šestkrát, z důvodu možného vnesení odchylek a faktorů, které mohou ovlivnit pH, od výroby až po dobu měření.

5.3.2 Stanovení obsahu celkové sušiny

Dle ISO 5534:2004 je podstatou zkoušky zkušební díl vzorku (cca 3 g, vážit s přesností na 4 desetinná místa) navážít do hliníkových misek, obsahujících mořský nebo křemenný písek, následně vzorek promíchat s pískem a vložit jej do sušárny, kde se vzorek suší při 102 °C do konstantního úbytku hmotnosti, který se zjišťuje vážením vychladnutých misek na analytických vahách. Pro ochlazení se misky po sušení umísťují do exikátoru. U každého z modelových vzorků bylo stanovení provedeno třikrát, a to před aplikací plísňové kultury a dále po 7 a 21 dnech uskladnění. Následně lze např. dle Salákové a Bořilové (2014) vypočítat obsah celkové sušiny, vyjádřený v hmotnostních procentech, rovnicemi:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \cdot 100$$

$$ws = 100 - w$$

Kde:

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

m₀ ... hmotnost misky s pískem [g]

m₁ ... hmotnost misky s navážkou vzorku a pískem před sušením v [g]

m₂ ... hmotnost misky s navážkou vzorku a pískem po sušení [g]

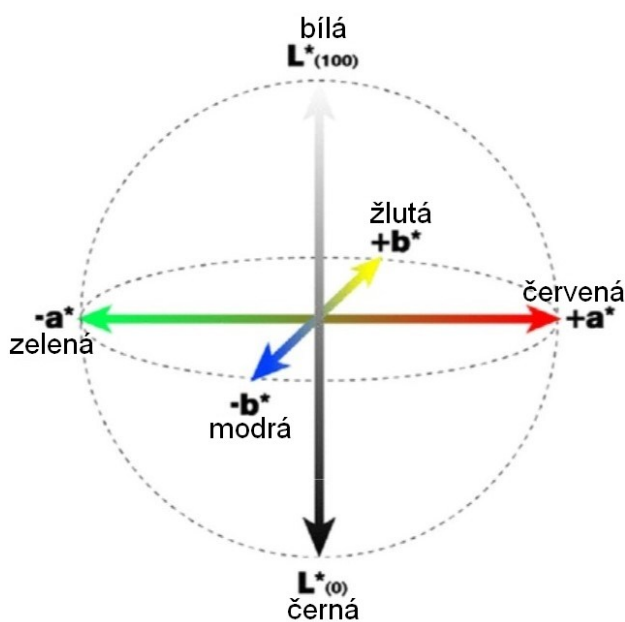
ws ... obsah sušiny [% (w/w)]

5.4 Instrumentální analýza barvy

Spektrofotometry měří spektrální odrazivost nebo propustnost objektu v celém spektru vlnových délek (400-700 nm). Nabízejí přesnost, spolehlivost a vysokou specifitu. V potravinářské technologii se barva obvykle vyjadřuje v barevném prostoru CIE 1976 $L^*a^*b^*$ (CIELAB). V tomto třírozměrném prostoru je barva popsána jako bod s těmito souřadnicemi:

- L^* (měrná světlost) – od černé (0) po bílou barvu (100),
- a^* – od zelené (záporné hodnoty) po červenou (kladné hodnoty),
- b^* – od modré (záporné hodnoty) po žlutou (kladné hodnoty).

Světelný zdroj simuluje běžně používaný standardní osvětlovací zdroj CIE D65, který odpovídá dennímu světlu s korelovanou teplotou barev přibližně 6500 K (Chudy et al., 2020; Minz a Saini, 2021; Thomareis a Dimitreli, 2022).



Obrázek 8 Ilustrace barevného prostoru CIE 1976 $L^*a^*b^*$ (CIELAB)

(zdroj: upraveno dle Thomareis a Dimitreli, 2022)

Barva byla měřena na přístroji HunterLab UltraScan Pro (Hunter Associates Laboratory, Inc., USA). Před měřením se přístroj kalibroval na černý ($L^* = 0$) a bílý ($L^* = 100$) standard. Vzorky byly analyzovány před zráním a následně 7. a 21. den po uskladnění a na přístroji byly měřeny třikrát.

5.5 Stanovení aktivity vody

Aktivita vody (a_w) je fyzikálně-chemický parametr, který odpovídá poměru tlaku vodní páry v systému (v tomto případě v taveném sýru – p) k tlaku páry destilované vody (p_0) (Wemmenhove, 2016).

$$a_w = \frac{p}{p_0}$$

U modelových vzorků byla aktivita vody měřena na přístroji AquaLab 4TE (výrobce Meter Group Inc., USA). Před měřením byl přístroj kalibrován vhodným roztokem podle návodu od výrobce. Homogenní vzorek byl naplněn do plastových misek, které jsou určeny pro tuto analýzu, asi do výšky 1 cm, následně byla miska vložena do měřicí komory přístroje. Po změření byla hodnota aktivity vody odečtena z displeje přístroje. Každý vzorek byl měřen před aplikací kultury, 7. a 21. den uskladnění a to třikrát.

5.6 Texturní profilová analýza

Texturní profilová analýza (TPA) je dobře zavedenou metodou, která se často označuje za metodu standardní pro charakterizaci textury. Principem této metody je penetrace nebo uniaxiální komprese zkušebního vzorku pomocí mechanického zkušebního zařízení, které napodobuje proces žvýkání. Komprese se provádí pomocí dvou rovnoběžných desek, kde jedna je pevná a druhá se pohybuje zpětným lineárním cyklickým pohybem (Salek et al., 2020; Thomareis a Dimitreli, 2022).

Mezi primární mechanické parametry textury lze zařadit např.:

- tvrdost – síla potřebná k dosažení požadované deformace,
- soudržnost (kohezivnost) – rozsah, do kterého může být materiál deformován, než praskne,
- přilnavost (relativní lepivost) – práce potřebná k překonání přitažlivých sil mezi povrchem potraviny a povrchem ostatních materiálů, se kterými potravina přichází do styku.

Dalšími vlastnostmi jsou např. lomivost, žvýkatelnost a gumovitost (Kapoor a Metzger, 2008; Szczesniak, 2002).

K provedení TPA byl použit analyzátor textury TA.XTPlus (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Velká Británie). Modelové vzorky byly analyzovány kompresí válcovou nerezovou sondou o průměru 100 mm do hloubky 10 mm, při rychlosti pronikání 2 mm/s, deformace 10 %. Každý vzorek byl analyzován třikrát. Z křivek byly vyhodnoceny texturní parametry v programu Texture Exponent Lite (Stable Micro Systems Ltd.).



Obrázek 9 Analýza textury modelového vzorku

5.7 Dynamická oscilační reometrie

Reologické vlastnosti sýra určují jeho reakci na napětí nebo deformace (např. při stlačování, smyku či řezání), které se uplatňují během zpracování a konzumace. Tyto vlastnosti zahrnují základní charakteristiky, jako je elasticita, viskozita a viskoelasticita, které primárně souvisejí se složením, strukturou a pevností vazeb mezi strukturálními prvky sýra. Sýry vykazují vlastnosti jak elastické pevné látky, tak viskózní kapaliny, a proto se označují jako viskoelastické (Fox et al., 2017).

Viskoelastické vlastnosti modelových vzorků byly analyzovány pomocí dynamického oscilačního reometru Kinexus Pro+ (Malvern Panalytical, Velká Británie) s geometrií deska-deska (průměr 35 mm, mezera 1 mm) při teplotě $20 \pm 0,1$ °C a frekvenčním rozsahu od 0,1 do 10,0 Hz. Z modelového vzorku byl připraven vzorek k reologické analýze o tloušťce 1 mm, následně byl vložen mezi desky reometru. Analýza každého modelového vzorku proběhla dvakrát.

Z analýzy získaných dat lze určit:

- elastický modul pružnosti (G'),
- ztrátový modul pružnosti (G'').

Dalším parametrem pro popis viskoelastického chování materiálů je tangens úhlu fázového posunu ($\tan \delta$):

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'}$$

Celková odezva vzorku může být charakterizována pomocí komplexního modulu pružnosti (G^*) [Pa] a dále komplexní viskozitou (η^*) [Pa.s]:

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

$$\eta^* = \frac{G^*}{\omega}$$

Kde:

ω = úhlová frekvence (Thomareis a Dimitreli, 2022, Kůrová et al., 2022).

6 VÝSLEDKY A DISKUZE

Modelové vzorky byly vyrobeny a analyzovány dle metodiky uvedené v kapitole 5. Následně se výsledky všech analýz vyhodnotily a bylo popsáno, jak se vzorky mění v průběhu skladování.

6.1 Vyhodnocení základní chemické analýzy

V rámci vyhodnocení základní chemické analýzy bylo hodnoceno pH a celkový obsah sušiny modelových vzorků. Bylo zjišťováno, jak se tyto vlastnosti mění v průběhu skladování.

6.1.1 pH

U sýrů typu Camembert se hodnoty pH mění v průběhu zrání, jakmile začne růst povrchová mikrobiota, dochází ke spotřebování kyseliny mléčné a zároveň ke zvyšování pH, které na konci zrání na povrchu sýra dosahuje asi 7,0 a v jádru končí přibližně na 6,0. Toto zvýšení se projevuje měknutím sýra, zejména v oblasti pod kůrou. Zároveň jsou hodnoty pH kolem 5,5–6,0 ideální pro různé enzymy, podílející se na zrání sýra s plísní na povrchu. Co se týká tavených sýrů, pro roztíratelné TS se optimální pH pohybuje okolo 5,6–6,0, při nižším pH dochází k tuhé až drobné konzistenci, a naopak při vyšším pH ke konzistenci velmi měkké až rozbředlé (Buňka a Buňková, 2009; Leclercq-Perlat, 2011).

Z naměřených hodnot pH, uvedených v Tabulce 2, lze usoudit, že se pH významně neměnilo v čase, vzorky vykazovaly po uskladnění velmi podobné pH jako před aplikací plísňové kultury. Pokud srovnáme vzorky s odlišnými hydrokoloidy mezi sebou, tedy vzorky s furcellaranem a κ -karagenanem, opět se tyto vzorky mezi sebou významně nelišily. Hodnoty pH všech vzorků se pohybovaly mezi 5,88–6,11.

Tabulka 2 Hodnoty pH modelových vzorků v čase

měření	pH	
	FUR	KKAR
před aplikací kultury	5,95 ± 0,01	6,11 ± 0,01
7. den skladování	5,88 ± 0,04	5,95 ± 0,02
21. den skladování	5,93 ± 0,03	6,00 ± 0,02

Pokud srovnáme výsledky s literaturou, vzorky vykazují optimální pH pro Camembert, nicméně pH se při skladování nezměnilo. Nesmíme opomenout, že výchozím produktem před aplikací plísňové kultury byl tavený sýr, výroba tohoto sýru s plísní na povrchu tedy neprobíhala tradičně. Lze také usoudit, že plísňová kultura pravděpodobně neměla hlavní vliv na pH, které se zřejmě primárně odvíjelo od složení surovinové skladby.

6.1.2 Celkový obsah sušiny

Celkový obsah sušiny shrnuje Tabulka 3. Na první pohled je zřejmé, že celková sušina modelových vzorků byla zjištěna rapidně vyšší u vzorků po uskladnění, oproti výchozím taveným sýrům před aplikací plísňové kultury a umístění do zrací komory, které měly dle analýzy obsah sušiny cca 42 % (w/w). Během skladování (mezi 7 a 21 dnem) se obsah sušiny měnil jen zanedbatelně. Nejpravděpodobnějším důvodem zvýšení sušiny byla ztráta vody, způsobená nízkou relativní vlhkostí a cirkulací vzduchu ve zrací komoře, dále mohla být ovlivněna aktivitou plísňové kultury.

Studie Černíkové et al. z roku 2017 se věnuje vlivu různého obsahu sušiny (35 a 45 % w/w) na texturu, viskoelastické vlastnosti a mikrostrukturu TS. Bylo zjištěno, že se zvyšujícím se obsahem sušiny se zvyšovala tuhost výrobků, což vedlo ke zmenšení velikosti tukových kuliček v modelových vzorcích. Tuhostí modelových vzorků se více věnují kapitoly 6.4 a 6.5.

Codex Alimentarius Standard pro Camembert upravený v roce 2022 uvádí minimální hodnoty celkové sušiny pro Camembert, které jsou závislé na obsahu tuku v sušině (TVS). Například pro obsah TVS 30–40 % (w/w) je celková sušina stanovena na min. 38 % (w/w). Pro obsah TVS rovný nebo větší než 55 % (w/w) je poté celkový obsah sušiny min. 48 % (w/w). Maximální obsah sušiny pro Camembert tento dokument výslovně nespecifikuje.

Tabulka 3 Hodnoty celkového obsahu sušiny modelových vzorků

měření	celkový obsah sušiny [% w/w]	
	FUR	KKAR
před aplikací kultury	42,31 ± 0,72	42,48 ± 0,06
7. den skladování	75,91 ± 0,23	74,13 ± 0,65
21. den skladování	73,93 ± 0,73	74,71 ± 0,25

6.2 Vyhodnocení instrumentální analýzy barvy

Modelové vzorky vykazovaly před aplikací plísňové kultury lehce nažloutlou barvu. Toto zabarvení bylo způsobeno přidáním rajčatového prášku do surovinové skladby. Ten byl do surovinové skladby přidán hlavně za účelem lepšího sledování růstu plísňové kultury na povrchu modelových vzorků. Vlivem skladování docházelo k tmavnutí vzorků, které postupovalo dále s delším časem skladování, barva modelových vzorků byla sytě oranžová. Pokud mezi sebou srovnáme jednotlivé vzorky, vzorky s furcellaranem byly tmavší než vzorky obsahující κ -karagenan. Souřadnice a^* u obou modelových vzorků rostla v čase skladování, zesiloval se tedy červený odstín vzorků, souřadnice b^* měla obdobně rostoucí charakter, zvyšovala se sytost žlutého odstínu. Veškeré výsledky instrumentální analýzy barvy jsou shrnuty v Tabulce 4.

Kristensen et al. (2001) ve své studii sledovali vliv teploty a světla na změnu barvy a oxidaci lipidů v taveném sýru. Zjistili, že teplota měla zásadní vliv na hnědnutí vzorků, při 37 °C docházelo k výraznému hnědnutí, při 20 °C k mírnějšímu a při 5 °C k žádnému. Barvu v této studii sledovali pomocí parametrů $L^*a^*b^*$, světlost se během skladování snižovala, tedy vzorky tmavly, hodnoty a^* a b^* rostly. Toto může odpovídat typickému průběhu neenzymatického hnědnutí, např. Maillardové reakci.

Solhi et al. (2020) vyrobili tavený sýr obsahující rajčatový prášek a mimo jiné v tomto výzkumu zjistili, že rajčatový prášek výrazně ovlivnil barvu sýra, a to zejména díky obsahu lykopenu, který je zodpovědný za červenooranžový odstín. Během skladování se lykopen částečně degradoval, což mohlo způsobit změnu barevného odstínu. Přidání rajčatového prášku rovněž zlepšilo vizuální atraktivitu sýra dle senzorické analýzy.

Lucey et al. (2003) zmiňují, že při zrání sýrů dochází ke ztrátě vlhkosti, což ovlivňuje jejich vizuální vlastnosti. Nižší obsah vody znamená intenzivnější vnímání barvy, dehydratace může zesílit žluté a oranžové odstíny kvůli zvýšené koncentraci pigmentů a proteinovým reakcím.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 6.1.2, došlo u modelových vzorků k velkému nárůstu celkového obsahu sušiny. Dle zmíněných studií lze říci, že zvýšený obsah sušiny mohl mít vliv na tmavnutí vzorku. Dále vyšší intenzitu zbarvení vzorků mohl způsobit lykopen z rajčatového prášku, či Maillardovy reakce, které se mohly projevit, když vzorky zrály ve zrací komoře při zvýšené teplotě.

Tabulka 4 Naměřené souřadnice L^* , a^* , b^* pro modelové vzorky

Instrumentální analýza barvy				
měření	vzorek	L^*	a^*	b^*
před aplikací kultury	FUR	$75,71 \pm 0,01$	$19,72 \pm 0,02$	$38,09 \pm 0,02$
	KKAR	$77,38 \pm 0,01$	$19,60 \pm 0,07$	$36,43 \pm 0,09$
7. den skladování	FUR	$62,12 \pm 0,27$	$26,08 \pm 0,23$	$45,69 \pm 1,11$
	KKAR	$67,62 \pm 0,10$	$24,74 \pm 0,18$	$39,88 \pm 0,27$
21. den skladování	FUR	$59,72 \pm 0,06$	$28,48 \pm 0,18$	$46,59 \pm 0,15$
	KKAR	$63,90 \pm 0,01$	$28,77 \pm 0,01$	$47,77 \pm 0,04$

6.3 Vyhodnocení aktivity vody

Aktivita vody před aplikací plísňové kultury se u obou modelových vzorků pohybovala kolem 0,97. Po zrání a následném sedmidenním skladování byla měřena u obou vzorků a_w výrazně nižší, u vzorku s κ -karagenanem byla a_w nižší než u vzorku s furcellaranem. U tohoto vzorku aktivita vody klesla dokonce pod 0,90. Z výsledků měření a_w , uvedených v Tabulce 5 lze rovněž vyčíst, že se v průběhu skladování modelových vzorků a_w zvýšila, a to u obou vzorků na hodnotu cca 0,92.

Tabulka 5 Hodnoty aktivity vody modelových vzorků

měření	a_w	
	FUR	KKAR
před aplikací kultury	$0,978 \pm 0,001$	$0,975 \pm 0,001$
7. den skladování	$0,911 \pm 0,005$	$0,899 \pm 0,004$
21. den skladování	$0,921 \pm 0,001$	$0,927 \pm 0,001$

Aktivita vody má zásadní vliv na několik fyzikálně-chemických vlastností sýrů s plísní na povrchu, zejména na texturu a měkkost sýra. Vyšší a_w vede k měkčí a krémovitější textuře Camembertu, naopak nižší a_w způsobuje tužší a drobivější konzistenci, protože sýr ztrácí vodu. Pokud a_w klesne pod určitou úroveň, dochází k zasychání povrchu sýra, což může ovlivnit růst mikroorganismů. Většina plísní a kvasinek v sýru roste při $a_w > 0,85$. S nízkou a_w se rovněž snižuje aktivita enzymů, což může zpomalit proces zrání a změny chuti. Aktivitu vody ovlivňuje i relativní vlhkost vzduchu, ta určuje rovnováhu mezi sýrem a okolním prostředím. Pokud je RV nad 90 %, mění se a_w jen minimálně, sýr si udržuje svůj obsah vody. Pokud ale RV klesne pod 90 %, dojde k odpaření vody z povrchu sýra, což

sníží jeho a_w . Pokud povrch sýra příliš vyschne, může se vytvořit kůra, která brání dalším biochemickým procesům uvnitř sýra. Snížení obsahu vody však nemusí nutně znamenat změnu a_w , ta závisí nejen na obsahu vody, ale i na koncentraci rozpuštěných látek, např. soli (Leclercq-Perlat, 2013).

Marcos et al. (1990) měřili a_w jednotlivých vzorků z 12 značek sýra Camembert a 12 značek sýra Brie při 20 °C pomocí čtyř metod: psychrometrií, kryoskopií, hygrometrií s rosným bodem a izopiesticou ekvilibrací. Průměrné hodnoty a_w pro Camembert byly $0,967 \pm 0,009$, pro sýr Brie $0,965 \pm 0,005$.

Aktivita vody v tavených sýrech se většinou pohybuje mezi 0,91 a 0,96. Tyto hodnoty a_w jsou vhodné k zamezení růstu některých kmenů bakterií *Clostridium botulinum* a k zamezení produkce jejich toxinu (Buňková a Buňka, 2015).

Snížení a_w modelových vzorků po skladování mohla způsobit nedostatečná relativní vlhkost ve zrací komoře, a tedy i odpar vody ze vzorků. Nejvyšší RV, která byla dosáhnuta při experimentu, byla zprůměrována na 83 % RV a dosáhlo se jí poslední týden zrání, spolu se zvýšením zrací teploty. Pokud se a_w modelových vzorků srovná s dostupnou literaturou, neodpovídá obvyklým hodnotám a_w pro sýr s plísní na povrchu, ale pohybuje se v rozmezí obvyklém spíše pro tavený sýr.

6.4 Vyhodnocení texturní profilové analýzy

Pomocí TPA byly vyhodnoceny texturní parametry modelových vzorků: tvrdost, relativní lepidivost, elasticita, kohezivnost a gumovitost.

Tvrdost je vyjádřena jako síla potřebná k dosažení určité deformace produktu. Podle tvrdosti lze potravinářské produkty rozdělit na měkké, pevné a tvrdé (Sołowiej, 2012).

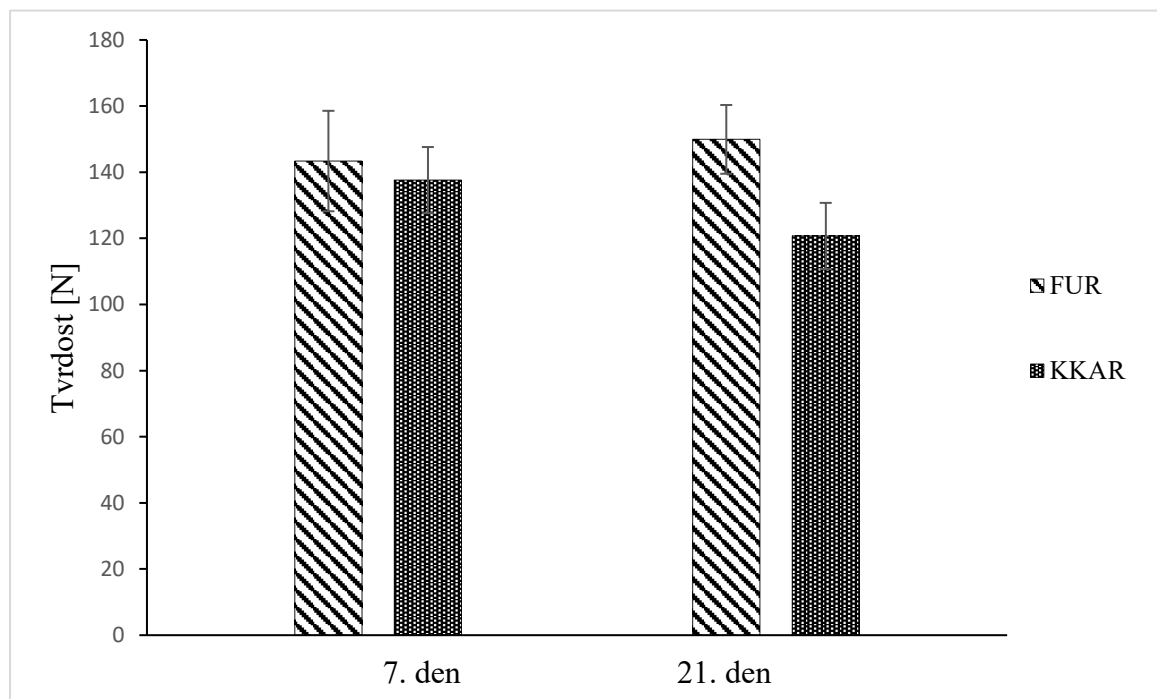
Výsledné hodnoty tvrdosti modelových vzorků během skladování jsou graficky znázorněny v Obrázku 10. Modelové vzorky lze označit jako velmi tvrdé. Vzorky obsahující jak furcellaran, tak κ -karagenan nevykazovaly změnu tvrdosti v průběhu skladování a pokud srovnáme vzorky mezi sebou, nelze mezi nimi vnímat statisticky významný rozdíl.

Jak již bylo zmíněno u vyhodnocení celkového obsahu sušiny modelových vzorků, na zvýšení tvrdosti má tento parametr vliv a s narůstajícím obsahem sušiny tvrdost modelových vzorků roste (Černíková et al., 2017). Mezi další aspekty, jež mohly ovlivnit tvrdost vzorků patří přidané hydrokoloidy. Hydrokoloidy mají velký vliv na texturní profil tavených sýrů. Ahmad et al. (2016) zkoumali vliv koncentrace κ -karagenanu na fyzikálně-chemické a

texturní vlastnosti TS. Zvyšující se koncentrace tohoto hydrokoloidu vedla ke zvýšení tuhosti výsledného produktu. Sołowiej (2012) rovněž sledoval texturní vlastnosti analogů TS vyrobených s přidavkem κ -karagenanu a hodnotil jejich tvrdost, relativní lepidost, elasticitu a žvýkatelnost. Tvrdost těchto analogů se opět zvyšovala s vyšším přidavkem κ -karagenanu.

Další surovinou, jež mohla ovlivnit tvrdost výrobků je micelární kasein. Ve studii Salunke a Metzger (2022) zjišťovali vliv koncentráty mléčné bílkoviny a koncentráty micelárního kaseinu (MCC) na funkční vlastnosti tavených sýrových výrobků. Výsledky ukázaly, že úroveň přidavku bílkovin měla významný vliv na tvrdost měřenou pomocí TPA. Tavené sýrové výrobky s vyššími přidavky bílkovin vykazovaly vyšší hodnoty tvrdosti. S rostoucím obsahem bílkovin proteiny tvoří hustší síťovou strukturu, která dodává produktu vyšší tvrdost. Vyšší tvrdost u vzorků obsahujících MCC je přičítána vyššímu obsahu intaktního kaseinu a nižšímu obsahu syrovátkových bílkovin v použitém MCC.

Dále se studii vlivu přidavku MCC do tavených sýrových výrobků zabývali např. Hammam et al. (2023b), kteří zkoumali optimální obsah bílkovin v MCC pro výrobu kyselého tvarohu a taveného sýrového výrobku bez tavicích solí. Každý z modelových vzorků bez tavicích solí vykazoval vyšší tvrdost než kontrolní vzorek s tavicími solemi.



Obrázek 10 Závislost tvrdosti [N] modelových vzorků na době skladování

Výsledky relativní lepivosti, elasticity, kohezivnosti a gumovitosti shrnuje Tabulka 6. Z výsledků je zřejmé, že relativní lepivost modelových vzorků byla nízká, a to nejvíce u vzorku s κ -karagenanem při měření 7. dne skladování. Hodnoty relativní lepivosti se během skladování zvýšily.

Vysoká relativní lepivost (přilnavost) sýrů, zejména balených tavených sýrů, je jedním z parametrů, které omezují jejich konzumaci. Spotřebitelé preferují produkty, u kterých je snadné oddělit obal. Přilnavost navíc ovlivňuje i možnost krájení TS na plátky. Z texturního hlediska je to síla potřebná k překonání přitažlivých sil mezi produktem a povrchem testovacího zařízení. Z pohledu senzorického se poté jedná o sílu potřebnou k odstranění materiálu, který přilnul k patru během konzumace. Podle tohoto kritéria lze potravinářské produkty rozdělit na lepivé, lepkavé a slepující. Hydrokoloidy se již dlouho využívají mimo jiné k prevenci ulpívání na obaly z hliníku u TS a jejich analogů, snižují tedy relativní lepivost výrobků (Buňka, 2009; Sołowiej, 2012).

Nejvyšší hodnotu elasticity vykazoval modelový vzorek obsahující furcellaran a to 21. den skladování. Obě měření však zjistily u vzorků s furcellaranem vyšší elasticitu, než vykazovaly vzorky s obsaženým κ -karagenanem. Pružnost neboli elasticitu lze vnímat jako rychlost, kterou se deformovaný materiál vrátí do svého nedeformovaného stavu po odstranění působící síly. Potravinářské produkty lze rozdělit na pružné a elastické (Szczesniak, 2002).

Kohezivnost neboli soudržnost je veličina simulující pevnost vnitřních vazeb, které tvoří strukturu materiálu. Gumovitost lze vyjádřit jako množství energie potřebné k rozmělnění polotuhého potravinářského produktu do stavu připraveného ke spolknutí. Je definována jako součin tvrdosti a kohezivnosti. Gumovitost je sekundární texturní vlastností, úměrná tvrdosti, tedy trend je obdobný jako u tvrdosti (Thomareis a Dimitreli, 2022; Yu et al., 2013).

Hodnoty kohezivnosti vykazovaly všechny modelové vzorky bez významného rozdílu a v průběhu skladování se soudržnost neměnila. Gumovitost modelových vzorků byla naměřena poměrně vysoká, pohybující se kolem 100 N.

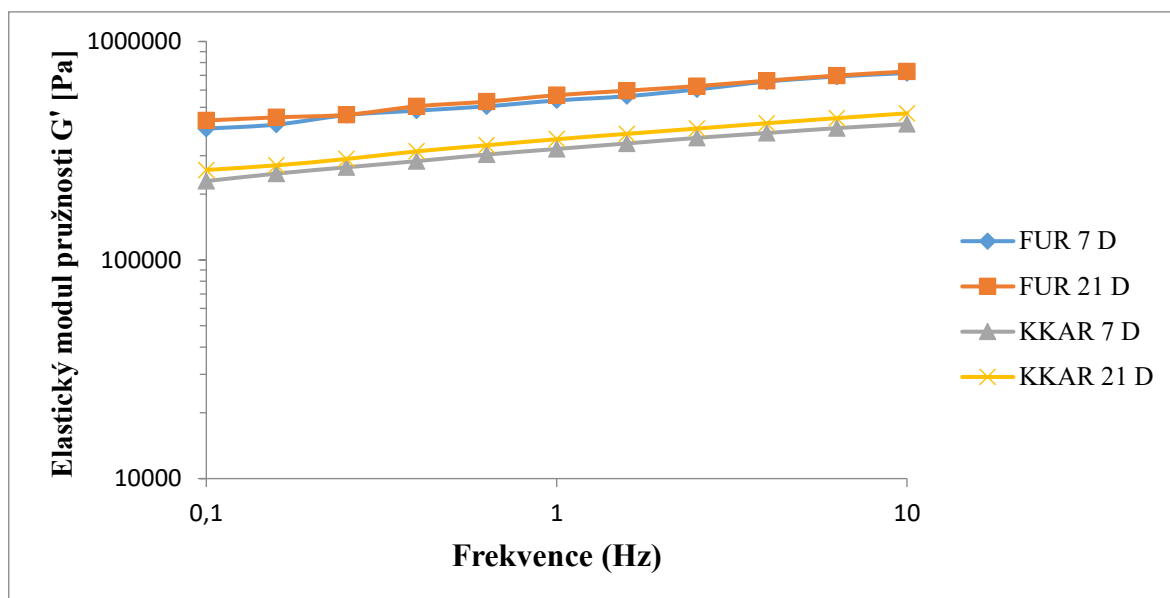
Tabulka 6 Naměřené hodnoty relativní lepidlosti, elasticity, kohezivnosti a gumovitosti modelových vzorků

měření	vzorek	Relativní lepidlost [N.mm]	Elasticita [mm]	Kohezivnost [-]	Gumovitost [N]
7. den skladování	FUR	$0,21 \pm 0,01$	$4,28 \pm 1,16$	$0,77 \pm 0,01$	$110,37 \pm 12,65$
	KKAR	$0,11 \pm 0,05$	$3,74 \pm 1,11$	$0,80 \pm 0,01$	$109,59 \pm 29,59$
21. den skladování	FUR	$0,38 \pm 0,19$	$5,03 \pm 0,33$	$0,82 \pm 0,06$	$124,68 \pm 18,13$
	KKAR	$0,41 \pm 0,16$	$3,84 \pm 1,14$	$0,78 \pm 0,02$	$93,52 \pm 17,69$

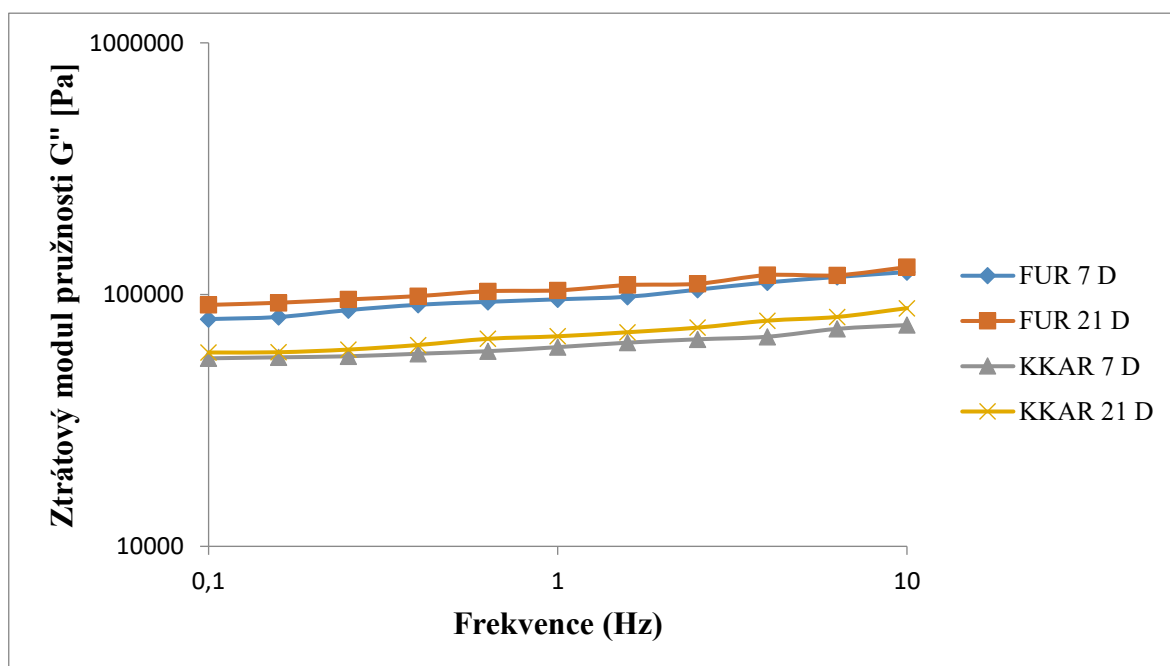
6.5 Vyhodnocení dynamické oscilační reometrie

Dynamickým oscilačním reometrem byly naměřeny hodnoty elastického (G') a ztrátového (G'') modulu pružnosti, následně byl vypočítán z těchto výsledků komplexní modul pružnosti (G^*) a tangens úhlu fázového posunu ($\tan \delta$). Dále byla vyhodnocena komplexní viskozita modelových vzorků. Měření reologických vlastností bylo provedeno v rozsahu frekvencí od 0,1 do 10,0 Hz.

Byly sestaveny grafy závislosti elastického a ztrátového modulu pružnosti na frekvenci, graf pro komplexní modul pružnosti, tangens úhlu fázového posunu a komplexní viskozitu. Průběh elastického modulu G' v závislosti na frekvenci (od 0,1 do 10,0 Hz) je vykreslen na Obrázku 11. Vyšších hodnot G' dosahovaly vzorky obsahující furcellaran, a to jak po sedmidenním, tak po 21denním skladování, jejich křivky se místy protínaly a překrývaly, nelze tedy říci, že by doba skladování u modelových vzorků s tímto hydrokoloidem měla vliv na G' . Stejný trend lze pozorovat i u TS s κ -karagenanem. U všech modelových vzorků se hodnota G' zvyšovala se zvyšující se frekvencí. Ztrátový modul pružnosti modelových vzorků G'' a jeho závislost na frekvenci shrnuje Obrázek 12. Z výsledků lze stejně jako u modulu elastického vyčíst zvyšující se trend s růstem frekvence. Vyšší hodnoty G'' dosahovaly opět modelové vzorky obsahující furcellaran, u obou modelových vzorků nedošlo ke změně ztrátového modulu v průběhu skladování. Vliv na hodnoty G' a G'' lze tedy přičítat pouze přidaným hydrokoloidům, nikoliv době skladování.



Obrázek 11 Závislost elastického modulu pružnosti modelových vzorků (7 D – po sedmidenním skladování, 21 D – skladování 21 dní) na frekvenci



Obrázek 12 Závislost ztrátového modulu pružnosti modelových vzorků (7 D – po sedmidenním skladování, 21 D – skladování 21 dní) na frekvenci

Elastický modul dosahoval u všech modelových vzorků vyšších hodnot než modul ztrátový, a to v celém testovaném frekvenčním rozsahu. Sołowiej et al. (2020) uvádí, že pokud má G' vyšší hodnoty než G'' , vykazují tavené sýry elastické/gelové vlastnosti. Pokud by tento vztah byl opačný, měl by finální produkt viskózní vlastnosti. Dle Černíkové et al. (2017) je podíl $G' > G''$ typický pro hustě propojené slabé gely. Z této studie je dále zřejmé, že na hodnoty G' a G'' má vliv i obsah sušiny vzorků, jejich modelové vzorky s vyšším obsahem sušiny vykazovaly vyšší hodnoty G' a G'' než vzorky s obsahem sušiny nižším. Získané výsledky lze srovnat s existujícími studiemi, zabývajícími se přidavkem hydrokoloidů do TS. Černíková et al. (2010) použili κ -karagenan jako možnou náhradu tavicích solí, modelové vzorky obsahující 1,0 % (w/w) κ -karagenanu byly shledány homogenními, nicméně produkty byly tvrdé s lámavou texturou.

Kůrová et al. (2022) použila dva typy furcellaranu v množstvích od 0,10 do 1,00 % (w/w) a to i jako náhradu za tavicí soli. Rostoucí obsah hydrokoloidu vedl ke zvýšení hodnot G' a G'' v důsledku interakcí furcellaran-mléčný protein a 19 ze 20 vzorků TS s přidavkem furcellaranu vykazovalo elastické chování, kdy $G'' < G'$. Obecně zde bylo zjištěno, že vzorky TS s furcellaranem bez tavicích solí jsou tužší ve srovnání se vzorky vyrobenými s použitím konvenčních tavicích solí.

Kratochvílová et al. (2022) hodnotili účinek agaru, κ -karagenanu a želatiny jako úplnou náhradu tavicích solí v TS během skladování. Vyšší hodnoty G' a G'' byly zaznamenány u vzorků s κ -karagenanem a agarem. Všechny testované vzorky vykazovaly více elastické chování a nejvyšší hodnoty G' vykazovaly vzorky s κ -karagenanem, obecně byl pozorován postupný nárůst hodnot obou modulů se zvyšující se frekvencí. Se zvyšující se koncentrací κ -karagenanu dochází k intenzivnějším interakcím mezi karagenanovými řetězci, což vede k vytvoření hustší síťové struktury, tedy tvrdost a pevnost gelu roste s rostoucí koncentrací karagenanu (Černíková et al., 2008).

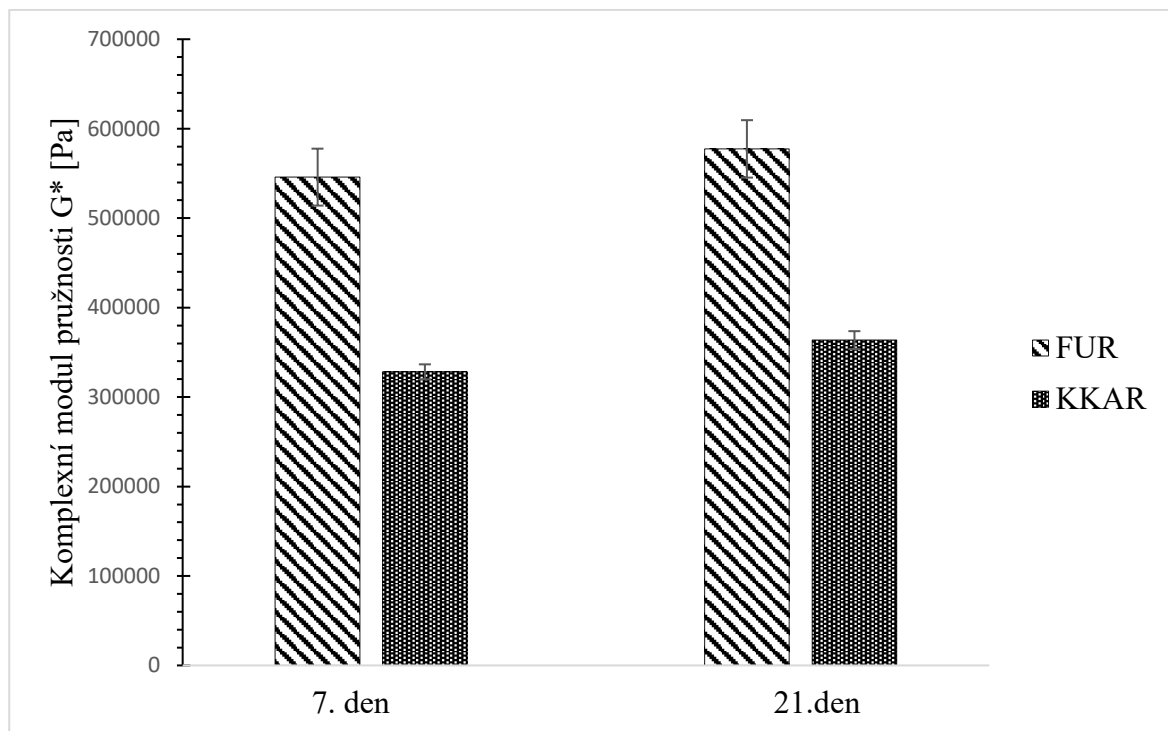
Vincová et al. (2023) studovali přidavek různých hydrokoloidů (κ -karagenan, ι -karagenan, furcellaran a alginát sodný) ve 3 různých koncentracích (0,50; 0,75 a 1,00 % w/w) v modelových vzorcích termizovaných tvarohových sýrů. Nejvyšší hodnoty viskoelastických modulů a hodnoty tvrdosti byly zaznamenány při použití κ -karagenanu. Zvýšení koncentrací testovaných hydrokoloidů vedlo ke zvýšení G' , G'' a hodnot tvrdosti modelových vzorků. Vyšší tuhost struktury TS je vysvětlována elektrostatickými interakcemi mezi negativně nabitými sulfátovými skupinami karagenanu a kladně nabitou oblastí κ -kaseinu, což vede k adsorpci κ -karagenanu na povrch kaseinových micel a tvorbě

trojrozměrné síť. Furcellaran v této studii i přes podobnou strukturu s κ -karagenanem nevykazoval tak silné interakce s kaseinem, zejména při nižších koncentracích (0,50 a 0,75 % w/w), až při koncentraci 1,00 % (w/w) furcellaranu byly zaznamenány výrazně vyšší hodnoty G' a G'' , což naznačuje, že pro efektivní gelaci je potřeba prahová koncentrace, od které dochází k výraznému posílení gelové sítě.

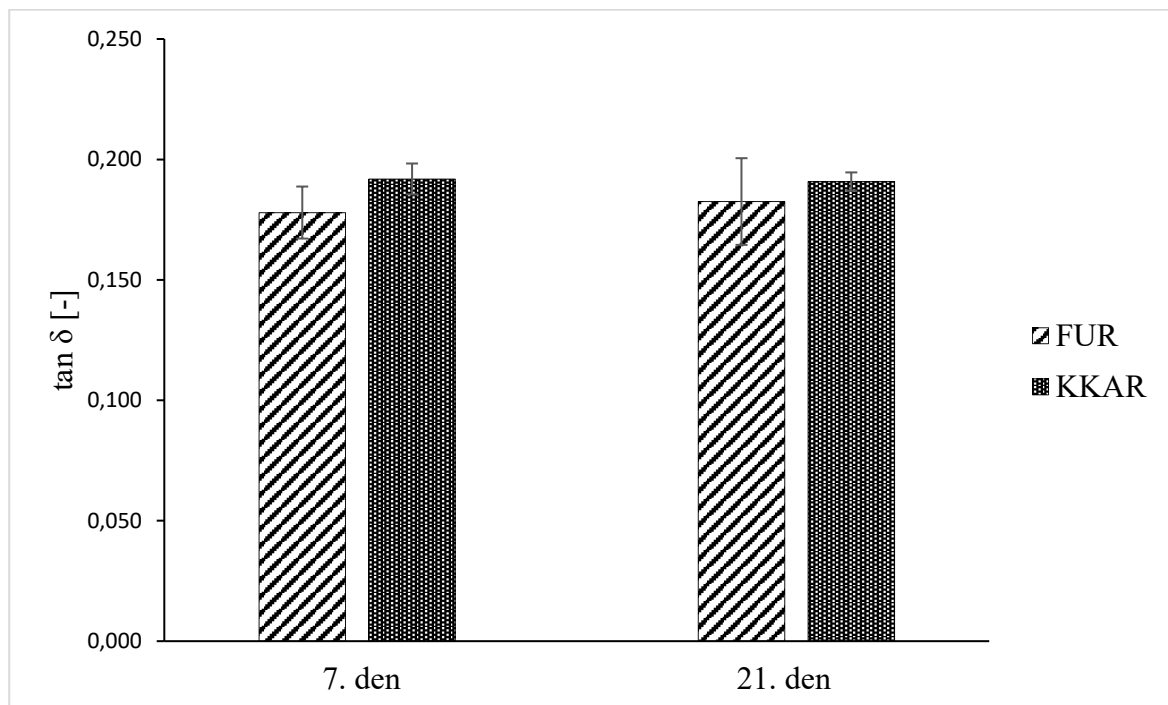
Gelotvorné schopnosti κ -karagenanu vycházejí ze schopnosti přecházet mezi neuspořádaným stavem a helikální strukturou v závislosti na teplotě a iontovém složení. Při teplotách pod 35–55 °C, kdy se nachází v helikální formě, se κ -karagenan může vázat na kladně nabitě segmenty kaseinových micel a sérových bílkovin, čímž vznikají agregáty a trojrozměrná síť. Gelace κ -karagenanu je silně závislá na přítomnosti specifických kationtů, zejména draslíku, které podporují tvorbu helikální struktury a neutralizují záporně nabitě sulfátové skupiny. Přítomnost těchto iontů je nezbytná pro dosažení tuhé a stabilní gelové struktury. Gelaci furcellaranu indukují především draselné a cesné ionty, sodné a lithné ionty indukují helixy nespecifickou elektrostatickou interakcí, jsou tedy méně účinné. Dvoumocné ionty (vápenaté a hořečnaté) působí rovněž nespecificky, ovšem účinněji než monovalentní ionty. Konformační přechod furcellaranu nastává při vyšších teplotách než u κ -karagenanu, což odlišuje jejich termoreologické chování (Míšková et al., 2021; Zhang et al., 1991).

Furcellaran vykazoval vyšší hodnoty G' a G'' než κ -karagenan, což mohlo být způsobeno interakcemi s kaseinovou maticí, které mohou mít v konkrétním složení systému (např. s přítomností micelárního kaseinu) odlišný charakter u obou hydrokoloidů.

Výsledky elastických a ztrátových modulů pružnosti lze dále podpořit i vypočítanými hodnotami komplexního modulu pružnosti (G^*) modelových vzorků, který odpovídá narůstající tuhosti vzorku a tangens úhlu fázového posunu ($\tan \delta$), jež znázorňuje podíl viskózní a elastické složky a s jeho klesající hodnotou narůstá tuhost TS. Tedy pokud je $\tan \delta < 1$, pak převažuje elastický charakter materiálu a pokud je $\tan \delta > 1$, převažuje charakter viskózní. Když jsou hodnoty G' a G'' stejné, $\tan \delta$ je rovna 1 a toto chování se nazývá „modul průniku“ (Macků, 2009; Saraiva et al., 2023). Pro prezentaci výsledků byla zvolena referenční frekvence 1 Hz. Z grafického znázornění hodnot G^* je zřejmé, že vyšších hodnot bylo dosaženo s modelovým vzorkem obsahujícím furcellaran. Během skladování nedošlo ke změnám G^* . Výsledky G^* tedy korelují se získanými výsledky tvrdosti TPA. Hodnoty $\tan \delta$ neukazovaly statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými modelovými vzorky a v průběhu skladování se neměnily. Modelové vzorky vykazovaly dle výsledků elastické chování, jelikož se jejich hodnoty $\tan \delta$ pohybovaly do 0,2.



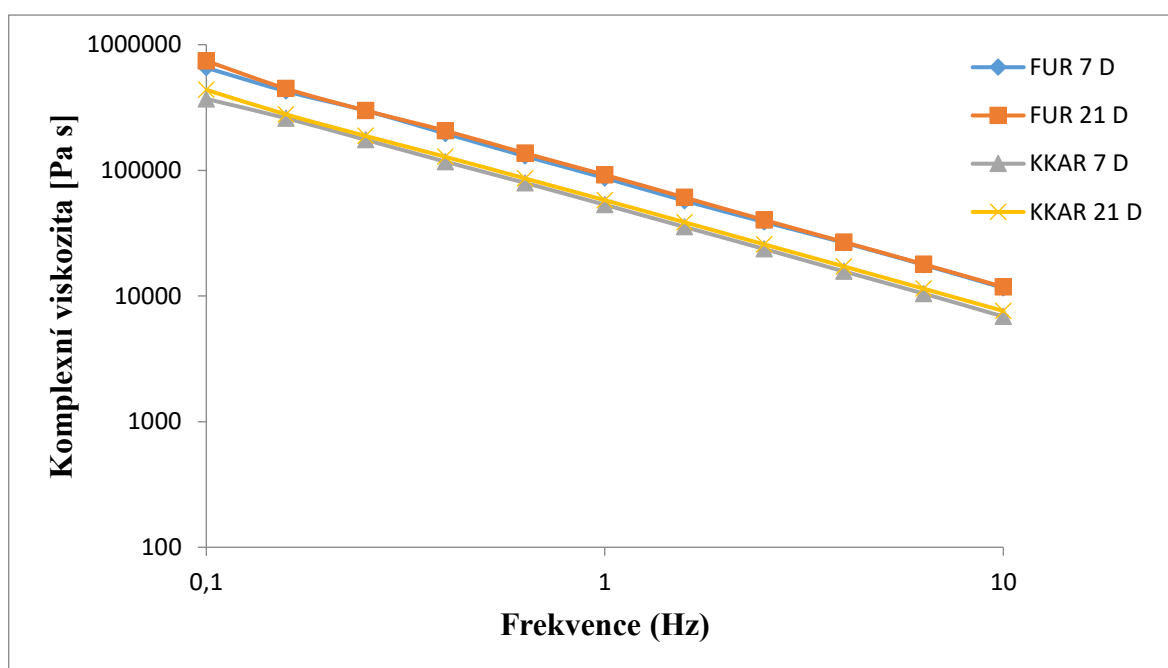
Obrázek 13 Komplexní modul pružnosti modelových vzorků při referenční frekvenci 1 Hz v průběhu skladování.



Obrázek 14 Hodnoty $\tan \delta$ modelových vzorků při referenční frekvenci 1 Hz v průběhu skladování

Dalším hodnoceným parametrem byla komplexní viskozita. Dle Salek et al. (2019) viskozita popisuje schopnost roztírat se anebo téct a souvisí spolu s tvrdostí. Graf závislosti komplexní viskozity na frekvenci je zobrazen na Obrázku 15. Viskozita modelových vzorků klesala se zvyšující se frekvencí. Vzhledem k tomu, že viskozita a tvrdost spolu souvisejí, jsou hodnoty viskozity u modelových vzorků očekávaně nižší u vzorků obsahujících κ -karagenan a v průběhu skladování je viskozita neměnná.

Funkčnost produktu určuje jeho viskozitu, mezi faktory, které mají na tento parametr v případě TS největší vliv, řadíme složení produktu a technologii výroby. Hlavní složkou při výrobě TS jsou proteiny, které se hydratují, zvýšení viskozity vodné fáze je dáno rozpuštěnými proteiny, které emulgují volný tuk (Sołowiej et al., 2020).



Obrázek 15 Komplexní viskozita modelových vzorků v závislosti na frekvenci

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá výrobou tavených sýrů s plísní na povrchu, s náhradou tradičních tavicích solí za hydrokoloidy – furcellaran a κ -karagenan, aplikovaných v koncentraci 1,0 % (w/w) a jejich hodnocení během skladování, konkrétně 7. a 21. den.

Z výsledků jednotlivých analýz lze vyvodit následující závěry:

- hodnoty pH modelových vzorků nebyly ovlivněny přidanými hydrokoloidy, ani v průběhu skladování,
- celkový obsah sušiny byl rapidně vyšší u vzorků po zrání a uskladnění, oproti výchozím taveným sýrům před aplikací plísňové kultury, pravděpodobně kvůli nízké RH ve zrací komoře či aktivitě plísňové kultury. Mezi jednotlivými vzorky nebyl významný rozdíl a v průběhu skladování byly hodnoty téměř neměnné,
- aktivita vody modelových vzorků po sedmidenním uskladnění klesla, oproti výsledkům měřeným před aplikací plísňové kultury, 21. den skladování byla však její hodnota vyšší, a to u obou druhů vzorků. Mezi vzorky s odlišnými hydrokoloidy nebyl zaznamenán významný rozdíl,
- vlivem zrání a skladování docházelo k tmavnutí vzorků, které postupovalo dále s delším časem skladování, zvyšovala se také sytost červeného a žlutého odstínu, a to u obou druhů vzorků. Vliv na barvu mohly mít vyšší hodnoty celkového obsahu sušiny, lykopen obsažený v rajčatovém prášku či Maillardovy reakce,
- texturní parametry modelových vzorků byly měřeny pomocí TPA. Tvrdost byla poměrně vysoká a mezi oběma vzorky nebyl statisticky významný rozdíl. Relativní lepivost modelových vzorků byla nízká, během skladování se však zvyšovala u obou vzorků. U vzorků obsahujících furcellaran byla zjištěna vyšší elasticita, oproti vzorkům s κ -karagenanem,
- vyšších hodnot elastického (G') i ztrátového (G'') modulu pružnosti dosahovaly vzorky obsahující furcellaran. Doba skladování modelových vzorků neovlivnila G' ani G'' . U všech vzorků se hodnoty G' a G'' zvyšovaly se zvyšující se frekvencí,
- hodnoty $\tan \delta$ neukazovaly významné rozdíly mezi jednotlivými vzorky a v průběhu skladování se neměnily. Modelové vzorky vykazovaly dle výsledků elastické vlastnosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ABBAS, A. a DOBSON, A.D.W. Yeasts and Molds | *Penicillium camemberti*. Online. In: *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Elsevier, 2011, s. 776-779. ISBN 9780123744074. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00364-2>.

AHMAD, S.; BUTT, M. S.; PASHA, I. a SAMEEN, A. Quality of Processed Cheddar Cheese as a Function of Emulsifying Salt Replaced by κ -Carrageenan. Online. *International Journal of Food Properties*. 2016, roč. 19, č. 8, s. 1874-1883. ISSN 1094-2912. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1085396>.

ANONYM. ČSN EN ISO 5534:2004, Sýry a tavené sýry – Stanovení obsahu celkové sušiny (Referenční metoda). Praha: Český normalizační institut, 2004.

ARMISÉN, R. a GAIATAS, F. Agar. Online. In: *Handbook of Hydrocolloids*. Elsevier, 2009, s. 82-107. ISBN 9781845694142. Dostupné z: <https://doi.org/10.1533/9781845695873.82>.

BHATTACHARYA, S. Other additives in snacks. Online. In: *Snack Foods*. Elsevier, 2023, s. 283-319. ISBN 9780128197592. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819759-2.00010-0>.

BOUTROU, R. a GUÉGUEN, M. Interests in *Geotrichum candidum* for cheese technology. Online. *International Journal of Food Microbiology*. 2005, roč. 102, č. 1, s. 1-20. ISSN 01681605. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.12.028>.

BRUNA, J. M.; HIERRO, E. M.; DE LA HOZ, L.; MOTTRAM, D. S.; FERNÁNDEZ, M. et al. Changes in selected biochemical and sensory parameters as affected by the superficial inoculation of *Penicillium camemberti* on dry fermented sausages. Online. *International Journal of Food Microbiology*. 2003, roč. 85, č. 1-2, s. 111-125. ISSN 01681605. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(02\)00505-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00505-6).

BUŇKA, F.; BUŇKOVÁ, L. a KRÁČMAR, S. *Základní principy výroby tavených sýrů*. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. ISBN 978-80-7375-336-8. Dostupné také z: <http://kramerusndk.nkp.cz/search/handle/uuid:42031da0-6f3e-11ee-93f0-005056827e52>.

BUŇKA, F. a L. BUŇKOVÁ. *Úloha tavicích solí při výrobě tavených sýrů*. Potravinářská revue. 2009, (1), 13-16. ISSN 1801-9102.

BUŇKA, F.; ČERNÍKOVÁ, M.; HLADKÁ, K. a BUŇKOVÁ, L. *Základní charakteristika tavených sýrů a jejich analogů*. Potravinářská revue. 2010, (6), 29-32.

BUŇKA, F.; SALEK, R. N.; KŮROVÁ, V.; BUŇKOVÁ, L. a LORENCOVÁ, E. The impact of phosphate – and citrate-based emulsifying salts on processed cheese techno-functional properties: A review. Online. *International Dairy Journal*. 2024, roč. 158. ISSN 09586946. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.106031>.

BUŇKA, F.; ČERNÍKOVÁ, M. a SALEK, R. N. Functionality of salts used in processed cheese manufacture. Online. In: *Processed Cheese Science and Technology*. Elsevier, 2022, s. 147-176. ISBN 9780128214459. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821445-9.00011-X>.

BUŇKOVÁ, L. a BUŇKA, F. Microflora of processed cheese and the factors affecting it. Online. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2015, roč. 57, č. 11, s. 2392-2403. ISSN 1040-8398. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1060939>.

CALZADA, J.; DEL OLMO, A.; PICON, A. a NUÑEZ, M. Effect of high-pressure-processing on lipolysis and volatile compounds of Brie cheese during ripening and refrigerated storage. Online. *International Dairy Journal*. 2014, roč. 39, č. 2, s. 232-239. ISSN 09586946. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.07.007>.

Codex Alimentarius Commission. *Codex Alimentarius*. ISBN 978-1-60119-779-5. Norich, NY: Knovel; 2009.

Codex Alimentarius Commission. *Standard for Camembert: CXS 276-1973*. Řím: FAO/WHO, 1973. Revidováno v roce 2007, upraveno v letech 2008, 2010, 2018, 2019, 2022. Dostupné z: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>

Coyau. Camembert de Normandie (AOP) 11.jpg [online]. 2015, Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Camembert_de_Normandie_\(AOP\)_11.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Camembert_de_Normandie_(AOP)_11.jpg)

ČERNÍKOVÁ, M.; BUŇKA, F.; PAVLÍNEK, V.; BŘEZINA, P.; HRABĚ, J. et al. Effect of carrageenan type on viscoelastic properties of processed cheese. Online. *Food Hydrocolloids*. 2008, roč. 22, č. 6, s. 1054-1061. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.05.020>.

ČERNÍKOVÁ, M.; BUŇKA, F.; POSPIECH, M.; TREMLOVÁ, B.; HLADKÁ, K. et al. Replacement of traditional emulsifying salts by selected hydrocolloids in processed cheese

production. Online. *International Dairy Journal*. 2010, roč. 20, č. 5, s. 336-343. ISSN 09586946. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.12.012>.

ČERNÍKOVÁ, M.; BUŇKA, F. a SALEK, R. N. Technological aspects of processed cheese: Properties and structure. Online. In: *Processed Cheese Science and Technology*. Elsevier, 2022, s. 211-248. ISBN 9780128214459. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821445-9.00002-9>.

ČERNÍKOVÁ, M.; NEBESÁŘOVÁ, J.; SALEK, R. N.; ŘIHÁČKOVÁ, L. a BUŇKA, F. Microstructure and textural and viscoelastic properties of model processed cheese with different dry matter and fat in dry matter content. Online. *Journal of Dairy Science*. 2017, roč. 100, č. 6, s. 4300-4307. ISSN 00220302. Dostupné z: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12120>.

ČERNÍKOVÁ, M.; SALEK, R.; KOZÁČKOVÁ, D. a BUŇKA, F. The effect of different agitations and temperature maintainings on viscoelastic properties of full-fat processed cheese spreads. Online. *LWT*. 2018, roč. 89, s. 244-247. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.054>.

ČESKO. Vyhláška č. 397/2016 Sb., o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-397>.

ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Spotřeba potravin a nealkoholických nápojů (na obyvatele za rok)*. In: Český statistický úřad. 2024. Dostupné také z: <https://csu.gov.cz/produkty/spotreba-potravin-2023>

DE BOER, R. *From Milk By-Products to Milk Ingredients*. Online. Wiley, 2014. ISBN 9780470672228. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9781118598634>.

DONNELLY, C. W. From Pasteur to Probiotics: A Historical Overview of Cheese and Microbes. Online. *Microbiology Spectrum*. 2013, roč. 1, č. 1. ISSN 2165-0497. Dostupné z: <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.CM-0001-12>.

DRAGET, K.I. Alginates. Online. In: *Handbook of Hydrocolloids*. Elsevier, 2009, s. 807-828. ISBN 9781845694142. Dostupné z: <https://doi.org/10.1533/9781845695873.807>. [cit. 2025-02-27].

EL-BAKRY, M. a MEHTA, B. M. Overview of processed cheese and its products. Online. In: *Processed Cheese Science and Technology*. Elsevier, 2022, s. 1-28. ISBN 9780128214459. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821445-9.00006-6>.

EU. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1333/2008 ze dne 16. prosince 2008 o potravinářských přídatných látkách. In: EUR-Lex: Právo EU. 2008. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX:32008R1333&qid=1733064042580>.

FELFOUL, I. a ATTIA, H. Packaging, cooling, and storage of processed cheese. Online. In: *Processed Cheese Science and Technology*. Elsevier, 2022, s. 249-269. ISBN 9780128214459. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821445-9.00013-3>.

FOX, P. F.; GUINEE, T. P.; COGAN, T. M. a MCSWEENEY, P. L. H. *Fundamentals of cheese science*. Second edition. New York: Springer, 2017. Dostupné z: <https://doi.org/978-1-4899-7681-9>.

GUINEE, T. P. Effects of Natural Cheese Characteristics and Processing Conditions on Rheology and Texture: The Functionality of Cheese Components in the Manufacture of Processed Cheese. Online. In: *Processed Cheese and Analogues*. Blackwell Publishing, 2011, s. 81-109. ISBN 9781444341850. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9781444341850.ch3>.

GUINEE, T. P. Pasteurized Processed and Imitation Cheese Products. Online. In: *Cheese*. Elsevier, 2017, s. 1133-1184. ISBN 9780124170124. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417012-4.00046-6>.

HALL, Simon R. *Biotemplating: complex structures from natural materials*. Singapore: Imperial College Press, 2009. ISBN 978-1-84816-403-1. Dostupné také z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/natl-ebooks/detail.action?docID=477155>.

HAMMAM, A. R. A.; KAPOOR, R. a METZGER, L. E. Manufacture of a novel cultured micellar casein concentrate ingredient for emulsifying salt-free process cheese products applications. Online. *Journal of Dairy Science*. 2023a, roč. 106, č. 5, s. 3137-3154. ISSN 00220302. Dostupné z: <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22652>.

HAMMAM, A. R.A.; KAPOOR, R. a METZGER, L. E. Manufacture of process cheese products without emulsifying salts using acid curd and micellar casein concentrate.

Online. *Journal of Dairy Science*. 2023b, roč. 106, č. 1, s. 117-131. ISSN 00220302. Dostupné z: <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22379>

HARBUTT, J. a DENNY, R. *The world encyclopedia of cheese*. London: Hermes House, [2003]. ISBN 1-84309-671-4.

HARTMANN, K. a MAUBOIS, J. L. Mould Surface-Ripened Cheeses. In: PAPADEMAS, P. a BINTSIS, T. *Global Cheesemaking Technology*. John Wiley, 2017, s. 392-396. ISBN 9781119046158.

HILL, A. a FERRER, M. A. Dairy ingredients in processed cheese and cheese spread. Online. In: *Processed Cheese Science and Technology*. Elsevier, 2022, s. 29-79. ISBN 9780128214459. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821445-9.00012-1>.

CHEN, X.; GU, Z.; PENG, Y. a QUEK, S. Y. What happens to commercial camembert cheese under packaging? Unveiling biochemical changes by untargeted and targeted metabolomic approaches. Online. *Food Chemistry*. 2022, roč. 383. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132437>.

CHUDY, S.; BILSKA, A.; KOWALSKI, R. a TEICHERT, J. Colour of milk and milk products in CIE L*a*b* space. Online. *Medycyna Weterynaryjna*. 2020, roč. 76, č. 01, s. 6327-2020. ISSN 0025-8628. Dostupné z: <https://doi.org/10.21521/mw.6327>.

IMESON, A.P. Carrageenan and furcellaran. Online. In: *Handbook of Hydrocolloids*. Elsevier, 2009, s. 164-185. ISBN 9781845694142. Dostupné z: <https://doi.org/10.1533/9781845695873.164>.

INAMUDDIN; AHAMED, M. I.; BODDULA, R. a ALTALHI, T. (ed.). *Polysaccharides*. Online. Wiley, 2021. ISBN 9781119711384. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9781119711414>.

JANA, A. High protein dairy foods: technological considerations. Online. In: *Dairy Foods*. Elsevier, 2022, s. 159-193. ISBN 9780128204788. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820478-8.00013-4>.

JÚNIOR, L. M.; VIEIRA, R. P.; JAMRÓZ, E. a ANJOS, C. A. R. Furcellaran: An innovative biopolymer in the production of films and coatings. Online. *Carbohydrate Polymers*. 2021, roč. 252. ISSN 01448617. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117221>.

KAPOOR, R. a METZGER, L. E. Process Cheese: Scientific and Technological Aspects—A Review. Online. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2008, roč. 7,

č. 2, s. 194-214. ISSN 1541-4337. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2008.00040.x>.

KAPOOR, R.; METZGER, L.E.; BISWAS, A.C. a MUTHUKUMMARAPPAN, K. Effect of Natural Cheese Characteristics on Process Cheese Properties. Online. *Journal of Dairy Science*. 2007, roč. 90, č. 4, s. 1625-1634. ISSN 00220302. Dostupné z: <https://doi.org/10.3168/jds.2006-746>.

KOPÁČEK, J.; LIKLER, L. a ŠTEMBERK, J. *Camembert z Normandie a Sedlčanský Hermelin*. Online. Laktos collection. 2007. Dostupné z: <http://laktoscollection.cz/view.php?nazev=camembert-z-normandie-a-sedlcansky-hermelin&cislocclanku=2007080001>.

KRATOCHVÍLOVÁ, A.; SALEK, R. N.; VAŠINA, M.; LORENCOVÁ, E.; KŮROVÁ, V. et al. The Impact of Different Hydrocolloids on the Viscoelastic Properties and Microstructure of Processed Cheese Manufactured without Emulsifying Salts in Relation to Storage Time. Online. *Foods*. 2022, roč. 11, č. 22. ISSN 2304-8158. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods11223605>.

KRASAEKOOPT, W. and BHANDARI, B. Properties and applications of different probiotic delivery systems. In: GARTI, N. a MCCLEMENTS, D. J. *Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals*. Oxford: WP Woodhead Publishing, 2012, s. 541-594.

KRISTENSEN, D.; HANSEN, E.; ARNDAL, A.; TRINDERUP, R. A. a SKIBSTED, L. H. Influence of light and temperature on the colour and oxidative stability of processed cheese. Online. *International Dairy Journal*. 2001, roč. 11, č. 10, s. 837-843. ISSN 09586946. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00105-4](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00105-4).

KŮROVÁ, V.; SALEK, R. N.; ČERNÍKOVÁ, M.; LORENCOVÁ, E.; ZALEŠÁKOVÁ, L. et al. Furcellaran as a substitute for emulsifying salts in processed cheese spread and the resultant storage changes. Online. *International Journal of Dairy Technology*. 2022, roč. 75, č. 3, s. 679-689. ISSN 1364-727X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12871>.

LE BARS, J. Cyclopiazonic acid production by *Penicillium camemberti* Thom and natural occurrence of this mycotoxin in cheese. Online. *Applied and Environmental Microbiology*. 1979, roč. 38, č. 6, s. 1052-1055. ISSN 0099-2240. Dostupné z: <https://doi.org/10.1128/aem.38.6.1052-1055.1979>.

LECLERCQ-PERLAT, M.-N. Cheese | Camembert, Brie, and Related Varieties. Online. In: *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Elsevier, 2011, s. 773-782. ISBN 9780123744074. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00091-1>.

LECLERCQ-PERLAT, M.-N.; HÉLIAS, A. a CORRIEU, G. Short communication: Little change takes place in Camembert-type cheese water activities throughout ripening in terms of relative humidity and salt. Online. *Journal of Dairy Science*. 2013, roč. 96, č. 12, s. 7521-7525. ISSN 00220302. Dostupné z: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6817>.

LUCEY, J.A.; JOHNSON, M.E. a HORNE, D.S. Invited Review: Perspectives on the Basis of the Rheology and Texture Properties of Cheese. Online. *Journal of Dairy Science*. 2003, roč. 86, č. 9, s. 2725-2743. ISSN 00220302. Dostupné z: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73869-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73869-7).

LUCEY, J. A.; MAURER-ROTHMANN, A. a KALIAPPAN, S. Functionality of Ingredients: Emulsifying Salts. In: TAMIME, A. Y. *Processed Cheese and Analogues*. Blackwell Publishing, 2011, s. 110-133. ISBN 978-1-4051-8642-1.

MACKŮ, I. Viskoelastické a senzorické vlastnosti tavených sýrů s přidavkem pektinů. Zlín, 2009. Disertační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická.

MARCELLINO, O.S.B., S. N.; BENSON, D. R. a DONNELLY, C. W. The Good, the Bad, and the Ugly: Tales of Mold-Ripened Cheese. Online. *Microbiology Spectrum*. 2013, roč. 1, č. 1. ISSN 2165-0497. Dostupné z: <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.CM-0005-12>.

MARCOS, A.; ESTEBAN, M.A. a ALCALÁ, M. Determination of water activity in brie and camembert cheese varieties by four different methods. Online. *Food Chemistry*. 1990, roč. 38, č. 3, s. 189-199. ISSN 03088146. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(90\)90193-8](https://doi.org/10.1016/0308-8146(90)90193-8).

MASUI, K. a YAMADA, T. *Francouzské sýry*. Praha: Slovart, 2007. ISBN 9788072099948.

MCSWEENEY, P.L.H. a FOX, P.F. Metabolism of Residual Lactose and of Lactate and Citrate. Online. In: *General Aspects. Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Elsevier, 2004, s. 361-371. ISBN 9780122636523. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S1874-558X\(04\)80074-5](https://doi.org/10.1016/S1874-558X(04)80074-5).

MCSWEENEY, P. L. H. Souhrn přednášky o zrání přírodních sýrů přednesený dne 5. září 2013 na Fakultě technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. *Mlékařské listy*. 2013, roč. 24, č. 141. Praha: Výzkumný ústav mlékárenský, 2013. ISSN 1212-950X.

MINZ, P. S. a SAINI, Ch. S. Comparison of computer vision system and colour spectrophotometer for colour measurement of mozzarella cheese. Online. *Applied Food Research*. 2021, roč. 1, č. 2. ISSN 27725022. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100020>.

MÍŠKOVÁ, Z.; SALEK, R.N.; KŘENKOVÁ, B.; KŮROVÁ, V.; NĚMEČKOVÁ, I. et al. The effect of κ - and ι -carrageenan concentrations on the viscoelastic and sensory properties of cream desserts during storage. Online. *LWT*. 2021, roč. 145. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111539>.

MIŠURCOVÁ, L.; ŠKROVÁNKOVÁ, S.; SAMEK, D.; AMBROŽOVÁ, J. a MACHŮ, L. Health Benefits of Algal Polysaccharides in Human Nutrition. Online. In: *Advances in Food and Nutrition Research Volume 66*. Advances in Food and Nutrition Research. Elsevier, 2012, s. 75-145. ISBN 9780123945976. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394597-6.00003-3>.

NAGYOVÁ, G.; ČERNÍKOVÁ, M.; PACHLOVÁ, V. a BUŇKA, F. Srovnání účinnosti vybraných hydrokoloidů na zvyšování pevnosti tavených sýrů. In: *Mlékařské listy - zpravodaj*. 25. 2014. ISSN 1212-950x.

NOGUEIRA DE OLIVERIA, M. USTUNOL Z. a TAMIME, Z. Manufacturing Practices of Processed Cheese. In: TAMIME, A. Y. *Processed Cheese and Analogues*. Blackwell Publishing, 2011, s. 148-173. ISBN 978-1-4051-8642-1.

OZTURK, M. a KILIC-AKYILMAZ, M. Manufacture of processed cheese: Equipments used. Online. In: *Processed Cheese Science and Technology*. Elsevier, 2022, s. 197-210. ISBN 9780128214459. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821445-9.00015-7>.

PADMESH, S a SINGH, A. Agars: Properties and Applications. In: *Polysaccharides - Properties and Applications*. John Wiley, 2021, s. 75-93. ISBN 978-1-5231-4375-7.

PISKA, I. a ŠTĚTINA, J. Influence of cheese ripening and rate of cooling of the processed cheese mixture on rheological properties of processed cheese. Online. *Journal of Food Engineering*. 2004, roč. 61, č. 4, s. 551-555. ISSN 02608774. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00217-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00217-6).

RAMEL, P. R. a MARANGONI, A. G. Characterization of the polymorphism of milk fat within processed cheese products. Online. *Food Structure*. 2017, roč. 12, s. 15-25. ISSN 22133291. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2017.03.001>.

SALÁKOVÁ, A., BOŘILOVÁ, G. Technologie a hygiena potravin živočišného původu – návody na cvičení. Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, Vyd.1, 2014, 51 s. ISBN 978-80-7305-731-2.

SALEK, R. N.; VAŠINA, M.; LAPČÍK, L.; ČERNÍKOVÁ, M.; LORENCOVÁ, E. et al. Evaluation of various emulsifying salts addition on selected properties of processed cheese sauce with the use of mechanical vibration damping and rheological methods. Online. *LWT*. 2019, roč. 107, s. 178-184. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.022>.

SALEK, R. N.; LORENCOVÁ, E.; MÍŠKOVÁ, Z.; LAZÁRKOVÁ, Z.; PACHLOVÁ, V. et al. The impact of Chios mastic gum on textural, rheological and melting properties of spread-type processed cheese during storage. Online. *International Dairy Journal*. 2020, roč. 109. ISSN 09586946. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104755>.

SALEK, R. N. *Factors affecting the functional properties of processed cheeses*. Habilitation thesis summary. Zlín: Tomas Bata University in Zlín, 2021. ISBN 978-80-7678-013-2.

SALEK, R. N.; BUŇKA, F. a ČERNÍKOVÁ, M. The use of different cheese sources in processed cheese. Online. In: *Processed Cheese Science and Technology*. Elsevier, 2022, s. 79-113. ISBN 9780128214459. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821445-9.00010-8>.

SALUNKE, P. a METZGER, L.E. Functional characteristics of process cheese product as affected by milk protein concentrate and micellar casein concentrate at different usage levels. Online. *International Dairy Journal*. 2022, roč. 128. ISSN 09586946. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105324>.

SARAIVA, Bianka Rocha; CEGUDO, Ana Carolina Marques; GIBIN, Mariana Sversut; DA SILVA, Jéssica Bassi; SATO, Francielle et al. Co-product from debittering process of trub (brewing by-product) as natural antioxidant in processed cheese. Online. *International Journal of Food Science & Technology*. 2023, roč. 58, č. 12, s. 6752-6760. ISSN 0950-5423. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/ijfs.16643>.

SMITH, J. a HONG-SHUM, L. (ed.). *Food Additives Data Book*. Online. 2nd Edition. Wiley, 2011. ISBN 9781405195430. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9781444397741>.

SONG, D.-H.; HOA, V. B.; KIM, H. W.; KHANG, S. M.; CHO, S.-H. et al. Edible Films on Meat and Meat Products. Online. *Coatings*. 2021, roč. 11, č. 11. ISSN 2079-6412. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/coatings11111344>.

SOLHI, P.; AZADMARD-DAMIRCHI, S.; HESARI, J. a HAMISHEHKAR, H. Production of the processed cheese containing tomato powder and evaluation of its rheological, chemical and sensory characteristics. Online. *Journal of Food Science and Technology*. 2020, roč. 57, č. 6, s. 2198-2205. ISSN 0022-1155. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04256-1>.

SOŁOWIEJ, B. EFFECT OF κ -CARRAGEENAN ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF PROCESSED CHEESE ANALOGUES. Online. *Zywnosc.Nauka.Technologia.Jakosc/Food.Science.Technology.Quality*. 2012. ISSN 14256959. Dostupné z: <https://doi.org/10.15193/zntj/2012/81/107-118>.

SOŁOWIEJ, B. G.; NASTAJ, M.; SZAFRAŃSKA, J. O.; MUSZYŃSKI, S.; GUSTAW, W. et al. Effect of emulsifying salts replacement with polymerised whey protein isolate on textural, rheological and melting properties of acid casein model processed cheeses. Online. *International Dairy Journal*. 2020, roč. 105. ISSN 09586946. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104694>.

SPAGNUOLO, P.; DALGLEISH, D.; GOFF, H. a MORRIS, E. Kappa-carrageenan interactions in systems containing casein micelles and polysaccharide stabilizers. Online. *Food Hydrocolloids*. 2005, roč. 19, č. 3, s. 371-377. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.10.003>.

SPINNLER, H.-E. Surface Mold–Ripened Cheeses. In: MCSWEENEY, P.; PAUL, L. H.; FOX, P. F.; COTTER, P. D. a EVERETT, D. W. *Cheese – Chemistry, Physics & Microbiology*. 4. Elsevier, 2017, s. 911-928. ISBN 978-0-12-417012-4.

SUNESSEN, L.O.; LUND, P.; SØRENSEN, J. a HØLMER, G. Development of Volatile Compounds in Processed Cheese during Storage. Online. *LWT - Food Science and Technology*. 2002, roč. 35, č. 2, s. 128-134. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0815>.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. Online. *Food Quality and Preference*. 2002, roč. 13, č. 4, s. 215-225. ISSN 09503293. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8).

TALBOT-WALSH, G.; KANNAR, D. a SELOMULYA, C. A review on technological parameters and recent advances in the fortification of processed cheese. Online. *Trends in Food Science & Technology*. 2018, roč. 81, s. 193-202. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.023>.

TAMIME, A. Y. Processed Cheese and Analogues: An Overview. In: TAMIME, A. Y. *Processed Cheese and Analogues*. Blackwell Publishing, 2011, s. 1-14. ISBN 978-1-4051-8642-1.

THOMAREIS, A. S. a DIMITRELI, G. Techniques used for processed cheese characterization. Online. In: *Processed Cheese Science and Technology*. Elsevier, 2022, s. 295-349. ISBN 9780128214459. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821445-9.00007-8>.

TÜMER, U. a BARBAROS, H. U. Moulds Employed in Food Processing. Online. In: *Encyclopedia of Food Microbiology*. Elsevier, 1999, s. 2109-2116. ISBN 978-0-08-052359-0.

TUVIKENE, R.; TRUUS, K.; ROBAL, M.; VOLOBUJEVA, O.; MELLIKOV, E. et al. The extraction, structure, and gelling properties of hybrid galactan from the red alga *Furcellaria lumbricalis* (Baltic Sea, Estonia). Online. *Journal of Applied Phycology*. 2010, roč. 22, č. 1, s. 51-63. ISSN 0921-8971. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10811-009-9425-x>.

UDO, T.; MUMMALETI, G.; MOHAN, A.; SINGH, R. K. a KONG, F. Current and emerging applications of carrageenan in the food industry. Online. *Food Research International*. 2023, roč. 173. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113369>.

VINCOVÁ, A.; ŠANTOVÁ, K.; KŮROVÁ, V.; KRATOCHVÍLOVÁ, A.; HALÁMKOVÁ, V. et al. The Impact of Divergent Algal Hydrocolloids Addition on the Physicochemical, Viscoelastic, Textural, and Organoleptic Properties of Cream Cheese Products. Online. *Foods*. 2023, roč. 12, č. 8. ISSN 2304-8158. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods12081602>.

WEMMENHOVE, E.; WELLS-BENNIK, M.H.J.; STARA, A.; VAN HOOIJDONK, A.C.M. a ZWIETERING, M.H. How NaCl and water content determine water activity during ripening of Gouda cheese, and the predicted effect on inhibition of *Listeria monocytogenes*. Online. *Journal of Dairy Science*. 2016, roč. 99, č. 7, s. 5192-5201. ISSN 00220302. Dostupné z: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10523>.

WYPYCH, A a WYPYCH, G. *Databook of Rheological Additives*. Online. Elsevier, 2022. ISBN 9781927885918. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/C2021-0-00232-7>.

YU H.-N.; WANG J.-Y.; HANG F.; LIU Z.-M.; LI Y.-F.; GUO B.-H.; MEI J.; XIA Y.-J.; HOU J.-P. Texture and Rheological Properties of Camembert Cheeses During Ripening. Online. *Scientia Agricultura Sinica*. 2013, roč. 46(19), s. 4149-4156. ISSN 0578-1752.

ZHANG, W.; PICULELL, L. a NILSSON, S. Salt dependence and ion specificity of the coil–helix transition of furcellaran. Online. *Biopolymers*. 1991, roč. 31, č. 14, s. 1727-1736. ISSN 0006-3525. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/bip.360311407>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Camembert de Normandie	13
Obrázek 2 Schématické znázornění změn, které nastávají v sýru s plísní na povrchu během zrání v důsledku růstu <i>Penicillium camemberti</i>	21
Obrázek 3 Chemická struktura κ -karagenanu (a) a ι -karagenanu (b)	27
Obrázek 4 Chemická struktura furcellaranu	29
Obrázek 5 Schéma výměny iontů sodíku za ionty vápníku při tavení přírodních sýrů tavicí soli se sodnými ionty „NaA“, napravo poté navázané vápenaté ionty na tavicí sůl „CaA“	33
Obrázek 6 Modelové vzorky s přídavkem furcellaranu v průběhu zrání	44
Obrázek 7 Modelové vzorky s přídavkem κ -karagenanu v průběhu zrání	45
Obrázek 8 Ilustrace barevného prostoru CIE 1976 L*a*b* (CIELAB).....	47
Obrázek 9 Analýza textury modelového vzorku	49
Obrázek 10 Závislost tvrdosti [N] modelových vzorků na době skladování.....	56
Obrázek 11 Závislost elastického modulu pružnosti modelových vzorků (7 D – po sedmidenním skladování, 21 D – skladování 21 dní) na frekvenci	59
Obrázek 12 Závislost ztrátového modulu pružnosti modelových vzorků (7 D – po sedmidenním skladování, 21 D – skladování 21 dní) na frekvenci	59
Obrázek 13 Komplexní modul pružnosti modelových vzorků při referenční frekvenci 1 Hz v průběhu skladování.	62
Obrázek 14 Hodnoty $\tan \delta$ modelových vzorků při referenční frekvenci 1 Hz v průběhu skladování	62
Obrázek 15 Komplexní viskozita modelových vzorků v závislosti na frekvenci.....	63

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Surovinová skladba modelových vzorků	42
Tabulka 2 Hodnoty pH modelových vzorků v čase	51
Tabulka 3 Hodnoty celkového obsahu sušiny modelových vzorků.....	52
Tabulka 4 Naměřené souřadnice L^* , a^* , b^* pro modelové vzorky	54
Tabulka 5 Hodnoty aktivity vody modelových vzorků	54
Tabulka 6 Naměřené hodnoty relativní lepivosti, elasticity, kohezivnosti a gumovitosti modelových vzorků.....	58

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AOC	Appellation d'Origine Contrôlée
BMK	Bakterie mléčného kvašení
FUR	Furcellaran
G'	Elastický modul pružnosti
G''	Ztrátový modul pružnosti
G*	Komplexní modul pružnosti
KKAR	κ -karagenan
MCC	Micelární kaseinový koncentrát
MK	Mastná kyselina
RH	Relativní vlhkost vzduchu
TAG	Triacylglycerol
$\tan \delta$	Tangens úhlu fázového posunu
TPA	Texturní profilová analýza
TS	Tavený sýr
TVS	Tuk v sušině
UHT	Vysokoteplotní úprava

