

Vliv vybraných polysacharidů z řas na konzistenci tavených sýrů

Bc. Lucie Beníčková

Diplomová práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lucie Beníčková**

Osobní číslo: **T16184**

Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**

Studijní obor: **Technologie potravin**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Vliv vybraných polysacharidů z řas na konzistenci tavených sýrů**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Popis technologie výroby tavených sýrů a možnosti aplikace polysacharidů při jejich výrobě.
2. Charakteristika vybraných polysacharidů z hlediska fyzikálně chemických vlastností a možných interakcí.

II. Praktická část

1. Výroba modelových vzorků tavených sýrů s vybranými polysacharidy.
2. Stanovení viskoelastických vlastností modelových vzorků.
3. Vyhodnocení výsledků a jejich porovnání s odbornou literaturou.
4. Shrnutí závěrů práce.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] GUINEE, T. P, CARÍC, M., KALÁB, M. Processed cheese products in: P.F. Fox, P.L.H. McSweeney, T.M. Cogan, T.P. Guinee (Eds.), Cheese Chemistry, Physics and Microbiology, Major Cheese Groups (3rd edn.), Vol. 2, Elsevier Academic Press, Amsterdam. 2004. pp. 349 394.

[2] PHILLIPS, G.O., WILLIAMS, P.A. Handbook of hydrocolloids, Second edition, Edited by G. O. Phillips and P. A. Williams. Woodhead Publishing Limited, CRC Press, Boca Raton. 2009. 982 pp. ISBN 978-1-84569-587-3 (e-book).

[3] ČERNÍKOVÁ, M., BUŇKA, F., PAVLÍNEK, V., BŘEZINA, P., HRABĚ, J., VALÁŠEK, P. Effect of carrageenan type on viscoelastic properties of processed cheese. Food Hydrocolloids, 2008, 22, 6, 1054 1061.

[4] LI, J-M., NIE, S-P. The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods, Food HydrocolloidS, 2016, 53, 46 61.

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

Ústav technologie potravin

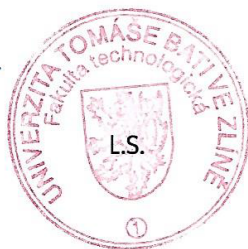
Datum zadání diplomové práce: **2. února 2018**

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

Ve Zlíně dne 2. února 2018



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



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

Příjmení a jméno: BENICKOVÁ LUCIE

Obor: TECHNOLOGIE
POTRAVIN

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně25.4.2018

Benicková

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce bylo posoudit vliv vybraných polysacharidů z řas na konzistenci tavených sýrů. Ze zástupců hydrokoloidů byl vybrán agar, alginát sodný, κ -karagenan a ι -karagenan v množství 0,00 %; 0,10 %; 0,25 %; 0,50; 0,75 % a 1,00 % (w/w). Stanovoval se obsah celkové sušiny, obsah tuku a měřila se hodnota pH v pěti určených termínech (1., 7., 14., 30. a 60. den). Reologické vlastnosti byly posuzovány dynamickou oscilační reometrií. Z naměřených výsledků vzorků taveného sýra bylo zjištěno, že vybrané hydrokoloidy mají značný vliv na výslednou konzistenci taveného sýra. S rostoucí koncentrací vzorků s přísadkou hydrokoloidu stoupá tuhost taveného sýra. Největší nárůst tuhosti taveného sýra byl zaznamenán u vzorků s přísadkou karagenanů, naopak nejméně efektivní pro úpravu konzistence se projevil vzorek s přísadkou alginátu sodného. Na výslednou konzistenci taveného sýra měla vliv také doba skladování, kdy s přibývajícím délkou skladování vzrostla tuhost u všech modelových vzorků.

Klíčová slova: tavené sýry, agar, alginát sodný, κ -karagenan, ι -karagenan, konzistence

ABSTRACT

The aim of this thesis was to evaluate the effect of selected polysaccharides from seaweed on the processed cheeses consistency. Agar, sodium alginate, κ -carrageenan and ι -carrageenan were selected from the hydrocolloid representatives in the amount 0,00 %; 0,10 %; 0,25 %; 0,50 %; 0,75 % and 1,00 % (w/w). The total content of dry matter, the fat content and the pH value were measured in five appointed periods (1st, 7th, 14th, 30th and 60th day). Rheological characteristics were assessed by dynamic oscillatory rheometry. From the measurement results of the processed cheese samples, it was found that selected hydrocolloids have a considerable effect on the resulting consistency of the processed cheese. The highest increase in firmness of the processed cheese was recorded in samples containing carrageenan addition, while the least effective with regards to consistency was the sample with the addition of sodium alginate. The final consistency of the processed cheese was also influenced by the shelf-life, as extending storing time led to increase of firmness in all model samples.

Keywords: processed cheeses, agar, sodium alginate, κ -carrageenan, ι -carrageenan, consistency

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí mé diplomové práce MVDr. Michaelle Černíkové, Ph.D. za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěla k vypracování této diplomové práce. Také bych chtěla poděkovat za ochotu a čas, který mi věnovala.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 VÝROBA TAVENÝCH SÝRŮ	11
1.1 TAVENÉ SÝRY	11
1.1.1 Charakteristika tavených sýrů	12
1.1.2 Složení tavených sýrů	12
1.1.3 Rozdělení tavených sýrů	14
1.2 SUROVINY PRO VÝROBU TAVENÝCH SÝRŮ	15
1.3 TAVICÍ SOLI.....	16
1.3.1 Fosforečnanové tavicí soli.....	17
1.3.2 Citronanové tavicí soli	18
1.3.3 Procesy probíhající při tavení.....	18
1.3.4 Úloha tavicích solí.....	20
1.4 TECHNOLOGIE VÝROBY TAVENÝCH SÝRŮ	21
2 HYDROKOLOIDY	24
2.1 AGAR	25
2.2 ALGINÁTY	27
2.3 KARAGENANY	31
3 CÍL PRÁCE	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	36
4 ZVOLENÁ METODIKA PRÁCE	37
4.1 VÝROBA MODELOVÝCH VZORKŮ TAVENÉHO SÝRA	37
4.2 ZÁKLADY CHEMICKÉ ANALÝZY.....	38
4.2.1 Stanovení obsahu celkové sušiny.....	38
4.2.2 Stanovení obsahu tuku	39
4.2.3 Stanovení hodnoty pH.....	39
4.3 DYNAMICKÁ OSCILAČNÍ REOMETRIE	39
5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A JEJICH HODNOCENÍ	41
5.1 VYHODNOCENÍ ZÁKLADNÍ CHEMICKÉ ANALÝZY	41
5.2 VYHODNOCENÍ VISKOELASTICKÝCH VLASTNOSTÍ	41
5.3 SOUHRNNÁ DISKUZE	53
ZÁVĚR	55
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	63
SEZNAM OBRÁZKŮ	64
SEZNAM TABULEK	65

ÚVOD

Přestože tavené sýry zpestřují lidem jídelníček teprve sto let, patří k celosvětově oblíbeným a často konzumovaným mléčným výrobkům. Důvody lze najít v jejich dlouhé trvanlivosti, snadné použitelnosti a cenové dostupnosti. Velkou výhodou je také výroba nepřeberného množství variant, ať už podle velikosti spotřebitelského balení, ochucující složky a v neposlední řadě podle konzistence.

Vývoj tavených sýrů jde stále dopředu. Zkoumají se různé faktory, které mohou ovlivnit konzistenci, texturu a další důležité vlastnosti tavených sýrů. Stále častěji se výrobci tavených sýrů obracejí k surovinové skladbě s obsahem hydrokoloidů (vysokomolekulárních látek sacharidické nebo bílkovinné povahy). Důvodem může být používání levnější výchozí suroviny, případně úprava nežádoucích sensorických a viskoelastických vlastností do požadovaných mezí. Nejčastěji používanými hydrokoloidy jsou při výrobě tavených sýrů karagenany, pektin, modifikované škroby, rostlinné gummy (xantanová, guarová) a želatina.

Podstatou diplomové práce bylo posoudit vliv přídavku vybraných polysacharidů z řas (agar, alginát sodný, ι- a κ-karagenany) na konzistenci tavených sýrů. Trendem dnešní doby je používat látky na bázi hydrokoloidů, a to z důvodu zlepšení vaznosti vody, vytváření požadovaných reologických vlastností, zjemnění konzistence a tak dále.

Diplomová práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou. Teoretická část této práce měla za cíl charakterizovat tavené sýry včetně jejich složení a rozdělení. Dále jsou stručně popsány suroviny pro jejich výrobu. Jsou zde také zmíněny nejčastěji používané tavicí soli, procesy, které probíhají při tavení a hlavní úloha těchto solí při výrobě tavených sýrů. Následující podkapitolou je samotná technologie výroby tavených sýrů. Velmi důležitou částí je také kapitola soustředěná na popis vybraných hydrokoloidů (agar, alginát sodný a karagenany), které byly aplikovány do tavených sýrů. Na konci teoretické části lze nalézt cíle práce.

Úkolem praktické části bylo popsat zvolenou metodiku práce, jejíž součástí jsou podkapitoly týkající se výroby modelových vzorků, základní chemické analýzy (stanovení obsahu celkové sušiny, obsahu tuku a hodnot pH), dynamické oscilační reometrie. Další kapitolou jsou zpracované výsledky základní chemické analýzy, viskoelastických vlastností tavených sýrů s přídavky vybraných hydrokoloidů a jejich diskuze. Poslední podkapitola obsahuje souhrnnou diskuzi k zjištěným výsledkům. Praktická část je zakončena závěrem, kde jsou shrnuty poznatky z této diplomové práce.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝROBA TAVENÝCH SÝRŮ

1.1 Tavené sýry

Historii přírodních sýrů lze počítat na století a zmínky o nich je možno nalézt u všech starověkých národů. U tavených sýrů historie tak bohatá není, má za sebou pouhých sto let existence. Ve 20. století byla v Evropě vysoká produkce přírodních sýrů, a proto je začala vyvážet do USA. Problémem byl však nedostatek chladírenských lodí, a tak často sýry dorazily znehodnocené. Výrobci tudíž byli nuceni hledat způsoby, jak zabránit hydrolýze. Jedním z pokusů bylo zavřít sýry do plechových konzerv, avšak i tento způsob uchování se ukázal jako nevhodný. Hledaly se tedy další možnosti [1], [2].

Pokusů o výrobu trvanlivých sýrů postupně přibývalo a první skutečný tavený sýr byl vyroben v roce 1911 ve švýcarské firmě Gerber. Základní myšlenkou vývoje tavených sýrů byla snaha o prodloužení skladovatelnosti přírodních sýrů. Časem se však přidávaly i další důvody, jako například možnost použití tavených sýrů místo pomazánek na pečivo, nebo možnost vyrobit bezpočet různých variant tvarů, chutí a fyzikálních vlastností. V roce 1923 se začaly vyrábět tavené sýry také u nás, konkrétně ve firmě Bloch ve Vodňanech. Velkým přelomem v historii tavených sýrů byl rok 1929, kdy byly poprvé použity polyfosforečnany. Ty umožnily krémování, zatímco do té doby byly sýry tuhé a nešlo je roztírat, pouze krájet [3], [15].

V dnešní době patří tavené sýry k oblíbené skupině mléčných výrobků. Jejich spotřeba v České republice dosahuje přibližně dvojnásobku v porovnání s většinou členských zemí Evropské Unie. Podle Českého statistického úřadu [4] bylo v roce 2016 spotřebováno 2,0 kg/obyvatel/rok tavených sýrů. Mezi nejdůležitější faktory přispívající k vysoké poptávce po tavených sýrech lze zařadit především jejich variabilitu v chuti a vlních, textuře (např. pružnost, pevnost, roztíratelnost, možnost smažení), attributech vaření (např. stupně tekutosti, hnědnutí, viskozitě), velikosti a tvarech finálních výrobků, možnosti v podmínkách zpracování, možnosti použití nejrůznějších přísad a technologií balení. Také jejich příznivá cena a dlouhá doba trvanlivosti oproti jiným mléčným výrobkům napomohly ke stále zvyšujícímu se zájmu spotřebitelů [3].

1.1.1 Charakteristika tavených sýrů

Výroba tavených sýrů probíhá zahříváním směsi přírodních sýrů (v různém stupni zralosti) s tavicími solemi za částečného podtlaku a stálého míchání, než má výsledná homogenní hmota požadované vlastnosti. Kromě základní suroviny, přírodních sýrů, lze do směsi přidávat suroviny mléčného i nemléčného původu (např. pšeničný lepek, masovou složku, koření, sójový protein a další) [2], [5].

Vyhláška ministerstva zemědělství č. 397/2016 Sb. o požadavcích na mléko, mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje (v platném znění), definuje tavený sýr jako sýr, který byl tepelně upraven za přídavku tavicích solí. Vyhláška také vymezuje limitní obsah laktózy v tavených sýrech na 5 % (w/w) [6].

1.1.2 Složení tavených sýrů

Tavené sýry jsou zdrojem bílkovin, mléčného tuku, esenciálních a neesenciálních aminokyselin, vitamínů a minerálních látek [5].

Primární bílkovinou s vysokou biologickou hodnotou je u tavených sýrů kazein. Ten obsahuje velké množství esenciálních aminokyselin, jako jsou například metionin, treonin, fenylalanin. Kazein kravského mléka se skládá ze čtyř fosfoproteinových frakcí α_{s1} -, α_{s2} -, β - a κ -kazeiny. Každá jednotlivá frakce obsahuje různé množství estericky vázané kyseliny fosforečné, která způsobuje hydrofilní charakter kazeinové frakce. Další segmenty kazeinu mají naopak silně hydrofobní charakter [1]. Přítomností hydrofilních a hydrofobních segmentů u jednotlivých kazeinových frakcí lze předpokládat přirozenou emulgační schopnost kazeinu [7]. Vysoký obsah esterově vázané kyseliny fosforečné má α_{s1} -kazein. Z toho důvodu je velmi citlivý k vápenatým iontům, v jejichž přítomnosti a za příznivých podmínek dochází k vysrážení kazeinu. Naopak nejodolnější je vůči srážení v přítomnosti vápenatých iontů frakce κ -kazeinu, jelikož ta obsahuje jen jeden zbytek kyseliny fosforečné. Také má jako jediná ze všech kazeinových frakcí ve své struktuře navázanou sacharidickou složku způsobující hydrofilní charakter daného segmentu κ -kazeinu, jež vykonává funkci tzv. ochranného koloidu. U syrového mléka se většina kazeinu nachází ve formě submicel. V centru submicely se nachází hydrofobní segmenty a probíhá zde hydrofobní interakce. Obal je tvořen hydrofilními segmenty s fosfoserinovými zbytky a κ -kazeinovou frakcí. Jednotlivé submicely se vzájemně spojují do micel prostřednictvím koloidního fosforečnanu vápenatého, který vytváří vazby mezi fosfoserinovými zbytky na povrchu submicel.

U výroby přírodních sýrů (hlavní surovina pro tavené sýry) je potřeba dosáhnout destabilizace těchto kazeinových micel [5], [8].

Další významnou živinou je mléčný tuk, ideálně s poměrem 1:1,4:0,6 nasycených (SUFA), monoenových (MUFA) a polyenových (PUFA) mastných kyselin. Typické složení pro mléčný tuk je cca 53 – 72 % nasycených, 26 – 42 % monoenových a méně než 6 % polyenových mastných kyselin [8]. Největší zastoupení v tavených sýrech mají nasycené mastné kyseliny, které tvoří tzv. nasycený (saturovaný) tuk, jehož příjem má být omezen z důvodu zvýšeného rizika kardiovaskulárních onemocnění (zvyšují koncentraci LDL cholesterolu, který se ukládá v cévách). Zvláště přítomnost kyseliny laurové (C12:0), myristové (C14:0), palmitové (C16:0) a trans nenasycených mastných kyselin zvyšuje riziko výskytu těchto onemocnění. Navíc jsou SUFA také silně hydrofobní, jejich stravitelnost je v tenkém střevě snížena a mohou se dostávat až do střeva tlustého, kde mohou poškozovat střevní epitel. Opačný případ nastává u nenasycených mastných kyselin (především s 1 a 2 dvojnými vazbami), které snižují koncentraci LDL cholesterolu a zvyšují hladinu HDL cholesterolu (chrání před usazování cholesterolu v cévách) [9].

Z dalších důležitých látek obsažených v tavených sýrech jsou minerální látky, významný je zejména obsah vápníku a fosforu. Průměrný obsah vápníku v tavených sýrech se pohybuje v intervalu mezi 2,60 – 5,80 g·kg⁻¹. Vápník patří ve výživě k neproblematičtějším nutričním faktorům. Řadí se mezi důležité esenciální minerální látky, jehož doporučená denní dávka u dospělých žen činí zhruba 1000 mg a 1200 mg u dospělých mužů [10]. Mléko a mléčné výrobky jsou všeobecně považovány za nejlepší zdroj vápníku. Biologická využitelnost vápníku v tavených sýrech je však o něco horší než u jiných mléčných výrobců. Použitím fosforečnanových tavicích solí při výrobě tavených sýrů je do lidského těla přijímán spolu s vápníkem i fosfor. Optimální poměr těchto dvou minerálních látek je 1:1, zatímco v tavených sýrech bývá tento poměr obvykle 1:1,8-3,5 [16]. Nadbytečné množství fosforu pak může vést ke snižování využitelnosti vápenatých iontů z tavených sýrů [11].

V tavených sýrech se také vyskytuje v malém množství laktóza a vitaminy (zejména skupiny B, např. tiamin, riboflavin, niacin), jejichž obsah vlivem vysoké teploty v průběhu tavení klesá [8].

1.1.3 Rozdělení tavených sýrů

Vzhledem k velké rozmanitosti tavených sýrů je lze dělit dle několika hledisek. Jedním z nejdůležitějších dělení je podle obsahu tuku v sušině. Dále se mohou dělit například podle použitých surovin, použité ochucující přísady, výsledné konzistence a podobně. Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 397/2016 Sb. (v platném znění) rozděluje podle konzistence na tavené sýry na „*roztíratelné*“ a „*s lomem*“ [6]

Podle Formana [12] lze rozdělit tavené sýry podle obsahu tuku v sušině do čtyř skupin:

- *vysokotučné* s obsahem tuku v sušině 60 – 70 % (w/w),
- *plnotučné* s obsahem tuku v sušině 45 – 55 % (w/w),
- *polotučné* s obsahem tuku v sušině 40 a méně % (w/w),
- *nízkotučné* s obsahem tuku v sušině do 20 % (w/w).

Z výše uvedeného dělení plyne, že tavené sýry s obsahem tuku v sušině nižším než 20 % (w/w) a obsahem tuku v sušině vyšším než 70 % (w/w) se nevyrábějí (neodpovídají již typickému charakteru tavených sýrů např. nekompaktní, krupičkovitá, písčitá, nehomogenní struktura) [13].

Dle použitých surovin se tavené sýry mohou dělit na:

- *jednodruhové* (v použité surovině převažuje jeden deklarovaný druh sýra),
- *směsné* (základní surovinou je směs různých sýrů, tak aby výsledné vlastnosti taveného sýra odpovídaly požadavkům) [13].

Z hlediska použití přísad lze tavené sýry rozdělit na:

- *neochucené* (nebyla použita žádná ochucující složka ani přísada),
- *ochucené* (výrobky obsahují aromata, léčivé byliny, koření, apod.),
- *s přísadami* (tvoří-li přísada převážný podíl celkové hmotnosti produktu) [13].

Guinee, Carić a Kaláb [14] dělí tavené sýry dle použitých surovin do pěti skupin:

1. *tepelně opracované sýry* – výrobek ve formě plátků nebo bloků ve spotřebitelském balení. Použité přísady: přírodní sýr, voda, smetana, sušená smetana, bezvodý mléčný tuk, NaCl, koření, potravinářské barvivo, aroma, inhibitory plísní,
2. *tavené sýry* – výrobek s obdobným složením jako u tepelně opracovaných sýrů. Použité přísady navíc: tavící soli, organické kyseliny k úpravě pH finálního výrobku,

3. *výrobky z tavených sýrů* – výrobek s podobným složením jako u tavených sýrů. Liší se pouze tím, že jsou navíc přidány mléčné suroviny,
4. *tavené sýrové pomazánky* – výrobek, do kterého se kromě použitých surovin pro tavené sýry přidávají hydrokoloidy (např. želatina, karagenan, celulóza, apod.) a sladidla (např. cukr, kukuřičný sirup, dextróza, atd.),
5. *tepelně opracované sýrové pomazánky* – výrobek má složení podobné jako u tavené sýrové pomazánky, s tím rozdílem, že není povoleno přidávat tavicí soli.

Tavené sýry lze vyrobit o různé konzistenci, neměla by být však krupičkovitá nebo písčítá. Konzistence musí být homogenní, kompaktní a hladká (od pevné, lomivé, přes lehce roztíratelnou, krémovitou až po hustě tekutou). Tavené sýry s vyšším obsahem tuku v sušině (při zachování obsahu sušiny) mají měkkou roztíratelnou konzistenci [19]. U nízkotučných tavených sýrů se podobného výsledku dosáhne snížením obsahu sušiny. Pro výrobu tavených sýrů na krájení je naopak potřeba tužší konzistence s vyšším obsahem sušiny a obvykle nižším pH [13].

1.2 Suroviny pro výrobu tavených sýrů

Základní surovinou pro výrobu tavených sýrů, jak už bylo zmíněno v kapitole 1.1.1., jsou přírodní sýry o různém stupni zralosti. K získání žádoucí konzistence a chuti lze odlišně zralé přírodní sýry různě kombinovat [15]. Mladé nezralé sýry mají vysokou vaznost vody a tužší konzistenci, což je pozitivem při výrobě plátkových a blokových tavených sýrů. Negativem je naopak prázdňá chuť, nevýrazné aroma, a také možnost výskytu vzduchových bublin z důvodu vyšší viskozity tavené směsi. Při použití dobře zralých sýrů se zajistí výrazné aroma, plná chuť a snadná tavitelnost. Nevýhodou může být vznik měkké konzistence a příliš ostrá chuť. U nás se k výrobě tavených sýrů používá především Eidamská cihla, Eidamský blok, Moravský blok a Primátor. V zahraničí se tavené sýry vyrábí z přírodních sýrů, jako je např. Gouda nebo Čedar [13], [18].

Podle ČSN ISO 57 1300 (v platném znění) [37] pro tavené sýry a tavené sýrové výrobky (společná ustanovení) lze při výrobě tavených sýrů zvolit přísady, jako jsou: máslo, bezvodý mléčný tuk, smetanu (pouze pro standardizaci požadovaného obsahu tuku ve výrobku) a jiné mléčné výrobky do maximálního obsahu laktózy v hotovém výrobku 5 %, dále pak jedlá sůl, čisté mlékařské kultury, nezávadné enzymy vhodné pro daný účel, koření, houby a zelenina potřebná k charakterizaci výrobku a ostatní zdravotně nezávadné suroviny.

Množství nemléčného charakteru však nesmí překročit jednu šestinu celkového obsahu sušiny finálního výrobku s tím, že mají dodávat pouze charakteristickou chuť a nejedná se o cukry. Nezbytnou přídatnou látkou při výrobě tavených sýrů jsou tavicí soli, které musí splňovat požadavky příslušných právních předpisů [37]. Také lze použít další přídatné látky, jako jsou například stabilizátory, emulgátory, hydrokoloidy, konzervanty a další. Přidáním těchto přísad je možné ovlivnit texturní vlastnosti a konzistenci tavených sýrů [15].

1.3 Tavicí soli

Tavicí soli popisuje vyhláška Ministerstva zemědělství č. 4/2008 Sb. [22], kterou se stanoví druhy a podmínky použití přídatných látek a extrakčních rozpouštědel při výrobě potravin a nařízení Evropského parlamentu 1333/2008 [21] ze dne 16. prosince 2008 o potravinářských přídatných látkách, jako látky, které převádějí bílkoviny obsažené v sýru do disperzní formy za účelem homogenního rozložení tuků a ostatních složek. Tyto sloučeniny patří do skupiny přídatných látek a na obalu musí být proto označeny číselným kódem, tzv. E – kódem. Existuje velké množství tavicích solí, většinou se jedná o směsi více látek. Tavicí soli vyrábí specializované společnosti. Konečné složení je obvykle předmětem výrobního tajemství [2], [15].

Tavicí soli obsahují ve své molekule monovalentní kation (sodný, draselný) a polyvalentní anion (citronan, fosforečnan). V současné době jsou při výrobě tavených sýrů používány 4 kategorie tavicích solí: citrany, monofosforečnany, difosforečnany a polyfosforečnany. Každá z kategorií uděluje specifické vlastnosti finálnímu výrobku [2], [15], [23].

Dle vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 4/2008 Sb. [22] a nařízení Evropského parlamentu č. 1333/2008 [21] ze dne 16. prosince 2008 o potravinářských přídatných látkách, je povoleno do tavených sýrů přidávat maximálně $20\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ fosforečnanů (vyjádřeno jako obsah P_2O_5), což odpovídá použití přibližně 3,5 % (w/w) tavicích solí na celkovou hmotnost finálního výrobku [22]. Avšak obvyklý přírůstek tavicích solí se pohybuje v rozmezí 1 až 3 % (w/w). Vyšší množství tavicích solí kromě nevhodné konzistence mohou zapříčinit hořkou chuť výrobku a také tvorbu krystalů tavicích solí u finálního produktu [2], [5].

K výrobcům tavicích solí patří například BK Giulini GmbH (Landenburg, Německo) s produkty JOHA® a SOLVA®. Tyto produkty jsou po ČR distribuovány prostřednictvím společnosti MILCOM servis a.s. [25]. V České republice se výrobou tavicích směsí zabývá například FOSFA a.s. (Břeclav) [26].

1.3.1 Fosforečnanové tavicí soli

Fosforečnanové tavicí soli používané při výrobě tavených sýrů jsou odvozeny od kyseliny trihydrogenfosforečné (H_3PO_4). Tato skupina sloučenin obsahuje aniont $(\text{PO}_4)^{3-}$. Monofosforečnany jsou tvořeny jednou skupinou aniontu. Ze dvou monomerů vzniká tzv. difosforečnan. Podmínkou jeho vzniku je vysoká teplota, při níž dojde ke ztrátě vody a kondenzaci dvou sousedních hydroxylových skupin monomerů. Polyfosforečnany mají v molekule více než dva fosfory a vznikají v případě, pokud se polymerace zúčastní i další řetězec [27], [28].

Fosforečnany v potravinách zásadně ovlivňují vlastnosti přítomných proteinů prostřednictvím úpravy podmínek prostředí (např. změna pH, iontové síly roztoku, odštěpení kationtů) nebo také reakcí, při nichž se navážou na protein a změní tak jeho vlastnosti (např. schopnost bobtnání, tvorby gelu, hydratace) [14].

Jedna z nejdůležitějších vlastností fosforečnanových tavicích solí je schopnost chelatace (tj. schopnost odštěpit a vázat) kovových monovalentních i polyvalentních kationtů. Fosforečnany mají nižší schopnost vázat alkalické kovy (např. sodík a draslík) v porovnání s kovy alkalických zemin (vápník a hořčík). Schopnost vázat kationty narůstá s rostoucí teplotou (cca 90 – 100 °C). Dále je schopnost vázat na sebe kationty ovlivněna obsahem fosforečnanových jednotek v molekule [14], [29], [30].

Vyšší obsah fosforečnanových jednotek vede k větší dispergaci kazeinů, která je tím intenzivnější, čím účinnější je iontová výměna. Čím více je kazein dispergován, tím více tyto proteiny rozvinou své emulgační a hydratační schopnosti a mohou tak stabilizovat přítomný tuk a vodu ve směsi. Tímto dochází k nárůstu intenzity interakcí v tavenině a zesílení kazeinů. Výsledkem je tužší tavený sýr [28], [29], [30].

Další velmi důležitou vlastností fosforečnanů je úprava pH prostředí. Rozmezí optimálního pH se pro tavené sýry pohybuje okolo 5,6 – 6,0. Jakákoli odchylka z tohoto intervalu vede ke zhoršení jakosti finálních výrobků. Kromě úpravy pH některé fosforečnany mají i tzv. puфраční schopnost (schopnost stabilizovat pH systému vůči okolním vlivům). S narůstajícím počtem fosforečnanových jednotek v polymeru puфраční kapacita klesá. Při výrobě tavených sýrů je tedy nezbytné zvolit takovou kombinaci fosforečnanů, aby texturní vlastnosti, pH a puфраční schopnost odpovídala požadavkům na finální produkt [14], [28].

Fosforečnanové tavicí soli se také vyznačují schopností podpořit zesílení matrice gelu. Jednotlivé fosforečnany se v této vlastnosti značně odlišují. Nejintenzivnější tvorbu gelu

vykazují difosforečnany a trifosforečnany. Na druhou stranu polyfosforečnany tvorbu gelu nepodporují a jsou považovány spíše za jejich inhibitory. Tento jev je vysvětlován zejména tím, že vápenaté ionty polyfosforečnanů jsou pevně vázány do komplexů a zvyšují intenzitu negativního náboje na kazeinových řetězcích. To vede ke zvýšení odpuzivých sil mezi kazeiny a tvorba gelu je oslabena. Nízkou schopnost tvorby gelu mají také monofosforečnany, pro jejich nízkou schopnost dispergace kazeinů. Rovněž zesílení kazeinů a interakce v tavenině jsou v porovnání monofosforečnanů s ostatními fosforečnany nižší [14], [31].

Fosforečnany během procesu tavení vykazují schopnost zvýšení vaznosti vody, čímž roste viskozita taveniny a dochází k tzv. krémování. Pro utváření výsledné matrice taveného sýra je důležitý i vápník navázaný v tavicích solích. Při ochlazení dochází k částečnému uvolňování vápníku z tavicích solí a znovu se zapojuje do zesíťování struktury taveného sýra. Schopnost tvorby gelu a zvýšit vaznost vody přítomných bílkovin jsou zásadní pro vytvoření finální konzistence výrobku [14], [28], [30].

1.3.2 Citronanové tavicí soli

Citronanové tavicí soli jsou odvozené od kyseliny citronové ($C_6H_8O_7$), přičemž nejčastěji se používá citronan trisodný ($Na_3C_6H_5O_7$). Citronan monosodný i disodný výrazně snižují pH finálního produktu, čímž vzniká nestabilní emulze, která snadno uvolňuje vodu. V případě příliš vysokého pH taveniny je však lze použít. Obecně citronany mají nízkou afinitu k vápenatým iontům v porovnání s fosforečnanovými tavicími solemi. Také mají nízkou schopnost zvýšit hydrataci proteinů. Mezi pozitivní vlastnosti citronanových tavicích solí patří jejich vysoká pufrační schopnost. Citronan trisodný se často používá ve směsích s fosforečnany (především s polyfosforečnany) [30], [32].

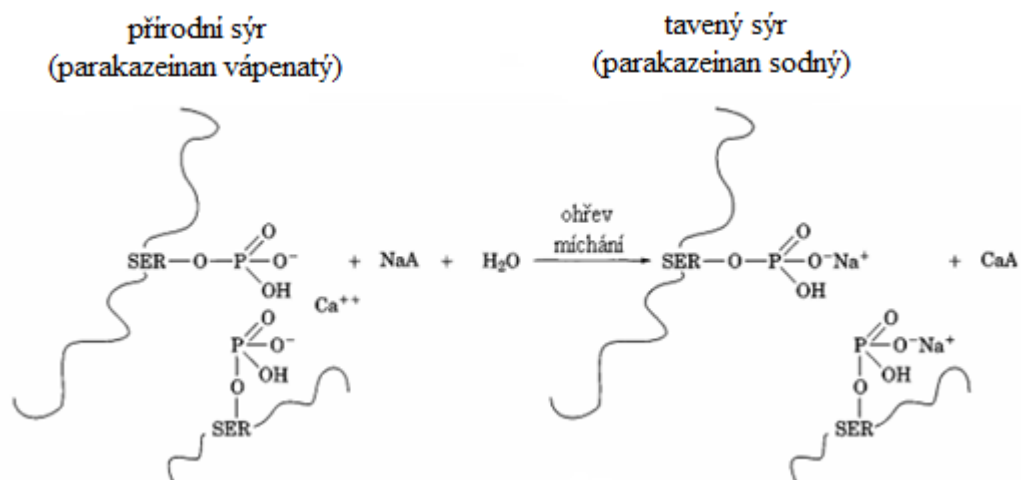
1.3.3 Procesy probíhající při tavení

Hlavním principem výroby tavených sýrů je přeměna přírodního sýra na kompaktní hladkou a lesklou hmotu, která splňuje požadované texturní, strukturní, reologické a organoleptické vlastnosti. Bez přídavku tavicích solí (popřípadě látek s obdobnými účinky) by při tepelném ošetření došlo k rozdělení systému na 3 fáze, a to vodnou, tukovou a vysrážené bílkoviny. Nejprve by byly destruovány membrány pokrývající povrch tukových kuliček. Tukové kuličky by se začaly shlukovat do větších útvarů. Dále by vlivem vysoké teploty a nízkého pH docházelo k agregaci a kontrakci kazeinů (uvolnění vody), a tím by se oddělila hydrofobní a hydrofilní fáze [14], [33].

Z toho vyplývá, že pro dosažení jemné a homogenní struktury tavených sýrů bez separace vody, tuků a bílkovin je přídavek tavicích solí při výrobě tavených sýrů podstatný [29]. Klíčovou úlohou tavicích solí je upravit prostředí v tavené směsi tak, aby přítomné proteiny (zejména kazeiny a jejich hydrolytické štěpy) mohly uplatnit funkci emulgátorů. Toho lze dosáhnout následujícími procesy:

1. odštěpení vápníku z proteinové matrice přírodního sýra,
2. peptizací, rozpuštěním a rozptýlením proteinů,
3. hydratováním a bobtnáním bílkovin,
4. emulgací tuku a jeho stabilizací,
5. ovlivňováním pH a jeho stabilizací,
6. formováním požadované struktury po ochlazení [14], [34].

Hlavní schopnost tavicích solí spočívá v odštěpení vápníku z matrice přírodního sýra. Kazeiny (popřípadě jejich hydrolytické štěpy) vytváří prostřednictvím vápenatých můstků trojrozměrnou síť přírodního sýra a kvůli těmto vazbám nemohou uplatnit svou funkční vlastnost emulgátorů. Rozpustnost kazeinu ve vodě se zvýší výměnou iontů vápníku za ionty sodíku. Nerozpustný parakazeinan vápenatý je přeměněn na rozpustnější parakazeinan sodný (viz Obrázek 1) [29], [32].



Obrázek 1. Schématické vyjádření výměny iontů sodíku za ionty vápníku při tavené přírodních sýrů (*A* – anion tavicí soli, *SER* – serinové zbytky) [upraveno podle 2].

Při tomto procesu dochází také k peptizaci (přeměna hrubé disperze na koloidní disperzi) a rozptýlení proteinů. Dále během procesu tavení (za déle trvajících účinku teploty a mechanického míchání) se navazují polyvalentní anionty na proteiny pomocí vápenatých iontů. Tím se zvyšuje hydrofilní charakter proteinů a následným navázáním dodatečné vody

roste viskozita taveniny vedoucí ke krémování [35]. Důležité je vytvoření stabilní emulze pomocí dostatečného množství ne zcela hydrolyzovaných peptidů. Příliš hydrolyzované peptidy mohou tvořit nestabilní emulze a může docházet k oddělení fází. Tavicí soli rovněž způsobí mírné zvýšení pH z cca 5,2 – 5,5 na výsledných 5,6 – 6,0 [33]. Také se zvýší negativní náboj přítomných proteinů a peptidů, což má za následek další dezintegraci proteinové matrice, která má vyšší schopnost vaznosti vody. K vytvoření finální struktury dochází při chladnutí taveniny vlivem vzniku hydrofobních interakcí, vápníkových, vodíkových a disulfidických můstků. V zahraničních pracích uvádí Molins [28] a Guinee [14], že k vytvoření trojrozměrné sítě dopomáhají i fosforečnany, které vytvářejí můstky mezi proteinovými molekulami.

Během počáteční fáze tavení směsi surovin dochází působením tavicích solí (při zvýšené teplotě, za mechanického míchání) k rozptýlení proteinů. Při dalším působení teploty a za mechanického míchání dojde k hydrataci a bobtnání rozptýlených proteinů a díky řadě vazebných interakcí k tvorbě síťové struktury [35].

Podle Lee a kol. [36] příliš intenzivní vytváření interakcí v proteinové matici může mít za následek pokles viskozity systému. Vysvětlení lze najít v rozsáhlé agregaci vytvářející se proteinové matrice následované jejím kolapsem, projevujícím se např. prostřednictvím dehydratace struktury. Tento jev se nazývá jako překrémování.

1.3.4 Úloha tavicích solí

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.1.1. tavené sýry, se vyrábí zahřevem přírodních sýrů za přítomnosti tavicích solí. Přírodní sýry obsahují převážně bílkoviny (kazeiny), mléčný tuk, vodu a další látky (soli, kyseliny). Kdyby byla zahřívána pouze směs přírodních sýrů bez tavicích solí, došlo by k oddělení tuku, vody a kazeinů a vznikla by nehomogenní hmota [14], [33].

Úloha tavicích solí spočívá ve výměně vápenatých iontů z parakazeinanu vápenatého za sodné ionty. Vápenaté ionty jsou od kazeinu přitahovány k fosforečnanům vyššími elektrostatickými silami. Sodné ionty jsou naopak z fosforečnanu uvolněny a váží se na kazein. Na typu použitých tavicích směsí a tavicích podmínkách závisí stupeň vyvázání vápenatého iontu a stupeň hydratace parakazeinových molekul [14].

Mezi další důležité účinky přídavku tavicích solí patří úprava pH a jeho udržování. Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.3.1, hodnota pH tavených sýrů má významný účinek na jejich texturu a funkční vlastnosti. Nízké pH tavených sýrů (4,8 – 5,2) vytváří výrobky s krátkou

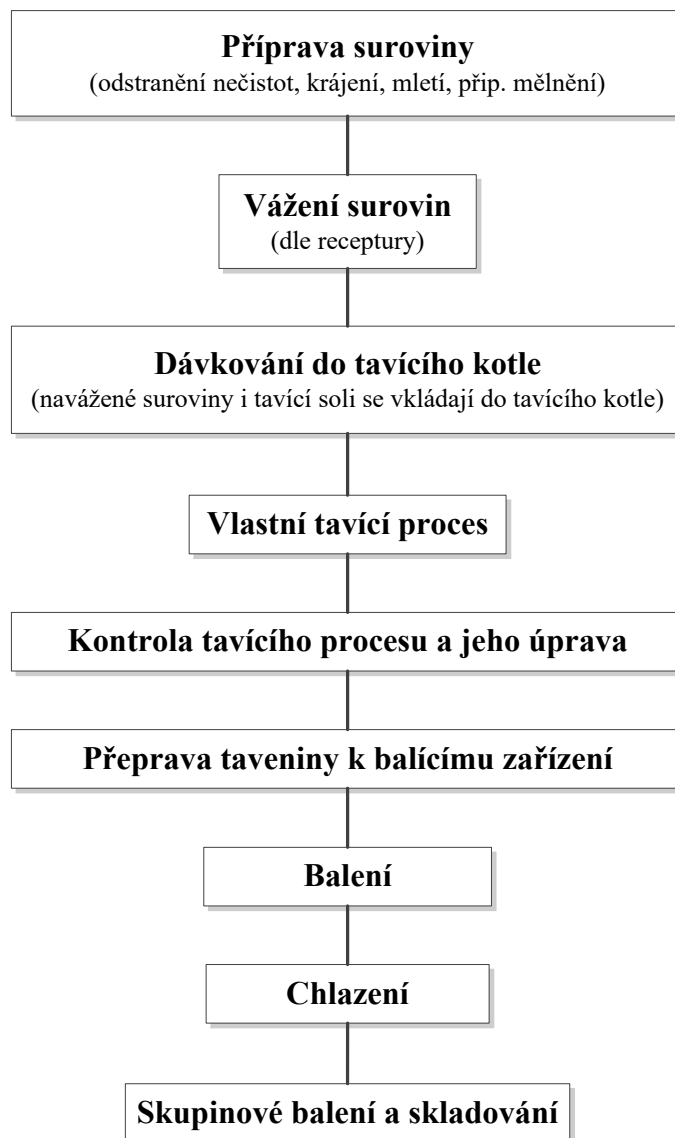
a drobnou strukturou. Hodnoty pH vyšší než 6,0 jsou typické pro měkké tavené sýry se sklonem k roztékání. Regulace pH je navíc podpořena uvolňováním vápníku z kazeinové matrice (se zvyšujícím se pH schopnost iontové výměny roste, stejně tak jako s rostoucí teplotou) [28], [30].

1.4 Technologie výroby tavených sýrů

Základním předpokladem pro výrobu kvalitních tavených sýrů je výběr vysoce jakostních surovin. Hlavními ukazateli jsou sensorické, mikrobiologické a fyzikálně chemické vlastnosti [40].

Výběr přírodního sýra vychází z obecných pravidel pro výrobu tavených sýrů a zkušeností vedoucího výroby. Výraznou výhodou výroby tavených sýrů je možnost zařazení do surovinové skladby přírodní sýry s různými, především mechanickými vadami, které nelze uvádět do oběhu pro přímý prodej spotřebiteli. Avšak není vhodné využívat přírodní sýry s mikrobiologickými vadami, především jedná-li se o sporulující bakterie nebo plísně. Výskyt většího počtu sporulujících mikroorganismů může ohrozit zdravotní nezávadnost výrobku, zatímco u surovin s výskytem plísní hrozí riziko vzniku mykotoxinů. Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.2, v České republice se nejvíce využívá Eidamská cihla, Eidamský blok o různém obsahu tuku v sušině, Moravský blok a podobně. Kromě přírodních sýrů jsou dalšími surovinami máslo, pitná voda, tavicí soli, krém (předtavená surovina), hydrokoloidy a další přísady ovlivňující chuť a barvu tavených sýrů [2], [3], [40].

V průmyslových tavnárnách je základní složení surovinové skladby většinou stálé, ale i zde se může surovinová skladba utvářet dle aktuální potřeby zpracovat určité potraviny (především přírodní sýry). Složení směsi pro tavení závisí na požadavcích, které jsou kladeny na finální výrobek. Jak je již zmíněno v kapitole 1.1.3, významnou roli zde hraje obsah sušiny a tuku v sušině a očekávaná konzistence taveného sýra [40]. Vlastní proces tavení probíhá v úzkém rozmezí pH (5,5 – 6,0) závisící na druhu surovin a typu finálního výrobku [29], [40]. V současné době lze vyrábět tavené sýry diskontinuálně nebo kontinuálně. Celosvětově je rozšířenější diskontinuální způsob (viz Obrázek 2).



Obrázek 2. Schéma výroby tavených sýrů [upraveno podle 17].

Přírodní sýry se před samotným tavením čistí, případně se povrchově ošetří (např. odstraní se povrchová kůra), rozřežou se na menší kousky a umístí do válcovacích stolic, kde probíhá jejich mělnění. Následuje předmíchání, které je zařazeno z důvodu usnadnění interakcí jednotlivých ingrediencí a také kvůli zlepšení průniku tepla při vlastním procesu tavení. Rozmělněná a promíchaná směs je dopravována k tavicímu kotli, kde se smíchá s dalšími surovinami (máslo, voda, tavicí soli apod.). Po nadávkování surovin do tavicích kotlů (spádovými trubkami, překlápěcím zařízením, šneky, čerpadly popř. ručně) se tavicí kotel uzavře a začíná vlastní proces tavení. Za sníženého tlaku (0,04 – 0,05 MPa) se během krátkého času zvýší teplota až na tzv. tavicí teplotu, která je udržována několik minut (doba závisí na použité tavicí teplotě a požadované konzistenci) [15], [39].

Teplota tavení je udávána u různých autorů odlišně. Obecně se mluví o teplotách v širokém rozmezí 80 až 120 °C, ale podle nejnovějších podnikových norem některých taven v České republice se začínají využívat spíše vyšší teploty v rozmezí 90 až 115 °C (díky této teplotě se zvyšuje údržnost tavených sýrů). Celková doba tavení od počátku záhřevu je 5 – 15 min [12], [13].

Při kontinuálním procesu se tavení provádí v antikoročních ocelových trubkách při teplotě 130 až 145 °C po dobu 2 – 3 s. U diskontinuálního způsobu byl zajištěn pouze pasterační efekt, u kontinuálního způsobu tavení se jedná o efekt sterilační. Jakmile je tavenina po záhřevu rozmíchána, dochází ke zchlazení na 90 °C. Tato teplota je udržována několik minut a během ní je zařazeno vymíchávání. Dochází k interakcím mezi jednotlivými složkami směsi, tvorbě vápenatých mŕstvků, vápenato-fosforečnanových komplexů a hydrofobních interakcí [2], [14].

Horkou homogenní taveninu je nutné co nejrychleji dopravit k balicím strojům, aby se zabránilo nežádoucí kontaminaci. Používají se obalové materiály ve formě hranolovitých a trojúhelníkových tvarů vyložených hliníkovou folií, která je z vnitřní strany lakovaná. K balení se používají také plastové kelímky, sklenice o různém objemu [14], [17]. Zabalený tavený sýr se po vychlazení dále skupinově balí do transportních obalů, skladují se, přepravují a uvádějí na trh při teplotě stanovené výrobcem, jak je uvedeno ve vyhlášce Ministerstva zemědělství 397/2016 Sb. (v platném znění), kterou se stanoví požadavky pro mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje [6].

2 HYDROKOLOIDY

Cílem výrobců tavených sýrů je vyrobit produkt o požadovaných organoleptických a viskoelastických vlastnostech. Stále častěji jsou používány látky zvané hydrokoloidy, a to z důvodu udržení požadované stability, textury a konzistence taveného sýra. V neposlední řadě hraje také důležitou roli jejich snížení nákladů při výrobě [30].

Hydrokoloidy jsou biopolymery sacharidické nebo bílkovinné povahy. Jedná se o vysokomolekulární látky vykazující vysokou vaznost vody a schopnost tvorby gelu. V potravinářství se používají ke stabilizaci mikrostruktury, textury, aroma a k tvorbě gelu. Dále jsou využívány pro stabilizaci pěny a jako zahušťující prostředky zvyšující viskozitu. Kromě toho také zabraňují uvolňování vody během skladování. Pojem hydrokoloidy zahrnuje především polysacharidy extrahované z rostlin, mořských řas a mikroorganismů. Z bílkovinných hydrokoloidů lze jmenovat např. želatinu, kazein a jeho soli, sérové bílkoviny aj. [42], [43].

Mezi nejvíce používané hydrokoloidy v potravinářství patří např. škroby, karagenany, pektiny, arabská guma, lokustová guma, algináty, agar, želatina, kazeináty a další [44].

Hydrokoloidy jsou v potravinářství používány jednotlivě nebo ve směsích. Obvyklý přídatek se pohybuje zpravidla do koncentrace 1,00 % (w/w). V mlékárenství se staly neodmyslitelnou součástí surovinových skladeb u řady výrobků. Také interakce hydrokoloidů s přítomnými složkami potravin má následně vliv na konečnou strukturu, texturu, nutriční a funkční aspekty finálních produktů [43].

Za různých podmínek prostředí (pH, výrobní a skladovací teplota, koncentrace elektrolytů) se mohou hydrokoloidy chovat odlišným způsobem. Existují významné rozdíly v ovlivňování vlastností konečného produktu. Rovněž funkčnost jednotlivých hydrokoloidů v potravine je ovlivněna interakcemi s ostatními složkami, jako jsou například proteiny, polysacharidy, lipidy, a podobně. Úkolem výrobce je výběr vhodného druhu, směsi a množství hydrokoloidů pro daný specifický účel [43], [44].

Cílem této práce je posoudit vliv vybraných polysacharidů z řas na konzistenci tavených sýrů, proto se další kapitoly zabývají především těmito hydrokoloidy mořských řas na bázi polysacharidu (agar, algináty, karagenany).

2.1 Agar

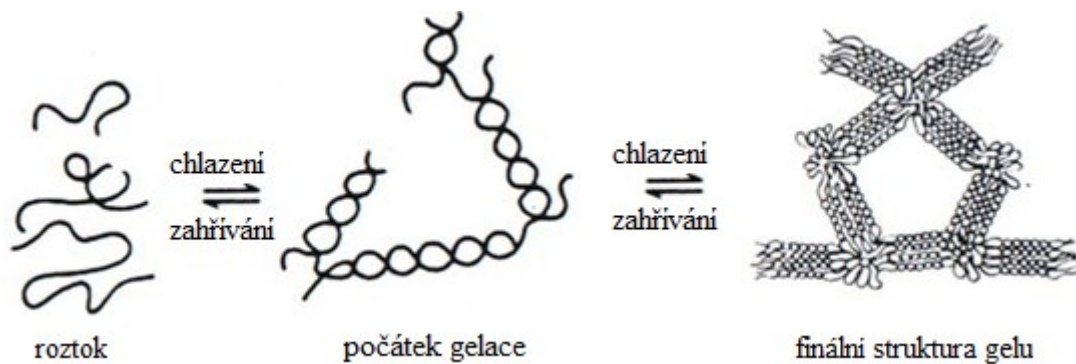
Agar je složen z agarózy a agaropektinu. Jedná se o lineární polysacharidy, jejichž stavebními jednotkami jsou β -D-galaktopyranóza a 3,6-anhydro- α -L-galakropyranóza střídavě vázané glykozidickými vazbami (1 \rightarrow 3) a (1 \rightarrow 4). Agaropektin se od agarózy liší bočními substituovanými skupinami (převážně sulfátové a metylové) [44], [45].

Zdrojem agarů jsou červené mořské řasy čeledi *Rhodophyceae*. Z řas se agary obvykle získávají extrakcí horkou vodou (o teplotě vyšší než je bod tání agarového gelu) v neutrálním, alkalickém nebo kyselém prostředí. V alkalickém prostředí zároveň dochází k parciální hydrolyze sulfátových skupin, čímž vznikají agary s modifikovanými vlastnostmi. Ze získaných extraktů se vymražením získávají gely a ty se následně suší [42].

Agar je definován jako silně gelující hydrokoloid. Jeho mimořádná gelující síla je založena zejména na vodíkových vazbách tvořených mezi lineárními galaktanovými řetězci, které poskytují vynikající vlastnosti, jako je reverzibilita (s teplotou gelování a tavení přibližně 45 °C) [46].

Fyzikálně chemické vlastnosti a možné interakce

Agar je směsí agarózových a agaropektinových frakcí v proměnlivých poměrech v závislosti na původní surovině a výrobním procesu [43]. Gelování agaru probíhá pouze díky obsahu agarózy, která je tvořena vodíkovými vazbami. Agaróza produkuje "fyzikální gely", což znamená, že tyto vodní gely mají všechny své struktury tvořené pouze polymerními molekulami, které se agregují vodíkovými vazbami. Kvůli této jedinečné gelovací vlastnosti drží agarózové gely ve vnitřní síti velké množství vody, čímž je podpořena jejich stabilizace. Naproti tomu u "chemických gelů" jsou polymerní molekuly spojeny prostřednictvím kovalentních vazeb a jsou nevratné. Nejpozoruhodnější vlastností "fyzikálních gelů" je jejich reverzibilita. Agarový gel se při zahřátí roztaví, ale po ochlazení se opět obnovuje. Proces vytváření gelu (viz Obrázek 3) lze opakovat, aniž by docházelo k mechanickým změnám gelu. Ztráta reverzibility hrozí pouze v přítomnosti agresivních látek, které by mohly hydrolyzovat molekuly agarózy nebo je znehodnotit oxidací [46].



Obrázek 3. Proces vytváření gelu [upraveno podle 53].

Jako meziprodukty mezi fyzikálními a chemickými gely lze nalézt ty, které vyžadují přítomnost kationtů, aby vytvořily gelové struktury jako v případě karagenanů a alginátů. V případě gelů tvořených kyselinou alginovou s di- nebo tri-valentními kationty vzniká zcela nevratný gel, který se při zvýšení teploty neroztaví. Jedná se o gely s iontovými vazbami, které mohou být rozrušeny pouze odstraněním vazebného kationtu (obvykle vápník). To se děje pomocí komplexotvorného činidla, jako je EDTA (etylen-diamin-tetraacetát). Tyto gely jsou považovány za "iontové chemické gely" [46].

Existují také případy směsných produktů, které pomáhají agaru zvýšit sílu gelu, jeho strukturu nebo elasticitu. Opakem jsou antagonistické produkty, které snižují sílu gelu nebo blokují jakýmkoliv způsobem gelování.

Příklady možných interakcí:

- synergie agaru s lokustovou gumou je možná pouze u agaru druhů *Gelidium* a *Pterocladia*. Směs těchto hydrokoloidů má praktické využití, jelikož má schopnost zvýšit sílu gelu. Struktura gelu je pak méně křehká, má sníženou tuhost a zlepšenou pružnost;
- reaktivita s cukrem (sacharóza) je v zásadě přítomna u agaru druhu *Gracilari*, rozpuštěné ve vodných roztocích s vysokou koncentrací cukru (přibližně 60 %);
- přítomnost kyseliny taninové (TA) může inhibovat agarovou gelaci. Tato kyselina se vyskytuje u některých druhů ovoce (např. jablko) v různých koncentracích. Přidáním malého množství glycerolu lze obvykle této reakci předejít;
- stejně jako u všech polysacharidů může u agaru probíhat hydrolýza, která snižuje jeho molekulární hmotnost a následně agar ztrácí svou gelovací vlastnost. Kyselá hydrolýza se u agaru objevuje častěji, v důsledku snížení pH a delší doby, kdy agar zůstává rozpouštěn při vysoké teplotě. Obecně není hydrolýza důležitá, pokud agar neprochází rozsáhlým záhřevem při hodnotách pH pod 5,5. Alkalická hydrolýza

není důležitá při pH nižším než 8,0. Enzymatická hydrolýza není relevantní, protože existuje pouze malé množství enzymů, které rozkládají agarózu (agarázy). Tyto enzymy se nenachází v potravinách;

- s proteiny agar žádné interakce nevykazuje [42], [46].

Využití v potravinářství

Na rozdíl od ostatních želírujících látek se agar snadno začleňuje do potravin, jelikož nevyžaduje kationty pro tvorbu gelu. V potravinářství se využívá pro svou schopnost vazby vody, stabilizačním vlastnostem a také tvorby termoreverzibilních gelů. Agar může vytvářet v potravinách gel i v nízkých koncentracích (typicky mezi 0,5 – 2,0 %) a v širokém rozmezí pH. Výhodou oproti ostatním polysacharidickým gelům je to, že jsou agarové gely bez zápachu a chuti. To umožňuje využití agaru v široké škále produktů. Také díky svému vysokému bodu tání se agary používají do pekařských výrobků (např. v koláčových náplních), při výrobě želé a džemů, cukrářských, mléčných a masových výrobků, polévek, omáček a dalších. Používá se i jako stabilizátor ve zmrzlině a sorbetech. V nápojovém průmyslu slouží agar jako čířící činidlo při přípravě šťáv a vín [43], [47].

2.2 Algináty

Jako algináty jsou označovány soli kyseliny alginové. Získávají se extrakcí z hnědých mořských řas čeledi *Phaeophyceae* a jsou produkty mikroorganismů *Azotobacter vinelandii* nebo bakterií rodu *Pseudomonas* [45].

Z hlediska chemického se jedná o nevětvené lineární polysacharidy složené z β -D-mannuronové kyseliny (M) a α -L-guluronové kyseliny (G) vzájemně spojené glykozidickými vazbami (1 \rightarrow 4) [45]. Mají různé složení a sekvence. První informace o struktuře alginátů pochází z prací od Hauga a kol. [49], kde byl alginát rozdělen na tři frakce. Dvě frakce obsahovaly téměř homopolymerní molekuly guluronové a mannuronové kyseliny, zatímco třetí frakce se sestávala z téměř stejných poměrů obou monomerů, obsahující velké množství MG dimerových zbytků. Bylo tedy vyvozeno, že chování finálního produktu (včetně tvorby gelu) je ovlivněno rozmístěním M a G zbytků v polymerním řetězci. Lze nalézt úseky obsahující pouze sekvenci M nebo G. Také je možný výskyt pravidelně se střídajících MG, u nichž je rozmístění dáno především původem alginátů [43]. V dokumentu od Smidsrøda a Whittingtona [50] bylo prokázáno, že algináty neobsahují žádnou pravidelnou opakující se jednotku.

Komerční algináty jsou vyráběny převážně z *Laminaria hyperborea*, *Macrocystis pyrifera*, *Laminaria digitata*, *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria japonica*, *Eclonia maxima*, *Lessonia nigrescens*, *Durvillia antarctica* a *Sargassum spp.* Složení a sekvenční struktura se liší podle sezónního růstu [51]. Algináty z *A. nodosum*, *L. japonica* a *Makrocystis pyrifera* se vyznačují nízkým obsahem G bloků a slabým gelem. Algináty lze ve výjimečných případech izolovat z bakterií, které mohou obsahovat až 100 % mannuronátu. Bakteriální algináty jsou také běžně acetylovány. Alginát s vysokým obsahem kyseliny L-guluronové může být získán z vnější kůry starých rostlin *L. hyperborea*, chemickou frakcionací nebo enzymatickou modifikací in vitro s použitím mannuronanových C-5 epimeráz (z *A. vinelandii*) [52].

Algináty jsou bezbarvé nebo nažloutlé, v potravině nemají vliv na chuť a jsou bez zápachu. Jedná se o vysoce hydrofilní koloidní látky účinné i v nízkých koncentracích. Využívají se především v sodné, amonné, draselné, hořečnaté a vápenaté formě. Kromě vápenatých solí mají všechny soli alginátů schopnost rozpouštět se ve vodě a tvořit gel [42].

Obecně platí, že existují tři základní parametry – jako je pH, celková iontová síla a druh iontů, které ovlivní a omezí rozpustnost alginátů ve vodě. Význam má také tvrdost vody (obsah Ca^{2+}), což je pravděpodobně hlavním problémem. Při snížení pH se alginátové roztoky mohou chovat dvěma odlišnými způsoby. Náhlý pokles pH způsobuje, že se molekuly kyseliny alginové vysráží, zatímco pomalé a řízené uvolňování protonů vede k tvorbě gelu kyseliny alginové. Proto pro získání gelu musí být pH sníženo regulovaným způsobem (např. za pomoci přídatku pomalu hydrolyzujících laktonů jako je D-glukono- δ -lakton (GDL) [8], [53].

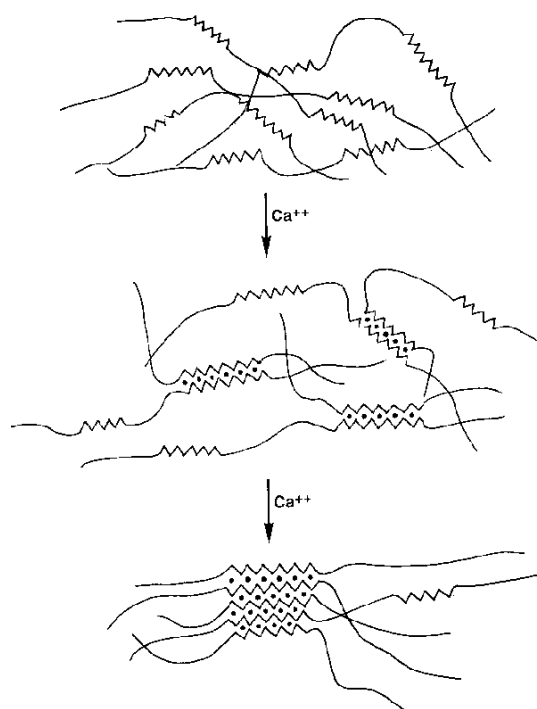
Fyzikálně chemické vlastnosti a možné interakce

Ke srážení molekul kyseliny alginové dochází v poměrně úzkém rozmezí pH (rozsah pH závisí na molekulové hmotnosti, chemickém složení a sekvenci). Například algináty, které obsahují více bloky M a G se sráží při vyšších hodnotách pH než algináty obsahující více střídavých struktur MG bloků [53].

Na rozpouštění má vliv také přítomnost solí. Obsah soli nižší jak 0,1 M zpomaluje rychlost rozpouštění, a tak omezuje rozpustnost. Pokud jsou použity algináty ve vysokých koncentracích, doporučuje se je nejprve hydratovat v čisté vodě a následně přidat přídatek soli [53].

Jakákoliv změna iontové síly v alginátové disperzi má značný dopad na chování polymerů (zejména na prodlužování polymerového řetězce) a tím i na viskozitu roztoku. Viskozita alginátových disperzí roste s klesající iontovou silou. Degradace polymeru se působením vysokých teplot záhřevu nebo přidávkem redukčních činidel projeví poklesem viskozity. Naopak smícháním malého množství alginátu sodného a vápenatého viskozita disperze vzroste [53], [54].

Mezi významné vlastnosti alginátů patří tvorba termostabilních gelů a filmů. Díky schopnosti specifické vazby sodných alginátů s ionty vápníku mléčných výrobků se vytvoří alginát vápenatý. Navázáním vápenatých iontů na alginátový úsek s G jednotkami se vytváří struktura tzv. „egg box model“ (viz Obrázek 4). Přestože bylo navrženo další přesnější sterické uspořádání (např. pomocí difrakce světla a NMR spektroskopie), jednoduchý model "egg-box" stále přetrvává, protože je vhodným prostředkem k pochopení charakteristické iontové vazby chelátového typu u alginátů [54].



Obrázek 4. Schéma tvorby „egg box modelu“ [8].

Úseky alginátového řetězce s jednotkami M tvoří plochou strukturu, a tím je jejich schopnost vázat ionty vápníku nízká. Gel se tvoří pomalu, je měkký a pružnější. Úseky se střídajícími se úseky MG v řetězci vytváří také měkký, ale méně pružný gel [53].

Na rozdíl od většiny gelujících polysacharidů jsou specifické alginátové gely víceméně nezávislé na teplotě. Alginátové gely jsou tepelně stabilní a mohou být tepelně zpracovány bez tání. Kinetika gelačního procesu je však silně modifikována změnou teploty. Vlastnosti konečného gelu se také změní, pokud probíhá gelace při různých teplotách [55].

Algináty mají schopnost tvořit gel pomocí iontové vazby a jsou charakteristické afinitou k polyvalentním kationtům. Charakteristické afinity jsou výlučně pro polyguluronát, zatímco polymannuronát je téměř bez selektivity. Tvorba gelu u alginátu tedy značně závisí na obsahu polyguluronátů, a za jeho přítomnosti může probíhat silné síťování mezi polymerními řetězci, za vzniku tuhého gelu. Jestliže převažuje přítomnost polymannuronátů, výsledkem je pomalá tvorba gelu. Tento gel je pružný [48].

Afinita alginátů pro kovy alkalických zemin vzrůstá v pořadí $Mg \ll Ca < Sr < Ba$. Tato vlastnost v porovnání s jinými polyanionty je pro algináty výjimečná. Jediný polyaniont připomínající algináty v této vlastnosti je kyselina pektinová. V experimentu od Smidsrøda [55] bylo zjištěno, že selektivita pro kovy alkalických zemin se výrazně zvýšila s rostoucím obsahem guluronátových zbytků v řetězcích. Polymannuronátové bloky a střídavé bloky byly téměř bez selektivity. Na vazbě Ca^{2+} iontů se nepodílí pouze elektrostatické interakce, ale dochází i k chelataci (tvorba komplexních sloučenin s příslušnými kovy).

Algináty, jako polyelektrolyty, mají schopnost za příznivých podmínek interagovat i s jinými polymery díky elektrostatickým silám (např. s proteiny). Interakce alginátů s jinými polymery jsou používány ke stabilizaci a podpoře mechanických vlastností potravin (např. u tavených sýrů) [57].

Jestliže je účelem zabránit elektrostatickým interakcím, je doporučeno míchat alginát a proteiny při poměrně vysokém pH, kdy většina proteinů má čistě záporný náboj. Interakce alginátů s proteiny může vést ke vzniku sraženiny nebo k oddělení jednotlivých složek v závislosti na podmínkách prostředí [43].

Ve studiích zahrnující gelaci bovinního sérového albuminu (BSA) a alginátu (sodném nebo vápenatém), byl potvrzen nárůst v Youngově modulu v rámci určitého rozsahu pH a iontové síle. To naznačuje, že elektrostatické interakce jsou hlavní hybné síly [56].

Využití v potravinářství

V potravinářství mají algináty schopnost zlepšit, měnit nebo stabilizovat strukturu výrobků. Jsou také používány jako činidla zvyšující viskozitu, gelové činidla a pro stabilizaci

vodných disperzí. Většina aplikací je založena na vlastnostech samotných alginátů, ale mohou také vyplývat z interakcí s dalšími složkami výrobku (např. s proteiny) [8].

Stále více se využívají restrukturované potraviny, které jsou založené na vápenato-alginátových gelech. Tyto procesy fungují na principu vzájemného propojení vločkované, dělené a řezané potraviny tak, aby se podobala originálnímu výrobku. Příklady takových výrobků lze najít mezi masnými výrobky, u krabích tyčinek, cibulových kroužků atd. [58]. Synergie mezi algináty s vysokým obsahem guluronátu a vysoce esterifikovanými pektiny lze využít při výrobě např. džemů, želé a ovocných náplní. Tyto alginátovo-pektinové systémy mohou poskytnout tepelně reverzibilní gely, na rozdíl od čistě iontově zesíťovaných alginátových gelů. Takové gely jsou téměř nezávislé na obsahu cukru, oproti gelům pektinovým, a proto mohou být používány i v nízkokalorických produktech [58].

2.3 Karagenany

Karagenany jsou přirozeně vyskytující se polysacharidy červených řas z čeledi *Rhodophyceae* [62]. Z chemického hlediska jsou karagenany složeny z opakujících se jednotek galaktózy a 3,6-anhydrogalaktózy, spojené střídavými α -(1→3) a β -(1→4) glykozidickými vazbami [45]. Hlavní typy karagenanů používané v potravinářství jsou λ -karagenan, κ -karagenan a ι -karagenan mohou být připraveny ve vyčištěné formě selektivními extrakčními technikami. Různé struktury karagenanu se liší 3,6-anhydrogalaktózou a esterem síranu. Změny v těchto složkách ovlivňují pevnost gelu, texturu, rozpustnost, teplotu tavení a prostředí, synerézi a synergii s jinými karagenany. Tyto varianty jsou řízeny a ovlivněny výběrem mořských řas, zpracováním a smícháním různých výtažků. Kappa-karagenan obsahuje přibližně 22 % esteru síranu a 33 % 3,6-anhydrogalaktózy. U ι -karagenanu je toto množství asi 32 % a 26 %. Lambda-karagenan obsahuje přibližně 37% esteru síranu s malým nebo žádným obsahem 3,6-anhydrogalaktózy [59].

Fyzikálně chemické vlastnosti a možné interakce

Jak již bylo výše zmíněno karagenany a jejich směsi poskytují velkou škálu komerčních produktů, vyvinutých za účelem vytvoření jedinečných kombinací vlastností, které vyhovují konkrétním aplikacím [43].

Všechny karagenany jsou rozpustné v horké vodě, ale pouze sodné soli κ -karagenanu a ι -karagenanu jsou rozpustné ve studené vodě. Úroveň solí běžně nalezených v potravinách nemá žádný účinek na λ -karagenan. Ten poskytuje viskózní roztoky, které vykazují pseu-

doplasticitu a při míchání gely řídnu. Tyto roztoky se používají k zahušťování, zejména v mléčných výrobcích, k dosažení krémové textury [62].

Vliv teploty je důležitým faktorem při rozhodování o tom, který druh karagenanu by měl být v potravině použit. Všechny karagenany hydratují při vysokých teplotách a zejména κ -karagenany a ι -karagenany vykazují nízkou viskozitu. Při ochlazení na teplotu mezi 40 až 70 °C vytváří gelovou texturu v závislosti na typu karagenanu, výskytu a koncentraci přítomných kationtů [62], [63].

Karagenany jsou stabilní v prostředí o pH 5,0 – 10,0. Zahříváním ztrácí viskozitu a sílu gelu (při hodnotách pH nižších jak 4,3). To je způsobeno hydrolýzou, k níž dochází při nízkých hodnotách pH [24]. Míra hydrolýzy se zvyšuje při zvýšených teplotách a při nízkých úrovních kationtů. Jakmile je roztok ochlazován pod teplotou gelace, draselné ionty se spojují se sulfátovými skupinami karagenanu, a to zabraňuje hydrolýze. Aby se minimalizovaly účinky hydrolýzy, doporučuje se, aby byl karagenan zpracováván za neutrálních podmínek a kyseliny by měly být přidány do potraviny až bezprostředně před plněním. Do kyselých potravin by měl být karagenan přidán až ke konci výrobního procesu, aby se zabránilo nadměrnému poškození polymerů [62].

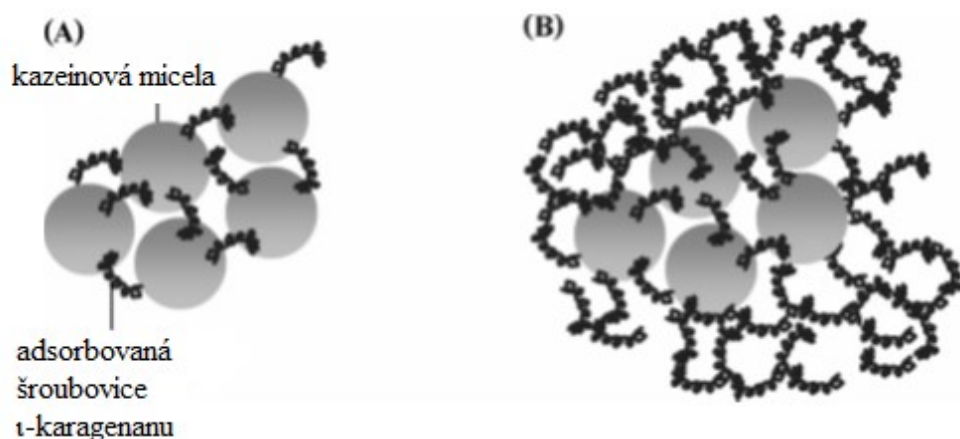
Jak je již uvedeno, horké roztoky κ -karagenanu a ι -karagenanu poskytují gelovou strukturu při ochlazení na 40 až 70 °C v závislosti na přítomných kationtech. Karagenany vykazují hysterezi, rozdíl mezi prostředím a tavicí teplotou. Tyto gely jsou stabilní při pokojové teplotě, ale při zahřátí se roztaví (20 ± 5 °C nad teplotu gelace). Při chlazení v neutrálním prostředí gel vykazuje podobné vlastnosti jako při pokojové teplotě. Jinak je tomu u kyselých výrobků, kde pevnost a struktura gelu mohou být ovlivněny jak zvýšenou teplotou, tak chlazením, díky působení hydrolýzy [62], [63].

Iontové složení potravin je proto důležité k efektivnímu využití karagenanu. Například κ -karagenan s draselnými ionty vytváří pevný a křehký gel, ι -karagenan interaguje s ionty vápníku a výsledkem je měkký a elastický gel. Na vlastnosti λ -karagenanu soli žádný účinek nemají. Lambda-karagenany a κ -karagenany se ve většině případů používají v mléčných systémech k vytvoření suspenze nebo krémovitého gelu. Přítomnost těchto iontů má významný vliv na hydratační teplotu karagenanu, teplotu prostředí a tání [43], [62].

K důležité vlastnosti karagenanů patří jejich schopnost reagovat s frakcí mléčných bílkovin tzv. κ -kazeinem. To vede ke vzniku trojrozměrné sítě (gelu), ve které jsou zachyceny voda, částice a soli. Kappa-kazein má kladně a záporně nabitý konec a celkový náboj závisí

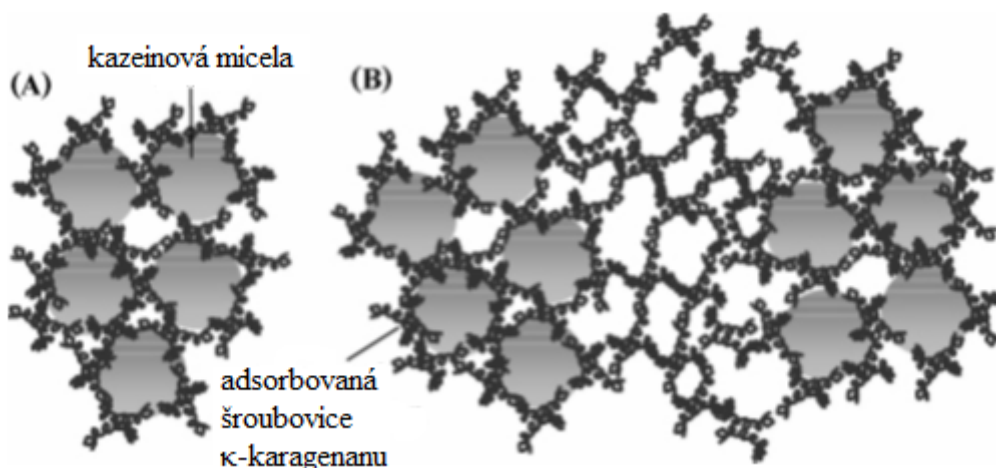
na pH média [60]. Při izoelektrickém bodu pH je celkový náboj proteinu nulový. U κ -kazeinu je hodnota izoelektrického pH 4,4 a pod touto hodnotou je protein kladně nabitý, zatímco celkový náboj je při hodnotách pH nad 4,4 je záporný. Karagenan je záporně nabitý nezávisle na pH prostředí. Při hodnotách pH pod 4,4, κ -kazein a karagenan mají opačný celkový náboj a karagenan- κ -kazeinový komplex se vysráží. Při hodnotách pH vyšší než 4,4 mají karagenan a κ -kazein stejný celkový náboj a navzájem se odpuzují [62].

Langendorff a kol. [63], ve své práci uvádějí, že při interakci ι -karagenan-micelární κ -kazein může docházet ke dvěma typům tvorby trojrozměrné struktury. Podle této hypotézy existuje limitní koncentrace ι -karagenanu pro vznik daného typu trojrozměrné sítě. Jestliže je koncentrace ι -karagenanu podlimitní, pak absorbuje ι -karagenan na povrch kazeinových micel a tvoří tzv. mezivrstvu (můstky) mezi jednotlivými micelami (viz Obrázek 5, A). Pokud je koncentrace ι -karagenanu nadlimitní, pak kromě můstků tvoří ι -karagenan trojrozměrnou strukturu z vlastních řetězců (viz Obrázek 5, B). Limitní koncentrace ι -karagenanu zmíněná studie považuje hodnotu 0,2 %.



Obrázek 5. Schématické znázornění interakcí ι -karagenanu s kazeinovou micelou: (A) koncentrace podlimitní; (B) koncentrace nadlimitní [upraveno podle 38].

Tvorba gelu při interakcích κ -karagenan-micelární κ -kazein probíhá pouze druhým způsobem, to znamená pouze z vlastních řetězců κ -karagenanů absorbovaných na povrch kazeinových micel (viz Obrázek 6).



Obrázek 6. Schématické znázornění interakcí κ -karagenanu s kazeinovou micelou: (A) koncentrace podlimitní; (B) koncentrace nadlimitní [upraveno podle 38].

Studií, které by se zabývaly reakcemi karagenanů s jednotlivými frakcemi kazeinového komplexu je málo. Jednu z mála takových prací prezentovali Lynch a Mulvihill [61], kteří uvedli, že α_s -kazeiny i β -kazein mají schopnost interagovat s ι -karagenanem. Podmínkou těchto interakcí je přítomnost vápenatých iontů a fosforu esterově vázaného na serylových zbytcích jednotlivých kazeinových frakcí.

Využití v potravinářství

Karagenany mají široké spektrum využití v potravinářském průmyslu např. jako stabilizátor, gelotvorná a zahušťující látka. Existují dvě hlavní kategorie v aplikaci karagenanů (na bázi vody a do mléčných produktů). Kappa-karagenany na bázi vody se používají do dezertů a koláčových glazur, kde tvoří silný a křehký gel. Směs κ -karagenanu a ι -karagenanu umožňuje tvorbu vegetariánských výrobků, které mají podobnou strukturu jako želatina a navíc jsou stabilní při pokojových teplotách. Podobné gely jsou používány pro konzervované maso. V ovocných šťávách jsou využity sodné soli κ -karagenanu nebo ι -karagenanu. V mléčných produktech (při výrobě tavených sýrů, mléčných nápojů, zmrzlin atd.) se obvykle používá v koncentracích do 0,03 % (w/w). U tavených sýrů se používá pro stabilizaci struktury a zvyšování jejich pevnosti. Do kyselých výrobků, jako jsou například měkké sýry a jogurt, se obvykle karagenany nepřidávají. Nízké pH těchto výrobků zvyšuje elektrostatické interakce mezi micelami kazeinu a karagenanem. Výsledkem jsou pak nestabilní agregáty. Ty mají schopnost flokulovat a oddělovat se [60], [69].

3 CÍL PRÁCE

Základním cílem diplomové práce bylo popsat vliv přídavku vybraných polysacharidů z řas na konzistenci tavených sýrů.

Pro dosažení tohoto cíle byly stanoveny dílčí cíle:

- popis technologie výroby tavených sýrů, včetně surovin a možnosti aplikace polysacharidů z řas při jejich výrobě,
- charakteristika vybraných zástupců polysacharidů z řas, včetně jejich fyzikálně chemických vlastností a možných interakcí,
- laboratorní výroba modelových tavených sýrových výrobků s použitím přídavku polysacharidů z řas,
- u modelových vzorků provést stanovení pH, obsahu sušiny, obsahu tuku a viskoelastických vlastností,
- vyhodnocení výsledků a formulace závěrů.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ZVOLENÁ METODIKA PRÁCE

K posouzení vlivu přídatku polysacharidů z řas na konzistenci taveného sýra, bylo postupováno následujícím způsobem. Podle surovinové skladby byly vyrobeny modelové vzorky tavených sýrů, do kterých kromě základních surovin byly jednotlivě přidány čtyři druhy hydrokoloidů. Byly vybrány polysacharidy z mořských řas – agar, alginát, κ -karagenan a ι -karagenanu, které byly přidány v množství 0,1 %; 0,25 %; 0,5 %; 0,75 % a 1,0 % (w/w). Tavila se vždy jedna série a její součástí byl vždy kontrolní vzorek. Celkově bylo v rámci této řady tavení provedeno 12 taveb. U každého modelového vzorku s jednotlivými přídatky hydrokoloidů byl 1., 7., 14., 30. a 60. den stanoven obsah celkové sušiny a měřeny hodnoty pH. Stanovení obsahu tuku bylo provedeno v průběhu prvního dne měření.

4.1 Výroba modelových vzorků taveného sýra

Pro výrobu modelových vzorků tavených sýrů byly použity následující suroviny: Eidamská cihla ve stáří 8 týdnů (50 % (w/w) sušiny, 30 % (w/w) tuku v sušině; Kromilk a.s., Kroměříž, Česká Republika), čerstvé máslo (obsah sušiny ~ 84 % (w/w), obsah tuku v sušině ~ 82 % (w/w)), pitná voda, směs tavicích solí fosforečnanového typu (Fosfa a.s., Břeclav, Česká Republika) a polysacharidy mořských řas (agar, alginát sodný, ι -karagenan, κ -karagenan, Sigma-Aldrich s.r.o, St. Louis, USA).

Modelové vzorky byly vyrobeny v laboratořích Ústavu technologie potravin, Fakulty technologické, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Do tavicího zařízení Stephan UMC-5 (Stephan Machinery GmbH, Německo) se nejdříve dávkoval na kostky (o velikosti cca 2 x 2 x 2 cm) nakrájený přírodní sýr, který byl výrobním zařízením rozmělněn. Před tavením byl přírodní sýr uložen v chladicím zařízení v misce s víčkem, aby se zabránilo osychání sýra. Následně se přidávalo máslo, pitná voda a nakonec tavicí soli o koncentraci 2,5 % (w/w) a jednotlivé hydrokoloidy o koncentracích 0,1 %; 0,25 %; 0,50 %; 0,75 %; 1,0 % (w/w). Směs těchto surovin se tavia při teplotě 90 °C při počtu otáček 3000 za minutu. Celková doba tavení byla 12 minut na teplotu 90 °C. Utavená směs se za horka nalévala do plastových polypropylenových vaniček, které byly po nalití taveniny uzavřeny zažehlením hliníkové folie. Poté byly vaničky zchlazeny a uchovány při teplotě 6 ± 2 °C po dobu 60 dnů.

4.2 Základy chemické analýzy

Modelové vzorky tavených sýrů byly podrobeny základní chemické analýze, při které se sledoval obsah celkové sušiny, obsah tuku a hodnoty pH během doby skladování. U vzorků byl v jednotlivých odběrových dnech (1., 7., 14., 30., 60. den) stanoven obsah celkové sušiny dle ČSN EN ISO 5534:2004, tuku dle ČSN EN ISO 1735:2005, měřena hodnota pH pomocí vpichového pH metru (pH Spear, Eutech instruments, Oakton, Malaysia) při laboratorní teplotě cca 22 ± 2 °C.

4.2.1 Stanovení obsahu celkové sušiny

Celkový obsah sušiny byl stanoven u všech vzorků podle ČSN EN ISO 5534:2004 [64]. Každý modelový vzorek byl navážen dvakrát o hmotnosti cca 3 g s přesností na čtyři desetinná místa. Vzorek byl vážen na analytických vahách v hliníkových miskách, ve kterých byl vysušený mořský písek (cca 30 – 40 g) a také tyčinka, která sloužila k rozmíchání naváženého modelového vzorku. Tyto vzorky rozmíchané v hliníkových miskách se sušily po dosažení teploty 102 ± 2 °C přibližně 3 hodiny do konstantního úbytku hmotnosti. Po vysušení se misky s modelovými vzorky vložily do exsikátoru a po ochlazení se odečetala hmotnost na analytických vahách.

Obsah celkové sušiny WS, vyjádřený v procentech hmotnosti se vypočte podle následujících rovnic:

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

$$WS = 100 - w$$

Kde:

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

m_0 ... hmotnost hliníkové misky s mořským pískem [g]

m_1 ... hmotnost misky s navážkou vzorku a pískem před sušením v [g]

m_2 ... hmotnost misky s navážkou vzorku a pískem po sušení [g]

WS ... obsah sušiny [% (w/w)] [65].

4.2.2 Stanovení obsahu tuku

Tuk v modelových vzorcích byl stanoven dle ČSN EN ISO 1735:2005 [66], kde podstatou stanovení byla mineralizace zkušební vzorku kyselinou chlorovodíkovou s následným přidavkem etanolu. Kyselinový roztok byl extrahován dietyléterem a petroléterem. Rozpouštědla byla odstraněna destilací a následně byla stanovena hmotnost vyextrahovaných látek.

Obsah hmotnostního podílu tuku ve vzorku, w , v procentech hmotnostních, lze vypočítat podle následující rovnice:

$$w = \frac{(m_1 - m_2) - (m_3 - m_4)}{m_0} \times 100 \%$$

Kde:

m_0 ... hmotnost zkušební dílu zkušební vzorku [g]

m_1 ... hmotnost nádoby pro jímání tukové fáze a vyextrahovaných látek [g]

m_2 ... hmotnost připravené nádoby pro jímání tukové fáze [g]

m_3 ... hmotnost nádoby pro jímání tukové fáze použité při slepém pokusu a jakýchkoli vyextrahovaných látek [g]

m_4 ... hmotnost pro jímání tukové fáze použitého u slepého pokusu [g] [66].

4.2.3 Stanovení hodnoty pH

Hodnoty pH byly naměřeny pomocí vpichového pH metru (pH Spear, Eutech instruments, Oakton, Malaysia) při pokojové teplotě cca 22 ± 1 °C. Hodnoty pH byly stanoveny vložením elektrod skleněné špičky kalibrovaného pH-metru do taveného sýra. Každý ze vzorků byl měřen šestkrát v náhodně vybraných místech vaničky, a to především z důvodu možného vnesení odchylek a faktorů ovlivňující pH od výroby až po dobu otevření vzorku.

4.3 Dynamická oscilační reometrie

Dynamická oscilační reometrie je metoda využívána pro zjišťování viskoelastických vlastností potravin. Spočívá v řízené deformaci vzorku, při které je zkoumáno chování při toku látek. U tavených sýrů míru elasticity reprezentuje elastický modul pružnosti G' a míru viskozity ztrátový modul pružnosti G'' v závislosti na zvoleném rozsahu frekvencí.

Komplexní modul pružnosti G^* lze vypočítat podle následující rovnice:

$$G^* = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2} \quad [19].$$

Poměr elastického modulu pružnosti G' a ztrátového modulu G'' se nazývá úhel fázového posunu a lze jej vyjádřit jako:

$$\tan\delta = G''/G' \quad [20].$$

K měření modelových vzorků byl používán rotační viskozimetr HAAKE RheoStress 1, (Thermo Scientific™, Bremen, Německo) s měřicí geometrií deska – deska (průměr 35 mm). Při jednotlivých měření se přístroj temperoval prostřednictvím teplotního senzoru propojeného s vodní lázní na teplotu $20,0 \pm 0,1$ °C. Vzorek byl nanesen mezi statickou a oscilující desku rotačního viskozimetru. Po nanesení reprezentativního vzorku na dolní desku, byla spuštěna horní deska tak, aby mezi deskami zůstala štěrbina o výšce 1 mm. Přebytný tavený sýr byl opatrně odstraněn a po stranách byl vzorek potřen silikonovým olejem Lukosiol 15 M (Lučební závody Kolín, Kolín, ČR) proti odparu vlhkosti. Frekvence měření byla prováděna při 0,05 – 100,00 Hz a amplituda smykového napětí byla nastavena na 20 Pa.

5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A JEJICH HODNOCENÍ

5.1 Vyhodnocení základní chemické analýzy

U modelových vzorků s přidavkem vybraných polysacharidů z mořských řas (agar, alginát, κ -karagenan a ι -karagenan) se 1., 7., 14., 30. a 60. den od data výroby stanovoval celkový obsah sušiny a měřila se hodnota pH. V průběhu prvního dne se také měřil obsah tuku.

Při stanovení celkového obsahu sušiny a obsahu tuku se u vzorků tavených sýrů v jednotlivých měřicích dnech hodnoty pohybovaly v intervalu spolehlivosti (viz Tabulka 1).

Tabulka 1. Interval spolehlivosti celkového obsahu sušiny a obsahu tuku pro vzorky s vybranými hydrokoloidy

Druh hydrokoloidu	Celkový obsah sušiny [% (w/w)]	Obsah tuku [% (w/w)]
agar	42,39 – 42,94	23,0 – 23,6
alginát	41,99 – 42,87	22,9 – 23,6
κ-karagenan	42,55 – 43,27	23,0 – 23,9
ι-karagenan	41,91 – 42,95	23,1 – 23,9

Ze stanovení vyplývá, že celkový obsah sušiny se u jednotlivých vzorků lišil jen nepatrně. U stanovení obsahu tuku je situace obdobná, hodnoty se také téměř neliší.

Naměřené hodnoty pH všech vzorků se pohybovaly v intervalu spolehlivosti následovně: 1. den od 5,87 do 5,93; 7. den od 5,78 do 5,85; 14. den od 5,71 do 5,76; 30. den od 5,63 do 5,70 a poslední 60. den měření od 5,61 do 5,69. Z měření bylo zřejmé, že hodnoty pH s přibývajícím dobou skladování mírně klesaly. Většina modelových vzorků se vešla do optimálního rozmezí hodnot pH (5,6 – 6,1) pro tavené sýry [33].

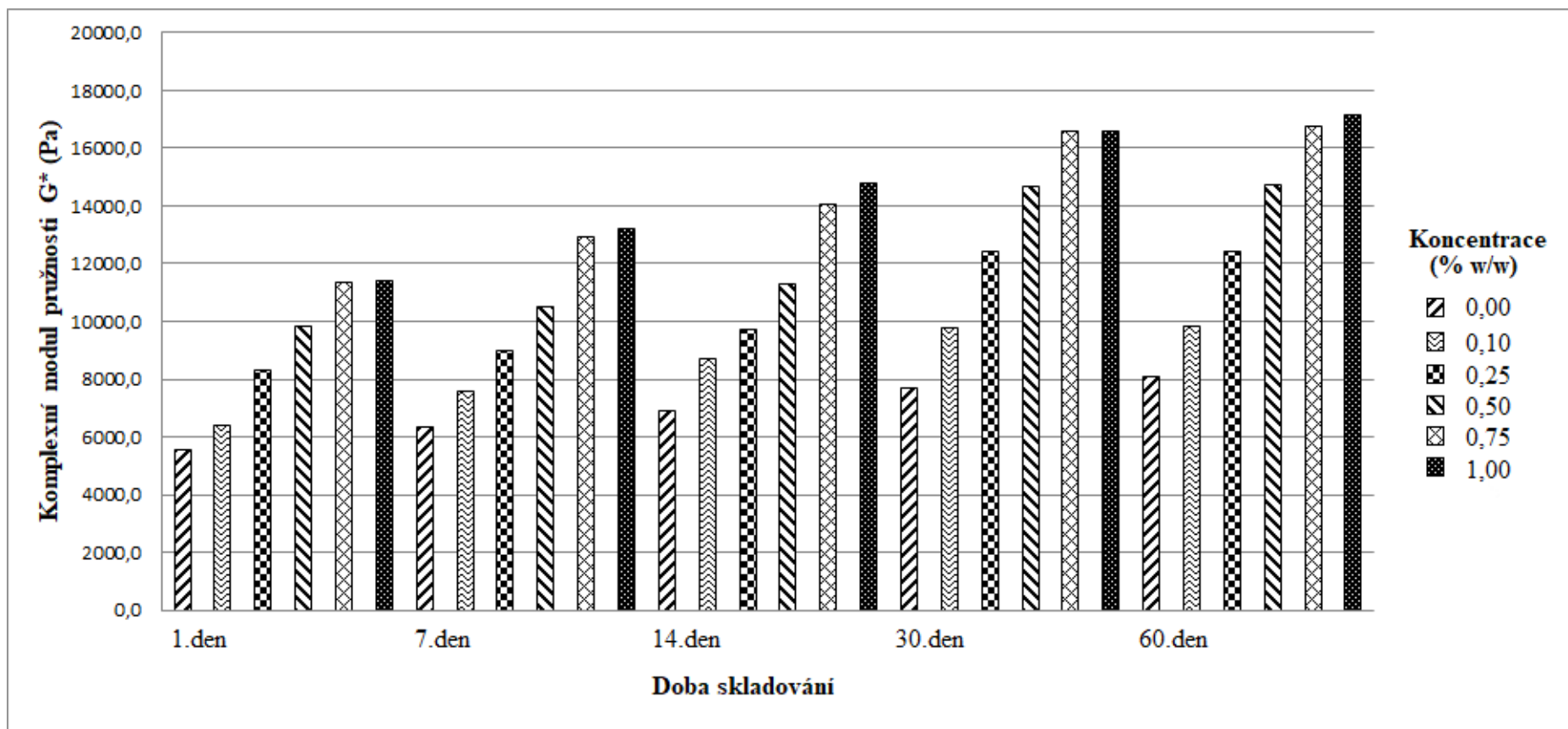
5.2 Vyhodnocení viskoelastických vlastností

Základní chemická analýza ukázala, že všechny vzorky s přidavky vybraných hydrokoloidů mají téměř stejný obsah sušiny, stejně tak i pH se prakticky neliší. Podobné hodnoty pH a celkového obsahu sušiny umožňují porovnat vliv různých koncentrací vzorků jednotlivých hydrokoloidů na konzistenci taveného sýra.

K vyhodnocení tuhosti vzorků taveného sýra s přísadkami vybraných hydrokoloidů bylo využíváno měření elastického (G') a ztrátového (G'') modulu pružnosti. Z těchto hodnot byl následně vypočítán (viz 4.3) komplexní modul pružnosti (G^*). Jestliže hodnota komplexního modulu pružnosti vzrůstá, zvyšuje se i tuhost taveného sýra. Další veličinou, která byla použita k popisu reologického chování vzorků taveného sýra je úhel fázového posunu ($\tan \delta$). Tato veličina charakterizuje podíl viskózní a elastické složky. Klesající hodnota $\tan \delta$ značí růst elasticity vzorku taveného sýra.

Pro přehlednost byly vytvořeny grafy komplexního modulu pružnosti (G^*) zvlášť pro všechny vybrané hydrokoloidy o různých koncentracích (viz Obrázky 7 – 10). Na Obrázku 11 je pak zobrazen souhrn všech čtyřech hydrokoloidů o různých koncentracích ve 30. dni měření.

Na Obrázku 7 je znázorněna závislost komplexního modulu pružnosti G^* na koncentraci agaru v průběhu doby skladování. Z něj vyplývá, že se zvyšující se koncentrací agaru v modelových vzorcích roste tuhost taveného sýra v jednotlivých dnech měření. Zvyšující se trend tuhosti v závislosti na době skladování popisuje Carić & Kaláb a kol. [2], kde došli k závěru, že při dotváření finální struktury tavených sýrů se tvoří vodíkové vazby. To má za následek zvyšující se tuhost vzorků tavených sýrů s přísadkou agaru. Jedinou výjimkou byl vzorek s koncentrací přidaného agaru 0,25 % (w/w), kde mezi 30. a 60. dnem skladování došlo k nepatrnému poklesu tuhosti taveného sýra. U kontrolního vzorku (bez přísadky hydrokoloidů) byl zaznamenán největší nárůst tuhosti mezi 14. a 30. dnem skladování, naopak mezi 30. a 60. dnem konzistence taveného sýra vzrostla o něco méně. Z kontrolního vzorku je však zřejmé, že tuhost taveného sýra je nejnižší. U vzorků s koncentrací přidaného agaru 0,10 % (w/w) a 0,25 % (w/w) první měsíc skladování tuhost vzrůstala téměř lineárně, zatímco od 30. dne po 60. den skladování vzrostla u vzorku s koncentrací přidaného agaru 0,10 % (w/w) pouze nepatrně a u vzorku s koncentrací přidaného agaru 0,25 % (w/w) jak již bylo zmíněno výše, byl zaznamenán dokonce pokles tuhosti taveného sýra. Podobně jako u vzorku s koncentrací 0,10 % (w/w) tomu bylo i u vzorků s koncentrací přidaného agaru 0,50; 0,75 % a 1,00 % (w/w), kdy největší nárůst tuhosti byl pozorován v průběhu prvních 30. dnů skladování a mezi 30. a 60. dnem skladování byl vliv na konzistenci poměrně malý.

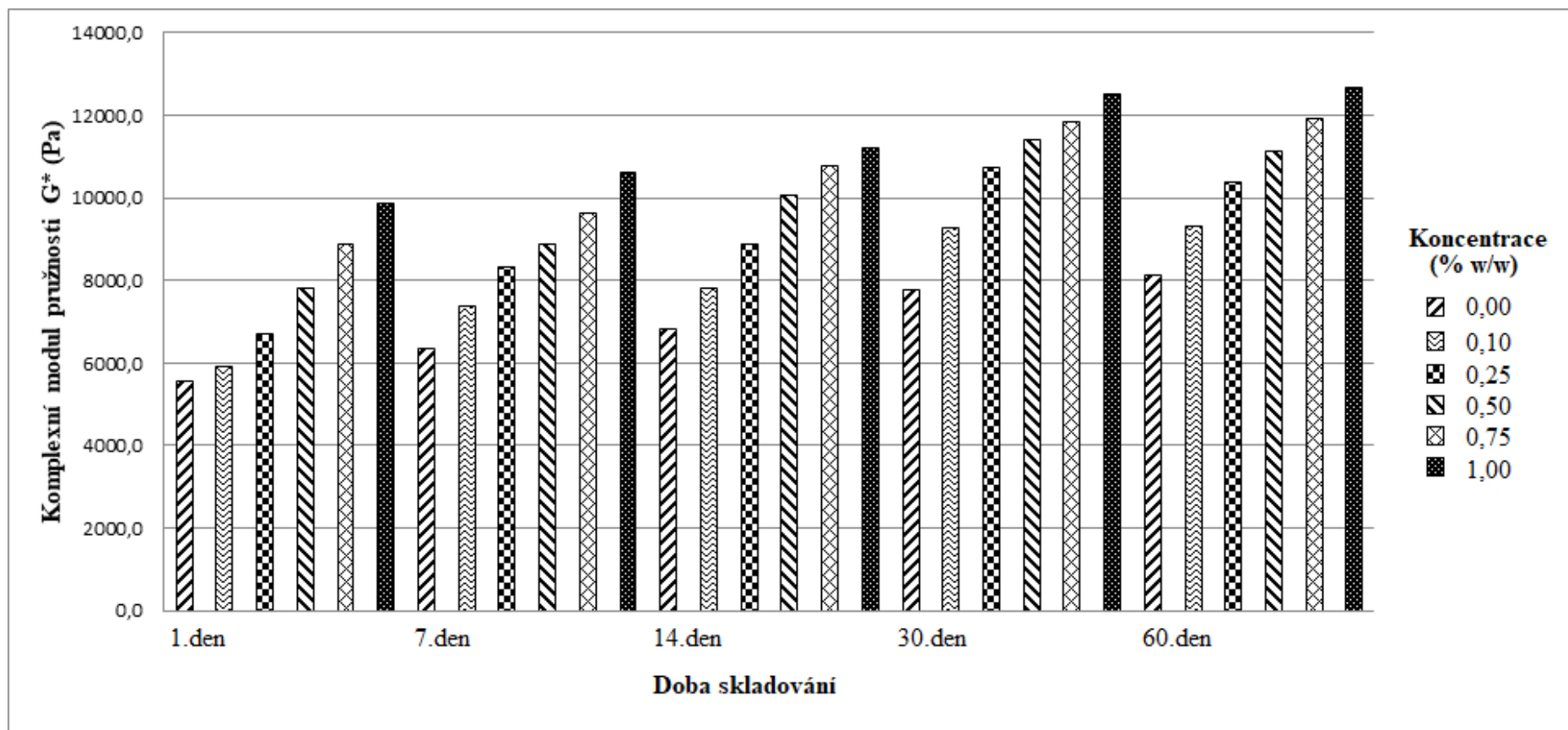


Obrázek 7. Závislost komplexního modulu pružnosti G^* na koncentraci agaru (0,00; 0,10; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 % (w/w)) v průběhu doby skladování

Podobnou tematikou se zabývali ve své práci Nagyová a kol. [77], kde srovnávali účinnost hydrokoloidů na zvyšování tvrdosti tavených sýrů. Hodnota tvrdosti u kontrolních vzorků byla zjištěna na úrovni $7,2 \pm 0,3$ N. U aplikovaných hydrokoloidů byla určena limitní koncentrace, při jejímž překročení již nedocházelo k výraznému zvyšování tvrdosti u studovaných tavených sýrů. V případě agaru lze za takovou koncentraci považovat hodnotu 0,40 % (w/w). Při aplikaci nižších přísad agaru pevnost tavených sýrů ($P < 0,05$) značně vzrostla, přičemž výrazně se odlišovaly až vzorky s rozdílem koncentrací na úrovni 0,15 – 0,20 % (w/w). Naopak nad stanovenou limitní koncentrací ($> 0,40$ % (w/w)) byl pozorován jen velmi malý nárůst tuhosti vzorků [67].

Zhao a kol. [68] se ve své studii zabývali aplikací agaru do zakysaných mléčných nápojů. Měřili intenzitu síly gelu u roztoků agaru o různých koncentracích, které ochladili na pokojovou teplotu a 10 hodin uchovávali při teplotě 4 °C. Síla agarového gelu byla zaznamenána při koncentraci 1,50 % (w/w), 1,00 % (w/w) a 0,50 % (w/w). U těchto výsledků měl agar tendenci vytvářet gel, nicméně velmi slabý gel byl nalezen i při koncentracích nižších než 0,50 % (w/w) [68]. Díky schopnosti tvorby méně silného gelu lze v omezeném množství používat agary do zakysaných mléčných nápojů a také v různých mléčných matricích, jako jsou například kysané mléčné výrobky, tavené sýry, zmrzliny a další [47].

Na Obrázku 8, kde je znázorněna závislost komplexního modulu pružnosti G^* na koncentraci alginátu sodného v průběhu doby skladování, je možné vidět podobně zvyšující se trend jako u modelových vzorků s přísadkou agaru. U kontrolního vzorku byl pozvolný nárůst tuhosti pozorován v průběhu všech měření během celé doby skladování, avšak nejvyšší nárůst tuhosti byl naměřen ve 30. dni. Stejně jako u vzorků s přísadkou agaru je zřejmé, že kontrolní vzorky tavených sýrů vykazují podle předpokladu nejméně pevný charakter. Obecně lze říci, že se zvyšující se koncentrací přísadky alginátu sodného, se zvyšuje tuhost taveného sýra. U vzorku s koncentrací přidaného alginátu sodného 0,10 % (w/w) tuhost taveného sýra nejvíce vzrostla od 1. do 7. dne a také mezi 14. a 30. dnem skladování, od 30. do 60. dne nebyl nárůst tuhosti tak významný.



Obrázek 8. Závislost komplexního modulu pružnosti G^* na koncentraci alginátu sodného (0,00; 0,10; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 % (w/w)) v průběhu doby skladování

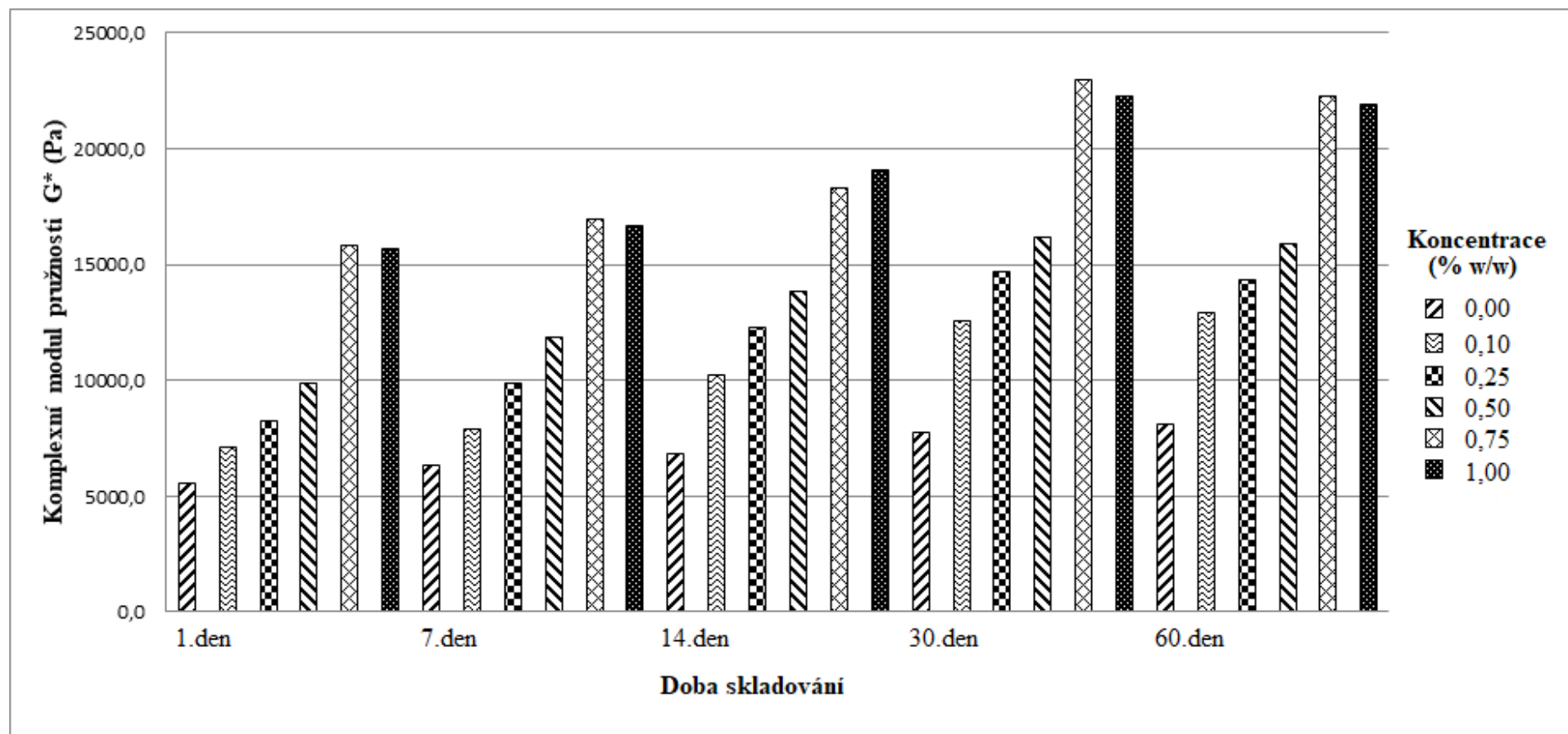
U vzorků s koncentrací přidaného alginátu sodného 0,25 a 0,50 % (w/w) byl nejvyšší růst tuhosti taveného sýra mezi 14. a 30. dnem skladování, naopak mezi 30. a 60. dnem skladování se tuhost taveného sýra značně snížila. U vzorku s koncentrací přidaného alginátu sodného 0,75 % (w/w) se pevnost taveného sýra nejvíce zvyšovala mezi 7. a 14. dnem skladování. U vzorku s koncentrací přidaného alginátu sodného 1,00 % (w/w) byl nejvyšší nárůst tuhosti pozorován mezi 14. a 30. dnem.

Z grafu je zřejmé, že se zvyšující se dobou skladování tuhost vzorků taveného sýra narůstá, s výjimkou vzorků taveného sýra s koncentrací přidaného alginátu sodného 0,25 % (w/w) a 0,50 % (w/w) od 30. dne výše. Také Awad a kol. [31] ve své práci došel k závěrům, že tuhost taveného sýra se s dobou skladování zvyšuje. Jako důvod uvádí možné změny chemických vlastností (zejména změna pH) u konečného výrobku taveného sýra.

Nagyová a kol. [67] ve své práci uvádí pro alginát sodný obdobnou hodnotu limitní koncentrace 0,40 % (w/w) jako u agaru. V intervalu koncentrací 0,40 – 0,80 % (w/w) byl sledován pomalý nárůst tuhosti modelových vzorků taveného sýra. Při koncentraci vyšší než 0,80 % (w/w) již nebyla pozorována změna tuhosti tavených sýrů.

Na Obrázku 9 je znázorněna závislost komplexního modulu pružnosti G^* na koncentraci κ -karagenanu v průběhu doby skladování. Jako u předchozích Obrázků 7 a 8 lze vidět, že se zvyšujícím se množstvím přídavku κ -karagenanu se tuhost u vzorků taveného sýra zvyšuje, ale pouze do koncentrace 0,75 % (w/w), při které již nedochází k nárůstu tuhosti. U kontrolního vzorku je oproti vzorkům s přídavkem κ -karagenanu tuhost taveného sýra opět nejnižší. U vzorku s koncentrací přidaného κ -karagenanu 0,10 % (w/w) byl sledován nejvyšší nárůst tuhosti taveného sýra mezi 7. až 30. dnem měření, poté se tuhost zvýšila jen mírně. U vzorků s koncentrací přidaného κ -karagenanu 0,25; 0,50; 0,75 a 1,00 % (w/w) byl první měsíc od data výroby zaznamenán podobně se zvyšující trend tuhosti taveného sýra, zatímco po 30. dni docházelo u zmíněných vzorků k poklesu. Přestože mezi 30. a 60. dnem došlo k malému poklesu tuhosti, i tak největší pevnost od data výroby po 60. den skladování vykazoval vzorek taveného sýra s přídavkem κ -karagenanu o koncentraci 0,75 % (w/w).

Obecně lze také říci, že s dobou skladování se tuhost u vzorků s přídavkem κ -karagenanu zvyšovala. Z grafu je patrné, že nejvhodnější koncentrací pro zvýšení tuhosti taveného sýra je 0,75 % (w/w).



Obrázek 9. Závislost komplexního modulu pružnosti G^* na koncentraci κ -karagenanu (0,00; 0,10; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 % (w/w)) v průběhu doby skladování

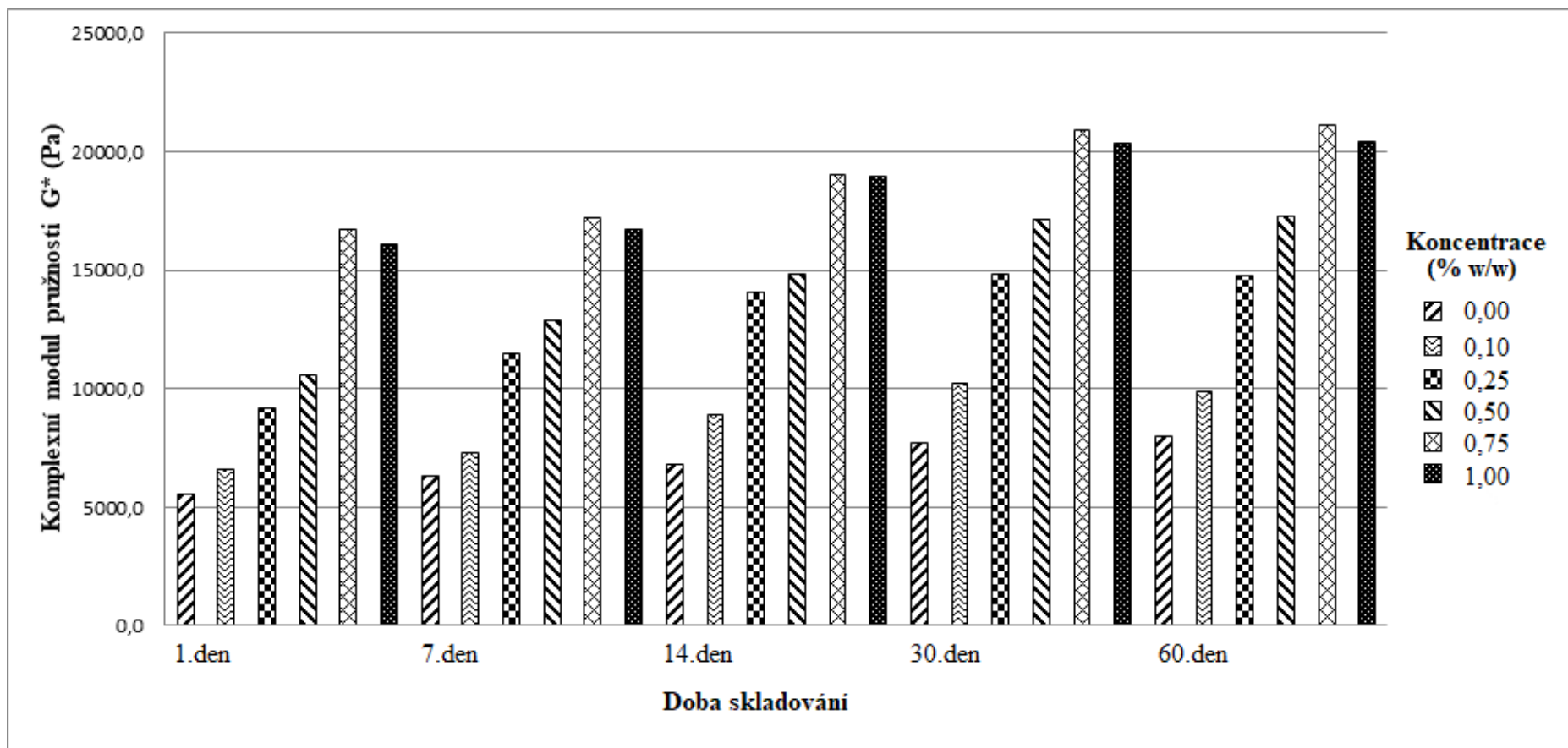
Jiné stanovisko zaujala Nagyová a kol. [67], kteří ve své práci zjistili, že efektivní koncentrací vedoucí k výraznému zvýšení tvrdosti taveného sýra byly považovány koncentrace κ -karagenanu do 0,50 % (w/w). Při zvýšení koncentrace κ -karagenanu nad 0,65 % (w/w) nebyl pozorován nárůst tuhosti vzorků.

V Obrázku 10 je znázorněna závislost komplexního modulu pružnosti G^* na koncentraci ι -karagenanu v průběhu doby skladování. Kontrolní vzorek také, jako u předešlých grafů, oproti vzorkům s přísádky ι -karagenanu o různých koncentracích vykazoval nejméně tuhý charakter. Tuhost taveného sýra se u vzorků zvyšovala do koncentrace 0,75 % (w/w), poté mírně klesala. U vzorků s koncentrací přidaného ι -karagenanu 0,10 a 0,25 % (w/w) tuhost taveného sýra nejvíce vzrostla mezi 7. a 14. dnem a po 30. dni skladování začala klesat. U vzorků s koncentrací přidaného ι -karagenanu 0,50; 0,75 a 1,00 % (w/w) byl nejvyšší nárůst tuhosti taveného sýra sledován v prvním měsíci od data výroby, po 30. dni skladování tuhost vzrůstala jen nepatrně. V průběhu skladování se tuhost taveného sýra jako u předchozích přísádků agaru, alginátu sodného a κ -karagenanu zvyšovala.

Černíková a kol. [20] ve své práci zkoumali vliv karagenanu na viskoelastické vlastnosti taveného sýra. Z práce vyplývá, že s rostoucí koncentrací κ -karagenanu a ι -karagenanu se zvyšuje tuhost taveného sýra. To vysvětlují skutečností, že se zvyšující se koncentrací jak κ -karagenanu, tak i ι -karagenanu dochází k intenzivnějším interakcím mezi řetězci karagenanu, což vede k tvorbě hustší sít'ové struktury. U vzorků s přísádkem ι -karagenanu je možné s jejich narůstající koncentrací očekávat také intenzivnější absorpci řetězců v helikální formě na kazeinové frakce. Také Gustaw a Mleko [71] došli ve své práci k těmto závěrům.

Langendorff a kol. [63], ve své práci uvádějí limitní koncentraci pro ι -karagenanu hodnotu 0,20 % (w/w). Pod touto hranicí se ι -karagenan adsorbuje pouze na povrch kazeinových micel a tvoří můstky. V případně překročení limitní hranice se kromě můstků vytváří trojrozměrná struktura z vlastních řetězců. Tento poznatek v podstatě odpovídá našemu měření, kdy při koncentraci 0,25% (w/w), dojde ke skokovému zvýšení tuhosti.

Ribeiro a kol. [69] ve své práci došli k závěru, že zvýšení tuhosti gelu se zvyšuje s rostoucí koncentrací karagenanu. Zjistili také, že tento efekt může být narušen zvyšující se koncentrací cukrů.

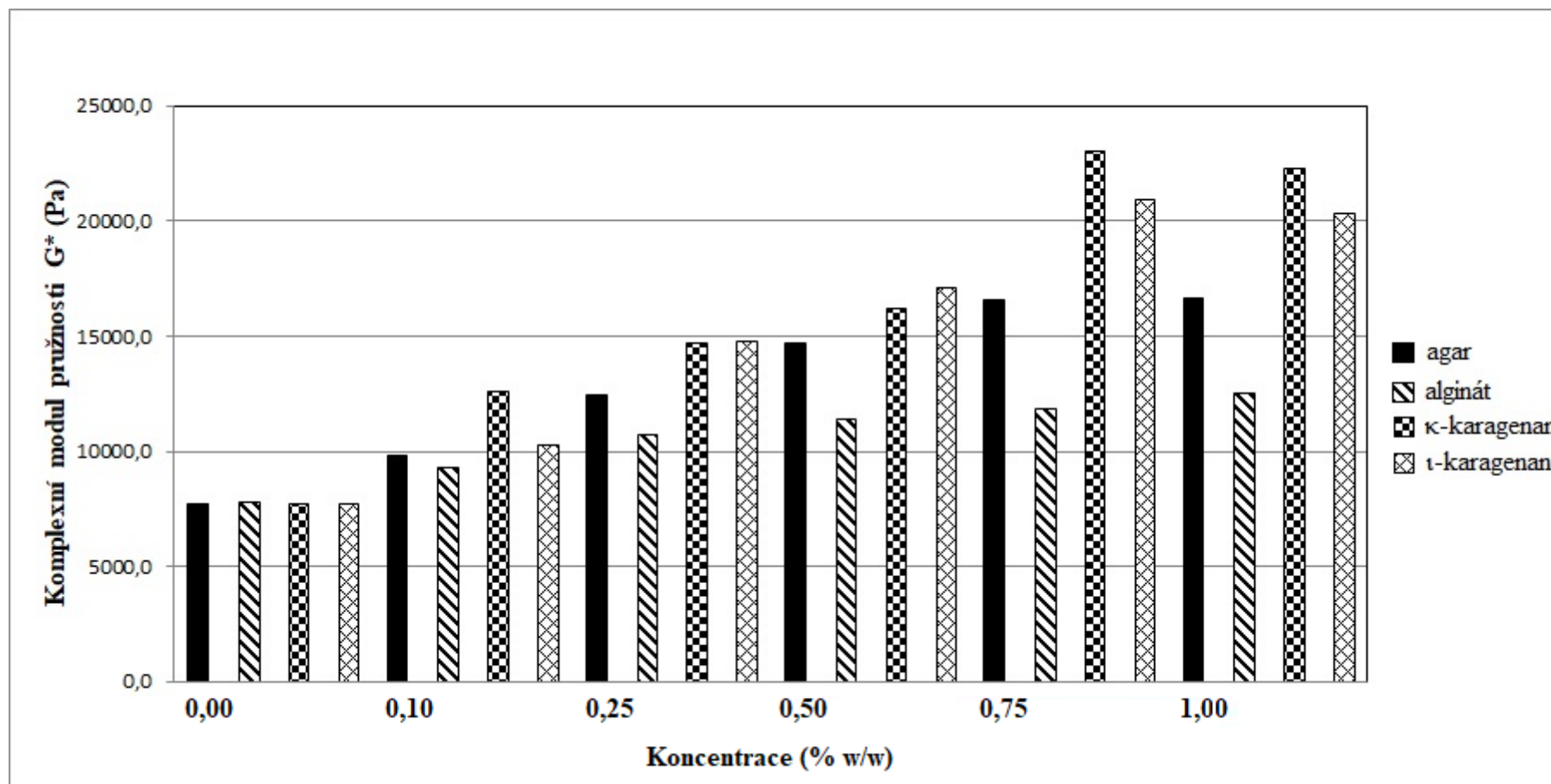


Obrázek 10. Závislost komplexního modulu pružnosti G^* na koncentraci ι -karagenanu (0,00; 0,10; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 % (w/w)) v průběhu doby skladování

Obrázek 11 znázorňuje komplexní modul pružnosti G^* pro všechny vybrané hydrokoloidy ve 30. dni měření. Pomineme-li kontrolní vzorky, kde je tuhost podle předpokladu neměnná, se u ostatních vzorků tuhost taveného sýra zvyšuje s výjimkou vzorků s koncentrací přidaného hydrokoloidu 1 % (w/w).

U vzorků s přídanou koncentrací 0,10 % (w/w) můžeme pozorovat, že nejvyšší tuhost vykazuje vzorek s přídavkem κ -karagenanu. U něj lze sledovat skokové zvýšení tuhosti, na rozdíl od zbylých třech vzorků, kde také došlo k nárůstu tuhosti oproti kontrolnímu vzorku, avšak nárůst není tak markantní. Nejvyšší tuhost z těchto ostatních vzorků vykazoval ι -karagenan, následoval vzorek s přídavkem agaru a nejmenší tuhost pak vykazoval vzorek s přídavkem alginátu sodného. Při koncentraci 0,25 % (w/w) vykazuje nejvyšší tuhost vzorek s přídavkem ι -karagenanu, jen nepatrně menší hodnotu vykazuje vzorek s přídavkem κ -karagenanu. Podstatně menší tuhosti pak dosahuje vzorek s přídavkem agaru a nejmenší tuhost byla pozorována u vzorku s přídavkem alginátu sodného. U vzorků s přídanou koncentrací 0,50 % (w/w) lze vidět, že vzorek s přídavkem ι -karagenanu opět dosáhl nejvyšší hodnoty tuhosti. Následovali pak vzorky s přídavkem κ -karagenanu a agaru. Nejmenší tuhost byla naměřena u vzorku s přídavkem alginátu sodného. Při koncentraci 0,75 % (w/w) lze pozorovat skokové navýšení tuhosti vzorků všech hydrokoloidů s výjimkou alginátu sodného. Zejména navýšení zjevné u karagenanů, nejvyšší tuhosti dosáhl vzorek s přídavkem κ -karagenanu, dále pak ι -karagenan. U vzorku s přídavkem agaru vzrostla tuhost o něco méně. Nejméně se tuhost zvýšila opět u přídavku alginátu sodného. Při nejvyšší hodnotě koncentrace (1,00 % (w/w)) tuhost vzorků s přídavkem κ -karagenanu a ι -karagenanu začala mírně klesat. U vzorků s přídavkem agaru lze pozorovat téměř stejnou hodnotu tuhosti jako u vzorku o koncentraci 0,75 % (w/w). Naopak u vzorku s přídavkem alginátu sodného došlo k mírnému nárůstu tuhosti taveného sýra, i přesto je hodnota tuhosti při této koncentraci nejmenší ze všech měřených vzorků.

Celkově lze ze souhrnného grafu pozorovat, že nejméně vhodný pro zvyšování tuhosti taveného sýra je přídavek alginátu sodného. Také má u nich nejmenší vliv hodnota koncentrace, jelikož se zvyšující se koncentrací se tuhost zvyšuje velmi málo oproti ostatním vzorkům vybraných hydrokoloidů. O něco lépe zvyšuje tuhost taveného sýra přídavek agaru, a to především v koncentracích 0,10 – 0,75 % (w/w). Nejlepších výsledků, co se týká zvyšování tuhosti taveného sýra, bylo pozorováno u vzorků s přídavkem karagenanů.



Obrázek 11. Závislost komplexního modulu pružnosti G^* na koncentraci všech vzorků vybraných hydrokoloidů (0,00, 0,10; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 % (w/w) pro 30. den skladování

K jejich skokovému navýšení tuhosti došlo při koncentracích mezi 0,50 a 0,75 % (w/w). Naopak u koncentrace vyšší než 0,75 % (w/w) měla tuhost mírně klesající trend. Bourriot a kol. [72] ve své práci zjistili, že existuje limitní koncentrace pro efektivní tvorbu karagenanové sítě. Přesná hodnota limitní koncentrace je však závislá na řadě faktorů (např. pH, přítomnost a koncentrace iontů, síla gelu proteinové matrice taveného sýra atd.).

Viskoelastické vlastnosti taveného sýra je možno posuzovat i díky úhlu fázového posunu. Hodnota $\tan \delta$ popisuje chování daného vzorku taveného sýra. Pokud je $\tan \delta > 1$ vzorek se chová více jako kapalina, naopak je-li $\tan \delta < 1$, vzorek má charakter spíše pevné látky.

Uvažujeme-li hodnotu tangentu úhlu fázového posunu ($\tan \delta$) jako míru tuhosti gelu, pak z Tabulky 2 vyplývá, že kontrolní vzorky mají nejvyšší hodnotu $\tan \delta$ a chovají se více jako kapalina než pevná látka. U všech ostatních vzorků s přísadky hydrokoloidů se tuhost oproti kontrolním vzorkům taveného sýra zvýšila. Tyto vzorky vykazují velmi podobných výsledků, oscilují v intervalu hodnot 0,388 – 0,401. Z toho je zřejmé, že elasticita vzorků přidávaných hydrokoloidů se pro různé koncentrace příliš neliší.

Tabulka 2. Hodnoty elastického modulu pružnosti G' , ztrátového modulu pružnosti G'' a úhlu fázového posunu δ při frekvenci 1 Hz u modelových vzorků tavených sýrů s přidavky hydrokoloidů ve 30. dni měření

Druh hydrokoloidu	Hodnota koncentrace [% (w/w)]	G' [Pa]	G'' [Pa]	$\tan \delta$ [-]
Agar	0,00	6751,529	3800,770	0,563
	0,10	9131,010	3630,795	0,398
	0,25	11579,918	4625,301	0,399
	0,50	13662,093	5456,592	0,399
	0,75	15437,942	6106,463	0,396
	1,00	15435,289	6146,293	0,398
Alginát sodný	0,00	6821,873	3788,040	0,555
	0,10	8651,482	3411,703	0,394
	0,25	9996,611	3936,880	0,394
	0,50	10609,110	4200,821	0,396
	0,75	11017,253	4416,440	0,401
	1,00	11628,974	4654,679	0,400
κ – karagenan	0,00	6785,871	3805,455	0,392
	0,10	11735,147	4603,958	0,388
	0,25	13712,491	5316,526	0,389
	0,50	15098,326	5877,006	0,389
	0,75	21476,457	8323,253	0,388
	1,00	20737,796	8200,987	0,395
ι – karagenan	0,00	6796,837	3779,572	0,556
	0,10	9566,265	3749,135	0,392
	0,25	13794,134	5458,319	0,396
	0,50	15945,043	6310,454	0,396
	0,75	19503,610	7637,540	0,392
	1,00	18962,671	7487,776	0,395

5.3 Souhrnná diskuze

Měřené vzorky tavených sýrů s přidavkem vybraných hydrokoloidů (agar, alginát sodný, κ -karagenan, ι -karagenan) byly zkoumány den po výrobě a dále v 7., 14., 30. a 60. dni skladování. Z výsledků základní chemické analýzy vyplynulo, že obsah celkové sušiny, obsah tuku a hodnota pH se výrazně nelišily. Díky tomu bylo možné sledovat vliv různých koncentrací vzorků s přidavky hydrokoloidů na konzistenci taveného sýra.

Ve srovnání kontrolních vzorků a vzorků s přísádky vybraných hydrokoloidů o různých koncentracích bylo zjištěno, že vzorky s přísádky vybraných hydrokoloidů vždy zvýšily tuhost taveného sýra. Toto potvrzuje Swenson a kol. [70], kteří se zabývali studiem vlivu přísádky hydrokoloidů na viskoelastické vlastnosti tavených sýrů. Taktéž zaznamenali nárůst tuhosti u modelových vzorků s přísádky hydrokoloidů (želatiny, karagenanu, lokustové a guarové gummy) oproti kontrolním vzorkům bez přísádky hydrokoloidů.

Celkově při srovnání všech měřených vzorků s přísádky hydrokoloidů o různých koncentracích v daných dnech měření bylo zjištěno, že tuhost taveného sýra se s dobou skladování zvyšuje. Především je tomu tak do 30. dne od data výroby. Po 30. dni měření se zejména u karagenanů tuhost začala mírně snižovat. Z naměřených hodnot také vyplynulo, že přísádky alginátu sodného a agaru v různých koncentracích se jeví jako nejméně vhodný ke zvyšování tuhosti tavených sýrů. Naproti tomu karagenany vykazují nejlepší dispoziční ke zvýšení tuhosti taveného sýra, především v koncentraci 0,75 % (w/w). K obdobnému závěru dospěla své práci Nagyová a kol. [67], kde považují za nejefektivnější pro zvýšení tuhosti tavených sýrů přísádky karagenanů. Černíková a kol. [20] ve své práci zkoumali vliv karagenanů na viskoelastické vlastnosti taveného sýra. Z práce vyplývá, že ι -karagenan o koncentraci 0,15 a 0,25 % (w/w) byl vyhodnocen jako nejúčinnější ke zvýšení tuhosti modelových vzorků taveného sýra ve srovnání s κ -karagenanem o stejných koncentracích. S tímto tvrzením lze dle naměřených hodnot souhlasit, jelikož u vzorků s koncentrací 0,25 % (w/w) vykazuje ι -karagenan mírně vyšší hodnoty tuhosti. Rozdílná situace nastala při koncentraci 0,10 % (w/w), kde vzorky s přísádkou κ -karagenanu vykazovaly vyšší tuhost než u ι -karagenanu, a to především s rostoucí dobou skladování. Vysvětlení lze pravděpodobně najít např. v přítomnosti iontů, jimiž je síla karagenanového gelu značně ovlivněna. V přírodních sýrech se nachází zhruba desetkrát více vápenatých iontů než draselných. K vápenatým iontům je z hlediska tvorby gelu citlivý především ι -karagenan, k draselným iontům je více citlivý κ -karagenan. Spagnuolo a kol. [73] uvádějí, že může mít vliv nejen množství těchto iontů, ale i jejich vzájemný poměr. Vyšší koncentrace vápenatých iontů oproti draselným sehrává klíčovou roli v pevnosti gelu κ -karagenanu a ι -karagenanu. Pro κ -karagenan existuje optimální koncentrace vápenatých iontů v prostředí. Pod tímto optimem způsobí rostoucí koncentrace vápenatých iontů zvyšování pevnosti κ -karagenanového gelu. Naopak překročí-li koncentrace vápenatých iontů optimum, pak klesá tuhost vytvořeného gelu [74].

ZÁVĚR

V diplomové práci byl pozorován vliv polysacharidů z řas na konzistenci taveného sýra. U modelových vzorků taveného sýra byla konzistence sledována v průběhu šedesátidenního skladování. Jednotlivé vzorky byly podrobeny analýze 1., 7., 14., 30. a 60. den. Nejprve byl z chemické analýzy zjištěn obsah celkové sušiny, obsah tuku a naměřeny hodnoty pH pro jednotlivé vzorky. Ze stanovených dat vyplynulo, že se hodnoty téměř neliší, a proto bylo možné posoudit vliv přísad hydrokoloidů na konzistenci taveného sýra.

Při srovnání vzorků bez přísady hydrokoloidů a jejich přísady bylo zřejmé zvýšení tuhosti u vzorků s přísadou hydrokoloidu. Tímto se potvrdilo, že přísada vybraných hydrokoloidů má značný vliv na konzistenci taveného sýra. Většina modelových vzorků vykazovala vzestupný trend tuhosti v závislosti na stoupající koncentraci vzorků přísady hydrokoloidu (s výjimkou karagenanů při dlouhodobém skladování). Jako nejvhodnější hydrokoloid pro úpravu konzistence taveného sýra se projevily karagenany, kde tuhost narůstala velmi výrazně. Naopak nejméně efektivních výsledků bylo pozorováno u alginátu sodného. Všechny měřené vzorky jasně ukázaly vliv doby skladování na celkovou tuhost taveného sýra. S přibývajícím dobou skladování se zvyšovala tuhost u všech modelových vzorků.

Tato diplomová práce ukázala vliv vybraných hydrokoloidů na konzistenci taveného sýra. Další práce by se mohly zabývat podrobnějším studiem karagenanů, které vykazaly nejlepší schopnosti pro úpravu konzistence tavených sýrů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FOX, P. F., MCSWEENEY, P. L. H. *Chemistry and biochemistry of cheese and fermented milks*. Berlin: Springer-Verlag, 1998, 379 – 436 p. ISBN 0412-72000-0.
- [2] CARÍĆ, M., KALÁB, M., Processed Cheese Products. In Fox, P. F., (Ed.) *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. vol. 2, Major Cheese Groups, 2nd ed. Elsevier Applied Science, London and New York, 1997, 467 – 505 p. ISBN 0-412-535106.
- [3] GUINEE, T. P. 2011. Cheese/Pasteurized processed cheese products. *Encyklopedia of Dairy Sciences*, 2nd ed, 2016, 805 – 813 p.
- [4] ČESKO. Spotřeba potravin a nealkoholických nápojů (na obyvatele za rok) v ČR v roce 2016. In: *Český statistický úřad*. Praha: Český statistický úřad, [Online] 2017. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/45565376/2701391701.pdf/0ac2fb94-6722-4b36-92c8-5d047f0953c7?version=1.0>.
- [5] BUŇKA, F., BUŇKOVÁ L., KRÁČMAR S. *Základní principy výroby tavených sýrů*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009, 70 s. ISBN 978-80-7375-336-8.
- [6] ČESKO. Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 397/2016 Sb., kterou se stanoví *Požadavky pro mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje*, v platném znění. [Online]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_vyhlaska-2016-397.html.
- [7] KWAK, H. S., CHOI, S. S., AHN, J., LEE, S. W. Casein hydrolysate fraction act as emulsifiers in process cheese. *Journal of Food Science*, vol. 67, 2002, 821 – 825 p.
- [8] VELÍŠEK, J. *Chemie potravin I*. 1.vyd. Tábor: OSSIS, 1999, 352 s. ISBN 80-902391-3-7.
- [9] DOSTÁLOVÁ, J. Výživová doporučení Společnosti pro výživu pro obyvatelstvo České republiky. *Potravinářská revue*, 2005, č. 1, 17 – 19 s.
- [10] BRÁZDOVÁ, Z. *Výživa člověka*. 1.vyd. Vyškov: VVŠ PV, 1995, 146 s.
- [11] SCHAFFER, B., LORINCZY, D., BELAGYI, J., Dsc and electronmicroscopic

- investigation of dispersion-type processed cheeses made without peptization. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 1999, 671 – 679 p.
- [12] FORMAN, L. a kol. *Mlékárenská technologie II*. Vyd. 2. Praha: VŠCHT, 1996, 228 s. ISBN-80-7080-250-2.
- [13] GAJDŮŠEK, S. *Mlekařství II*. 1.vyd. Brno: MZLU, 1998, 86 – 91 s. ISBN 80-7157-342-6.
- [14] GUINEE, T. P., CARIĆ, M., KALÁB, M. *Pasteurized Processed Cheese and Substitute/Imitation Cheese Products*. Cheese: Chemistry, Physics and Mikrobiology, 3rd ed., vol. 2: Major Cheese Groups, 2004, 349 – 394 p. ISBN 0-1226-3653-8.
- [15] KAPOOR, R., METZGER L. E. Process Cheese: Scientific and Technological Aspects- A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 2, 2008, 194 – 214 p.
- [16] SCHÄFFER, B., SZAKÁLY, S., LÖRINCZY, D. a SCHÄFFER, B. Processed cheeses made with and without peptization. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2001, vol. 64, 671 – 679 p.
- [17] BUŇKA, F., HRABĚ J. Tavené sýry. *Potravinářská revue*, č. 4, 2006, 13 – 16 s.
- [18] BRICKLEY, C. A., GOVINDASAMY-LUCEY, S., JAEGGI, J. J., JOHNSON, M. E., MCSWEENEY, P. L. H., LUCEY, J. A. Influence of emulsifying salts on the textural properties of nonfat process cheese made from direct acid cheese bases. *Journal of Dairy Science*, vol. 91, 2008, 39 – 48 p.
- [19] ČERNÍKOVÁ, M., NEBESÁŘOVÁ, J., SALEK, R. N., ŘIHÁČKOVÁ, L. BUŇKA, F. Microstructure and textural and viscoelastic properties of model processed cheese with different dry matter and fat in dry matter content. *Journal Dairy Sci.*, Tomas Bata University in Zlín, 2017, 4300 – 4307 p.
- [20] ČERNÍKOVÁ, M., BUŇKA, F., PAVLÍNEK, V., BŘEZINA, P., HRABĚ, J., VALÁŠEK, P. Effect of carrageenan type on viscoelastic properties of processed cheese. *Food Hydrocolloids* 22. 2008, 1054 – 1061 p.
- [21] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1333/2008 ze dne 16. prosince 2008 *O potravinářských přídatných látkách*. [Online] Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32008R1333>.

- [22] ČESKO. Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 4/2008 Sb., kterou se stanoví druhy a podmínky použití přídatných látek a extrakčních rozpouštědel při výrobě potravin. [Online] 2008, Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-4>.
- [23] NAGYOVÁ, G., BUŇKA, F., SALEK, R. N., ČERNÍKOVÁ, M., MANČÍK, P., GRŮBER, T., KUCHAR, D. Use of Sodium Polyphosphates with Different Linear Lengths in the Production of Spreadable Processed Cheese. *Journal of Dairy Science*, 2014, vol. 97, n. 1, 111 – 122 p.
- [24] HOFFMANN, R. A., RUSSELL, A. R., GIDLEY, M. J. (1996) Molecular weight distribution of carrageenans. *Gums and Stabilisers for the Food Industry.*, G. O. Phillips, P.J. Williams and D. J. Wedlock (eds). IRL Press at the Oxford University Press, Oxford, 1996, vol. 8, 137 – 148 p.
- [25] MILCOM servis a.s. [Online] 2008. Dostupné z <http://milcom.cz/soli/index.php>.
- [26] FOSFA Life Science. [Online] Dostupné z <https://web.fosfa.cz/produkty/produkty-podle-nazvu/sodne-fosfaty/>.
- [27] SHIRASHOJI, N., JAEGGI J. J., LUCEY J. A. Effect of sodium hexametaphosphate concentration and cooking time on the physicochemical properties of pasteurized process cheese. *Journal of Dairy Science*, 2010, vol. 93, n. 7, 2827 – 2837 p.
- [28] MOLINS, R. A. *Phosphates in food*. Boca Raton: CRC Press, 1991, 261 p. ISBN 08-493-4588-X.
- [29] MIZUNO, R., LUCEY J. A. Properties of milk protein gels formed by phosphates. *Journal of Dairy Science*. 2007, vol. 90, n. 10, 4524 – 4531 p.
- [30] BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L., Úloha tavicích solí při výrobě tavených sýrů. *Potravinářská revue*, 2009, č. 1, 13 – 16 s.
- [31] AWAD, R. A., ABDEL-HAMID, L. B., EL-SHABRAWY, S. A. & SINGH, R. K. Texture and Microstructure of Block Type Processed Cheese with Formulated Emulsifying Salt Mixtures. *LWT-Food Science and Technology* 2002, vol. 35, 54 – 61 p.
- [32] SHIRASHOJI, N., JAEGGI, J. J., LUCEY, J. A. Effect of trisodium citrate concentration and cooking time on the physicochemical properties of pasteurized process cheese. *Journal of Dairy Science*, 2006, vol. 89, 15 – 28 p.

- [33] GUINEE, T. P. Pasteurized processed cheese products. *Encyclopedia of Dairy Science*, 2003, 411 – 418 p. ISBN 1-85573-395-1.
- [34] BUŇKA, F. *Vliv sterilačního záhřevu na jakost tavených sýrů určených pro krizové situace*. Disertační práce. VVŠPV, Vyškov, 2004, 111 s.
- [35] KAWASAKI, Y. Influence of „creaming“ on the properties of processed cheese and changes in the structure of casein during cheese making. *Milchwissenschaft*, 2008, vol. 63, n. 2, 149 – 152 p.
- [36] LEE, S. K., BUWALDA, R. J., EUSTON, S. R., FOEDING, E. A., McKENNA, A. B., Changes in the rheology and microstructure of processed cheese during cooking. *LWT Food Sci. Technol.* 2003, vol. 36, n. 3, 339 – 345 p.
- [37] ANONYM. ČSN ISO 57 1300:2000. Tavené sýry a tavené sýrové výrobky- Společná ustanovení. 2000, Praha: Český normalizační institut.
- [38] ARLTOFT, D., IPSEN, R., MADSEN, F., VRIES, J. Interactions between carrageenans and milk proteins: a microstructural and rheological study. *Biomacromolecules*, 2007, vol. 8, 729 – 736 p.
- [39] BERGER, W. *Processed cheese manufacture*. A Joha Guide, Ladenburg: BK Giu lini Chemie GmbH & Co. OHG, 1998, 238 p. ISBN 0-1642-5546-3.
- [40] BUŇKA, F., BUŇKOVÁ L., KRÁČMAR S. *Základní principy výroby tavených sýrů*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009, 70 s. ISBN 978-80-7375-336-8.
- [41] BERGER, W. *Processed cheese manufacture*. A Joha Guide, Ladenburg: BK Giu lini Chemie GmbH & Co. OHG, 1998, 238 p. ISBN 0-1642-5546-3.
- [42] LI, J., NIE S. P. The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids*, 2016, vol. 53, 46 – 61 p.
- [43] PHILLIPS, Glyn O., WILLIAMS P. A. *Handbook of Hydrocolloids*. 2nd ed., Woodhead Publishing. 2009, 982 p. ISBN 978-1-61583-113-5.
- [44] DICKINSON, E. Hydrocolloids at interferences and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*, 2003, vol. 17, n. 7, 25 – 39 p.

- [45] NAGYOVÁ, G., ČERNÍKOVÁ M., PACHLOVÁ V., BUŇKA F. Vliv délky fosforečnanového řetězce na texturní vlastnosti tavených sýrů. *Mlékařské listy*. 2014, č. 147, 27 – 31 s.
- [46] ARMISÉN, R. Agar, In A. Imeson: *Thickening and Gelling Agents for Foods*, 2nd ed, London, Blackie Academic and Professional, 1997, 1 – 21 p.
- [47] IMESON, A.: Agar. In *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell Pub, 2010, 352 p. ISBN 14-051-3267-1.
- [48] HAUG A, *Composition and properties of alginates*. Thesis, Norwegian Institute of Technology, Trondheim, 1964, 123 p.
- [49] HAUG A., SMIDSRØD O., *Fractionation of Alginates by Precipitation with Calcium and Magnesium Ions*, Acta Chem Scand. 1965, 1221 – 1226 p.
- [50] SMIDSRØD O., WHITTINGTON S. G., Monte Carlo Investigation of Chemical Inhomogeneity in Copolymers, *Macromolecules*, 1969, vol. 2, 42 – 44 p.
- [51] INDERGAARD M., SKJAK-BRAEK G., Characteristics of alginate from *Laminaria Digitata* cultivated in a high phosphate environment, *Hydrobiologia*, 1987, vol. 151/152, 541 – 549 p.
- [52] ERTESVAËG H., HØIDAL H. K., SCHJERVEN H., SVANEM B. I., VALLA S., Mannuronan C5-epimerases and their application for in vitro and in vivo design of new alginates useful in biotechnology, *Metabolic Engineering*, 1999, vol. 1, 773 – 783 p.
- [53] DRAGET, K. I. Alginates. In *Handbook of hydrocolloids (2nd Edition)*. Eds. Phillips, G. O.; Williams, P. A. Woodhead Publishing. 2009, 807 – 828 p. ISBN 978-1-84569-4142.
- [54] ANDRIAMANANTOANINA, H.; RINAUDO, M., Relationship between the molecular structure of alginates and their gelation in acidic conditions. *Polymer International*, 2010, vol. 59, n. 11, 1531 – 1541 p.
- [55] SMIDSRØD O. *Some Physical Properties of Alginates in Solution and in the Gel State*. Thesis, Norwegian Institute of Technology, Trondheim, 1973.
- [56] NEISER S, DRAGET KI and SMIDSRØD O. Interactions in bovine serum albumin-calcium alginate gel systems. *Food Hydrocolloids*, 1998, col. 13, 445 – 458 p.

- [57] BAEKKEN Ø., SMIDSRØD O., DRAGET K. I., JOHNSEN F. *Gelled feed products, means for making the product and method for manufacturing of said products*. 2001, Patent WO/ 2001/001792, 2001.
- [58] TOFT K, GRASDALEN, H and SMIDSRØD O. Synergistic gelation of alginates and pectins, *ACS Symposium Series*, 1986, vol. 10, 117–132 p. ISBN 978-08-4120-974-9.
- [59] BIXLER, H. J., JOHNDRO, K. and FALSHAW, R. Kappa–2 carrageenan: Structure and performance of commercial extracts II. Performance in two simulated dairy applications. *Food Hydrocolloids*. 2001, vol. 15, 619 – 630 p.
- [60] LANGENDORFF, V., CUVELIER, G., MICHON, C., LAUNAY, B., PARKER, A., DE KRUIF, C. G. Effects of carrageenan type on the behaviour of carrageenan/milk mixtures. *Food Hydrocolloids*. 2011, vol. 14, n. 4, 273 – 280 p.
- [61] LYNCH, M. G, MULVIHILL, D. M. Rheology of ι-carrageenan gels containing caseins. *Food Hydrocolloids*. 1996, vol. 10, 151 – 157 p.
- [62] IMESON A. P. *Carrageenan and Furcellaran*. FMC Biopolymer, UK, vol. 7, 164 – 185 p.
- [63] LANGENDORFF, V., CUVELIER, G., LAUNAY, B., MICHON, C., PARKER, A. & DE DRUIF C. G. Casein micelle/iota carrageenan interactions in milk: Influence of t temperature. *Food Hydrocolloids*. 1999, vol. 13, 211–218 p.
- [64] ANONYM. ČSN EN ISO 5534:2004, Sýry a tavené sýry – Stanovení obsahu celkové sušiny (Referenční metoda). Praha: Český normalizační institut.
- [65] 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.
- [66] ANONYM. ČSN EN ISO 1735:2005, Sýry a tavené sýrové výrobky – Stanovení obsahu tuku – Gravimetrická metoda (Referenční metoda). Praha: Český normalizační institut.
- [67] NAGYOVÁ, G., ČERNÍKOVÁ, M., PACHLOVÁ, V., BUŇKA, F. Srovnání účinnosti vybraných hydrokoloidů na zvyšování tuhosti tavených sýrů. *Mlékařské listy č. 147*. Ústav technologie potravin, Fakulta technologická, Zlín, 2014, 27 – 31 s.

- [68] ZHAO, J., CHEN, Z., ZOU, R., ZHANG, X. The application of agar oligosaccharides in directly acidified milk drinks. *Food Hydrocolloids* 77. Čína, 2018, 421 – 426 p.
- [69] RIBEIRO, K. O., RODRIGUES, M. I., SABADINI, E., CUNHA, R. L. Mechanical properties of acid sodium caseinate-k-carrageenan gels: Effect of co-solute addition. *Food Hydrocolloids*, 2004, vol. 18, 71 – 79 p.
- [70] SWENSON, B. J., WENDORFF, W. L., LINDSAY, R. C. Effects of ingredients on the functionality of fat-free process cheese spreads. *J. Food Sci.*, 2000, vol. 65, n. 5, 822 – 825 p.
- [71] GUSTAW, W., MLEKO, S. The effect of polysaccharides and NaCl on physical properties of processed cheese analogs containing whey proteins. *Milchwiss.-Milk Sci. Int.*, 2007, vol. 62, n. 1, 59 – 62 p.
- [72] BOURRIOT, S., GARNIER, C., DOUBLIE, J. - L. Micellar-casein- κ -carrageenan Mixtures. I. Phase separation and ultrastructure. *Carbohydrate Polymers*, 1999, vol. 40, 145 – 157 p.
- [73] SPAGNUOLO, P. A., DALGLEISH, D. G., GOFF, H. D., MORRIS, E. R. Kappa-carrageenan interactions in systems containing casein micelles and polysaccharide stabilizers. *Food Hydrocolloids*, 2005, vol. 19, 371 – 377 p.
- [74] MACARTAIN, P., JACQUIER, J. C., DAWSON, K. A. Physical characteristics of calcium induced k- carrageenan networks. *Carbohydrate Polymers*, 2003, vol. 53, 395 – 400 p.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SUFA	nasyčená mastná kyselina
MUFA	mononenasyčená mastná kyselina
PUFA	polynenasycená mastná kyselin
LDL	lipoprotein s nízkou hustotou
HDL	lipoprotein s vysokou hustotou
% (w/w)	hmotnostní procento
G'	elastický modul pružnosti
G''	ztrátový modul pružnosti
G^*	komplexní modul pružnosti
$\tan \delta$	úhel fázového posunu

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1. Schématické vyjádření výměny iontů sodíku za ionty vápníku při tavené přírodních sýrů (A – anion tavicí soli, SER – serinové zbytky).....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 2. Schéma výroby tavených sýrů.....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 3. Proces vytváření gelu</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 4. Schéma tvorby „egg box modelu“</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 5. Schématické znázornění interakcí ι-karagenanu s kazeinovou micelou: (A) koncentrace podlimitní; (B) koncentrace nadlimitní</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 6. Schématické znázornění interakcí κ-karagenanu s kazeinovou micelou: (A) koncentrace podlimitní; (B) koncentrace nadlimitní.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 7. Závislost komplexního modulu pružnosti G^* na koncentraci agaru (0,00; 0,10; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 % (w/w)) v průběhu doby skladování</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 8. Závislost komplexního modulu pružnosti G^* na koncentraci alginátu sodného (0,00; 0,10; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 % (w/w)) v průběhu doby skladování.....</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 9. Závislost komplexního modulu pružnosti G^* na koncentraci κ-karagenanu (0,00; 0,10; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 % (w/w)) v průběhu doby skladování</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 10. Závislost komplexního modulu pružnosti G^* na koncentraci ι-karagenanu (0,00; 0,10; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 % (w/w)) v průběhu doby skladování.....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 11. Závislost komplexního modulu pružnosti G^* na koncentraci všech vzorků vybraných hydrokoloidů (0,00, 0,10; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 % (w/w) pro 30. den skladování.....</i>	<i>51</i>

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Interval spolehlivosti celkového obsahu sušiny a obsahu tuku pro vzorky s vybranými hydrokoloidy41

Tabulka 2. Hodnoty elastického modulu pružnosti G' , ztrátového modulu pružnosti G'' a úhlu fázového posunu δ při frekvenci 1 Hz u modelových vzorků tavených sýrů s přísadami hydrokoloidů ve 30. dni měření.....53