

Vliv furcellaranu a kappa-karagenanu na konzistenci tavených sýrů s přidavkem draselných solí

Natálie Lyčková

Bakalářská práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Natálie Lyčková**
Osobní číslo: **T20369**
Studijní program: **B0721A210002 Technologie a hodnocení potravin**
Specializace: **Technologie potravin**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Vliv fucellaranu a kappa-karagenanu na konzistenci tavených sýru s přidavkem draselných soli**

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část
Vlastnosti tavených sýru.
Role tavicích soli ve výrobě tavených sýru.
Hydrokoloidy v tavených sýrech.
II. Praktická část
Vyroberte modelové vzorky s přidavkem symbiotických kultur.
Provedte vybrané analýzy.
Výsledky zhodnotte a zformulujte závěry.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] Hoffmann, W., Gärtner, J., Lück, K., Johannsen, N., & Maurer, A. (2012). Effect of emulsifying salts containing potassium on the quality of block-type processed cheese. *International Dairy Journal*, 25(1), 66-72
- [2] Chavhan, G.B., Kanawjia, S.K., Khetra, Y. et al. Effect of potassium-based emulsifying salts on sensory, textural, and functional attributes of low-sodium processed Mozzarella cheese. *Dairy Sci. & Technol.* 95, 265-278 (2015)
- [3] Kůrová, V., Salek, R. N., Vašina, M., Vinklárková, K., Zálešáková, L., Gál, R., Adámek, R., & Buňka, F. (2022). The effect of homogenization and addition of polysaccharides on the viscoelastic properties of processed cheese sauce. *Journal of Dairy Science*, 105(8), 6563-6577

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

Datum zadání bakalářské práce: **31. prosince 2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2023**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 20. února 2023

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem 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.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce bylo posoudit vliv hydrokoloidů – furcellaranu a κ -karagenanu na konzistenci tavených sýrů s draselnými tavicími solemi (difosforečnan draselný a trifosforečnan pentadraselný). Oba hydrokoloidy se do surovinové skladby přidávaly v množství 0,5 a 1,0 % (w/w). Ve vzorcích byla provedena základní chemická analýza – měření pH a stanovení celkového obsahu sušiny. Posouzení konzistence tavených sýrů bylo provedeno pomocí analyzátoru textury a dynamické oscilační reometrie. Přídavek hydrokoloidů značně neovlivnil pH ani obsah sušiny vzorků, nicméně bylo zjištěno, že přidané hydrokoloidy ovlivnily viskoelastické vlastnosti tavených sýrů. Furcellaran i κ -karagenan měly vliv na zvýšení elastického i ztrátového modulu pružnosti v závislosti na přidané koncentraci hydrokoloidu, z nichž větší vliv na tyto parametry měl κ -karagenan. Zvyšující se koncentrace hydrokoloidu měla značný vliv na tuhost výrobku. Kappa-karagenan měl na tuhost větší vliv než furcellaran.

Klíčová slova: tavený sýr, furcellaran, κ -karagenan, draselné tavicí soli, konzistence

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis was to assess the effect of hydrocolloids – furcellaran and kappa-carrageenan on the consistency of processed cheeses manufactured with the addition of potassium emulsifying salts. Both examined hydrocolloids were added to the raw materials formulation at 0.5 and 1.0 % (w/w). The processed cheese samples were subjected to basic chemical analysis – pH measurement and determination of total dry matter content. Moreover, the consistency of the processed cheeses was evaluated using a texture analysis and dynamic oscillatory rheometry. The addition of hydrocolloids did not significantly affect the pH or dry matter content of the samples, however, it was found that the added hydrocolloids affected the viscoelastic properties of the processed cheeses. Both furcellaran and κ -carrageenan had an increasing effect in the elastic and viscous moduli values depending on the added hydrocolloid concentration, with κ -carrageenan having a greater effect on these parameters. Increasing hydrocolloid concentration had an effect on the stiffness of the product. Kappa-carrageenan had a greater effect on stiffness than furcellaran.

Keywords: processed cheese, furcellaran, κ -carrageenan, potassium melting salts, consistency

Ráda bych poděkovala především doc. Ing. Richardosovi Nikolaosovi Salekovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné připomínky, rady a za čas, který mi věnoval při vypracování této bakalářské práce.

*„Úlohy si stále opakovala
všetky svoje sily na to obetovala
a keď sa to skončilo tak sa spýtala
čo dokázala naša analýza?“
(Slobodná Európa)*

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 TAVENÉ SÝRY	11
1.1 SUROVINY PRO VÝROBU	11
1.1.1 Přírodní sýry	12
1.1.2 Tavicí soli.....	13
1.2 VÝROBA TAVENÝCH SÝRŮ	13
1.2.1 Fyzikálně-chemické principy výroby.....	13
1.2.2 Technologický postup	14
1.3 VLASTNOSTI TAVENÝCH SÝRŮ	16
2 TAVICÍ SOLI	17
2.1 ROLE TAVICÍCH SOLÍ VE VÝROBĚ TAVENÝCH SÝRŮ	17
2.1.1 Vlastnosti tavicích solí	17
2.2 DRUHY TAVICÍCH SOLÍ	18
2.2.1 Citráty.....	18
2.2.2 Fosforečnany	18
3 HYDROKOLOIDY V TAVENÝCH SÝRECH	21
3.1 KARAGENANY	21
3.2 FURCELLARAN	23
3.3 DALŠÍ POUŽÍVANÉ HYDROKOLOIDY.....	24
3.4 NÁHRADA TAVICÍCH SOLÍ HYDROKOLOIDY	24
II PRAKTICKÁ ČÁST	26
4 CÍL PRÁCE	27
5 MATERIÁL A METODIKA	28
5.1 POUŽITÝ MATERIÁL	28
5.2 VÝROBA MODELOVÝCH VZORKŮ.....	28
5.3 ZÁKLADNÍ CHEMICKÁ ANALÝZA	29
5.3.1 Stanovení pH	29
5.3.2 Stanovení obsahu celkové sušiny	29
5.4 DYNAMICKÁ OSCILAČNÍ REOMETRIE	30
5.5 TEXTURNÍ PROFILOVÁ ANALÝZA	31
6 VÝSLEDKY A DISKUZE	32
6.1 VYHODNOCENÍ ZÁKLADNÍ CHEMICKÉ ANALÝZY	32
6.2 VYHODNOCENÍ DYNAMICKÉ OSCILAČNÍ REOMETRIE	33
6.3 VYHODNOCENÍ TEXTURNÍ PROFILOVÉ ANALÝZY	40

ZÁVĚR	42
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	43
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	49
SEZNAM OBRÁZKŮ	50
SEZNAM TABULEK.....	51

ÚVOD

Tavené sýry se v České republice i ve světě řadí k velmi oblíbeným mléčným výrobkům. Tvoří více než 14 % celosvětové produkce sýrů. Tento druh sýra byl vyvinut především pro lepší údržnost a vylepšení vlastností, jako jsou např. textura a chuť. K výrobě tavených sýrů se používají přírodní sýry spolu s tavicími solemi, které obstarávají výslednou homogenní strukturu výrobku a další suroviny, které upravují požadovaný obsah sušiny či obsah tuku v sušině.

Hydrokoloidy jsou látky polysacharidové či bílkovinné povahy, které se do surovinové skladby tavených sýrů přidávají zejména pro zlepšení vaznosti vody ve výrobku, úpravu tvrdosti nebo jako prevence ulpívání sýrů na hliníkové obaly. Díky interakci s proteiny mohou při výrobě částečně nebo úplně nahrazovat tradiční tavicí soli. Tradiční tavicí soli mohou být taktéž nahrazeny solemi draselnými, nicméně tato náhrada může ve výrobku způsobit hořkou chuť.

Podstatou bakalářské práce bylo posoudit a srovnat vliv furcellaranu a κ -karagenanu na konzistenci tavených sýrů vyrobených s přídavkem draselných tavicích solí, výsledky se mohou uplatnit při výrobě tavených sýrů se zlepšenou konzistencí, popř. se zdravotními benefity – snížení obsahu sodíku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TAVENÉ SÝRY

Dle vyhlášky 397/2016 Sb. o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje lze definovat tavený sýr jako sýr, který byl tepelně upraven tavením. Tavené sýry mohou být taktéž definovány a charakterizovány obecně jako komplexní, vícesložkové mléčné systémy. Jedná se o stabilní emulzi olej ve vodě. Při výrobě tavených sýrů se suroviny zahřívají spolu s tavicími solemi za stálého míchání a částečného podtlaku s cílem dosáhnout homogenní hmoty s požadovanými charakteristickými vlastnostmi. V České republice spadají tavené sýry k oblíbeným mléčným výrobkům, jejichž výhodou je nesporně jejich dobrá údržnost – při chladírenském skladování se minimální trvanlivost pohybuje kolem 3-6 měsíců. V roce 2021 bylo dle Českého statistického úřadu spotřebováno 1,9 kg tavených sýrů na obyvatele za rok. Tavené sýry tvoří více než 14 % celosvětové produkce sýrů, převyšují tak produkci většiny druhů sýrů. [1, 2, 3, 4]

Tavený sýr (TS) byl poprvé vyroben a uveden na trh s potravinami na počátku 20. století. Byl vyvinut především za účelem prodloužení trvanlivosti a vylepšení některých vlastností přírodních sýrů, jako je např. textura a chuť. TS jsou ve srovnání s většinou ostatních druhů sýrů ekonomičtější a taktéž dostupnější v široké škále složení a příchutí. Při chladírenském skladování se pohybuje doba minimální trvanlivosti mezi 3-6 měsíci. [2, 4].

Existuje mnoho typů tavených sýrů s různou konzistencí, např. blokový typ, roztíratelný tavený sýr nebo tavená sýrová omáčka. Složení TS může být rozmanité, mohou se lišit obsahem sušiny (obvykle 30-50 % (w/w)) a obsahem tuku v sušině (30-70 % (w/w)). Během skladování tavený sýr neprochází téměř žádnými změnami ve srovnání s přírodními sýry, které ve fázi zrání prochází významnými změnami. [2, 4, 24, 27]

Vyrábí se rovněž analogové tavené výrobky, ve kterých je mléčný tuk zčásti nebo zcela nahrazen nemléčnými tuky rostlinného původu. Analogy, či imitace sýrů na rostlinné bázi, jsou vhodnou alternativou pro vegetariány, vegany nebo také osoby trpící alergií na mléčné bílkoviny. Analogy lze rozdělit na mléčné, částečně mléčné či nemléčné, kdy závisí na původu použitého tuku a bílkovin [4].

1.1 Suroviny pro výrobu

Tavené sýry se vyrábí z přírodních sýrů za přítomnosti vhodných tavicích solí. Tyto soli jsou označovány jako emulgující činidla, která mění vlastnosti bílkovin. V závislosti na požadovaných vlastnostech výrobku se dále přidávají mléčné a nemléčné látky. [5,6]

Mezi mléčné suroviny patří např. máslo nebo smetana, které ve výrobku zvyšují obsah tuku. Mohou se rovněž přidávat rostlinné oleje, které jsou oproti mléčnému tuku ekonomičtější. Používají se např. arašídový, palmojadrový, kokosový, kukuřičný, řepkový nebo slunečnicový olej. Tyto oleje mohou TS dodat požadovanou konzistenci. Obecně platí, že vyšší obsah tuku v TS přispívá k měkké konzistenci a vysoké tekutosti při tání. Úloha tuku v texturních vlastnostech – zejm. v tvrdosti výrobku, závisí na fyzikálně-chemických vlastnostech použitého tuku. Do surovinové skladby lze zařadit dále tvaroh, který zvyšuje obsah tukoprosté sušiny, může také ovlivňovat stabilitu a konzistenci taveného sýra, jelikož dodává tzv. intaktní kasein. Obsah sušiny v taveném sýru se upravuje přidávkem pitné vody. [2, 4, 5, 6]

Jako stabilizátory nebo zahušťující látky lze přidávat hydrokoloidy, což jsou biopolymery (polysacharidy nebo bílkoviny) s dlouhým řetězcem, schopné vytvářet disperze a gely. Hydrokoloidy se jako přídatné látky do surovinové skladby zahrnují mnohdy nutně, například pokud se nahrazují přírodní sýry mléčnými koncentráty (sušená syrovátka, sušené odstředěné mléko, kasein, kaseináty) nebo surovinami nemléčného původu s cílem snížit výrobní náklady. Mohou se taktéž přidávat přísady, které mají vliv na barvu a chuť, např. masové složky, zelenina, koření nebo houby. Také tzv. rework – nátavek lze přidat do surovinové skladby. Jedná se o již utavený sýr, který vzniká v průmyslu buď záměrně – např. zbytky taveného sýra ve výrobním zařízení, nebo nezáměrně, kdy byl tavený sýr určen pro trh, ale nebyl uvolněn do prodeje např. kvůli chybnému obsahu sušiny nebo nevhodnému obalu. [2, 6, 7, 27]

1.1.1 Přírodní sýry

Pro výrobu tavených sýrů jsou základní surovinou přírodní sýry. Mohou být užity sýry v různém stupni zralosti, lze také kombinovat různé druhy sýrů. Výběr a podíl různých druhů přírodních sýrů provádějí vyškolení pracovníci tak, aby vznikly produkty s požadovanými fyzikálními a senzorickými vlastnostmi. V Česku jsou zejména používány sýry eidamského typu, méně pak sýry švýcarského typu. [4, 5, 7]

Mohou být využity sýry s mechanickými vadami, které nejsou vhodné pro přímý prodej spotřebiteli, což je jednou z praktických výhod tavených sýrů. Pro výrobu není doporučeno používat sýry s mikrobiologickými vadami, zejména s výskytem sporulujících bakterií, jelikož spory nelze teplotami využívanými pro výrobu tavených sýrů zničit, což nese zdravotní riziko pro spotřebitele. Nejsou vhodné ani suroviny se zřetelným pachem nebo

pachutí. Mnohdy se nahrazuje přírodní sýr mléčnými koncentráty, např. sušenou syrovátkou, sušeným odstředěným mlékem, kaseinem, ale i nemléčnými surovinami – často polysacharidy. Tyto záměny základní suroviny mohou značně ovlivňovat jakost výrobku a jsou záměrně prováděny z důvodů snížení nákladů na surovinovou skladbu. Náklady na výrobu lze dále redukovat snížením obsahu sušiny – zvýšením obsahu vody v TS. Toho lze docílit přísadami tzv. stabilizátorů a modifikátorů konzistence. [2, 7].

1.1.2 Tavicí soli

Tavicí (emulzifikační) soli hrají důležitou roli při výrobě TS, zajišťují totiž tvorbu homogenního výrobku s požadovanou konzistencí. Tavicí soli mění vlastnosti bílkovin při výrobě TS, čímž zamezují oddělování tuku. Jejich úlohou při procesu tavení je úprava prostředí tak, aby kaseinové frakce uplatňovaly svou vlastnost přirozených emulgátorů. Existuje velké množství používaných tavicích solí, nejčastěji se jedná o fosforečnany a citronany sodné. Více se tavicími solemi zabývá kapitola 2. [4, 5, 13]

1.2 Výroba tavených sýrů

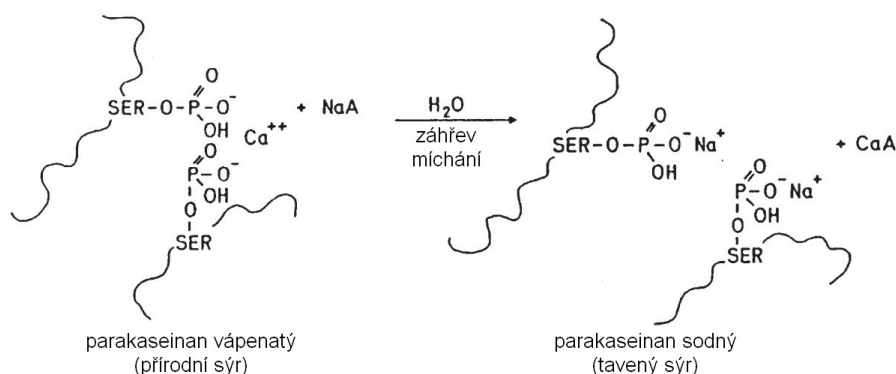
1.2.1 Fyzikálně-chemické principy výroby

Záhřev přírodních sýrů bez přítomnosti tavicích solí vede k porušení membrán tukových kuliček, které vede ke sloučení tukových kuliček do shluků. Vlivem teploty a nízkého pH (u většiny sýrů pH pod 5,7) také dochází k agregaci a smršťování parakaseinové matrice a nastává oddělení hydrofilní a hydrofobní fáze. Aplikace tepla na přírodní sýry bez přidaných stabilizátorů vede k tvorbě heterogenní, gumovité hmoty. Aby bylo dosaženo homogenní struktury výsledného produktu, je třeba přidávat tavicí soli nebo jejich alternativy. [8, 9]

Zjednodušeně by se dal rozdělit princip výroby tavených sýrů do dvou fází. V první fázi se působením tavicích solí kaseiny uvolňují a dispergují – nastává „fáze výměny iontů“. Ve druhé fázi se hydratují proteiny a emulguje se tuk – „fáze krémování“ [35].

Přítomnost tavicích solí má za následek několik fyzikálně-chemických změn. Tavicí soli jsou soli s vícenásobnými anionty a monovalentními alkalickými kovy, které se označují jako emulgující činidla. Tavicí soli jsou schopny odštěpit vápník z fosfátové matrice parakaseinátu vápenatého přítomného v přírodním sýru. Tímto mohou proteiny (kaseiny, hydrolytické štěpy kaseinů) uplatnit svou schopnost emulgátorů a tím je možný vznik stabilní emulze olej ve vodě. Výměna iontů vápníku za ionty sodíku, popř. jiného

alkalického kovu vede ke zvýšení rozpustnosti kaseinu ve vodě, kdy parakaseinan vápenatý, jenž je nerozpustný, se mění na rozpustnější látku – parakaseinan sodný. Přídavek tavicích solí vede taktéž k peptizaci, hydrataci a rozptýlení bílkovin přítomných v matrici sýra, čímž zajišťují jemnou a homogenní strukturu taveného sýra. V průběhu chlazení pomáhají vápenaté ionty tvořit konečnou trojrozměrnou síť bílkovin. [6, 8, 9, 13]



Obrázek 1 Schéma výměny iontů sodíku za ionty vápníku při tavení přírodních sýrů tavicími solí se sodnými ionty „NaA“, napravo poté navázané vápenaté ionty na tavicí sůl „CaA“ [upraveno dle 5]

1.2.2 Technologický postup

Tavené sýry se obvykle vyrábí dvěma způsoby, diskontinuálně nebo kontinuálně. Ve střední Evropě je používanější diskontinuální produkce, kterou lze rozfázovat do jednotlivých fází.

Nejprve je připravena směs vyhrazená pro tavení. Složení této směsi je primárně dáno požadavky na výsledný produkt, například očekávanou konzistencí nebo obsahem tuku či sušiny v taveném sýru. Velké bloky sýra a popřípadě i dalších surovin (např. másla) se pokrájí na kousky a následně melou tak, aby vytvořily s ostatními surovinami homogenní směs. Ze sýrů s tvrdou kůrou nebo vrstvou vosku je třeba tyto vrstvy před použitím sýra do tavicí směsi odstranit. K odstranění kůry se používají motorově řízené škrabky. [2, 4, 8, 29]

Dále se určuje směs tavicích solí použitých k výrobě taveného sýra. Složení tavicích solí je podmíněno charakterem použitého přírodního sýra, ale závisí i na ostatních surovinách, pH a vlastnostech, kterých chceme dosáhnout. Důležitá je i správná volba množství tavicích solí, nadbytek tavicích solí může způsobit problém s výslednou konzistencí nebo hořkou pachutí sýra. Výrobci TS kupují již hotové směsi tavicích solí. Obsah jednotlivých sloučenin ve směsích tavicích solí je obchodní tajemství výrobců. [2, 29]

Vlastní proces tavení probíhá v tzv. tavicím kotli, kam se přidávají přírodní sýry i ostatní suroviny. Používaná zařízení se od sebe odlišují kapacitou, systémem míchání, mechanismem ohřevu nebo provozními podmínkami. Ohřev může být zajištěn nepřímou nebo přímo. V současnosti většina provozů na výrobu tavených sýrů používá přímé vstříkávání páry do tavicí směsi. Tato pára ale v tavené směsi zkondenzuje, proto se při stavbě surovinové skladby musí zohledňovat. Tavicí kotel se po přidání surovin uzavře a za sníženého tlaku se rychle zvyšuje teplota až na tzv. tavicí teplotu. Nejčastěji udávané tavicí teploty se pohybují v rozmezí 80-120 °C. Teplota se při tavení udržuje několik desítek sekund. Toto zpracování má dvě hlavní funkce, a to usmrtit všechny potenciální patogenní mikroorganismy a tím prodloužit trvanlivost, dále pak usnadnit fyzikálně chemické změny tak, aby proběhla přeměna směsi na konečný produkt s požadovanými vlastnostmi. [2, 9, 29]

Následně může být roztavená hmota homogenizována za působení zvýšeného tlaku. Homogenizace má řadu účinků na výsledný výrobek, zmenšuje velikost částic hmoty (např. kůry sýra nebo nerozpuštěných částic tavicích solí), zmenšuje tukové kuličky a podporuje jejich jemné rozptýlení ve směsi. Dále také podporuje zahušťování směsi. Homogenizace je ekonomicky náročnou operací a používá se hlavně u TS s vysokým obsahem tuku [9]. Tavené sýry se následně balí do různých obalů: hliníkových folií, plastových kelímků, minoritně i do sklenic nebo tub a střívek z různorodých materiálů. Teplota taveniny při balení by neměla být nižší než 70 °C. TS se plní do obalů bez přítomnosti kyslíku, aby bylo zamezeno růstu plísní. Finální výrobky se po zchlazení skladují při teplotách 4-8 °C [2, 29].



Obrázek 2 Zjednodušené schéma výroby tavených sýrů [vytvořeno dle 2]

1.3 Vlastnosti tavených sýrů

Strukturu i vlastnosti tavených sýrů ovlivňuje několik parametrů. Mezi faktory ovlivňující vlastnosti TS se řadí použité suroviny, cílové parametry, které rovněž vycházejí hlavně ze surovin, jako obsah sušiny, obsah tuku v sušině, obsah vápníku nebo obsah bílkovin. Parametry uplatňované při výrobě TS mají vliv na konzistenci výsledného výrobku. Patří zde zejména rychlost míchání, rychlost ohřevu, rychlost tavení a teplota tání, doba, po kterou je udržována teplota tání a v neposlední řadě i rychlost chlazení produktu. Rovněž skladování má vliv na konzistenci taveného sýra. Všechny tyto vlivy na vlastnosti finálního výrobku působí současně a vzájemně se ovlivňují, vztahy mezi těmito faktory mohou být synergické nebo antagonické. [7, 27, 29, 30]

Klíčovou vlastností tavených sýrů je konzistence. Tu lze hodnotit reologickými, texturními či jinými metodami. Mikroskopickými metodami lze hodnotit vnitřní strukturu TS [27].

Konzistenci a strukturu produktu lze ovlivnit typem a stupněm zralosti použitého přírodního sýra. Použití zralejších přírodních sýrů snižuje tuhost výsledného taveného sýra. Tyto sýry jsou také lépe tavitelné a podílí se na aromatické plnosti produktu. S použitím zralých sýrů jakožto suroviny pro výrobu sýrů tavených existují i rizika, jako např. uvolňování tuku nebo vznik štiplavé ostré chuti, jelikož obsahují kratší bílkovinné řetězce, které nejsou schopny vázat vodu dostatečně. Mladé přírodní sýry jsou levnější surovinou, ale mohou způsobit horší tavitelnost, oproti zralým sýrům tvoří stabilní gelovou síť produktu bez tendence uvolňovat vodu. Taktéž celkové množství tavicích solí ovlivňuje konzistenci. Tavicí soli ovlivňují konzistenci tavených sýrů schopností měnit jejich hodnotu pH. Roztíratelné tavené sýry mají hodnotu pH v rozmezí 5,6–6,0, tavené sýry v blocích se vyznačují hodnotou pH 5,0–5,5 a tavené sýrové omáčky 6,5–7,0. Nižší pH, než je optimum pro daný typ taveného sýru, může způsobit tuhou nebo drobivou konzistenci s tvrdším a křehčím vzhledem. Tekutější textura je typická pro tavené sýry s vyšším pH. Další vlivy na vlastnosti tavených sýrů může mít např. přidávek reworku, hydrokoloidů a dalších surovin. [27, 30, 31]

2 TAVICÍ SOLI

2.1 Role tavicích solí ve výrobě tavených sýrů

Jak již bylo zmíněno, tavicí soli jsou důležitou surovinou při výrobě tavených sýrů, sloužící jako emulgující činidla. Mnohdy jsou nesprávně označovány jako emulgátory. Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1333/2008 definuje tavicí soli jako látky, které převádějí bílkoviny obsažené v sýru do disperzní formy za účelem homogenního rozložení tuků a ostatních složek. Díky tavicím solím jsou bílkoviny přírodního sýra schopny uplatnit svou vlastnost být přirozenými emulgátory. Více o roli tavicích solí při výrobě tavených sýrů je uvedeno v kapitole 1.2.1. [5, 10, 35]

2.1.1 Vlastnosti tavicích solí

Aby byla tavicí sůl vhodná pro výrobu tavených sýrů, měla by vykazovat několik požadovaných vlastností. Každá používaná sůl k tavení by měla být silným emulgačním činidlem, které je schopno přeměnit bílkoviny obsažené v přírodních sýrech na přirozené emulgátory. Důležitou vlastností je rovněž jejich dobrá rozpustnost. Tavením vzniklá emulze by měla ztuhnout a vytvořit hladkou a pevnou strukturu, rovněž by se měla dát dobře krájet. Tavicí sůl nesmí nepříznivě ovlivnit chuť výsledného výrobku. Také cena je při výběru tavicí soli rozhodující [11].

Velmi důležitá je i použitá koncentrace tavicí soli. Jako optimální množství se obecně uvádí rozmezí 1,5–3,0 % (w/w). Pokud je použita nedostatečná koncentrace tavicí soli, nedochází k dostatečné iontové výměně. Naopak nadměrná dávka tavicí soli může vést k organoleptickým vadám, např. k hořké nebo jiné netypické chuti [35].

Jednou ze známých vad tavicích solí je jejich krystalizace v konečném výrobku. Tato vada se může vyskytovat na povrchu i uvnitř taveného sýra. Intenzivnější výskyt krystalů na povrchu se tvoří při použití citrátových solí, naopak použití tavicích solí na bázi fosforečnanů může vést k tvorbě krystalů uvnitř taveného sýra [35].

Některé tavicí soli lze označit jako tzv. korekční soli, jejichž úkolem je primárně snížit nebo zvýšit pH taveniny i výsledného produktu. Ke zvýšení pH výrobku se používá zejména fosforečnan trisodný, naopak pro snížení pH výsledného taveného sýra např. dihydrogenfosforečnan disodný a další. [35].

2.2 Druhy tavicích solí

V minulosti byl jako první objeven citrát, který jako přídavek do surovinové směsi napomáhá tvořit homogenní hladkou strukturu a zvyšovat trvanlivost výrobku. Později se shledaly vhodnými fosforečnany a další soli, jež jsou vhodné pro tento účel. V současné době se tavicí soli často dodávají jako směsi fosfátů, fosforečnanů a citrátů. Směsi jsou zhotoveny tak, aby poskytovaly požadované funkční vlastnosti, např. různý stupeň tavitelnosti nebo roztíratelnosti pro finální výrobek, který může být např. v bloku, plátkovaný nebo roztíratelný [9, 11].

2.2.1 Citráty

Citráty jsou především soli kyseliny citronové [12].

Soli na bázi citrátů se získávají záměnou kyselých atomů vodíku kationty z trojmocné kyseliny citronové. Nejpoužívanějším citrátem při výrobě tavených sýrů je citrát trisodný ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$). Citráty sodné a disodné se obvykle nepoužívají samotné, jelikož by byl vzniklý produkt kyselý se zhoršenou strukturou. Tyto soli jsou vzhledem ke svým kyselým vlastnostem vhodné pro korekci pH tavené směsi. Jiné formy citrátu, např. citrát draselný nebo amonný, se používají na výrobu tavených sýrů se sníženým obsahem sodíku, nicméně mohou při vyšších koncentracích dodávat výrobku hořkou chuť, která se během skladování postupně zvyrazňuje. [9, 11, 35]

2.2.2 Fosforečnany

Užívání potravinářských fosfátů při výrobě tavených sýrů je jednou z nejrozsáhleji studovaných procesů v historii potravinářských technologií [33].

Fosforečnany jsou soli kyseliny trihydrogenfosforečné (H_3PO_4). Společným znakem těchto solí je obsah aniontu (PO_4^{3-}). Dále je lze dělit na orthofosforečnany a polyfosforečnany podle počtu aniontů (PO_4^{3-}) v molekule (polyfosforečnany obsahují více než dva fosfory v molekule). Díky vysoké teplotě může nastat ztráta vody dvěma hydroxylovými skupinami dvou různých orthofosforečnanů a tím dojde ke kondenzaci za vzniku dimeru – pyrofosforečnanu. Fosforečnany upravují prostředí a tím ovlivňují vlastnosti proteinů (kaseinových frakcí a jejich hydrolytických štěpů). Díky vhodné kombinaci fosforečnanů v tavicí směsi lze zajistit optimální pH výrobku. Orthofosforečnany se často přidávají do emulgačních směsí polyfosforečnanů, protože mají pufovací schopnost, tedy schopnost stabilizace pH proti okolním vlivům [4, 5, 11, 12, 33].

Fosforečnanové tavicí soli jsou schopny chelatace, tedy odštěpit a navázat monovalentní i polyvalentní kationty kovů. Tato vlastnost je klíčová – podmiňuje tradiční výrobu TS. Ionově-výměnné schopnosti fosforečnanů se zvyšují s rostoucím obsahem P_2O_5 v molekule v pořadí: monofosforečnan < difosforečnan < trifosforečnan < polyfosforečnan. Při výrobě tavených sýrů mají fosforečnany schopnost tvorby gelu a zároveň zvyšují vaznost vody, což je zásadní pro konzistenci finálního produktu. Nejvíce využívanými jsou sodné soli fosforečnanů a polyfosforečnanů. Polyfosforečnany na rozdíl od orthofosforečnanů mají peptizační schopnost, která je při výrobě tavených sýrů nezbytná. Rychlost peptizace kaseinu se v přítomnosti polyfosfátů zvyšuje s rostoucí délkou řetězce a s koncentrací fosfátů. [9, 13, 33, 34]

Ač je pro nás fosfor základní živinou, jeho nadbytečné množství může mít nepříznivý vliv na strukturu kostí a může vést k tvorbě osteoporózy, zejména v kombinaci s nízkou spotřebou vápníku. Snížení koncentrace fosforu a popř. i sodíku v tavených sýrech lze zajistit částečnou nebo úplnou náhradou tavicích solí hydrokoloidy [13].

Tabulka 1 Fosforečnany používané jako tavicí soli [vytvořeno dle 5]

Skupina	Látka	Vzorec	E-kód	pH 1 % vodného roztoku
Orthofosforečnany	Dihydrogenfosforečnan sodný	NaH_2PO_4	E339	4,5
	Monohydrogenfosforečnan sodný	Na_2HPO_4	E339	9,1
	Fosforečnan sodný	Na_3PO_4	E339	11,9
Difosforečnany	Dihydrogendifosforečnan sodný	$Na_2H_2P_2O_7$	E450	4,1
	Monohydrogendifosforečnan sodný	$Na_3HP_2O_7$	E450	7,1
	Difosforečnan sodný	$Na_4P_2O_7$	E450	10,2
Trifosforečnany	Trifosforečnan sodný	$Na_5P_3O_{10}$	E451	9,7
Polyfosforečnany	Polyfosforečnan sodný (Grahamova sůl)	$(NaPO_3)_n$	E452	6,6

2.2.2.1 Fosforečnany draselné

Draselné soli ortofosforečnanů, pyrofosforečnany a citráty umožňují vyrábět tavené sýry, které se svými texturními vlastnostmi podobají texturním vlastnostem sýrům vyrobených z ekvivalentních sodných solí [16].

Nicméně tyto soli mohou ve výsledném taveném sýru způsobit hořkou chuť. Taktéž mohou měnit některé další vlastnosti taveného sýra, například mohou zvyšovat lámavost, způsobit vyšší tuhost, nižší tavitelnost a rozpustnost bílkovin. Ačkoliv je draslík stejně jako sodík alkalickým kovem, vede iontová výměna sodíku za vápník a parakaseinová hydratace k lepším funkčním a sensorickým vlastnostem výrobku nežli iontová výměna draslíku. [5, 15, 28, 35]

Draselné soli mohou být potenciálně využívány pro přípravu receptur se sníženým obsahem sodíku. Vysoký obsah sodíku ve stravě lze považovat za rizikový faktor mnoha onemocnění, např. hypertenze nebo kardiovaskulárních nemocí. 25-27 % NaCl v taveném sýru lze nahradit chloridem draselným, aniž by byla pozměněna chuť. Při vysokém příjmu draslíku v potravě hrozí hyperkalémie, což je zdravotní stav vykazující zvýšenou hladinu draslíku v krvi. [14, 16]

3 HYDROKOLOIDY V TAVENÝCH SÝRECH

Termínem hydrokoloidy se označuje řada látek, zejm. polysacharidů a bílkovin. Jsou to biopolymery s dlouhým řetězcem, vykazující vysokou vaznost vody, některé jsou schopny tvořit uspořádané trojrozměrné matrice – gely. Tyto látky se v dnešní době hojně využívají v různých průmyslových odvětvích, zejména v potravinářském průmyslu k plnění řady funkcí, např. želírují, zahušťují vodné roztoky, stabilizují pěny, emulze a disperze, dále pak zabraňují tvorbě ledu a krystalů cukru a kontrolují uvolňování aromat. Taktéž mohou hydrokoloidy zlepšovat texturu výrobku a bránit uvolňování vody během skladování, a to i přesto, že se do surovinové skladby přidávají často v koncentracích nižších než 1 %. [6, 7, 17, 19, 22, 32].

V mlékárenském průmyslu jsou hydrokoloidy či obecně stabilizátory již neodmyslitelnou součástí surovinových skladeb mnoha mléčných výrobků. Např. při výrobě jogurtů zamezují uvolňování syrovátky během skladování. Hydrokoloidy se mohou používat i jako náhražka tuku např. v nízkotučných sýrech. Výběr hydrokoloidů je dán zejména požadovanými vlastnostmi, roli však hraje i cena. Mezi nejvyužívanější biopolymery na polysacharidové bázi pro výrobu tavených sýrů lze řadit nativní a modifikované škroby, karagenany, arabskou či xantanovou gumu, pektin, algináty a další. Zařazení těchto látek do surovinové směsi vede při produkci tavených sýrů ke zvýšení tuhosti výrobku a zlepšení vaznosti vody. Rovněž jsou prevencí ulpívání sýrů na hliníkové obaly. [7, 17, 23]

3.1 Karagenany

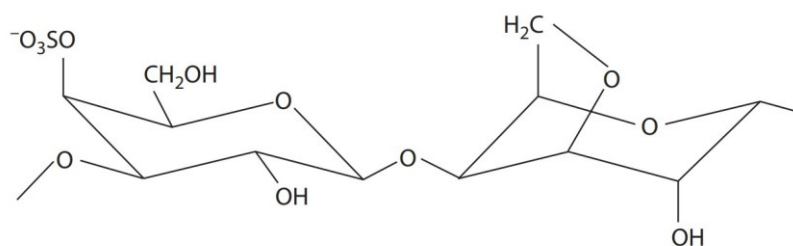
Karagenany jsou skupinou sulfátových galaktantů, jsou extrahovány z červených mořských řas *Rhodophyceae*, zejm. pak z rodů *Euchema*, *Chondrus* a *Gigantina*. Karagenany jsou extrahovány z řas nejčastěji horkou vodou v alkalickém prostředí jako sodné soli. Získání příslušných kyselých karagenanů se docílí okyselením kyselinou chlorovodíkovou, dále se suší, popř. se sráží rozpouštědly za vzniku finálního produktu. [18, 26]

Jedná se o lineární polysacharidy s vysokou molekulovou hmotností. Základní strukturu karagenanů tvoří disacharid karabiosa, která je složena z β -D-galaktopyranózy a 3,6-anhydro- α -D-galaktopyranózy. Je charakterizováno minimálně 8 frakcí karagenanu, lišících se polohou a počtem sulfátových skupin. V potravinářském průmyslu mají hlavní význam 3 druhy karagenanů, které jsou označovány jako ι -karagenan, λ -karagenan a κ -karagenan. Tyto typy lze získat v relativně čisté formě, popř. ve směsi s jinými typy karagenanů. Směsi

je možné frakcionovat pomocí draselných solí, kdy se po vysrážení dělí dvě hlavní složky podle rozpustnosti – κ -karagenan je nerozpustný, λ -karagenan rozpustný je. [7, 18, 21, 26] Zahušťovací a želírovací vlastnosti se značně liší s typem karagenanu. Všechny karagenany lze rozpustit v horké vodě, sodné soli kappa a iota karagenanů mohou být rozpuštěny i ve vodě studené [17]. Jednou z významnějších vlastností karagenanů je schopnost tvořit gely. κ -karagenan je schopen tvořit pevné a křehké gely, jež podléhají synerezi, ι -karagenan vytváří pružné a soudržné thixotropní gely, u nichž synereze nenastává. Síla vytvořených gelů těchto dvou frakcí karagenanu je závislá na přítomnosti kationtů, které neutralizují záporně nabitě sulfátové skupiny – κ -karagenan je choulostivý k draselným iontům, ι -karagenan k iontům vápenatým. [7, 26]

Velmi důležitou vlastností, které jsou karagenany schopny je tvorba komplexů s kaseinovými bílkovinami. Projevuje se silná synergie mezi κ -karagenanem a mléčnými proteiny, kdy κ -karagenan interaguje s kladně nabitými aminokyselinami na povrchu κ -kaseinu a těchto interakcí se hojně využívá v potravinářských systémech. Při výrobě tavených sýrů se karagenany užívají hlavně pro zlepšení technologických vlastností plátkových a blokových TS, dále pak jako prevence lepivosti na obaly u výrobků určených k roztírání. [7, 21, 26]

V komerčních směsích karagenanu nejčastěji figuruje κ -karagenan, převládající nad λ -karagenanem, jenž je neželírující. Uplatňuje se jako zahušťovadlo nebo gelotvorná látka, stabilizuje či emulguje mléčné výrobky či masové konzervy. Taktéž v kosmetickém oboru jsou karagenany hojně využívány. [26]



Obrázek 3 Idealizovaná jednotková struktura κ -karagenanu [18]

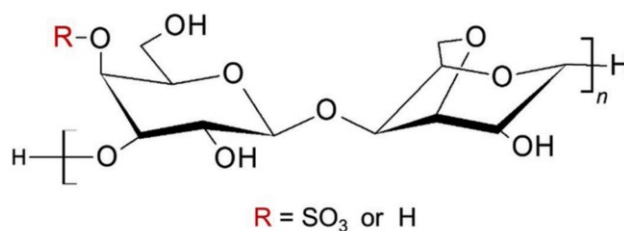
3.2 Furcellaran

Směsi galaktantů z *Furcellaria lumbricalis* byly historicky jedněmi z prvních průmyslově vyráběných hydrokoloidů. *F. lumbricalis* (dříve nazýván *F. fastigiata*) patří mezi červené mořské řasy, hojně se vyskytující v Atlantském oceánu, od Barentsova moře po Biskajský záliv a také v brakických vodách Baltského moře. Největší společenstvo těchto řas se nachází v estonských vodách. První pokusy o výrobu furcellaranu probíhaly v Dánsku již v roce 1917. Furcellaran mnohdy bývá označován jako dánský agar, jelikož jeho zdroj se vyskytuje především při pobřeží Dánska [20, 25, 26].

Je to polymer, sulfátovaný polysacharid, tvořen střídavě z třívazné β -D-galaktopyranosy a čtyřvazných α -galaktopyranosových zbytků. Strukturálně je furcellaran podobný κ -karagenanu, liší se od něj především ve stupni sulfátové substituce. V κ -karagenanu je sulfátová skupina vázána na každé druhé cukerné jednotce, furcellaran má tuto skupinu vázanu na každé třetí cukerné jednotce. Jelikož byla přezkoumána strukturní a funkční podobnost furcellaranu a karagenanu, byly společně zařazeny jako E407 [2, 6, 17, 26].

Slouží jako želírující látka, zahušťovadlo, stabilizátor, flokulant a objemové činidlo. Dále může být použit ke stabilizaci emulzí a ke zpomalení tvorby ledových krystalů. Furcellaran je látka rozpustná v teplé vodě, tvořící gely, jež jsou jemné, pružné a termoreverzibilní. Pevnost gelu lze pozitivně ovlivnit přidávkem cukru. Pevné gely vznikají v přítomnosti iontů K^+ a NH_4^+ , menší vliv má přítomnost Ca^{2+} iontů. V přítomnosti sodných iontů gely nevznikají. [20, 26]

Komerčně je furcellaran dostupný v komplexních směsích různých druhů polysacharidů, proto se mohou jeho funkční vlastnosti měnit. Mezi jeho alternativy patří zejména κ -karagenan, želatina, gellan, agar, alginát nebo xathan. Je využíván při výrobě mléčných dezertů a pudinků. [20, 26]



Obrázek 4 Chemická struktura furcellaranu [45]

3.3 Další používané hydrokoloidy

Mezi další významné hydrokoloidy používané v potravinářském průmyslu lze řadit např. agar. Agar má původ v Japonsku již v roce 1658. Jedná se o fykokoloid, jenž byl jako první použit jako potravinářská přísada. Fykokoloidy lze popsat jako želírující látky získávané z mořských řas, kde vykazují stejnou funkci jako celulóza u vyšších rostlin. Jsou extrahovány horkou vodou v neutrálním, kyselém či alkalickém prostředí. Stavební jednotkou agarů je β -D-galaktopyranosa a 3,6-anhydro- α -L-galaktopyranosa, vázány střídavě glykosidovými vazbami (1 \rightarrow 3) a (1 \rightarrow 4). Agary jsou rozpustné v horké vodě o teplotě 85 °C a vyšší. Po ochlazení vzniká gel, který při stárnutí podléhá synerezi. Gel se tvoří již při nízké koncentraci 0,04 %, obvyklé používané koncentrace jsou v rozmezí 0,5-2,0 %. Na rozdíl od karagenanů není potřeba k tvorbě gelu přítomnost neutralizujících kationtů. Díky svým koloidním vlastnostem jsou hojně využívány, např. do pekařských výrobků, při výrobě džemů, želé, mléčných a masových výrobků. Agary se uplatňují i při přípravě mikrobiologických kultivačních medií. [17, 26].

Dále lze zmínit alginy. Tento název je užíván pro alginovou kyselinu a její soli – algináty. Nachází se v hnědých mořských řasách čeledi *Phaeophyceae*, kde tvoří asi 40 % sušiny řas. Stejně jako např. karagenany se získává jako sodná sůl za pomoci alkalické extrakce. Strukturálně se jedná o lineární kopolymery kyseliny β -D-mannuronové a kyseliny α -L-guluronové, jež jsou spojeny glykosidovými vazbami (1 \rightarrow 4). Při přidavku vápenatých iontů k disperzi alginátu sodného se tvoří termostabilní gely. Algináty jsou přidávány ke zlepšení konzistence mnoha potravinářských výrobků [26].

3.4 Náhrada tavicích solí hydrokoloidy

Hydrokoloidy mohou interagovat s ostatními surovinami, například interakce s přítomnými mléčnými proteiny poskytuje hydrofobní vlastnosti potřebné pro emulgaci. Závisí na několika faktorech, např. charakteru obou látek, koncentraci, molekulové hmotnosti či pH směsi. Komplexy, tvořící se mezi hydrokoloidy a proteiny, mohou poskytovat povrchově aktivní vlastnosti potřebné k náhradě tavicích solí na bázi citrátů či fosforečnanů za některé hydrokoloidy. Záměna tradičních tavicích solí za hydrokoloidy přispívá ke snížení obsahu fosforu a zvýšení poměru Ca:P ve výrobku, dále snižuje koncentraci sodíku a tím pádem přispívá k výrobě nových výrobků se zdravotními benefity. [7, 13, 32]

Existuje mnoho studií, ve kterých se zaměřují tradiční tavicí soli hydrokoloidy.

Např. ve studii Černíkové *et. al.* [13] byly testovány různé hydrokoloidy jako možné náhrady tradičních tavicích solí na bázi fosfátu a citrátu při výrobě tavených sýrů. Dle jejich studie nelze pro výrobu doporučit lokustovou gumu (karubin), modifikovaný škrob a pektin s nízkým obsahem metoxyly. Naopak κ -karagenan a ι -karagenan se jeví jako vhodné potenciální tradičních tavicích solí, nicméně konečné produkty byly velmi tvrdé a špatně roztíratelné.

Dále např. Kůrová *et. al.* [6] ve své studii hodnotili viskoelastické vlastnosti tavených sýrových pomazánek, kdy do surovinové skladby při výrobě přidali různé koncentrace furcellaranu a to s použitím tavicích solí i bez nich. Bylo zjištěno, že přídavek furcellaranu vedl ke zvýšení tuhosti produktu. Tavená sýrová pomazánka s přídatkem furcellaranu vyrobena bez tavicích solí byla výrazně tuhá.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce bylo zhodnotit vliv přídavku furcellaranu a κ -karagenanu na konzistenci tavených sýrů vyrobených za pomoci draselných tavicích solí.

Práce byla rozdělena na dílčí cíle:

- Vyrobit modelové vzorky tavených sýrů s jednotlivými draselnými tavicími solemi (difosforečnan draselný – $K_4P_2O_7$ a trifosforečnan pentadraselný – $K_5P_3O_{10}$) o obsahu sušiny 40 % (w/w) a obsahu tuku v sušině 50 % (w/w) s přídavkem furcellaranu/ κ -karagenanu o koncentraci 0,5 a 1,0 % (w/w),
- Vyrobit vzorky tavených sýrů s jednotlivými draselnými solemi ($K_4P_2O_7$, $K_5P_3O_{10}$) o obsahu sušiny 40 % (w/w) a obsahu tuku v sušině 50 % (w/w) bez přídavku hydrokoloidů jakožto kontrolní vzorky,
- Provést základní chemickou analýzu vzorků tavených sýrů – stanovení hodnoty pH, obsahu sušiny,
- Provést měření viskoelastických parametrů modelových vzorků pomocí dynamické oscilační reometrie,
- Analyzovat vybrané texturní parametry pomocí analyzátoru textury,
- Získané výsledky měření vyhodnotit a charakterizovat, jak je konzistence tavených sýrů ovlivněna přídavkem hydrokoloidů

5 MATERIÁL A METODIKA

Modelové vzorky byly vyrobeny dle zadané surovinové skladby. Tyto vzorky se lišily použitou tavicí solí, přidaným hydrokolloidem (furcellaran, κ -karagenan) a jeho koncentrací [0,5; 1,0 % (w/w)]. Byly také vyrobeny kontrolní vzorky bez přídavku hydrokolloidu. Všechny vzorky byly podrobeny základní chemické, texturní a reologické analýze.

5.1 Použitý materiál

Pro výrobu modelových vzorků TS byla použita následující surovinová skladba:

- Přírodní sýr – eidamská cihla [obsah TVS 30 % (w/w), výrobce Lacrum Velké Meziříčí, s.r.o., ČR]
- Máslo čerstvé – [obsah TVS 82 % (w/w), výrobce Polabské mlékárny, a.s., Poděbrady, ČR]
- Tavicí sůl – [$K_4P_2O_7/K_5P_3O_{10}$ v konc. 2 % (w/w), výrobce Fosfa a.s., Břeclav, ČR]
- Hydrokolid – furcellaran (výrobce Estagar, Kooli, Estonsko) nebo κ -karagenan (výrobce Sigma Aldrich, St. Louis, USA) v konc. 0,5 % a 1,0 % (w/w)
- Pitná voda

5.2 Výroba modelových vzorků

Modelové vzorky TS byly vyrobeny dle surovinové skladby (dle kapitoly 5.1) v laboratořích Ústavu technologie potravin, Fakulty technologické, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Nejprve byly připraveny a naváženy všechny suroviny. Suroviny byly naváženy tak, aby výsledné modelové vzorky byly o obsahu sušiny 40 % (w/w) a obsahu tuku v sušině 50 % (w/w), s přídavkem furcellaranu/ κ -karagenanu o koncentraci 0,5 a 1,0 % (w/w). Suroviny byly postupně rozmělněny a taveny v přístroji Vorwerk Thermomix TM6 (výrobce Vorwerk GmbH&Co, Wuppertal, Německo). Jako první byla do zařízení dávkována eidamská cihla, jež byla před přidáním do přístroje nakrájena na kostky. Poté byly přidány ostatní suroviny. Směs byla zahřívána a následně tavena při teplotě 90 °C po dobu 1 min a rychlosti otáček nožů přístroje 3000 ot./min. Tavenina byla následně nalévána za horka do hliníkových misek, které byly následně zakryty hliníkovými víčky a uzavřeny na zařízení Novaseal (Nirosta s. r. o., Chlumec nad Cidlinou, ČR) Vzorky byly při chladírenských teplotách (6 ± 2 °C) skladovány 1 týden do provedení analýz.

Stejným způsobem byly vyrobeny i kontrolní modelové vzorky bez přídavku hydrokoloidů.

5.3 Základní chemická analýza

Všechny modelové vzorky byly podrobeny základní chemické analýze – konkrétně měření hodnoty pH a stanovení obsahu celkové sušiny.

5.3.1 Stanovení pH

V modelových vzorcích tavených sýrů bylo měřeno pH pomocí vpichového pH metru (pH Spear, Eutech instruments, Oakton, Malaysia), kdy byla vložena vpichová sonda do vzorku taveného sýra. Měření probíhalo při laboratorní teplotě 20 ± 1 °C. Každý modelový vzorek byl měřen šestkrát, z důvodu možného vnesení odchylek a faktorů, což ovlivnilo pH – proces výroby, manipulace se vzorkem během analýz.

5.3.2 Stanovení obsahu celkové sušiny

Stanovení obsahu celkové sušiny v TS bylo provedeno dle normy ČSN ISO 5534:2004 [36]. Podstatou této zkoušky je navážit díl modelového vzorku (cca 3 g s přesností na 4 desetinná místa) do hliníkových misek obsahujících mořský či křemenný písek, následně vzorek promíchat s pískem a vložit do sušárny při 102 ± 2 °C, kde se vzorek suší do konstantního úbytku hmotnosti. Misky jsou po sušení uloženy do exikátoru pro ochlazení. Úbytek hmotnosti se poté zjišťuje vážením vysušeného vzorku na analytických vahách. U každého z modelových vzorků byla tato analýza provedena dvakrát.

Obsah celkové sušiny byl následně vypočítán dle následujících rovnic:

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

$$ws = 100 - w$$

Kde:

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

m_0 ... hmotnost misky s pískem [g]

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

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

ws ... obsah vody [% (w/w)] [37].

5.4 Dynamická oscilační reometrie

Pomocí dynamické oscilační reometrie se zjišťují viskoelastické vlastnosti modelových vzorků TS. Při této metodě dochází k řízené deformaci vzorku, při níž je sledováno chování při toku látek. Měřený elastický modul pružnosti (G') popisuje elasticitu vzorku, ztrátový modul pružnosti (G'') vyjadřuje míru viskozity. Zvyšující se hodnoty elastického, popř. ztrátového modulu pružnosti poukazují na vzrůstající elastickou, popř. viskózní složku vzorku. Další veličiny, které charakterizují reologické chování tavených sýrů jsou např. komplexní viskozita, jež určuje funkčnost výrobku a tangens úhlu fázového posunu ($\tan \delta$), jenž znázorňuje podíl viskózní a elastické složky. Pokud hodnota $\tan \delta$ klesá, roste elasticita vzorku. Dále lze vyjádřit komplexní modul pružnosti (G^*), který udává celkový odpor vůči deformaci a zvyšující se G^* tedy odpovídá rostoucí tuhosti vzorku.

Z těchto hodnot lze vypočítat dle následujících rovnic.

Tangens úhlu fázového posunu ($\tan \delta$):

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

Komplexní modul pružnosti (G^*):

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

[38, 39, 40, 46, 47]

Vzorky byly analyzovány pomocí dynamického oscilačního smykového reometru (HAAKE RheoStress 1, Thermo ScientificTM, Brémy, Německo) s geometrií deska-deska o průměru 35 mm, s výškou mezery 1 mm. Přístroj byl temperován na teplotu $20 \pm 0,1$ °C. Na statickou desku byl nanesen vzorek a poté byla spuštěna oscilující deska tak, aby štěrbina mezi deskami byla o výšce 1 mm. Nadbytečný TS byl odstraněn. Aby se zamezilo odparu vlhkosti, byl vzorek ze stran potřen silikonovým olejem. Následně byl měřen ztrátový a elastický modul pružnosti při frekvencích 0,1-10 Hz. Amplituda smykového napětí byla 20 Pa.

5.5 Texturní profilová analýza

Textura taveného sýra je soubor vlastností, které jsou vnímatelné smysly, ovlivňují pocit v ústech během konzumace, ale mohou ovlivnit i vnímání chuti. Texturní vlastnosti lze kromě sensorické metody, která je nákladná, stanovit také instrumentálními metodami, kdy je vzorek nuceně stlačován, což simuluje stlačování TS stoličkami během žvýkání. Texturní profilová analýza (TPA) je instrumentální metoda analyzující řadu texturních parametrů, mezi které lze zařadit např. tvrdost, soudržnost (kohezivnost) a přilnavost (lepivost). [16, 41, 42, 43]

Tvrdost (pevnost) vyjadřuje maximální sílu, jež je potřebná k docílení požadované deformace.

Lepivost neboli přilnavost, definuje práce, jež překoná přitažlivost mezi povrchem taveného sýra a povrchem sondy.

Kohezivnost (soudržnost) je charakterizována jako síla vnitřních vazeb, které tvoří vzorek. [44]

Hodnocení textury bylo provedeno obdobně jako např. v článku Weiserové *et. al.* [50] při hodnocení vlivu fosforečnanů sodných ve dvousložkových směsích na texturní parametry tavených sýrových pomazánek. Konkrétně byl k provedení TPA a hodnocení tvrdosti, kohezivnosti a relativní lepivosti u modelových vzorků tavených sýrů použit analyzátor textury TA.XTPlus (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Velká Británie). Měření bylo provedeno dvěma po sobě jdoucími průniky válcové sondy z nerezové oceli (hloubka průniku 10 mm, rychlost sondy 2 mm.s⁻¹) do vzorku temperovaném při 16 °C.

6 VÝSLEDKY A DISKUZE

6.1 Vyhodnocení základní chemické analýzy

V rámci základní chemické analýzy byla u modelových vzorků TS měřena hodnota pH, dále byl stanoven celkový obsah sušiny. Vliv přídavku furcellaranu a κ -karagenanu u provedených analýz byl následně porovnán.

Přídavek furcellaranu (FUR) ani κ -karagenanu (KK) neměl významný vliv na změnu pH. Hodnoty pH se u modelových vzorků s oběma hydrokoloidy oproti kontrolním vzorkům lišily jen nepatrně. Ve vzorcích s použitou tavicí solí $K_4P_2O_7$ se u všech vzorků pH pohybovalo v rozmezí od $6,33 \pm 0,02$ do $6,37 \pm 0,01$. Vzorky s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ vykazovaly nižší pH, které se přidavkem hydrokoloidů rovněž významně nelišilo, byly naměřeny hodnoty v rozmezí $6,06 \pm 0,01$ – $6,19 \pm 0,00$.

Roztíratelné tavené sýry mají optimální pH 5,6-6,0 a při vyšším pH mohou být vzorky měkké a rozbředlé [5]. Z výsledků je zřejmé, že vyšší hodnotu pH, než je optimální, mají všechny modelové vzorky s tavicí solí $K_4P_2O_7$. Jelikož se výsledky vzorků s přidanými hydrokoloidy od kontrolních vzorků výrazně neměnily, lze říci, že hlavní vliv na hodnotu pH měla přidaná tavicí sůl. Právě druh tavicí soli (popř. její koncentrace) souvisí s pH konečného výrobku [11].

Všechny naměřené hodnoty pH jednotlivých modelových vzorků jsou uvedeny v Tabulce 2.

Tabulka 2 Hodnoty pH u modelových vzorků

vzorek	pH	
	použitá tavicí sůl	
	$K_4P_2O_7$	$K_5P_3O_{10}$
kontrola	$6,33 \pm 0,02$	$6,09 \pm 0,02$
FUR 0,5 %	$6,35 \pm 0,03$	$6,10 \pm 0,01$
FUR 1,0 %	$6,36 \pm 0,01$	$6,09 \pm 0,01$
K-KAR 0,5 %	$6,34 \pm 0,02$	$6,06 \pm 0,01$
K-KAR 1,0 %	$6,37 \pm 0,01$	$6,19 \pm 0,00$

Celkový obsah sušiny (Tabulka 3) modelových vzorků se s přidavkem jak furcellaranu, tak κ -karagenanu lišil ve srovnání s kontrolními vzorky jen zanedbatelně. Došlo k nepatrnému snížení obsahu sušiny ve všech modelových vzorcích s přidanými hydrokoloidy. Dle zadané surovinové skladby měly vzorky obsahovat 40 % (w/w) celkové sušiny, naměřené hodnoty jsou ale poněkud vyšší.

Tabulka 3 Celkový obsah sušiny u modelových vzorků

celkový obsah sušiny [% (w/w)]		
vzorek	použitá tavicí sůl	
	K ₄ P ₂ O ₇	K ₅ P ₃ O ₁₀
kontrola	44,27 ± 0,85	45,73 ± 0,23
FUR 0,5 %	43,10 ± 0,39	43,41 ± 0,82
FUR 1,0 %	42,66 ± 0,23	42,63 ± 0,42
K-KAR 0,5 %	43,86 ± 0,06	42,06 ± 0,22
K-KAR 1,0 %	43,66 ± 0,18	42,59 ± 0,07

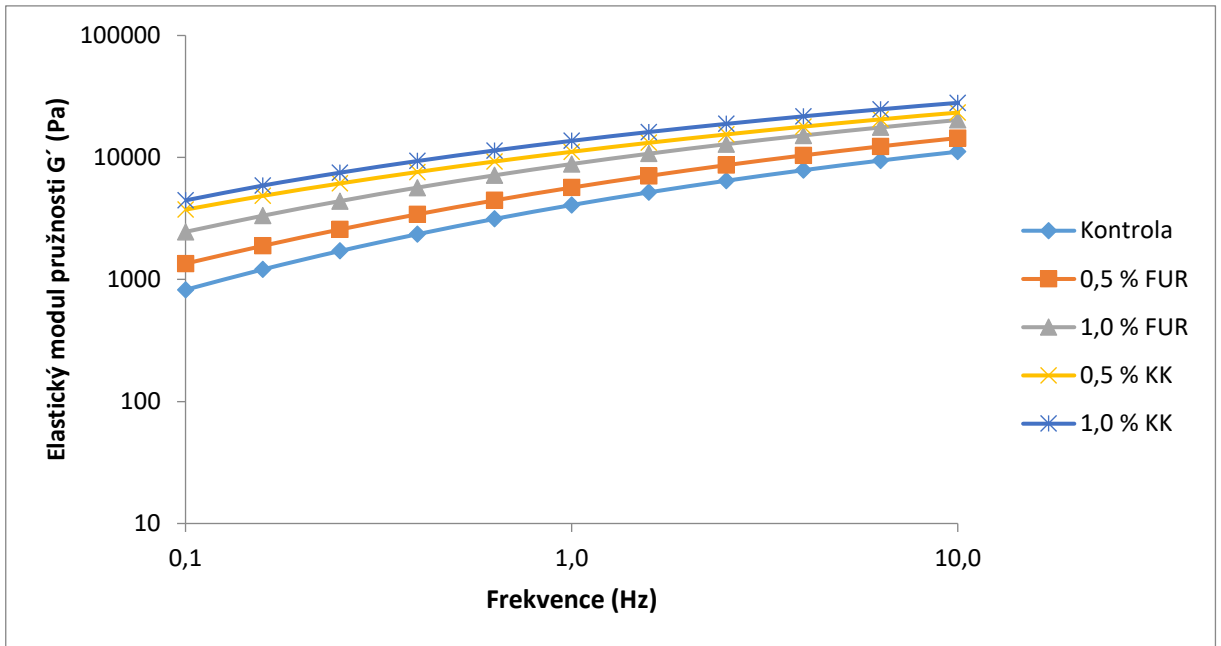
6.2 Vyhodnocení dynamické oscilační reometrie

Pomocí dynamické oscilační reometrie byl naměřen elastický (G') a ztrátový modul (G'') pružnosti, následně byl z těchto hodnot vypočítán komplexní modul pružnosti (G^*) a tangenta úhlu fázového posunu ($\tan \delta$). Z výsledků dynamické oscilační reometrie byla dále vyhodnocena i komplexní viskozita.

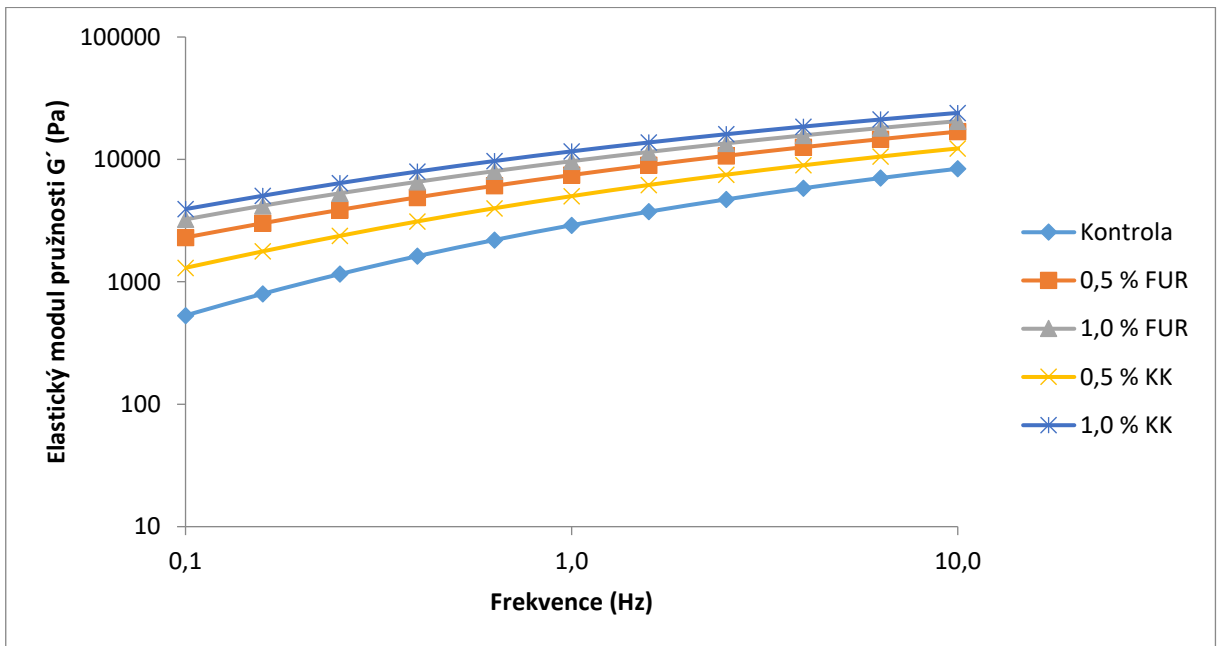
Měření bylo provedeno v rozsahu frekvencí od 0,1 do 10 Hz. Byly sestrojeny grafy pro elastický, ztrátový i komplexní modul pružnosti, tangens úhlu fázového posunu a komplexní viskozitu.

Při hodnocení elastického modulu pružnosti u modelových vzorků se G' zvyšoval s vyšší koncentrací přidaného hydrokoloidu. U modelových vzorků s přidavkem tavicí soli K₄P₂O₇ měl největší vliv na zvýšení elastické složky vzorku přídavek κ -karagenanu v koncentraci 1,0 % (w/w), jen nepatrně menší vliv měla koncentrace 0,5 % (w/w) κ -karagenanu. U vzorků s K₅P₃O₁₀ měly větší vliv na zvýšení elastického modulu pružnosti oba hydrokoloidy v koncentraci 1,0 % (w/w). Lze tedy říci, že zvýšení elastického modulu pružnosti bylo závislé na přidané koncentraci hydrokoloidu, z nichž největší vliv na zvýšení G' měl κ -karagenan v koncentraci 1,0 % (w/w).

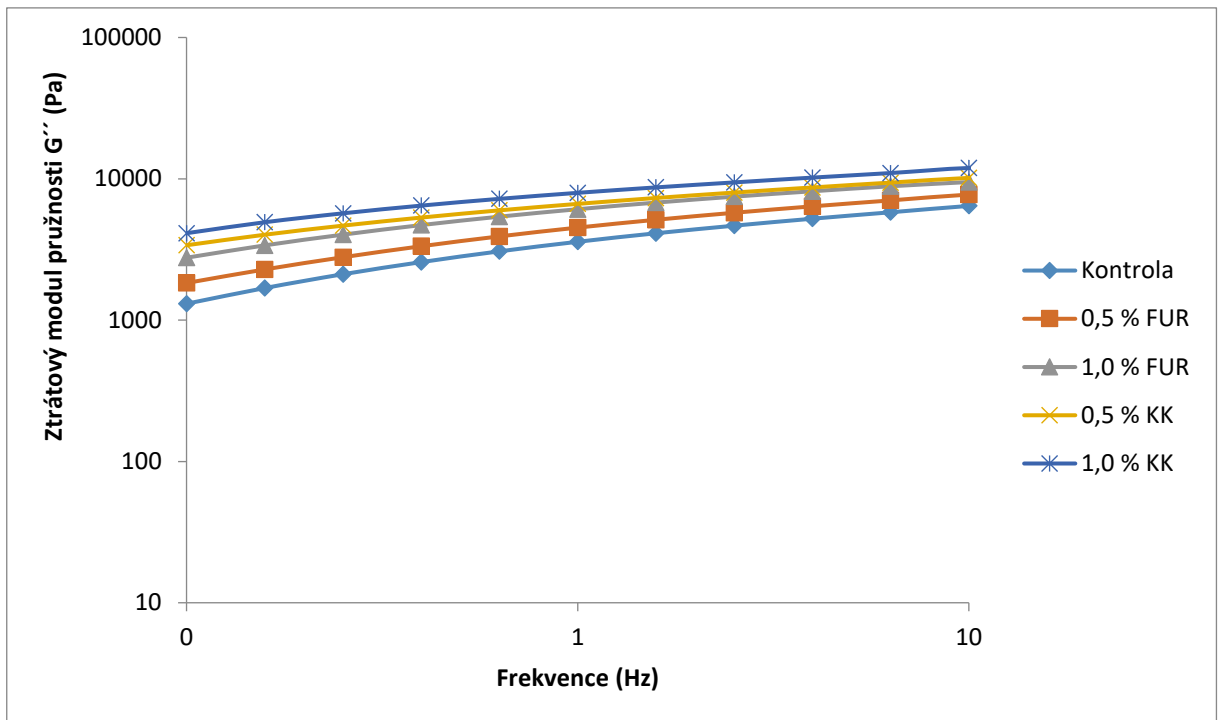
Ztrátový modul pružnosti rovněž u vzorků s přidanými hydrokoloidy oproti kontrolnímu vzorku vzrostl, vzrůstající trend byl sledován u všech vzorků s přidavkem hydrokoloidu. Největší vliv na G'' měl přídavek 1,0 % (w/w) κ -karagenanu, jen nepatrně méně poté přídavek 1,0 % (w/w) furcellaranu. Se zvyšujícími se hodnotami G'' vzrůstá viskózní složka vzorku.



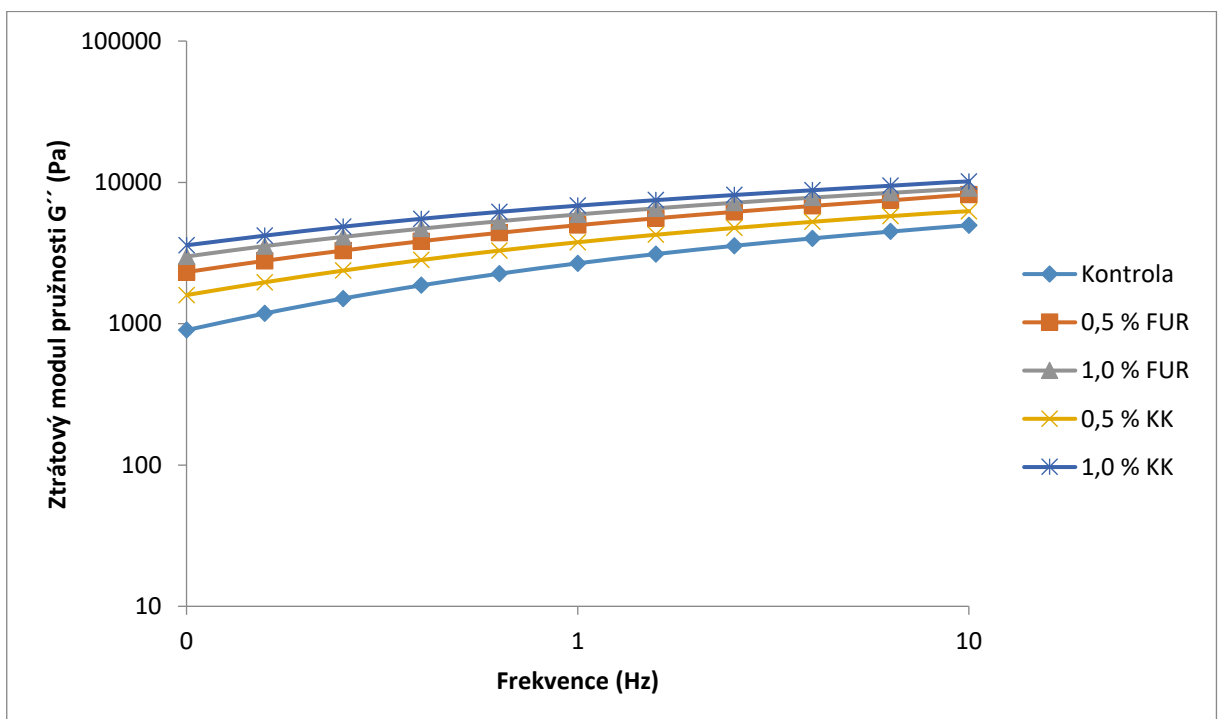
Obrázek 5 Závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci pro vzorky s přidavkem furcellaranu a κ -karagenanu v koncentraci 0,5 a 1,0 % (w/w) s tavící solí $K_4P_2O_7$



Obrázek 6 Závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci ve vzorcích s přidavkem furcellaranu a κ -karagenanu v koncentraci 0,5 a 1,0 % (w/w) s tavící solí $K_5P_3O_{10}$



Obrázek 7 Závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci v modelových vzorcích s přidavkem furcellaranu a κ -karagenanu v konc. 0,5 a 1,0 % (w/w) s tavící solí $K_4P_2O_7$



Obrázek 8 Závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci v modelových vzorcích s přidavkem furcellaranu a κ -karagenanu v konc. 0,5 a 1,0 % (w/w) s tavící solí $K_5P_3O_{10}$

Pokud roste elastický i ztrátový modul pružnosti, roste i komplexní modul pružnosti (G^*), tedy i tuhost vzorků. Trend tuhosti modelových vzorků rostl s vyšší přidanou koncentrací obou hydrokoloidů. Nejvyšší tuhost prokazoval vzorek s 1,0 % (w/w) κ -karagenanu. Přídavek furcellaranu taktéž navyšoval výrazně výslednou tuhost s rostoucí koncentrací, nejvíce při koncentraci 1,0 % (w/w) s výjimkou u vzorku s 0,5 % (w/w) furcellaranu s tavicí solí $K_4P_2O_7$, kde nebyl mezi tímto vzorkem a kontrolním vzorkem statistický rozdíl. Pro prezentaci G^* byla zvolena referenční frekvence 1 Hz (Obrázek 9 a 10).

K podobným závěrům u měření modelových vzorků tavených sýrů s přídavky hydrokoloidů dynamickou oscilační reometrií dospěli v několika studiích.

Např. Černíková *et. al.* [48] ve své studii, zkoumající vliv přídavku κ -karagenanu a ι -karagenanu na viskoelastické vlastnosti tavených sýrů, došli k závěru, že oba tyto hydrokoloidy zvyšovaly tuhost výrobku, což vysvětlili tím, že se zvyšující se koncentrací karagenanu dochází k silnějším interakcím mezi jejich řetězci, což vede k tvorbě hustší – více intenzivní síťové struktury.

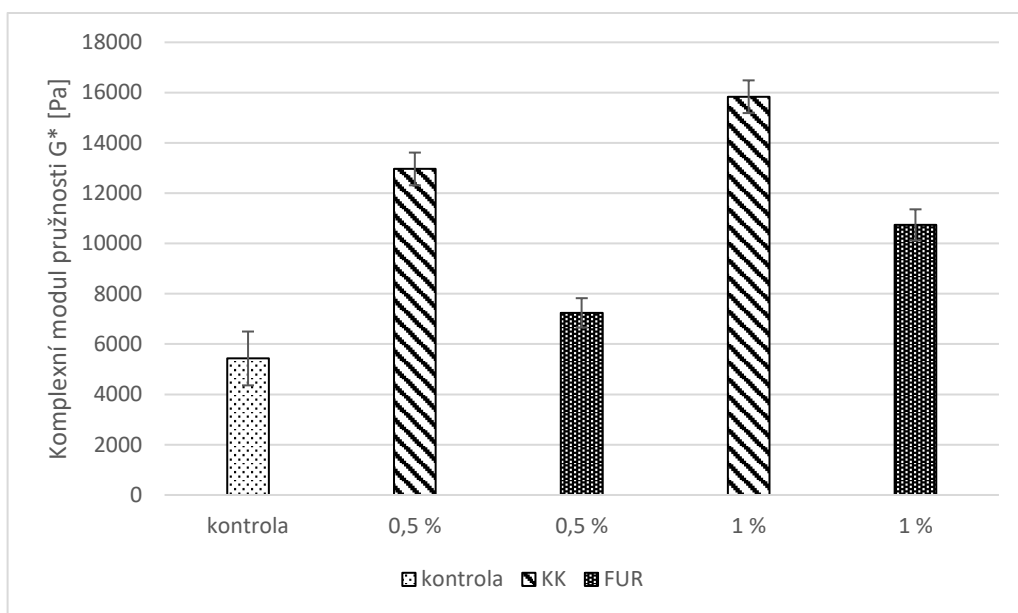
Ve studii Kratochvílové *et. al.* [30], jež se zabývá nahrazením tavicích solí vybranými hydrokoloidy – agarem, κ -karagenanem a želatinou, měl přídavek κ -karagenanu největší vliv na vzrůst hodnot elastického i ztrátového modulu pružnosti (tedy i G^*), což vedlo ke zvýšení tuhosti tavených sýrů. Gely formované s přídavkem κ -karagenanu vykazovaly synergické účinky ve smyslu vysokého obsahu vlhkosti, elasticity a viskozity.

Dle studie Kůrové *et. al.* [6] ovlivňoval furcellaran signifikantně viskoelastické vlastnosti tavených sýrů. Jeho zvyšující se koncentrace postupně zvyšovala hodnoty elastického i ztrátového modulu pružnosti. Přídavek furcellaranu měl za následek vyšší tuhost, způsobenou interakcemi mezi furcellaranem a mléčnou bílkovinou (kappa-kaseinem), což vedlo k vytvoření trojrozměrné sítě.

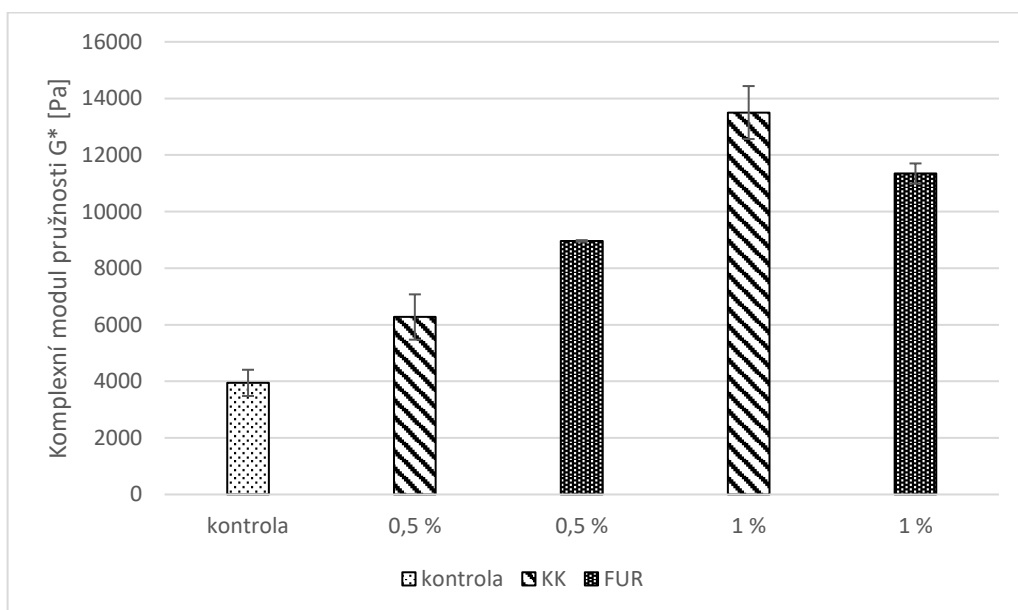
Porovnání vlivu přídavku κ -karagenanu a furcellaranu na viskoelastické vlastnosti tavených sýrových omáček bylo provedeno ve studii Kůrové *et. al.* [46]. Přídavek obou hydrokoloidů zvýšil elastický i ztrátový modul pružnosti. Ve srovnání s furcellaranem vedl přídavek kappakaragenanu ke statisticky významnému zvýšení tuhosti vzorku, a to hlavně při vyšších koncentracích.

Dále byl vypočítán tangens úhlu fázového posunu z podílu viskózní a elastické složky pro modelové vzorky a referenční frekvenci 1 Hz, jež s přídavkem hydrokoloidu klesal. Pokud tangenta úhlu fázového posunu klesá, roste elasticita vzorku.

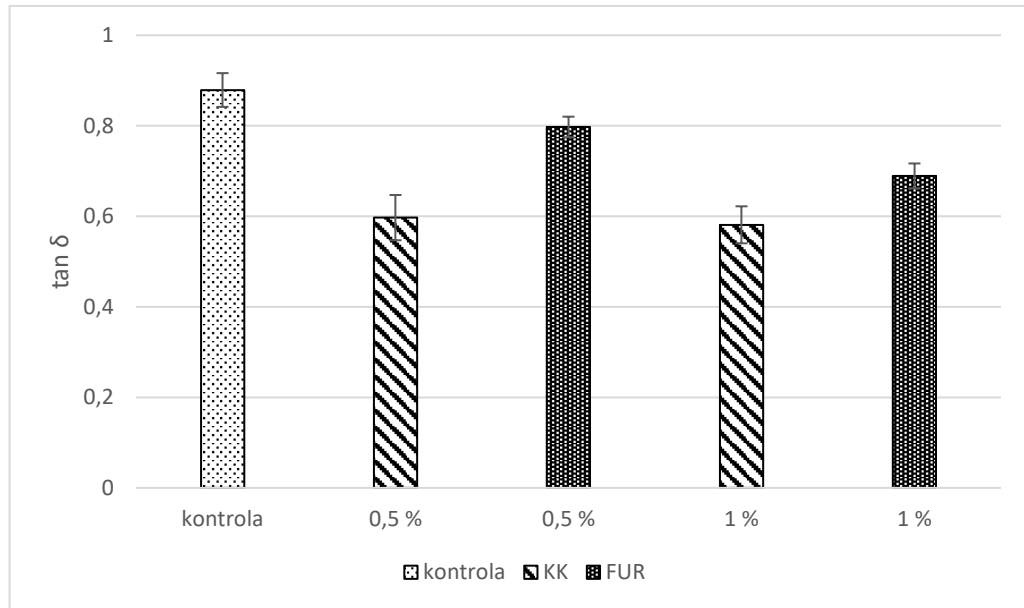
U vzorků s tavicí solí $K_4P_2O_7$ rostla elasticita vzorků více s přidavkem κ -karagenanu, a to v obou přidávaných koncentracích. Ve vzorcích s $K_5P_3O_{10}$ klesl $\tan \delta$ více s přidavkem obou hydrokoloidů v koncentraci 1,0 % (w/w), nelze ale říci, který z hydrokoloidů měl větší vliv na snížení $\tan \delta$, jelikož výsledky nejsou statisticky odlišné.



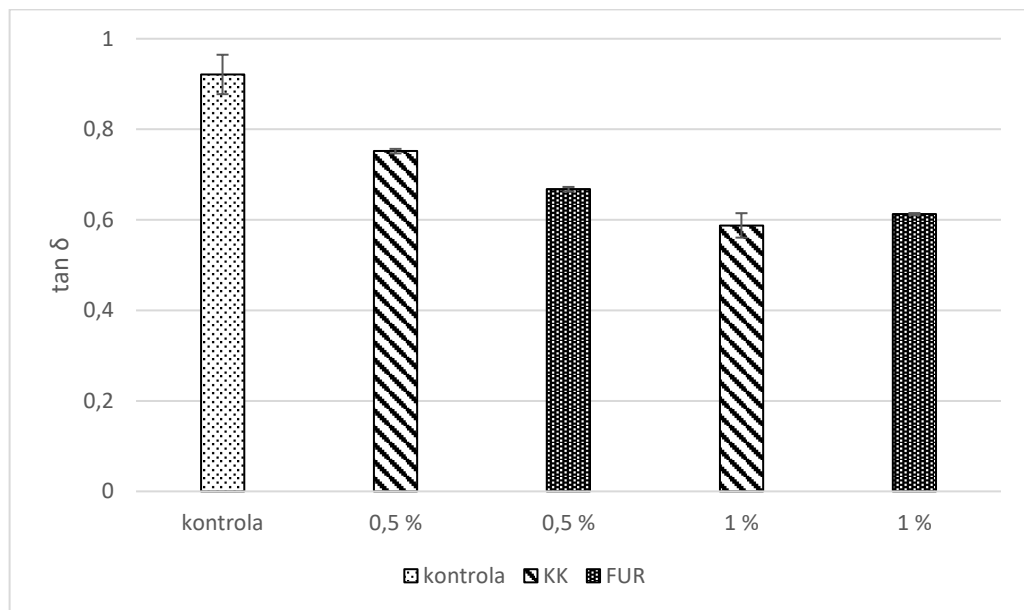
Obrázek 9 Závislost komplexního modulu pružnosti na koncentraci (w/w) furcellaranu a κ -karagenanu v modelových vzorcích s tavicí solí $K_4P_2O_7$ při frekvenci 1 Hz.



Obrázek 10 Závislost komplexního modulu pružnosti na koncentraci furcellaranu a κ -karagenanu v modelových vzorcích s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ při frekvenci 1 Hz.



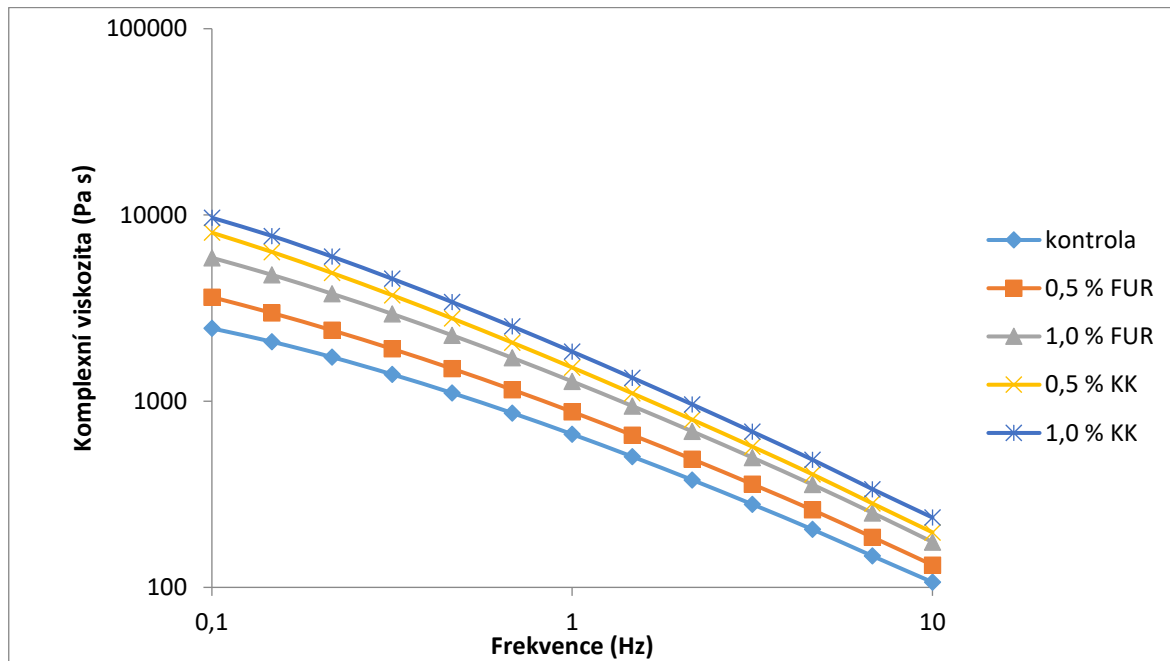
Obrázek 11 Závislost $\tan \delta$ na koncentraci (w/w) furcellaranu a κ -karagenanu v modelových vzorcích s tavicí solí $K_4P_2O_7$



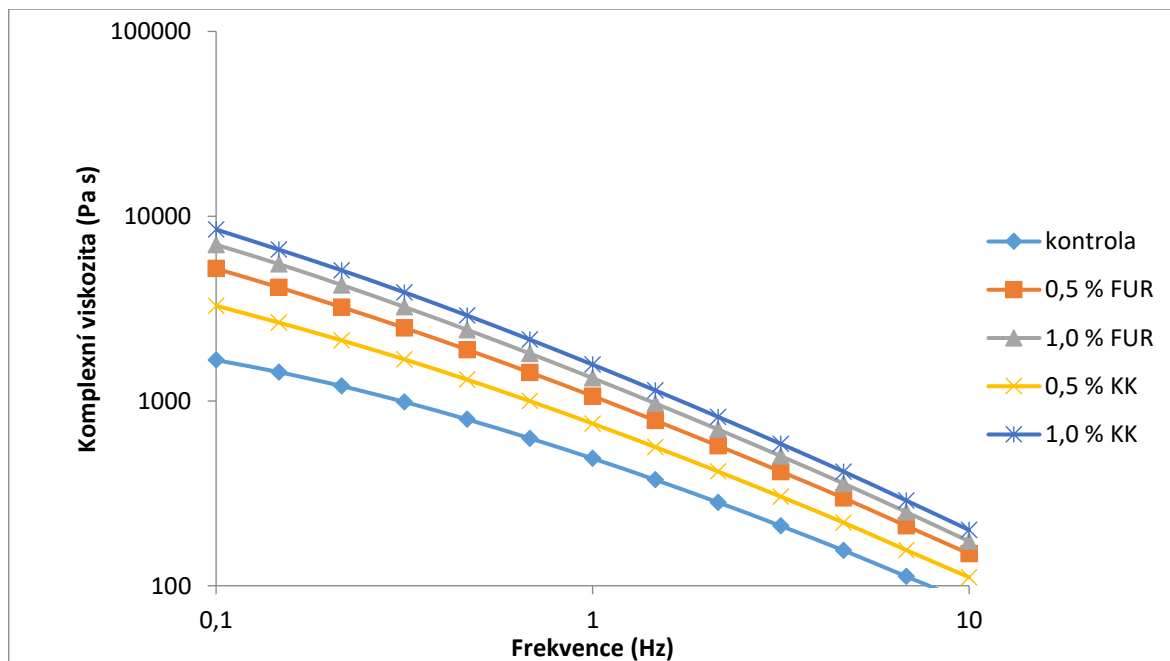
Obrázek 12 Závislost $\tan \delta$ na koncentraci furcellaranu a κ -karagenanu v modelových vzorcích s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$

Nakonec byla vyhodnocena komplexní viskozita modelových vzorků v závislosti na frekvenci 0,1 – 10 Hz (obrázky 13 a 14). Přídavek obou hydrokoloidů měl za následek zvýšení komplexní viskozity v celém rozsahu měření. Viskozita se u všech modelových vzorků snižovala se zvyšující se frekvencí.

Nejvíce zvyšoval komplexní viskozitu přísadavek κ -karagenanu v obou koncentracích u vzorku s tavicí solí $K_4P_2O_7$, u vzorku s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ měly největší vliv přísadky obou hydrokoloidů v koncentraci 1 % (w/w).



Obrázek 13 Závislost komplexní viskozity na frekvenci pro modelové vzorky s přísadky hydrokoloidů s tavicí solí $K_4P_2O_7$



Obrázek 14 Závislost komplexní viskozity na frekvenci pro modelové vzorky s přísadky hydrokoloidů s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$

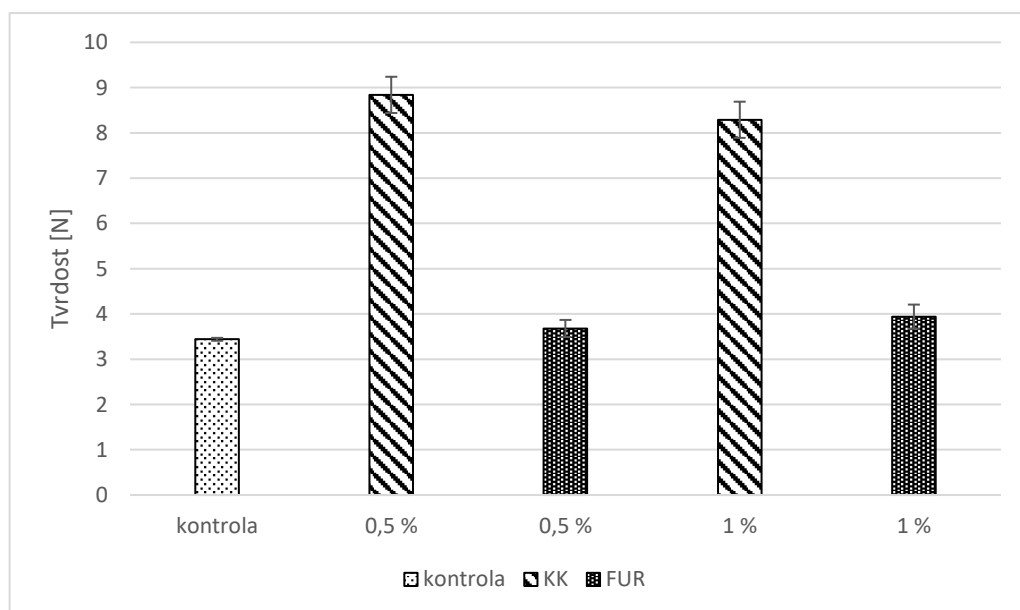
6.3 Vyhodnocení texturní profilové analýzy

Pomocí TPA byly získány hodnoty tvrdosti (vyjádřené jako maximální síla potřebná k docílení požadované deformace), kohezivnosti (soudržnosti) a relativní lepivosti modelových vzorků.

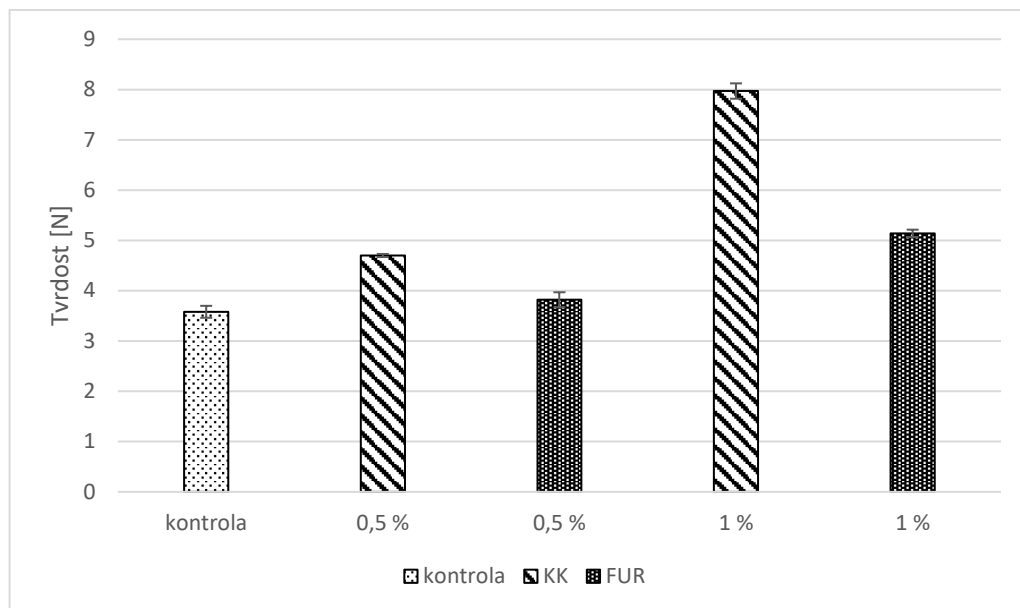
Ze získaných výsledků tvrdosti, jež jsou znázorněny na obrázcích 15 a 16 lze konstatovat, že hlavní vliv na tvrdost výrobku měl převážně pouze κ -karagenan. Přídavek furcellaranu ve srovnání s kontrolními vzorky neměl výrazný vliv na tvrdost a všechny modelové vzorky s jeho přídavkem vykazovaly tvrdost do 4 N, s výjimkou koncentrace 1,0 % (w/w) s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$, kde tvrdost dosáhla 5,14 N.

Vzorky obsahující κ -karagenan byly oproti kontrolním vzorkům výrazně tvrdší. Nejvyšší tvrdost vykazovaly vzorky s přídavkem κ -karagenanu v koncentraci 0,5 % a 1,0 % (w/w) s tavicí solí $K_4P_2O_7$, která se pohybovala nad hranicí 8 N, což je více než dvojnásobek tvrdosti kontrolního vzorku.

Ahmad *at. al.* [49] ve studii hodnotili pomocí TPA texturní vlastnosti tavených sýrů s přídavkem κ -karagenanu a došli k výsledku, že zvyšující se koncentrace κ -karagenanu v taveném sýru měnila vlastnosti gelu a vzorky vykazovaly vyšší tvrdost. Naopak průměrné hodnoty soudržnosti se zvyšující se koncentrací κ -karagenanu vykazovaly klesající trend.



Obrázek 15 Tvrdost vzorků s přídavky jedn. koncentrací furcellaranu a κ -karagenanu s tavicí soli $K_4P_2O_7$



Obrázek 16 Tvrdość vzorků s přidavky jedn. koncentrací furcellaranu a κ -karagenanu s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$

Mezi další parametry zjišťované texturní analýzou patří kohezivnost neboli soudržnost. Přídavek hydrokoloidů na hodnotu kohezivnosti neměl významný vliv u žádného modelového vzorku, většina vzorků měla soudržnost jen nepatrně sníženou oproti kontrolním vzorkům. Hodnoty kohezivnosti všech modelových vzorků se pohybovaly v intervalu 0,53 – 0,68.

Posledním parametrem hodnoceným texturní profilovou analýzou byla relativní lepivost taveného sýra. Stejně jako u vyhodnocení vlivu na kohezivnost neměly modelové vzorky s oběma přidanými hydrokoloidy oproti kontrolním vzorkům výrazně ovlivněnou hodnotu relativní lepivosti v případě tavicí soli $K_4P_2O_7$ a hodnoty relativní lepivosti byly v intervalu 0,70 – 0,90. U modelových vzorků s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ s přidavkem furcellaranu byl pozorován rostoucí trend relativní lepivosti s vyšší koncentrací furcellaranu, kappa-karagenan opět významně neovlivňoval relativní lepivost.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zhodnotit vliv hydrokoloidů – furcellaranu a κ -karagenanu v koncentraci 0,5 a 1,0 % (w/w) na konzistenci tavených sýrů [obsah sušiny 40 % (w/w), obsah tuku v sušině 50 % (w/w)], jež byly vyrobeny s přidavkem draselných tavicích solí [($K_4P_2O_7$ nebo $K_5P_3O_{10}$, koncentrace 2 % (w/w)]. Takto připravené vzorky byly porovnávány s kontrolními vzorky, vyrobenými se stejnou koncentrací tavicí soli, bez přidavku hydrokoloidů.

Z výsledků jednotlivých analýz lze vyvodit tyto závěry:

- Přídavek furcellaranu ani κ -karagenanu v koncentraci 0,5 a 1,0 % (w/w) neovlivnil pH ve všech modelových vzorcích, celkový obsah sušiny byl ve vzorcích s přidavky hydrokoloidů zanedbatelně snížen.
- Furcellaran i κ -karagenan ovlivňoval viskoelastické vlastnosti tavených sýrů. Zvýšení elastického (G') i ztrátového (G'') modulu pružnosti bylo závislé na přidané koncentraci hydrokoloidu, z nichž větší vliv na zvýšení G' měl κ -karagenan.
- Přídavek hydrokoloidů měl vliv na tuhost modelových vzorků. Nejvyšší tuhost prokazoval vzorek s 1,0 % (w/w) κ -karagenanu. Přídavek furcellaranu taktéž navyšoval výslednou tuhost s rostoucí koncentrací, nejvíce při koncentraci 1,0 % (w/w). Výjimkou byl vzorek s 0,5 % (w/w) furcellaranu s tavicí solí $K_4P_2O_7$, kde nebyl mezi tímto vzorkem a kontrolním vzorkem statistický rozdíl.
- Obecně přídavek hydrokoloidu snižoval hodnotu tangenty úhlu fázového posunu delta ($\tan \delta$), což značilo zvýšenou elasticitu vzorku. Dále měly oba hydrokoloidy za následek zvýšení komplexní viskozity v celém rozsahu měření. Viskozita se u všech modelových vzorků snižovala se zvyšující se frekvencí. Nejvíce zvyšoval komplexní viskozitu přídavek κ -karagenanu v koncentraci 1,0 % (w/w).
- Pomocí texturní profilové analýzy byla hodnocena tvrdost, kohezivnost a relativní lepivost modelových vzorků. Přídavek furcellaranu ve srovnání s kontrolními vzorky neměl výrazný vliv na tvrdost, vzorky obsahující κ -karagenan byly oproti kontrolním vzorkům výrazně tvrdší. Oba hydrokoloidy neměly vliv na kohezivnost taveného sýra. Relativní lepivost se zvyšovala jen u vzorků s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ s přidavkem furcellaranu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČESKO. Vyhláška č. 397/2016 Sb. *Vyhláška o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje*. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-397>
- [2] BUŇKA, F. a L. BUŇKOVÁ. *Základní charakteristika tavených sýrů a jejich analogů*. Potravinářská revue. 2010, (6), 29-32.
- [3] ČESKO. Spotřeba potravin a nealkoholických nápojů (na obyvatele za rok). In: *Český statistický úřad*. 2022. Dostupné také z: <https://www.czso.cz/documents/10180/165278791/2701392201.pdf/e6e3334c-3c53-4a09-bbc8-b2a465b0a49f?version=1.3>
- [4] EL-BAKRY, M. a B. M. MEHTA. Overview of processed cheese and its products. In: *Processed Cheese Science and Technology* [online]. Elsevier, 2022, 2022, s. 1-28 [cit. 2023-03-19]. ISBN 9780128214459. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-821445-9.00006-6
- [5] BUŇKA, F. a L. BUŇKOVÁ. *Úloha tavicích solí při výrobě tavených sýrů*. Potravinářská revue. 2009, (1), 13-16. ISSN 1801-9102.
- [6] KŮROVÁ, V., R. N. SALEK, M. ČERNÍKOVÁ, E. LORENCOVÁ, L. ZALEŠÁKOVÁ a F. BUŇKA. Furcellaran as a substitute for emulsifying salts in processed cheese spread and the resultant storage changes. *International Journal of Dairy Technology* [online]. 2022, 75(3), 679-689 [cit. 2023-02-11]. ISSN 1364-727X. Dostupné z: doi:10.1111/1471-0307.12871
- [7] BUŇKA F., L. BUŇKOVÁ, S. KRÁČMAR. *Vybrané hydrokoloidy a emulgátory ve výrobě tavených sýrů*. Acta fytotechnica et zootechnica. Nitra: Slovak University of Agriculture in Nitra, 2009. ISSN 1336-9245.
- [8] BUŇKA, F., L. BUŇKOVÁ a S. KRÁČMAR. *Základní principy výroby tavených sýrů: Basic principles of processed cheese production : monografie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. ISBN 978-80-7375-336-8.
- [9] GUINEE, T. P., M. CARIĆ a M. KALÁB. Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. In: *Cheese: chemistry, physics, and microbiology*. 3rd ed. London: Elsevier, 2004, s. 349-394. ISBN 978-0-12-263653-0.

- [10] Nařízení Evropského parlamentu a Rady 1333/2008: o potravinářsky přídavných látkách. In: 2008.
- [11] TAMIME, A. Y. *Processed cheese and analogues*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2011. Society of Dairy Technology series. ISBN 978-1-4051-8642-1.
- [12] MSAGATI, T. A. M. *The chemistry of food additives and preservatives*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, c2013. ISBN 978-1-118-27414-9.
- [13] ČERNÍKOVÁ, M., F. BUŇKA, M. POSPIECH, B. TREMLOVÁ, K. HLADKÁ, V. PAVLÍNEK a P. BŘEZINA. Replacement of traditional emulsifying salts by selected hydrocolloids in processed cheese production. *International Dairy Journal* [online]. 2010, 20(5), 336-343 [cit. 2023-02-19]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2009.12.012
- [14] CHAVHAN, G. B., S. K. KANAWJIA, Y. KHETRA a R. PURI. Effect of potassium-based emulsifying salts on sensory, textural, and functional attributes of low-sodium processed Mozzarella cheese. *Dairy Science & Technology* [online]. 2015, 95(3), 265-278 [cit. 2023-02-19]. ISSN 1958-5586. Dostupné z: doi:10.1007/s13594-014-0207-0
- [15] HOFFMANN, W., J. GÄRTNER, K. LÜCK, N. JOHANNSEN a A. MAURER. Effect of emulsifying salts containing potassium on the quality of block-type processed cheese. *International Dairy Journal* [online]. 2012, 25(1), 66-72 [cit. 2023-03-05]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2011.11.010
- [16] FOX, P. F., T. P. GUINEE, T. M. COGAN a P. L. H. MCSWEENEY. *Fundamentals of Cheese Science* [online]. Boston, MA: Springer US, 2017 [cit. 2023-03-05]. ISBN 978-1-4899-7679-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4899-7681-9
- [17] WILLIAMS, P. A. a G. O. PHILLIPS. *Handbook of Hydrocolloids*. 2nd Edition. Woodhead Publishing, 2009. ISBN 978-1-84569-414-2.
- [18] *Fennema's Food Chemistry, Fifth Edition* [online]. CRC Press, 2017 [cit. 2023-03-10]. ISBN 9781315372914. Dostupné z: doi:10.1201/9781315372914
- [19] LAAMAN, T. R., ed. *Hydrocolloids in Food Processing* [online]. Wiley, 2010 [cit. 2023-03-10]. ISBN 9780813820767. Dostupné z: doi:10.1002/9780813814490
- [20] SMITH, J. a L. HONG-SHUM, ed. *Food Additives Data Book* [online]. Wiley, 2011 [cit. 2023-03-10]. ISBN 9781405195430. Dostupné z: doi:10.1002/9781444397741

- [21] *Hydrogels Based on Natural Polymers* [online]. Elsevier, 2020 [cit. 2023-03-10]. ISBN 9780128164211. Dostupné z: doi:10.1016/C2018-0-00171-1
- [22] GUINEE, T.P. a B.T. O’KENNEDY. Reducing salt in cheese and dairy spreads. In: *Reducing Salt in Foods* [online]. Elsevier, 2007, 2007, s. 316-357 [cit. 2023-05-03]. ISBN 9781845690182. Dostupné z: doi:10.1533/9781845693046.3.332
- [23] ZHAO, Y., H. KHALESİ, J. HE a Y. FANG. Application of different hydrocolloids as fat replacer in low-fat dairy products: Ice cream, yogurt and cheese. *Food Hydrocolloids* [online]. 2023, 138 [cit. 2023-03-10]. ISSN 0268005X. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodhyd.2023.108493
- [24] CUMHUR, O. a M. KILIC-AKYILMAZ. Special processed cheeses, cheese spreads, and analogue cheeses. In: *Processed Cheese Science and Technology* [online]. Elsevier, 2022, 2022, s. 269-295 [cit. 2023-03-16]. ISBN 9780128214459. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-821445-9.00009-1
- [25] TUVIKENE, R., K. TRUUS, M. ROBAL, et al. The extraction, structure, and gelling properties of hybrid galactan from the red alga *Furcellaria lumbricalis* (Baltic Sea, Estonia). *Journal of Applied Phycology* [online]. 2010, 22(1), 51-63 [cit. 2023-03-13]. ISSN 0921-8971. Dostupné z: doi:10.1007/s10811-009-9425-x
- [26] VELÍŠEK, J. *Chemie potravin*. Tábor: OSSIS, 1999. ISBN 80-902391-3-7.
- [27] ČERNÍKOVÁ, M., F. BUŇKA a R. N. SALEK. Technological aspects of processed cheese: Properties and structure. In: *Processed Cheese Science and Technology* [online]. Elsevier, 2022, 2022, s. 211-248 [cit. 2023-03-16]. ISBN 9780128214459. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-821445-9.00002-9
- [28] EL-BAKRY, M., E. DUGGAN, E.D. O’RIORDAN a M. O’SULLIVAN. Effect of chelating salt type on casein hydration and fat emulsification during manufacture and post-manufacture functionality of imitation cheese. *Journal of Food Engineering* [online]. 2011, 102(2), 145-153 [cit. 2023-03-16]. ISSN 02608774. Dostupné z: doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.08.012
- [29] OZTURK, M. a M. KILIC-AKYILMAZ. Manufacture of processed cheese: Equipments used. In: *Processed Cheese Science and Technology* [online]. Elsevier, 2022, 2022, s. 197-210 [cit. 2023-03-16]. ISBN 9780128214459. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-821445-9.00015-7

- [30] KRATOCHVÍLOVÁ, A., R. N. SALEK, M. VAŠINA, E. LORENCOVÁ, V. KŮROVÁ, Z. LAZÁRKOVÁ, J. DOSTÁLOVÁ a J. ŠENKÝŘOVÁ. The Impact of Different Hydrocolloids on the Viscoelastic Properties and Microstructure of Processed Cheese Manufactured without Emulsifying Salts in Relation to Storage Time. *Foods* [online]. 2022, 11(22) [cit. 2023-03-16]. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods11223605
- [31] BARTH, A.P., C.F. TORMENA a W.H. VIOTTO. PH influences hydrolysis of sodium polyphosphate in dairy matrices and the structure of processed cheese. *Journal of Dairy Science* [online]. 2017, 100(11), 8735-8743 [cit. 2023-03-16]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2017-12764
- [32] BOYLSTON, T. D. The use of vegetable ingredients in processed cheese. In: *Processed Cheese Science and Technology* [online]. Elsevier, 2022, 2022, s. 113-125 [cit. 2023-03-18]. ISBN 9780128214459. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-821445-9.00005-4
- [33] MOLINS, R. A. *Phosphates in Food* [online]. Routledge, 2018 [cit. 2023-03-19]. ISBN 9780203743591. Dostupné z: doi:10.1201/9780203743591
- [34] SALEK, R. N., M. ČERNÍKOVÁ, G. NAGYOVÁ, D. KUCHAR, H. BAČOVÁ, L. MINARČÍKOVÁ a F. BUŇKA. The effect of composition of ternary mixtures containing phosphate and citrate emulsifying salts on selected textural properties of spreadable processed cheese. *International Dairy Journal* [online]. 2015, 44, 37-43 [cit. 2023-03-19]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2014.12.009
- [35] BUŇKA, F., M. ČERNÍKOVÁ a R. N. SALEK. Functionality of salts used in processed cheese manufacture. In: *Processed Cheese Science and Technology* [online]. Elsevier, 2022, 2022, s. 147-176 [cit. 2023-03-19]. ISBN 9780128214459. Dostupné z: doi: 10.1016/B978-0-12-821445-9.00011-X
- [36] ANONYM. ČSN EN ISO 5534:2004, Sýry a tavené sýry – Stanovení obsahu celkové sušiny (Referenční metoda). Praha: Český normalizační institut.
- [37] 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.

- [38] ČERNÍKOVÁ, M., J. NEBESÁŘOVÁ, R. N. SALEK, L. ŘIHÁČKOVÁ a F. BUŇKA. Microstructure and textural and viscoelastic properties of model processed cheese with different dry matter and fat in dry matter content. *Journal of Dairy Science* [online]. 2017, 100(6), 4300-4307 [cit. 2023-05-02]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2016-12120
- [39] GUNASEKARAN, S. a M. Mehmet AK. Dynamic oscillatory shear testing of foods — selected applications. *Trends in Food Science & Technology* [online]. 2000, 11(3), 115-127 [cit. 2023-05-02]. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/S0924-2244(00)00058-3
- [40] MACKŮ, I. *Viskoelastické a senzorické vlastnosti tavených sýrů s přídavkem pektinů*. Zlín, 2009. Disertační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická.
- [41] EVERARD, C.D., D.J. O'CALLAGHAN, B.T. O'KENNEDY, C.P. O'DONNELL, E.M. SHEEHAN a C.M. DELAHUNTY. A THREE-POINT BENDING TEST FOR PREDICTION OF SENSORY TEXTURE IN PROCESSED CHEESE. *Journal of Texture Studies* [online]. 2007, 38(4), 438-456 [cit. 2023-05-03]. ISSN 0022-4901. Dostupné z: doi:10.1111/j.1745-4603.2007.00106.x
- [42] FLOURY, J, B. CAMIER, F. ROUSSEAU, Ch. LOPEZ, J.-P. TISSIER a M.-H. FAMELART. Reducing salt level in food: Part 1. Factors affecting the manufacture of model cheese systems and their structure–texture relationships. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2009, 42(10), 1611-1620 [cit. 2023-05-03]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2009.05.026
- [43] PONS, M. a S.M. FISZMAN. INSTRUMENTAL TEXTURE PROFILE ANALYSIS WITH PARTICULAR REFERENCE TO GELLED SYSTEMS. *Journal of Texture Studies* [online]. 1996, 27(6), 597-624 [cit. 2023-05-03]. ISSN 0022-4901. Dostupné z: doi:10.1111/j.1745-4603.1996.tb00996.x
- [44] WEISEROVÁ, E. *Vliv složení binárních a terciálních směsí fosforečnanových tavicích solí na texturní vlastnosti tavených sýrů*. Zlín, 2012. Disertační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická.
- [45] MARANGONI JÚNIOR, L., R. P. VIEIRA, E. JAMRÓZ a C. A. R. ANJOS. Furcellaran: An innovative biopolymer in the production of films and coatings. *Carbohydrate Polymers* [online]. 2021, 252 [cit. 2023-05-03]. ISSN 01448617. Dostupné z: doi:10.1016/j.carbpol.2020.117221

- [46] KŮROVÁ, V., R.N. SALEK, M. VAŠINA, K. VINKLÁRKOVÁ, L. ZÁLEŠÁKOVÁ, R. GÁL, R. ADÁMEK a F. BUŇKA. The effect of homogenization and addition of polysaccharides on the viscoelastic properties of processed cheese sauce. *Journal of Dairy Science* [online]. 2022, 105(8), 6563-6577 [cit. 2023-05-03]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2021-21520
- [47] SOŁOWIEJ, B. G., M. NASTAJ, J O. SZAFRAŃSKA, S. MUSZYŃSKI, W. GUSTAW, M. TOMCZYŃSKA-MLEKO a S. MLEKO. Effect of emulsifying salts replacement with polymerised whey protein isolate on textural, rheological and melting properties of acid casein model processed cheeses. *International Dairy Journal* [online]. 2020, 105 [cit. 2023-05-05]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2020.104694
- [48] ČERNÍKOVÁ, M., F. BUŇKA, V. PAVLÍNEK, P. BŘEZINA, J. HRABĚ a P. VALÁŠEK. Effect of carrageenan type on viscoelastic properties of processed cheese. *Food Hydrocolloids* [online]. 2008, 22(6), 1054-1061 [cit. 2023-05-08]. ISSN 0268005X. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodhyd.2007.05.020
- [49] AHMAD, S., M. S. BUTT, I. PASHA a A. SAMEEN. Quality of Processed Cheddar Cheese as a Function of Emulsifying Salt Replaced by κ -Carrageenan. *International Journal of Food Properties* [online]. 2016, 19(8), 1874-1883 [cit. 2023-05-09]. ISSN 1094-2912. Dostupné z: doi:10.1080/10942912.2015.1085396
- [50] WEISEROVÁ, E., L. DOUDOVÁ, L. GALIOVÁ, L. ŽÁK, J. MICHÁLEK, R. JANIŠ a F. BUŇKA. The effect of combinations of sodium phosphates in binary mixtures on selected texture parameters of processed cheese spreads. *International Dairy Journal* [online]. 2011, 21(12), 979-986 [cit. 2023-05-13]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2011.06.006

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

FUR	Furcellaran
G'	Elastický modul pružnosti
G''	Ztrátový modul pružnosti
G^*	Komplexní modul pružnosti
KK	Kappa-karagenan
$\tan \delta$	Tangens úhlu fázového posunu
TPA	Texturní profilová analýza
TS	Tavený sýr

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 <i>Schéma výměny iontů sodíku za ionty vápníku při tavení přírodních sýrů tavicí solí se sodnými ionty „NaA“, napravo poté navázané vápenaté ionty na tavicí sůl „CaA“ [upraveno dle 5]</i>	14
Obrázek 2 <i>Zjednodušené schéma výroby tavených sýrů [vytvořeno dle 2]</i>	15
Obrázek 3 <i>Idealizovaná jednotková struktura κ-karagenanu [18]</i>	22
Obrázek 4 <i>Chemická struktura furcellaranu [45]</i>	23
Obrázek 5 <i>Závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci pro vzorky s přidavkem furcellaranu a κ-karagenanu v koncentraci 0,5 a 1,0 % (w/w) s tavicí solí $K_4P_2O_7$</i>	34
Obrázek 6 <i>Závislost elastického modulu pružnosti na frekvenci ve vzorcích s přidavkem furcellaranu a κ-karagenanu v koncentraci 0,5 a 1,0 % (w/w) s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$</i>	34
Obrázek 7 <i>Závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci v modelových vzorcích s přidavkem furcellaranu a κ-karagenanu v konc. 0,5 a 1,0 % (w/w) s tavicí solí $K_4P_2O_7$</i> .35	35
Obrázek 8 <i>Závislost ztrátového modulu pružnosti na frekvenci v modelových vzorcích s přidavkem furcellaranu a κ-karagenanu v konc. 0,5 a 1,0 % (w/w) s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$</i> 35	35
Obrázek 9 <i>Závislost komplexního modulu pružnosti na koncentraci (w/w) furcellaranu a κ-karagenanu v modelových vzorcích s tavicí solí $K_4P_2O_7$ při frekvenci 1 Hz.</i>	37
Obrázek 10 <i>Závislost komplexního modulu pružnosti na koncentraci furcellaranu a κ-karagenanu v modelových vzorcích s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ při frekvenci 1 Hz.</i>	37
Obrázek 11 <i>Závislost $\tan \delta$ na koncentraci (w/w) furcellaranu a κ-karagenanu v modelových vzorcích s tavicí solí $K_4P_2O_7$</i>	38
Obrázek 12 <i>Závislost $\tan \delta$ na koncentraci furcellaranu a κ-karagenanu v modelových vzorcích s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$</i>	38
Obrázek 13 <i>Závislost komplexní viskozity na frekvenci pro modelové vzorky s přidavky hydrokoloidů s tavicí solí $K_4P_2O_7$</i>	39
Obrázek 14 <i>Závislost komplexní viskozity na frekvenci pro modelové vzorky s přidavky hydrokoloidů s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$</i>	39
Obrázek 15 <i>Tvrдость vzorků s přidavky jedn. koncentrací furcellaranu a κ-karagenanu s tavicí solí $K_4P_2O_7$</i>	40
Obrázek 16 <i>Tvrдость vzorků s přidavky jedn. koncentrací furcellaranu a κ-karagenanu s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$</i>	41

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Fosforečnany používané jako tavicí soli [vytvořeno dle 5].....	19
Tabulka 2 Hodnoty pH u modelových vzorků.....	32
Tabulka 3 Celkový obsah sušiny u modelových vzorků	33