

Vliv přísávků kappa-karagenanu a draselných tavicích solí na vybrané vlastnosti tavených sýrů

Bc. Pavla Šubertová

Diplomová práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Pavla Šubertová
Osobní číslo: T21479
Studijní program: N0721A210004 Technologie potravin
Forma studia: Kombinovaná
Téma práce: Vliv přísad kappakaragenanu a draselných tavicích solí na vybrané vlastnosti tavených sýrů

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část

Suroviny pro výrobu tavených sýrů.
Výroba tavených sýrů.
Tavicí soli – draselné a sodné fosforečnany.
Hydrokoloidy a jejich význam v výrobě tavených sýrů.

II. Praktická část

Vyrobte modelové vzorky tavených sýrů.
Proveďte vybrané analýzy.
Vyhodnoťte získané výsledky a zformulujte závěry.

Seznam doporučené literatury:

- [1] 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). <https://doi.org/10.1007/s13594-014-0207-0>
- [2] Černíková, M., Buňka, F., Pavlínek, V., Březina, P., Hrabě, J., & Valášek, P. (2008). Effect of carrageenan type on viscoelastic properties of processed cheese. *Food Hydrocolloids*, 22(6), 1054-1061. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.05.020>
- [3] Černíková, M., Buňka, F., Pospiech, M., Tremlová, B., Hladká, K., Pavlínek, V., & Březina, P. (2010). Replacement of traditional emulsifying salts by selected hydrocolloids in processed cheese production. *International Dairy Journal*, 20(5), 336-343. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.12.012>
- [4] Hemar, Y., Hall, C. E., Munro, P. A., & Singh, H. (2002). Small and large deformation rheology and microstructure of κ -carrageenan gels containing commercial milk protein products. *International Dairy Journal*, 12(4), 371-381. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00032-8)

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martina Polášková, Ph.D.**
Ústav inženýrství polymerů

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

Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2023**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, zda draselné tavicí soli a přídavek kappa karagenanu mají vliv na vybrané vlastnosti tavených sýrů. Jsou v ní podány informace o surovinách, které se k výrobě tavených sýrů používají. Jsou zde popsány draselné a sodné fosforečnany a jejich funkce při výrobě tavených sýrů. Taktéž jsou charakterizovány hydrokoloidy, které byly v této diplomové práci použity k docílení požadovaných vlastností tavených sýrů. V praktické části byly vyrobeny modelové vzorky tavených sýrů s přídavkem draselných tavicích solí a kappa-karagenanu v různých koncentracích a byly provedeny jednotlivé analýzy jako stanovení pH, stanovení sušiny, měření vodní aktivity, analýza textury, posouzení reologických vlastností, analýza barvy a senzorická analýza. Na základě vyhodnocených dat a výsledků můžeme říci, že v případě stanovení tvrdosti byl pozorován jednoznačný trend rostoucí tvrdosti se stoupající koncentrací kappa karagenanu. Jako nejtvrdší byly stanoveny vzorky obsahující 1 % (hm/hm) kappa karagenanu. Lze tedy říci, že použitá tavicí sůl a kappa karagenan mají vliv na zvyšující se tvrdost výrobku. Tento rostoucí trend byl pozorován i pro stanovení žvýkatelnosti a gumovitosti. Co se týká reologických vlastností, všechny vzorky dosahovaly vyšších hodnot elastického modulu pružnosti než ztrátového modulu pružnosti, což odpovídá chování slabého gelu. Modelové vzorky dosahovaly hodnoty pro $\tan \delta$ nižší než jedna, což značí, že se jedná o vzorky více elastické než viskózní. Můžeme říci, že modelové vzorky se stávaly více gelovější s přibývajícím koncentrací kappa karagenanu.

Klíčová slova: tavené sýry, draselné tavicí soli, hydrokoloidy, kappa karagenan, texturní vlastnosti tavených sýrů, reologie tavených sýrů

ABSTRACT

The aim of this thesis was to find out whether potassium emulsifying salt and the addition of kappa carrageenan has an effect on the selected properties of processed cheeses. It contains information about the raw materials used to make processed cheeses. Potassium and sodium phosphates and their functions in the production of processed cheeses are described here. The hydrocolloids that were used in this diploma thesis to achieve the desired properties of processed cheeses are also characterized. In the practical part, model samples of processed cheeses with the addition of potassium emulsifying salts and kappa-carrageenan in different concentrations were produced and individual analyzes such as pH determination, dry matter determination, water activity measurement, texture analysis, assessment of rheological properties, color analysis and sensory analysis were determined. Based on the evaluated data and results, we can say that in the case of hardness determination, a clear trend of increasing hardness was observed with increasing concentration of kappa carrageenan. Samples containing 1 % (w/w) kappa carrageenan were determined to be the hardest. It can therefore be said that the used emulsifying salt and kappa carrageenan have an effect on the increasing hardness of the product. This increasing trend was also observed for the determination of chewiness and gumminess. Regarding the rheological properties, all samples achieved higher values of elastic modulus than loss modulus, indicating a weak gel behavior. The model samples reached values for $\tan \delta$ lower than one, which means that they are more elastic samples than viscous. We can say that the model samples became more gelled with increasing kappa carrageenan concentration.

Keywords: processed cheeses, potassium emulsifying salts, hydrocolloids, kappa carrageenan, textural properties of processed cheeses, rheology of processed cheeses

Ráda bych na tomto místě poděkovala vedoucí diplomové práce Ing. Martině Poláškové, Ph.D. za pomoc a trpělivost při vypracování mé diplomové práce. Taktéž bych ráda poděkovala doc. Ing. Richardos Nikolaos Salek, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a pomoc s vyhodnocením dat mé diplomové práce.

V neposlední řadě patří obrovské díky celé mé rodině, která mi při vytváření této práce velmi pomohla. Děkuji za podporu a obětavost a za pozitivní energii, kterou mi celou dobu studia všichni dodávali, obzvláště můj manžel a syn. Bez nich bych nedokázala dojít až k úspěšnému konci.

Trojí cestou můžeme dojít k moudrosti: za první cestou přemýšlení, cestou to nejušlechtlejší; za druhé cestou napodobování, cestou to nejlehčí, a za třetí cestou zkušenosti, cestou to nejtěžší.

Konfucius

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TAVENÉ SÝRY	12
1.1 HISTORIE TAVENÝCH SÝRŮ	12
1.2 CHARAKTERISTIKA TAVENÝCH SÝRŮ	13
1.3 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY	15
2 VÝROBA TAVENÝCH SÝRŮ	17
2.1 HLAVNÍ SUROVINY PRO VÝROBU TAVENÝCH SÝRŮ	17
2.1.1 Přírodní sýr.....	17
2.1.2 Sladký kasein	21
2.1.4 Syrovátkové proteiny	22
2.2 OSTATNÍ PŘÍSADY POUŽÍVANÉ V TAVENÝCH SÝRECH.....	23
2.3 VÝROBA TAVENÝCH SÝRŮ	24
3 TAVICÍ SOLI – DRASELNÉ A SODNÉ FOSFOREČNANY	27
3.1 DRASELNÉ FOSFOREČNANY	31
3.2 SODNÉ FOSFOREČNANY	31
4 HYDROKOLOIDY A JEJICH VÝZNAM PŘI VÝROBĚ TAVENÝCH SÝRŮ	33
4.1 ROZDĚLENÍ HYDROKOLOIDŮ	33
4.2 VÝZNAM HYDROKOLOIDŮ	36
4.3 KARAGENANANY	37
4.3.1 Proces získávání a výroby karagenanu	38
4.3.2 Kappa karagenan	40
II PRAKTICKÁ ČÁST	42
5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	43
6 MATERIÁL A METODIKA	44
6.1 VÝROBA MODELOVÝCH VZORKŮ TAVENÝCH SÝRŮ	44
6.2 STANOVENÉ ANALÝZY	47
6.3 MĚŘENÍ PH.....	48
6.4 STANOVENÍ SUŠINY	49
6.5 MĚŘENÍ VODNÍ AKTIVITY	51
6.6 ANALÝZA TEXTURY	52
6.7 POSOUZENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ.....	54
6.8 ANALÝZA BARVY	59
6.9 SENZORICKÁ ANALÝZA	61

7	VÝSLEDKY A DISKUZE	63
7.1	VYHODNOCENÍ PH	63
7.2	STANOVENÍ SUŠINY	64
7.3	VYHODNOCENÍ VODNÍ AKTIVITY	64
7.4	VYHODNOCENÍ TEXTURY	66
7.4.1	Tvrdost	67
7.4.2	Relativní lepivost	68
7.4.3	Elasticita	69
7.4.4	Kohezivnost.....	70
7.4.5	Žvýkatelnost.....	71
7.4.6	Gumovitost.....	72
7.5	VYHODNOCENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ.....	73
7.6	VYHODNOCENÍ ANALÝZY BARVY	79
7.7	VYHODNOCENÍ SENZORICKÉ ANALÝZY	81
	ZÁVĚR	84
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	86
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	98
	SEZNAM OBRÁZKŮ	99
	SEZNAM TABULEK	101
	SEZNAM PŘÍLOH	102

ÚVOD

Tavený sýr je mléčný výrobek, který se vyrábí smícháním přírodního sýra, tavicích solí a dalších přísad, ať už mléčného nebo nemléčného původu, a následným zahříváním, dokud nedojde ke vzniku homogenního produktu, který má delší trvanlivost než jiné mléčné výrobky. Hlavním důvodem, proč se na počátku 20. století objevovaly snahy, jak vyrobit tavený sýr, bylo vyrobit výrobek, který bude mít delší trvanlivost a bude jednodušší ho prodat (Kapoor a Metzger, 2008).

Během 20. století se pokusy vyrobit tavený sýr zvyšovaly, udělovaly se patenty, vznikaly důmyslnější výrobní postupy a výrobní techniky a výroba tavených sýrů se zvyšovala. Nyní patří tavené sýry k oblíbeným produktům, který je ve srovnání s většinou ostatních druhů sýrů mnohem levnější, dostupnější a dá se pořídit v široké rozmanitosti chutí, složení a funkčních vlastností, jako je textura, tavitelnost a tekutost. (El-Bakry a Mehta, 2022)

Použití hydrokoloidů se v potravinách je ke změně jejich konzistence. Zahuštění nebo zvýšení viskozity je klíčovou vlastností při použití hydrokoloidů jako emulgátorů, stabilizátorů a strukturních činidel v potravinách. Karagenan je hydrokoloid s unikátními vlastnostmi, který je extrahovaný ze speciálních druhů červených mořských řas. Karagenan hraje zásadní roli v potravinářském průmyslu díky své schopnosti stabilizovat mléčné výrobky. (Pirsa a Hafezi, 2023)

Cílem diplomové práce bylo vyrobit modelové vzorky tavených sýrů s přídavkem kappa-karagenanu a draselných tavicích solí a zjistit, zda má přídavek kappa-karagenanu a draselných tavicích solí vliv na vybrané vlastnosti těchto sýrů.

Diplomová práce byla rozdělena do dvou částí, a to teoretické a praktické. V teoretické části byly charakterizovány tavené sýry, popsána výroba tavených sýrů a taktéž charakterizovány draselné a sodné fosforečnany, které jsou jako tavicí soli přidávány při výrobě tavených sýrů a v neposlední řadě byly charakterizovány hydrokoloidy, které jsou používány při výrobě tavených sýrů pro docílení požadovaných vlastností. V praktické části byly stanoveny jednotlivé analýzy, a to základní chemická analýza, analýza textury, analýza barvy, reometrie a senzorická analýza.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TAVENÉ SÝRY

1.1 Historie tavených sýrů

Sýr je přítomen v lidské stravě již velmi dlouhou dobu, přičemž zdroje v literatuře naznačují, že rané postupy výroby sýra se datují již od roku 5200 před naším letopočtem (Salque et al., 2013).

Sýr obecně, včetně taveného sýra, je bohatý na různé živiny, jako jsou bílkoviny, lipidy, minerální látky a vitamíny (Gouda a Abou El-Nour, 2003).

Sýr může být považován za základní polotovar, který lze použít jako hlavní složku jídla, jako dezert, nebo jako součást jiných pokrmů. Může být konzumován přímo bez přípravy nebo může být použit v různých gastronomických úpravách. Tavené sýrové výrobky představují více než 14 % celosvětové výroby sýrů, což poukazuje na jednu z nejvyšších produkcí jednotlivých druhů sýrů (El-Bakry a Mehta, 2022).

První pokusy o výrobu tavených sýrů se datují k roku 1895. Jako první si patentovala tavené sýry německá sýrová společnost v roce 1899, ale v té době se sýr zpracovával pouze tepelně a k výrobě nebyly použity žádné jiné přísady. Komerční výroba taveného sýra se naplno rozběhla v Evropě a USA mezi lety 1910 a 1920. Bylo usilováno o zlepšení délky trvanlivosti sýru, a to z důvodu znehodnocení sýru vyváženého do vzdálenějších míst. V letech 1912–1913 vyřešili švýcarští vědci Walter Gerber a Fritz Settler tyto problémy zahřátím tvrdého sýra a jako tavicí sůl byl použit citrát. K výrobě byl použit sýr ementálského typu, který byl nakrájen na kousky a zahříván v kotli. Za neustálého míchání byla hmota zahřívána na 80 °C po dobu 10-15 minut. Následně byl horký sýr vložen do hermeticky uzavřených nádob a ochlazen. Tato úprava byla prvním vynálezem taveného sýra. V roce 1916 byla založena první komerční továrna na tavený sýr v USA. Průmyslová výroba taveného sýru v Evropě byla zahájena v roce 1919. Techniky výroby vycházely z čedaru a dalších druhů sýrů a jako tavicí soli byly použity citráty nebo fosfáty. Tyto pokusy vyrobit kvalitní tavený sýr byly dosti omezené, ale kvalita a proces výroby se rozšířil ve 30. letech 20. století, kdy se na trhu objevily další tavicí soli, jako například polyfosfáty.

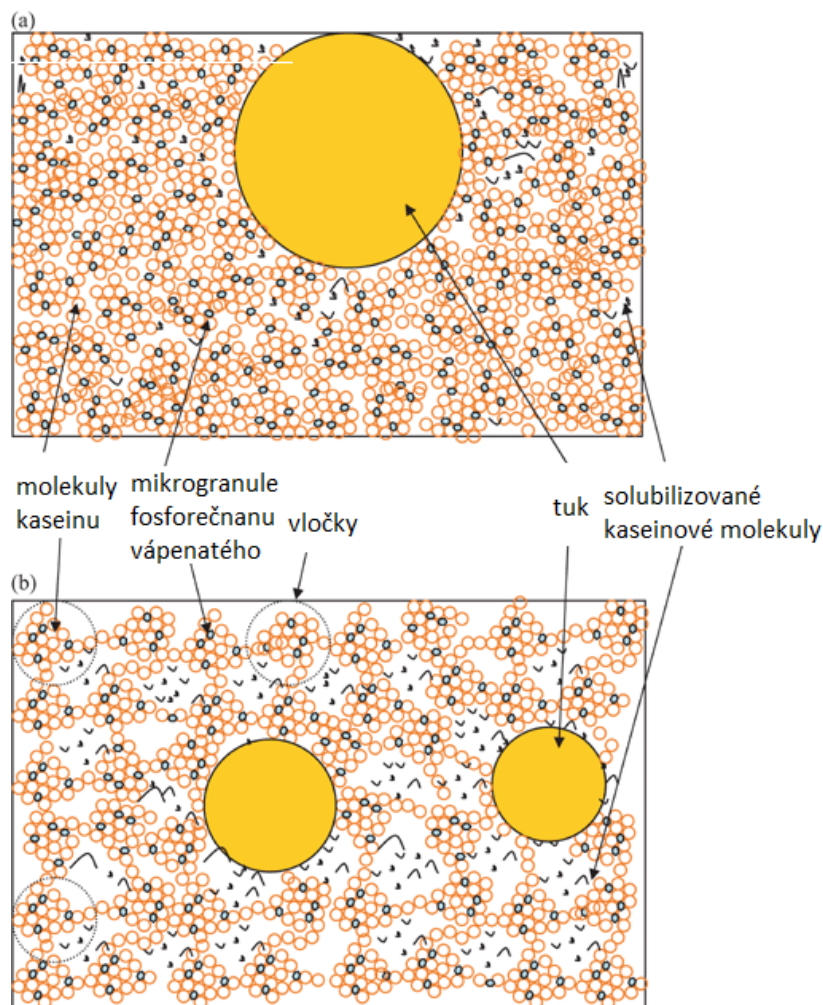
Postupem času se vylepšovaly tavicí kotle, které byly důležité kvůli lepšímu a rovnoměrnějšímu ohřevu a zlepšení promíchávání směsi a emulgace. Toto zlepšení v procesu výroby vedlo k jednotnější kvalitě produktu. Ve 40. a počátkem 50. let 20. století došlo k vynalezení metod a zařízení pro kontinuální tvarování plátků taveného sýra. Norman

Kraft si nechal patentovat v roce 1944 proces, který popisuje výrobu plátků taveného sýra. V tomto procesu byl horký tavený sýr přenesen na několik válců chladicího bubnu. Tenký plát sýra, který byl vyroben, byl poté přenesen na dopravník, kde byl nakrájen, a díky tomu se vytvořily plátky taveného sýra. Tyto plátky sýra byly pružné a měly lesklý hladký povrch. Byl to významný průlom, protože až do této doby byl sýrový bochník jediným druhem sýru dostupným pro koncového spotřebitele.

Výroba a spotřeba tavených sýrů se neustále zvyšovala a dnes se z velkého množství přírodních sýrů vyrábí tavené sýry. Výroba a spotřeba tavených sýrových výrobků vykazovala v období od roku 1990 do roku 1994 neustálý nárůst, zejména v Evropské unii, USA a Japonsku. V současné době tvoří tavené sýrové plátky 74 % celkových tržeb v supermarketech v USA (Boer, 2014; Caric at al., 1985; Gouda a Abou El-Nour, 2003; Tamime, 2011).

1.2 Charakteristika tavených sýrů

Všechny druhy tavených sýrů lze obecně definovat a charakterizovat jako komplexní, vícesložkový mléčný systém, který se dá popsat jako stabilní emulze oleje ve vodě. Struktura taveného sýra se v podstatě skládá z tukové fáze rovnoměrně rozptýlené (ve formě tukových kuliček o průměru přibližně <1 až přibližně $5 \mu\text{m}$) v částečně rozptýlené kaseinové gelové síti, což můžeme vidět na Obrázku 1. Velikost kuliček mléčného tuku ovlivňuje strukturu kaseinové sítě, čímž je také ovlivněna viskozita a pevnost taveného sýra (Fu a Nakamura, 2018; Kapoor a Metzger, 2008; El-Bakry a Mehta, 2022).



Obrázek 1 Schématická struktura (A) přírodního sýra a (B) taveného sýra (Kapoor a Metzger, 2008; El-Barky a Mehta, 2022)

Tavený sýr je označení pro takové sýrové výrobky, které nejsou na rozdíl od přírodních sýrů, vyrobeny přímo z mléka nebo sušeného mléka, ale zahrnují především mléčné nebo nemléčné suroviny. Jako zdroj tuku může tavený sýr obsahovat mléčný tuk nebo máslový olej. Taktéž mezi přídatné látky můžeme zařadit sacharidy, jako jsou polysacharidy, nativní nebo modifikované škroby, popřípadě inulin. V neposlední řadě mezi suroviny, které se používají k výrobě tavených sýrů můžeme zařadit sůl, stabilizátory, barviva, příchutě a různé zvýrazňovače chuti (El-Bakry a Mehta, 2022).

Roztékavost sýra se popisuje podle rozsahu, jak se roztéká během zahřívání. Tavitelnost je zásadní funkční charakteristikou, a to zejména u sýrů, které se používají v pokrmech podávaných za tepla. Během procesu zahřívání sýr prochází řadou strukturních změn. Ve

vodném prostředí zesilují během zahřívání hydrofobní a elektrostatické vazby proteinů. Vodíková vazba se s nárůstem teploty naopak snižuje. Tato změna v rovnováze sil ovlivňuje interakce mezi molekulami kaseinu a molekulami mezi vodou a kaseinem. Další významnou strukturní přeměnou, ke které dochází během tavení sýra, je přeměna tukových kuliček do kapalného stavu. Tyto modifikace jsou významné pro vlastnosti tání sýra (Atik a Huppertz, 2023).

1.3 Legislativní požadavky

Ve vyhlášce č. 274/2019 ze dne 25. října 2019, kterou se mění vyhláška č. 397/2016 Sb., o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje:

- „tavený sýr“ definován jako sýr, který byl upraven tavením.
- Jako „tavený sýrový výrobek“ se označuje mléčný výrobek, který je tepelně ošetřen tavením, obsahuje více než 5 % laktózy a v němž sýr tvoří nejméně 50 % hmotnostních sušiny tohoto výrobku.
- Jako „tavený mléčný výrobek“ se označí mléčný výrobek, který je tepelně ošetřen tavením a obsahuje více než 5 % laktózy.
- Tavený sýr se může označit jako „nízkotučný“, pokud obsahuje max. 30 % tuku v sušině, jako vysokotučný, pokud obsahuje min. 60 % tuku v sušině.
- Jedná-li se o ochucený sýr, musí být uvedena ochucující složka.

Dále musí být uveden v % buď obsah tuku v sýru, nebo obsah tuku v sušině (t.v s.) a obsah sušiny. Uvádění t. v s. je tradiční způsob, uvádění obsahu tuku v sýru je pro spotřebitele srozumitelnější. Obojí je však přípustné (AnonymA, 2019; Suková, 2006; Tamime, 2011). V následující tabulce je uveden přehled povolených složek jiných než sýry pro výrobu tavených sýrových výrobků a tavených mléčných výrobků.

Tabulka 1 Přehled povolených složek jiných než sýry pro výrobu tavených sýrů a tavených sýrových výrobků a tavených mléčných výrobků (AnonymA, 2019)

Složka jiná než sýr	Tavený sýr a tavený roztíratelný sýr		Tavený sýrový výrobek a tavený mléčný výrobek
	druhově pojmenovaný	druhově nepojmenovaný	
Máslo, máselný tuk, smetana, máselný koncentrát	pouze pro standardizaci obsahu tuku	ano	ano
Ostatní mléčné složky	ne	ano obsah nejvýše 5 % hmot. laktózy ve finálním taveném sýru	ano
Jedlá sůl	ano	ano	ano
Bakteriální kultury	ano	ano	ano
Enzymy ^{*)}	ano	ano	ano
Cukry (sacharidy se sladícím účinkem)	ne	ne	ano
Koření a sezónní zelenina	podle druhu výrobku a v množství, které postačuje, aby dodalo konečnému výrobku charakteristickou chuť		
Ostatní zdravotně nezávadné potraviny	ano		ano

^{*)} zdravotně nezávadné se specifickými účinky[®].

Odvětví tavených sýrů je významnou částí mlékárenského odvětví, která jako suroviny používá mlékárenské výrobky. Výrobci tavených sýrů musí zajistit, aby ve všech fázích výroby, zpracování a distribuce potravin, jež kontrolují, vyhověli příslušným hygienickým požadavkům stanoveným v nařízeních (ES) č. 852/2004 a č. 853/2004.

Bezpečných potravin lze dosáhnout prostřednictvím účinných systémů řízení bezpečnosti potravin navržených odpovídajícím způsobem, které zahrnují správnou hygienickou praxi a HACCP. V případě ztráty kontroly, která nebyla odhalena nebo byla odhalena až poté, co výrobek byl propuštěn provozovatelem potravinářského podniku, jsou důležitými nástroji postupy odpovídající sledovatelnosti a zpětného převzetí (Evropská příručka pro hygienickou výrobu tavených sýrů, 2018).

2 VÝROBA TAVENÝCH SÝRŮ

2.1 Hlavní suroviny pro výrobu tavených sýrů

Mezi hlavní suroviny, které se využívají pro výrobu tavených sýrů a podobných produktů můžeme zařadit bílkoviny. Bílkoviny tvoří souvislou hydratovanou matici sýra. Kromě toho bílkoviny stabilizují emulzi oleje ve vodě, a to snížením mezifázového napětí na rozhraní vodné fáze a kapiček oleje, a taktéž zvýšením viskozity vodné fáze, čímž se sníží frekvence spojování mezi kapkami oleje.

Mezi hlavní zdroje proteinů, které se dají použít při výrobě tavených sýrů a podobných produktů můžeme zařadit:

- Přírodní sýry
- Sladký kasein
- Kaseináty
- Syrovátkové proteiny
- Rostlinné bílkoviny používané pro výrobu analogů taveného sýra (El-Bakry a Mehta, 2022)

2.1.1 Přírodní sýr

Mezi mléčnými výrobky je sýr jedním z nejkonzumovanějších potravinářských výrobků na světě, který obsahuje menší množství laktózy. Sýr je potravinou s velmi důležitými nutričními aspekty. Sýr je lehce stravitelný a představuje důležitý zdroj vitamínů (B2, B6 a B12), ale také vápníku, hořčíku, fosforu a dalších stopových prvků, ale také aminokyselin a bílkovin. Sýr má stabilní emulzní gelovou strukturu a jeho hlavní strukturální složkou je kasein.

Sýrem lze označit pouze výrobek vyrobený z mléka sýrařskou technologií, označení sýr nelze použít pro výrobky na bázi rostlinných surovin. Druhové označení sýrů (eidam, gouda atd.) však není vyhláškou definováno, tedy ani chráněno. Sýry lze obecně rozdělit do skupin na přírodní, tavené a syrovátkové. Podrobněji lze tyto skupiny sýrů ještě rozdělit na čerstvé, zrající, plísňové nebo například tvrdé, polotvrdé a měkké sýry (AnonymA, 2019; Kabelova at al., 2009; Suková, 2006).

Ve srovnání s přírodními sýry tavené sýry často poskytují větší rozmanitost, pokud jde o texturu a organoleptické vnímání. K úspěšné výrobě tavených sýrů je potřeba správný výběr a kvalita přírodních sýrů. Je možné použít jednu nebo více druhů přírodních sýrů nebo směsi různého stupně zrání. Každý druh přírodního sýra, jelikož může mít jiný profil chemického složení (což může být dáno použitými surovinami a jinou technologií výroby), toto se může značně projevit ve funkčních vlastnostech tavených sýrů. Mezi kritéria důležitá pro výběr přírodních sýrů můžeme zařadit chuť, texturu, konzistenci a kyselost sýru. Při výrobě taveného sýra by se neměl používat sýr, který vykazuje mikrobiální vady nebo pachů, a to z důvodu, že by se kvalita přírodního sýru promítla do výsledné kvality produktu, která by byla nižší nebo nepřijatelná (Nasiri et al., 2022; Tamime, 2011).

Čerstvě vyrobené sýry různých druhů mají jemnou a do značné míry podobnou chuť a vůni a až během zrání vznikají aromatické sloučeniny, které jsou pro každý druh charakteristické. Biochemické změny, ke kterým dochází během zrání, jsou seskupeny do primárních dějů včetně glykolýzy, lipolýzy a proteolýzy, po nichž následují sekundární biochemické změny, jako je metabolismus mastných kyselin a aminokyselin, které jsou důležité pro produkci sekundárních metabolitů, včetně řady sloučenin nezbytných pro vývoj chuti. Klíčovým znakem výroby sýrů je přeměna laktózy na laktát. Stupeň lipolýzy v sýru závisí na rozmanitosti sýra a může se lišit od mírné až po rozsáhlou. Proteolýza přispívá k texturní změně matrice sýra v důsledku rozpadu proteinové sítě snížením vodní aktivity, a to prostřednictvím navázání vody na uvolněnou karboxylovou aminoskupinu a aminoskupinu. A také zvýšením pH, což usnadňuje uvolňování kyselých sloučenin během žvýkání. Proteolýza se přímo podílí na organoleptickém profilu (např. hořkost) sýra prostřednictvím tvorby peptidů a volných aminokyselin a také uvolnění substrátů (aminokyselin) pro sekundární katabolické změny, tj. transaminace, deaminace, dekarboxylace, odsíření, katabolismus aromatických aminokyselin a reakce aminokyselin s jinými sloučeninami (Kabelova et al., 2009; Murtaza et al., 2014).

Sýry tvoří rozličnou skupinu výrobků, které se odlišují zpracováním sýřeniny, způsobem zrání, složením a taktéž sensorickými vlastnostmi.

Podle vyhlášky č. 274/2019 ze dne 25. října 2019 se přírodní sýry dělí do podskupin uvedených níže v tabulce.

Tabulka 2 Dělení přírodních sýrů (AnonymA, 2019)

Skupina	Podskupina
přírodní sýr	čerstvý
	zrající zrající pod mazem zrající v celé hmotě s plísní na povrchu s plísní uvnitř hmoty dvou plísňový v solném nálevu, bílý pařený
	extra tvrdý (ke strouhání) tvrdý polotvrdý poloměkký měkký

Taktéž se mohou klasifikovat podle:

- podle tvrdosti, tzn. podle obsahu vody v tukuprosté hmotě sýra
- podle obsahu tuku
- podle způsobu zpracování (např. čerstvý, zrající, zrající pod mazem, plísňový) (AnonymA, 2019; Janštová et al., 2012; Suková, 2006)

Tabulka 3 Klasifikace přírodních sýrů podle konzistence ve vztahu k obsahu vody v tukuprosté hmotě sýra (AnonymA, 2019)

Sýr	% WTPH
extra tvrdý	nejvíce 51
tvrdý	49 až 56
polotvrdý	54 až 63
poloměkký	61 až 69
měkký	nejméně 67

WTPH = voda v tukuprosté hmotě sýra

Tabulka 4 Klasifikace přírodních sýrů podle obsahu tuku v sušině (AnonymA, 2019)

Kategorie sýra	Tuk v sušině (v % hmot.)
vysokotučný	nejméně 60,0
plnotučný	nejméně 45,0 a méně než 60,0
polotučný	nejméně 25,0 a méně než 45,0
nízkotučný	nejméně 10,0 a méně než 25,0
odtučněný	méně než 10,0

Široká rozmanitost sýrů vzniká díky různému výběru startovacích kultur nebo různých kroků zpracování sýra, které ovlivňují složení (obsah vody, obsah NaCl, pH). Taktéž různé druhy zvířat, ze kterých mléko pocházelo. Tepelná úprava mléka (syrové, termizované nebo pasterované), a taktéž i podmínky zrání. Sýry lze kategorizovat různými způsoby.

Sýry Eidam a Gouda jsou dva hlavní druhy holandských sýrů a jejich rozdíl je v obsahu mléčného tuku použitého k výrobě sýra. Obecně se u sýrů Eidam a Gouda používá částečně odstředěné mléko a plnotučné mléko. Eidamský sýr je polotvrdý, slaný sýr. Solení sýra Eidam se provádí ponořením sýřeniny do solného roztoku. Koncentrace použitého solného roztoku a doba slanění určují konečný obsah soli ve vyrobeném sýru.

Mezi sýry vyrobené procesem čedarizace můžeme zařadit sýry typu čedar. V důsledku čedarizace se sýr stává viskózní, mléčná bílkovina se transformuje a stává se více stravitelná, zkracuje se doba zrání. Navzdory velmi krátké době zrání má sýr výraznou sýrovou příchuť. (Amiri, Abotalebi Kohneshahri a Nabizadeh, 2022; Bychkova et al., 2020; Chandan, Arun a Nagendra, 2016).

2.1.2 Sladký kasein

Sladký kasein se získává proteolytickou destabilizací kaseinových micel v mléce pomocí chymosinu nebo jiných koagulačních enzymů (pepsin, ficin, papain), které štěpí vazbu mezi Phe105–Met106 κ -kaseinu. Z živočišných syřidel se používají hovězí a vepřový pepsin, dají se také použít mikrobiální a rostlinná syřidla. Sladký kasein se skládá z para- κ -kaseinových micel, což jsou nativní micely, kterým chybí jejich stabilizační vrstva, a to κ -kaseinmakropeptid. Sladký kasein je nejběžněji používaným zdrojem bílkovin a je považován za nejvíce žádaný protein pro výrobu tavených sýrů, díky významnému podílu proteinu na struktuře a funkčnosti výrobků. Sladký kasein je protein, který je nerozpustný ve vodě díky vápníkem zprostředkovaným interakcím mezi proteiny. Sladký kasein je navzdory své nerozpustnosti preferovaným typem proteinu použitím v taveném sýru. Chová se jako čerstvý přírodní tvaroh a dodává vysoký stupeň pružnosti a pevnosti nezahříváního taveného sýra a střední tavitelnost. Částečná náhrada nezrajícího čedaru komerčním sladkým kaseinem dokáže vytvořit pevnější tavený sýr, který má nižší bod tání. Toto je způsobeno vyšším obsahem fosforečnanu vápenatého ve sladkém kaseinu (Buňka, 2013; Corredig, 2009; Janštová et Holec, 2004; El-Bakry a Mehta, 2022; Roseiro et al., 2003).

2.1.3 Kaseináty

Kaseináty jsou získávány přidáním zásad ke kyselému kaseinu. Díky zvýšení pH se kasein rozpustí. V závislosti na použité zásadě se získávají různé druhy kaseinátu, jako například kaseinát sodný, vápenatý, draselný nebo amonný. Funkčnost jednotlivých druhů kaseinátů je zcela odlišná, a to vzhledem ke konkrétní interakci iontů s fosfoserinovými zbytky kaseinu. Funkční a organoleptické vlastnosti sýrů vyráběných pomocí kaseinátů mohou být negativně ovlivněny z důvodu přítomnosti plazminu, který může způsobit mýdlovou nebo zatuchlou chuť tavených sýrů. Vápenaté kaseináty jsou často používány pro výrobu analogů tavených sýrů. Sýry obsahující kaseinát vápenatý mají vyšší pH, měkčí texturu, vysoký stupeň disociace kaseinu a nízký stupeň emulgace tuku. Kaseinát vápenatý také nepřímo ovlivňuje tuhost sýra a schopnost tání. Kaseinát sodný nemá schopnost vytvářet micelární

strukturu, ale je schopen vytvářet gelovou strukturu. Má vynikající schopnost emulgovat tuk a výsledné produkty mají pevnou konzistenci a vyšší pH (El-Bakry a Mehta, 2022; S. et al., 2016).

2.1.4 Syrovátkové proteiny

Syrovátkové bílkoviny jsou vedlejším produktem při zpracování jiných mléčných výrobků. Představují přibližně 20 % obsahu všech bílkovin v mléku. Funkční vlastnosti syrovátkových proteinů mohou být podobné emulgačním solím. Jejich polymerizované formy jsou schopny zahustit sýrovou hmotu a spojit přísady díky schopnosti emulgovat tuk a schopnosti vysoké absorpce vody. Mají také schopnost stabilizovat rozhraní v pěnách a emulzích. Syrovátkové proteiny mají nižší emulgační schopnosti nižší než kasein a kaseináty, jsou ovšem méně citlivé na změny pH. Hlavní výhodou použití syrovátky nebo syrovátkových bílkovin ve výrobě tavených sýrů je jejich obsah nutričně hodnotné mléčné složky, jako je laktoferin, laktoperoxidáza a imunoglobuliny. Použití syrovátkových proteinů v produktech vede k lepší textuře, krájitelnosti a roztíratelnosti. Mikrokoaguláty syrovátkového proteinu (WPM) a syrovátkový proteinový izolát (WPI) se vyznačují specifickými vlastnostmi a jejich díky jejich složení je možnost je použít jako náhradu tuku (Buňka, 2013; Processed Cheese Science and Technology, 2022; Sołowiej et al., 2010; Sołowiej et al., 2020; Sołowiej et al., 2022).

2.2 Ostatní přísady používané v tavených sýrech

V níže uvedené tabulce lze vidět přehled jiných složek než přírodní sýr, které se používají při výrobě tavených sýrů.

Tabulka 5 Přehled přísad používaných při výrobě tavených sýrů a jejich účinky (Corredig, 2009)

Typ přísady v tavených sýrech	Hlavní účinek nebo funkce	Příklady jednotlivých přísad
Mléčný tuk	Dodává požadované složení, texturu a vlastnosti tavitelnosti	Smetana, máslo, bezvodý mléčný tuk
Mléčné bílkoviny	Poskytují požadovanou kompoziční specifikaci a texturu, pomáhají tvořit fyzikálně-chemicky stabilní produkt	Izoláty a koncentráty mléčné bílkoviny, micelární kasein v prášku, syřidlový kasein, sušené odstředěné mléko, kyselý kasein, kaseináty, izoláty a koncentráty syrovátkové bílkoviny, hydrolyzáty mléčné bílkoviny
Laktóza	Nízkonákladové plnivo, ovlivňuje texturu a chuť	Sušená syrovátka, sušená laktóza, sušené odstředěné mléko, tekutá syrovátka
Stabilizátory	Pomáhají tvořit fyzikálně-chemicky stabilní produkt, dodávají požadované vlastnosti textury a tavitelnosti	Tavicí soli: fosforečnany a citráty; hydrokoloidy a gummy: alginát sodný, karagenan, guma guar, xanthan
Regulátory kyselosti, pH	Regulace pH konečného produktu	Potravinářské organické kyseliny, např. mléčná, octová, citronová, fosforečná kyselina

Příchutě	Dodávají chuť, obzvláště při použití mladého sýra	Enzymově modifikované sýry, hydrolyzovaný máslový olej, hydrolyzované mléčné produkty, kvasnicové extrakty, paprika, startovací kultivační destilát, kouřové extrakty
Zvýrazňovače chuti a sladidla	Zvýrazňují chuť, zvyšují sladkost, zejména u produktů pro malé děti	NaCl, kvasnicový extrakt, Sacharóza, dextróza, kukuřičný sirup, hydrolyzovaná laktóza
Barviva	Dodávají požadovanou barvu	Přírodní barviva: výtažky z annatta, beta-karoten, paprika, kurkumin, Riboflavin, chlorofylové přípravky
Konzervační látky	Zpomalují růst plísní, prodlužují životnost	Nisinové, sodné nebo draselné soli, kyselina sorbová, kyselina propionová
Ochucující složka	Rozmanitost vzhledu, chutě a vůně, rozdílnost produktů	Sterilní přípravky z masa, ryb, zeleniny, ořechů a ovoce

2.3 Výroba tavených sýrů

Tavený sýr je mléčný produkt vznikající technologickou tepelnou úpravou přírodních sýrů obvykle za přídavku tavicích solí. Nejdůležitější část výroby tavených sýrů je zahřívání hmoty za stálého míchání po určitou dobu. Tento proces je známý jako tavicí proces. Zahřívá se do té doby, dokud nevznikne homogenní hmota. Vyroběný produkt, může být obecně popsán během chlazení jako tuhnutí gelová emulze olej ve vodě, která je stabilizována hydratovanou proteinovou fází. Tavený sýr podléhá relativně velmi malým nebo téměř žádným změnám během skladování v chladírenském režimu ve srovnání s přírodními sýry, které obecně procházejí významnými přeměnami v období po výrobního zrání. Zahřívání

směsi inaktivuje mikroorganismy včetně enzymů přítomných v přírodních sýrech, díky tomu vznikne produkt s prodlouženou trvanlivostí. Kasein obsažený v přírodních sýrech má určité emulgační vlastnosti. Tavicí soli, jako jsou citráty a fosfáty, se podílí na stabilitě taveného sýra (Processed Cheese Science and Technology, 2022; Talbor-Walsh, Kannar, Selomuya, 2018; Tamime, 2011).

Tavení v závislosti na teplotě má pasterační, případně sterilizační účinek. Roztavená hmota se za horka balí a vychlazuje v obalech. Tavený sýr se vyrábí zahříváním přírodních sýrů různých druhů, stárí a zralosti za přítomnosti vhodných tavicích solí a za pomoci mechanického míchání. Při výrobě taveného sýra se nerozpustný kalcium para-kaseinový gel přírodního sýra vlivem zahřívání a působením emulgátorů a míchání mění na parakaseinát – homogenní, tekoucí hmotu (Gouda a Abou El-Nour, 2003; Janštová et al., 2012).

Běžně se teplota záhřevu tavených sýrů se pohybuje kolem 85 °C. Obecně platí, že produkty, které jsou sterilovány mají vyšší hodnoty vodní aktivity, což vyžaduje zabezpečení nízké teploty během skladování, aby nedošlo k vyklíčení klostridiových spor, kdyby produkt nebyl skladován za nízkých chladírenských teplot. Proto se tavený sýr obecně skladuje při 4–8 °C, aby se zabránilo mikrobiálnímu růstu. Chladírenské skladování má však vysoké požadavky na podmínky přepravy a skladování sýra, což omezuje každodenní spotřebu a konzervaci taveného sýra v některých oblastech s nedokonalým chladícím řetězcem. Sterilované tavené sýrové výrobky se běžně zahřívají na teplotu 140 °C po dobu 10 s. Rozsah teplot, které se používají ke sterilaci tavených sýrů se pohybuje v rozmezí 128 °C až 145 °C. Pasterované produkty jsou produkty zahřáté na 72–95 °C pomocí přímého vstříkovaní páry ve vakuu. Důležitým je dodržet teplotu plnění alespoň 72 °C, tak aby byla zajištěna dostatečná pastace obalu (Janštová et al., 2012; Li et al., 2023; Tamime, 2011).

Tavicí proces zlepšuje vlastnosti taveného sýra, zejména jeho viskozitu a mechanické vlastnosti. Neustálé zvyšování viskozity během zahřívání se nazývá krémovací efekt a samotné nepřetržité zahřívání se nazývá krémování. Krémovací efekt může být také vyvolán chlazením a skladováním, kdy dochází ke změně kaseinové sítě (Fu a Nakamura, 2018; Saitou et al., 2010).

Aplikace tavicích solí vede k peptizaci řetězce, disperzi, hydrataci a bobtnání proteinů a emulgaci a stabilizaci tuku. Nejčastěji se používají sodné soli fosforečnanů a polyfosforečnanů. Afinita k vápenatým iontům stoupá s rostoucí délkou řetězce, což vede ke zvýšené peptizaci kaseinu. Během fáze ochlazování při výrobě taveného sýra pomáhají

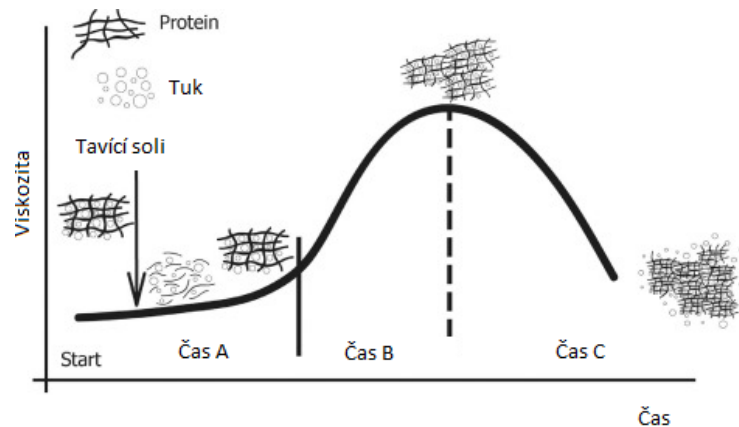
ionty vápníku vytvořit finální trojrozměrnou proteinovou síť. Stabilita emulzního gelového systému klesá s rostoucí teplotou skladování a tavený sýr je náchylný k uvolňování tuku a měknutí textury (Černíková et al., 2010; Li et al., 2023).

Pomocí různých faktorů souvisejících s výrobou taveného sýra je možné třídít a vybírat vlastnosti konečného produktu, např. měkký, pevný, krájitelný, roztíratelný produkt atd. Konzistence taveného sýra může být ovlivněna mnohými faktory, mezi které patří druh a chemické složení použitého přírodního sýra (obsah sušiny, tuku, bílkovin a vápníku, stupeň zralosti), druh a koncentrace tavicích solí, přítomnost a koncentrace iontů (zejména iontů vápníku, sodíku a draslíku), a takéž použití různých volitelných mléčných a nemléčných složek. Mezi další faktory ovlivňující výsledný výrobek náleží pH roztavené hmoty, podmínky zpracování a skladování (teplota zpracování a skladování, rychlost míchání, čas a teplota tavení, rychlost chlazení) a případné použití některých hydrokoloidů (Gouda a Abou El-Nour, 2003; Salek et al., 2017).

3 TAVICÍ SOLI – DRASELNÉ A SODNÉ FOSFOREČNANY

Tavicími solemi jsou látky, které zvyšují rozpustnost bílkovin a převádějí je do disperzní formy za účelem homogenního rozložení tuků a ostatních složek. Při výrobě směsi tavených sýrů je výběr správných tavicích solí považován za jeden z nejdůležitějších aspektů. Tyto soli zajišťují vytvoření homogenní struktury a docílení požadované konzistence, neboť zabráňují destrukci ochranné lipoproteinové membrány na povrchu tukových kuliček. Narušení této membrány vede roztavení tukové fáze sýra a její následné agregaci a separaci. Současně se předpokládá také agregace a kontrakce proteinů, což má za následek vznik heterogenní směsi, která není sensoricky akceptovatelná spotřebitelem. (Buňka et al., 2014; Saltmarsh's Essential Guide to Food Additives, 2021; El-Bakry a Mehta, 2022).

Tavicí soli významně ovlivňují pH, funkční a sensorické vlastnosti taveného sýra, ale také texturu a mikrostrukturu. Schopnost vázat vápník úzce souvisí se schopností k hydrataci a solubilizaci bílkovin. Tavicí soli zajišťují iontovou výměnu vápenatých solí za sodné, když se nerozpustný parakaseinát vápenatý mění na parakaseinát sodný, který lze snadno dispergovat a tím podporuje dostatečnou emulgaci tuku a stabilizaci vody v matrici. Nejlépe se to provádí pomocí tavicích solí s jednomocným kationtem a vícemocným aniontem a účinnost se obecně zvyšuje s mocenstvím aniontu. Nejčastěji používanými skupinami emulgačních solí pro výrobu tavených sýrů jsou soli na bázi citrátů a fosfátů. Tavicí soli zajišťují iontovou výměnu vápenatých solí za sodné, když se nerozpustný parakaseinát vápenatý mění na parakaseinát sodný, který lze snadno dispergovat a tím podporuje dostatečnou emulgaci tuku a stabilizaci vody v matrici. Během procesu ohřevu a následného ochlazování taveniny dochází k procesu „krémování“ – tedy vzniku konečné struktury taveného sýra.



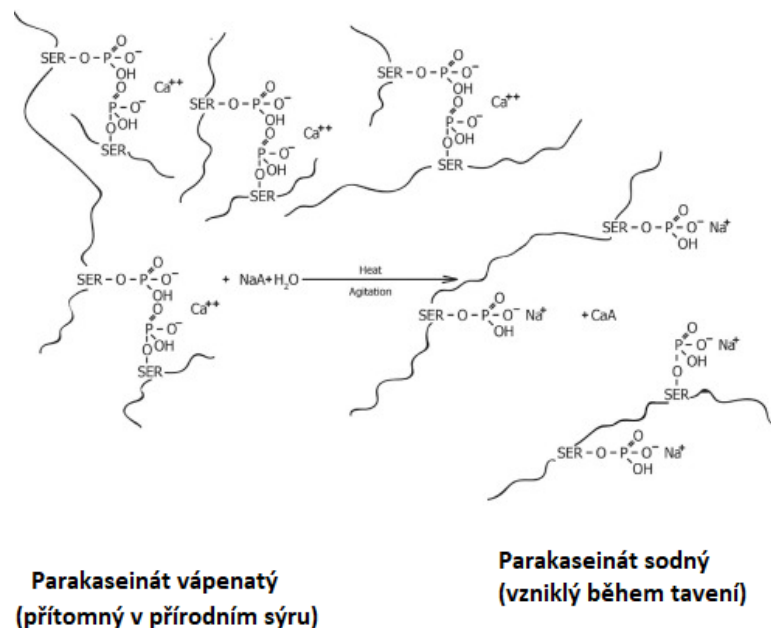
Obrázek 2 Změna viskozity a struktury během tavení sýrů

Čas A – iontová výměna a disperze kaseinů; Čas B – hydratace kaseinů, emulgace tuku, zahájení a následné uspořádání nové proteinové sítě; Čas C – překrémování – uvolnění tuku a vody z kaseinové matrice. (Buňka, Černíková a Salek, 2022)

Tvorbu trojrozměrné sítě matrice, jejíž základ tvoří dispergované kaseinové proteiny, podporují vápníkové můstky, hydrofobní interakce, disulfidové můstky, vodíkové můstky a v neposlední řadě kalcium-fosfátové komplexy. Použití různých kombinací emulgačních solí vede k výrobě tavených sýrů s různou konzistencí (od snadno roztíratelné až po houževnatou) nebo s různými funkčními vlastnostmi (např. různá tavitelnost). Na konzistenci tavených sýrů má taktéž vliv rychlost zahřívání a rychlost emulgace. Mají za následek měkčí tavený sýr a dobře emulgovaný tavený sýr vykazuje vyšší tvrdost a sníženou tavitelnost.

Během tavení dochází k rychlé hydrolyze polyfosfátů na trifosfáty a difosfáty, což způsobuje podstatné zvýšení tuhnutí taveného sýra. Je to přisuzováno vyšší schopnosti produktů hydrolyzy (zejména trifosfátů) agregovat kasein a emulgovat tuk, čímž dochází k vytvoření 3-D sítě a vede k tužšímu a elastičtějšímu tavenému sýru. Přibližně 50 % přidaných fosforečnanů je hydrolyzováno během procesu tavení a zbytek je hydrolyzován po 7 až 10 týdnech skladování. Produkty hydrolyzy mají větší schopnost agregace a tvorbu komplexu kaseinát-Ca a fosfát tvoří tužší a pružnější strukturu. Schopnost tvořit tuhounou strukturu a podporovat trojrozměrnou síť má následující pořadí: ortofosfát < polyfosfát < difosfát < trifosfát. Kromě toho difosfáty a trifosfáty způsobují lepší emulgaci tuku, což má za následek vyšší tuhost taveného sýra. Ortofosfáty nebo difosfáty v nižším množství tedy nemohou vykazovat své specifické vlastnosti a poskytují tavený sýr s nižší tvrdostí (Buňka

et al., 2014; Deshwal et al., 2023; McSweeney et al., 2017; Sołowiej et al., 2020; Tamime, 2011).



Obrázek 3 Iontová výměna při tavení suroviny (Buňka, Černíková a Salek, 2022)

Pro komerční použití jsou tavicí soli stále častěji dodávány jako směsi fosfátů, popř. fosfátů a citrátů. Tyto tavicí směsi jsou vyrobeny přesně na míru, aby byly schopny plnit specifické funkce, pro které jsou tyto směsi namíchány, a to například různé stupně tavitelnosti, krájení nebo roztíratelnosti. A to u různých druhů tavených sýrů, ať už plátkových, bloků nebo roztíratelných výrobků, které jsou vyrobeny za různých podmínek. V Evropské unii mezi předpisy upravující zavádění potravinářských přídatných látek patří směrnice 95/2/ES a 2003/114/ES, které umožňují přidávat fosforečnany v množství nepřesahujícím 5000 mg P_2O_5 na kg výrobku. Přitom maximální denní tolerovaný příjem (MDTI) je 70 mg na 1 kg tělesné hmotnosti včetně fosfátů pocházejících ze svalů. Jako potravinářské přísady jsou v potravinářských výrobcích povoleny fosforečnany sodné a draselné (Cichy, Folek a Krzton, 2009; McSweeney et al., 2017).

Podle amerického Úřadu pro kontrolu potravin a léčiv FDA je schváleno pro použití při výrobě tavených sýrů 13 tavicích solí, a to buď samostatně nebo v kombinaci.

Mezi tyto tavicí soli patří látky uvedené níže, a to:

- fosforečnan sodný, fosforečnan sodný, fosforečnan draselný, fosforečnan sodný, metafosforečnan sodný (hexametafosforečnan sodný), difosforečnan

sodný, difosforečnan tetrasodný, fosforečnan hlinitý sodný, citrát sodný, citrát draselný, citrát vápenatý, tartrát sodný a tartrát sodno-draselný

- maximální povolené množství těchto tavicích solí je takové, že hmotnost pevných látek takového emulgačního činidla není větší než 3 procenta hmotnosti pasterizované potraviny z taveného sýra. (Chen a Liu, 2012; FDA, U.S. Food and Drug Administration, 2023)

Fosfor patří mezi základní prvky potřebné pro lidské tělo, na druhé straně jeho nadměrné množství může být škodlivé pro kostní strukturu a mohlo by přispívat k osteoporóze, zejména v kombinaci s nízkou spotřebou vápníku. Optimální poměr vápníku ku fosforu ve stravě je 1:1 nebo vyšší. V tavených sýrech vysoké množství fosforu snižuje poměr vápníku ku fosforu (na 1:1,5–3,0), což by podle některých studií mohlo mít vliv na vznik osteoporózy. Tradiční tavicí soli také obsahují vysokou koncentraci sodíku (až 30 %, hm./hm.). V dnešní době je vysoké množství sodíku v lidské výživě považováno za rizikový faktor mnoha onemocnění. Fosfáty mohou být důležité k výrobě dietních výrobků se sníženým obsahem soli. Použití polyfosfátů o koncentraci 0,35–0,5 % může pomoci snížit obsah soli ve výrobcích z 2,5 % na 1,5 %. Dalšího snížení sodíku v dietních výrobcích s nízkým obsahem sodíku lze dosáhnout nahrazením běžných fosforečnanů sodných fosforečnany draselnými (Cichy, Folek a Krzton, 2009; Černíková et al., 2010).

Terminologie a výroba fosfátů byla popsána v roce 1971 van Wazerem a Bellem. Fosfáty mají strukturu, ve které je každý atom fosforu překryt ze všech čtyř stran atomy kyslíku. Sousední PO_4 skupiny mohou reagovat a sdílet jeden nebo více kyslíkových atomů vytvářet kondenzované fosfáty $-\text{P}-\text{O}-\text{P}-$. Ty mohou být buď lineární, kdy jeden atom kyslíku je sdílen sousedními PO_4 skupinami nebo cyklické (metafosfáty), pokud dojde ke sdílení třech atomů kyslíku.

Byla prokázána antimikrobiální aktivita tavicích solí, jak v inhibičním účinku růstu tak i prodloužení délky lag fáze několika skupin a druhů bakterií. Hlavními bakteriálními cíli těchto studií byly alimentární patogeny. Výskyt patogenních a nepatogenních bakterií obecně indikuje v mnoha případech sekundární kontaminaci, kdy se tyto mikroorganismy dostanou do produktů po výrobě, zejména pokud produkt není zabalen při vhodné teplotě pod 60–70 °C, nebo pokud nejsou dodrženy hygienické podmínky při výrobě (Fusieger et al., 2023).

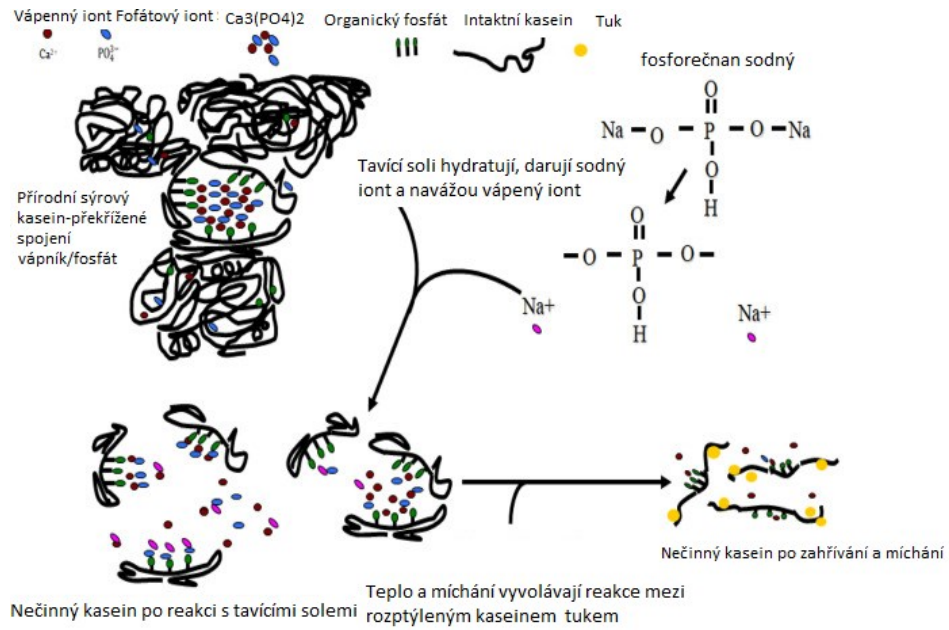
3.1 Draselné fosforečnany

Využití tavicích solí na bázi draslíku pro zpracování a částečné nahrazení NaCl vede ke snížení obsahu sodíku v konečném výrobku. Při záměně sodných tavicích solí draslíkem probíhá řízená výměna vápníku draslíkem. Tavicí soli na bázi sodíku, jako například fosforečnan disodný, sekvestrují vápník a upravují pH během výroby taveného sýra. Tato funkce tavicích je důležitá pro vznik jedinečné mikrostruktury a funkčních vlastností tavených sýrů. Náhrada sodných tavicích solí draselnými vede k obavám, aby nedošlo k ovlivnění této mikrostruktury a funkčních vlastností tavených sýrů. Dalším problémem spojeným s používáním emulgačních solí na bázi draslíku je jejich vliv na chuťové a senzorické vlastnosti, jako je snížení celkové slanosti a rozvoj hořkých a chemicko-kovových pachů ve finálním taveném sýru. Draselné tavicí soli taktéž způsobují o něco menší emulgaci při ekvivalentních koncentracích jako soli sodné.

Studie došly k závěru, že tavicí soli na bázi draslíku mohou nahradit tavicí soli na bázi sodíku. Použití draselných tavicích solí při substituci NaCl za KCl v potravinách je omezeno vznikem kovových, hořkých a jiných chutí. Mezi další obavy týkající se výroby tavených sýrů s nižším obsahem sodíku, které je třeba překonat, patří bezpečnost potravin, kvalita a funkčnost (Johnson et al., 2009; Hoffmann et al., 2012; Chavhan et al., 2015; Mozuraityte et al., 2019).

3.2 Sodné fosforečnany

Sodné soli fosforečnanů se používají v mnoha oblastech potravinářského průmyslu, včetně mlékárenského průmyslu. V mlékárenské technologii se tyto sloučeniny používají především při výrobě tavených sýrů a také ke stabilizaci některých tekutých mléčných výrobků. Nepřítomnost tavicích solí by vedla k tvorbě nehomogenní hmoty. Mezi vlastnosti sodných fosforečnanů patří schopnost výměny iontů vápníku za sodné ionty a schopnost tvorby gelu mléčných bílkovin. Tvrdost výsledných tavených sýrů je ovlivněna použitím specifických tavicích solí. Nejnížší je při použití monofosfátů pro výrobu. S rostoucím počtem atomů fosforu v molekule fosforečnanu použitého jako tavicí sůl je dosahováno vyšší tvrdosti tavených sýrů. Použitím sodných fosforečnanů je taktéž ovlivněna tavitelnost, která je nižší než ve srovnání se sýrem vyrobeným pomocí citrátů. Je to způsobeno tím, že fosfátový anion je funkčnějším Ca^{2+} chelantem než citrátový anion při vývoji vnitřní struktury proteinové matrice (Buňka et al., 2014; Mozuraityte et al., 2019; Weiserová et al., 2011).



Obrázek 4 Reakce tavicích solí během tavicího procesu (Hammam, Kapoor a Metzger, 2023)

4 HYDROKOLOIDY A JEJICH VÝZNAM PŘI VÝROBĚ TAVENÝCH SÝRŮ

Hydrokoloidy jsou velkou a heterogenní skupinou biopolymerních sloučenin na bázi polysacharidů nebo proteinů, které se snadno dispergují ve vodě a jsou zcela nebo částečně rozpustné a náchylné k bobtnání ve vodě. Hydrokoloidy mění fyzikální vlastnosti roztoku tvorbou gelu nebo zahušťováním, emulgováním, potahováním a stabilizací. Do potravinářských výrobků se přidávají ve velmi malých množstvích, obvykle méně než 1,0 %. Hydrokoloidy lze třídit podle jejich zdrojů, chemických struktur a iontových vlastností.

Hydrokoloidy mohou pocházet z různých zdrojů. Jsou získány přirozeně z rostlin, zvířat a některé z nich dokonce mikroorganismy. Mohou být také polosyntetické, jako jsou deriváty celulózy. Nejčastěji používanými hydrokoloidy na bázi polysacharidů jsou přírodní a modifikované škroby, karagenan, pektin, xanthan a arabská guma. Mezi nejčastější proteinové hydrokoloidy patří želatina, kasein, kaseináty a syrovátkové proteiny (Černíková et al., 2010; Pirsá a Hafezi, 2023; Zhang et al., 2021).

4.1 Rozdělení hydrokoloidů

Většina hydrokoloidů patří do kategorie polysacharidů a jsou klasifikovány podle zdroje, odkud se získávají. Mezi gumy, které se získávají ze stromů patří například guma karya, tragant, guma qati, arabská guma a další rostlinné gumy.

Agar, alginát, karagenan, furcelleran jsou získávány z mořských řas a želatina a chitin patří do kategorie živočišných hydrokoloidů.

V další klasifikaci spadají všechny tyto kategorie do tří kategorií, a to:

- 1) přírodní gumy nalezené v přírodě,
- 2) modifikované gumy vyrobené z přírodních gum na základě chemických modifikací
- 3) syntetické gumy, které jsou vyráběny na základě chemické syntézy.

Dalším dělením může být například dělení dle termoreverzibility.

Tabulka 6 Dělení hydrokoloidů podle termoreverzibility (Williams a Phillips, 2009)

Termoreverzibilní gelující látky	
Želatina	Gel vzniklý ochlazením. Molekuly podléhají přechodu spirála-šroubovice, po kterém následuje agregace spirál.
Agar	Gel vzniklý ochlazením. Molekuly podléhají přechodu spirála-šroubovice, po kterém následuje agregace spirál.
Kappa karagenan	Gel vzniklý ochlazením v přítomnosti solí, zejména draselných solí. Molekuly podléhají přechodu spirála-šroubovice, po kterém následuje agregace spirál. Draselné ionty se specificky vážou na šroubovice. Přítomné soli snižují elektrostatické odpuzování mezi řetězci a podporují agregaci.
Iota karagenan	Gel vzniklý ochlazením v přítomnosti solí. Molekuly podléhají přechodu spirála-šroubovice, po kterém následuje agregace spirál. Přítomné soli snižují elektrostatické odpuzování mezi řetězci a podporují agregaci.
Nízký methoxylový (LM) pektin	Gely se tvoří v přítomnosti dvojmocných kationtů, zejména vápníku, při nízkém pH (3–4,5). Molekuly zesíťované kationty. Nízké pH snižuje mezimolekulární elektrostatické odpuzování.
Gellanová guma	Gely vzniklé ochlazením v přítomnosti solí. Molekuly podléhají přechodu spirála-šroubovice, po kterém následuje agregace spirál. Soli snižují elektrostatické odpuzování mezi řetězci a podporují agregaci. Vícemocné ionty mohou působit zesíťováním řetězců. Gely gellanu s nízkým obsahem acylů jsou termoreverzibilní při nízkých koncentracích soli, ale netermoreverzibilní při vyšším obsahu soli (> 100 mM), zejména v přítomnosti dvojmocných kationtů.

Methylcelulóza a hydroxypropylmethylcelulóza	Gely vzniklé zahřátím. Molekuly se při zahřívání spojují díky hydrofobní interakci methylových skupin.
Xanthanová guma a guma ze svatojánského chleba nebo konjac mannan	Gely se tvoří na chladících směsích. Xanthanové a polymannanové řetězce se spojují po přechodu xanthanová spirála-šroubovice. U žvýkačky ze svatojánského chleba jsou do asociace zapojeny oblasti s deficitem galaktózy.
Tepelně nevratné gelující látky	
Alginát	Gely vzniklé přidáním vícemocných kationtů, zejména vápníku, nebo při nízkém pH (<4). Molekuly zesíťované polyvalentními ionty. Zbytky kyseliny guluronové poskytují vyboulenou konformaci poskytující účinné vazebné místo pro kationty (model vaječné krabice).
Vysoký methoxylový (HM) pektin	Gely vzniklé při vysokém obsahu rozpustných pevných látek (např. 50 % cukru) při nízkém pH <3,5. Vysoký obsah cukru a nízké pH snižují elektrostatické odpuzování mezi řetězci. Řetězové sdružení také podporováno sníženou vodní aktivitou.
Konjac mannan	Po přidání alkálie dochází k vytvoření gelu. Alkálie odstraňují acetylové skupiny podél polymerního řetězce a dochází ke spojení řetězců.
Žvýkačka ze svatojánského chleba	Po zmrazení se vytvořily gely. Sdružují se oblasti s nedostatkem galaktózy.

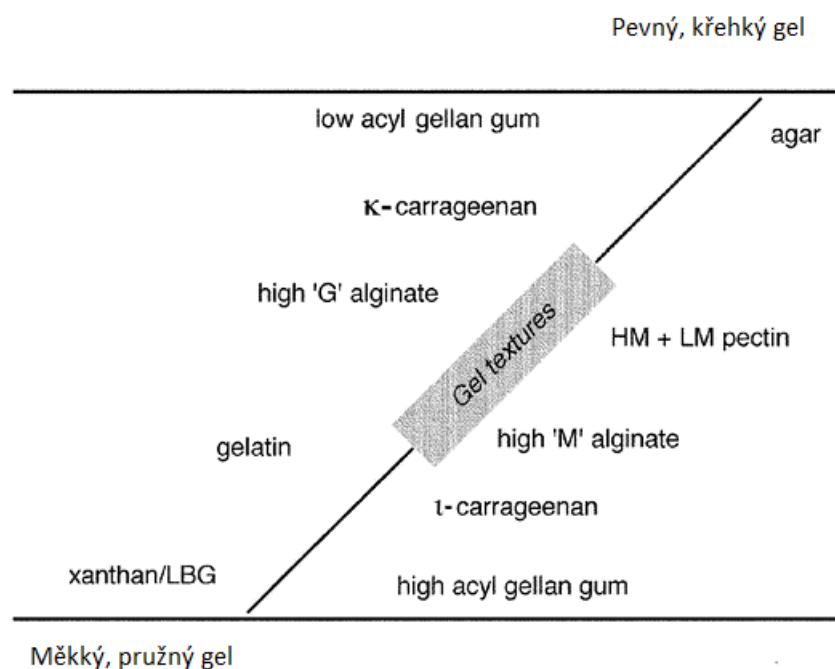
Na základě iontové struktury se hydrokoloidy dělí do dvou skupin:

- 1) neiontové gumy
- 2) aniontové gumy

Mezi neiontové gummy patří xanthan, guarová guma a karobová guma, zatímco karagenan, arabská guma, kmínová guma a gelanová guma jsou aniontové gummy (Pirsa a Hafezi, 2023; Williams a Phillips, 2009).

4.2 Význam hydrokoloidů

Hydrokoloidy představují důležitou skupinu potravinových aditiv. Hydrokoloidy patří mezi složky potravin, které ovlivňují rozpustnost, viskozitu, reologii, bod tání, schopnost tvořit emulze, krémovitost, přenos tepla, transport vitamínů, chuť a v neposlední řadě nutriční hodnotu. O skupině hydrokoloidů se v poslední době mluví stále více, a to díky jejich jedinečné strukturní rozmanitosti, která jim umožňuje aktivně se podílet na zmírnění tvorby a škodlivých účinků toxických vedlejších produktů při Maillardových reakcích. (Pirsa a Hafezi, 2023; Zhang et al., 2021).

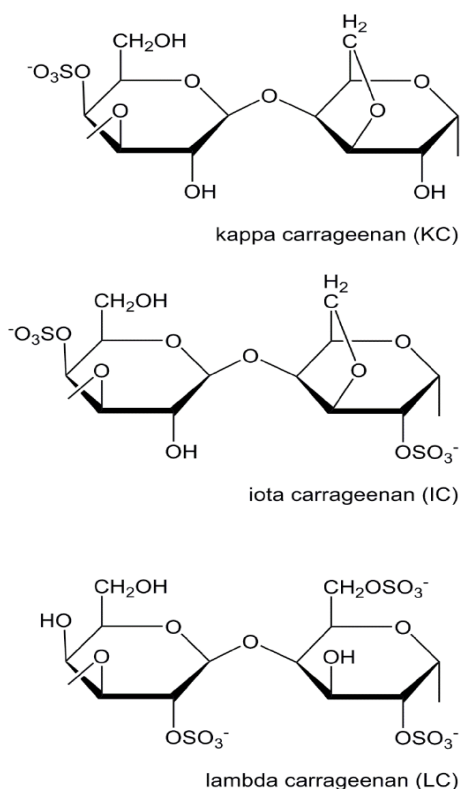


Obrázek 5 Srovnání textur gelů vyrobených různými hydrokoloidy. (Williams a Phillips, 2009)

4.3 Karagenanany

Karagenan je obecný název pro přírodní ve vodě rozpustnou skupinu gelotvorných sulfátových polysacharidů extrahovaných z druhů mořských řas rodu *Rhodophyceae*. Mezi tyto polysacharidy patří karagenan, furcelleran a agar.

Kappa karagenan se běžně získává z mořských řas *Eucheuma Cottonii*, Iota karagenan se vyrábí z mořských řas *Eucheuma Spinosum* a Lambda karagenan se získává z mořských řas v Jižní Americe. Podle směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 1333/2008 se karagenan označuje jako E-407 nebo E-407. Obecně karagenan patří do skupiny potravinářských přídatných látek, které jsou známy jako hydrokoloidy. Karagenan se používá v potravinářství především jako stabilizační a želírující látka. Karagenan je používán jako potravinářská přísada okolo sta let. Specifická interakce mezi kappa karagenanem a kappa kaseinem je velmi často používána ke stabilizaci produktů mléčných výrobků. Existují tři hlavní komerční typy karagenanu (κ – kappa-, ι – iota-, λ – lambda-karagenan) (Błaszak, Gozdecka a Shyichuk, 2015; Horinaka et al., 2022; Imeson, 2009; Phillips, 2000; What Is Carrageenan In Food, 2020).



Obrázek 6 Typy karagenanu (Zdroj: Google 2023)

Všechny typy karagenanu obsahují opakující se jednotky D-galaktózy a 3,6anhydrogalaktózy. Monomer jednotky jsou vázány střídajícími se α -1,3 a β -1,4 glykosidickými vazbami. Hlavní rozdíly ve strukturách různých typů karagenanu jsou počet a polohy ester sulfátových skupin na jednotkách monomeru galaktózy. Čísla ester sulfátových skupin mají vliv na rozpustnost karagenanu. Všechny druhy jsou rozpustné v horké vodě, ale ve studené vodě je rozpustný pouze lambda-karagenan. Velmi rozpustné jsou sodné soli všech tří typů karagenanu. Ve vodných roztocích makromolekuly karagenanu tvoří pružné kadeře a spirálovité struktury, které mají schopnost tvořit gely. O iota a kappa-karagenanu je známo, že prochází teplotně závislými přechody od konformace cívky ke šroubovici. Přechodové teploty jsou cca 47 °C pro iota-karagenan a 37 °C pro kappa-karagenan. Konformační přechod také závisí na iontovém prostředí. Reaktivita κ -karagenanu a ι -karagenanu je většinou přisuzována specifickým interakcím mezi záporně nabitými sulfátovými skupinami karagenanů a kladně nabitou oblastí nacházející se mezi zbytky 97 a 112 κ -kaseinu na povrchu kaseinové micely. Různé druhy karagenanu poskytují široké rozpětí textur, od viskózního zahušřovačla pro lambda karagenan, kappa karagenan má schopnost vytvářet pevný a křehký gel, zatímco iota-karagenan tvoří gel měkký a elastický. Karagenany a jeho různé směsi tvoří širokou skupinu produktů vyvinutých tak, aby poskytovaly jedinečnou kombinaci vlastností, která se nejlépe hodí pro konkrétní aplikaci.

Roztoky karagenanu při pH nižším jak 4,3 ztrácí při zahřívání viskozitu a pevnost gelu, což je způsobeno autohydrolyzou, ke které dochází při nízkých hodnotách pH. Rychlost autohydrolyzy se zvyšuje při zvýšených teplotách a při nízkých hladinách kationtů. Pokud je však roztok ochlazen pod teplotu gelovatění, draselné ionty se spojí se sulfátovými skupinami na karagenanu, a to zabrání postupu autohydrolyzy. K minimalizaci účinků autohydrolyzy se doporučuje zpracovat karagenan za neutrálních podmínek a bezprostředně před uložením a plněním do potravin přidat kyselinu. V kyselých potravinách by měl být karagenan přidán na konci procesu, aby se zabránilo nadměrnému rozkladu polymeru (Ahmad et al., 2016; Błaszak, Gozdecka a Shyichuk, 2015; Černíková et al., 2008; Imeson, 2009).

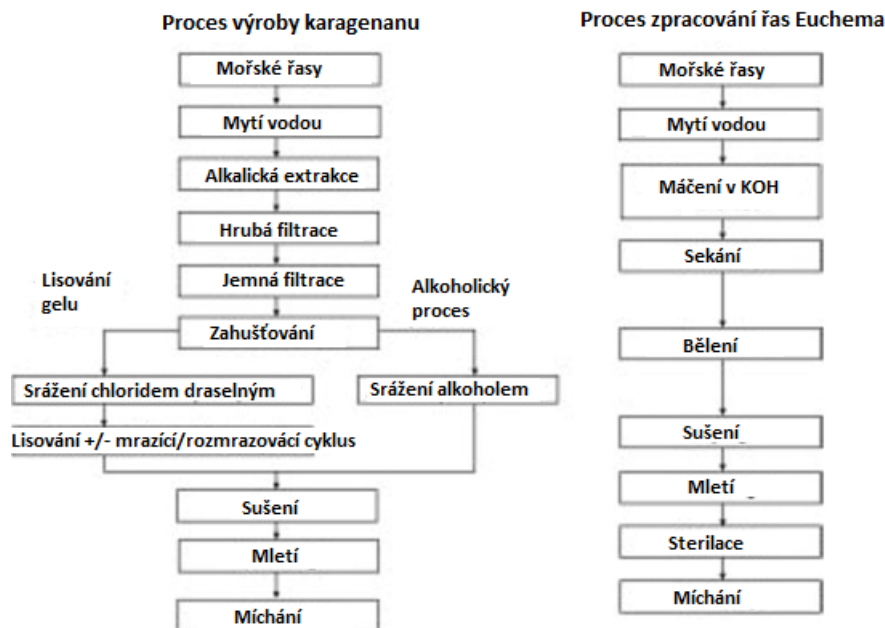
4.3.1 Proces získávání a výroby karagenanu

Jako první krok získávání karagenanu z mořských řas je jejich správné načasování sběru. Poté se řasy promyjí vodou, aby došlo k odstranění hrubých nečistot, jako písek a kameny. Následuje proces sušení, aby nedošlo k mikrobiální kontaminaci a byla zachována kvalita

výsledného produktu. Mořské řasy jsou následně podrobeny alkalické extrakci, a to z důvodu nabobtnání a následné extrakci karagenanu. Alkálie může být vybrána tak, aby se získala konkrétní karagenanová sůl, která má důležité důsledky pro výsledný extrakt, stanovením disperzních, hydratačních, zahušťovacích a gelotvorných vlastností. Dlouhodobé působení alkálií podporuje vnitřní transformaci, díky čemuž dochází k modifikaci polysacharidové kostry. Vytvoření anhydridového můstku umožňuje polymeru přijmout pravidelnou konformaci, takže meziretězčové asociace jsou silnější. Výsledkem je, že výsledné gely mají vyšší mez pevnosti, méně se deformují před zlomením a jsou křehčí. Po extrakci a modifikaci jsou zředěné karagenanové extrakty filtrovány a vyčištěny vysokorychlostní centrifugací a zkoncentrování výsledného produktu je docíleno řadou metod, jako například vysrážení izopropylalkoholem nebo vylučováním kappa karagenanu do koncentrovaného roztoku chloridu draselného. Vysrážený karagenan lze zmrazit a rozmrazit, tak aby se napomohlo k synerezi vody. Vylisovaná vlákna se pak suší a melou na vhodnou velikost částic. Jednotlivé extrakty se vyznačují svými zahušťujícími a gelujícími vlastnostmi. Hotové produkty jsou vyráběny smícháním různých extraktů, aby byla zachována stálá kvalita jednotlivých šarží a aby byly zajištěny specifické vlastnosti potřebné pro splnění konkrétních požadavků zákazníka pro různé aplikace.

Co se týče zpracování mořských řas *Euchema* je to ekonomičtější proces, protože se vyhýbá extrakci karagenanu do zředěných roztoků, které vyžadují drahé, energeticky náročné kroky separace, filtrace, koncentrace a sušení, aby se získal sušený karagenanový extrakt. Tento proces začíná výběrem vhodných řas a jejich mytím. Poté se proces již liší od výroby extraktu karagenanů. Řasa *Eucheuma* se namočí do roztoku hydroxidu draselného před nasekáním a bělením, aby se snížila barva hotového prášku. Po promytí, vysušení a rozemletí se prášek steriluje, a to z důvodu mikrobiologické kvality výsledného produktu (Imeson, 2009).

Oba procesy výroby jsou popsány v následujícím diagramu výroby.



Obrázek 7 Diagram procesu výroby karagenanu a zpracování mořských řas *Eucheuma* (Imeson, 2009)

4.3.2 Kappa karagenan

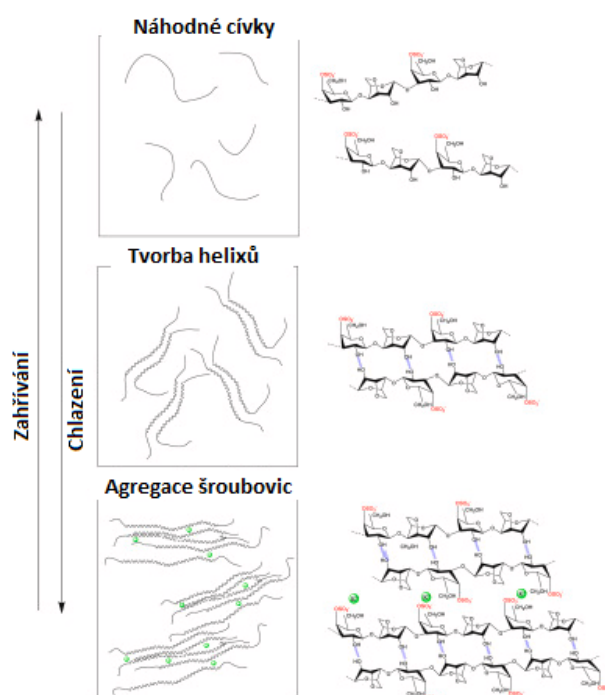
Kappa-karagenan je polysacharid získaný z mořských řas *Eucheuma Cottonii*.



Obrázek 8 Mořská řasa *Eucheuma Cottonii* (Zdroj: Google 2023)

Je běžně používán v potravinářském a farmaceutickém průmyslu jako zahušťovadlo nebo reologický modifikátor. κ -karagenan obsahuje pouze jednu sulfátovou esterovou skupinu vázanou na disacharid. Tvoří silný gel. Předpokládá se, že ke gelovatění dochází

dvoustupňovým mechanismem sestávajícím z transformace cívky na šroubovici a další agregace šroubovic do 3D sítě. Pokud dojde ke zvýšení teploty gelovatění κ -karagenanu za pomoci různých solí nebo přísad, dochází ke snadnější tvorbě gelu a jeho vyšší stabilitě při pokojové teplotě. U některých studií bylo pozorováno, že dvojmocné ionty jako síťovadla pro κ -karagenan zvyšují modul výrazněji než jednomocné ionty. Schopnost κ -karagenanu tvořit biokompatibilní hydrogely při pokojové teplotě je využívána v lékařském, farmaceutickém a potravinářském průmyslu (Horinaka et al., 2022; Patel et al., 2023).



Obrázek 9 Proces gelovatění pro κ -karagenan v přítomnosti draselných iontů. (Rhein-Knudsen a Meyer, 2021)

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo vyrobit modelové vzorky tavených sýrů s přídavkem kappa-karagenanu a draselných tavicích solí a u těchto vzorků provést stanovené analýzy. Pomocí těchto analýz bylo určováno, zda má přídavek kappa-karagenanu a draselných tavicích solí vliv na vybrané vlastnosti těchto sýrů.

Diplomová práce byla rozdělena do dvou částí, a to teoretické a praktické.

Cílem teoretické části bylo:

- Charakterizovat tavené sýry
- Popsat výrobu tavených sýrů
- Charakterizovat tavicí soli, a to sodné a draselné fosforečnany. Jejich funkci při výrobě tavených solí a použití
- Charakterizovat hydrokoloidy, které se přidávají při výrobě tavených sýrů k docílení požadovaných vlastností

Cílem praktické části bylo:

- Vyrobit modelové vzorky tavených sýrů s přídavkem draselných tavicích solí a kappa-karagenanu v různých koncentracích
- Stanovit vybrané analýzy modelových vzorků, a to: stanovení pH, stanovení sušiny, měření vodní aktivity, analýza textury, posouzení reologických vlastností, analýza barvy a senzorická analýza
- Zhodnotit a prodiskutovat jednotlivé výsledky vybraných analýz a formulovat závěr

6 MATERIÁL A METODIKA

6.1 Výroba modelových vzorků tavených sýrů

V první části mé experimentální práce byly vyrobeny modelové vzorky tavených sýrů.

Tyto vzorky byly vyrobeny v laboratorních prostorech Univerzity Tomáše Bati, Fakulty technologické, v prostorech Ústavu technologie potravin.

Byly použity čtyři různé draselné tavicí soli a různé koncentrace přidaného kappa-karagenanu. Taktéž byly vyrobeny modelové vzorky bez přídavku hydrokoloidu. Jako draselné tavicí soli byly použity tyto soli: $K_5P_3O_{10}$, $K_4P_2O_7$, K_2HPO_4 , KH_2PO_4 . Kappa-karagenan byl přidáván v koncentracích 0,25 %, 0,50 %, 0,75 % a 1,00 % (hm/hm).

K výrobě modelových vzorků byly použity suroviny v takových množstvích, aby výsledná hodnota obsahu sušiny byla 40 % (hm/hm) a obsah tuku v sušině měl být 50 % (hm/hm).

Surovinová skladba obsahovala:

- Eidamskou cihlu o 30 % (hm/hm) obsahu tuku v sušině (výrobce Lacrum Velké Meziříčí s.r.o., Velké Meziříčí, Česká republika)
- Jihočeské máslo o obsahu tuku 82 % (hm/hm) (výrobce Madeta a.s., České Budějovice, Česká republika)
- Pitnou vodu
- Draselné tavicí soli (výrobce Fosfa a.s., Břeclav, Česká republika)
 - Trifosforečnan pentadraselný – $K_5P_3O_{10}$
 - Difosforečnan draselný – $K_4P_2O_7$
 - Hydrogenfosforečnan draselný – K_2HPO_4
 - Dihydrogenfosforečnan draselný – KH_2PO_4
- Kappa-karagenan (výrobce Sigma Aldrich Co., St. Louis, USA)

K výrobě modelových vzorků byly použity suroviny v následujících množstvích (Tabulka 7):

Tabulka 7 Množství surovin ve výrobě modelových vzorků

Surovina	Množství hm/hm
Eidamská cihla	51,32 %
Máslo	15,40 %
Tavicí sůl	0,010 %
Pitná voda	32,26 %
Hydrokoloid kappa-karagenan	0 - 1,00 %

Eidamská cihla byla nakrájena na menší kousky. Všechny jednotlivé suroviny byly naváženy na předvážkách nacházejících se v laboratoři. Jednotlivé suroviny byly smíchány v přístroji Vorwerk Thermomix® TM6 (výrobce Vorwerk CS k.s., Praha, Česká republika). V přístroji došlo k postupnému zahřátí suroviny na 90 ± 1 °C při zvyšujících se otáčkách. Při teplotě 90 ± 1 °C byla tavenina udržována po dobu jedné minuty. Poté byl přístroj vypnut a utavená hmota byla přelita hliníkových misek (kónického tvaru o vnitřním rozměru 26,8 mm na výšku, 81,1 mm s průměrem nahoře a 68,9 mm s průměrem dole), které byly zataveny víčkem na uzavíracím zařízení (výrobce Nirosta Ltd., Chlumeck nad Cidlinou, Česká republika) a označeny. Do hliníkových misek byl dán objem 85 ± 5 g utavené hmoty. Poté byly modelové vzorky dány do chladírny, kde došlo k zchlazení výrobků na teplotu 6 ± 2 °C, a to do té doby, dokud nebyly stanoveny jednotlivé analýzy.



Obrázek 10 Tavicí proces (Zdroj: Autorka 2023)

U taveniny s přidavkem tavicí soli KH_2PO_4 bylo zjištěno, že tato tavicí sůl samostatně není schopna utavit výrobek. Tavenina nebyla kompaktní a dostatečně utavená (Obrázek 12). Na kvalitu taveniny neměl vliv ani zvyšující se přidavek kappa-karagenanu, tavenina nebyla kompaktní ani s přidavkem 1,00 % (hm/hm) kappa-karagenanu. Z tohoto důvodu nebylo dále pracováno s produkty obsahující tavicí sůl KH_2PO_4 při stanovování jednotlivých analýz.



Obrázek 11 Hotové modelové vzorky (Zdroj: Autorka 2023)



Obrázek 12 Neutavený výrobek s přidavkem KH_2PO_4 (Zdroj: Autorka 2023)

6.2 Stanovené analýzy

U vyrobených modelových vzorků byly po 14 dnech od výroby stanoveny jednotlivé analýzy, a to:

- Měření pH
- Stanovení sušiny
- Měření vodní aktivity
- Analýza textury
- Posouzení reologických vlastností
- Analýza barvy
- Senzorická analýza

6.3 Měření pH

Měření pH je důležité pro zajištění kvality mléčných produktů a bývá součástí HACCP kontrolních systémů. Měření pH, je jedna z nejběžnějších analýz a testování, a je standardním měřítkem toho, jestli roztok je kyselý nebo zásaditý. Měří se na stupnici od 0–14, přičemž pH 7 je neutrální, pH méně než 7 je kyselé a pH vyšší než 7 je zásadité. Stupnice pH je logaritmická, což znamená, že jednotkové snížení pH se rovná desetinásobnému zvýšení kyselosti.

pH měří koncentraci vodíkových a hydroxidových iontů, které dohromady tvoří molekulu vody.



Když jsou oba ionty ve stejné koncentraci, roztok je neutrální. Pokud je převaha $\text{H}^+ > \text{OH}^-$ je roztok kyselý, a zásaditý, pokud je $\text{OH}^- > \text{H}^+$. (Addy at al., 2004)

Běžný pH metr obsahuje jednu pH sondu (je to skleněná tyčinka se strukturou podobnou baňce na spodním konci a připojená k elektrickému drátu na druhém konci). Některé pH metry obsahují i druhou sondu pro teplotní kalibraci, protože pH se mění se změnou teploty, jinak jsou v moderních pH metrech jak pH sonda, tak teplotní sonda spojeny do jediné sondy (Tantray et al., 2023).

pH modelových vzorků bylo měřeno pomocí vpichového kalibrovaného pH metru Foodcare se skleněnou elektrodou (výrobce Hanna Instruments Czech s.r.o., verze HI99161, Praha., Česká republika). pH metr Foodcare je přenosný přístroj pro měření pH a teploty mléčných produktů. Elektroda má robustní, snadno čistitelné tělo z potravinářské plastu a kónickou špičku pro vpichové měření pH polotuhých vzorků jako například sýrů. Otevřené rozhraní eliminuje problémy s ucpáváním a zajišťuje rychlou odezvu ve viskózních vzorcích (HACCP pH metr na měření potravin a mléčných výrobků).

Sonda pH metru Foodcare byla vložena do hliníkové misky s modelovým vzorkem a hodnota pH byla měřena na šesti různých místech vzorku.



Obrázek 13 pH metr Foodcare (Zdroj: Google 2023)

6.4 Stanovení sušiny

Voda je všude přítomná v potravinách i okolní atmosféře. Stanovení obsahu vody je jednou z nejčastějších analýz v laboratoři potravinářského průmyslu. Nejběžnější metodou analýzy vody obvykle akceptovanou na komerční úrovni je metoda sušení. Tato metoda je založena na ztrátě hmotnosti po vysušení vzorku. Část ztráty hmoty však může pocházet z těkavosti jiných plynů než vody (Mathlouthi, 2001).

Mezi běžně používané termogravimetrické metody patří:

- Sušení v peci:

Zvážená zkušební dávka sýra smíchaná s pískem se suší zahřátím v sušicí peci na 102 °C (≥ 3 h). Vysušená testovací část se pak zváží, aby se určila ztráta hmotnosti.

- Metoda vakuové sušárny:

Vzorek sýra se suší ve vakuové sušárně (tlak ≤ 100 mm Hg) při 100 °C do konstantní hmotnosti (asi 4 hodiny). Ztráta hmotnosti je vyjádřena jako vlhkost.

- Rychlé metody:

Komerční termogravimetrické metody s účinnějším režimem ohřevu.

Mikrovlonné sušení: ohřev absorpcí mikrovln (2–5 min),

Infračervené sušení: ohřev absorpcí infračerveného záření (5–15 min)

Halogenové sušení: ohřev absorpcí infračerveného záření halogenovým zářičem (2–10 min). Tato metoda se nejčastěji používá v komerčních zařízeních. Aplikuje se také v kombinaci s mikrovlonným sušením (Thomareis a Dimitreli, 2022).

Stanovení sušiny modelových vzorků probíhalo termogravimetrickou metodou sušení v peci při teplotě 105 °C do konstantního úbytku hmotnosti. K analýze byly použity vzorky o hmotnosti $3 \pm 0,5$ g. Ke stanovení byly použity hliníkové misky s víčkem. Uvnitř předsušené misky, která byla uchovávána v exikátoru s aktivním vysoušedlem se nacházel křemičitý písek, díky němuž byl vzorek taveného sýru rozmíchán za použití skleněné tyčinky. Každá miska byla opatřena popiskem a předem zvážena hmotnost samotné misky a hmotnost misky se vzorkem. Pro každý modelový vzorek byla analýza provedena dvakrát. Po vysušení byla miska opět zvážena a byla stanovena hmotnost sušiny.



Obrázek 14 Stanovení sušiny (Zdroj: Autorka 2023)

6.5 Měření vodní aktivity

Veškeré potraviny obsahují vodu a je běžné, že potraviny, u kterých je největší pravděpodobnost rychlého znehodnocení v důsledku biologických a chemických reakcí, jsou obvykle potraviny s vysokým obsahem vody. Voda v potravinách slouží jako rozpouštědlo pro mnoho složek potraviny. Studium vody v potravinách je z velké části studiem vodných roztoků, ve kterém rozpuštěné látky svou povahou a koncentrací mění fyzikální vlastnosti potraviny. Kritéria související s vodou, která byla použita ve studiích stability potravin, zahrnují obsah vody, koncentraci rozpuštěné látky a vodní aktivitu (Water Activity and Food, 1978).

Měření probíhalo za teploty 20,15 °C za pomoci přístroje AquaLab 4TE (výrobce Meter Group, Pullman, USA), který patří mezi nejpreciznější a nejrychlejší přístroje určené k měření vodní aktivity. Temperovaná měřicí komora umožňuje měřit vzorky bez přesně ustálené teploty. Plastová víčka určená k měření vzorku byla naplněna měřenými vzorky modelových sýrů a tyto plastová víčka byla vložena do přístroje AquaLab 4TE. Po ustálení hodnoty vodní aktivity přístroj ukázal po cca 10 minutách výsledek. Každý vzorek byl proměřen dvakrát. Výsledná hodnota byla stanovena průměrem jednotlivých měření modelových vzorků.



Obrázek 15 AquaLab 4 TE (Zdroj: Google 2023)

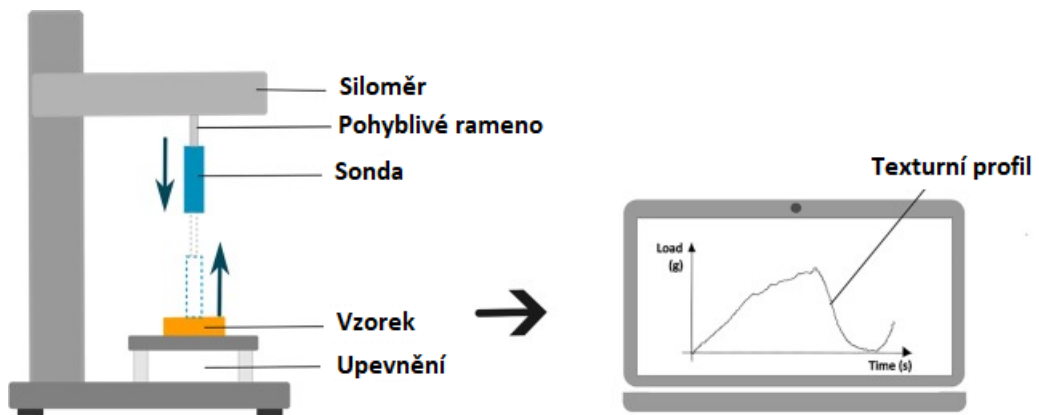
6.6 Analýza textury

Podle Organizace pro standardizaci je textura potravinářského produktu definována jako veškeré reologické a strukturální vlastnosti produktu rozpoznatelné pomocí mechanických, hmatových a případně vizuálních a sluchových receptorů (EN ISO 11036, 2020). Texturní analýza se používá v potravinářském průmyslu pro hodnocení kvality a srovnávání potravinářských produktů, a to reprodukovatelným způsobem, podle standardizovaného postupu a často nahrazující senzorické hodnocení. Textura potravinářských výrobků je jedním z nejdůležitějších znaků kvality, protože ovlivňuje přijatelnost výrobku pro spotřebitele. Stupnice, podle které se hodnotí textura obsahuje standardní hodnotící stupnici tvrdosti, křehkosti. Dále potom žvýkatelnost, gumovitost, viskozitu a přilnavost. Tyto atributy byly navrženy pro kvantitativní hodnocení textury potravin. Texturní vlastnosti potravin hrají u spotřebitele hlavní roli při výběru potravin. Je mnoho znaků, podle kterých si spotřebitel vybírá produkt, pro některé je důležitá chuť a vůně, pro jiné textura produktu. Textura produktu je jedna z hlavních věcí, na které se snaží výrobci potravin pracovat a neustále vyvíjet, aby došlo k uspokojení preferencí konečných zákazníků (Andrés-Bello et al., 2013).

Texturní analýza je mechanická metoda založená na stlačování, stříhání nebo tažení vzorku. Nejčastěji používané tlakové zkoušky zahrnují jednoosé pronikání sondy do výrobku až do bodu stanovení síly, vzdálenosti nebo deformace. K dispozici jsou jedno cyklové nebo dvou cyklové kompresní testy, ty jsou známé jako analýza profilu textury (TPA). Tyto testy byly navrženy tak, aby napodobovaly žvýkací pohyb v ústní dutině. Jednoosé testování je často používaná metoda pro instrumentální hodnocení textury sýra a odhad reologických vlastností sýra. Tento test je oblíbený díky tomu, že není potřeba nijak manipulovat se vzorkem (Bogdan et al., 2023; Muthukumarappan a Swamy, 2023).

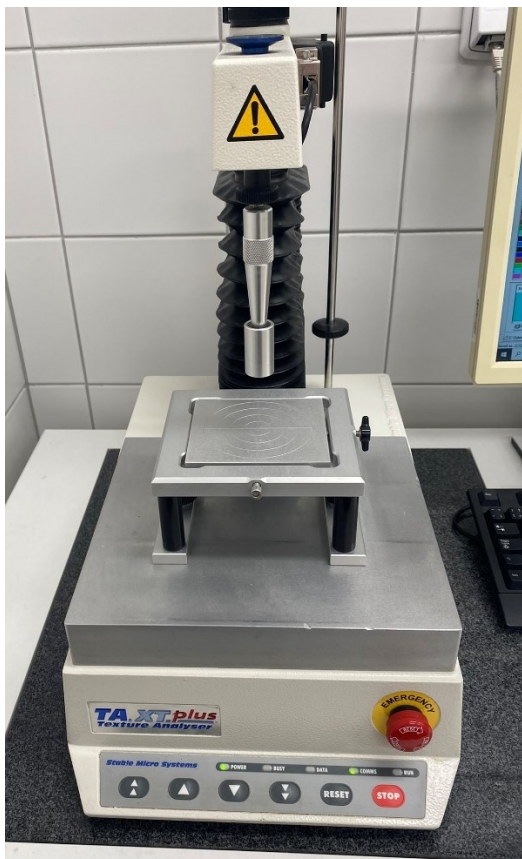
Analyzátoary textury se skládají z držáku vzorku umístěného na základní desce a pohyblivého ramene, které umožňuje vertikální pohyb řízenou rychlostí nebo zatížením. Mobilní rameno může pojmout různé typy sond v závislosti na vlastnostech vzorku a požadovaných měřeních, přičemž vzorky mohou být umístěny buď na rovině upevnění, ve speciálních držácích vzorků nebo dokonce připevněny k sondě. Rameno je připojeno k siloměru, který měří sílu, kterou vzorek působí proti klesání nebo stoupání sondy. Alternativně lze siloměr nastavit tak, aby udržoval specifické zatížení a zaznamenával změny polohy sondy. Prostřednictvím deformace nebo dokonce úplného selhání jsou metody texturní analýzy obvykle destruktivní, což lze považovat za jejich hlavní omezení. Výsledkem je, že se data

shromažďují do profilů textur, které představují zatížení/sílu jako funkci času nebo vzdálenosti, kterou sonda urazila do vzorku. Texturní profily mohou být analyzovány a porovnávány jako takové, nebo mohou být vypočteny různé parametry pro charakterizaci vzorku. (Bogdan et al., 2023)



Obrázek 16 Základní princip texturní analýzy (Zdroj: Bogdan et al., 2023)

Textura modelových vzorků byla měřena za pomoci analyzátoru textury TA.XTPlus (výrobce Stable Micro Systems Ltd, Godalming, Velká Británie). Hliníková miska s modelovým vzorkem byla umístěna na základnu, bylo odtrženo hliníkové víčko, kterým byla miska uzavřena, a bylo spuštěno měření. Každý vzorek byl změřen dvakrát. Z naměřených křivek byly stanoveny hodnoty tvrdosti, a to za pomoci softwaru Texture Exponent Lite (Stable Micro Systems Ltd).



Obrázek 17 TA.XTplus od výrobce Stable Micro Systems Ltd (Zdroj: Autorka 2023)

6.7 Posouzení reologických vlastností

Termínem reologie rozumíme vědu o deformaci materiálů a toku hmoty. Tento termín pochází z řeckého slova plynout. Tento termín byl poprvé použit profesorem E.C. Binghamem a byl přijat na schůzi společnosti American Society of Rheology v roce 1929. Reologie je uznávaným oborem, která nachází uplatnění v různých průmyslových odvětvích. Provádění základních reologických analýz se uskutečňuje za definovaných a kontrolovatelných podmínek. Zkoumané materiálové vlastnosti nejsou podmíněny použitím stejných měřicích přístrojů, což umožňuje srovnání napříč výzkumy.

Reologické testy měří sílu, kterou je potřeba vyvinout k vytvoření daných řízených deformací, jako je mačkání (komprese), ohýbání nebo roztahování (tah), a prezentovat je takovým způsobem, aby byly nezávislé na velikosti vzorku, geometrii a způsobu testování.

Mezi obecné cíle reologických měření patří:

- získat kvantitativní popis mechanických vlastností materiálů
- získat informace související s molekulární strukturou a složením materiálu
- charakterizovat a simulovat vlastnosti materiálu během zpracování a pro kontrolu kvality

Tyto základní analýzy pomáhají srovnávat vlastnosti sýra a účinky výrobních faktorů, což pomáhá ve vývoji sýrů s požadovanými a konzistentními texturními a reologickými vlastnostmi. V potravinářství se reologie používá k definování konzistence různých produktů na základě viskozity (tloušťka, nedostatek kluznosti) a elasticity (lepivost, struktura), které jsou určeny především složením, strukturou a silou přitažlivosti mezi strukturálními prvky sýra.

Reologické veličiny, které jsou měřeny v testech, jsou veličiny zahrnující aplikaci napětí nebo deformace za definovaných experimentálních podmínek. Klasifikace sýra pomocí reologie je jako klasifikace viskoelastického materiálu. Což znamená, že jeho vztah mezi napětím a deformací vykazuje vlastnosti pevných i kapalných látek. Proto definování reologie sýra vyžaduje zkoumání obou forem ideálního reologického chování, a to elastického chování a viskózního chování. K popisu lineárního viskoelastického chování sýra se používají křivky frekvenčně závislého skladovacího modulu $G'(\omega)$ a ztrátového modulu $G''(\omega)$. Skladovacím modulem se nazývá elastická složka, ztrátovým modulem viskózní složka sýra.

Komplexní modul (G^*) je definován jako změna funkce vynuceného napětí a také fázový posun mezi dvěma signály v napěťové odezvě materiálu. Komplexní modul G^* se skládá z modulu pružnosti (G') a viskózního modulu (G''). Jejich definice jsou vyjádřeny níže v rovnicích 1 – 3. G' a G'' jsou funkcí amplitudy vynuceného přetvoření (γ_0), amplitudy naměřeného napětí (τ_0) a fázového posunu (δ) mezi přetvořením a napětím. Hodnota $\tan \delta$ je míra ztráty energie materiálu a odpovídá poměru G'' ku G' a používá se pro hodnocení viskózních účinků ve vztahu k elastickým účinkům.

$$G^* = G' + iG'' \quad (1)$$

$$G' = (\tau_0 / \gamma_0) \cos \delta \quad (2)$$

$$G'' = (\tau_0 / \gamma_0) \sin \delta \quad (3)$$

Mezi faktory, které ovlivňují reologii sýra můžeme zařadit složení sýra. Visko elasticita sýra je složena z interaktivních reologických přínosů jednotlivých složek sýra, a to bílkovin, tuků a sacharidů. A to přesněji jejich koncentrace, mikrostrukturní uspořádání a fyzická povaha. Co se týče obsahu bílkovin, schopnost nést napětí matrice je závislá na objemovém podílu a homogenitě. S koncentrací kaseinu roste více elasticita a sýr se obtížněji deformuje. Co se týká obsahu tuku, při nízkých teplotách, pod 5 °C, je mléčný tuk převážně pevný a zvyšuje elasticitu kaseinové matrice. Pevné tukové kuličky omezují deformaci kaseinové matrice. Co se týká tekutého tuku, ten snižuje viskozitu a také působí jako lubrikant na lomu povrchů kaseinové matrice a díky tomu snižuje napětí potřebné k prasknutí matrice (Abdalla et al., 2022; Dobraszczyk a Morgenstern, 2003; Gunasekaran a Mehmet, 2002; Guinee, 2016; Guinee, 2022; Muthukumarappan a Swamy, 2023; Patarin et al., 2014; Tan a Stephens, 2019).

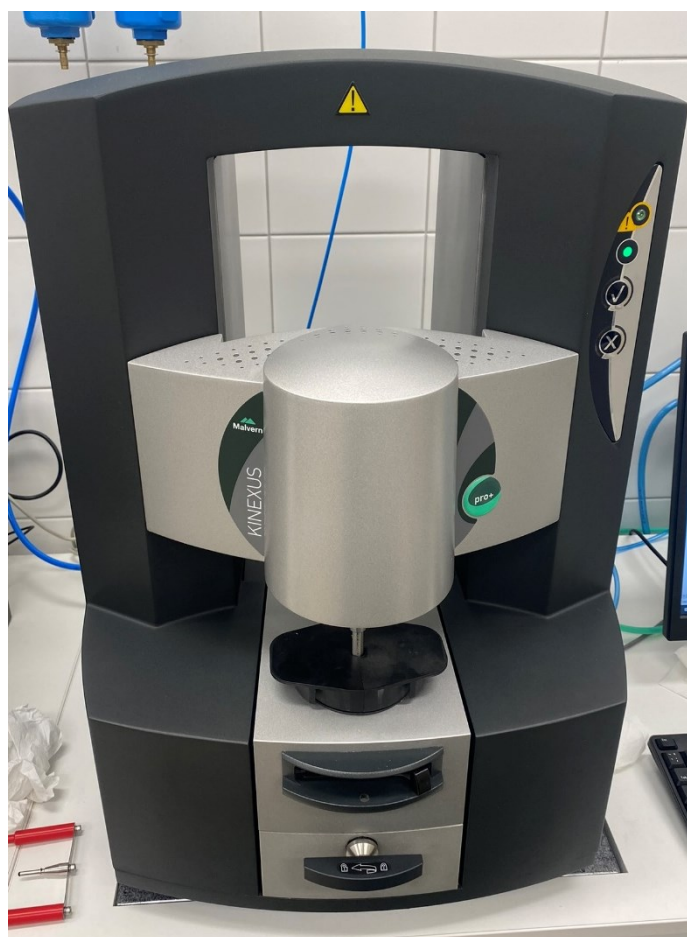
Tabulka 8 Definice pojmů z reologie, které jsou používány v potravinářském průmyslu (Muthukumarappan a Swamy, 2023)

Pojem	Definice
Deformace	Vystavení materiálu vnější síle, kdy dochází ke změně velikosti a tvaru.
Napětí	Je to síla na jednotku plochy. Rozeznáváme dva druhy napětí – normálové napětí a smykové napětí. Normálové napětí působí kolmo k povrchu, zatímco smykové napětí působí rovnoběžně s povrchem. Normálové napětí je kategorizováno jako tahové a tlakové na základě směru síly a jednotkového normálového vektoru povrchu.
Stupeň deformace	Stupeň deformace je jednoduše řečeno časovou derivací deformace. Je nezbytný pro popis tokového chování materiálů. V situacích proudění, protože deformace

	dosáhne velmi vysokých hodnot s rostoucím časem, je upřednostňováno mluvit o chování materiálu z hlediska rychlosti napětí-deformace spíše než napětí-deformace.
Youngův modul	Je to míra odolnosti materiálu vůči axiální deformaci. Představuje tuhost materiálu vůči aplikovanému zatížení. Čím větší je tuhost, tím vyšší je síla nebo napětí potřebné k vyvolání dané deformace nebo deformace
Proporcionální limit	Je to nejvyšší napětí, při kterém je napětí přímo úměrné deformaci. Hookův zákon platí až do proporcionálního limitu. Proporcionální limit také označuje začátek nelinearity v křivce napětí-deformace.
Mez pružnosti	Je to maximální napětí, které může materiál vydržet, aniž by po úplném uvolnění zatížení zůstalo jakékoli měřitelné trvalé napětí. Materiál se tedy po odstranění napětí vrátí do svého původního tvaru.
Mez kluzu	Malé zvýšení napětí nad mez pružnosti má za následek relativně velké zvýšení napětí. Vzorek je trvale deformován, i když je zatížení sníženo na nulu.
Pružnost	Množství energie absorbované materiálem v elastické oblasti.

Reologie modelových vzorků byla měřena pomocí Reometru Kinexus (výrobce NETZSCH-Gerätebau GmbH, Selb, Německo) s geometrií deska-deska o průměru 35 mm a mezerou 1,0 mm.

Měření probíhalo za laboratorní teploty $20 \pm 0,5$ °C. Byly měřeny hodnoty elastického modulu pružnosti G' a ztrátového modulu pružnosti G'' při frekvenci 0,01 – 10 Hz při amplitudě smykového napětí 20 Pa. Na základě naměřených hodnot byly stanoveny hodnoty komplexního modulu pružnosti G^* a hodnoty $\tan \delta$ pro frekvenci 1 Hz. Měření bylo provedeno pro měření oblasti lineární viskoelasticity. Amplituda smykového napětí byla 20 Pa. Modelový vzorek byl rozprostřen na měřicí plochu tak, aby byla pokryta celá plocha určená k měření. Poté byla horní deska nastavena do výšky 1 mm a přebytek vzorku byl opatrně odstraněn špachtlí. Poté byla měřicí plocha zakryta černými krytkami a bylo zapnuto měření. Měření každého vzorku probíhalo po dobu 15 minut, kdy docházelo k opakovanému stlačování a uvolňování tlaku. Pro každý modelový vzorek byly stanoveny dvě měření.



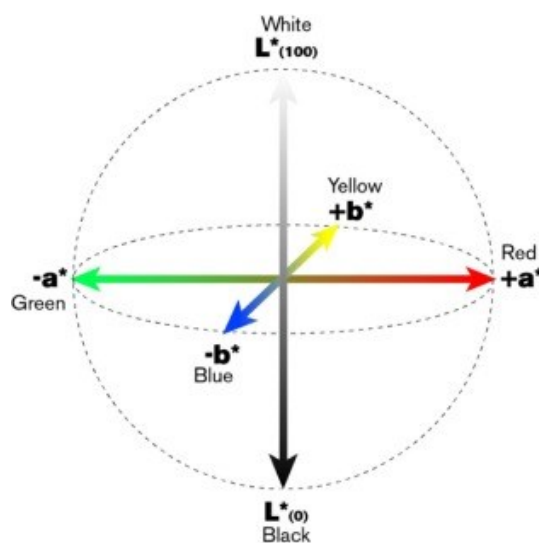
Obrázek 18 Reometr Kinexus od společnosti NETZSCH-Gerätebau GmbH (Zdroj: Autorka 2023)

6.8 Analýza barvy

Pro měření barev potravinářských výrobků se používají na základě doporučení mezinárodní instituce Commission on Illumination (CIE) kolorimetry a spektrofotometry. Kolorimetry kvantifikují barvu měřením tří primárních barevných složek světla viděných lidským okem, a to přesněji červené, zelené a modré. Měření barvy poskytuje údaje o podílu těchto tří složek přítomných ve světle odraženém (hlavně pevné látky) nebo procházejícím (typicky kapalinami) potravinářským produktem. Kolorimetry lze použít pro výrobu a kontrolu potravin. Naproti tomu spektrofotometry měří spektrální odrazivost nebo propustnost objektu v celém spektru vlnových délek lidského viditelného světla (400–700 nm). Nabízejí větší specifičnost, přesnost a přesnost než kolorimetry a lze je také použít pro výzkum a vývoj potravin.

V potravinářské technologii se barva běžně vyjadřuje v barevném prostoru CIE 1976 $L^*a^*b^*$. V tomto trojrozměrném prostoru je barva popsána jako bod třemi pravouhlými souřadnicemi: L^* (světlost) od černé (0) po bílou (100), a^* od zelené (záporné hodnoty) po červenou (kladné hodnoty) a b^* z modré (záporné hodnoty) do žluté (kladné hodnoty).

Velikost vektoru je mapována na intenzitu barvy, zatímco odstín nebo samotná barva udává směr nebo orientaci vektoru. Další informace o vektorovém poli lze zakódovat do barevné mapy změnou sytosti (Thomareis a Dimitreli, 2022; Upston et al., 2023).



Obrázek 19 Vyjádření barvy v prostoru CIE 1976 $L^*a^*b^*$ (Zdroj: (Thomareis a Dimitreli, 2022))

Barva tavených sýrů je závislá na mnoha faktorech, jako například druh, složení a vlastnosti přírodních sýrů použitých při výrobě, nebo přísady a podmínky výrobního procesu. Barva sýrů a tavených sýrů je obvykle žlutá až oranžová a v některých případech, kdy byly k výrobě použity plísňové sýry, je i modrá, zelená nebo šedá. Obecně je žlutá barva spojena s potravinami s vysokým obsahem tuku, ale závisí i na velikosti tukových kuliček rozptýlených v roztoku nebo uložených v proteinové matici. Obvykle je bělejší barva produktu důsledkem menšího průměru tukové kuličky, která způsobuje větší rozptyl světla. Navzdory vysokému obsahu tuku je tuk v tavených sýrech obvykle vysoce emulgovaný, a proto jsou kuličky malé velikosti, což vede k bělavé barvě. Typ a množství tavicích solí má významný vliv na barevné parametry L^* a^* a b^* tavených sýrů (Jelena a Zorana, 2022).

Pro účely diplomové práce byl použit spektrofotometr UltraScan VIS (výrobce Hunter Lab. Reston, USA).



Obrázek 20 UltraScan VIS od společnosti HunterLab (Zdroj: Google 2023)

UltraScan VIS je dvoupraskový xenonový zábleskový spektrofotometr s rozsahem vlnových délek od 360 do 780 nm. Všechny tristimulační integrace jsou založeny na trojúhelníkové pásmové propusti 10 nm a s intervalem vlnových délek 10 nm. Přístroj může měřit jak odraženou, tak procházející barvu a produkt.

Čočka shromažďuje odražené nebo procházející světlo a směřuje je do difrakční mřížky, která rozděluje světlo na jednotlivé vlnové délky. Tyto komponenty jsou pak měřeny pomocí

duálních diodových polí a jsou převedeny na použitelná data (UltraScan® VIS Supplemental Manual for EasyMatch® QC, 2014).

Měření barvy modelových vzorků probíhalo za laboratorní teploty. Modelový vzorek byl nanesen do měřicí misky a umístěn na čočku přístroje. Každý vzorek byl změřen dvakrát byla vyhodnocena barva jednotlivých modelových vzorků, a to pomocí softwaru EasyMatchQC Software (od společnosti HunterLab).

6.9 Senzorická analýza

V roce 1975 byla senzorická analýza definována jako vědecká metoda k vyvolání, měření, analýze a interpretaci těch reakcí na produkty, které jsou vnímány smyslem zrakovým, čichovým, hmatovým, chuťovým a sluchovým. Tato definice byla přijata a schválena komisemi pro senzorické hodnocení uvnitř různých odborných organizací (Ježek, Saláková, 2012).

Senzorická kvalita je konečným měřítkem kvality a úspěchu produktu. Senzorická analýza zahrnuje řadu výkonných a citlivých nástrojů pro měření lidských reakcí na potraviny a další produkty. Výběr vhodného testu, testovacích podmínek a analýzy dat vedou k reprodukovatelným, výkonným a relevantním výsledkům. Vhodné použití těchto testů umožňuje zjistit konkrétní informace o produktech. Existují desítky typů senzorických testů, které lze doladit tak, aby splnily konkrétní cíl (Drake, 2007).

Ve vědeckém článku z roku 1946 o možnostech měření byly identifikovány čtyři typy stupnic: nominální, ordinální, intervalová a poměrová (Kemp a Grace, 2021).

Metoda hodnocení potravin s použitím stupnic patří k nejčastěji využívaným metodám senzorické analýzy, se kterými lze efektivně rozdělit senzorické znaky mezi posuzovanými vzorky. Stupnicí rozumíme kontinuum, rozdělené do po sobě jdoucích hodnot, které může být grafické, popisové nebo číselné, používané k vyjádření úrovně vlastnosti. Stupnice dělíme na intenzivní a hédonické. Intenzivní stupnice vyjadřují úroveň určitého senzorického znaku. Hédonické stupnice vyjadřují stupně oblíbenosti nebo neoblíbenosti (Buňka, Hrabě a Vospěl, 2010).

Senzorická analýza modelových vzorků byla provedena 7 dní od výroby. Této analýzy se zúčastnilo 12 senzorických pozorovatelů a bylo jim k posouzení předloženo 15 různých vzorků. Bylo sledováno sedm různých znaků, které byly následně vyhodnoceny. Senzorické

hodnocení se uskutečnilo v prostorách Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, které jsou k sensorickému hodnocení potravin určené.

Cílem sensorického hodnocení bylo zjistit, zda použití draselných tavicích solí a použití kappa-karagenanu v různých koncentracích bude mít vliv na texturní vlastnosti tavených sýrů.

Hodnotitelské schéma pro tavené sýry je uvedeno v příloze.

K sensorickému hodnocení byla vybrána hédonická ordinální stupnice v rozmezí hodnot 1-7, kde 1 je vynikající a 7 nepřijatelné.

Jako sledované znaky byly porovnávány:

- Vzhled a barva
- Konzistence
- Tuhost
- Roztíratelnost
- Chuť a vůně
- Hořká chuť
- Přítomnost cizích pachů a pachutí

7 VÝSLEDKY A DISKUZE

Cílem diplomové práce bylo vyrobit modelové vzorky tavených sýrů o obsahu sušiny 40 % (hm/hm) a obsah tuku v sušině 50 % (hm/hm). Tyto modelové vzorky byly vyrobeny za pomoci různých druhů draselných tavicích solí a kappa karagenanu, který byl přidáván k modelovým vzorkům v koncentracích 0,25 %; 0,5 %; 0,75 % a 1 % (hm/hm).

7.1 Vyhodnocení pH

U modelových vzorků bylo pH stanoveno 14 dní od výroby. Naměřená hodnota pH všech modelových vzorků se pohybovala v rozmezí $6,22 \pm 0,097$.

Hodnota pH se lišila pro jednotlivé tavicí soli. Nejnižší hodnota pH byla stanovena pro tavicí sůl $K_5P_3O_{10}$, a to $6,11 \pm 0,05$. Pro tavicí sůl K_2HPO_4 byla stanovena hodnota pH $6,24 \pm 0,02$ a nejvyšší hodnota pH byla stanovena pro sůl $K_4P_2O_7$, tato hodnota byla stanovena na $6,33 \pm 0,06$.

Optimální pH roztíratelného taveného sýra se obvykle pohybuje v intervalu 5,60 - 6,10. Typ a množství tavicích solí a taktéž typ a stáří přírodního sýra použitého při výrobě taveného sýra mají výrazný vliv na konečné pH výsledného taveného sýra. Klesající pH taveniny obvykle zvyšuje tuhost finálního výrobku. Naopak čím vyšší je pH taveniny, tím měkčí konzistenci lze očekávat a mohou se objevit i mikrobiologická kontaminace. Vliv tavicích solí na texturní parametry tavených sýrů se obvykle vysvětluje zejména prostřednictvím schopnosti jednotlivých fosforečnanů podpořit iontovou výměnu vápenatých a sodných solí a dále schopností ovlivnit hodnoty pH tavených sýrů a proces krémování. Mezi jednotlivými faktory existují interakce, například platí, že s rostoucím pH taveniny se schopnost iontové výměny zvyšuje (Buňka et al., 2014; Kapoor a Metzger, 2008; Nagyová et al., 2012).

Dle Khetra et al. (2015) nahrazení sodíku draslíkem v tavicích solích má za následek zvýšení hodnoty pH.

Podle studie El-Bakry et al. (2011) se pH zvyšuje v případě náhrady sodných solí za draselné. U této studie bylo pH u draselných tavicích solí změřeno v rozmezí 6,28 – 6,31. Zvýšené pH může zlepšit hydrataci proteinů a vést k měkčí, méně soudržné struktuře s nižšími interakcemi proteinů mezi sebou. Zvýšená hodnota pH může být způsobena slabší vazbou vody na draslík ve srovnání s kationty sodíku, což bylo dříve prokázáno u zjednodušených zředěných roztoků solí. pH modelových vzorků se pohybovalo nad optimálním pH pro tavené sýry a mělo vliv na roztíratelnost taveného sýru, kdy se dá

očekávat konzistence měkčí. Nejměkčí konzistence se dá očekávat u modelového vzorku s přísávkem $K_4P_2O_7$, kdy byla stanovena nejvyšší hodnota pH.

7.2 Stanovení sušiny

Cílem diplomové práce bylo vyrobit modelové vzorky o obsahu sušiny 40 % (hm/hm) a obsah tuku v sušině být 50 % (hm/hm). Pro každý modelový vzorek proběhlo stanovení sušiny dvakrát a výsledek byl stanoven průměrem ze dvou měření.

Výsledky celkového obsahu sušiny pro jednotlivé vzorky byly stanoveny $42,61 \pm 1,07$ % (hm/hm). Tento obsah sušiny byl podobný u všech draselných tavicích solí, které byly k výrobě použity. Stejný obsah sušiny je nutný pro jednotlivé srovnání vzorků, protože tento parametr výrazně ovlivňuje reologické vlastnosti tavených sýrů (Weiserová et al., 2011).

Stanovený obsah sušiny se od deklarovaného lišil o více jak 2 %, což mohlo být způsobeno i vyšším obsahem sušiny ve výrobku Eidamská cihla o 30 % (hm/hm) obsahu tuku v sušině (výrobce Lacrum Velké Meziříčí s.r.o., Velké Meziříčí, Česká republika) a vyšším obsahem sušiny ve výrobku Jihočeské máslo o obsahu tuku 82 % (hm/hm) (výrobce Madeta a.s., České Budějovice, Česká republika), které byla k výrobě modelových vzorků použity.

7.3 Vyhodnocení vodní aktivity

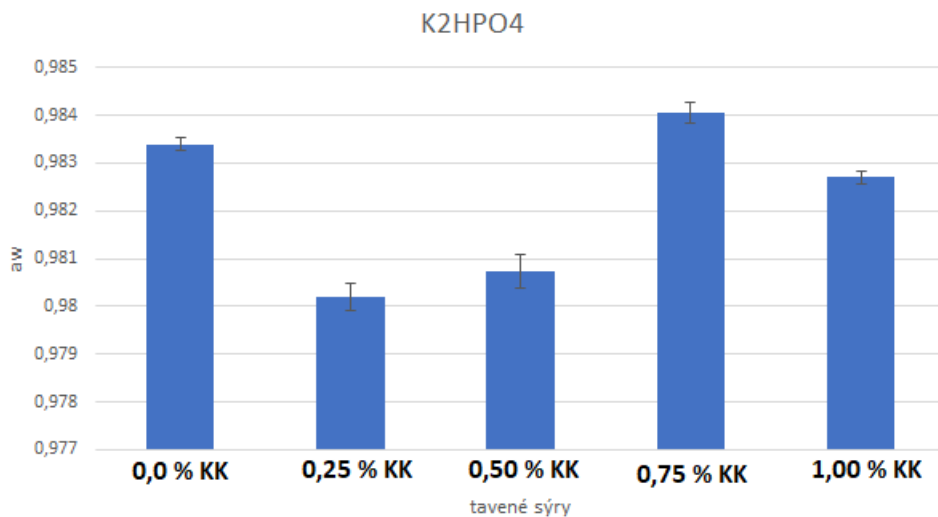
U modelových vzorků byla měřena vodní aktivita pro každý modelový vzorek dvakrát a pro vyhodnocení byly použity průměrné hodnoty a_w .

Naměřené hodnoty vodní aktivity se pohybovaly v rozmezí 0,9802 – 0,9945. Nejnižší vodní aktivita byla stanovena u modelových vzorků tavených sýrů, které byly vyrobeny za pomoci tavicí soli K_2HPO_4 , a to s přísávkem 0,25 % (hm/hm) kappa karagenanu. Naopak nejvyšší vodní aktivita byla stanovena u modelového vzorku s přísávkem draselné tavicí soli $K_5P_3O_{10}$, která obsahovala 0,25 % kappa karagenanu.

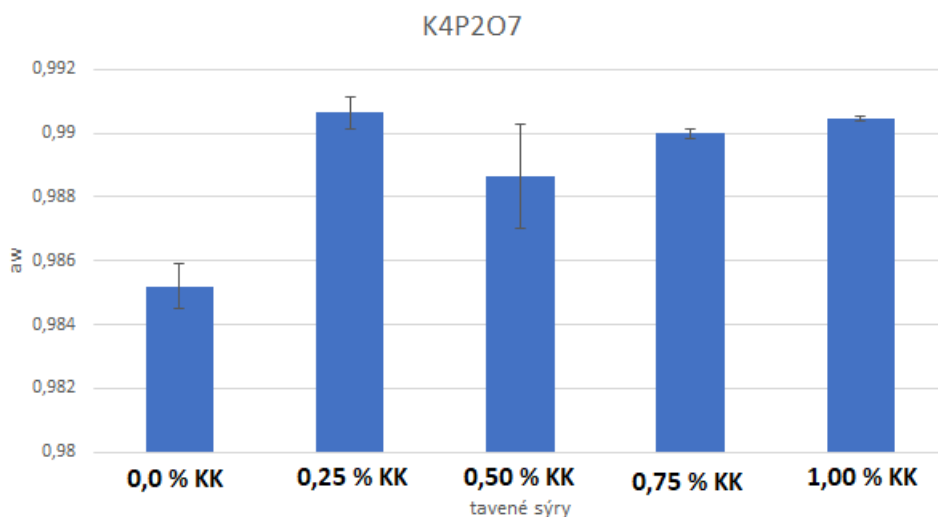
Běžná hodnota vodní aktivity pro tavené sýry vyrobeném přísávkem draselných tavicích solí je v rozmezí hodnot 0,94 – 0,96, pro plátkové tavené sýry v rozmezí hodnot 0,91 – 0,93.

Vyšší hodnota vodní aktivity než 0,944 způsobuje nárůst mikroorganismů a produkci toxinů. Mezi další faktory, které ovlivňují nárůst mikroorganismů patří pH a teplota (Glass a Doyle, 2005)

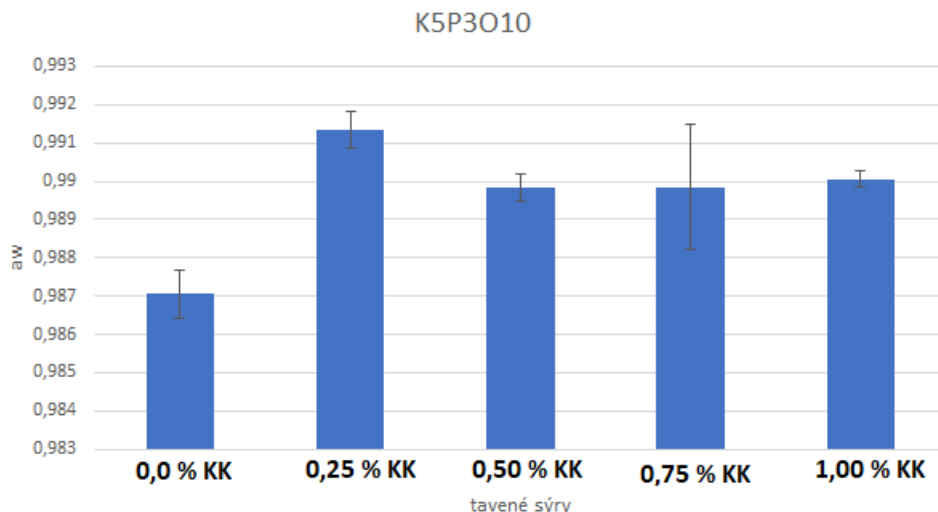
Díky vysoké hodnotě pH, která byla změřena u modelových vzorků a vysoké hodnotě vodní aktivity hrozí u modelových vzorků pomnožení mikroorganismů a rychlejší zkáza.



Obrázek 21 Hodnoty vodní aktivity pro modelové vzorky obsahující tavicí sůl K₂HPO₄



Obrázek 22 Hodnoty vodní aktivity pro modelové vzorky obsahující tavicí sůl K₄P₂O₇



Obrázek 23 Hodnoty vodní aktivity pro modelové vzorky obsahující tavicí sůl $K_5P_3O_{10}$

7.4 Vyhodnocení textury

Díky stanovení texturní profilové analýzy byly získány výsledky měření tvrdosti, lepivosti, elasticity, kohezivnosti, žvýkatelnosti a gumovitosti. Texturní analýza byla provedena pro každý modelový vzorek dvakrát, abychom získali přesnější data. Výsledky měření jsou průměrem těchto dvou měření. Analýza byla provedena 14 dní od výroby modelových vzorků. Výsledky pro jednotlivá měření jsou popsány níže v grafickém vyjádření jednotlivých sledovaných parametrů. Podle Salek et al. (2017) jsou texturní vlastnosti tavených sýrů důležité pro charakterizaci produktu a hodnocení spotřebiteli. Podle studie Khetra et al. (2015) může mít přidání draselných tavicích solí do sýrů vliv na sníženou tvrdost a soudržnost, mírné zvýšení velikosti tukových kuliček a zvýšenou tekutost. Tento vliv na vlastnosti sýra by mohl souviset s rozdíly v hydrataci kationtů s přímým vlivem na kaseinové interakce a emulgaci tuku.

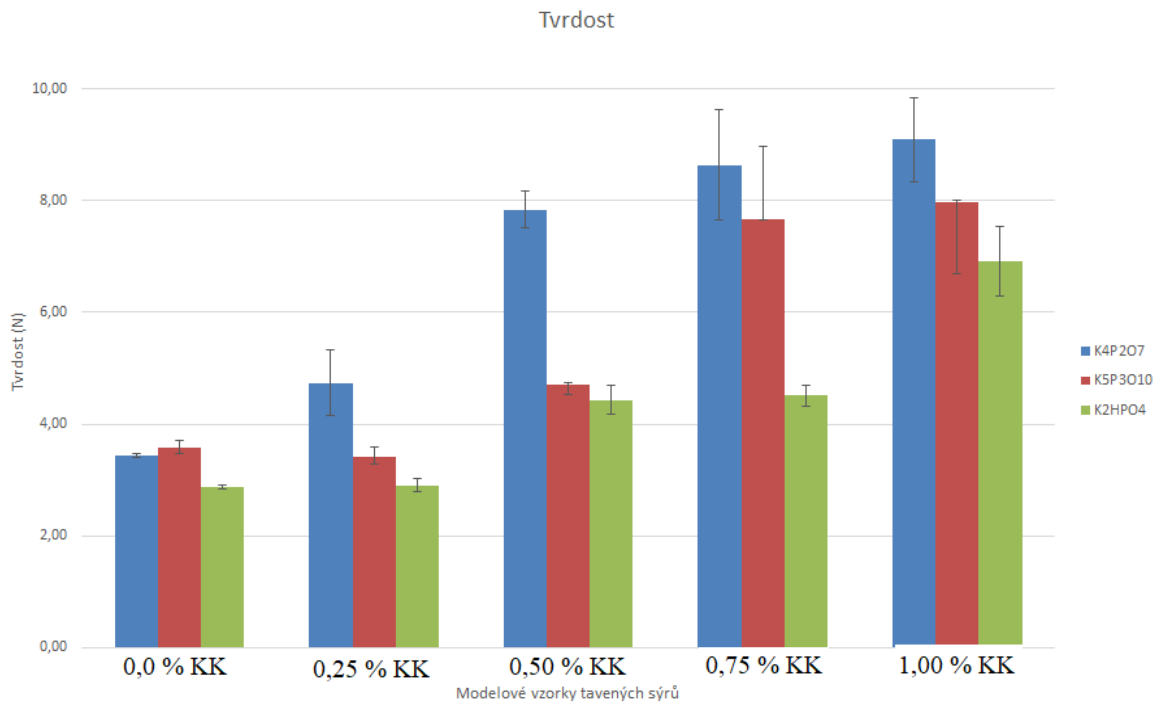
7.4.1 Tvrdość

Na základě texturní profilové analýzy byla zjišťována tvrdość modelových vzorků. Výsledky vývoje tvrdości jsou zaznamenány na obrázku 22. Bylo zjišťeno, že tvrdość vzorků stoupá se zvyšováním koncentrace kappa karagenanu. Jako nejtvrdší vzorek se jeví modelový vzorek vyrobený s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$. U tohoto vzorku byl rozdíl v tvrdości nejvyšší, a to při zvyšující se koncentraci kappa karagenanu. Pokud srovnáme tvrdość u modelových vzorků bez použití kappa karagenanu, je tvrdość vzorků nejnižší u modelových vzorků s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$, u modelového vzorku vyrobeného za pomoci tavicí soli K_2HPO_4 je tvrdość nejnižší.

Salek et al. (2017) ve své studii uvádí, že tvrdość tavených sýrů je ovlivněna použitím tavicí soli. Ve studii Deshwal et al. (2023) se říká, že tvrdość tavených sýrů je ovlivněna počtem atomů fosforu v tavicích solích a se zvyšujícím se počtem atomů fosforu se tvrdość zvyšuje. Ve studii Černíková et al. (2010) bylo zjišťeno, že kappa karagenan může nahradit i samotné tavicí soli, avšak konečné produkty jsou velmi tvrdé.

Ve studii Chavhan et al. (2015) lze vliv rostoucí tvrdości připsat zvýšené disperzi nerozpustného kaseinu, chelataci vápníku a iontové výměně. Koncentrace tavicích solí ovlivňuje jak přerušení vazeb mezi kaseinem a typem a počtem interakcí, nebo také vazby vytvořené během fáze chlazení – gelovatění. Tavicí soli jsou zodpovědné za re-asociaci molekul kaseinu a také tvorbu komplexů mezi tavicími solemi a vápníkem po ochlazení taveného sýra, které napomáhají zasíťování kaseinu v želírovacím systému.

Veškeré tyto parametry mají vliv na zvyšující se konečnou tvrdość výrobku, což se prokázalo i v této diplomové práci.

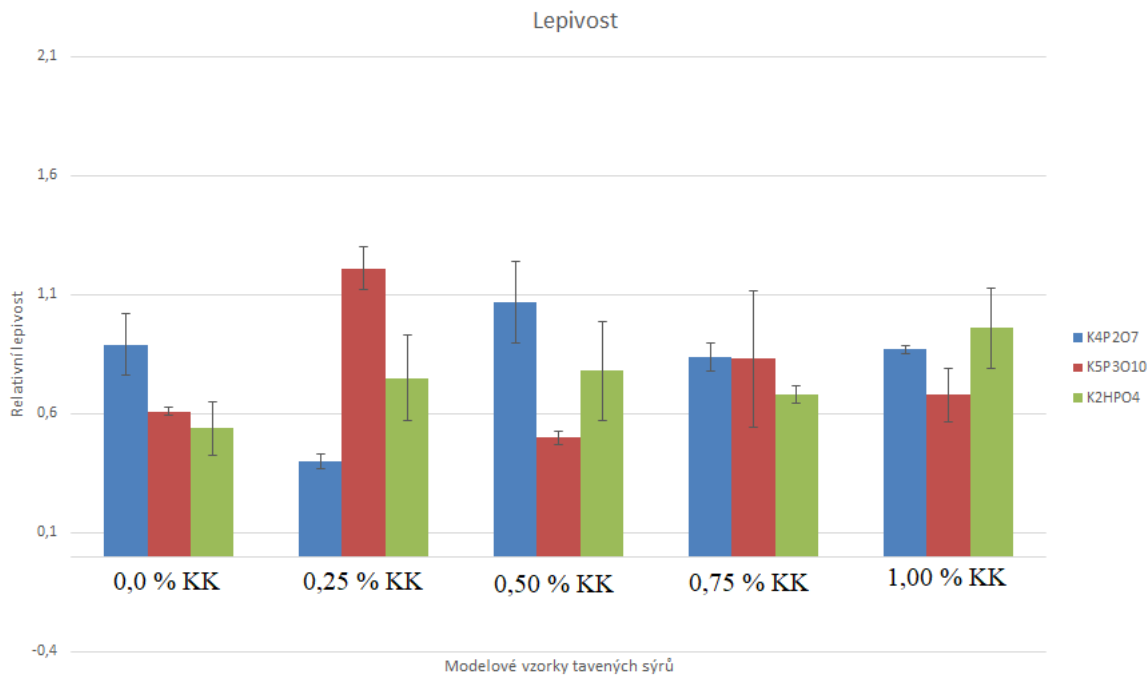


Obrázek 24 Grafické vyjádření tvrdosti pro jednotlivé modelové vzorky

7.4.2 Relativní lepivost

Na základě texturní profilové analýzy pomocí přístroje TA.XTPlus (od výrobce Stable Micro Systems Ltd) byla zjišťována relativní lepivost modelových vzorků.

Pojmem lepivost můžeme označit práci, která je potřebná k překonání přitažlivých sil mezi povrchem taveného sýra a povrchem sondy. Vzhledem k penetračním zkouškám byl zvolen parametr relativní lepivosti, který je vztažený k tuhosti vzorku (Nagyová et al., 2012). Naměřené hodnoty relativní lepivosti se pohybovaly v rozmezí 0,40 – 1,54. Nejnižší hodnota relativní lepivosti byla změřena u vzorku s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ s přídavkem 0,25 % (hm/hm) kappa karagenanu a nejvyšší hodnota byla změřena u taveného sýru vyrobeného pomocí tavicí soli $K_4P_2O_7$ s přídavkem 0,25 % (hm/hm) kappa karagenanu. U modelových vzorků nebyl pozorován jednoznačný trend ve změnách relativní lepivosti modelových vzorků.

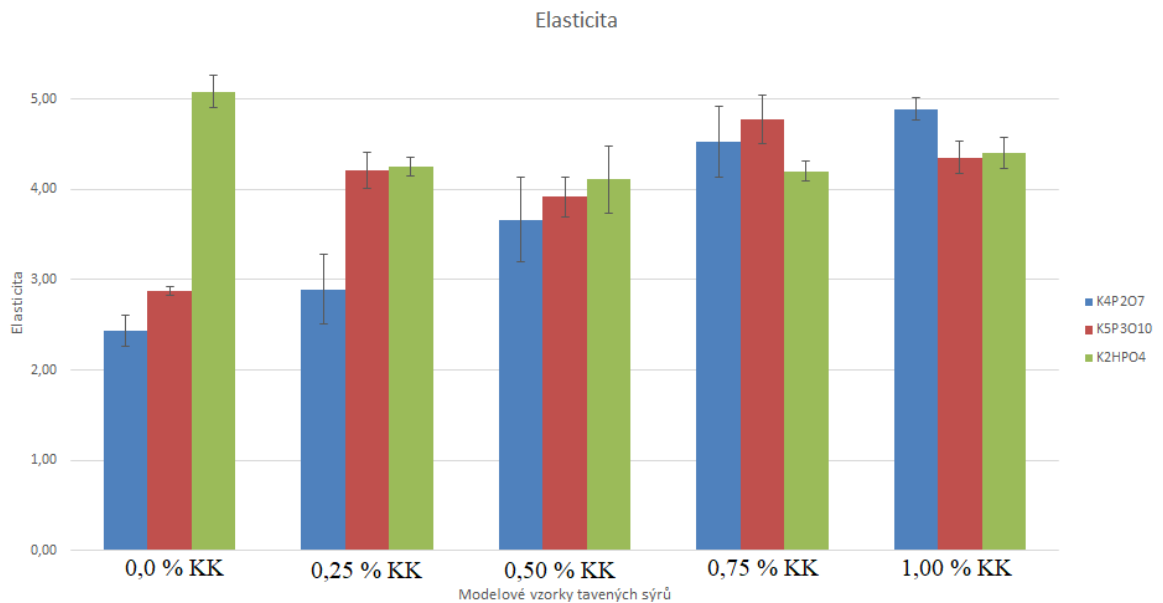


Obrázek 25 Grafické vyjádření relativní leplivosti pro jednotlivé modelové vzorky

7.4.3 Elasticita

Elasticitou můžeme nazvat rychlost, s jakou se deformovaný materiál vrací zpět do svého nedeformovaného stavu po odstranění deformační síly (El-Bakry a Mehta, 2022). Podle studie Chavhan et al. (2015) musí být molekuly kaseinu schopné se vzájemně ovlivňovat, aby se dobře natáhly a po uvolnění napětí, které na ně působí, se stát poddajnými. Nemělo by docházet k lámání a měl by se udržovat mezi nimi adekvátní kontakt. Pro dobré natahovací vlastnosti je důležité dosáhnout relativně vysokých koncentrací intaktního kaseinu a kritické koncentrace vápníku a fosforu.

Elasticita měřených vzorků stoupala s koncentrací kappa karagenanu, a to u všech tavicích solí. Nejnížší hodnoty elasticity byly naměřeny u kontrolních vzorků, které neobsahovaly kappa karagenan. Jedinou výjimkou byl vzorek s tavicí solí K_2HPO_4 , který měl nejvyšší elasticitu $5,08 \pm 0,18$ právě bez přídavku kappa karagenanu a hodnotu $4,25 \pm 0,11$ s 0,25 % (hm/hm) přídavkem kappa karagenanu. Od přídavku 0,50 % kappa karagenanu hodnoty elasticity pro vzorky této tavicí soli měly již vzrůstající charakter podobný ostatním modelovým vzorkům.

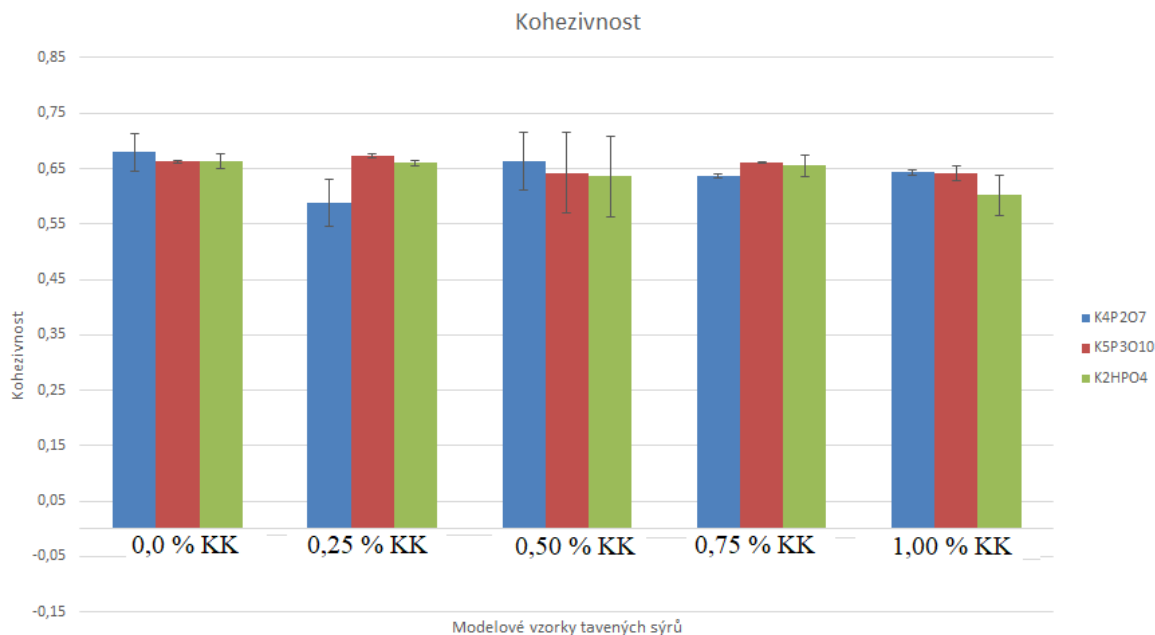


Obrázek 26 Grafické vyjádření elasticity pro jednotlivé modelové vzorky

7.4.4 Kohezivnost

Soudržnost je definována jako energie neboli vykonaná práce sýra během druhého lisování ve vztahu k prvnímu lisování (El-Bakry a Mehta, 2022).

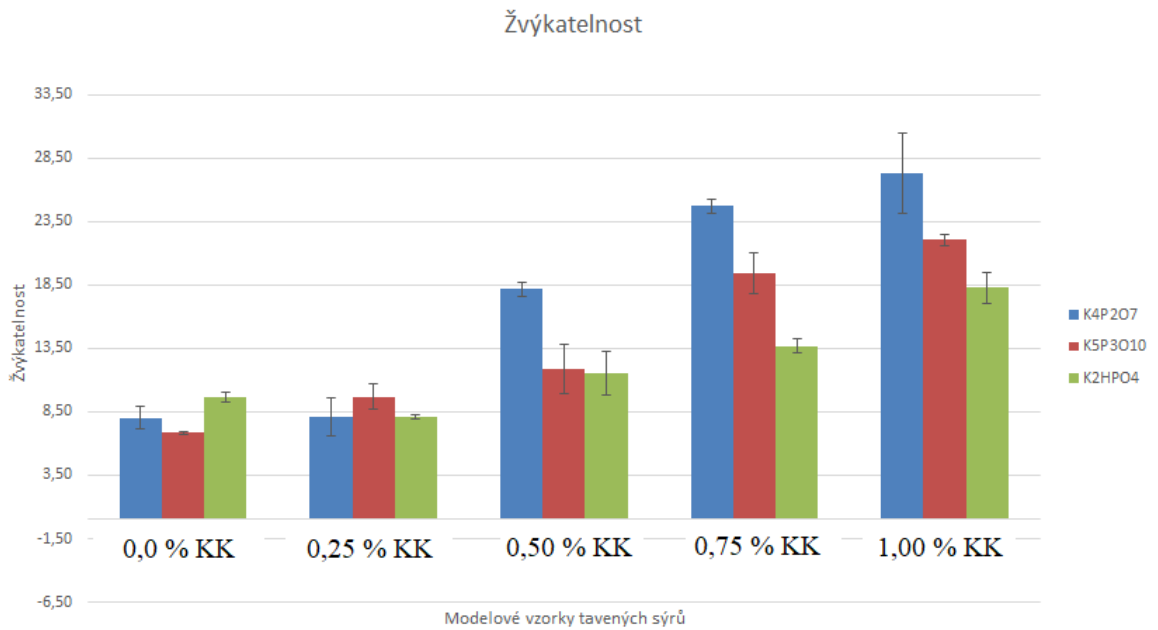
Kohezivnost měřených vzorků byla podobného charakteru a hodnot. Naměřené hodnoty kohezivnosti se pohybovaly rozmezí 0,59 – 0,68. Nelze tedy říci, která tavicí sůl nebo koncentrace kappa karagenanu má vyšší vliv na soudržnost modelových vzorků tavených sýrů.



Obrázek 27 Grafické vyjádření kohezivnosti pro jednotlivé modelové vzorky

7.4.5 Žvýkatelnost

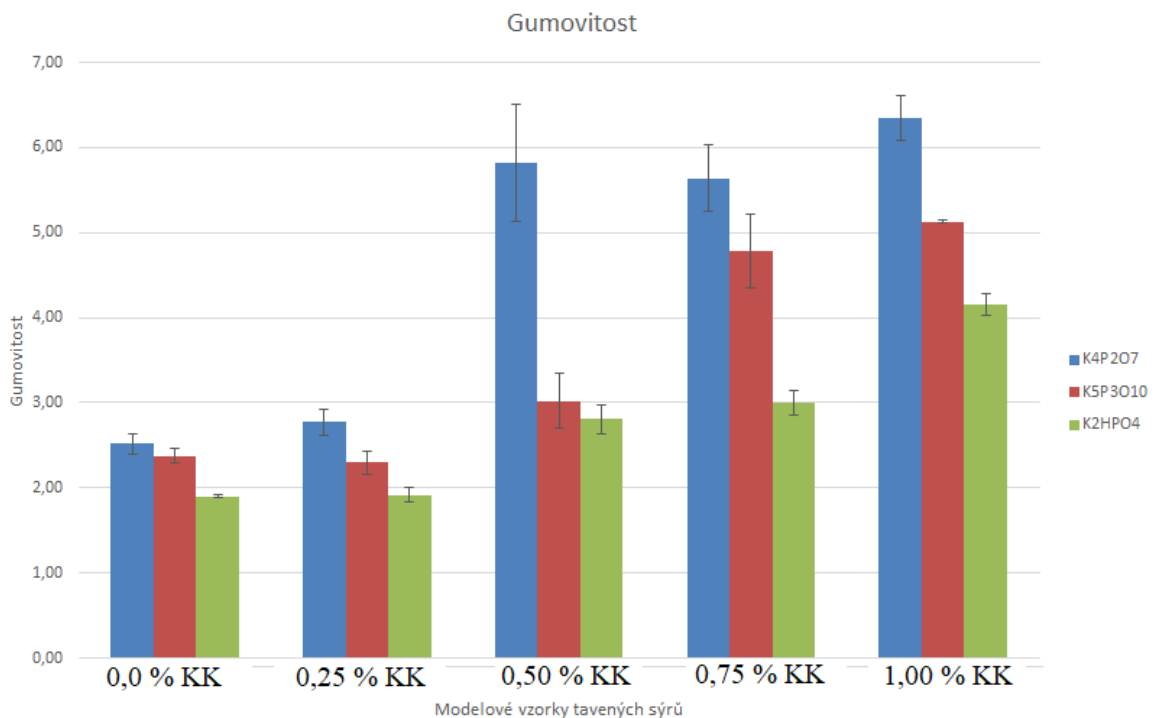
Žvýkatelnost je označována jako součin gumovitosti a pružnosti (El-Bakry a Mehta, 2022). Žvýkatelnost měřených modelových vzorků měla vzrůstající trend, a to s množstvím přidaného kappa karagenanu. Nejvíce žvýkatelné vzorky obsahovaly 1,00 % (hm/hm) kappa karagenanu. Vzorky vyrobené s tavicí solí $K_4P_2O_7$ byly nejvíce žvýkatelné. Hodnoty žvýkatelnosti pro tavicí sůl $K_4P_2O_7$ se pohybovaly v rozmezí 6,80 – 27,29. Hodnoty žvýkatelnosti pro tavicí sůl $K_5P_3O_{10}$ se pohybovaly v rozmezí 6,83 – 22,02. A hodnoty žvýkatelnosti pro tavicí sůl K_2HPO_4 se pohybovaly v rozmezí 8,15 – 18,30.



Obrázek 28 Grafické vyjádření žvýkatelnosti pro jednotlivé modelové vzorky

7.4.6 Gumovitost

Gumovitost je vypočítána jako součin tvrdosti a soudržnosti (El-Bakry a Mehta, 2022). Tavené sýry obsahující kappa karagenan v koncentraci 0,5 – 1,0 % (hm/hm) měly vysoký nárůst gumovitosti v modelových vzorcích. Nejvyšší gumovitost měly vzorky obsahující tavicí sůl $K_4P_2O_7$, která se pohyboval v rozmezí 2,52 – 6,35. K nejnižšímu nárůstu gumovitosti docházelo u vzorků s tavicí solí K_2HPO_4 , hodnoty gumovitosti pro tyto vzorky se pohybovaly v rozmezí 1,90 – 4,15.



Obrázek 29 Grafické vyjádření gumovitosti pro jednotlivé modelové vzorky

7.5 Vyhodnocení reologických vlastností

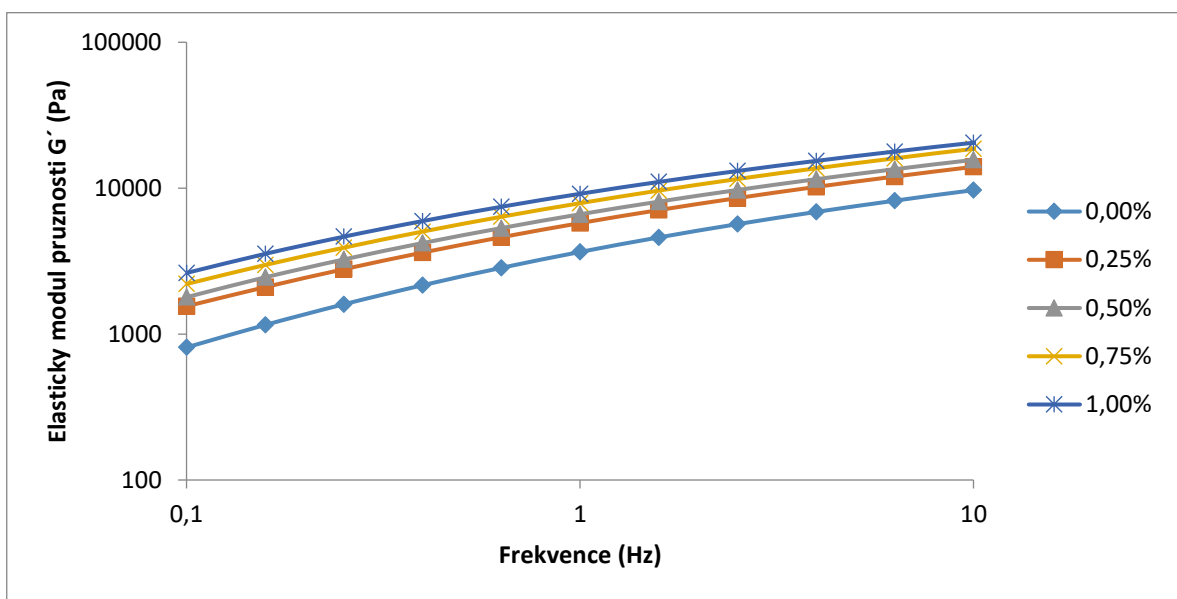
Jedním z cílů této diplomové práce bylo zjistit, zda bude mít surovinová skladba s přídavkem kappa karagenanu a draselných tavicích solí vliv na reologické vlastnosti tavených sýrů.

Reologické vlastnosti jsou teoreticky spojeny s gelovou strukturou sítě a jednotlivými interakcemi mezi nimi a díky tomu reologie poskytuje náhled do molekulárního základu textury (Brown et al., 2003).

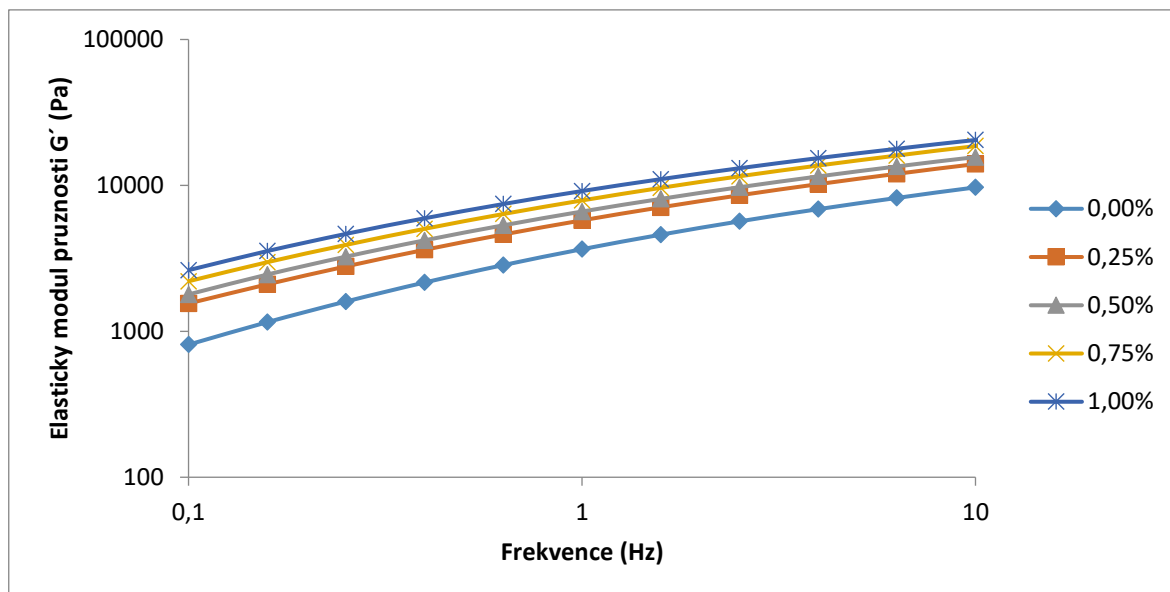
Pomocí reometru Kinexus od společnosti NETZSCH-Gerätebau GmbH byly změřeny hodnoty modulu pružnosti (G') a viskózního modulu (G'') a taktéž byly stanoveny hodnoty míry ztráty energie $\tan \delta$ a hodnoty komplexního modulu G^* . Pro stanovení G' a G'' modulů byl použit frekvenční rozsah (f) 0,01–10,00 Hz.

Na obrázcích 30–32 můžeme vidět závislost elastického modulu (G') na frekvenci pro tavené sýry s přídavkem jednotlivých tavicích solí s přídavkem kappa karagenanu v koncentracích 0–1 % (hm/hm). Ve všech případech jednotlivých tavicích solí lze pozorovat zvyšující se hodnota elastického modulu pružnosti G' (Pa) s koncentrací přidaného kappa karagenanu. Nejnižší hodnota G' pro tavicí sůl $K_4P_2O_7$ byla naměřena při frekvenci 0,1 Hz bez přídavku kappa karagenanu, a to 824 Pa. Nejvyšší hodnota G' byla naměřena při frekvenci 10,00 Hz a pro koncentraci kappa karagenanu 1 % (hm/hm), a to 28055 Pa. Nejnižší hodnota G' pro

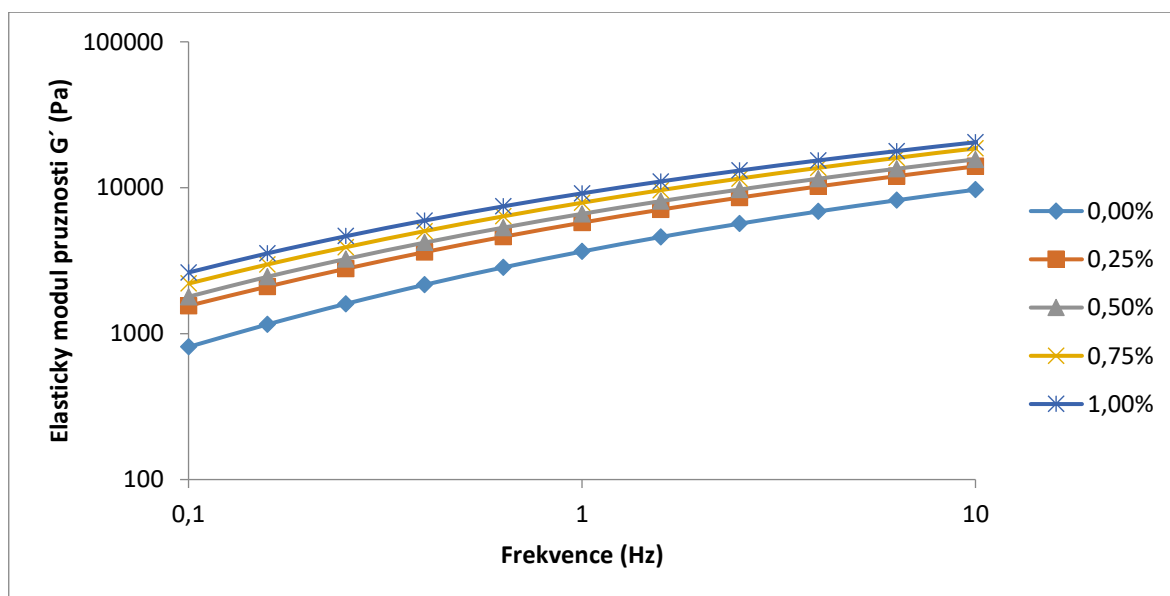
tavicí sůl $K_5P_3O_{10}$ byla naměřena při frekvenci 0,1 Hz bez přídavku kappa karagenanu, a to 531 Pa. Nejvyšší hodnota G' byla naměřena při frekvenci 10,00 Hz a pro koncentraci kappa karagenanu 1 % (hm/hm), a to 23995 Pa. Nejnižší hodnota G' pro tavicí sůl $K_4P_2O_7$ byla naměřena při frekvenci 0,1 Hz bez přídavku kappa karagenanu, a to 810 Pa. Nejvyšší hodnota G' byla naměřena při frekvenci 10,00 Hz a pro koncentraci kappa karagenanu 1 % (hm/hm), a to 20485 Pa.



Obrázek 30 Závislost elastického modulu (G') na frekvenci pro tavené sýry s přídavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ s přídavkem kappa karagenanu v koncentracích 0–1 % (hm/hm).



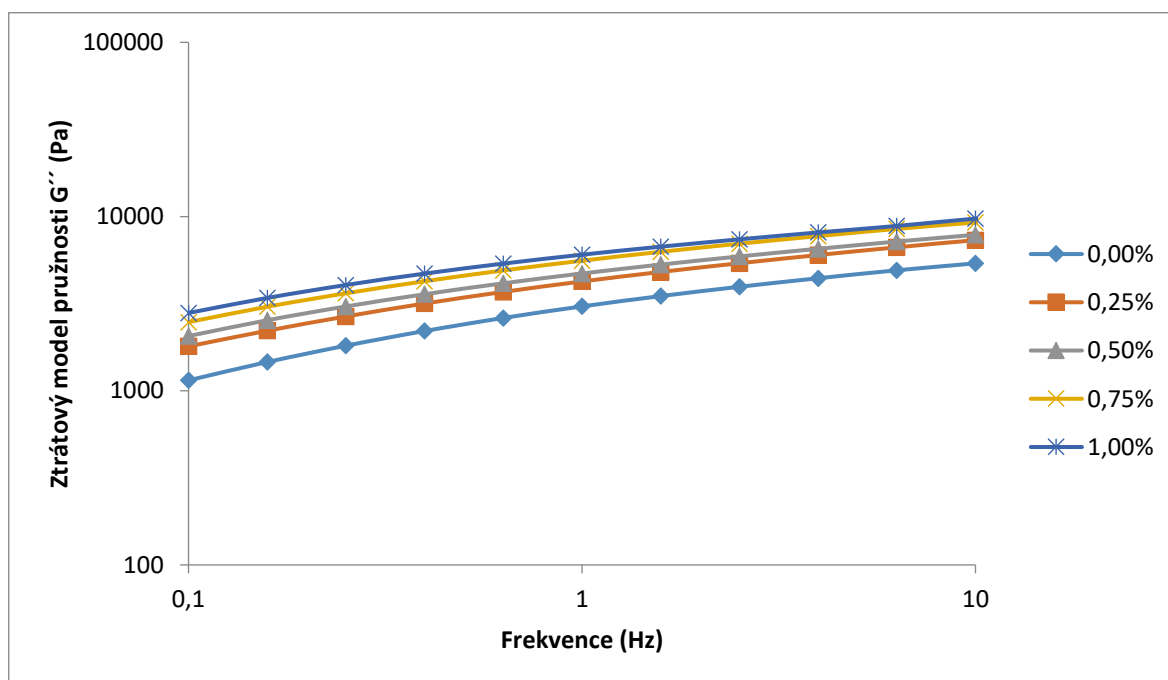
Obrázek 31 Závislost elastického modulu (G') na frekvenci pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ s přidavkem kappa karagenanu v koncentracích 0–1 % (hm/hm).



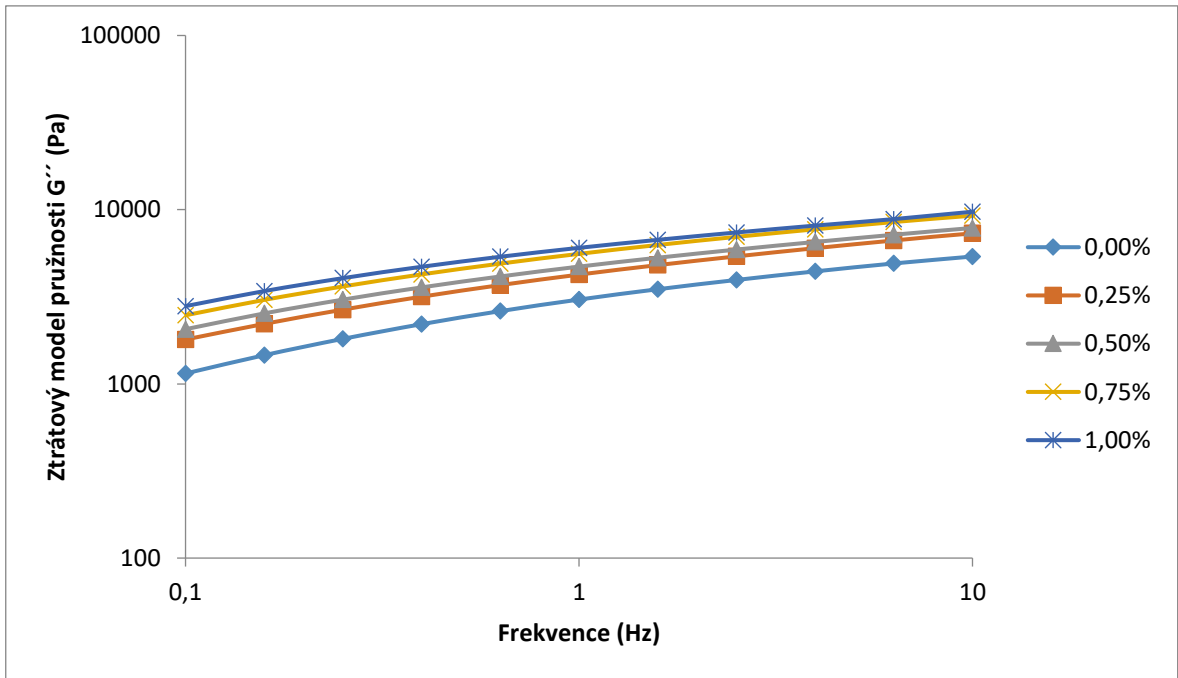
Obrázek 32 Závislost elastického modulu (G') na frekvenci pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 s přidavkem kappa karagenanu v koncentracích 0–1 % (hm/hm).

Na obrázcích 33–35 můžeme vidět závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci pro tavené sýry s přidavkem jednotlivých tavicích solí s přidavkem kappa karagenanu v koncentracích 0–1 % (hm/hm).

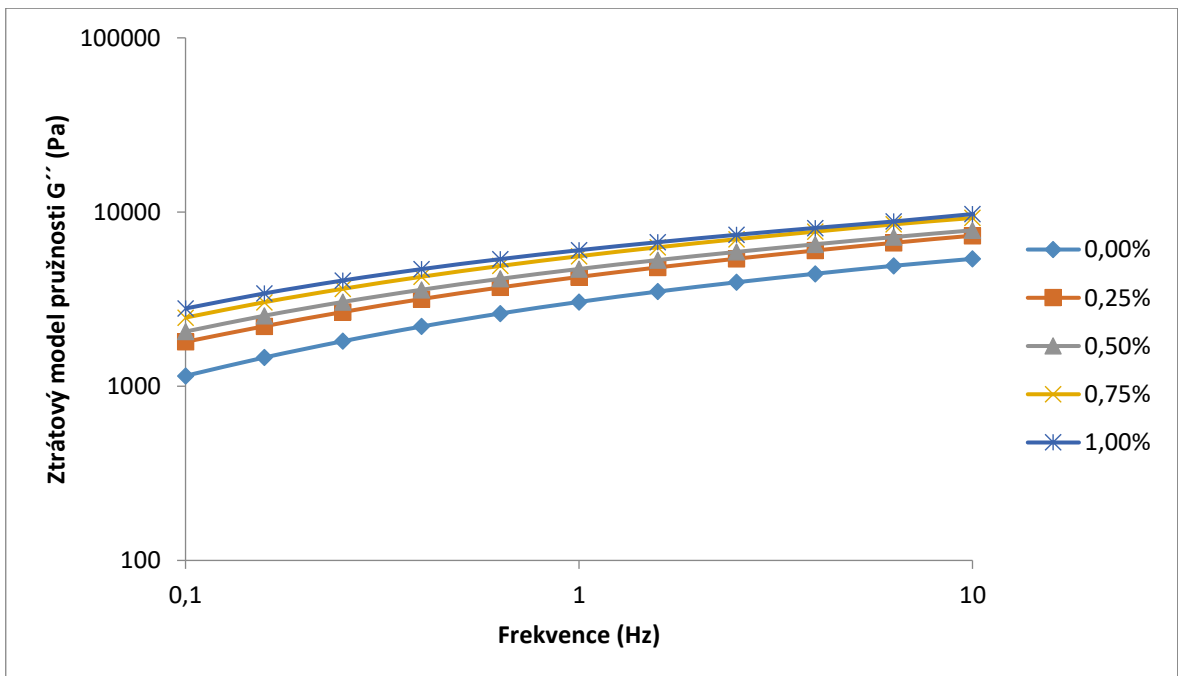
Ve všech případech jednotlivých tavicích solí lze pozorovat zvyšující se hodnota ztrátového modulu pružnosti G'' (Pa) s koncentrací přidaného kappa karagenanu. Nejnižší hodnota G'' pro tavicí sůl $K_4P_2O_7$ byla naměřena při frekvenci 0,1 Hz bez přídavku kappa karagenanu, a to 1073 Pa. Nejvyšší hodnota G'' byla naměřena při frekvenci 10,00 Hz a pro koncentraci kappa karagenanu 1 % (hm/hm), a to 11932 Pa. Nejnižší hodnota G'' pro tavicí sůl $K_5P_3O_{10}$ byla naměřena při frekvenci 0,1 Hz bez přídavku kappa karagenanu, a to 900 Pa. Nejvyšší hodnota G'' byla naměřena při frekvenci 10,00 Hz a pro koncentraci kappa karagenanu 1 % (hm/hm), a to 10154 Pa. Nejnižší hodnota G'' pro tavicí sůl $K_4P_2O_7$ byla naměřena při frekvenci 0,1 Hz bez přídavku kappa karagenanu, a to 1147 Pa. Nejvyšší hodnota G'' byla naměřena při frekvenci 10,00 Hz a pro koncentraci kappa karagenanu 1 % (hm/hm), a to 9533 Pa.



Obrázek 33 Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci pro tavené sýry s přídavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ s přídavkem kappa karagenanu v koncentracích 0–1 % (hm/hm).



Obrázek 34 Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ s přidavkem kappa karagenanu v koncentracích 0–1 % (hm/hm).



Obrázek 35 Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 s přidavkem kappa karagenanu v koncentracích 0–1 % (hm/hm).

Podle toho, zda převažuje modul pružnosti nebo viskózní modul můžeme říci, zda se viskoelastický materiál chová spíše jako kapalina nebo pevná látka.

Podle studie Brown et al. (2003) má na vlastnosti viskoelastických materiálů vliv velikosti hodnot elastického a ztrátového modulu. Pokud hodnoty G' jsou vyšší než hodnoty G'' , pak hovoříme chování slabého gelu. O slabém gelu mluvíme i v případě, pokud dochází ke zvyšování obou sledovaných modulů s hodnotou frekvence, což ve své studii potvrdil i Ningtyas et al. (2017). U všech modelových vzorků došlo k zvyšování obou sledovaných modulů s hodnotou frekvence, a hodnoty G' byly vyšší než hodnoty G'' , což naznačuje v obou případech chování slabého gelu.

Viskoelastické chování modelových vzorků bylo taktéž stanoveno pomocí hodnoty míry ztráty energie. Hodnoty míry ztráty energie $\tan \delta$ byly stanoveny pro frekvenci 1 Hz. Hodnoty $\tan \delta$ pro tavicí sůl $K_4P_2O_7$ se pohybovaly v rozmezí 0,581 – 0,910, hodnoty $\tan \delta$ pro vzorky obsahující tavicí sůl $K_5P_3O_{10}$ se pohybovaly v rozmezí 0,588 – 0,921 a hodnoty $\tan \delta$ pro vzorky obsahující tavicí sůl K_2HPO_4 se pohybovaly v rozmezí 0,660 – 0,834. Nejvyšší hodnoty $\tan \delta$ dosahovaly ve všech třech případech tavicích solí vzorky, které neobsahovaly žádný přidaný kappa karagenan. Nejnižší hodnotu $\tan \delta$ vykazovaly všechny vzorky s přidaným množstvím 1 % (hm/hm) kappa karagenanu.

Při velmi nízké frekvenci 0,1 Hz je $\tan \delta$ relativně vysoké, což dokazuje dominantní vliv viskózní složky a tavené sýry se při deformaci chovají tekutěji při nižší rychlosti. Se zvyšující se hodnotou frekvence má rychlost menší vliv na relativní účinky viskoelastických vlastností, a při vysokých hodnotách frekvence (10 Hz), nabývá $\tan \delta$ nízkých hodnot, což ukazuje dominantní efekt elastické složky, kdy se tavené sýry při takových vyšších rychlostech chovají pevněji. K tomuto závěru došli ve své studii i Brown et al. (2003).

Pokud hodnota $\tan \delta$ je nižší než jedna, jedná se o vzorky více elastické než viskózní. Můžeme říci, že modelové vzorky se stávaly více gelovější s přibývajícím koncentrací kappa karagenanu, což ve své studii publikoval i Nguyen et al. (2016) a Ningtyas et al. (2017).

Tabulka 9 Hodnoty komplexního modulu G^* a $\tan \delta$ modelových vzorků tavených sýrů při frekvenci 1 Hz

Tavicí sůl	Přídavek kappa karagenanu % (hm/hm)	Hodnota G^* [Pa]	Hodnota $\tan \delta$ [-]
K₄P₂O₇	0,00	5513,4	0,910
	0,25	9294,6	0,748
	0,50	12965,2	0,597
	0,75	14153,6	0,616
	1,00	15836,9	0,581
K₅P₃O₁₀	0,00	3944,7	0,921
	0,25	4855,4	0,854
	0,50	6272,6	0,752
	0,75	7108,5	0,671
	1,00	13500,7	0,588
K₂HPO₄	0,00	4758,4	0,834
	0,25	7154,2	0,736
	0,50	8128,6	0,711
	0,75	9661,9	0,707
	1,00	10962,1	0,660

7.6 Vyhodnocení analýzy barvy

Analýza barvy probíhala za laboratorní teploty za pomoci přístroje UltraScan VIS od společnosti HunterLab. Výsledky analýzy barvy modelových vzorků jsou zaneseny v Tabulce 9. Měření probíhalo za pomoci spektrofotometrické metody CIE 1976 $L^*a^*b^*$, která se používá pro potravinářské účely. Podle Thomareis a Dimitreli, (2022) je barva je popsána pomocí tří souřadnic, a to:

- L^* , která značí světlost a vyjadřuje se v rozmezí od černé (0) po bílou (100)
- a^* od zelené barvy (záporné hodnoty) po červenou barvu (kladné hodnoty)
- b^* z modré barvy (záporné hodnoty) do žluté barvy (kladné hodnoty)

Podle studie Jelena a Zorana, 2022 je barva tavených sýrů obvykle žlutá až oranžová. Bělejší barva produktu je důsledkem menšího průměru tukové kuličky, která způsobuje větší rozptyl světla a taktéž typ a množství tavicích solí má významný vliv na barevné parametry tavených sýrů.

Světlost modelových vzorků L^* byla změřena v rozmezí 90,37 - 91,27. Tyto hodnoty jsou velmi blízko k hodnotě 100, která je vyjádřena bílou barvou. Kromě jediné hodnoty a^* , která se nacházela v záporných číslech, přesněji $-0,02 \pm 0,04$, pro modelový vzorek obsahující tavicí sůl $K_4P_2O_7$ a koncentraci přidaného kappa karagenanu 0,75 % (hm/hm), se oba parametry a^* a b^* pohybovaly v kladných číslech. Což značí, že odstín barvy modelových vzorků byl červený a žlutý.

Vzhledem k tomu, že se veškeré změřené hodnoty pohybují v podobných hodnotách, můžeme říci, že druh použité tavicí soli neměl na parametry světlosti a odstínů zásadní vliv a odstín a sytost modelových vzorků byla podobná pro každou použitou tavicí sůl a různé přídavky kappa karagenanu.

Tabulka 10 Výsledky měření barvy u modelových vzorků tavených sýrů

vzorek obsahující tavicí sůl	přídavek kappa karagenanu % (hm/hm)	L^*	a^*	b^*
$K_4P_2O_7$	0,00	$91,08 \pm 0,37$	$0,16 \pm 0,00$	$13,57 \pm 0,53$
	0,25	$90,42 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,06$	$14,41 \pm 0,04$
	0,50	$90,73 \pm 0,04$	$0,14 \pm 0,03$	$13,52 \pm 0,30$
	0,75	$90,37 \pm 0,25$	$0,15 \pm 0,08$	$13,8 \pm 0,03$
	1,00	$90,545 \pm 0,04$	$0,18 \pm 0,02$	$13,28 \pm 0,33$
$K_5P_3O_{10}$	0,00	$90,84 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,01$	$13,53 \pm 0,18$

	0,25	91,2 ± 0,11	0,09 ± 0,02	12,96 ± 0,15
	0,50	90,88 ± 0,10	0,08 ± 0,04	13,19 ± 0,21
	0,75	90,73 ± 0,03	0,17 ± 0,11	13,52 ± 0,49
	1,00	90,91 ± 0,04	0,15 ± 0,01	13,13 ± 0,67
K₂HPO₄	0,00	91,27 ± 0,19	0,05 ± 0,01	13,76 ± 0,14
	0,25	90,66 ± 0,10	0,14 ± 0,08	14,63 ± 0,62
	0,50	90,74 ± 0,20	0,15 ± 0,02	14,04 ± 0,15
	0,75	90,46 ± 0,14	-0,02 ± 0,04	14,38 ± 0,50
	1,00	90,66 ± 0,42	0,02 ± 0,04	13,85 ± 0,26

7.7 Vyhodnocení sensorické analýzy

Senzorické hodnocení modelových vzorků bylo provedeno 7 dní od výroby. Cílem sensorického hodnocení bylo zjistit, zda použití draselných tavicích solí a použití kappa karagenanu v různých koncentracích bude mít vliv na texturní vlastnosti tavených sýrů a zda použití draselných tavicích solí bude mít vliv na hořkost taveného sýra. K sensorickému hodnocení byla použita hédonická ordinální stupnice v rozmezí hodnot 1-7, kde 1 je vynikající a 7 nepřijatelné. Mezi sledované znaky, které byly porovnávány patřily vzhled a barva, konzistence, tuhost, roztíratelnost, chuť a vůně, hořká chuť a přítomnost cizích pachů a pachutí.

Jako první sledovaný znak, který se porovnával, byl vzhled a barva. Všechny modelové vzorky byly hodnoceny jako vynikající, což značí barvu smetanově bílou barvu bez cizích odstínů. Vzhled byl u všech modelových sýrů hodnocen jako hladký a lesklý.

Jako druhý byl sledován znak konzistence. Konzistence vzorků bez přídavku kappa karagenanu byla hodnocena u tavicích solí K₄P₂O₇ a K₂HPO₄ jako velmi dobrá, pouze nepatrně tužší nebo měkčí. U tavicí soli K₅P₃O₁₀ byla hodnocena jako dobrá, mírně tužší nebo měkčí, slabě lepivá. U vzorků, kde byl přidán kappa karagenan se konzistence zhoršovala s množstvím přidaného kappa karagenanu. U přídavku 1 % (hm/hm) kappa karagenanu byla konzistence u všech vzorků hodnocena nejhorším stupněm, a to velmi tuhá

nebo drobná, silně lepivá, rozbředlá, nehomogenní s oddělujícím se tukem, roztékavá. V případě vzorku vyrobeného pomocí tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ byla konzistence silně krupičkovitá.

Další znak, který byl senzoricou analýzou sledován, je tuhost. Tuhost vzorků bez přídavku kappa karagenanu byla hodnocena u všech tavicích solí stejně, a to že tavený sýr je mírně tužší. Pokud byly hodnoceny vzorky s přídavkem kappa karagenanu, tak byly všechny vzorky s tavicími solemi $K_4P_2O_7$ a K_2HPO_4 hodnoceny jako velmi tuhé. Vzorky s přídavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ a koncentrací kappa karagenanu 0,25 % (hm/hm) a 0,50 % (hm/hm) byly hodnoceny jako tuhé, s přídavkem 0,75 % (hm/hm) a 1,00 % (hm/hm) byly opět hodnoceny jako velmi tuhé. Můžeme tedy říci, že s přídavkem kappa karagenanu došlo k zvýšení tuhosti tavených sýrů. Imeson, (2009) ve své studii konstatuje, že kappa karagenan tvoří pevný gel s draselnými ionty, což dokazuje i hodnocení senzoricých pozorovatelů.

Roztíratelnost tavených sýrů s přídavkem draselných tavicích solí byla hodnocena jako hůře roztíratelná. V případě přidání kappa karagenanu byla roztíratelnost u všech vzorků hodnocena velmi negativně, a to, že tavený sýr není roztíratelný. Procentuální přídavek kappa karagenanu neměl na tento sledovaný parametr žádný vliv. V případě sledování chuti a vůně byl tavený sýr s přídavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ bez přídavku kappa karagenanu hodnocen čtvrtým bodovým ohodnocením, jako dobrý. Chuť a vůně byla typická pro smetanový tavený sýr s odchylkami ne zásadního charakteru, avšak charakteristická a čistá pro deklarovaný druh. Tavené sýry s přídavkem tavicích solí K_2HPO_4 a $K_5P_3O_{10}$ byly hodnoceny jako velmi dobré, kde byly zaznamenány mírné odchylky od vynikající chuti a vůně, přesto harmonické, typické a cizí příchutě byly vyloučeny. Pokud byly sledovány vzorky s přídavkem kappa karagenanu, u vzorků s přídavkem $K_4P_2O_7$ se s procentuálním přídavkem kappa karagenanu zvyšovalo negativní hodnocení z méně dobré po nevyhovující, kde chuť a vůně byla méně harmonická, s příchutí po tavicích solích, případně slabě nečistá. U vzorků s přídavkem tavicích solí K_2HPO_4 a $K_5P_3O_{10}$ a kappa karagenanu byla chuť a vůně hodnocena jako velmi dobrá a výborná, pokud koncentrace kappa karagenanu byly 0,25 % (hm/hm) a 0,50 % (hm/hm). Když došlo ke zvýšení koncentrace kappa karagenanu na hodnoty 0,75 % (hm/hm) a 1 % (hm/hm) byla chuť a vůně hodnocena jako méně dobrá. V chuti a vůni byly zpozorovány cizí příchutě ve velmi malé intenzitě. Chuť byla méně harmonická a slabá.

Co se týče hořké chuti, ta byla pozorována u vzorků s přídatkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ bez přídatku kappa karagenanu a s přídatkem 0,25 % (hm/hm) kappa karagenanu. U žádného jiného modelového vzorku nebyla hořká chuť zaznamenána.

V žádném z modelových vzorků nebyly pozorovány žádné pachutě.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce byla zaměřena na sledování vlivu přísadku draselných tavicích solí a přísadku kappa karagenanu na vybrané vlastnosti tavených sýrů. Cílem diplomové práce bylo vyrobit modelové vzorky tavených sýrů s přísadkem tavicích solí $K_5P_3O_{10}$, $K_4P_2O_7$, K_2HPO_4 , KH_2PO_4 . Kappa-karagenan byl přidáván v koncentracích 0,25 %, 0,50 %, 0,75 % a 1,00 % (hm/hm) a vždy jeden vzorek byl kontrolní, bez přísadku kappa karagenanu. Modelové vzorky obsahující tavicí sůl KH_2PO_4 byly ze stanovených analýz vyloučeny, a to z důvodu, že nedokázaly vytvořit kompaktní taveninu.

U vyrobených modelových vzorků byly provedeny vybrané analýzy, a to: stanovení pH, stanovení sušiny, měření vodní aktivity, analýza textury, posouzení reologických vlastností, analýza barvy a senzorická analýza.

Na základě vyhodnocených dat a výsledků můžeme cíle diplomové práce shrnout níže:

- U stanovení pH bylo zjištěno, že vzorky vyrobené pomocí draselných tavicích solí mají vyšší pH, než je optimum a tyto hodnoty pH mohou mít vliv na texturní vlastnosti.
- Stanovená sušina modelových vzorků se pohybovala v rozmezí $42,61 \pm 1,07$ %. Stanovení stejného obsahu sušiny pro jednotlivé vzorky je nutné pro srovnání vzorků, a to z důvodu ovlivnění reologických vlastností tavených sýrů.
- Vodní aktivita se pohybovala v rozmezí 0,9802 – 0,9945. Toto rozpětí se pohybuje nad optimální hranicí vodní aktivity pro tavené sýry vyrobené s přísadkem draselných tavicích solí. Díky vysoké hodnotě pH, která byla změřena u modelových vzorků a vysoké hodnotě vodní aktivity hrozí u modelových vzorků pomnožení mikroorganismů a rychlejší zkáza.
- V případě stanovení tvrdosti byl pozorován jednoznačný trend rostoucí tvrdosti se stoupající koncentrací kappa karagenanu. Jako nejtvrdší byly stanoveny vzorky obsahující 1 % (hm/hm) kappa karagenanu. Lze tedy říci, že použitá tavicí sůl a kappa karagenan mají vliv na zvyšující se tvrdost výrobku. Tento rostoucí trend byl pozorován i pro stanovení žvýkatelnosti a gumovitosti.
- Pro stanovení elasticity s výjimkou tavicí soli K_2HPO_4 , kde relativní lepivost byla pro kontrolní vzorek a vzorek obsahující koncentraci kappa karagenanu 0,25 %

(hm/hm) vyšší než pro ostatní koncentrace přidaného kappa karagenanu platit taktéž rostoucí trend.

- Pro stanovení relativní lepivosti a kohezivnosti nebyl určen jednoznačný trend, vzorky nabývaly podobných hodnot.
- Co se týká reologických vlastností, všechny vzorky dosahovaly vyšších hodnot elastického modulu pružnosti než ztrátového modulu pružnosti, což značí o chování slabého gelu.
- Modelové vzorky dosahovaly hodnoty pro $\tan \delta$ nižší než jedna, což značí, že se jedná o vzorky více elastické, než viskózní. Můžeme říci, že modelové vzorky se stávaly více gelovější s přibývajícím koncentrací kappa karagenanu,
- Analýzou barvy bylo zjištěno, že odstín barvy modelových vzorků je červený a žlutý. Veškeré změřené výsledky se pohybovaly v podobných hodnotách, proto můžeme říci, že druh použité tavicí soli neměl na parametry světlosti a odstínů zásadní vliv a odstín a sytost modelových vzorků byla podobná pro každou použitou tavicí sůl a různé přídavky kappa karagenanu.
- Senzorickou analýzou bylo zjištěno, že s přidáním kappa karagenanu došlo k zvýšení tuhosti tavených sýrů, což bylo prokázáno i reologickou analýzou modelových vzorků. Vnímání hořkosti bylo upozorováno jen u tavicí soli $K_4P_2O_7$ u kontrolního vzorku a u vzorku obsahující koncentraci 0,25 % (hm/hm) kappa karagenanu.
- U žádného vzorku nebyly senzorickou analýzou pozorovány cizí pachutě.

Ze zjištěných výsledků lze formulovat závěr, že druh použité tavicí soli a použití kappa karagenanu má vliv na texturní a reologické vlastnosti tavených sýrů. Obava, že použití draselných tavicích solí vede ke vzniku hořké chuti, se nenaplnila. Použití tavicí soli v této diplomové práci neměly na skóre hořké chuti skoro žádný vliv. Použití kappa karagenanu vede ke vzniku tvrdých tavených sýrů, které jsou senzorickými pozorovateli hodnoceny velmi negativně. Avšak použití draselných tavicích solí se jeví jako alternativa ke snížení množství sodíku v tavených sýrech, což je nyní velmi diskutovaným tématem z hlediska výživy, tak z hlediska lidského zdraví.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ABDALLA, Abdelmoneim, Basim ABU-JDAYIL, Hussah ALSEREIDI, Fathalla HAMED, Afaf KAMAL-ELDIN, Thom HUPPERTZ a Mutamed AYYASH, 2022. Low-moisture part-skim mozzarella cheese made from blends of camel and bovine milk: Gross composition, proteolysis, functionality, microstructure, and rheological properties. *Journal of Dairy Science* [online]. 105(11), 8734-8749 [cit. 2023-04-28]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2022-22144

ADDY, Kelly, Linda GREEN a Elizabeth HERRON, 2004. *pH and Alkalinity*. University of Rhode Island, Kingston. [cit. 2023-03-09]. Dostupné také z: <https://web.uri.edu/wp-content/uploads/sites/1667/pH>

AHMAD, Shabbir, Masood Sadiq BUTT, Imran PASHA a Aysha SAMEEN, 2016. Quality of Processed Cheddar Cheese as a Function of Emulsifying Salt Replaced by κ -Carrageenan. *International Journal of Food Properties* [online]. 19(8), 1874-1883 [cit. 2023-04-04]. ISSN 1094-2912. Dostupné z: doi:10.1080/10942912.2015.1085396

AMIRI, Saber, Seyyed Reza ABOTALEBI KOHNESHARI a Farnaz NABIZADEH, 2022. The effect of unit operation and adjunct probiotic culture on physicochemical, biochemical, and textural properties of Dutch Edam cheese. *LWT* [online]. 155 [cit. 2023-03-24]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2021.112859

ANDRÉS-BELLO, María Desamparados, Vivian BARRETO-PALACIOS, Purificación GARCÍA-SEGOVIA, J. MIR-BEL a Javier MARTÍNEZ-MONZÓ, 2013. Effect of pH on Color and Texture of Food Products. *Food Engineering Reviews* [online]. 5(3), 158-170 [cit. 2023-04-15]. ISSN 1866-7910. Dostupné z: doi:10.1007/s12393-013-9067-2

ANONYM(a). Vyhláška č. 274/2019 Sb.: *o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje*. [cit. 2023-03-09]. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2019-274>

ANONYM(b). NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 1333/2008 ze dne 16. prosince 2008 *o potravinářských přídatných látkách*. [cit. 2023-03-28]. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008R1333&from=RO>

ATIK, Didem Sözeri a Thom HUPPERTZ, 2023. Melting of natural cheese: A review. *International Dairy Journal* [online]. [cit. 2023-03-29]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2023.105648

BELLASSI, Paolo, Fabrizio CAPPA, Daniela BASSI a Lorenzo MORELLI, 2022. Effect of NaCl and ripening time on spore germination by measuring the hydrogen production of *Clostridium tyrobutyricum* UC7086 in a hard cheese model. *International Dairy Journal* [online]. 126 [cit. 2023-03-24]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2021.105265

BŁASZAK, Błażej, Grażyna GOZDECKA a Alexander SHYICHUK, 2015. Carrageenan as a functional additive in the production of cheese and cheese-like products [pdf]. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria* [online]. 17(2), 107-116 [cit. 2023-03-24]. ISSN 16440730. Dostupné z: doi:10.17306/J.AFS.2018.0550

BOER, Ruud de, 2014. From Milk By-Products to Milk Ingredients - Upgrading the Cycle [online]. *John Wiley* [cit. 2023-04-01]. ISBN 978-1-5231-1021-6. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFMBPMIU2/from-milk-by-products/from-milk-by-products>

BOGDAN, Cătălina, Dana HALES, Andreea CORNILĂ, Tibor CASIAN, Rareș IOVANOV, Ioan TOMUȚĂ a Sonia IURIAN, 2023. Texture analysis – A versatile tool for pharmaceutical evaluation of solid oral dosage forms. *International Journal of Pharmaceutics* [online]. 638 [cit. 2023-04-19]. ISSN 03785173. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijpharm.2023.122916

BROWN, Julie A., Edward Allen FOEGEDING, Christopher R. DAUBERT, Maryanne DRAKE a Marcia GUMPERTZ, 2003. Relationships Among Rheological and Sensorial Properties of Young Cheeses. *Journal of Dairy Science* [online]. 86(10), 3054-3067 [cit. 2023-05-07]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73905-8

BUŇKA, František, 2013. *Mlékárenská technologie I*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 978-80-7454-254-1.

BUŇKA, František, Lucie DOUDOVÁ, Eva WEISEROVÁ, Michaela ČERNÍKOVÁ, Dalibor KUCHAR, Štěpánka SLAVÍKOVÁ, Gabriela NAGYOVÁ, Petr PONÍŽIL, Tomáš GRŮBER a Jaroslav MICHÁLEK, 2014. The effect of concentration and composition of ternary emulsifying salts on the textural properties of processed cheese spreads. *LWT - Food*

Science and Technology [online]. 58(1), 247-255 [cit. 2023-03-26]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2014.02.040

BUNĀKA, František, Jan HRABĚ a Bohumír VOSPĚL, 2010. *Senzorická analýza potravin I. Vyd. 2*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN isbn978-80-7318-887-0.

BUNĀKA, František, Michaela ČERNÍKOVÁ a Richardos N. SALEK, 2022. Functionality of salts used in processed cheese manufacture. In: *Processed Cheese Science and Technology* [online]. *Elsevier*, s. 147-176 [cit. 2023-04-03]. ISBN 9780128214459. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-821445-9.00011-X

BYCHKOVA, Veronika A., Olga S. UTKINA, Elena V. ACHKASOVA, D. FAYZRAKHMANOV, B. ZIGANSHIN, F. NEZHMETDINOVA a R. SHAYDULLIN, 2020. The use of acidophilus bacterium for cheese cheddaring. *BIO Web of Conferences* [online]. 17 [cit. 2023-04-01]. ISSN 2117-4458. Dostupné z: doi:10.1051/bioconf/20201700180

CARIC, Marijana; Miroslav GANTAR a Miloslav KALAB, 1985. Effects of emulsifying agents on the microstructure and other characteristics of process cheese-a review. *Food Structure*, Vol. 4 : No. 2 , Article 13. [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://digitalcommons.usu.edu/foodmicrostructure/vol4/iss2/13>

CHANDAN, Ramesh C., Kilara ARUN a P. Shah NAGENDRA, 2016. *Dairy Processing and Quality Assurance (2nd Edition)* [online]. 2 vydání. *John Wiley* [cit. 2023-04-01]. ISBN 978-1118810316. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpDPQAE003/dairy-processing-quality/dairy-processing-quality>

HAVHAN, Ganesh B., S. K. KANAWJIA, Yogesh KHETRA a Ritika PURI, 2015. Effect of potassium-based emulsifying salts on sensory, textural, and functional attributes of low-sodium processed Mozzarella cheese. *Dairy Science & Technology* [online]. 95(3), 265-278 [cit. 2023-05-07]. ISSN 1958-5586. Dostupné z: doi:10.1007/s13594-014-0207-0

CHEN, Ling. a Huiping LIU, 2012. Effect of emulsifying salts on the physicochemical properties of processed cheese made from Mozzarella. *Journal of Dairy Science* [online]. 95(9), 4823-4830 [cit. 2023-03-26]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2012-5480

CICHY, Barbara, Stanisław FOLEK a Hanna KRZTON, 2009. Food Multiphosphates—Preparation and Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 57(3), 944-950 [cit. 2023-03-27]. ISSN 0021-8561. Dostupné z: doi:10.1021/jf802515s

CORREDIG, Milena, 2009. Dairy Derived Ingredients – Food and Nutraceutical Uses [online]. *Woodhead Publishing* [cit. 2023-04-01]. ISBN 978-1-84-569719-8. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpDDIFNU02/dairy-derived-ingredients/dairy-derived-ingredients>

ČERNÍKOVÁ, Michaela, František BUŇKA, Vladimír PAVLÍNEK, Pavel BŘEZINA, Jan HRABĚ a Pavel VALÁŠEK, 2008. Effect of carrageenan type on viscoelastic properties of processed cheese. *Food Hydrocolloids* [online]. 22(6), 1054-1061 [cit. 2023-03-28]. ISSN 0268005X. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodhyd.2007.05.020

ČERNÍKOVÁ, Michaela, František BUŇKA, Matej POSPIECH, Bohuslava TREMLOVÁ, Kristýna HLADKÁ, Vladimír PAVLÍNEK a Pavel BŘEZINA, 2010. Replacement of traditional emulsifying salts by selected hydrocolloids in processed cheese production. *International Dairy Journal* [online]. 20(5), 336-343 [cit. 2023-03-24]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2009.12.012

DESHWAL, Gaurav Kr, Laura G. GÓMEZ-MASCARAQUEET, Mark FUNELON a Thom HUPPERTZ, 2023. A Review on the Effect of Calcium Sequestering Salts on Casein Micelles: From Model Milk Protein Systems to Processed Cheese. *Molecules* [online]. 28(5) [cit. 2023-04-05]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules28052085

DOBRAZCZYK, Bogdan J. a Marco P. MORGENSTERN, 2003. Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science* [online]. 38(3), 229-245 [cit. 2023-04-19]. ISSN 07335210. Dostupné z: doi:10.1016/S0733-5210(03)00059-6

DRAKE, Maryanne, 2007. Invited Review: Sensory Analysis of Dairy Foods. *Journal of Dairy Science* [online]. 90(11), 4925-4937 [cit. 2023-03-17]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2007-0332

EL-BAKRY, Mamdouh, Elaine DUGGAN, Dolores O'RIORDAN a M.G. O'SULLIVAN, 2011. Effect of cation, sodium or potassium, on casein hydration and fat emulsification during imitation cheese manufacture and post-manufacture functionality. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 44(10), 2012-2018 [cit. 2023-05-05]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2011.07.007

EL-BAKRY, Mamdouh a Bhavbhuti M. MEHTA. Processed Cheese Science and Technology. United Kingdom: *Woodhead Publishing*, 2022. [cit. 2023-03-28]. ISBN 9780128214459. Dostupné z: doi:10.1016/C2019-0-02534-4

EN ISO 11036: *Sensory analysis — Methodology — Texture profile*, 2020. Dostupné také z: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:11036:ed-2:v1:en>

Evropská příručka pro hygienickou výrobu tavených sýrů [online], 2018. *ASSIFONTE* [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: https://food.ec.europa.eu/system/files/2022-04/biosafety_fh_guidance_manuf-process-cheese_cs.pdf

FDA, U.S. Food and Drug Administration, 2023. <https://www.fda.gov/> [online]. Silver Spring: *U.S. Food and Drug Administration* [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=133.173>

FUSIEGER, Andressa, Sidney Rodrigues DE JESUS SILVA, Raiane RODRIGUES DA SILVA, et al., 2023. Bactericidal and bacteriostatic effects of sodium polyphosphate emulsifying salts on selected targets in processed cheese. *Food Control* [online]. 147 [cit. 2023-04-03]. ISSN 09567135. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodcont.2022.109580

GLASS, Kathleen a M. Ellin DOYLE, 2005. Safety of processed cheese. Madison, Wisconsin: FRI Briefings, *Food Research Institute, University of Wisconsin*, [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: https://fri.wisc.edu/files/Briefs_File/ProcCheese_May2005_v2.pdf

GOUDA, A. a Atef ABOU EL-NOUR, 2003. CHEESES | Processed Cheese. In: *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* [online]. Elsevier, s. 1108-1115 [cit. 2023-03-09]. ISBN 9780122270550. Dostupné z: doi:10.1016/B0-12-227055-X/00204-2

GUINEE, Timothy P., 2016. Cheese: Cheese Rheology ☆. In: Reference Module in Food Science [online]. *Elsevier* [cit. 2023-04-17]. ISBN 9780081005965. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-100596-5.00663-6

GUINEE, Timothy P., 2022. Cheese Rheology and Texture. In: Encyclopedia of Dairy Sciences [online]. *Elsevier*, s. 112-130 [cit. 2023-04-15]. ISBN 9780128187678. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-818766-1.00199-9

GUNASEKARAN, Sundaram a Ak M. MEHMET, 2002. Cheese rheology and texture [online]. *CRC Press*, s. 31-32 [cit. 2023-04-17]. ISBN 978-1-4200-3194-2. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00CXTKW1/cheese-rheology-texture/fundamental-rheological>

HACCP pH metr na měření potravin a mléčných výrobků. In: <https://www.hanna-instruments.cz/> [online]. [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: https://www.hanna-instruments.cz/editor/image/eshop_products_files/file_en_89.pdf

HAMMAM, Ahmed R.A., Rohit KAPOOR a Lloyd E. METZGER, 2023. Manufacture of process cheese products without emulsifying salts using acid curd and micellar casein concentrate. *Journal of Dairy Science* [online]. 106(1), 117-131 [cit. 2023-04-04]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2022-22379

HOFFMANN, Wolfgang, Juliane GÄRTNER, Kristina LÜCK, Norbert JOHANNSEN a Andrea MAURER, 2012. Effect of emulsifying salts containing potassium on the quality of block-type processed cheese. *International Dairy Journal* [online]. 25(1), 66-72 [cit. 2023-04-03]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2011.11.010

HORINAKA, Jun-ichi, Hiroshi TAKAGAKI, Tomoya TANAKA a Toshikazu TAKIGAWA, 2022. Effects of gelation concentration on cyclic deformation behavior of κ -carrageenan hydrogels. *International Journal of Biological Macromolecules* [online]. 218, 634-638 [cit. 2023-04-10]. ISSN 01418130. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijbiomac.2022.07.128

IMESON, Alan P., 2009. Carrageenan and furcellaran. In: Handbook of Hydrocolloids [online]. *Elsevier*, s. 164-185 [cit. 2023-04-08]. ISBN 9781845694142. Dostupné z: doi:10.1533/9781845695873.164

JANŠTOVÁ, Bohumíra, Lenka VORLOVÁ, Pavlína NAVRÁTILOVÁ, Michaela KRÁLOVÁ, Lenka NECIDOVÁ a Eva MAŘICOVÁ. Technologie mléka a mléčných výrobků. *Brno, Veterinární a farmaceutická univerzita*, 2012.

JANŠTOVÁ, Bohumíra a Josef HOLEC. Hygiena a technologie mléka a mléčných výrobků. *Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita*, 2004, 93 s. ISBN 80-7305-486-8.

JELENA, Miočinović a Miloradović ZORANA, 2022. Flavors, colors, and preservatives used in processed cheese. In: Processed Cheese Science and Technology [online]. *Elsevier*, s. 125-147 [cit. 2023-04-20]. ISBN 9780128214459. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-821445-9.00014-5

JEŽEK, František a Alena SALÁKOVÁ. Senzorická analýza potravin. MMP. *Veterinární a farmaceutická*, 2012.

JOHNSON, Mark E., Rohit KAPOOR, Donald J. MCMAHON, David R. MCCOY a Raj G. NARASIMMON, 2009. Reduction of Sodium and Fat Levels in Natural and Processed Cheeses: Scientific and Technological Aspects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 8(3), 252-268 [cit. 2023-04-03]. ISSN 15414337. Dostupné z: doi:10.1111/j.1541-4337.2009.00080.x

KABELOVA, Ivana, Markéta DVOŘÁKOVÁ, Hana ČÍŽKOVÁ, Pavel DOSTÁLEK a Karel MELZOCH. Determination of free amino acids in cheeses from the Czech market. *Czech J Food Sci*, 2009, 27.3: 143-150.

KAPOOR, Rohit a Lloyd E. METZGER, 2008. Process Cheese: Scientific and Technological Aspects—A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 7(2), 194-214 [cit. 2023-03-27]. ISSN 1541-4337. Dostupné z: doi:10.1111/j.1541-4337.2008.00040.x

KEMP, Simon a Randolph C. GRACE, 2021. Using ordinal scales in psychology. *Methods in Psychology* [online]. 5 [cit. 2023-03-17]. ISSN 25902601. Dostupné z: doi:10.1016/j.metip.2021.100054

KHETRA, Yogesh, Ganesh B. CHAVHAN, S. K. KANAWJIA a Ritika PURI, 2015. Storage changes in low sodium-processed Mozzarella cheese prepared using potassium-based emulsifying salts. *Dairy Science & Technology* [online]. 95(5), 639-649 [cit. 2023-05-05]. ISSN 1958-5586. Dostupné z: doi:10.1007/s13594-015-0248-z

LI, Hongjuan, Yifei WU, Dongyu HOU, Shujing ZHAO, Dan LI, Xiaopeng WANG, Hongbo LI a Jinghua YU, 2023. Effects of pre-emulsification with whey protein and high temperature sterilisation on texture, functional characteristics and Maillard reaction products of room temperature stored processed cheese. *International Dairy Journal* [online]. 140 [cit. 2023-03-29]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2023.105610

MATHLOUTHI, Mohamed, 2001. Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. *Food Control* [online]. 12(7), 409-417 [cit. 2023-03-16]. ISSN 09567135. Dostupné z: doi:10.1016/S0956-7135(01)00032-9

MCSWEENEY, Paul, Paul COTTER a David EVERETT, 2017. Cheese – Chemistry, Physics & Microbiology [online]. (4th Edition). *Elsevier* [cit. 2023-04-03]. ISBN 978-0-12-417017-9. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCCPME013/cheese-chemistry-physics/cheese-chemistry-physics>

MOZURAITYTE, Revilija et al., 2019. Sodium reduction in processed cheese spreads and the effect on physicochemical properties. *International Dairy Journal* [online]. 90, 45-55 [cit. 2023-04-03]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2018.10.008

MOZURAITYTE, Revilija, Ingunn BERGET, Martina MAHDALOVA, Ane GRØNSBERG, Elling Ruud ØYE a Kirsti GREIFF, 2019. Cheddar Cheese Ripening and Flavor Characterization: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [online]. 54(10), 1309-1321 [cit. 2023-04-01]. ISSN 1040-8398. Dostupné z: doi:10.1080/10408398.2011.634531

MUTHUKUMARAPPAN, Kasiviswanathan a Gabriela John SWAMY, 2023. Rheology, microstructure, and functionality of cheese. In: *Advances in Food Rheology and Its Applications* [online]. Elsevier, s. 297-334 [cit. 2023-04-17]. ISBN 9780128239834. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-823983-4.00007-8

NAGYOVÁ, Gabriela, František BUŇKA, Dalibor KUCHAR a Tomáš GRÜBER. Vliv délky fosforečnanového řetězce na texturní vlastnosti tavených sýrů. *Int. J. Food Microbiol.* 2012, 29: 213-231.

NASIRI, Motahareh, Hamid TOVAKOLIPOUR, Shila SAFAEIAN a Rezvan MOUSAVI NADUSHAN, 2022. Exploring the potential of modified potato starch and seaweed salt as structuring agents to design processed cheeses with desirable properties. *International Dairy Journal* [online]. 133 [cit. 2023-04-01]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2022.105439

NĚMEČKOVÁ, Irena, Šárka HAVLÍKOVÁ, Jan FOREJT a Zdeněk ŠVANDRLÍK. Reformulace čerstvých netermizovaných sýrů snížením obsahu soli. *Mlékařské listy*, 2020.

NINGTYAS, Dian Widya, Bhesh BHANDARI, Nidhi BANSAL a Sangeeta PRAKASH, 2017. A tribological analysis of cream cheeses manufactured with different fat content. *International Dairy Journal* [online]. 73, 155-165 [cit. 2023-05-04]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2017.06.005

NISHINARI, Katsuyoshi a Yapeng FANG, 2018. Perception and measurement of food texture: Solid foods. *Journal of Texture Studies* [online]. 49(2), 160-201 [cit. 2023-04-18]. ISSN 00224901. Dostupné z: doi:10.1111/jtxs.12327

NOLLET, Leo M. L. a Fidel TOLDRÁ, c2010. Handbook of dairy foods analysis. Boca Raton, FL: *CRC Press*. ISBN 978-1-4200-4631-1.

NGUYEN, Phuong T.M., Bhesh BHANDARI a Sangeeta PRAKASH, 2016. Tribological method to measure lubricating properties of dairy products. *Journal of Food Engineering* [online]. 168, 27-34 [cit. 2023-05-04]. ISSN 02608774. Dostupné z: doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.07.011

PATARIN, Jérémy, Hélène GALLIARD, Albert MAGNIN a Benoit GOLDSCHMIDT, 2014. Vane and plate–plate rheometry of cheeses under oscillations and large strains: A comparative study and experimental conditions analysis. *International Dairy Journal* [online]. 38(1), 24-30 [cit. 2023-04-28]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2014.04.006

PATEL, Panchami, Hélène GALLIARD, Albert MAGNIN a Benoit GOLDSCHMIDT, 2023. Structure, rheology, and 3D printing of salt-induced κ -carrageenan gels. *Materials Today Communications* [online]. 35 [cit. 2023-03-28]. ISSN 23524928. Dostupné z: doi:10.1016/j.mtcomm.2023.105807

PHILLIPS, Glyn O. Handbook of hydrocolloids. Boca Raton: CRC Press, 2000, 450 s. Woodhead publishing in food science and technology. ISBN 9780849308505. Dostupné také z: <https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHH000001/handbook-hydrocolloids-2>

PIRSA, Sajad a Kosar HAFEZI, 2023. Hydrocolloids: Structure, preparation method, and application in food industry. *Food Chemistry* [online]. 399 [cit. 2023-03-24]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2022.133967

ROSEIRO, Luisa Bivar, Manuela BARBOSA, Jennifer M. AMES a R. Andrew WILBEY, 2003. Cheesemaking with vegetable coagulants-the use of *Cynara L.* for the production of ovine milk cheeses. *International Journal of Dairy Technology* [online]. 56(2), 76-85 [cit. 2023-04-25]. ISSN 1364-727X. Dostupné z: doi:10.1046/j.1471-0307.2003.00080.x

S., Aly, Eman EL DAKHAKHNY, El Saadany K., Nassra DABOUR a Kheadr E., 2016. Processed Cheese: Basics and Possibility for the Development of Healthier Products. *Alexandria Journal of Food Science and Technology* [online]. 13(2), 45-62 [cit. 2023-04-11]. ISSN 1687-3920. Dostupné z: doi:10.12816/0038413

SALEK, Richardos Nikolaos, Michaela ČERNÍKOVÁ, Vendula PACHLOVÁ, Eva LORENCOVÁ a František BUŇKA, Tvrdost tavených sýrů vyrobených z různých druhů přírodních sýrů. *Mlékařské listy*, 2017.

SALEK, Richardos Nikolaos, Michaela ČERNÍKOVÁ, Vendula PACHLOVÁ, Zuzana BUBELOVÁ, Veronika KONEČNÁ a František BUŇKA, 2017. Properties of spreadable processed Mozzarella cheese with divergent compositions of emulsifying salts in relation to the applied cheese storage period. *LWT* [online]. 77, 30-38 [cit. 2023-05-03]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2016.11.019

SALQUE, Mélanie, Peter I. BOGUCKI, Joanna PYZEL, Iwona SOBKOWJAK-TABAKA, Ryszard GRYZIEL, Marzena SZMYT a Richard P. EVERSLED. Earliest evidence for cheese making in the sixth millennium BC in northern Europe. *Nature*, 2013, 493.7433: 522-525.

Saltmarsh's Essential Guide to Food Additives [online], 2021. In: SALTMARSH, Mike. (5th Edition). Royal Society of Chemistry (RSC), s. 6 [cit. 2023-04-03]. ISBN 978-1-83916-103-2. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpSEGFAE09/saltmarshs-essential/saltmarshs-essential>

SOŁOWIEJ, Bartosz G., Maciej NASTAJ, Jagoda O. SZAFRAŃSKA, Siemowit MUSZYŃSKI, Waldemar GUSTAW, Marta TOMCZYŃSKA-MLEKO a Stanisław MLEKO, 2020. 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]. 105 [cit. 2023-03-24]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2020.104694

SOŁOWIEJ, Bartosz G., Stanisław MLEKO, Waldemar GUSTAW a Kenneth O. UDEH, 2010. Effect of whey protein concentrates on texture, meltability and microstructure of acid casein processed cheese analogs. *Milchwissenschaft*, 65.2: 169.

SOŁOWIEJ, Bartosz G., Maciej NASTAJ, Jagoda O. SZAFRAŃSKA, Konrad TERPIŁOWSKI, Jan MAŁECKI a Stanisław MLEKO, 2022. The effect of fat replacement by whey protein microcoagulates on the physicochemical properties and microstructure of acid casein model processed cheese. *International Dairy Journal* [online]. 131 [cit. 2023-04-11]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2022.105385

SUKOVÁ, Irena, 2006. *Průvodce označováním potravin*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. ISBN isbn80-7271-174-1.

TALBOT-WALSH, Grace, David KANNAR, Cordelia SELOMULYA, 2018. A review on technological parameters and recent advances in the fortification of processed cheese. *Trends in Food Science & Technology*, 81: 193-202.

TAMIME, Adnan Y., 2011. Processed cheese and analogues. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell. *Society of Dairy Technology series*. ISBN 978-1-4051-8642-1.

TAN, Bo a Lyndon Scott STEPHENS, 2019. Evaluation of viscoelastic characteristics of PTFE-Based materials. *Tribology International* [online]. 140 [cit. 2023-05-03]. ISSN 0301679X. Dostupné z: doi:10.1016/j.triboint.2019.105870

TANTRAY, Javeed Ahmad, Sheikh MANSOOR, Rasy Fayaz Choh WANI a Nighat Un NISSA, 2023. PH meter. In: Basic Life Science Methods [online]. *Elsevier*, s. 9-10 [cit. 2023-03-22]. ISBN 9780443191749. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-443-19174-9.00003-9

THOMAREIS, Apostolos S. a Georgia DIMITRELI, 2022. Techniques used for processed cheese characterization. In: Processed Cheese Science and Technology [online]. *Elsevier*, s. 295-349 [cit. 2023-03-17]. ISBN 9780128214459. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-821445-9.00007-8

UltraScan® VIS Supplemental Manual for EasyMatch® QC [online], 2014. Virginia: Hunter Associates Laboratory [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.hunterlab.com/media/documents/ultrascan-vis-supplemental-manual-for-easymatch-qc-en.pdf>

UPSTON, Joel, Deborah L. SULSKY, James D. TUCKER a Yawen GUAN, 2023. CIEL * Ch color map for visualization and analysis of sea ice motion. *Journal of Computational and Applied Mathematics* [online]. 429 [cit. 2023-04-20]. ISSN 03770427. Dostupné z: doi:10.1016/j.cam.2023.115126

Water Activity and Food [online], 1978. *Elsevier* [cit. 2023-03-16]. ISBN 9780127006505. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-700650-5.X5001-X

WEISEROVÁ, Eva, Lucie DOUDOVÁ, Lucie GALIOVÁ, Libor ŽÁK, Jaroslav MICHÁLEK, Rahula JANIŠ a František BUŇKA, 2011. The effect of combinations of sodium phosphates in binary mixtures on selected texture parameters of processed cheese spreads. *International Dairy Journal* [online]. 21(12), 979-986 [cit. 2023-04-26]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2011.06.006

What Is Carrageenan In Food?, 2020. <https://foodadditives.net/> [online]. [cit. 2023-03-28].
Dostupné z: <https://foodadditives.net/thickeners/carrageenan/>

WILLIAMS, Peter A. a Glyn O. PHILLIPS, 2009. Introduction to food hydrocolloids. In: Handbook of Hydrocolloids [online]. *Elsevier*, s. 1-22 [cit. 2023-04-08]. ISBN 9781845694142. Dostupné z: doi:10.1533/9781845695873.1

ZHANG, Nana, Qian ZHOU, Daming FAN, Jianbo XIAO, Yueliang ZHAO, Ka-Wing CHENG a Mingfu WANG, 2021. Novel roles of hydrocolloids in foods: Inhibition of toxic maillard reaction products formation and attenuation of their harmful effects. *Trends in Food Science & Technology* [online]. 111, 706-715 [cit. 2023-03-28]. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2021.03.020

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Např.	Například
atd	a tak dále
CIE	mezinárodní instituce Commission on Illumination
FDA	Americký úřad pro kontrolu potravin a léčiv
WTPH	Voda v tukuprosté hmotě sýra
TPA	Analýza profilu textury
hm/hm	hmotnostní procenta
G'	elastický modul pružnosti
G''	ztrátový modul pružnosti
G^*	komplexní modul pružnosti
$\tan \delta$	míra ztráty energie
a_w	vodní aktivita
t.v s.	obsah tuku v sušině

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schématická struktura (A) přírodního sýra a (B) taveného sýra (Kapoor a Metzger, 2008; El-Barky a Mehta, 2022)	14
Obrázek 2 Změna viskozity a struktury během tavení sýrů.....	28
Obrázek 3 Iontová výměna při tavení suroviny (Buňka, Černíková a Salek, 2022)	29
Obrázek 4 Reakce tavicích solí během tavicího procesu (Hammam, Kapoor a Metzger, 2023)	32
Obrázek 5 Srovnání textur gelů vyrobených různými	36
Obrázek 6 Typy karagenanu (Zdroj: Google 2023).....	37
Obrázek 7 Diagram procesu výroby karagenanu a zpracování mořských řas <i>Eucheuma</i> (Imeson, 2009)	40
Obrázek 8 Mořská řasa <i>Eucheuma Cottonii</i> (Zdroj: Google 2023).....	40
Obrázek 9 Proces gelovatění pro κ -karagenan v přítomnosti draselných iontů. (Rhein-Knudsen a Meyer, 2021).....	41
Obrázek 10 Tavicí proces (Zdroj: Autorka 2023)	46
Obrázek 11 Hotové modelové vzorky (Zdroj: Autorka 2023)	46
Obrázek 12 Neutavený výrobek s přidavkem KH_2PO_4 (Zdroj: Autorka 2023)	47
Obrázek 13 pH metr Foodcare (Zdroj: Google 2023)	49
Obrázek 14 Stanovení sušiny (Zdroj: Autorka 2023).....	50
Obrázek 15 AquaLab 4 TE (Zdroj: Google 2023)	51
Obrázek 16 Základní princip texturní analýzy (Zdroj: Bogdan et al., 2023).....	53
Obrázek 17 TA.XTPlus od výrobce Stable Micro Systems Ltd (Zdroj: Autorka 2023)	54
Obrázek 18 Reometr Kinexus od společnosti NETZSCH-Gerätebau GmbH (Zdroj: Autorka 2023)	58
Obrázek 19 Vyjádření barvy v prostoru CIE 1976 $L^*a^*b^*$ (Zdroj: (Thomareis a Dimitreli, 2022)).....	59
Obrázek 20 UltraScan VIS od společnosti HunterLab (Zdroj: Google 2023).....	60
Obrázek 21 Hodnoty vodní aktivity pro modelové vzorky obsahující tavicí sůl K_2HPO_4 ..	65
Obrázek 22 Hodnoty vodní aktivity pro modelové vzorky obsahující tavicí sůl $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$...	65
Obrázek 23 Hodnoty vodní aktivity pro modelové vzorky obsahující tavicí sůl $\text{K}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$..	66
Obrázek 24 Grafické vyjádření tvrdosti pro jednotlivé modelové vzorky	68
Obrázek 25 Grafické vyjádření relativní lepivosti pro jednotlivé modelové vzorky	69
Obrázek 26 Grafické vyjádření elasticity pro jednotlivé modelové vzorky	70
Obrázek 27 Grafické vyjádření kohezivnosti pro jednotlivé modelové vzorky	71
Obrázek 28 Grafické vyjádření žvýkatelnosti pro jednotlivé modelové vzorky	72
Obrázek 29 Grafické vyjádření gumovitosti pro jednotlivé modelové vzorky	73

- Obrázek 30 Závislost elastického modulu (G') na frekvenci pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ s přidavkem kappa karagenanu v koncentracích 0–1 % (hm/hm). 74
- Obrázek 31 Závislost elastického modulu (G') na frekvenci pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ s přidavkem kappa karagenanu v koncentracích 0–1 % (hm/hm). 75
- Obrázek 32 Závislost elastického modulu (G') na frekvenci pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 s přidavkem kappa karagenanu v koncentracích 0–1 % (hm/hm). 75
- Obrázek 33 Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ s přidavkem kappa karagenanu v koncentracích 0–1 % (hm/hm). 76
- Obrázek 34 Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ s přidavkem kappa karagenanu v koncentracích 0–1 % (hm/hm). 77
- Obrázek 35 Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 s přidavkem kappa karagenanu v koncentracích 0–1 % (hm/hm). 77

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Přehled povolených složek jiných než sýry pro výrobu tavených sýrů a tavených sýrových výrobků a tavených mléčných výrobků (AnonymA, 2019).....	16
Tabulka 2 Dělení přírodních sýrů (AnonymA, 2019).....	19
Tabulka 3 Klasifikace přírodních sýrů podle konzistence ve vztahu k obsahu vody v tukuprosté hmotě sýra (AnonymA, 2019)	20
Tabulka 4 Klasifikace přírodních sýrů podle obsahu tuku v sušině (AnonymA, 2019).....	20
Tabulka 5 Přehled přísad používaných při výrobě tavených sýrů a jejich účinky (Corredig, 2009)	23
Tabulka 6 Dělení hydrokoloidů podle termoreverzibility (Williams a Phillips, 2009)	34
Tabulka 7 Množství surovin ve výrobě modelových vzorků	45
Tabulka 8 Definice pojmů z reologie, které jsou používány v potravinářském průmyslu (Muthukumarappan a Swamy, 2023).....	56
Tabulka 9 Hodnoty komplexního modulu G^* a $\tan \delta$ modelových vzorků tavených sýrů při frekvenci 1 Hz.....	79
Tabulka 10 Výsledky měření barvy u modelových vzorků tavených sýrů.....	80

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Hodnotitelské schéma pro tavené sýry

Příloha P II. Protokol sensorické analýzy

PŘÍLOHA P I: HODNOTITELSKÉ SCHÉMA PRO TAVENÉ SÝRY

Vzhled a barva

1. Barva smetanově bílá, stejnorodá, bez cizích odstínů. Sýr hladký, lesklý.
2. Nepatrná odchylka, bez cizích odstínů, homogenní. Změny barvy způsobené osýcháním sýru, oxidačními změnami vyloučeny. Vzhled bez jakýchkoliv známek deformace, čistý, hladký lesklý.
3. Mírná odchylka, bez cizích odstínů, homogenní. Změny barvy způsobené osýcháním sýru, oxidačními změnami jen nepatrné. Vzhled bez jakýchkoliv známek deformace, na povrchu sýra čistý, hladký, lesklý.
4. Barva odpovídá druhu taveného sýra, je homogenní s vyloučením mramorování barvy. Vzhled vykazuje odchylky způsobené mírnou deformací tvaru, drobnější závady v hladkosti povrchu, povrch sýra je mírně matný, stále však hladký.
5. Barva odpovídá druhu taveného sýra, je homogenní s nepatrnými náznaky mramorování barvy. Vzhled vykazuje odchylky způsobené deformací tvaru, drobnější závady v hladkosti povrchu, povrch sýra je mírně matný, mírné odchylky v hladkosti.
6. Barva mírně nehomogenní (mramorovitá), povrch sýra matný bez lesku, na povrchu mírné barevné změny v důsledku oxidativních změn.
7. Barva na povrchu i v těstě nehomogenní, silné oxidativní změny na povrchu, výskyt plísně, značná deformace povrchu, vzhled narušen duřením sýra, vytavený, oddělený tuk

Konzistence:

1. Lehce roztíratelná, plastická, dokonale utavená, bez vzduchových dutin, homogenní, bez výskytu neutavených kousků sýra.
2. Konzistence výborně roztíratelná, jemná, nelepivá.
3. Roztíratelnost velmi dobrá, nepatrně tužší nebo měkčí.
4. Roztíratelnost dobrá, mírně tužší nebo měkčí, slabě lepivá.
5. Roztíratelnost horší, tužší, pastovitá nebo měkčí, lepivá.
6. Lepivá, tuhá, řídká, nehomogenní, špatně roztíratelná.
7. Velmi tuhá až drobivá, silně lepivá, rozbředlá, nehomogenní s oddělovacím tukem, zduřelá s výskytem provzdušnění, silně krupičkovitá, roztékavá.

Tuhost:

1. Tavený sýr velmi tuhý
2. Tavený sýr tuhý
3. Tavený sýr mírně tužší
4. Tuhost taveného sýra optimální
5. Tavený sýr mírně měkčí než jeho optimum
6. Tavený sýr měkký
7. Tavený sýr velmi měkký

Roztíratelnost:

1. Tavený sýr není roztíratelný
2. Tavený sýr je obtížně roztíratelný
3. Tavený sýr je hůře roztíratelný
4. Roztíratelnost je typická, optimální
5. Tavený sýr je velmi roztíratelný až mírně řídký
6. Tavený sýr je roztékavý
7. Tavený sýr má tekutý charakter

Chuť a vůně:

1. **Vynikající** – chuť jemná, mléčně sýrová, nebo máslová, smetanová, jemně sýrově nasládlá, výrazná. Vůně čistá velmi harmonická, cizí příchutě jsou vyloučeny.
2. **Výborná** – nepatrné odchylky od vynikající chuti a vůně, chuť a vůně harmonická, sýrová, nebo máslová, smetanová, jemně mléčně nakyslá nebo nasládlá, typická, cizí příchutě vyloučeny.
3. **Velmi dobrá** – mírné odchylky od vynikající chuti a vůně, přesto harmonická, odpovídající deklarovanému druhu, přirozeně mléčně nakyslá nebo nasládlá, typická, cizí příchutě vyloučeny.
4. **Dobrá** – chuť a vůně typická pro smetanový tavený sýr s odchylkami ne zásadního charakteru, avšak charakteristická a čistá pro deklarovaný druh.
5. **Méně dobrá** – výskyt cizích příchutí ve velmi malé intenzitě, méně harmonická, slabě nahořklá nebo slanější, slabá příchut' po tavicích solích, mírně kyselejší, dílčí odchylky v chuti, slabě nečistá, slabě kvasničná.
6. **Nevyhovující** – výskyt cizích příchutí, méně harmonická, nahořklá, slanější, příchut' po tavicích solích, kyselejší, mírně oxidovaná, dílčí odchylky v chuti, mírně nečistá, mírně kvasničná.

7. **Nepříjemná** – nečistá, žluklá, slaná, hořká, cizí, netypická, silně oxidovaná (žluklá), zatuchlá, kvasnicová, ostře kyselá aj.

Hořká chuť:

1. Naprosto nehořký
2. Velmi málo hořký
3. Dost málo hořký
4. Zřetelně hořký
5. Dost hořký
6. Velmi hořký
7. Nemírně hořký

Přítomnost cizích pachů a pachutí:

1. Výrobek naprosto bez cizích pachů a pachutí
- 2.
- 3.
4. Mírný náznak cizích pachů a pachutí, stále však akceptovatelný výrobek
- 5.
- 6.
7. Vysoká přítomnost cizích pachů a pachutí

