

Vybrané vlastnosti tavených sýrů s přídavkem draselných tavicích solí

Bc. Kristýna Šantová

Diplomová práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Kristýna Šantová
Osobní číslo: T20089
Studijní program: N0721A210004 Technologie potravin
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Vybrané vlastnosti tavených sýru s přídavkem draselných tavicích soli

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část

1. Tavené sýry textendash obecná charakteristika.
2. Výroba tavených sýrů.
3. Tavicí soli a jejich vliv na tavené sýry.

II. Praktická část

1. Vyrobté modelové vzorky tavených sýrů s přídavkem draselných tavicích soli.
2. Provedte vybrané analýzy.
3. Vyhodnotte získané výsledky a zformulujte závěry.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] Pluta-Kubica, A., Černíková, M., Dimitreli, G., Nebesáfová, J., Exarhopoulos, S., Thomareis, A. S., Salek, R. N., & Buňka, F. (2021). Influence of the melt holding time on fat droplet size and the viscoelastic properties of model spreadable processed cheeses with different compositions. *International Dairy Journal*, 113
- [2] Salek, R. N., Černíková, M., Maděrová, S., Lapčík, L., & Buňka, F. (2016). The effect of different composition of ternary mixtures of emulsifying salts on the consistency of processed cheese spreads manufactured from Swiss-type cheese with different degrees of maturity. *Journal of Dairy Science*, 99(5), 3274-3287
- [3] Hoffmann, W., Gärtner, J., Lück, K., Johannsen, N., & Maurer, A. (2012). Effect of emulsifying salts containing potassium on the quality of block-type processed cheese. *International Dairy Journal*, 25(1), 66-72
- [4] 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, 265textendash278 (2015)

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

Datum zadání diplomové práce: **31. prosince 2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2022**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 18. února 2022

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 mé diplomové práce bylo zkoumat vliv přídatku draselných tavicích solí s různou délkou řetězce na vybrané texturní parametry (tvrdost, kohezivnost a relativní lepivost), reologické a fyzikálně-chemické vlastnosti tavených sýrů s obsahem sušiny 40 % (w/w) a obsahem tuku v sušině 50 % (w/w). Dále byla zkoumána barva pomocí instrumentálních metod a obsah vázané vody v systému metodou diferenciální skenovací kalorimetrie. Pro srovnání byly zařazeny také vybrané druhy sodných tavicích solí o stejných koncentracích. Součástí této práce byl také výběr vhodné koncentrace draselných tavicích solí, která zajistí u vyrobených modelových tavených sýrů požadovanou konzistenci a senzorické vlastnosti bez známky hořkosti. Byly použity následné draselné tavicí soli: hydrogenfosforečnan draselný (DKP), dihydrogenfosforečnan draselný (MKP), pyrofosforečnan tetradraselný (TKPP) a dekaoxotrifosforečnan pentadraselný (KTPP). Modelové vzorky tavených sýrů se vyráběly v koncentracích 1 - 3 % (w/w) s koncentračním posunem 0,5 %. Odběrové dny byly 1., 14., 30. a 60. den skladování (6 ± 2 °C). Ze zjištěných výsledků je patrné, že aplikovaný druh a koncentrace tavicí soli působili odlišným mechanismem na vzorky tavených sýrů, včetně doby skladování. Z toho tedy vyplývá, že jednotlivé druhy tavicích solí působil odlišně na vybrané texturní, viskoelastické a fyzikálně chemické vlastnosti vzorků tavených sýrů.

Klíčová slova: tavený sýr, draselné tavicí soli, sodné tavicí soli, texturní vlastnosti, reologické vlastnosti

ABSTRACT

The aim of this thesis was to monitor the effect of addition of potassium emulsifying salts with different chain length on selected textural and rheological parameters (hardness, cohesiveness and relative adhesiveness) of model processed cheese with dry matter content 40 % (w/w) and fat content in dry matter 50 % (w/w). Furthermore, color was monitored using instrumental methods and the content of bound water in the system by differential scanning calorimetry. Selected types of sodium emulsifying salts with the same concentrations were also applied for comparison. Part of this work was also the selection of a suitable concentration of potassium emulsifying salts, which will ensure the required consistency and sensory properties of the produced model processed cheeses without potential sign of bitterness. The following potassium emulsifying salts were used: potassium hydrogen phosphate (DKP), potassium dihydrogen phosphate (MKP), tetrapotassium pyrophosphate (TKPP) and pentapotassium decaoxotriphosphate (KTPP). Model samples of processed cheeses were produced in concentrations of 1 – 3 % (w / w) with a concentration shift of 0.5%. Sampling days were on the 1st, 14th, 30th and 60th day of storage (6 ± 2 ° C). The results showed that the type and concentration of emulsifying salt applied had a different effect on processed cheese samples properties during storage. As a result, individual types of emulsifying salts had different effects on selected textural, viscoelastic and physicochemical properties of processed cheese samples.

Keywords: processed cheeses, potassium emulsifying salts, sodium emulsifying salts, textural properties, rheological properties.

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé diplomové práce, doc. Ing. Richardos Nikolaos Salek, Ph.D. za jeho odborné vedení, čas a cenné rady při provádění experimentů, vyhodnocování dat a tvorbě práce. Též děkuji pracovníkům z Ústavu technologie potravin UTB Zlín za pomoc a spolupráci při výrobě vzorků. Stejně dík patří i panu Ing. Aleši Mizerovi, Ph.D. z Ústavu automatizace a řídicí techniky UTB Zlín za skvělou spolupráci během analýzy vzorků.

Velké poděkování patří i mé rodině a přátelům, a to za velkou trpělivost a celkovou podporu při celé době studia. Za jejich respektování a vytvoření klidného a láskyplného zázemí pro studium.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	13
1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA TAVENÝCH SÝRŮ	14
1.1 HISTORIE TAVENÝCH SÝRŮ	14
1.2 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA.....	15
1.3 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY	18
1.4 NUTRIČNÍ VÝZNAM TAVENÝCH SÝRŮ	20
1.5 MIKROBIOLOGIE TAVENÝCH SÝRŮ	23
1.5.1 <i>Clostridium spp.</i> v tavených sýrech	23
1.5.2 Probiotika v tavených sýrech	24
1.5.3 Plísně a kvasinky v tavených sýrech.....	25
2 CHARAKTERISTIKA A FUNKCE TAVICÍCH SOLÍ	26
2.1 SEKVESTRACE VÁPNIKU A DEMINERALIZACE SÝROVÉHO PROTEINU.....	29
2.2 KRYSTALIZACE TAVICÍCH SOLÍ.....	31
2.3 POTENCIÁLNÍ NÁHRADA TAVICÍCH SOLÍ	32
2.4 MIKROBIOLOGICKÉ ASPEKTY TAVICÍCH SOLÍ	33
2.5 TAVICÍ SOLI NA BÁZI FOSFORU	35
2.6 TAVICÍ SOLI NA BÁZI CITRONANŮ	37
2.7 TAVICÍ SOLI NA BÁZI SODÍKU A DRASLÍKU.....	38
3 VÝROBA TAVENÝCH SÝRŮ	40
3.1 ZÁKLADNÍ SUROVINOVÁ SKLADBA.....	42
3.1.1 Přírodní sýr.....	42
3.1.2 Suroviny mléčného původu.....	43
3.1.3 Suroviny nemléčného původu.....	44
3.1.4 „Rework“	45
3.2 TECHNOLOGIE VÝROBY TAVENÝCH SÝRŮ	45
3.3 VLIV VYBRANÝCH FAKTORŮ NA KONZISTENCI TAVENÝCH SÝRŮ.....	49
3.3.1 Skladba surovinové směsi	49
3.3.2 Způsob a zpracování suroviny, včetně chlazení.....	51
3.3.3 Aktivní kyselost (pH).....	53
3.3.4 Podmínky skladování	54
II PRAKTICKÁ ČÁST	56
4 CÍL PRÁCE	57
5 MATERIÁL A METODIKA	58
5.1 SUROVINY PRO VÝROBU MODELOVÝCH VZORKŮ TAVENÝCH SÝRŮ	58
5.2 LABORATORNÍ VÝROBA MODELOVÝCH VZORKŮ	58

5.3	ZÁKLADNÍ CHEMICKÁ ANALÝZA	61
5.3.1	Stanovení sušiny.....	61
5.3.2	Stanovení pH.....	62
5.3.3	Stanovení vodní aktivity	63
5.4	TEXTURNÍ PROFILOVÁ ANALÝZA	64
5.5	DYNAMICKÁ OSCILAČNÍ REOMETRIE	66
5.6	INSTRUMENTÁLNÍ MĚŘENÍ BARVY	68
5.7	DIFERENCIÁLNÍ SKENOVACÍ KALORIMETRIE.....	69
5.7.1	Teorie	69
5.7.2	Příprava vzorků a měření DSC	70
5.8	SENZORICKÁ ANALÝZA	71
6	VÝSLEDKY A DISKUSE	72
6.1	VÝSLEDKY ZÁKLADNÍ CHEMICKÉ ANALÝZY	72
6.1.1	Stanovení obsahu sušiny	72
6.1.2	Stanovení pH.....	73
6.1.3	Stanovení vodní aktivity	76
6.2	VÝSLEDKY TEXTURNÍ PROFILOVÉ ANALÝZY	77
6.2.1	Tvrdost	77
6.2.2	Relativní lepivost a kohezivnost	86
6.3	VÝSLEDKY DYNAMICKÉ OSCILAČNÍ REOMETRIE	88
6.3.1	Skladování.....	118
6.4	VÝSLEDKY INSTRUMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ BARVY	121
6.5	VÝSLEDKY DIFERENCIÁLNÍ SKENOVACÍ KALORIMETRIE.....	123
6.6	VÝSLEDKY SENZORICKÉ ANALÝZY	141
	ZÁVĚR	145
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	148
	SEZNAM ELEKTRONICKÝCH ZDROJŮ OBRÁZKŮ.....	166
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	167
	SEZNAM OBRÁZKŮ	168
	SEZNAM TABULEK.....	178
	SEZNAM PŘÍLOH.....	179

ÚVOD

Skupina tavených sýrů spadá pod kategorii sýrů, které jsou označovány jako „nejmladší“ z hlediska počátku výroby. Přičemž prvně vyrobený tavený sýr (roku 1911) je přisuzován švýcarské společnosti Gerber, pro jehož výrobu byl použit sýr švýcarského typu. Postupem času se výroba tavených sýrů dostala i do dalších zemí po celém světě, jako jsou Spojené státy americké, Francie, Německo, Norsko atd. Na své popularitě nabyly především díky značnému prodloužení trvanlivosti přírodních sýrů, což v tehdejší době bylo velice žádoucí z hlediska využitelnosti přírodních sýrů jako takových. Ovšem svou oblibu u spotřebitelů si získaly také díky své cenové dostupnosti, široké rozmanitosti z hlediska složení, různého ochucení, konzistence, způsobu balení i pestrého využití v rámci gastronomických aplikací. Můžeme říct, že dodnes se tyto výrobky řadí mezi jedny z oblíbených druhů potravin u spotřebitelů, což nám v podstatě i dokazuje jejich vysoká spotřeba v České republice. Ta se v roce 2019 pohybovala v rozmezí 1,8 - 1,9 kg/osobu za rok, přičemž v ostatních zemích se spotřeba pohybuje spíše kolem 1 kg/osobu za rok. Navíc doba jde kupředu a spotřebitelé kladou čím dál větší důraz na kvalitu a organoleptické vlastnosti nejen těchto typů výrobků, ale i na řadu dalších. U tavených sýrů zvýšenými nároky se především myslí důraz na celkový vzhled, chuť, vůni nebo dokonce výslednou konzistenci.

Rozmanitosti surovin pro výrobu tavených sýrů se meze nekladou. Mezi ty základní řadíme různé druhy přírodních sýrů, u kterých legislativa povoluje použití například i sýrů s různými mechanickými vadami. Nicméně zdravotní nezávadnost musí být dodržena vždy u všech použitých surovin. Každá surovina má přímý vliv na řadu funkčních vlastností formulujících se během výroby tavených sýrů. Kupříkladu volbou přírodního sýru lze ovlivnit jak finální chuť výrobku, tak požadovanou konzistenci. Rovněž přidavek tavicích solí nám zajistí požadovanou strukturu u produktu, neboť jejich přítomnost zamezuje v průběhu tavicího procesu oddělování tuku od vody. Tvorbu emulze s homogenní strukturou ovlivňuje v průběhu výroby také zvolená teplota a doba tavení, způsob záhřevu, mechanická energie a rychlost otáček, intenzita chlazení, skladování a řada dalších.

V posledních letech čím dál více diskutovanou problematikou tavených sýrů je navyšování množství fosforu v těchto produktech. Toto nežádoucí zvýšení fosforu je zapříčiněno zejména přidavkem fosforečnanových tavicích solí, což koresponduje i s nadbytkem fosforu v organismu člověka, jehož zvýšené hladiny tělu prokazatelně škodí.

Nicméně samotné fosforečnany vysloveně škodlivé nejsou. Zvýšená přítomnost fosforu v organismu může být později příčinou mnoha vážných onemocnění jako je poškození ledvin, kardiovaskulární onemocnění a řady dalších. Pro správnou funkci lidského organismu je jedním z klíčových faktorů zajištění optimálního poměru dvou základních prvků, a to fosforu a vápníku v ideálním poměru (1,0 - 1,2:1,0). Není-li tato podmínka dodržena, pak v důsledku nevyváženého stavu dochází k zhoršené vstřebatelnosti vápníku organismem, pro který je tento prvek životně důležitý (např. pro správné pH krve). Pokud tělo strádá o vápník, je nuceno si ho brát ze zásob, konkrétně z kostí a zubů, což není zrovna dvakrát výhodné. V přírodních sýrech je poměr vápníku ku fosforu v optimálním stavu, což je pro lidský organismus velice žádoucí. Bohužel u tavených sýru dochází k razantní změně vlivem tavicích solí na bázi fosforečnanů, přičemž tento poměr je posunut ku prospěchu fosforu, tudíž k omezené vstřebatelnosti vápníku a následnému nedostatku tohoto prvku v těle člověka. Je nutné však podotknout, že na trhu existuje široká škála dalších potravin a nápojů, ve kterých se může fosfor vyskytovat v mnoha významnějších množstvích, než jak je tomu v případě tavených sýrů. Navíc v současné době je předmětem mnoha studií snaha o redukci negativnímu dopadu tohoto poměru na co nejvíce přijatelnou úroveň. Jedním z možných řešení se nám nabízí buďto částečná nebo úplná náhrada tavicích solí, např. hydrokoloidy. Avšak podstatným faktem zůstává, že doposud škodlivost tavených sýrů nebyla nijak relevantně prokázána a zůstává tedy i nadále předmětem zkoumání.

Na trhu dnes nalezneme různé druhy a směsi tavicích solí využívané při výrobě tavených sýrů, přičemž mezi těmi nejpoužívanějšími jsou hlavně soli fosforečnanů, jako např. monofosforečnany, difosforečnany, polyfosforečnany nebo citronany a jejich různé kombinace. Nejvíce ze všech však převažují tavicí soli na bázi sodíku. Pozici těch nejlepších si vydobily zvláště z důvodu již dobře prozkoumaných a ověřených vlastností, které příznivé působí během výroby na požadované parametry tavených sýrů a zajišťují tak homogenní strukturu výrobku. Na trhu se vyskytují i draselné tavicí soli, jejichž individuální aplikace se téměř v praxi nevyužívá a uplatňují se spíše v kombinaci s dalšími druhy tavicích solí (např. fosforečnany). Ačkoli vykazují prokazatelně lepší vlastnosti než běžně používané tavicí soli, disponují jedním hlavním negativem, a to potencionálním vznikem typické hořké až kovové chuti v průběhu skladování tavených sýrů, to výrazně komplikuje jejich uplatnění v praxi v rámci již zmiňované individuální aplikace.

Přestože disponují vlastnostmi, které nejsou vždy žádoucí, nalezneme u nich i pozitivní stránky vůči taveným sýrům. Zejména snížení hladiny sodíku v tavených výrobcích oproti výrobkům používající klasicky tavicí soli na bázi sodíku. Můžeme to tedy považovat ze zdravotního hlediska za velice přínosné, neboť příliš vysoké hladiny sodíku mohou vést postupně k hypertenzi a následně ke kardiovaskulárním onemocněním.

Hlavním cílem mé diplomové práce bylo zjistit, zda během skladování dochází vlivem různých draselných tavicích solí (ve srovnání se sodnými tavicími solemi) k patrným změnám jak viskoelastických, tak sensorických vlastností (zvláště možný vývin hořké chuti během skladování u modelových vzorků tavených sýrů). Také byla snaha prozkoumat vliv různých koncentrací vybraných tavicích solí na texturní a reologické vlastnosti tavených sýrů a pokusit se nalézt tu nejvhodnější variantu pro tvorbu požadované homogenní struktury, která je hlavním pilířem vzniku tavených sýrů požadované kvality.

Na problematiku draselných tavicích solí existuje doteď velmi málo studií, proto výzkum v této oblasti i nadále pokračuje a neustále vede k novým poznatkům, které by v této problematice mohly být klíčovými v rámci jejich úspěšného a čtenějšího použití v praxi. Smyslem všech těchto studií je zvláště snaha zjistit, co v případě draselných solí, tak významně ovlivňuje vývin hořké chuti v průběhu skladování, a tím i jejich omezené použití v praxi nejen v rámci individuálních aplikací.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA TAVENÝCH SÝRŮ

1.1 Historie tavených sýrů

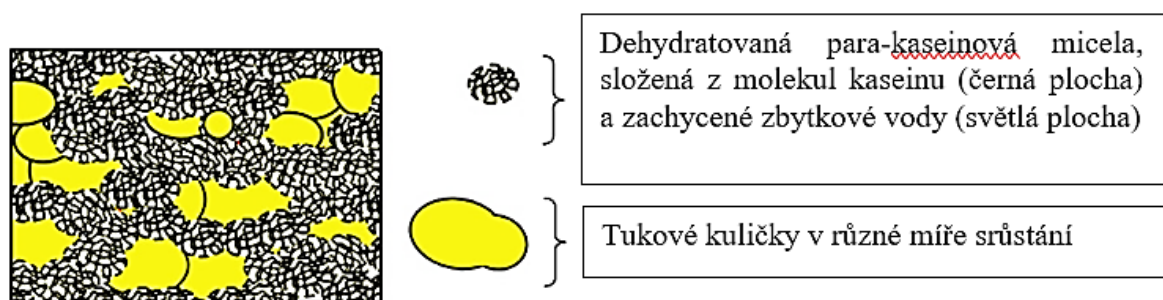
Původ pasterizovaného taveného (také nazývaného taveného) sýru se datuje na počátek 20. století, kdy jeho vývoj byl především motivován potřebou vyvinout výrobky podobné sýru, které by byly stabilní (tj. nevypouštěly tuk, „nepotily se“ ani se nestaly mastnými) při okolních teplotách (≤ 40 °C) a mohly být tak skladovány po dlouhou dobu beze změny kvality (Fox a kol., 2017). Dále v tom hrála snaha o vývoz tavných produktů na delší vzdálenosti, tedy do zemí s tropickým klimatem. Tavený sýr byl vynalezen ve Švýcarsku roku 1911 Walterem Gerberem a Fritzem Stettlerem z Gerber and Co., kteří jako první roztavili sýr švýcarského typu („Swiss sýr“) za použití citronanu sodného jako tavicí soli k výrobě produktu s požadovanými vlastnostmi, zvláště hladké a homogenní struktury. O několik let později, roku 1916, ve Spojených státech amerických se uskutečnila ve společnosti Kraft první výroba tavených sýrů, za kterou stál podnikatel J. L. Kraft. Pro prodloužení trvanlivosti J. L. Kraft využil metodu konzervace přírodního sýru v plechovkách pomocí zahřívání a nepřetržitého míchání. Historickou zajímavostí je, že těmito výrobky byli zásobováni vojáci bojující v první světové válce. Vývoj taveného sýra s použitím fosforečnanů jako tavicích solí lze připsat ve Spojených státech zvláště J. L. Kraftovi a dělníci z Phenix Cheese Co., kteří získali řadu patentů a ocenění za svou práci na tavených sýrech v letech 1916 a 1938, jak i uvádí Zehren a Nusbaum (2000), kteří měli za úkol zhodnotit historii vývoje procesu sýrů ve Spojených státech (Kapoor a Metzger, 2008; Kopáček, 2011). Od roku 1917 se následně přidala k velkovýrobě tavených sýrů Francie, která se proslavila světovou obchodní značkou „Veselá kráva“ (1921). Následně roku 1920 se přidalo Německo, které také uskutečnilo svou první výrobu tavených sýrů a o tři roky později se začaly tavené sýry vyrábět i v bývalém Československu, tedy roku 1923 ve společnosti Bloch. K bývalému Československu se téhož roku k produkci tavených sýrů přidalo dále Norsko a nejpozději Rusko (1933) s Japonskem (1934) (Kopáček, 2011; Berger a kol, 2002; Lee a Anema, 2009).

1.2 Obecná charakteristika

Jako tavený sýr se označuje mléčný výrobek, který se odlišuje od přírodního sýru tím, že není vyroben přímo z mléka, ale z různých surovin mléčného a nemléčného původu. (Kapoor a Metzger, 2008; Fox a kol., 2017). Z chemického pohledu lze tento typ produktu definovat jako komplexní vícesložkový systém tvořen polymerní disperzní maticí, jež představuje emulzi typu oleje ve vodě, která je v tomto systému stabilní (Salek a kol., 2017). Vzniku taveného sýru dosáhneme smísením různých surovin, a to přírodního sýru různého stupně prozrálosti za pomoci tavicích solí a dalších mléčných (např. bezvodý mléčný tuk, máslo, smetana, podmásli, syrovátka, kaseináty a koprecipitáty) i nemléčných surovin (např. stabilizátory, konzervanty, dochucující složky, hydrokoloidy) s následným zahříváním a neustálým mícháním za spolupůsobení mechanické energie tak dlouho, dokud není dosaženo homogenní hmoty požadovaných vlastností včetně prodloužené trvanlivosti. Přídavek jednotlivých komponent ovlivňuje řadu důležitých vlastností, a proto je důležité, co od finálního produktu fakticky očekáváme. Ať už se jedná o různé parametry (obsah sušiny, tuku, bílkovin) nebo funkční vlastnosti taveniny jako je např. roztíratelnost, opakovaná tavitelnost nebo krémovitost. Každá použitá komponenta během výroby má významný vztah k fyzikálně-chemickým, technologickým a mikrobiologickým vlastnostem taveného sýru (Kapoor a Metzger, 2008; Nagyová a kol., 2012; Salek a kol., 2017).

Tavený sýr také spadá pod skupinu sýrů, který neprošel zracím procesem a je bohatý na tuk a mléčné proteiny, tj. kaseiny a syrovátkové proteiny (Ningtyas a kol., 2017). Předpisy Federálního úřadu pro potraviny USA (FDA) vyžadují, aby smetanový sýr obsahoval min. 33 % (w/w) tuku a max. 55 % (w/w) obsahu vody (AnonymA, 2015). Sýr s takto dodržěnými požadavky se vyznačuje měkkou, krémovou a roztíratelnou texturou, hladkou konzistencí, bílou až lehce nažloutlou barvou a mírně kyselou chutí s příchutí diacetylu. Důležitým atributem přijatelnosti produktu spotřebitelem je zvláště textura taveniny, která by se měla vyznačovat hladkostí, jemnou strukturou bez hrudek a krupiček, čemuž přispívá vysoký obsah tuku ((Ningtyas a kol., 2017). Textura je tvořena na základě mnoha fyzikálních vlastností, které vycházejí zejména ze struktury použitých surovin a způsobu vzájemné interakce přítomných složek během procesu tvorby matrice a následnému chlazení. (Pereira a kol., 2009).

Struktura taveného sýru by měla představovat souvislou proteinovou síť (gel), která je sestavena z bílkovin, vody, rozpuštěných pevných látek a narušená rozptýlenými tukovými kuličkami (Brighenti a kol., 2008). Kaseiny přirozeně tvořící přírodní sýry se vyznačují skvělými emulgačními vlastnostmi, které zajišťují v tavených sýrech potřebnou emulgaci tuku a stabilizaci vody. Ovšem v systému přírodního sýru jsou tyto kaseiny zorganizovány do trojrozměrné sítě pomocí vápenatých můstků (považovány za hlavní přitažlivou sílu zodpovědnou za spojení kaseinových micel ve formě gelu), což způsobuje doslova jejich znehybnění a nemožnost tak plnit přirozené emulgační funkce. Tyto „příčné vazby“, také označované jako „vápenaté můstky“, jsou tvořeny ionty vápníku vázajícími se přímo na aspartátové a glutamátové skupiny nebo nanoklastry fosforečnanu vápenatého připojené k serin-fosfátovým skupinám na různých molekulách kaseinu. V důsledku této skutečnosti se za účelem podpory emulgačních schopností kaseinů začaly přidávat k přírodním sýrům během výroby tavených sýrů tavicí soli, které podporují žádané emulgační schopnosti kaseinů, a to pomocí iontové výměny vápenatých iontů přítomných v kaseinové matici sýru za sodné ionty tavicích solí. Tento jev lze označit jako tzv. sekvestrace vápníku, přičemž následkem této chemické reakce dojde ke změně k méně nerozpustného para-kaseinátu vápenatého na rozpustnější para-kaseinát sodný, který již disponuje požadovanými emulgačními a stabilizačními vlastnostmi. Tato přeměna zajistí posílení kaseinové micely, a tak i zvýšení stability díla bez nežádoucího úniku vody ze systému (Nagyová a kol., 2012; Fox a kol., 2017). Podrobněji o této problematice a přesném mechanismu pojednává kapitola č. 2.



Obrázek 1: Schematické znázornění struktury přírodního sýra, znázorňující matici složenou ze sítě fúzovaných para-kaseinových micel se zachyceným zbytkovým sérem (vlhkostí) a tukových kuliček zachycených sítí (Fox a kol., 2017).

Na finální textuře, vlastnostech tavení a celkové kvalitě tavených sýrů se vedle tavicích solí podílí také vlastnosti přírodního sýru, včetně volitelných přísad a podmínek zpracování, kterých je opravdu celá řada. Jedná se např. o homogenizaci, hodnotu pH, cílovou teplotu procesu tavení, rychlost míchání, základní složení produktu, zvláště podíl bílkovin a tuku. Dále pak obsah vlhkosti, přídavek tavicích solí či jejich částečná redukce a nahrazení například hydrokoloidy (Fox a kol., 2017; Brighenti a kol., 2008). Všechny zmiňované faktory lze považovat za ryze klíčové pro finální podobu sýru s jeho jedinečnou mikrostrukturou, která v neposlední řadě poskytuje tavenému sýru mnoho funkčních vlastností. Tyto vlastnosti jsou specifickými způsoby ovladatelné a můžou nám zajistit řadu různých funkcí v rámci konečného užití výrobku. Všem těmto faktorům bude věnována větší pozornost v podkapitole 3.3 (Johnson a kol., 2009).

Díky vzniku produktů s pestrým využitím nejen v domácnosti spotřebitelů nám dnešní trh nabízí celou škálu různých podob zpracování tavených sýrů pro konečné užití v kuchyňské oblasti. Maloobchodní produkty jsou například k dispozici jako bloky potažené fólií nebo trojúhelníkové porce, jednotlivě balené nebo naskládané jako plátky či vaničky s pomazánkou. Oproti tomu produkty pro gastronomii jsou k dispozici jako krájecí bloky, plátky (plátky na plátky nebo jednotlivě balené plátky) nebo roztíratelné produkty plněné do kbelíků (Fox a kol., 2017).

V současné době nalezneme také v rámci rozmanitosti chutí a vlastnostech založených na texturách (např. krájení, roztíratelnost, konzistence) mnoho variací tavených sýrů, přičemž dnes již na trhu není problém sehnat jak přírodní neochucené druhy tavených sýrů, tak ochucené sýry s přídavkem různých typů koření, které dodávají výrobku tu danou jedinečnost. Velké oblíbenosti tyto produkty nabyly i u malých dětí, a to především díky jejich bezpečné požitelné konzistenci, jemné chuti a atraktivním formátům a tvarům balení, které jsou vhodné třeba pro zabalení do krabiček ke svačině. Zároveň se lidé začínají čím dál více zaměřovat na zdravý životní styl s čímž je i spjata v průmyslové oblasti snaha o vznik produktů, které se vyznačují např. sníženým obsahem tuku včetně cholesterolu nebo dokonce sníženým obsahem sodíku. Toto snažení má svůj opodstatněný důvod, který vzešel především ze žádostí spotřebitelů a výživových poradců, neboť vysoký obsah tuku je často spojován s určitými poruchami metabolismu, jako je hypercholesterolemie (vysoký obsah cholesterolu v krvi), což může způsobit vážná onemocnění v podobě aterosklerózy a řady dalších. Z toho důvodu tento fakt postupem času vedl k výrobě alternativních produktů, jako je třeba nízkotučný tavený sýr. Obecně bohužel tyto typy potravin postrádají plnější

pocit v ústech (chuť), než jako jsme zvyklí u konvenčních výrobků s vyšším obsahem tuku. Obsah tuku totiž silně ovlivňuje celkové sensorické vlastnosti konečného produktu a v důsledku toho potravinářský průmysl čelí velké výzvě z hlediska dostatečného uspokojení spotřebitelské poptávky po „zdravých“ potravinách s podobnou chutí, texturou a aroma jako je tomu u produktů s vysokým obsahem tuku (Fox a kol., 2017; Ningtyas a kol., 2017; AnonymB, 2016). Vzhledem k tomuto faktu lze konstatovat, že sodík a tuk hrají velmi důležitou či dokonce zásadní roli nejen v tavených sýrech, ale všech typech sýrů. A právě proto role soli v sýrech a potenciální technologie redukce sodíku je novou oblastí tahu v průmyslové oblasti stanovenou Mezinárodní mlékárenskou federací (Hoffmann a kol., 2012).

1.3 Legislativní požadavky

Vyhláška Ministerstva zemědělství 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, v platném znění, nám definuje „tavený sýr“ jako sýr, který byl tepelně upraven tavením. Vedle pojmu „tavený sýr“ tu nalezneme i další pojmy jako jsou „tavený sýrový výrobek“ nebo „tavený mléčný výrobek“ .:

- „tavený sýrový výrobek“ označuje výrobek, který byl tepelně ošetřen tavením obsahující více než 5 % laktózy, v němž sýr představuje nejméně 50 % hmotnostních sušiny tohoto výrobku.

Z toho jednoznačně vyplývá, že výrobek obsahující více jak 5 % laktózy, nemůže být označen jako „tavený sýr“, nýbrž jako „tavený sýrový výrobek“.

- „tavený mléčný výrobek“ si představíme jako mléčný výrobek, který je tepelně ošetřen tavením obsahující také více než 5 % laktózy (AnonymC, 2019).

Smith (1990) uvedl klasifikaci tavených sýrových produktů na základě Programu potravinářských standardů FAO/WHO Komise Codex Alimentarius a jsou seskupeny do dvou různých kategorií na základě fyzikálních vlastností produktu: tavený sýr a roztíratelný sýr. Hlavním rozdílem mezi taveným sýrem a tavenými sýrovými pomazánkovými produkty navrženými Smithem (1990) je úroveň obsahu vlhkosti v produktu, která ovlivňuje jeho reologické vlastnosti, roztíratelný typ je měkčí. Dále tato norma pojednává o záležitostech přímo souvisejících s výrobou tavených sýrů včetně základních surovin a volitelných přísad. Na mysli máme především chemické složení

produktu vyjádřené jako obsah sušiny a procento tuku v sušině nebo minimální teplota tepelného opracování, která by měla být min. 70 °C/30 sekund. Následně zde nalezneme jmenované odrůdy přírodních sýrů, které mají být použity k výrobě daného typu taveného sýru nebo povolených potravinářských přísad, včetně těch mléčných. V neposlední řadě se v normě dočteme i o informacích týkající se označování (Guinee, 2017; Hougaard a kol., 2015; Mulsow a kol., 2007; Johnson a kol., 2009; Smith, 1990; Tamine, 2011). Mezi povolené potravinářské přísady zařazujeme jedlou sůl nebo její substituenty, vhodné zdravotně schválené pomocné látky, pitnou vodu a další. Do přídatných látek poté řadíme tavicí soli, funkčně nezbytné přídatné látky včetně modifikovaných škrobů, stabilizátory atd. (Beránková, 2009).

Přehled všech povolených složek nalezneme v tabulce níže (Tab. č.1), o které pojednává blíže již zmiňovaná Vyhláška č. 274/2019 Sb., v platném znění.

Tabulka 1: Přehled povolených složek jiných než sýry pro výrobu tavených sýrů a tavených sýrových výrobků a tavených mléčných výrobků (AnonymC, 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*.

Dle vyhlášky č. 274/2019 Sb. v platném znění musí být na obalu uvedeny tyto náležitosti:

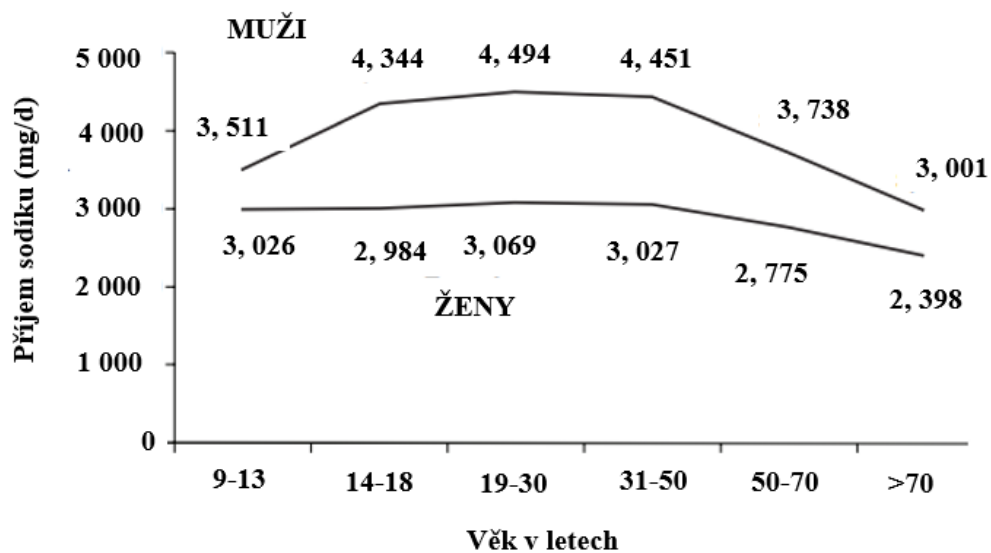
- název druhu; tavený sýr, tavený sýrový výrobek, tavený mléčný výrobek a syrovátkový sýr rovněž názvem skupiny,
- obsah tuku nebo tuku v sušině,
- obsah sušiny,
- použitá ochucující složka (AnonymC, 2019).

1.4 Nutriční význam tavených sýrů

Nutriční složení sýru se většinou liší podle různých druhů, nicméně obecně můžeme říct, že sýry mají vysoký obsah tuku, nasycených tuků včetně cholesterolu. Zároveň obsahují dvě mastné kyseliny, které jsou pro organismus velkým zdravotním přínosem, tj. konjugovaná kyselina linolová (CLA) a kyselina fytoová. Obsah bílkovin v sýru se pohybuje od 3 do 40 %. Několik peptidů, které vznikají hydrolýzou proteinů při výrobě sýru, prokázalo důležitou biologickou aktivitu, zejména antioxidačních, antihypertenzních a protizánětlivých účinků. Sýr je také dobrým zdrojem retinolu (vitaminu A), riboflavinu (B2) a vitaminu B12 (kobalamin). Dále je skvělým zdrojem biologicky dostupného vápníku, který byl také úspěšně posilován železem, zinkem a selenem. Existuje souvislost mezi konzumací sýra a snížením zubního kazu, která se připisuje zvláště vysokému obsahu vápníku, fosfátu a kaseinu v sýru (Fox a kol., 2017). Tavené sýry jsou řazeny mezi nutričně bohaté potraviny, které jsou dobrým zdrojem vápníku (27 %), fosforu (11 %) a proteinu (9 %) (Johnson a kol., 2009). Celkovou nutriční hodnotu tavených sýrů podmiňují taktéž suroviny použité v rámci samotné výroby (Buňka a kol., 2006). Někteří výrobci obohacují své produkty přidávkem o další přísady (o vitamín D, omega - 3 mastné kyseliny, antioxidanty, prebiotika a probiotika). Dietetická směrnice pro Ameriku z roku 2005 pojednává o skutečnosti, že lidé konzumující mléčné výrobky, mají celkově lepší stravu bohatou na živiny a zdravější kosti než skupina lidí, která mléčné výrobky naopak odmítá (Johnson a kol., 2009).

Přesto však je tavený sýr vnímán také jako potravina obsahující vysokou hladinu tuku a sodíku. Tento fakt může bohužel některé skupiny lidí (starší věkovou skupinu nebo těhotné ženy) od zařazování takovýchto produktů do svého jídelníčku odrazovat. A to včetně školních jídelen, které rovněž tato skutečnost vedla k útlumu nadměrné konzumace sýru u svých žáků. Měli bychom si uvědomit, že tuk hraje v sýrech důležitou roli mající vliv na celou škálu podstatných vlastností formulující konečný výrobek s požadovanými vlastnostmi, jako např. tuhost sýru, přilnavost, plný pocit v ústech (chuť), nutriční aspekty a řada dalších. Navzdory tomu mnoho expertních skupin po celém světě vydalo směrnice, které doporučují snížit obsah celkových i nasycených tuků západní populace na méně než 10 % energie ve formě nasycených mastných kyselin (WHO a Dietetická směrnice pro Američany z roku 2010). Již dříve dietetická směrnice z roku 2005 ve Spojených státech amerických, stejně jako většina industrializovaných zemí doporučily snížení celkového množství tuku ve stravě na 30 % celkové energie. Pro tyto případy byla

potřeba vyvinout nové funkční metody, které zajistí u výrobku snížení jak obsahu sodíku, tak tuku takovým způsobem, aby odpovídaly tržním trendům. V současnosti existuje celá řada „light“ sýrových výrobků se sníženým obsahem tuku, které byly předmětem vývoje na popud jak spotřebitelů orientovaných na zdravější životní styl, tak odborníků nejen na výživu. Tyto výrobky by si měly i přes změnu svého složení uchovat vysokou nutriční hodnotu (Fox a kol., 2017; Johnson a kol., 2009). Podstatným faktem zůstává, že sýry s nízkým obsahem tuku nejsou ve velkém měřítku vyhledávanou alternativou, neboť jsou méně chutné a roztíratelné než jejich tradiční protějšky (Dostálová, 2005; Obermaier, 2009).



Obrázek 2: Obvyklý denní průměrný příjem sodíku z potravin podle pohlaví (d - den; mg = miligram; průzkum vylučuje těhotné a kojící ženy) (Henney, 2010)

Nasycené mastné kyseliny převládající v sýru jsou převážně kyselina palmitová, myristová a stearová. Naopak hlavní podíl nenasycených mastných kyselin je zastoupen kyselinou olejovou. Krevní profil lipidů a hladinu cholesterolu lze ovlivnit typem konzumované mastné kyseliny, což ve své studii zjistil Parodi (2006), který ve svém závěru konstatoval, že sýr může vést dokonce k příznivému lipoproteinovému profilu. Pokud tedy chceme dosáhnout vzniku sýrových produktů s tímto zdravějším profilem mastných kyselin, nejdříve musíme začít u krmiva produkčních zvířat a obohatit je např. o rostlinné oleje (Fox a kol., 2017; Parodi, 2006). Vzhledem k existujícím důkazům pocházejících z různých zdravotních studií je patrné, že obzvláště dospělí v západní Společnosti převyšují příjem nejen tuku, ale i sodíku nad rámec optimální úrovně. Zvýšený příjem sodíku je považován za rizikový faktor hypertenze, která je pro změnu rizikovým faktorem ischemické choroby

srdeční. Dietetická směrnice pro Ameriku z roku 2005 tudíž stanovila spotřebu sodíku pro dospělého člověka na 2 300 mg/den. V listopadu roku 2007 uspořádal FDA veřejné slyšení ohledně otázky množství sodíku ve stravě a stanovení nové doporučené denní dávce, které mělo vést ke snížení denních hodnot sodíku z 2 400 mg/den na 1 500 mg/den. Avšak je nutno podotknout, že u populací disponujících vysokým příjmem sýrů se sýr podílí na celkovém příjmu sodíku pouze z 5 - 8 % (Fox a kol., 2017; Johnson a kol., 2009).

Stejně tak diskutovaným tématem je nedostatečný přísun vápníku a jeho problematika v rámci tavených sýrů, která byla okrajově zmíněna již v úvodu. Nízký přísun vápníku ve stravě je považován za rizikový faktor pro řadu onemocnění jako např. osteoporózy. Proto i pro tento minerál byl stanoven doporučený denní příjem pohybující se v rozmezí 800 - 1200 mg/den pro průměrného dospělého člověka. Samozřejmě u dospívajících osob nebo těhotných žen by měl být denní příjem navýšen (Hrubý, 1999). Během výroby tavených sýrů dochází k jedné zásadní věci, a to k vazbě vápníku na fosforečnanové tavicí soli, čímž je narušen optimální poměr v sýru, který je posunut ku prospěchu fosforu. Tím vzrůstá obsah fosforu v tavených sýrech a využitelnost takto vázaného vápníku organismem klesá (Buňka a kol., 2006). Přesto však jsou tavené sýry stále pokládány za jednu z nejbohatších potravin na tento minerál, který se obvykle pohybuje v rozmezí 2 - 5 g vápníku na kg výrobku (Buňka a kol., 2006).

Mnoho lidí má zažitou mylnou představu, že tavené sýry disponují nižší nutriční a výživovou hodnotou ve srovnání s přírodními sýry. Očividně k této myšlence vede fakt, že při výrobě tavených sýrů se využívá vyšších teplot (>80 °C), které by dle spekulací veřejnosti měly vést ke snížení biologické hodnoty bílkovin. Existují však mnohé studie, které sice poukazují na menší ztráty aminokyselin (zejména cystein, metionin, serin, threonin a tyrosin), ovšem tyto ztráty se pohybují v průměru 5 - 10 % jejich původního množství, což můžeme označit prakticky za zanedbatelné (Lazárková a kol., 2011; Buňka a kol., 2006).

Tavené sýry jsou mimoto skvělým zdrojem mnoha vitamínů. Nejznámějším zástupcem ze skupiny hydrofilních vitamínů a rovněž nejvíce zastoupeným vitamínem je riboflavin (B2), jehož obsah se pohybuje v rozmezí 2 - 4 mg/kg (Dostálová, 2005; Buňka a kol., 2006). Naopak obsah lipofilních vitamínů (A, D, E) značně závisí na obsahu tuku v použitém sýru, avšak obecně pro svůj vyšší obsah tuku je sýr vhodný například pro fortifikaci vitamínem D. Množství vitamínu C je v porovnání s předchozími vitamíny přítomnými v tavených sýrech opravdu zanedbatelné (Fox a kol., 2017; Dostálová a Čurda, 2010).

1.5 Mikrobiologie tavených sýrů

Hlavním znakem jak tavených sýrů, tak všech tavených výrobků je výrazně zvýšená trvanlivost ve srovnání s klasickými přírodními sýry. Ta je docílena zvláště působením vysokých teplot během tavicího procesu, zpravidla teplot v rozmezí 90 - 100 °C za částečného podtlaku, čímž je zajištěna inaktivace většiny mikroorganismů (plísní, kvasinek, bakterií) včetně organismů startovacích kultur a enzymů přirozeně se vyskytujících v přírodních sýrech (Amamcharla a Metzger, 2015; Martinez-Rios a kol., 2019).

Mikrobiologická stabilita a nezávadnost tavených sýrů závisí explicitně na vlastnostech použitých surovin, intenzitě tepelné úpravy, rychlosti chlazení po tomto kroku, materiálu a technologii balení a také podmínkách skladování. Pokud je použito šetrnější ošetření jako pasterizace, bude tavený sýr po výrobě potřebovat chlazení. Šetrné tepelné ošetření inaktivuje vegetativní buňky patogenních nebo zhoršujících se agens, avšak nikoli přítomné bakteriální spory, což představuje velkou výzvu pro zajištění kvality a bezpečnosti takovýchto produktů (Cruz a kol., 2019). Mikrobiální kontaminace taveného sýra může pocházet z několika zdrojů. Mikroorganismy jsou totiž schopné kontaminovat produkty ve všech fázích výroby, od farmy (půda, výkaly, siláž a syrové mléko) až po průmysl (ingredience, prostředí, zařízení a obalový materiál). Navíc problém s klíčením a množením bakteriálních spor může vzniknout až během distribuce a skladování produktu, což následně vede ke zhoršení stavu a propuknutí alimentárních chorob u konzumentů (El-Bakry a Mehta, 2022). Obecně je zhruba 90 % bakterií přítomných v mléce zadrženo v tvarohu během výroby sýra; zbývajících 10 % se ztrácí v syrovátce. Tyto bakterie jsou imobilizovány nebo zachyceny v tvarohu, když koaguluje a rostou jako kolonie v trojrozměrné sýrové matici (Fox a kol., 2017).

1.5.1 *Clostridium spp.* v tavených sýrech

Jak tu již bylo zmíněno, tepelné opracování používané při výrobě tavených sýrů může stačit pro redukci vegetativních buněk mikroorganismů, ale nezajistí nám úplné zničení spor, zejména spor rodu *Clostridium*, které jsou relativně tepelně stabilní a do tavených sýrů se můžou dostat zvláště prostřednictvím použitých surovin v počátku výroby. Proto je nutno v celém výrobním řetězci zavést kontrolní opatření zajišťující zdravotní nezávadnost, zejména správné hospodaření s půdou, odpadky a krmivy či správná hygiena a sanitace. Druhy *Clostridium* jsou příčinou řad problémů související obzvláště s kvalitou a bezpečností

taveného sýru, neboť během zrání zrajícího sýra může docházet k rozsáhlé proteolýze. Pokud takový sýr použijeme pro výrobu taveného sýru, tak postupem času dochází k navyšování pH v důsledku uvolňování aminokyselin vlivem proteolýzy a potenciální podpoře růstu Klostridií. A protože spory tohoto rodu nejsou inaktivovány mírným tepelným zpracováním, mohou v důsledku aplikace vyšších teplot začít klíčit s produkcí plynů, kyseliny máselné a octové, oxidu uhličitého a vodíku (→ běžné produkty rozkladu). Stability taveného sýru v přítomnosti těchto bakterií dosáhneme pouze tehdy, pokud počet spor je nízký, pH není vyšší než 5,8 a koncentrace soli je minimálně 6 %. Tyto hladiny soli nejsou dosaženy v mnoha formulacích taveného sýru, zvláště v těch se sníženým obsahem sodíku (El-Bakry a Mehta, 2022).

Přítomnost bakterií rodu *Clostridium* v tavených sýrech se uvádí kolem 25 %, přičemž nejčastějšími druhy jsou *C. perfringens*, *C. cochlearius*, *C. butyricum*, *C. tyrobutyricum* a *C. sporogenes* (Cruz a kol., 2019).

1.5.2 Probiotika v tavených sýrech

V případě tavených sýrů je další alternativa k inhibici růstu nežádoucích mikroorganismů, zejména sporotvorných bakterií, použití probiotik (Sadek a kol., 2017). Existuje ovšem málo studií o aplikaci probiotik v tavených sýrech kvůli preferovaným zpracovatelským krokům používaných při výrobě těchto produktů, jako je např. použití teplot do 90 °C, delší doba skladování nebo vysoké koncentrace solí. Všechny tyto kroky zapříčiní snížení životaschopnosti nebo úplné usmrcení probiotických mikroorganismů. Avšak produkt, aby byl považován za probiotikum, musí vykazovat právě životaschopnost mikroorganismů po celou dobu své trvanlivosti, která je v tavených sýrech velice rozsáhlá. Tyto ztráty, ke kterým dochází během zpracování, se zvyšují s dobou skladování. Samozřejmě existuje možnost přidání běžných probiotik po kroku chlazení tavených sýrů (např. rodu *Lactobacillus*), přičemž jejich účinky jsou uspokojivé včetně antimikrobiální aktivity. Nicméně v tomto případě je na scéně zase jiné riziko, a to rekontaminace, jelikož produkt nebude podroben žádné další tepelné úpravě. *Lactobacillus curvatus* a *L. acidophilus* mají inhibiční vlastnosti proti rodu *Bacillus* a *Leuconostoc mesenteroides* je pro změnu účinnější proti rodu *Clostridium* (Talbot-Walsh, 2018; Sadek a kol., 2017).

Použití probiotik v tavených sýrech je tedy omezeno na kmeny *Bacillus* uznávané jako bezpečné a s probiotickými vlastnostmi, které mají vysokou odolnost vůči náročnějšímu zpracování. Nejpoužívanějšími kmeny jsou druhy *B. coagulans*, i když existují zprávy o použití *B. subtilis* a *B. flexus* (Soares a kol., 2019).

Nejčastěji jsou v tavených sýrech používány postbiotika a paraprobiotika, která jsou mnohem stabilnější a bezpečnější pro průmyslové produkty. Jejich aplikace v potravinářských výrobcích může pro výrobce představovat řadu technologických výhod ve srovnání s životaschopnými mikroorganismy. Paraprobiotika, také nazývaná „inaktivovaná probiotika“, jsou definována jako neživotaschopné mikrobiální buňky (neporušené nebo prasklé) nebo surové buněčné extrakty (s komplexním chemickým složením). Pokud jsou podávány (orálně nebo lokálně) v adekvátních množstvích, poskytují zdravotní přínos pro spotřebitele jak lidí, tak i zvířat (Taverniti a Guglielmetti, 2011; Barros a kol., 2020).

1.5.3 Plísně a kvasinky v tavených sýrech

Ačkoli jsou tyto druhy mikroorganismů v tavených sýrech málo vzpomínány, potenciální přítomnost plísní a kvasinek v tavených sýrech může vést až k lipolytickému a proteolytickému působení, vedoucí k tvorbě látek způsobujících organoleptické a barevné změny. Plísně jsou navíc považovány za prekurzory stabilnějších mykotoxinů. Znehodnocení těmito mikroorganismy v tavených sýrech je ve většině případů připisováno rodu *Penicillium*, zejména *P. commune* a *P. roqueforti* (Buňková a Buňka, 2015).

Bylo prokázáno, že plísně rodu *Penicillium* jsou životaschopné déle než 270 dní v taveném sýru skladovaném při 5 °C, zatímco *Cladosporium* je inhibováno již po 180 dnech skladování. Při vyšších teplotách kolem 22 °C je počet buněk dále navyšován až do konce skladování (Cruz a kol., 2019).

2 CHARAKTERISTIKA A FUNKCE TAVICÍCH SOLÍ

Obecně se tavicí soli skládají z jednomocného kationtu (sodík) a polyvalentního aniontu (fosfátu), jejichž hlavní vlastností je doplnění funkčních vlastností mléčných bílkovin (Tamine, 2019). Tavicí soli jsou řazeny mezi potravinářské přídatné látky, o čemž nás informuje Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1333/2008 o potravinářských přídatných látkách v platném znění, kde jsou specifikovány jako látky převádějící bílkoviny obsažené v sýru do disperzní formy za účelem homogenního rozložení tuků a ostatních složek. Zároveň musí být řádně označeny na etiketě výrobku, a to pomocí tzv. E-kódu (AnonymD, 2008).

Nároky jak výrobců, tak legislativy na tavicí soli nejsou zrovna malé. Jako jeden z mnoha požadavků na tyto látky můžeme uvést zachování senzoričké neutrality tavicích solí vůči produktu, dobrá rozpustnost ve vodě nebo velmi důležitá iontová výměna probíhající mezi dodanými tavicími solemi a přírodním sýrem v průběhu tavicího procesu. Zatímco tavicí soli nejsou samy o sobě emulgátory, podporují za pomoci tepla a stříhu sérii koordinovaných fyzikálně-chemických změn ve směsi, vedoucí k přeměně nerozpustného para-kaseinátu vápenatého na hydratovaný para-kaseinát sodný (rozpustnější). To hlavně díky solubilizaci proteinu v přírodním sýru → vznik para-kaseinátu sodného, který váže volnou vodu a emulguje volný tuk uvolněný během záhřevu a stříhu. Tyto chemické reakce vedou k tvorbě hladkého, homogenního, fyzikálně-chemicky stabilního produktu taveného sýru. Tyto zmiňované změny především zahrnují:

- sekvestraci vápníku (= iontová výměna vápníku za sodík/draslík) a demineralizace kaseinu,
- peptizaci a solubilizaci proteinu,
- hydrataci a nabobtnání bílkovin (→ vazba vody),
- emulgaci volného tuku a dispergaci kaseinových micel,
- úpravu a stabilizaci (pufrování) pH směrem nahoru,
- po vychladnutí vznik trojrozměrné struktury pomocí tvorby můstků mezi kaseiny.

Solubilizace proteinu je zprostředkována úpravou pH směrem nahoru a oddělením vápníku ze sýrové matrice pomocí přídatku tavicích solí, nejčastěji citronanem sodným nebo fosforečnanem sodným. Každá tavicí sůl disponuje jinými vlastnostmi, a tudíž i odlišnou schopností sekvestrovat vápník. Polyfosforečnany vykazují nejlepší

iontovou výměnu, skvělou schopnost této výměny mají také trifosforečnany a v neposlední řadě i difosforečnany. Nejhorší iontovou výměnou naopak disponují ortofosforečnany společně s citronany. Tavicí soli lze tedy považovat za určité aktivátory široké škály chemických reakcí probíhajících během tavicího procesu vzájemně mezi surovinami, vedoucí postupně ke změnám zajišťující u výrobku zmiňované funkční vlastnosti. Obecné pořadí schopnosti sekvestrovat vápník u běžných tavicích solí v sýrech je v následujícím pořadí: polyfosforečnany > pyrofosforečnany > trifosforečnany > difosforečnany > ortofosforečnany > fosforečnan sodno-hlinitý ~ citronany. Bohužel fosforečnany sodno - hlinité vzhledem k obsahu hliníku a jeho předběžnému spojení s Alzheimerovou chorobou se používají ve velmi omezené míře. Pokud se na sekvestraci vápníku podíváme z pohledu délky řetězce v rámci fosforečnanů mající krátký řetězec, pak se vazba vápníku zvyšuje v následujícím pořadí: $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (difosforečnan tetrasodný) > $\text{Na}_3\text{HP}_2\text{O}_7$ (dihydrogenfosforečnan trisodný) > $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ (pyrofosforečnan disodný) > Na_2HP_0_4 (hydrogenfosforečnan sodný) > NaH_2P_0_4 (dihydrogenfosforečnan sodný) (Fox a kol., 2017; Abdel-Hamid a kol., 2000; Lee a kol., 2004; Sádliková a kol., 2010; Tamime, 2011; Cunha a Viotto, 2010).

V praxi se setkáme spíše s různými směsí několika chemických látek nežli s individuální aplikací tavicích solí, a to v celkovém množství 2 - 3 % na hmotnost surovinové skladby (Buňka a kol., 2009; Buňka a Buňková, 2009). Legislativa ve většině případů udává množství tavicích solí na 20 g/kg jejich přídavku vyjádřené jako P_2O_5 (AnonymC, 2003). Nejčastěji jsou tyto směsi aplikovány v ternárních či dokonce více komponentních směsích (Salek a kol., 2016). Správná volba dávky včetně správně zvolené koncentrace je klíčovým faktorem pro požadované vlastnosti finálního výrobku, jako je třeba roztíratelnost produktu. V případě předávkování však hrozí riziko vzniku nežádoucích konzistenčních a sensorických změn (např. hořká chuť), čímž získáváme produkt s odlišnými vlastnostmi, než jak je tomu u tradičních výrobků taveného sýru s požadovanými kvalitami. Tavicí soli jsou dodávány výrobcům ve formě směsí dvou nebo více tavicích solí, přičemž přesné poměry jsou výrobním tajemstvím každého dodavatele (Buňka a kol., 2009; Buňka a Buňková, 2009). Mayer (2001) uvedl, že u takto předávkovaných tavených sýrů s typickou hořkou chutí, vykazovaly plátky sýru velmi slabou nebo dokonce žádnou oblast α_{s1} a β kaseinů, ale pouze γ -kasein a peptidy s nízkou molekulovou hmotností. Navíc obsahovaly vysoké koncentrace hydrofilních a hydrofobních peptidů (Tamime, 2011).

Nejčastěji používanými skupinami tavicích solí pro výrobu tavených sýrů jsou soli na bázi citronanu a fosforečnanu (Sołowiej a kol., 2020). Z výše zmíněných vlastností, kterými disponují tavicí soli, je jasně odvoditelné, že tavicí soli jsou považovány za nezbytnou přísadu v tavených sýrech, neboť se ve významné míře podílejí na úpravě mléčných bílkovin (kaseinů), a tak nastartování jejich přirozených emulgačních a stabilizačních vlastností, vedoucí k tvorbě hladké homogenní struktury. Vnímáme je tedy spíše jako emulgační činidla nežli jako pravé emulgátory, neboť nejsou tvořeny amfifilní strukturou, která je pro funkční emulgátory naprosto typickou vlastností (Chavhan a kol., 2015; Guinee a kol., 2004).

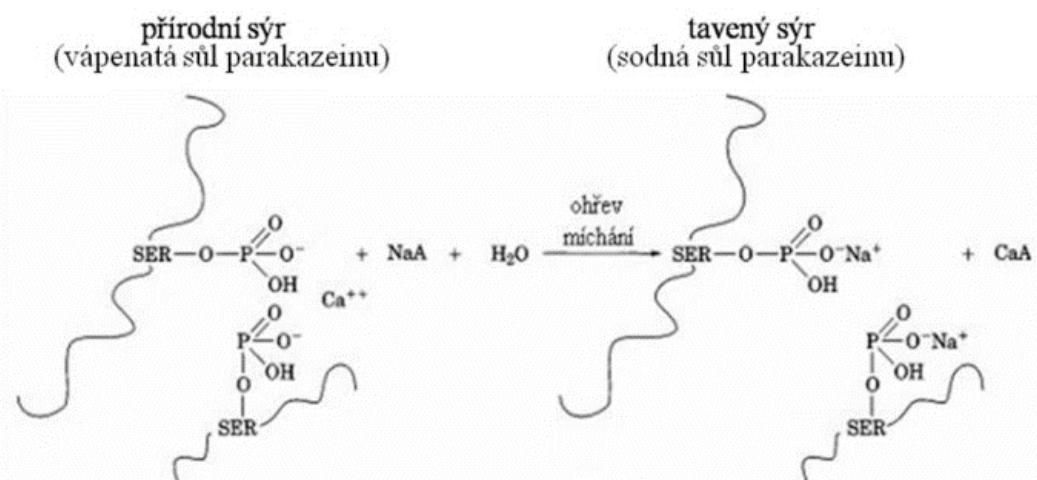
V případě, že bychom tavicí soli v průběhu výroby nepoužili, došlo by k mnoha nežádoucím reakcím, které by postupně vedly k tvorbě výrobku s nestabilní emulzí a nežádoucími vlastnostmi. V první řadě by vlivem mechanického stříhu a záhřevu docházelo k nežádoucímu uvolňování obsahu z tukových kuliček přírodního sýru, tj. triacylglycerolů, a to díky porušení obalových vrstev (lipoproteinových membrán) tukových kuliček a jejich následné agregaci ve větší formace. Tyto nově vzniklé formy tukových kuliček by nebylo možné dostatečně obalit vrstvou dispergovaného kaseinu v důsledku jejich relativně velké plochy, což by vedlo k nedostatečné emulgaci tuku. Emulgaci tuku považujeme za jeden z klíčových faktorů vzniku požadované proteinové struktury pro získání homogenního produktu. Chceme-li tedy u taveného sýru dosáhnout hladké a jemné textury, je nutné tukovou fázi znovu zaemulgovat do podoby drobných tukových kuliček pomocí přísady tavicích solí, které přispívají k tvorbě tukových kuliček o požadované velikosti, což emulgaci mnohonásobně usnadňuje oproti tukovým kuličkám s větší plochou. Stejně tak neustálý nárůst teplot (80 - 105 °C) spolu s nízkým pH daného systému (okolo 5,0 - 5,5) by postupem času vedl k sdružování (agregaci) bílkovin a uvolňování vody ze systému. Všechny tyto chemické reakce by v konečném důsledku znamenaly jediné, a to separaci hmoty na tři různorodé fáze, přičemž spodní část by byla tvořena směsí vysrážených bílkovin, mezifáze vodní fází a na povrchu by se orientoval oddělený volný tuk. Zjednodušeně můžeme tvrdit, že všechny zmiňované kroky by dospěly do takového stádia, kdy v systému převládá nehomogenní hmota tvořená zvláště hydrofilní a hydrofobní částí (Guinee a kol., 2004; Berger a kol., 2002).

2.1 Sekvestrace vápníku a demineralizace sýrového proteinu

Důležitým krokem pro úspěšnou emulgaci tuku tavených sýrech je vždy jeden a tentýž krok neboli nastartování přirozených emulgačních schopností kaseinů, které jsou začleněny ve struktuře přírodního sýru. Toho dosáhneme tzv. sekvestrací vápníku z proteinového systému sýru, ve kterém vápník (ve formě vápenatých můstků) funguje jako pevné pojivo všech přítomných kaseinových frakcí, znemožňující tak jejich orientaci do prostoru, čímž je ve velké míře omezena daná emulgační schopnost kaseinů. Ovšem v průběhu záhřevu a konstantního míchání taveniny za přítomnosti tavicích solí docílíme postupného navazování polyvalentních aniontů fosforečnanů na proteiny pomocí vápenatých iontů pocházejících převážně z koloidního komplexu fosforečnanu vápenatého přítomného v přírodním sýru. Tato částečná demineralizace kaseinu při zvýšeném pH má za následek žádoucí odstranění většiny intra- a interkaseinových vápníkových příčných vazeb a zvýšení záporného náboje. Oba zmíněné faktory přispívají tedy k částečné přeměně nerozpustného para-kaseinátu vápenatého na rozpustnější para-kaseinát sodný, který snadno disperguje v proteinovém systému. Dispergovaný kasein je velmi důležitý, neboť pokrývá povrch rozptýleného volného tuku, což významně zvyšuje emulgaci tuku a imobilizaci velkého množství volné vody, která vede ke stabilizaci vody uvnitř vytvořené matrice. Tyto změny jsou potvrzeny velkým zvýšením hladiny ve vodě rozpustných bílkovin po zpracování (např. z ~ 5 - 20 % celkových bílkovin v přírodním sýru na ~ 60 - 90 % v taveném sýru v závislosti na typu a množství tavicích solí) a nízkým poměrem vápníku k proteinu solubilizovaného proteinu (~ 5 - 10 mg/g rozpustného proteinu oproti 21 mg/g proteinu v přírodním sýru). Díky přítomnosti tavicích solí jsme tedy schopni izolovat velké množství vápníku připojeného za normálních podmínek na kaseinovou matici a jeho následnou depozici ve formě jemné dispergované inkluze fosforečnanu vápenatého, anebo citronanu vápenatého v tavených sýrech. Přesněji během tohoto procesu dochází k obnažení hydrofilních a hydrofobních částí jednotlivých kaseinů a k následné hydrataci para-kaseinu v důsledku hydrofilních interakcí s vodnou fází, což umožňuje interagovat také s tukovou fází prostřednictvím hydrofobních interakcí. Kaseiny se v důsledku těchto interakcí chovají jako emulgátory na rozhraní voda – olej (Fox a kol., 2017; Nagyová a kol., 2012; Johnson a kol., 2009; Salek a kol., 2016).

Finální homogenní struktura je ovšem tvořena nejen vápenatými můstky, ale i disulfidickými můstky, fosforečnano-vápenatými komplexy, elektrostatickými a hydrofobními interakcemi nebo dokonce vodíkovými vazbami. Vedle výše jmenovaných přitažlivých sil zde můžeme zaznamenat i síly odpudivé, jež jsou představovány především elektrostatickými interakcemi v důsledku převažujícího negativního náboje na přítomných kaseinech. Mezi přitažlivými a odpudivými silami se při tvorbě finální struktury (tzv. krémování) postupně ustanovuje rovnováha. Její stabilita je velmi citlivá, a tudíž může být narušena celou řadou vnitřních a vnějších faktorů (Nagyová a kol., 2012).

Účinnost různých tavicích solí při podpoře různých fyzikálně-chemických změn, ke kterým dochází během zpracování, byla rozsáhle studována mnoha odborníky. Přehledy vlastností různých tavicích solí v produktech tavených sýrů zahrnují studie od Meyera (1973), Guinee a kol. (2004), Kapoor a Metzger (2008) a Lucey a kol. (2011). Mezi těmito studii ovšem existují patrné nesrovnalosti ve vztahu k vlivu tavicích solí na různé fyzikálně-chemické změny, pravděpodobně odrážející rozdíly ve složení produktu (např. intaktní protein, pH, poměr tavicích solí k proteinu) a podmínkách zpracování (např. typ vařiče, stupeň smyku, zpracování z hlediska teploty a doby výdrže). (Fox a kol., 2017). Sekvestraci vápníku pomocí tavicích solí a následný vznik rozpustnějšího para-kaseinátu sodného/draselného z nerozpustného para-kaseinátu vápenatého přirozeně se vyskytujícího v přírodním sýru je znázorněn na obrázku č. 2. (Nagyová a kol., 2012).



Obrázek 3: Modelově znázorněná funkce tavicích solí při výměně iontů sodíku za vápenaté ionty během procesu tavení (NaA – tavicí sůl se sodným kationtem; CaA – tavicí sůl s vápenatým kationtem) (Carić a Kaláb, 1997).

2.2 Krystalizace tavicích solí

Krystalizace tavicích solí v tavených sýrech je velmi známým nedostatkem, který lze považovat za významnou závadu této skupiny výrobků. Krystaly je možné pozorovat jak na povrchu, tak uvnitř produktu taveného sýru, nejčastěji však pomocí mikroskopu s různým zvětšením (např. od 5 000 x klidně po 25 000 x). Ovšem v určitých případech jsou zahlédnutelné i pouhým okem, a to v podobě bílého práškového povlaku se zrnitým podkladem. Za použití fosforečnanových tavicích solí by nerozpuštěné fosfátové krystaly mohly potenciálně interagovat s proteiny, zejména kaseiny a vytvářet tak různé struktury v jádru krystalu nebo na jeho povrchu v rámci citronanů (El-Bakry a Mehta, 2022).

Z mnoha studií je patrné, že tavicí soli na bázi citronanů se intenzivněji podílejí na tvorbě povrchových krystalů taveného sýru ve srovnání s tavicími solemi na bázi fosforečnanů. Ty při pH vhodném pro roztíratelné tavené sýry $\text{pH} \approx 5,5 - 6,0$ (zejména ortofosforečnanové) krystalizují hlavně uvnitř hmoty taveného sýru. Nicméně krystalizace nemusí probíhat pouze u tavicích solí na bázi fosforečnanů a citronanů, nýbrž mohou krystalizovat i další komponenty tavených sýrů, jako je tyrosin, laktóza nebo soli bílkovin a mastných kyselin. Jejich krystaly jsou také pozorovatelné jak na povrchu tavených sýru, tak uvnitř sýrové hmoty. Riziko tvorby krystalů ve výsledném taveném sýru je obecně nízké, neboť hladiny vápníku a fosfátu v použitém přírodním sýru se vyznačují sníženým obsahem. Nicméně skladování tavených sýrů v chladničce zvyšuje náchylnost k tvorbě jednotek citronanu vápenatého (tzv. „výkvět“ nebo „opar“). Pokud ale navýšíme množství vody v tavených sýrech, můžeme snížit riziko přesycení sýrového systému tavicími solemi na bázi fosforečnanů a citronanů (El-Bakry a Mehta, 2022).

Podle Guinee (2017) existují tři hlavní příčiny krystalizace v tavených sýrech, a to zejména vznik nerozpustných krystalů fosforečnanu vápenatého, dále neúplné rozpuštění tavicích solí (zvláště při přebytku tavicích solí) a v neposlední řadě použití přebytku laktózy (např. v přidaném sušeném odstředěném mléce ze syrovátky), které by mohlo vést k přesycení a tvorbě krystalů laktózy (Guinee, 2017; El-Bakry a Mehta, 2022).

2.3 Potenciální náhrada tavicích solí

Pravděpodobně nejdiskutovanějším tématem je obecně snaha o minimalizaci obsahu tavicích solí, eventuálně jejich úplné nahrazení v produktu takovými látkami, jejichž funkční vlastnosti se co nejvíce podobají tavicím solím. Jedná se zejména o hydrokoloidy (např. modifikovaný škrob, nízký methoxyl pektin, svatojánský chléb, κ -karagenan a ι -karagenan) nebo o polymerizované syrovátkové proteiny. Bohužel dodnes neexistuje mnoho studií týkající se nahrazení tavicích solí právě bílkovinami, zejména pokud se jedná o využití polymerizovaných syrovátkových proteinů. Sołowiej a kol. (2020) ve své studii zkoumali vliv polymerizovaných syrovátkových proteinů jako náhražka tavicích solí na texturní, reologické a tavitelné vlastnosti taveného sýru. V závěru bylo zkonstatováno, že částečnou náhradou emulgujících solí izolátem z polymerizovaných syrovátkových bílkovin, přičemž byla použita koncentrace izolátu 0,2 - 0,4 %, se docílilo požadovaného zvýšení texturních vlastností, viskozity, roztíratelnosti a dobrých tavicích vlastností. U vyšších koncentrací syrovátkového izolátu pro změnu došlo ke snížení tvrdosti a přilnavosti sýru (Černíková a kol., 2010; Sołowiej a kol., 2020).

Pokud se podíváme na možné využití hydrokoloidů v potravinách, tak této problematice byla věnována řada studií již v minulosti, které nás odkazují na velice nadějně závěry. Hydrokoloidy totiž disponují důležitými fyzikálně-chemickými vlastnostmi, které zajišťují u produktu tvorbu trojrozměrné sítě (gelu) a zároveň přispívají k zvýšení viskozity, stability pH a teploty, včetně stabilizace emulze typu oleje ve vodě. Nejčastěji se získávají extrakcí z rostlin, mořských řas či dokonce z kolagenu. Zástupců této skupiny je opravdu hodně, přičemž u každého z nich převažují buďto bílkovinná (vaječné bílkoviny, želatina, kasein atd.) nebo sacharidická povaha (arabská guma, karagenany, celulóza nebo přírodní či modifikované škroby atd.) (Pluta a kol., 2000; Kodet a kol., 1993; Dickinson, 2003). Jejich zavedení do potravin může být pro konzumenty zdravotně přínosné, a dokonce šetrné vůči životnímu prostředí, neboť se jedná o biologicky odbouratelné látky pocházející z obnovitelných zdrojů. Potencionálním nahrazením tavicích solí hydrokoloidy je možné dosáhnout snížení jak koncentrace sodíku, tak množství fosforu, jejichž příliš velký přebytek v organismu je považován za rizikový faktor pro řadu onemocnění (Černíková a kol., 2010; Sołowiej a kol., 2020).

2.4 Mikrobiologické aspekty tavicích solí

Tavicí soli hrají důležitou roli v mikrobiologické kontrole tavených sýrů. Fosforečnany jsou nejpoužívanějším typem a mají bakteriostatické vlastnosti, to znamená, že inhibují mikrobiální množení. Kromě toho mohou vykazovat baktericidní účinek na určité mikroorganismy, čímž se prodlužuje trvanlivost produktu. Uvádí se, že v rámci skupiny fosforečnanů mají polyfosforečnany významnější účinek na mikroorganismy než ortofosforečnany (El-Bakry a Mehta, 2020). Jejich účinek je přímo závislý na velikosti dávky tavicích solí, přičemž se zvyšující se dávkou účinek konstantně roste. Gramnegativní bakterie (*Escherichia coli*, *Salmonella enterica*, *Proteus mirabilis*, *Citrobacter freundii*, *Pseudomonas aeruginosa*) ve srovnání s grampozitivními (*Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus*, *Enterococcus faecalis*) jsou mnohonásobně citlivější vůči jejich přidavku do tavených sýrů, přičemž nejlepší inhibiční vlastnosti na grampozitivní bakterie byly prokázány u tavicích solí na bázi fosforečnanů, zvláště polyfosforečnanů a ortofosforečnanů. Účinek polyfosforečnanů na gramnegativní je obecně extrémně slabý, dokonce i při použití solí s dlouhým řetězcem. Ve studii Buňkové a kol (2011) se členové zabývali bližším zkoumáním vlivu tavicích solí (fosforečnanů) na inhibici grampozitivních a gramnegativních mikroorganismů v tavených sýrech, ve kterých nejvyšší citlivost vykazoval mikroorganismus *Micrococcus luteus* za použití již 0,3 % koncentrace polyfosforečnanů (HEXA 69 A HEFA 70) a 0,4 % koncentrace (PYRO 52), při níž se zastavil viditelný růst tohoto mikroorganismu. Pro inhibiční účinek mikroorganismu *Staphylococcus aureus* byla potřeba o něco vyšší koncentrace (0,5 %) za použití tavicích solí TRIKRYSTAL, HEXA 68 a PYRO 52. U gramnegativních bakterií dosažení baktericidního účinku bylo u všech použitých typů solí takřka nemožné, jelikož to vedlo pouze ke zpomalení jejich růstu, které bylo u všech tavicích solí zaznamenáno při koncentracích 2,0 % (Guinee, 2017; Eckner a kol., 1994; Buňková a kol., 2011; El-Bakry a Mehta, 2020).

Principem bakteriocidního účinky tavicích solí (zvláště fosforečnanů) je jejich vazba na buněčnou stěnu mikroorganismu, kde následně dochází k chelataci iontů kovů (zvláště vápenatých a hořečnatých iontů), které jsou považovány pro mikroorganismy za nezbytné, především z důvodu správné fyziologické funkce v jejich metabolismu (Guinee a kol., 2004; Buňka a Buňková, 2009; Molins, 1991). To vede ke změně struktury a narušení selektivní permeability buněčné membrány, což způsobuje poškození osmotické regulace a snížení metabolické aktivity mikroorganismu. Inhibiční účinek fosforečnanů může být ovlivněn

i vnitřními faktory, jako je počet atomů fosforu (velikost řetězce, větší mají větší afinitu k iontu vápníku) nebo acidobazické vlastnosti fosforečnanu. Působení tavicích solí ovlivňují také vnější faktory, např. pH matrice potravin a odlišná buněčná membrána struktur. Synergické faktory pozitivně ovlivňují inhibiční účinek, jako je změna pH, regulovaná atmosféra a přídavek chloridu sodného a lysozymu (El-Bakry a Mehta, 2022).

Nejlepšími anti-mikrobiálními vlastnostmi s účinkem baktericidním disponují tavicí soli typu polyfosforečnanů, naopak tavicí soli na bázi citronanů nevykazují téměř žádné inhibiční vlastnosti, a tak mohou snadno podléhat mikrobiální degradaci mnoha látek ve výsledném produktu. Tomuto kažení lze zabránit přidavkem konzervačních látek (tzv. bakteriociny), a to např. kyselinou askorbovou, dusitanem sodným, sorbanem draselným nebo nisinem. Stejně tak důležitá opatření pro zamezení průniku mikroorganismů do produktu během výroby je bezesporu dodržování správné výrobní a hygienické praxe (např. manipulace se surovinami) (Akhtar a kol., 2008; Maier a kol., 1999; Guinee, 2017; Eckner a kol., 1994).

Naopak různé monoacylglyceroly v koncentracích 0,15 % (w/w) jsou schopny inhibovat důležité druhy rodu *Bacillus*, jako jsou sýry *B. cereus* a *B. subtilis*. Tento účinek je málo pozorován, pokud jde o rod *Clostridium*. Mechanismus účinku monoglyceridů není jasný a jeho použití je omezené kvůli pravděpodobným změnám organoleptických vlastností tavených sýrů, zejména monoglyceridů s krátkým řetězcem (El-Bakry a Mehta, 2022)

Všeobecně potenciální růst bakterií jako *Clostridium tyrobutyricum* nebo *Listeria monocytogenes* a *Clostridium botulinum*, které způsobují nežádoucí kažení tavených sýrů závisí na celé škále faktorů, jako je: hodnota aktivity vody, hladiny chloridu sodného a tuku, vlhkost a pH výrobku, množství antimikrobiálních látek (např. dusitan sodný, lysozym) nebo organických kyselin (např. mléčná) a bakteriocinů (např. nisin). Bakteriocin nisin je produkován určitými kmeny *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* a bylo prokázáno, že má antibakteriální aktivitu proti grampozitivním bakteriím, jako jsou tepelně odolné sporotvorné látky (např. *Clostridium* spp. a *Bacillus* spp.) a patogenní mikroorganismy patřící do rodů *Staphylococcus*, *Listeria* a *Salmonella*. Prediktivní modelování na vzorku pomazánky z taveného sýru s vysokou vlhkostí (58 % vlhkost) ukázalo, že klíčovými determinanty bezpečnosti produktu jsou pH, koncentrace soli (NaCl) a hydrogenfosforečnanu sodného (Na₂HPO₄) (Tamime, 2011; Fox a kol., 2017).

2.5 Tavicí soli na bázi fosforu

Soli na bázi fosforu, respektive fosforečnanů jsou látky odvozené od kyseliny trihydrogenfosforečné (H_2PO_4). Jedná se o skupinu látek obsahující záporně nabitý ion (anion $(\text{PO}_4)^{3-}$) podle jehož množství rozeznáváme několik skupin fosforečnanů, a to monofosforečnany, difosforečnany a trifosforečnany. Látky, které obsahují ve své struktuře tři nebo více fosfátových skupin $(\text{PO}_4)^{3-}$, označujeme jako polyfosforečnany. Monofosforečnany, dříve známé jako ortofosforečnany, obsahují pouze jednu fosfátovou skupinu $(\text{PO}_4)^{3-}$, zatímco difosforečnany (pyrofosforečnany) mají ve své struktuře již dvě fosfátové skupiny $(\text{PO}_4)^{3-}$, tj. 2 atomy fosforu. Z orthofosforečnanů je běžně používanou formou hydrogenorthofosforečnan sodný (Na_2HPO_4); když se použijí samostatně, mono- a trisodné soli mají tendenci poskytovat překyselené a podkyselé tavené sýry, v tomto pořadí. To znamená, že díky své vynikající pufrací kapacitě se fosforečnany monosodné a trisodné obvykle používají k výrobě tavených sýrů, hlavně k úpravě pH sýra na správnou hodnotu. Ve významném množství se na trhu uplatňují i polyfosforečnany s krátkým řetězcem (pyrofosforečnany a tripolyfosforečnany). Pufrovací kapacita fosforečnanů klesá s délkou řetězce, a proto se polyfosforečnany obecně používají ve spojení s orthofosforečnany nebo citronany sodnými k dosažení požadovaného pH (5,8–6,0) v hotovém produktu tavených sýrů. Polyfosforečnany s dlouhým řetězcem (nesprávně nazývané hexametafosforečnany) se při výrobě tavených sýrů nepoužívají, neboť vedou k tvorbě sýrů s nízkým pH a špatnými texturními a strukturními vlastnostmi, zejména vlastnostmi tání (Černíková a kol., 2010; Fox a kol., 2017; Aly a kol., 2016).

Každá fosfátová skupina $(\text{PO}_4)^{3-}$ je vybavena takovou schopností, jež je způsobilá sdílet jeden až tři své volné atomy kyslíku ze své struktury s dalšími fosfátovými skupinami, respektive s dalšími třemi jinými, což vede ke vzniku polymerů obsahující různá množství těchto fosfátových skupin $(\text{PO}_4)^{3-}$. Díky tomu nám vzniká široká škála dalších druhů fosforečnanů jako již zmiňované polyfosforečnany s lineární délkou řetězce, dále ultrafosforečnany s trojrozměrnou strukturou nebo cyklické metafosforečnany s uzavřeným cyklem (kruhová struktura). Na vzniku polymeru se též podílí vysoká teplota, která způsobí ztrátu vody dvou sousedních hydroxylových skupin dvou navzájem odlišných monofosforečnanů a jejich následnou kondenzací dochází ke vzniku příslušného polymeru. Jako příklad si můžeme uvést tvorbu difosforečnanu, který vzniká ze dvou ortofosforečnanů pomocí procesu kondenzace za současného odštěpení vody. Nutno podotknout, že rozsah

polymerace silně ovlivňuje funkčnost tavicích solí v praxi (Černíková a kol., 2010; Fox a kol., 2017).

Fosforečnany plní řadu důležitých vlastností v potravinách, hlavně těch technologicky významných (např. schopnost iontové výměny, změna a pufrací kapacita pH, vliv na krémovitost, tavitelnost atd.). Pro ideální pH tavených sýrů, které je spojováno s jakostí finálního výrobku, je potřeba vhodná kombinace fosforečnanů, která zajistí optimální pH pohybující se obvykle v rozmezí 5,6 - 6,0. Takový výrobek se zároveň vyznačuje dobrou roztíratelností. Nicméně i nepatrná odchylka pH má na produkt významný vliv, přičemž příliš měkkou až tekoucí konzistenci nám zajistí vyšší hodnoty pH taveniny. Zatímco u nižších hodnot pH je produkt pro změnu více tuhý až drobný, což u tavených sýrů ani jedna z těchto variant není dvakrát žádoucí (Buňka a Buňková, 2009; Lee a Klostermeyer, 2001).

Také je potřeba si uvědomit, že jednotlivé skupiny fosforečnanů vykazují odlišné pH (viz Tab. č. 2). Dalším důležitým atributem ovlivňující jejich vlastnosti použití je délka řetězce fosforečnanových tavicích solí, která má zejména vliv na pufrací schopnost. Obecně lze tvrdit, že s rostoucí délkou řetězce tavicích solí pufrací schopnost klesá (Molins, 1991). Nízké pH (4,8 - 5,2) například v důsledku použití samotného fosforečnanu sodného nebo hexametafosforečnanu sodného nám poskytne tavený výrobek suchý až drobný sýr, který navíc vykazuje vysoký sklon k olejování (Fox a kol., 2017).

Tabulka 2: Tavicí soli na bázi fosforečnanů používané v potravinářství (Carić a Kaláb, 1997).

Skupina	Látka	Vzorec	pH 1 % vodný roztok	E-kódy
Ortofosforečnany	Dihydrogenfosforečnan sodný	NaH_2PO_4	4,5	E 339
	Monohydrogenfosforečnan sodný	Na_2HPO_4	9,1	
	Fosforečnan sodný	Na_3PO_4	11,9	
Difosforečnany (pyrofosforečnany)	Dihydrogendifosforečnan sodný	$\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$	4,1	E 450
	Difosforečnan sodný	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	10,2	
Trifosforečnany	Trifosforečnan sodný	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	9,7	E 451
Polyfosforečnany	Polyfosforečnan sodný (Grahamova sůl)	$(\text{NaPO}_3)_n$	6,6	E 452

Další podstatnou vlastností fosforečnanových tavicích solí je jejich vliv na proteiny, po jejichž navázání do struktury proteinu se přímo podílí na změnách původních vlastností proteinů (např. imobilizace vody, tvorba gelu, bobtnání atd.) (Molins, 1991; Salek a kol., 2015). Schopnost tvorby gelu je velmi důležitá vlastnost, neboť formuje strukturu výsledného produktu a obecně závisí na typu použitého fosforečnanu. Podstatou a nosnou konstrukcí gelu je vznik komplexu, ve kterém je včleněn fosforečnan vápenatý spolu s přítomným kaseinem. Takto vzniklý komplex má za následek snížení odpuzivých sil přirozeně se odehrávající mezi kaseinovými řetězci. Nejlepší predispozice k tvorbě gelu s trojrozměrnou strukturou mají tavicí soli typu di- a trifosforečnanu, jež řadíme mezi nízkomolekulární látky (Dimitreli a Thomareis, 2008; Drake a kol., 1999; Molins, 1991).

2.6 Tavicí soli na bázi citronanů

Citronany spolu s fosforečnany řadíme mezi nejčastěji využívané tavicí soli při výrobě tavených sýrů (Sołowiej a kol., 2020). Soli na bázi citronanu byly skutečně prvními emulgátory používanými při výrobě tavených sýr. Kyselina citronová je trojsytná kyselina, která obsahuje 3 kyselé atomy vodíku, jež mohou produkovat 3 formy solí podle počtu neutralizovaných kyselých atomů vodíku, tudíž nahrazením jednoho, dvou a tří kyselých atomů vodíku kationtem Na^+ . Jejich struktura je tedy odvozena od trikarboxylové kyseliny citrónové ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$), jejíž neutralizací získáme tři typy solí (mono-, di- a trisodný citronan) (Aly a kol., 2016; Lucey a kol., 2011).

Nejvyužívanější tavicí solí na bázi citronanů je citronan trisodný ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) plnící důležitou funkci emulgačních činidel disponující nízkou afinitou k vápenatým iontům. Často je tato tavicí sůl využívána do produktů tavených sýrů typu plátky. Také nijak výrazně nezvyšuje hydrataci proteinů a emulgaci tuku, ba dokonce se nepodílí na tvorbě proteinové sítě tavených sýrů. V důsledku toho je jejich vliv na proces krémování a výslednou konzistenci výrazně omezen, a tudíž se nejčastěji využívají v praxi ve směsích s jinými tavicími solemi, zvláště s polyfosforečnany. V případě individuální aplikace citronanu sodného dostaneme opět sýr se suchou až drobivou texturou, pro který je typický vysoký sklon k olejování. Hlavním problémem použití citronanu monosodného a disodného během výroby tavených sýrů je přílišného okyselení sýrového díla, které následně vede k tvorbě nestabilní emulze a většího úniku vody ze systému. Takové výrobky jsou pak kyselé, drobivé, lepivé a vykazují tendenci k vytékání oleje v důsledku špatné emulgace.

Disociační konstanty (pKa) kyseliny citrónové při iontové síle mléka jsou 3,0; 4,5 a 4,9. Avšak i přes své kyselé vlastnosti tyto soli našly uplatnění v těch případech, kdy je především potřeba korekce pH tavenina obsahující velmi vysoké pH, a tudíž je potřeba ho zredukovat na přijatelnou úroveň pro zajištění správné jakosti tavených výrobků. Na druhé straně byly pro výrobu taveného sýru s nízkým obsahem sodíku hodnoceny jiné citronanové soli, jako je draselný nebo amonný citronan, jejichž vysoké hladiny měly tendenci vytvářet hořkost v konečném sýru (Fox, 2004; Carić a Kaláb, 1997; Fox a kol., 2017; Aly a kol., 2014).

Tabulka 3: Tavicí soli na bázi citronanů používané v potravinářství (Fox, 2004).

Citronany	Vzorec	pH 1 % vodného roztoku	E-kód
sodný	$C_6H_7NaO_7$	3,75	E 331
disodný	$C_6H_6Na_2O_7$	5,00	
trisodný	$C_6H_5Na_3O_7$	7,95	

2.7 Tavicí soli na bázi sodíku a draslíku

V praxi jsou ve větší míře využívány tavicí soli typu fosforečnany, difosforečnany, polyfosforečnany a jejich různé směsi, převážně na bázi sodíku. Řízená výměna iontů sodíku za vápník a hydratace para-kaseinu zpravidla vedou k lepším funkčním a sensorickým vlastnostem finálního produktu taveného sýru než výměna draslíku za vápník, ačkoli oba se řadí mezi jednomocné kationty alkalických kovů. Monovalentní kationty (sodný, draselný) a polyvalentní anionty (fosforečnan, citronan) jsou dvě základní složky monofosforečnanových tavicích solí, které jsou zpravidla na bázi sodíku. Tím významně přispívají ke zvýšení celkového obsahu sodíku v tavených sýrech. Hlavním důvodem využití tavicích solí na bázi draslíku a částečné nahrazení chloridu sodného (NaCl) chloridem draselným (KCl) v sýru je obzvlášť snaha o snížení obsahu sodíku v tavených sýrech. Při záměně sodných tavicích solí draslíkem, probíhá řízená iontová výměna vápníku s ionty draslíku, přičemž výsledkem je známá sekvestrace vápníku a hydratace para-kaseinu na využitelnější formu vlivem výměny draslíku za vápník (Hoffmann a kol., 2012; Chavhan a kol., 2015; Johnson a kol., 2009; Karahadian a Lindsay, 1984).

Mnohé srovnávací studie ukázaly, že draselné soli ortofosforečnanů, pyrofosforečnanů a citronanů (např. citronany draselné, fosforečnany draselné/vápenaté) poskytují tavené sýry s texturními vlastnostmi podobnými těm, které jsou vyrobeny s ekvivalentními sodnými solemi v podobných koncentracích. Proto mohou mít tavicí soli na bázi draslíku značný potenciál při přípravě produktů se sníženým obsahem sodíku. Nicméně faktem zůstává, že ionty draslíku mají tendenci dodávat výrobku hořkou chuť a zároveň jejich zvýšené množství ve stravě může vést také ke zdravotním obtížím, jako je hyperkalémie (→ zvýšená hladina draslíku v krvi) (Fox a kol., 2017; Henney a kol., 2010)

Další velké úsilí je směřováno na smísení tavicích solí obsahujících draslík ve vhodném poměru se sodnými solemi, aniž by došlo ke snížení kvality těchto směsí. Gupta, Karahadian a Lindsay (1984) ve své studii systematicky hodnotili účinky několika jednotlivých solí na chuť a texturu a došli ke stejnému závěru jako mnohé další studie. Výsledkem je, že soli na bázi sodíku mohou být adekvátně v tavených sýrech nahrazeny některými tavicími solemi na bázi draslíku. To pouze za předpokladu, že jsou dodrženy správné koncentrace, jinak hrozí u produktu během skladování potenciální tvorba nežádoucí hořké chuti. Studie rovněž ukázala, že individuální aplikace monofosforečnanů draselných za účelem snížení sodíku vedla k tvorbě produktů s nízkou úrovní přijatelnosti v rámci celkové jakosti. Dále předmětem studie bylo zkoumání vlivu různých tavicích solí obsahujících draslík na kvalitu taveného sýra, přičemž jasným závěrem bylo, že individuální aplikace polyfosforečnanů draselných není vhodná pro dostatečnou emulgaci, zejména kvůli nízké rozpustnosti polyfosforečnanů ve vodě, tudíž jako jedinou potenciální náhradou chloridu sodného (NaCl) je doposud uznán chlorid draselný (KCl). Podle studie Cruz a kol. (2011) KCl pomáhá nahradit až 25 % NaCl beze ztrát požadované chuti a bez nepříznivého ovlivnění vnímání slaného vjemu. Jediným možným negativem přídavku chloridu draselného do výrobku je přítomnost zbytkové kyselé chuti, která nemusí být některými spotřebiteli plně akceptovatelná. Naprosto skvěle, bez sebemenších negativních vlivů na kvalitu a chuť taveného sýru, funguje směs chloridu sodného a chloridu draselného, čehož je i důkazem několik úspěšných použití v praxi (Hoffmann a kol., 2012; Chavhan a kol., 2015; Johnson a kol., 2009; Karahadian a Lindsay, 1984).

3 VÝROBA TAVENÝCH SÝRŮ

Tavený sýr představuje vícesložkový komplexní mléčný systém popisovaný jako stabilní emulze typu oleje ve vodě. Multilateralismus tavených sýrů vychází ze skutečnosti, že obsahuje širokou škálu vzájemně interagujících složek, včetně vysokého obsahu vody. Sýrová matrice tedy vzniká smísením vody a přírodního sýru (různého druhu a zralosti) za přítomnosti tavicích solí, především fosforečnanů (např. monofosforečnany, polyfosforečnany) a citronanů na bázi sodíku (např. citronan sodný) nebo různých směsí a dalších volitelných přísad, jako je máslo, koření atd. (Salek a kol., 2016; Schär a Bosset, 2002). Další ingredience, které se v rámci surovinové skladby přidávají do tavených sýrů explicitně ovlivňují fyzikálně-chemické, technologické a mikrobiologické vlastnosti finálního produktu (Salek a kol., 2017).

Výroba zahrnuje formulaci směsi, zmenšení velikosti surovin, smíchání všech ingrediencí, zahřátí obvykle na 75 - 85 °C za stálého stříhání a míchání do dosažení horké jednolitě roztavené hmoty s požadovanými vlastnostmi. Dále pak plnění hmoty za horka do obalů a finální chlazení (Fox a kol., 2017; Schär a Bosset, 2002). Skladba surovinové směsi a podmínky zpracování se volí tak, aby poskytly výrobku požadovanou strukturu, vzhled, barvu, chuť a prodlouženou trvanlivost za přijatelnou cenu. Existují parametry, které nás informují o trvanlivosti a zdravotní nezávadnosti sýru. Zařazujeme mezi ně zejména: aktivitu vody, hladinu chloridu sodného, oxidačně-redukční hladinu, pH, teplotu a obsah dusičnanů. Všechny zmíněné faktory byly již detailně prozkoumány v rámci mnoha studií, a proto je můžeme brát za relevantní ukazatele jakosti produktu. Směs obsahující veškeré podstatné suroviny k tvorbě tavených sýrů se přemísť do tavičky, kde je tato směs zahřáta dle typu procesu v rozmezí teplot 70 - 120 °C při mírném podtlaku a za neustálého míchání, dokud není dosaženo homogenní struktury. Další z možností tepelného záhřevu je případné využití kontinuálního UHT - procesu odehrávajícího se při teplotách 140 °C. Během této teploty lze minimalizovat mikrobiologická rizika související především se zmiňovanou redukcí potenciálně přítomných tepelně stabilních spor, jako je např. *Clostridium butyricum*, *Clostridium tyrobutyricum* nebo *Clostridium sporogenes*. V důsledku aplikace šetrnějších vyšších teplot během tepelného záhřevu může docházet k jejich přímé aktivaci a následném růstu během chlazení a skladování, zvláště u výrobků s vysokým obsahem vody. Účelem tedy není vyrobit sterilní produkt, protože plnicí zařízení to obecně neumožňuje, ale spíše inaktivovat nebezpečné spory

bakterií. Post-sterilizační infekci se zabrání plněním za horka (85 - 95 °C) do obalu, nejčastěji hliníkové fólie potažené polymerem. Poté se produkty řádně uzavřou a ochladí na chladicí teplotu (Fox a kol., 2017; Salek a kol., 2016; Schär a Bosset, 2002).

Taktéž obalový materiál je nutno vnímat jako potenciální zdroj kontaminace, a pokud s ním není před plněním taveným sýrem náležitě manipulováno, včetně skladování a dezinfekce, může po tepelném ošetření sloužit jako zdroj rekontaminace sporamí. Jakmile jsou spory přítomny v konečném produktu, mohou začít pomalu klíčit a množit se. Navíc pokud je pH a aktivita vody v produktu příznivá, a to i při nízké teplotě skladování, tato skutečnost později vede ke znehodnocení produktu, jež může představovat riziko pro konzumenty. Doba potřebná k tomu, aby patogenní znehodnocující agens dosáhla infekčních hladin, závisí na mikrobiologické stabilitě formulace, tj. podmínky skladovací teploty a charakteristiky sporotvorných bakterií přítomných v konečném produktu (Cruz a kol., 2019).

Před časem byl zkoumán vliv zahřívání na těkavé sloučeniny švýcarských tavených sýrů. A došlo se k závěru, že v průběhu zpracování u přírodního sýru obsahujícího především nerozpustný para-kaseinát vápenatý a tukové kuličky, dochází k jemné dispergaci, homogenizaci a přeměně na komplexní gel, ve kterém je rovnoměrně emulgován tuk. Tavicí soli, jak tu již bylo zmíněno, přispívají k sekvestraci vápníku z proteinové struktury, což způsobí žádanou disperzi proteinů do okolí, která zajišťuje zvýšenou emulgační vlastnost kaseinů. Struktura taveného sýra tedy závisí jak na druhu použitého sýra, tak na poměru tuku, sušiny a schopnosti tavicích solí izolovat vápník z proteinové matrice přírodního sýru (Schär a Bosset, 2002).

3.1 Základní surovinová skladba

Mezi základní suroviny pro výrobu tavených sýrů řadíme především přírodní sýry (holandského/švýcarského typu), různé druhy tavicích solí (viz. kapitola 2) a suroviny mléčného (máslo, syrovátka, podmásli atd.) i nemléčného původu (voda, stabilizátory, konzervanty, ochucující složky atd.) (Salek a kol., 2016; Salek a kol., 2017; Nagyová a kol., 2012).

3.1.1 Přírodní sýr

Úspěšná výroba tavených sýrů je závislá na správné kvalitě a výběru přírodních sýrů. Je možné použít jednu nebo více odrůd sýra nebo směsi sýrů různého stupně stáří a prozrálosti, včetně sýrů s mechanickými vadami, jako jsou např. trhliny nebo sýr bez ok (tzv. „slepý“ sýr). Pokud by však byla porušena zdravotní nezávadnost sýru z hlediska mikrobiologického (pachut', mikrobiální vady) a byl takto degradovaný sýr použit během výroby těchto produktů, pak by kvalita konečného produktu byla snížena, ba dokonce nepřijatelná. Proto takový sýr není možné použít ani do těchto typů výrobku. Je to zejména z možnosti již potenciální přítomnosti nebezpečných bakterií nebo plísní, které mohou navíc produkovat velmi stabilní mykotoxiny (Kapoor a Metzger, 2008; Guinee a kol., 2004; Tamine, 2011; Carić a Kaláb, 1997, Hui, 2006).

Kritéria pro výběr přírodního sýra zahrnují chuť, texturu, konzistenci a úroveň kyselosti. Při výrobě tavených sýrů by se neměl používat degradovaný sýr (nepříchuť nebo mikrobiální vady), protože kvalita konečného produktu by byla snížena nebo nepřijatelná. Po výběru sýrů se výrobky před zpracováním vyjmou z obalu, zbaví kůry, vyčistí a rozemelou. Tato fyzikální úprava přírodního sýra usnadňuje tavení, zajišťuje správné promíchání přidaných přísad a zlepšuje lepší kontakt mezi tavicími solemi a složkami sýra. Stupeň prozrálosti přírodního sýru má přímý vliv na funkční vlastnosti finálního produktu, a to především na roztíratelnost, dobrou tavitelnost a jemnou strukturu. Proto je všeobecně vždy lepší volit vyzrálější sýry nežli méně vyzrálé, neboť u takových hrozí riziko nežádoucí tuhé až gumovité konzistence s nevýraznou chutí. Existuje i možnost vzájemné kombinace těchto dvou typů sýrů, které nám zajistí u výrobku požadované vlastnosti. Faktorem tedy zůstává, že přírodní sýr tvoří hlavní podíl taveného sýru, přičemž jeho minimální množství připadá na 51 % (w/w), které je nutno během výroby dodržet (Hui, 2006; Janštová, 2012; Guinee a kol., 2004; Buňka a Kopáček, 2012). Pokud chceme dosáhnout lepší struktury, konzistence i kontaktu se všemi použitými komponentami během výroby, je nutné klást

důraz na zpracování sýru použitého na výrobu tavených sýrů, přičemž se sýry osvědčilo před tavicím procesem nakrájet na malé kostky a následně dále nadrobno pomlet (Guinee a kol., 2011).

V České republice jsou nejvíce využívanými sýry pro výrobu tavených sýrů sýry holandského typu s nízkodohřivanou sýřeninou, které představují skupinu sýrů eidamského typu jako např. Eidamská cihla, kterou jsme použili i v našem případě na výrobu modelových vzorků tavených sýrů. Dále se tu pak řadí sýry jako Primátor, Gouda nebo Eidamský blok. Sýry eidamského typu se vyznačují jemně nakyslou sýrovou chutí, menšími oky a různorodou tučností. Naopak v zahraničních zemích narazíme spíše na druhy sýrů typu Mozzarella nebo Cheddar. Sýr Cheddar také reprezentuje sýry eidamského typu, ovšem švýcarského typu. Další množnou alternativou sýrů pro výrobu tavených sýrových výrobků jsou sýry s vysokodohřivanou sýřeninou, jejichž představitelem je např. Moravský bochník, který je typickým příkladem zrání v plastové fólii, vyznačující se téměř nevýraznou nasládlou chutí s velmi slabou tvorbou ok (Carić a Kaláb, 1999; Hui, 2006; Janštová, 2012).

3.1.2 Suroviny mléčného původu

Další nedílnou součástí tavených sýrů vedle přírodních sýrů a tavicích solí jsou různé ingredience mléčného původu, jejichž přidáním přímo ovlivňujeme jednotlivé parametry či funkční vlastnosti, které u finálních produktů tavených sýru vyžadujeme (např. obsah sušiny, tuku, bílkovin, dále roztíratelnost nebo krémovitost atd.). Právě díky přidavku těchto surovin můžeme docílit stabilizace tuku a sušiny v sýrovém dílu, což je pro vznik homogenní struktury velmi žádoucí (Salek a kol., 2017; Carić a Milanovic, 2006).

Mezi hlavní zástupce těchto surovin tu řadíme mléčný tuk (máslo), které dle platné legislativy musí být tvořeno min. 80 % (w/w) tuku a max. 16 % (w/w) vody (Salek a kol., 2017; AnonymE, 2003). Máslo obsahuje celou řadu bioaktivních látek prospěšných pro náš organismus, obzvláště nezbytné esenciální mastné kyseliny (kyselina linolová a alfa-linolenová), fosfolipidy nebo skupinu lipofilních vitamínů (A, D, E a K). Přítomnost mastných kyselin s krátkými řetězci mají za následek tvorbu typické chuti a aroma másla (Kadlec, 2007).

Mléčnou surovinou patřící do této sekce je také smetana, která je současně základní surovinou pro výrobu másla a bezvodého mléčného tuku. Přidavkem másla nebo smetany lze v produktu navýšit množství požadovaného tuku („tučnost“ výrobku). Dále tu lze zařadit sušené odstředěné mléko, syrovátku, podmásli, kasein, kaseináty, koprecipitáty

nebo dokonce i tvaroh. Ten v taveném sýru zvyšuje tukuprostou sušinu a funguje zároveň jako zdroj nerozloženého kaseinu (intaktního) (Salek a kol., 2017; Kadlec, 2007; Mulsow a kol., 2007; Gupta a Reuter, 1993; Hrabě a kol., 2006). Sušené odstředěné mléko má tendenci zlepšovat kvalitu a stabilitu taveného sýru, přičemž doporučená úroveň obohacení je ~ 10 - 12 g/100 g výrobku. Naopak kaseináty a koncentráty syrovátkové bílkoviny se do směsi přidávají v nižším množství (5 - 7 g na 100 g výrobku) a vyšší míra fortifikace ovlivní stabilitu, chuť a strukturu výsledného produktu (Tamine, 2011). Sýr obsahující kaseinát vápenatý disponuje vysokým pH, měkkou texturu, vysokým stupeň disociace kaseinu a nízkým stupněm emulgace tuku. Kromě toho ovlivňuje nepřímo tuhost sýra a schopnost tání. Zatímco kaseinát sodný je schopen tvořit gelovou strukturu, má vynikající schopnost emulgovat tuk a tvořit produkty s pevnou konzistencí a vysokým pH (Aly a kol., 2016).

3.1.3 Suroviny nemléčného původu

K surovinám nemléčného původu zařazujeme látky jako stabilizátory, konzervanty, emulgátory, regulátory pH, hydrokoloidy nebo ochucující složky. Ochucujícími látkami máme na mysli např. maso a masné výrobky (šunka), houby (hříby, žampiony), koření a extrakty z kouře, bylinky, skořápkové plody (oříšky), zelenina (kapie, cibule atd.), ovoce či dokonce mořské plody. Rovněž mezi tyto komponenty patří i pitná voda, která tvoří v tavených sýrech nezastupitelnou složku, umožňující dokonalejší interakci mezi všemi použitými surovinami a koriguje svou přítomností obsah sušiny ve výrobku (Salek a kol., 2017; Guinee a kol., 2004; Buňka a kol., 2009; Černíková, 2018).

Stabilizující a konzervační složky, barviva (např. annato, paprika, syntetická barva), kyseliny (např. kyselina citrónová, fosforečná, octová atd.) a různá zahušťovadla (např. pektin, karagenan a další) zařazujeme dle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1333/2008 k potravinářským přídatným látkám, které lze v tavených sýrech během jejich výroby uplatnit k dosažení požadované kvality včetně sensorických aspektů (Guinee a kol., 2004; Evropa, 2008). Konzervační složky se přidávají do tavených výrobků za účelem prodloužení trvanlivosti, s čímž zvláště souvisí i zamezení přítomnosti nežádoucích patogenních mikroorganismů, zejména plísní způsobující u výrobku během skladovacích podmínek kažení. Mezi nejpoužívanější konzervanty v praxi můžeme zařadit např. nisin, kyselinu sorbovou a její soli (sorbát draselný) nebo propionát vápenatý/sodný. Naopak stabilizátory ve srovnání s konzervanty plní naprosto odlišné funkce, a to takové, že napomáhají obzvlášť tvorbě požadované struktury sýrového díla

a jsou v přímém vztahu k fyzikálně-chemickým vlastnostem podporující stabilitu celého systému. Ke stabilizačním látkám řadíme především tavicí soli a hydrokoloidy, kterým jsme se blíže věnovali již v předchozích kapitolách (Guinee a kol., 2004).

3.1.4 „Rework“

Rework (často nazývaný jako nátavek) odkazuje na produkty tavených sýrů, které nejsou zabaleny přímo k prodeji. Získávají se ze „zbytků“ v plnicích a varných strojích, z poškozených balení a dávek, které nadměru zhoustly, a jsou tím pádem příliš viskózní na čerpání. Tyto „zbytky“ lze rozemlít a recyklovat do směsi tavených sýrů v typickém množství 1 - 3 %. Jejich přidání může být zvláště užitečné při podpoře smetany (→ hustá, krémová konzistence) v pomazánkách z taveného sýru, jelikož konzistence těchto pomazánek může být někdy po zpracování řídká až „tekutá“, a to z celé řady důvodů jako je např. vysoký obsah vlhkosti tavených sýrů (> 60 %) nebo nesprávné pH směsi (< 5,5). Jeho přidání obecně poskytuje získání produktů tavených sýrů, které jsou pevnější, hůře roztíratelné a při zahřívání méně tečou (Fox a kol., 2017).

3.2 Technologie výroby tavených sýrů

Prvotním krokem výroby je vždy formulace směsi neboli volba správného typu a množství přírodních sýrů, tavicích solí, vody a volitelných přísad za účelem dosažení požadovaného složení konečného produktu. Formulace se typicky provádí pomocí počítačových programů zkušeným pracovníkem, který si je vědom případných dopadů určitých vlastností různých složek na hotové produkty (např. pH, obsah intaktního kaseinu, typ a úroveň tavicích solí nebo poměr kasein ku syrovátkovému proteinu atd.) (Fox a kol., 2017). Technologický způsob výroby zahrnuje mnoho přípravných fází. Po výběru sýrů se výrobky před zpracováním vyjmou z obalu, zbaví kůry, očistí a případně se odříznutou povrchové okoralé části sýru. Také je potřeba zmenšit velikost sýru a dalších přísad na potřebnou velikost, přičemž tato fyzikální úprava přírodního sýru a dalších komponent usnadňuje tavení, zajišťuje správné promíchání přidaných přísad a zlepšuje kontakt mezi tavicími solemi a složkami sýru, a tím i důležitý přenos tepla sýrovou hmotou (Tamine, 2011).

Ze všeho nejdříve se sýr nařeže na malé kostky. V rámci velké průmyslové výroby se nařežou za použití přístrojů tzv. „lámačů“, které se po průchodu tímto zařízením ještě pomelou na příslušnou velikost pomocí mlýnku. Vždy záleží na typu receptury. Poté se k pomletému sýru přidají ostatní navážené komponenty, jako jsou různé druhy

tavicích solí (nutno zvolit správné množství a kombinaci), pitná voda, mléčné a nemléčné komponenty, které je potřeba v první řadě důkladně promíchat pro zajištění homogenity a kvality díla. Tento krok je často realizován buďto ve vařiči taveného sýru nebo ve specializovaných předmíchačích. Následně se zhomogenizovaná směs přepraví do tavicího zařízení, kde dochází k tavicímu procesu probíhajícího za dané tavicí teploty a po definované dobu výdrže, po němž se hmota za horka nalévá do formiček (formování) z důvodu zabránění mikrobiální kontaminace. Poté následuje uzavření forem, chlazení, skladování a v neposlední řadě expedice. Nejčastěji volená teplota a doba výdrže se pohybuje v rozmezí teplot 75 - 85 °C po dobu 1 - 5 minut za stálého stříhání. Dokonalé promíchání všech surovin vede v průběhu tavení k fyzikálně-chemickým a mikrostrukturálním změnám a postupné tvorbě zmiňované homogenní hmoty s požadovanými funkčními a sensorickými vlastnostmi, za které jsou především zodpovědné přítomné tavicí soli. Je potřeba zdůraznit, že přídavek těchto solí podporuje emulgační aktivitu kaseinů v důsledku iontové výměny, kdy je ve struktuře nerozpustného para-kaseinátu vápenatého nahrazen vápník sodíkem a vzniká hydratovaný para-kaseinát sodný/draselný, který váže volnou vodu, emulguje volný tuk uvolněný při zahřívání a stříhání, což vede ke vzniku stabilní emulze typu olej ve vodě. Dalšími pozitivními účinky tavicích solí je také stabilizace pH, které má vliv na tvorbu konečné struktury taveniny po řádném ochlazení. Hodnota pH taveniny by se měla pohybovat v rozmezí 5,60 - 6,10 pro optimální roztíratelnost taveného sýru. Klesající pH taveniny obvykle zvyšuje tuhost finálního výrobku. Naopak čím vyšší je pH taveniny, tím měkčí konzistenci lze očekávat. V konečném důsledku o vlivu hodnot pH jsme se také bavili již v kapitole týkající se tavicích solí. Surovinová skladba tedy významně ovlivňuje parametry taveného sýru jako je obsah bílkovin, poměr kaseinů, obsah sušiny a obecně závisí na požadavcích, které jsou kladeny na finální produkt taveného sýru (Fox a kol., 2017; Guinee, 2017; Guinee, 2011; Pavelka, 1996; Nagyová a kol., 2012; Salek a kol., 2017).

Do technologického postupu je možné začlenit i krok homogenizace horké roztavené směsi, a to například působením tlaku v prvním a druhém stupni 150 a 50 barů. Tento krok se nejčastěji provádí u pomazánek z taveného sýra s vysokou vlhkostí (např. $\geq 60\%$) z důvodu, aby byl podpořen proces „krémování“ a vznik husté krémové konzistence. (viz. podkapitola 3.1) (Fox a kol., 2017).

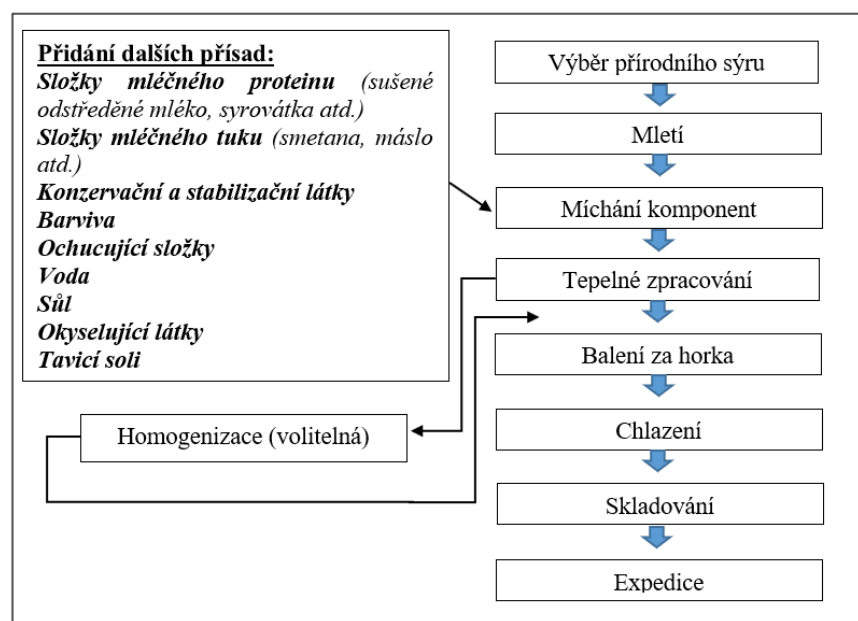
V současné době existují dva možné způsoby výroby tavených sýru, a to kontinuálním nebo diskontinuálním způsobem. Druhý způsob výroby je v České republice využíván mnohem častěji (Buňka a kol., 2009). Diskontinuální proces zahrnuje formulaci směsi k tavení, volbu vhodného poměru tavicích solí a dalších volitelných surovin pro výrobu. Samotný proces tavení využívá obvykle teplotního rozmezí kolem 90 - 100 °C po dobu několika minut, za částečného vakua a konstantního míchání. Použití částečného vakua je volitelné, ovšem může přispět k tvorbě výrobku bez vzduchových komůrek díky odstranění vzduchu a mimoto k regulaci obsahu vlhkosti. Záhřev se může provádět dvojím způsobem. Buďto výhřevem mezipláště (nepřímý způsob), nebo pomocí vstříku vodní páry přímo do hmoty (přímý způsob). V důsledku pH taveniny se v tomto případě dosahuje pouze pasteračního efektu. V případě kontinuálního procesu se uplatňují pasterizační

i sterilizační podmínky, a proto lze hovořit o tzv. obchodní sterilitě výrobku. První krok zahrnuje přehřátí sýrové směsi na teplotu 70 - 90 °C (pasterační efekt). Při dané teplotě se doba zpracování obecně snižuje s rychlostí míchání, která se může lišit v závislosti na typu vařiče od 50 do 3000 otáček za minutu. Podstatou druhého kroku je přímý vstřík páry do sýrové hmoty o teplotě 130 - 145 °C po dobu výdrže 2 - 5 s (sterilační efekt). Díky tomu dostaneme výrobek prostý všech vegetativních buněk mikroorganismů, včetně tepelně stabilních spor. Výhodou kontinuálního procesu je také využití aseptického balení, které nám u výrobku značně prodlužuje dobu trvanlivosti v řádu několika let. Po tavicím procesu následuje proces chlazení taveniny na teplotu 90 °C po dobu působení teploty zhruba 4 - 15 minut. Tato výdrž při dané teplotě a po danou dobu je zásadní pro tvorbu požadované homogenní struktury taveného sýru (tzv. krémování), při níž dochází k hydrofobním interakcím, včetně rozrušení vápenatých můstků a tvorbě stabilní trojrozměrné proteinové sítě (Salek a kol., 2017; Guinee a kol., 2004; Buňka a kol., 2009; Schär a Bosset, 2002; Fox a kol., 2000; Forman, 1996; Fox a kol., 2017).

Po procesu tavení lze aplikovat dodatečné tepelné zpracování, jako je pasterizace, kdy se produkt zahřeje na 72 - 95 °C nepřímým ohřevem nebo přímým vstříkáváním páry ve vakuu. K tomuto zahřívání obecně dochází v ohřívacích pánvích a lze jej provádět za vysokého nebo nízkého mechanického míchání. Další tepelnou úpravou, kterou lze použít, je sterilizace, která vyžaduje teplotu nad 100 °C (obvykle na teplotu 140 °C po dobu 10 s) (Kapoor a Metzger, 2008; Cruz a kol., 2019).

Obecně po dokončení procesu tavení přichází na řadu další operace (tzv. dokončovací), které spočívají ve formování sýrové hmoty, další fáze chlazení, balení, skladování a v neposlední řadě expedice do tržního řetězce. Ještě za horka je tavenina přepravena z tavicího kotle do formovacího zařízení, kde dochází k jejímu balení a uzavření pomocí příslušných zařízení. Obecně se využívají obaly typu polymerních hliníkových fólií, hliníkové tuby, polypropylenové kelímky nebo skleněné obaly. Během procesu formování hmoty je důraz kladen především na teplotu taveniny, která by neměla klesnout pod 70 °C. Důvodem není jen zabránění mikrobiální kontaminace, ale také díky vyšší teplotě se usnadňuje manipulace s taveninou, neboť s klesající teplotou rychle tuhne a znesnadňuje nám jakoukoli další manipulaci s ní. Stejně tak důležitá je i teplota a rychlost chlazení po formování, které nám udávají vlastnosti finálního výrobku. Pokud zvolíme pomalejší dobu chlazení, u výrobku významně roste tuhost. Zároveň se během chlazení uceluje trojrozměrná proteinová síť taveného sýru (Kapoor a Metzger, 2008; Berger a kol., 2002; Guinee a kol., 2004; Tamine, 2007; Gajdůšek, 1998; Černíková a kol., 2010).

Hotový tavený výrobek lze skladovat při doporučených teplotách 4 - 8 °C s minimální dobou trvanlivosti v řadě několika měsíců (dle typu tepelného ošetření). Dodržení daných teplot je velmi důležité, neboť při teplotách > 20 °C existuje hrozba mikrobiální degradace v důsledku napadení produktu různými mikroorganismy, což fakticky vede k jejich znehodnocení a senzorickým změnám, zvláště barvy a vůně (Buňka a kol., 2009).



Obrázek 4: Schéma vývojového diagramu základních kroků výroby taveného sýru (upraveno dle Aly a kol., 2016)

3.3 Vliv vybraných faktorů na konzistenci tavených sýrů

Vedle vůně a chutě je textura brána jako jedna z nejdůležitějších atributů v rámci kvality ovlivňující spotřebitelské vnímání mnoha potravinářských produktů, včetně sýrů. Jedná se tedy o komplexní sensorickou vlastnost, přičemž konzistence tavených sýrů je ovlivňována řadou faktorů, jako: odrůda, stupeň zralosti a chemické složení použitého přírodního sýru (včetně obsahu sušiny, tuku, bílkovin a vápníku), druh a koncentrace tavicích solí, přítomnost a koncentrace iontů (zvláště iontů sodíku, draslíku a vápníku) či použití dalších volitelných mléčných a nemléčných přísad. Dále mezi tyto faktory náleží pH roztavené hmoty, podmínky zpracování a skladování (teplota zpracování a skladování, rychlost míchání, čas a teplota tavení, rychlost chlazení) nebo případné použití hydrokoloidů (Buňka a kol., 2009; Salek a kol., 2017; Truong a Daubert, 2001).

U vysoce kvalitních tavených sýrů jsou požadovány opravdu dobré vlastnosti tavení. Tyto charakteristiky tokového tavení je obtížné řídit a mohou se lišit od šarže k šarži. Absence korelace mezi Schreiberovými a Arnottovými empirickými tavnými testy způsobuje potíže při definování kvality produktu (Sutheerawattananonda a Bastian, 1998). Obecně můžeme tyto faktory rozdělit do tří základních skupin:

1. Skladba surovinové směsi
2. Způsob zpracování suroviny, včetně chlazení + hodnota pH
3. Podmínky skladování (AnonymB, 2016).

3.3.1 Skladba surovinové směsi

Nezbytnou surovinu pro vznik tavených sýrů je přírodní sýr, který zastupuje hlavní podíl, a tím tak značně ovlivňuje řadu důležitých vlastností finálního produktu, včetně zmiňovaných texturních vlastností (tj. konzistenci). Přírodní sýry lze členit na sýry s různým stupněm staří a zralosti, jejichž volbou lze přímo ovlivnit roztíratelnost nebo jemnou strukturu hmoty. Dále v rámci výběru bychom měli přihlídnout na jeho chemické složení včetně obsahu vápníku, typu odrůdy, hodnoty pH, všeobecné sensorické aspekty (chuť a vůně) nebo poměr rozštěpeného a intaktního kaseinu, který se považuje za klíčový faktor ovlivňující finální konzistenci produktu. Jako intaktní kasein můžeme označit kasein, u něhož neproběhla proteolýza přirozeně probíhající v sýrech, při níž vznikají procesem hydrolýzy, tedy štěpením bílkovin, peptidy a volné aminokyseliny. Proteolýza enzymů je katalyzována pomocí nativních enzymů mléka, syřidla a enzymatického systému bakterií

mléčného kvašení. Guinee a kol. (2004) se ve své studii zabývali právě pomyslným poměrem rozštěpeného a nerozštěpeného kaseinu a jeho vlivem na texturní vlastnosti tavených sýrů. Došli k závěru, že jestliže přírodní sýr obsahuje 70 - 95 % intaktního kaseinu, pak se jedná o mladý, méně vyztřelý sýr disponující vlastnostmi (např. lepší vaznost vody, tužší konzistence, prázdna chuť) vhodnými pro výrobu krájitelných produktů. Zatímco nižší podíl intaktního kaseinu (cca. 60 - 75 %) byl zaznamenán u sýrů středně prozřálých s vyšším stupněm proteolýzy (vyšší podíl senzorycky aktivních látek), které jsou pro změnu vhodné pro výrobu spíše roztíratelných produktů s plnějším aroma. V praxi se nejčastěji používá kombinace dobře vyztřelých a méně vyztřelých přírodních sýrů k dosažení požadovaných vlastností u tavených výrobků (Kapoor a Metzger, 2008; Tamine, 2011; Guinee a kol., 2004).

Na texturní vlastnosti mají vliv i další použité komponenty mléčného a nemléčného původu. Jak už bylo v oddílu surovin mléčného původu zmiňováno, tak přídavek těchto komponent má přímý vliv na stabilizaci jak tuku, tak sušiny v taveném sýru, což přispívá k jemné homogenní struktuře, která je u těchto typů výrobku požadována (Salek a kol., 2017; Carić a Milanovic, 2006).

Obsah tuku můžeme zvýšit např. přídavkem másla, k opačnému jevu (zvýšení obsahu sušiny a snížení obsahu tuku) nám dopomůže přídavek tvarohu, který ovlivňuje i hodnotu pH (snižuje pH) nebo lze jeho prostřednictvím dodat důležitý intaktní kasein. Naopak nízký obsah jak sušiny, tak tuku lze vyřešit přídavkem hydrokoloidů (sacharidické i bílkovinné povahy). Těm náleží řada výhodných vlastností, jejichž přídavkem docílíme úpravu na požadovanou konzistenci, stabilizaci emulze nebo zvýšení imobilizace vody v systému, včetně snížení lepivosti tavicí hmoty (přídavek slouží jako prevence jejího ulpění na polymerní hliníkové fólii). Přídavek pitné vody má také opodstatněný důvod, jelikož působí jako „změkčovadlo“ struktury a podílí se tak na úpravě obsahu sušiny taveného sýru. Přestože se reologické vlastnosti tavených sýrových výrobků se stejnou úrovní vlhkosti mohou výrazně lišit v důsledku změn ve složení směsi a podmínek zpracování, zvyšující se obsah vlhkosti obecně poskytuje produkty, které jsou měkké, méně elastické, více přilnavé a roztíratelné. Obecně vztah tuku a sušiny je také významným faktorem ovlivňující texturu finálního výrobku, přičemž vyšší obsah tuku ve směsi nám zajistí daleko lépe roztíratelnější konzistenci. Oproti tomu zvýšený obsah sušiny způsobí tvorbu o něco tužšího výrobku (Kapoor a Metzger, 2008; Guinee a kol., 2004; Carić a Kaláb, 1997; Tamine, 2011; Buňka a kol., 2009; Buňka a kol., 2009; Fox a kol., 2017).

Snížení obsahu tuku při zachování konstantního obsahu vlhkosti významně zvyšuje pevnost nezahřátého taveného sýru, a naopak snižuje tekutost a maximální ztrátovou tangentu (fluiditu) roztaveného produktu taveného sýru. Tyto účinky jsou spojeny se současným zvýšením obsahu bílkovin, což vede k vyššímu objemovému podílu bílkovinné sítě (Fox a kol., 2017).

Tavicí soli jsou jednou z nejdůležitějších surovin, jelikož se podílejí na správné emulgaci tuku včetně hydratace bílkovin, a tak dosažení požadované homogenní struktury s funkčními vlastnostmi produktu. Obecně lze tvrdit, že se zvyšující se koncentrací tavicích solí roste i stupeň emulgace tuku s tvorbou malým rovnoměrně dispergovaných tukových kuliček, což konstantně zvyšuje i tuhost výrobku. Tím pádem nižší stupeň emulgace nás vede k domněnce, že v tomto stupni vznikají velké formy tukových kuliček, které nejsou dostatečně potaženy dispergovaným kaseinem, a tak nejsou ani dostatečně zaemulgovány do systému, čímž je narušena soudržnost požadované bílkovinné struktury. Tato skutečnost poukazuje na spojitost nižší koncentrace tavicích solí s nižší kompaktností a relativní roztékavostí tavených sýrů. Musíme si uvědomit, že každá sůl disponuje jiným mechanizačním účinkem na tavený sýr, proto klíčovým faktorem pro dosažení požadovaných vlastností je vždy správná volba jak množství, tak druhu a kombinací tavicích solí (Guinee a kol., 2004; Carić a Kaláb, 1997; Drake a kol., 1999).

Další významný vliv připadá na množství vápenatých iontů nacházející se v proteinové struktuře přírodního sýru ve formě komplexu hydrogenfosforečnanu vápenatého. Toto množství výrazně ovlivňuje texturní vlastnosti taveného sýru, přičemž jejich vyšší obsah způsobuje mnohem tužší konzistenci. Tuto problematikou se zabývali ve své studii Olson a kol. (1958), kteří tuto domněnku potvrdili již před několika lety (Buňka a kol., 2009; Olson a kol., 1958).

3.3.2 Způsob a zpracování suroviny, včetně chlazení

Mezi základní procesní parametry mající vliv na konzistenci tavených sýrů během jejich výrobu zařazujeme: tavicí teplotu a dobu její výdrže, rychlost míchání a rychlost chlazení. Svým chodem mohou významně ovlivnit finální podobu výrobků, proto je nutné na ně dohlížet a mít je pevně pod kontrolou v průběhu celého výrobního procesu. Existuje zároveň mnoho studií týkající se této problematiky, bohužel ve většině výsledků se od sebe značně odlišují. Jednou z možností, jak si to zdůvodnit, je pravděpodobně odlišná surovinová skladba použitá při výrobě tavených výrobků, včetně různého složení tavicích

solí, jejichž poměry jsou obvykle know-how výrobců i dodavatelů (Brighenti a kol., 2008; Fox a kol., 2017).

Některé studie jako Swenson a kol. (2000), Meyer (1973) nebo Guinee a kol. (2004) tvrdí, že se zvyšující se tavicí teplotou klesá pevnost a kompaktnost taveniny, přičemž Guinee a kol. (2004) tuto změnu připisuje zvláště rozkladným reakcím polyfosforečnanových tavicích solí nebo případně zvyšující se rychlosti agregace proteinů (Meyer, 1973; Swenson a kol., 2000; Guinee a kol., 2004). Opačné stanovisko sdílí Kaláb a kol. (1987) a Dimitreli & Thomareis (2004), kteří ve svých studiích došli k závěrům, které poukazují na skutečnost, že jak s delší dobou, tak s vyšší teplotou tavení dochází k tvorbě menších rozměrů tukových kuliček, a tak ke snížené viskozitě taveniny vedoucí k horší roztíratelnosti a tuhosti finálních výrobků. Ziskem je dostatečně pevná emulze s požadovanými vlastnostmi (Kaláb a kol., 1987; Dimitreli a Thomareis, 2004).

Působení tepla (70 - 90 °C) a mechanického stříhu na přírodní sýry v nepřítomnosti stabilizátorů, obvykle vede k destabilizaci a vzniku heterogenní gumovité hmoty podobné pudinku, která se při zpracování a následném chlazení a skladování značně mastí a uvolňuje vlhkost kvůli přítomnosti volného tuku a nevázané vodě. Tyto změny jsou spojeny se zvýšenou hydrofobně indukovanou agregací proteinové fáze, která se pak stahuje a uvolňuje volnou vodu a tuk ze sýrové matrice (Fox a kol., 2017). K obdobným závěrům došli ve svých studiích Kapoor a Metzger (2008) a Guinee a kol. (2004), kteří rovněž zaznamenali vznik tuhého a málo stabilního produktu s postupným uvolňováním vody ze systému v důsledku dlouhého působení teplot v rozmezí 70 - 90 °C na taveninu, kdy tento jev nazvali jako tzv. překrémování (Kapoor a Metzger, 2008; Guinee a kol., 2004). Za vznik takto nestabilní hmoty můžou dle jejich závěru zvláště změny jako zkapalnění tuku a shlukování volného tuku do kalů v důsledku stříhu a také dehydratace, agregace a smrštění sítě para-kaseinu způsobené zvýšením hydrofobních interakcí mezi molekulami nebo srážením rozpustného vápníku a fosforečnanu (Fox a kol., 2017). Existují i tvrzení opírající se o studie, která hovoří o opačném vlivu vyšších teplot na strukturu taveniny, podle nichž za působení vyšších teplot s rostoucí dobou zpracování taveniny kvalitu produktu významně zvyšuje vlivem vzrůstající pevnosti gelové struktury sýru (Bowland a Foegeding, 1999).

Dalším důležitým faktorem v průběhu výroby je intenzita míchání tavicí směsi. Řada studií jako např. Kapoor a Metzger (2008), Klostermeyer a Buchheim (1988) nebo Lee a kol. (2003) zjistili, že při vyšších rychlostech otáček pomocí točících se lopatek dochází daleko k lepšímu rozmělnění surovinové skladby do homogenní struktury s dobrou dispergací proteinů do okolního prostředí, což vede k tvorbě většího množství drobných tukových kuliček rovnoměrně rozptýlených v proteinové síti s dostatečnou vrstvou dispergovaného kaseinu, a tak ke vzniku tužší sýrové matrice. Tento fakt přispívá k tomu, že doba a rychlost otáček přímo ovlivňuje velikost tukových kuliček, podle níž se pak řídí úspěšnost emulgace, včetně tvorby stabilní emulze. Klostermeyer a Buchheim (1988) sledovali v závislosti na době tavení samotnou mikrostrukturu taveného sýru a přišli na jeden z poznatků, že teprve až po 3 - 9 minutách působení tavicí teploty se docílí požadované homogenní struktury u produktu (Kapoor a Metzger, 2008; Lee a kol., 2003; Klostermeyer a Buchheim, 1988).

V neposlední řadě svůj význam má i proces chlazení výrobku na konzistenci sýru, během kterého se dotváří trojrozměrná síť, která dává finálnímu produktu žádanou kompaktnost. Rychlost chlazení má významný vliv na výslednou konzistenci produktu, jelikož může vést až ke krystalizaci tuku. Všeobecně pomalu chlazené výrobky jsou vyznačovány pevnější texturou a lepší krájitelností, nicméně s převládající hrozbou potenciálního růstu mikroorganismů. Existují totiž ošetření v rámci chladicího procesu, která trvají až 50 hodin při 20 °C, což poukazuje na velký potenciál pro vývoj daných mikrobů během tohoto procesu. Naopak zvýšíme-li rychlost chlazení, dosáhneme u tavených výrobků lepší roztíratelnost s měkčí strukturou (Fox a kol., 2017; Carić a Kaláb, 1997; Piska a Štětina, 2004).

3.3.3 Aktivní kyselost (pH)

Hodnota pH patří mezi klíčové faktory mající vliv na konzistenci taveného sýru. Měla by se v ideálním případě pohybovat mezi hodnotami 5,60 - 6,10, při nichž je zajištěna požadovaná roztíratelnost sýru vlivem vzniku trojrozměrné proteinové struktury, ve které jsou tukové kuličky rovnoměrně zaemulgovány ve směsi. Se snižující se hodnotou pH taveniny (4,8 - 5,2) roste její tuhost, které může vést až k drobení sýru. Naopak čím vyšší pH taveniny, tím i měkčí konzistenci lze očekávat s vykazujícím nadměrným tečením při zahřívání, přičemž vyšší pH finálního taveného výrobku je často spojováno s použitím staršího přírodního sýru. Obecně tento parametr lze ovlivnit a je značně ovlivňován přidávkem tavicích solí. Tudíž významnou roli hraje správně zvolený druh a koncentrace

těchto solí. (Nagyová a kol., 2012; Lee a kol., 2004; Friedman, 1996). Přídavek tavicích solí během tavicího procesu se podílí na úpravě pH taveniny zpravidla směrem nahoru, který se na počátku směsi obvykle pohybuje kolem 5,2 - 5,5, a proto je nutné jej co nejvíce přiblížit optimálnímu pH taveniny (viz. výše) a stabilizovat jej pro optimální roztíratelnost produktu (Guinee, 2003; Marchesseau a kol., 1997). Pozornost musíme věnovat i pH izoelektrického bodu kaseinu ($pI \approx 4,6$), při kterém dochází vlivem vzájemných synergických interakcí bílkovin ke vzniku produktu s vyšší tuhostí (Lee a kol., 2004; Friedman, 1996).

3.3.4 Podmínky skladování

Doba a podmínky skladování můžou mít taktéž přímý vliv na konzistenční i senzorické vlastnosti taveného sýru. Doporučená teplota skladování náleží teplotnímu rozsahu zhruba 4 - 8 °C a udržuje si svou minimální dobu trvanlivosti v řádu několika měsíců. Carić a Kaláb (1997) ve své studii došli k myšlence, že úchova vzorků tavených sýrů pod 10 °C může postupem času vést k nežádoucí tvorbě krystalů tavicích solí včetně krystalizace dalších složek sýru jako jsou aminokyseliny, laktóza apod. (Carić a Kaláb, 1997; Buňka a kol., 2009).

Vyšší teplota a doba skladování (> 20 °C) by měla pro změnu za následek potenciální mikrobiologické kažení a start různých chemických reakcí (Maillardovy reakce), které by vedly ke znehodnocení produktu a jeho senzorickým změnám (→ vzniku tmavšího odstínu). Rovněž s vyšší teplotou je spojována i tužší konzistence taveniny. To je působeno zvláště snížením její viskozity (Buňka a kol., 2009; Koca a Metin, 2004; Van Hekken a kol., 2007). Přímý vliv na texturní vlastnosti mají i probíhající rozkladné reakce (hydrolýza) tavicích polyfosforečnanových tavicích solí, které vedou k tvorbě primárních fosforečnanů během skladování. Fosforečnany tak obsahují vlivem hydrolýzy čím dál méně fosfátových skupin, které disponovaly vysokou afinitou k vápenatým iontům. Jejich redukcí dochází k snížení této afinity, která vede v neposledním řadě k samovolnému úniku vápenatých iontů z tavicích solí a k jejich postupnému začleňování do proteinové sítě, což má za následek opět zvyšování tuhosti finálního výrobku v průběhu skladování (Carić a Kaláb, 1997; Mulsow a kol., 2007; Schär a Bosset, 2002).

Také roztékavost tavených výrobků je velmi důležitým jakostním znakem kvality tavených sýrů. Mění se v závislosti s obsahem tuku a s dobou skladování, přičemž s rostoucí délkou skladování se roztékavost snižuje, zatímco s rostoucím obsahem tuku se naopak zvyšuje (Kwak a kol., 2002).

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

Základním cílem diplomové práce bylo studovat vliv vybraných draselných solí o různých koncentracích na viskoelastické a texturní vlastnosti vyrobených tavených sýrů v průběhu skladování.

Cílem teoretické části bylo:

- Popsat podrobně skupinu tavených sýrů, včetně faktorů ovlivňující jakost tavených výrobků
- Charakterizovat hlavní funkce tavicích solí, důvod jejich použití při výrobě tavených sýrů, včetně potenciálních náhrad do budoucna
- Popsat výrobu a technologii tavených sýrů
- Prozkoumat faktory ovlivňující konzistenci a výslednou kvalitu tavených sýrů.

Cílem praktické části bylo:

- Vyrobít modelové vzorky tavených sýrů o obsahu sušiny 40 % (w/w) a obsahu tuku v sušině 50 % (w/w), s přidavkem vybraných druhů tavicích solí (hydrogenfosforečnan draselný - DKP, dihydrogenfosforečnan draselný - MKP, pyrofosforečnan tetradraselný - TKPP, dekaoxotrifosforečnan pentadraselný - KTPP) o různých koncentracích (1,0 %, 1,5 %, 2,0 %, 2,5 % a 3,0 % w/w),
- Vyrobít modelové vzorky tavených sýrů o stejných parametrech s přidavkem vybraných sodných tavicích solí (hydrogenfosforečnan sodný - DSP, dihydrogenfosforečnan sodný - MSP, pyrofosforečnan tetradsodný - TSPP, dekaoxotrifosforečnan pentasodný – STPP) o stejných koncentracích, které sloužily především pro porovnání díky svým ověřeným vlastnostem,
- Dodržet u všech šarží stejné podmínky výroby, zejména rychlost míchání 3000 otáček/minut s výdrží 3 minut při tavicí teplotě 90 ± 1 °C,
- Provést chemickou analýzu (stanovení hodnoty pH, vodní aktivity a sušiny) a měření viskoelastických a texturních vlastností jednotlivých modelových vzorků tavených sýrů v časovém intervalu 1., 14., 30. a 60. den skladování (6 ± 2 °C),
- Vyhodnotit zjištěné výsledky a popsat vliv přidavku jednotlivých draselných tavicích solí na reologické a texturní vlastnosti tavených sýrů během skladování

5 MATERIÁL A METODIKA

5.1 Suroviny pro výrobu modelových vzorků tavených sýrů

V rámci praktické části byly vyrobeny modelové vzorky tavených sýrů s přidavkem jak draselných tavicích solí (4 typy), tak v druhé části s přidavkem sodných tavicích solí (opět 4 různé tavicí soli) o různých hmotnostních koncentracích 1 - 3 % s koncentračním posunem 0,5 %. Tavené sýry s tavicími solemi na bázi sodíku sloužily zejména pro porovnání daných vlastností a parametrů, neboť tyto sodné směsi jsou dobře prozkoumány a tudíž víme, jakými vlastnostmi působí na tavené sýry ve srovnání s draselnými, které jsou stále předmětem zkoumání. Na výrobu vzorků tavených sýru o požadované sušině 40 % a tuku 50 % byla dále použita Eidamská cihla 30 % (polotvrdý sýr, zralost 7 týdnů, 30 % hmot. tuku v sušině, 50 % hmot. sušiny; výrobce Lacrum Velké Meziříčí, s.r.o., ČR), máslo Milkpol (nesolené máslo, obsah tuku min. 82 % a max. 16 % vody, obsah sušiny 18 %), pitná voda a vybrané tavicí soli.

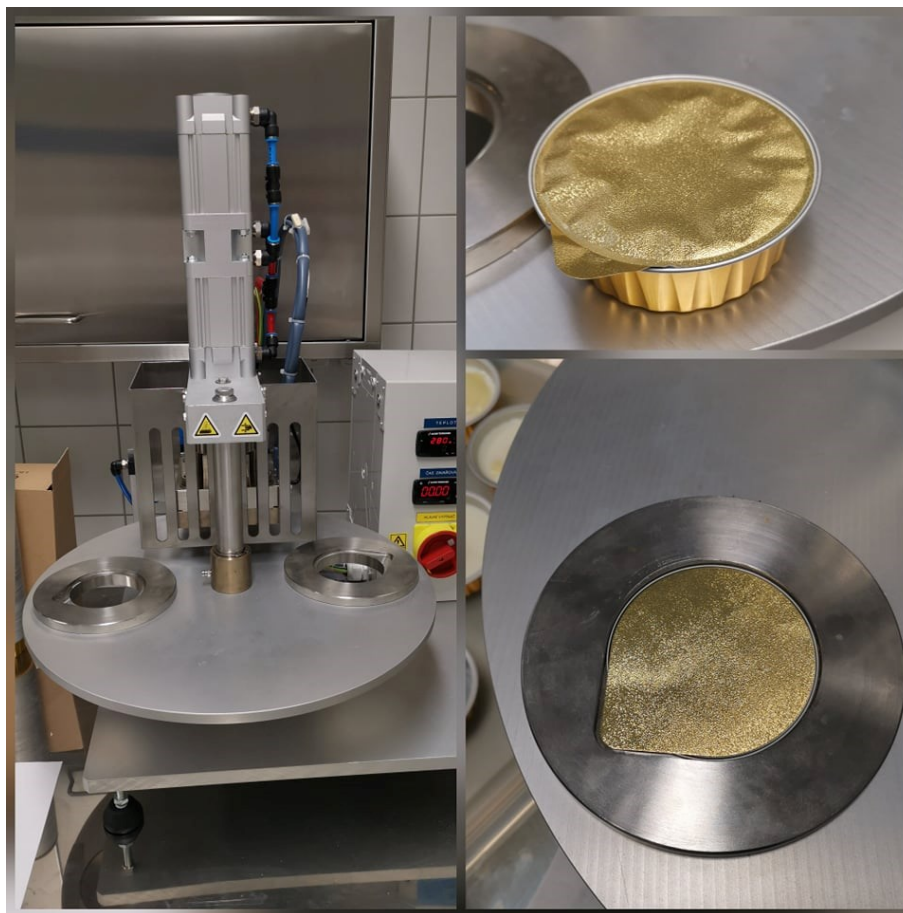
5.2 Laboratorní výroba modelových vzorků

Výroba tavených sýrů probíhala za laboratorních podmínek na Ústavu technologie potravin, Fakulty technologické na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně, přičemž na základě požadovaných vlastností finální taveniny byla vypočítána přesná hmotnostní navážka všech surovin potřebných pro tuto výrobu. Výroba modelových vzorků byla realizována pomocí tavicího přístroje Niromix (výrobce Nirosta s. r. o., Chlumeck nad Cidlinou III, Česká republika). Prvním krokem bylo krájení surovin (přírodní sýr a máslo) na požadovanou velikost pomocí kuchyňských nožů, kdy nejdříve putoval do tavičky přírodní sýr za účelem dezintegrace sýru, kterým se docílilo doslova „nastrouhání“ sýru na drobné vlásky. K němu byly dále přidány ostatní suroviny jako máslo, přesná navážka tavicích solí o různé koncentraci a v neposlední řadě pitná voda, bez níž by stěží došlo k dostatečnému spojení komponent a hrozilo by také připálení směsi na stěny tavičky. Následně probíhal tavicí proces za teploty tavení 90 ± 1 °C po dobu výdrže 3 minut a 3000 otáček za minutu. Celková doba tavení se pohybovala pro jeden vzorek zhruba kolem 10 až 12 minut. Takto utavený sýr byl ještě za horka dávkován do předem připravených hliníkových kelímků (kulatý tvar o průměru 7,5 cm), které byly ihned zažehleny hliníkovým víčkem pomocí zatavovačky.

Poté byly jednotlivé vzorky řádně označeny, zchlazeny do dvou hodin od výroby na teplotu $6 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ a při této chladírenské teplotě uchovány v lednici až do provedení potřebných analýz (zvláště pro senzory, chemickou, texturní a reologickou analýzu).



Obrázek 5: Tavička Niromix s řídicí jednotkou, jež byla použita pro výrobu modelových vzorků tavených sýrů (Šantová, 2022)



Obrázek 6: Naplnění kelímků horkou taveninou a uzavření hliníkovým víčkem pomocí zatavovacího zařízení (Šantová, 2022)

Jak již bylo zmíněno v cílech práce, na výrobu modelových vzorků byly použity čtyři vybrané druhy draselných tavicích solí a čtyři „porovnávací“ druhy sodných tavicích solí v různých koncentracích (viz. výše). Vzhledem k tomu, že je práce zaměřena především na vliv draselných tavicích solí, ráda bych věnovala krátkou část jejich výrobě, neboť u některých vzorků nedošlo k žádanému utavení sýru.

Například u všech tavicích solí KH_2PO_4 , K_2PO_4 , $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ a $\text{K}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentraci 1 % w/w se tavený sýr neutavil, proto nebyly tyto vzorky dále v rámci experimentu sledovány, jelikož tvořily nehomogenní hmotu sestávající se z hydrofobní a hydrofilní části. Navíc tavicí sůl KH_2PO_4 tvořila nehomogenní směs i v koncentracích 1,5 a 2 % w/w, které opět vykazovaly oddělování jednotlivých fází. Při použití vyšších koncentrací této soli (2,5 % a 3 % w/w) se již utvořila homogenní tavenina, ale během skladování došlo znovu k oddělování fází a vzniku „řidké kaše“. V důsledku této skutečnosti byla sůl KH_2PO_4 celkově z experimentu vyřazena, neboť disponovala nevyhovujícími vlastnostmi pro tvorbu taveniny s požadovanými vlastnostmi.



Obrázek 7: Nehomogenní tavenina ve srovnání s homogenní taveninou po přidavku tavicí soli $K_5P_3O_{10}$, v pořadí 1 % přidavek vlevo a 2 % přidavek vpravo (Šantová, 2022)

5.3 Základní chemická analýza

5.3.1 Stanovení sušiny

Stanovení obsahu sušiny bylo prováděno podle normy ČSN EN ISO 5534 do konstantního úbytku hmotnosti sušením za teplot $105 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ve dnech 1. a 60. po výrobě. Jednotlivé vzorky tavených sýrů byly měřeny celkově třikrát, dále naváženy s přesností na čtyři desetinná místa s hmotností 3 g a vloženy do vysoušecích misek spolu s křemenným pískem a skleněnou tyčinkou. Poté se vložily vzorky do sušárny na zhruba 3 hodiny při teplotě $105 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ do konstantního hmotnosti (vyjádřeno v % hmotnosti). Ihned po vyndání ze sušárny se vzorky umístily do exikátoru a po zchlazení na laboratorní teplotu byla odečítána hmotnost pomocí analytických vah, opět na čtyři desetinná místa.

Po získání hodnot z před sušení a po sušení byl zjišťován obsah sušiny ve vzorcích dle následujícího vzorce:

$$w_s = 100 - \left[\frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 \% \right]$$

kde:

w_s je obsah sušiny [% (w/w)]

m_1 je hmotnost misky s pískem a tyčinkou [g]

m_2 je hmotnost misky s pískem, tyčinkou a vzorkem před sušením [g]

m_3 je hmotnost misky s pískem, tyčinkou a vzorkem po sušení [g] (AnonymF, 2005).



Obrázek 8: Vysoušecí miska s křemenným pískem, skleněnou tyčinkou a vzorkem taveného sýru připravená na analýzu celkové sušiny (Šantová, 2022)

5.3.2 Stanovení pH

Hodnota pH u jednotlivých vzorků tavených sýrů byla stanovena pomocí pH-metru Foodcare (Hanna Instruments Inc., HI - 99161, Woonsocket, Rhode Island, USA) s vpichovou elektrodou při teplotě 20 ± 1 °C. Tělo pH-metru je tvořeno z polyvinylidenfluoridu (PVDF) a vnitřní část speciální teplotním senzorem. Typická je také automatická jedno-/dvoubodová kalibrace. Hodnota pH u všech modelových vzorků byla měřena ve všech odběrových dnech (1., 14., 30. a 60. den), přičemž abychom zabránili odchylkám v měření, každý vzorek změřen šestkrát v různých místech a výsledek je uveden jako aritmetický průměr \pm směrodatná odchylka.



Obrázek 9: pH-metr Foodcare s vpichovou elektrodou (1)

5.3.3 Stanovení vodní aktivity

Vodní aktivita (a_w) byla naměřena laboratorním přístrojem pro měření vodní aktivity METER AquaLab 4TE (AquaLab, Decagon, USA) opět v rámci všech odběrových dnů s tím předpokladem, že hodnoty a_w by se neměly v průběhu skladování výrazně lišit. Jednotlivé vzorky byly měřeny celkem dvakrát, kdy před každým měřením musel být přístroj nakalibrován vhodným roztokem.

V našem případě byl použit 0,920 Water activity - 2,33 mol/kg of NaCl in H₂O (Aqualab by DECAGON). Následně se do plastových kulatých forem nanasla potřebná vrstva vzorku tak, aby uvnitř nebyly přítomny vzduchové bublinky. Poté se vložil vzorek do přístroje a následovalo samotné měření.



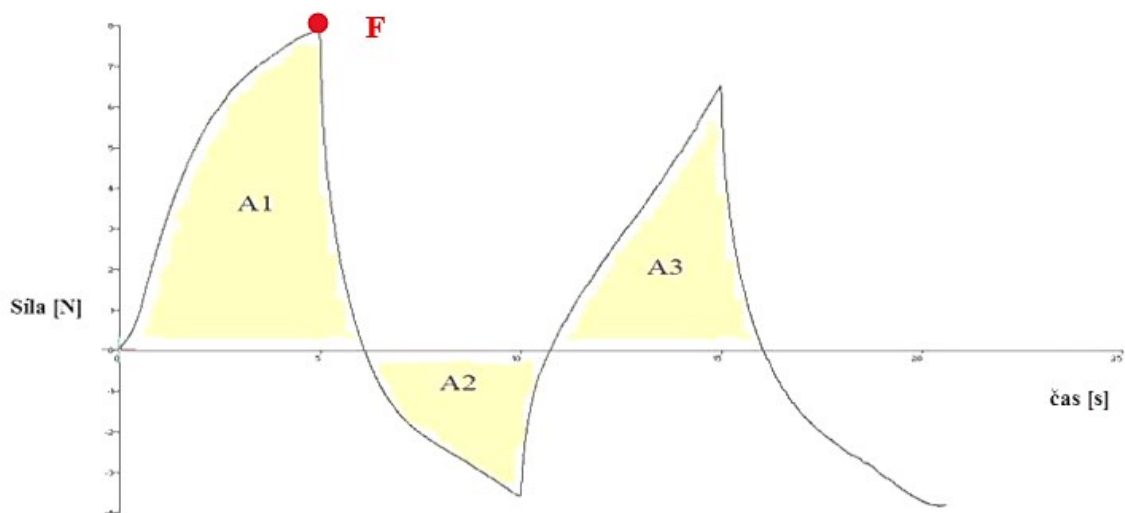
Obrázek 10: Přístroj na měření vodní aktivity (2)

5.4 Texturní profilová analýza

Textura tavených sýrů je složený sensorický atribut, který je výsledkem kombinace fyzikálních vlastností, které jsou vnímány hmatem (hmatová textura), zrakem (vizuální textura) a sluchem (orální textura) během konzumace. Analýza texturního profilu (TPA) měří odezvu sýru na velké stlačení (např. na ~ 70 % původní výšky vzorku sýra) ve dvou po sobě jdoucích stlačeních, označovaných jako kousnutí. TPA tedy simuluje opakované stlačování kousku sýra během žvýkání a žvýkání, což zahrnuje několik stlačení (komprese) mezi zuby. Profil napětí/čas generovaný během dvojitého stlačení umožňuje stanovení řady mechanických vlastností, jako je tvrdost, soudržnost, přilnavost, žvýkatelnost a gumovitost, které odpovídají stejnojmenným smyslovým parametrům. Tento systém navrhol, že texturní charakteristiky potravin, včetně sýrů, mohou být kategorizovány jako mechanické, geometrické a další vlastnosti jako jsou vlastnosti „pocitu v ústech“, které jsou subjektivně popsány pojmy jako tvrdý, měkký, pevný, pružný, drobivý, lepkavý, vlhký nebo suchý (Fox a kol., 2017).

Všechny tyto atributy modelových vzorků taveného sýru byly stanoveny pomocí analyzátoru textury TA-XTplus (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Velká Británie). Texturní analýza byla provedena pomocí dvěma po sobě jdoucími penetracemi válcovou sondou z nerezavějící oceli o průměru 20 mm přímo do kulaté nádoby taveného sýru (po vyjmutí hliníkové fólie), přičemž hloubka proniknutí sondy byla nastavena na 10 mm při testovací a návratové rychlosti $2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ a spouštěcí síle, jež odpovídala 5 g. TPA byla

měřena vždy u třech vaniček každé koncentrační řady tavicích solí v 1., 14., 30. a 60. dnu odběru po výrobě, tedy třikrát v rámci jednoho vzorku. Tato analýza nám sloužila především k zjištění hodnot tvrdosti (jednotka newton – N), která je dána maximální silou vtažení dané sondy do hloubky 10 mm, tzv. deformace. S rostoucími hodnotami této deformace nám roste i tvrdost produktu. Zkoumaly se hodnoty nejen tvrdosti, ale i relativní lepivosti a koheze, které byly vypočteny z profilových křivek v grafu, které jsme získali pomocí softwaru Texture Exponent Lite (Stable Micro Systems Ltd.). Relativní lepivost lze definovat jako práci potřebnou k překonání přitažlivých sil mezi povrchem sýru a povrchem sondy. Kohezivnost výrobku pak zaujímá určitou sílu soudržnosti vnitřních vazeb tvořících výsledný produkt (Buňka a kol., 2012; Sołowiej a kol., 2020).



Obrázek 11: Záznam grafu z texturního analyzátoru TA.XT vyobrazující závislost síly deformace (N) na čase (s) (AnonymG, 2013).

Na obrázku č. 9 nám hodnota F udává maximální sílu potřebnou pro úspěšnost první penetrace neboli definuje pevnost taveného sýru. V praxi to znamená, že čím vyšší bude tvrdost, tím bude zapotřebí vyvinout i větší sílu na deformaci, což koresponduje i s nabývajícím vyšší velikostí tohoto píku. Relativní lepivost se stanoví jako poměr plochy absolutní hodnoty píku A2 k ploše kladného píku A1 $\rightarrow A2:A1$. Se zvětšující se plochou křivky roste konstantě i lepivost výrobku. Dále vyčteme z grafu soudržnost (kohezi), která je dána poměrem ploch A3:A1. Pokud se tento poměr blíží k hodnotám 1, pak se tavený sýr vyznačuje větší soudržností v důsledku intenzivnější síly mezi vnitřními vazbami (Sołowiej a kol., 2020; Breuil a Meullenet, 2001; Fiszman a Damásio, 2000).



Obrázek 12: Texturometr TA-XTplus využívaný pro analýzu modelových vzorků tavených sýrů (3)

5.5 Dynamická oscilační reometrie

Reologie sýra charakterizuje jeho deformační chování při vystavení stresu nebo zátěži. Na základě chování napětí/deformace lze materiály obecně klasifikovat jako ideální elastické pevné látky, ideální viskózní (newtonské) kapaliny nebo viskoelastické. Sýry, stejně jako většina jiných pevných a polotuhých potravin, které obsahují vlhkost a pevné látky, jako jsou bílkoviny, tuky a/nebo uhlovodíky, vykazují vlastnosti jak elastické pevné látky, tak viskózní tekutiny, a jsou proto označovány jako viskoelastické. (Sutheerawattananonda a Bastian, 1998).

Reologické vlastnosti tavených sýrů byly testovány 1., 14., 30. a 60. den skladování, kdy se nejdříve vytemperovaly na pokojovou teplotu ± 22 °C. Poté vzorky byly odebírány z vnitřní části produktu a analyzovány pomocí viskozimetru Thermo Scientific™ HAAKE RheoStress 1 Rheometer (Bremen, Německo).

V rámci našeho experimentu byla použita geometrie deska-deska o průměru 35 mm s výškou mezery 1 mm (tzv. gap) a nastavenou hodnotou amplitudy smykového napětí na 20 Pa. Zvolená frekvence poté byla 0,1 - 100 Hz. Na začátku každého testu byl vzorek ekvilibrován mezi rovnoběžnými deskami v mezeře měření (\rightarrow 1 mm). Na spodní desku reometru bylo vloženo přiměřené množství analyzovaného vzorku, poté bylo zahájeno klesání horní desky, aby byla vytvořena 1 mm vysoká štěrbin. Přebytké množství syru po jeho vytlačení deskami se odstranilo pomocí špachtle. Poté následovala relaxace dlouhá 300 sekund a po ní samotná analýza elastického a ztrátového modulu pružnosti. Celková doba analýzy trvala zhruba 12 - 15 minut na jeden vzorek.

Viskoelastické vlastnosti byly analyzovány dvakrát pro každý modelový vzorek. Vybrané sledované parametry, včetně elastického (G') a ztrátového (G'') modulu pružnosti (určené jako funkce frekvence), byly použity pro výpočet komplexního modulu viskozity (G^*) podle rovnice:

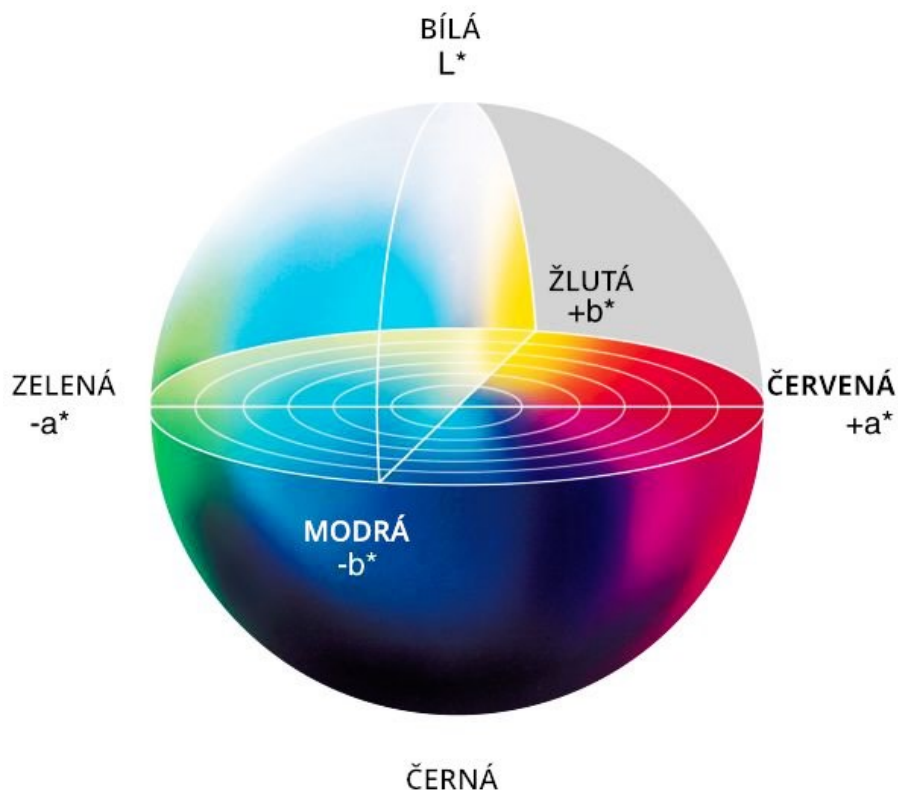
$$G^* = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2} \text{ (Tamime a kol., 2011)}$$



Obrázek 13: Ukázka viskozimetru Thermo Scientific™ HAARTEM TheoStress™ 1 Rheometer (4)

5.6 Instrumentální měření barvy

Pro instrumentální hodnocení barvy byl použit spektrofotometr HunterLab UltraScan® VIS Pro Color Measurement Spectrophotometer (Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, VA, USA). Byla použita barevná škála CIE Lab ($L^*a^*b^*$) s osvětlením D65 (průměrné denní světlo) a úhlem 10° . Barva je definována jako bod v trojrozměrném prostoru pomocí souřadnic L^* , a^* a b^* . L^* je označení pro světlost barvy umístěná v prostoru na vertikální ose a nabývá hodnot od 0 (černá) až 100 (bílá). Další dva parametry (a^* a b^*) představují hodnoty, ze kterých lze vypočítat také sytost a odstín barvy, které jsou umístěny v horizontální rovině. Parametr a^* je část spektra vlnových délek odpovídající barvám od zelené ($-a^*$) po červenou ($+a^*$). Naopak parametr b^* odpovídá barvám od modré ($-b^*$) po žlutou ($+b^*$). Přístroj byl kalibrován v odrazovém režimu, s vyloučením zrcadlového odrazu, za použití bílé (C6299 Hunterlab Color Standard) a šedé (C6299G Hunterlab Color Standard) referenční desky. K měření byla použita 10 mm křemenná kyveta. (Ježek a Saláková, 2012; Ansorena a kol., 1997)



Obrázek 14: Ukázka CIE $L^* a^* b^*$ diagramu (5)



Obrázek 15: Použitý spektrofotometr HunterLab UltraScan® VIS pro instrumentální měření barvy (6)

5.7 Diferenciální skenovací kalorimetrie

Stavy vody v biopolymerních systémech jako jsou potravinářské emulze, poskytují cenné informace o absorpčních, difúzních a permeačních vlastnostech hydrofilních materiálů. Organoleptické vlastnosti, reologické a fyzikální vlastnosti takovýchto materiálů se mohou v důsledku modifikace struktury při absorpci vody výrazně změnit. Pro provádění takových studií je běžně používaným nástrojem právě diferenciální skenovací kalorimetrie. (TA Thermal Analysis to Determine Various Forms of Water Present in Hydrogels).

5.7.1 Teorie

Entalpie (H) je množství energie, které odpovídá nejen vnitřní energii, ale také energii spojenou s prací. Je to velmi užitečná veličina, zejména z pohledu, jakým způsobem vzít v úvahu obě varianty, při kterých se energie může měnit v souboru molekul - vnitřními energetickými změnami a objemovými změnami, které vedou k vykonání práce (Brune, 2020).

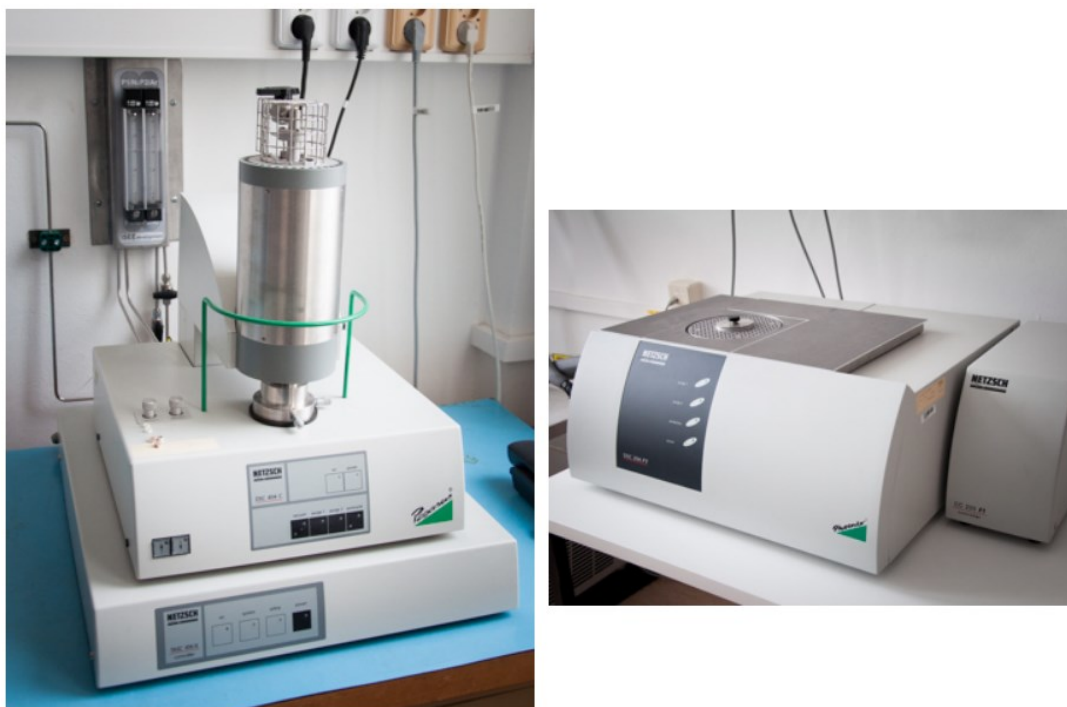
ΔH je změna entalpie při fázovém přechodu v tuhých látkách v oblasti nízkých teplot (např. entalpie tání) či vysokých teplot (např. výparná entalpie) apod., přičemž za konstantního tlaku je rovna změně vnitřní energie a objemu (1. zákon TD):

$$\Delta H = \Delta U + p \Delta V \quad (p = \text{konst.})$$

ΔH je množství tepla, které soustava při chemické reakci buďto přijímá ($\Delta H > 0$), přičemž mluvíme o tzv. endotermické reakci, anebo soustava toto teplo pro změnu odevzdává ($\Delta H < 0$) a mluvíme o tzv. exotermické reakci. Mezi koligativní vlastnosti (vlastnosti závisující pouze na koncentraci látky) v důsledku Raultova zákona patří snížení bodu tuhnutí z důvodu zvyšujícího se obsahu nízkomolekulárních látek, jako jsou sacharidy a soli (Novák, 2008)

5.7.2 Příprava vzorků a měření DSC

DSC analýza byla provedena na přístroji DSC 250 Discovery (TA Instruments, USA) s Tzero technologií měření (T1). Vzorky tavených sýrů byly naváženy ($10,0 \pm 1,1$ mg) do hermetických uzavíratelných pánviček s následným zalisováním víčkem s pinem 1 mm. Měření probíhalo v atmosféře N_2 50 ml/min., rychlost chlazení byla 10 °C/min., a to v rozmezí teplot 25 °C až -80 °C. Poté následoval izotermický krok při teplotě -80 °C po dobu 1 minuty. Ohřev byl zaznamenáván při rychlosti 5 °C/min. v rozmezí teplot -80 °C až 80 °C. U termogramů byl vyhodnocen krystalizační pík T_p a teplota tání ledu T_{onset} . Příslušné entalpie těchto procesů - ΔH se vypočítá integrací plochy pod termogramem a vyjadřuje se jako měrná entalpie v J/g (normalized enthalpy). Měrná entalpie za konstantního tlaku odpovídá vnitřní energii systému, tzn. vazebným silám ve vzorku, a souvisí s počtem vazeb, které jsou potřebné k udržení vzorku v jeho nativní (složené) konformaci (Xing Du, 2016).



Obrázek 16: Diferenciální skenovací kalorimetry DSC 204 Phoenix (teplotní rozmezí - 180 °C - 700 °C) a DSC 404 Pegasus (pro vysoké teploty až do 1600 °C) (7)

5.8 Senzorická analýza

Senzorické hodnocení tavených sýrů bylo realizováno v senzorické laboratoři vybavené speciálními zkušebními kójeji za standartních světelných podmínek co nejvíce odpovídající rozptýlenému dennímu světlu při laboratorní teplotě 20 ± 2 °C v souladu s normou ČSN EN ISO 8589 (560036) a za pomoci dvanácti vybraných posuzovatelů. Vzorky byly hodnoceny v rámci všech odběrových dnů za pomoci sedmibodových stupnic (1 - vyhovující, 7 - nevyhovující), přičemž byly hodnoceny parametry jako: vzhled a barva, konzistence, tuhost, roztíratelnost, chuť a vůně, hořkost a přítomnost cizích pachů a pachutí (off flavour) u jednotlivých modelových vzorků tavených sýrů (Příloha A).

6 VÝSLEDKY A DISKUSE

6.1 Výsledky základní chemické analýzy

Cílem práce bylo vyrobit tavené sýry s požadovaným obsahem sušiny 40 % (w/w) a 50 % tuku v sušině (w/w) s přidavkem draselných a sodných tavicích solí v koncentracích 1,0 %, 1,5 %, 2,0 %, 2,5 % a 3,0 % w/w, přičemž celková doba skladování činila 60 dní. Všechny modelové vzorky tavených sýrů byly podrobeny chemické analýze sestávající se ze stanovení obsahu sušiny a dále měření pH a vodní aktivity.

6.1.1 Stanovení obsahu sušiny

Nejprve byly modelové vzorky tavených sýrů podrobeny analýze obsahu sušiny, aby se ověřilo, že tento parametr nebyl v této studii proměnný. Hodnoty obsahu sušiny modelových vzorků tavených sýrů s přidavkem draselných tavicích solí se pohybovaly v rozmezí od 40,48 do 41,23 % (w/w). K obdobnému číselnému rozmezí hodnot u vzorků s totožnými draselnými tavicími solemi došli ve své práci taktéž Salek a kol. (2016), přičemž hodnoty sušiny se zde pohybovaly v intervalu od 40,16 do 41,12 (w/w). Ve srovnání s našimi výsledky, ke kterým jsme došli, lze konstatovat, že jsme se pohybovali ve velmi podobné hladině číselných hodnot. Naopak u modelových vzorků tavených sýrů s přidavkem sodných tavicích solí, které sloužily především pro kontrolu, byly hodnoty sušiny o něco vyšší, pohybující se v intervalovém rozpětí od 40,16 do 42,86 % (w/w). Obsah sušiny v těchto rozmezích byl podobný u všech druhů vyráběných tavených sýrů v rámci daných skupin tavicích solí. Nejnižší hodnota byla pozorována u výrobku s přidavkem draselné tavicí soli K_2HPO_4 o koncentraci 2,5 % a sodné tavicí soli Na_2HPO_4 2,5 %. Nejvyšší hodnoty pak byly zaznamenány u draselné tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ o koncentraci 2 % a sodné tavicí soli $Na_5P_3O_{10}$ o koncentraci 3 %. Ze získaných výsledků lze námi naměřené hodnoty sušiny u modelových vzorků tavených sýrů stále považovat za akceptovatelné (\pm s menší odchylkou) v porovnání s cílovou hodnotou sušiny, která činila v našem případě 40 % (w/w).

Podobné hodnoty obsahu sušiny v testovaných produktech jsou nezbytné pro srovnatelnost jednotlivých modelových vzorků, neboť tento parametr významně ovlivňuje texturní vlastnosti analyzovaných vzorků a výrazně poukazuje na stabilitu sušiny ve vzorcích (Weiserová a kol., 2011; Buňka a kol., 2014).

Ve studii Nagyová a kol. (2014) se rovněž zabývali vlivem konkrétních druhů fosforečnanových tavicích solí na různé texturní a fyzikálně-chemické vlastnosti, přičemž pro výrobu modelových vzorků tavených sýrů použili totožné tavicí soli jako my (hydrogenfosforečnan sodný a difosforečnan tetrasodný). V rámci základní chemické analýzy se v jejich experimentu obsah sušiny u všech variant testovaných vzorků pohyboval v rozmezí od 40,56 do 41, 22 % (w/w). Ve srovnání s našimi výsledky lze konstatovat, že jsme opět dospěli k téměř podobným hodnotám obsahu sušiny u vzorků tavených sýrů za použití draselných tavicích solí (Nagyová a kol., 2014)

K obdobným závěrům došli ve své práci také Salek a kol. (2017), kteří za použití stejného typu přírodního sýru (Eidamská cihla) a stejných druhů tavicích solí (Na_2HPO_4 a $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) dosáhli o něco nižších hodnot sušiny pohybujících se pro všechny samostatné tavicí soli, včetně použitých směsí Na_2HPO_4 a $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v intervalu od 40,06 do 40,65 % (w/w).

6.1.2 Stanovení pH

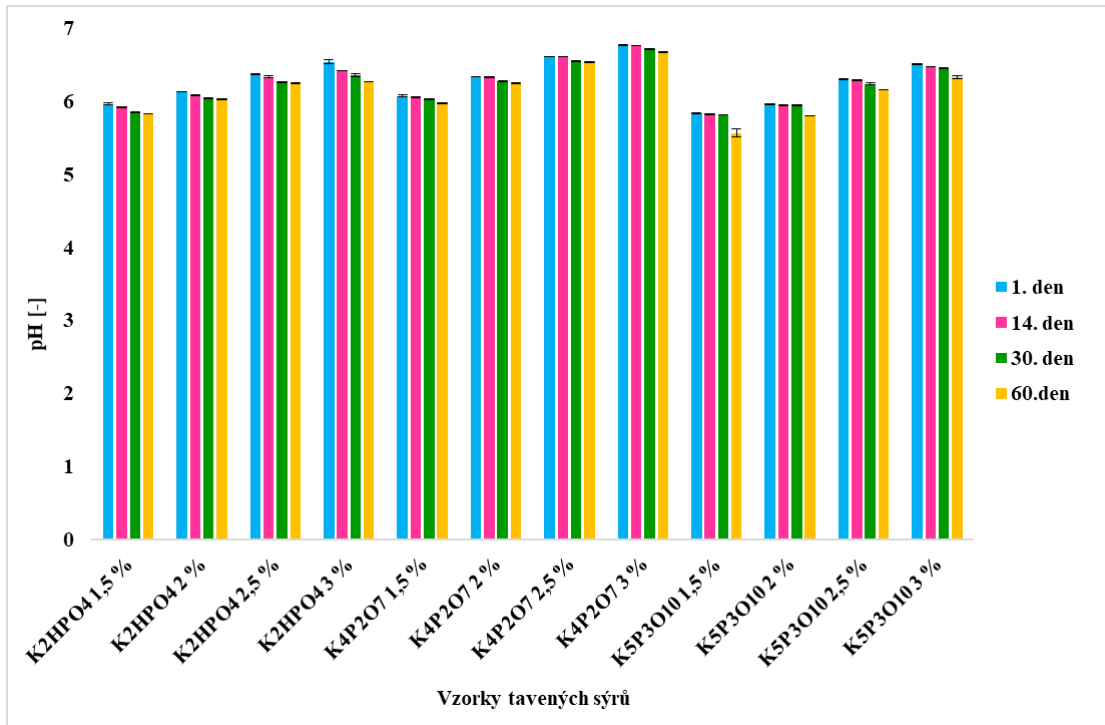
Dalším významným faktorem ovlivňujícím viskoelastické vlastnosti tavených sýrů, zejména konzistenci, je hodnota pH (Salek a kol., 2016, Weiserová a kol, 2011). U třech modelových vzorků jednotlivých druhů tavených sýrů bylo provedeno měření pH v šesti různých místech vzorku, a to vždy v rámci každého odběrového dne, tedy 1., 14., 30. a 60. den skladování.

Hodnoty pH (bez úprav) se pro tavené sýry za použití draselných tavicích solí pohybovaly v průběhu skladování v rozmezí od 5,57 do 6,78. Naopak u tavených sýrů vyrobených za pomoci sodných tavicích solí se tyto hodnoty pohybovaly v rozmezí od 5,67 do 6,53. Naměřené hodnoty lze považovat za výrazně vyšší než optimální hodnoty pH pohybující se v intervalu 5,6 – 6,1, které nám u tohoto výrobku zajišťují vhodnou roztíratelnost. Nejvyšší hodnota pH byla v rámci tavených sýrů s přídavkem draselným tavicích solí zaznamenána u vzorků s 3 % $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ a nejnižší naopak u vzorku s tavicí solí $\text{K}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ o koncentraci 1,5 %. V rámci skupiny tavených sýrů vyrobených za použití sodných tavicích solí vykazovaly nejvyšší hodnotu pH dvě tavicí soli, a to 2,5 % $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ a 3 % $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$. Naopak nejnižší hodnota pH byla zjištěna u tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ o koncentraci 1,5 %.

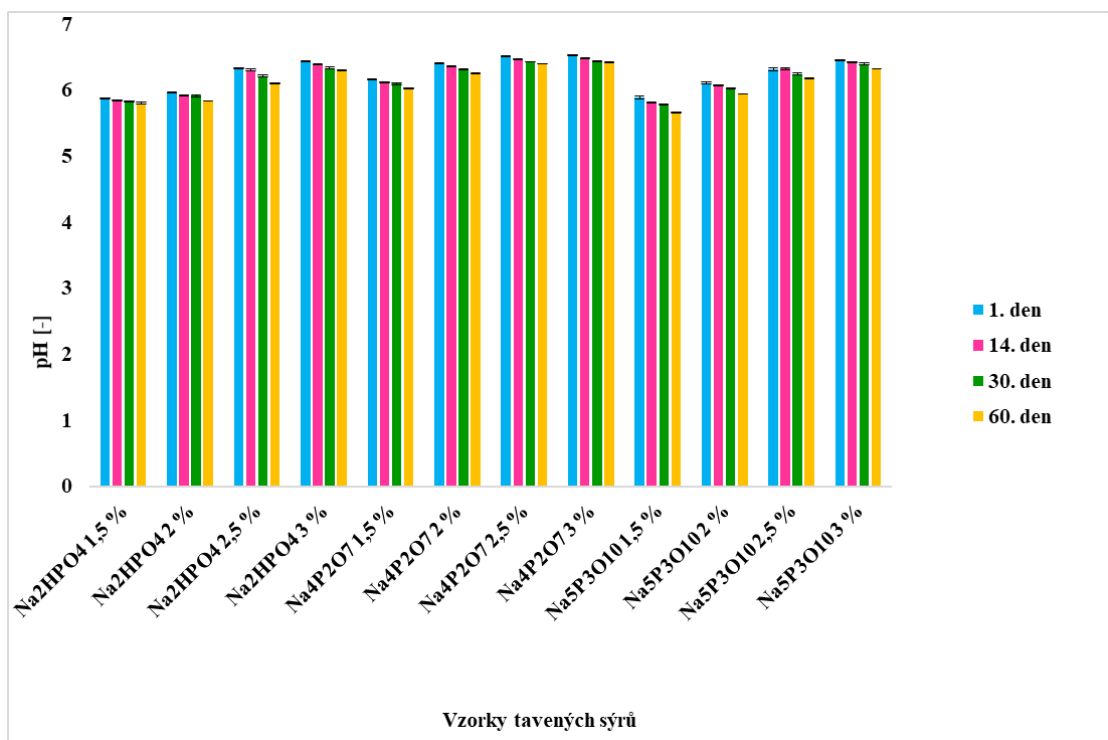
Na základě zjištěných výsledků lze jednoznačně konstatovat, že s rostoucí dobou skladování docházelo u všech vzorků tavených sýrů k postupnému poklesu hodnot pH. Tento klesající trend je znázorněn pro lepší představu na obrázcích 17 a 18, v nichž jsou zaznamenány průměrné hodnoty pH v průběhu 60-ti denního skladování u jednotlivých vzorků tavených sýrů.

Ke stejným závěrům došli ve svých pracích i Salek a kol. (2015) a Weiserová a kol. (2011), které tyto změny způsobující mírný pokles hodnot pH u tavených sýrů během skladování připisují především potenciální hydrolyze fosforečnanových solí (s dvěma nebo více atomy fosforu v molekule) nebo dále mohou dle jejich úvah souviset také s některými strukturálními změnami mírného charakteru u pozorovaných produktů tavených sýrů. Jednou z možných variant, která vede ke změně jak pH, tak texturních vlastností je potenciální změna vazeb přítomných solí a tím i změna jejich stupně disociace. O té se ve své studii jako o jednom z hlavních důvodů změny pH v průběhu skladování zmínil i Guinee (2011). Ten tvrdí, že na změny pH má především vliv zmiňovaný stupeň disociace tavicích solí a počet tak potenciálně aktivních skupin, které jsou schopné vázat vápník z proteinového systému sýru výměnou za své sodné/draselné ionty nacházející se právě v tavicích solí. V rámci této skutečnosti lze soudit, že finální pH závisí vždy na typu použité tavicí soli (Weiserová a kol., 2011; Guinee, 2011). Dále u všech vzorků tavených sýrů můžeme zaznamenat rostoucí trend v závislosti na množství tavicí solí, přičemž s rostoucím množstvím tavicích solí ve vzorku nám konstantně roste i parametr pH.

Ve srovnání s jinými studii jako např. Salek a kol. (2016, 2017), tak naše hodnoty dosahovaly ve srovnání s jejich zjištěnými výsledky významně vyšších hladin, pohybujících se u některých tavicích solí až nad pH 6. Zatímco ve studiích Salek a kol. (2016, 2017) se tyto hodnoty pohybovaly většinou v rozmezí od 5,61 do 5,94. Roli v těchto rozdílech mohl sehrát i samotný pH-metr, včetně lidského faktoru, kdy jsme dostatečně nepočkali na ustálení hodnot. Případně nemusela být sonda před použitím řádně očištěna z předcházejícího experimentu, a tak mohlo dojít ke zkreslení výsledků. Samozřejmě toto jsou jen možné hypotézy, každopádně je nutno podotknout, že byly použity v rámci experimentu čistě samotné tavicí soli, nikoli osvědčené směsi tavicích solí. Proto s určitými výkyvy hodnot pH je vždy potřeba počítat.



Obrázek 17: Graf výsledků stanovených hodnot pH v průběhu skladování pro tavené sýry s přidavkem různých druhů draselných tavicích solí



Obrázek 18: Graf výsledků stanovených hodnot pH v průběhu skladování pro tavené sýry s přidavkem různých druhů sodných tavicích solí

6.1.3 Stanovení vodní aktivity

Hodnoty měření vodní aktivity taveného sýru jsou uvedeny v tabulce 4 a 5. Aktivita vody se u všech modelových vzorků tavených sýrů během skladování nijak výrazně neměnila, spíše zůstávala konstantní, čímž byla naše domněnka na počátku experimentu potvrzena. Hodnoty vodní aktivity se pohybovaly pro tavené sýry s přidavkem draselných tavicích solí v rozmezí od 0,972 do 0,985. Naopak tavené sýry s přidavkem sodných tavicích solí vykazovaly hodnoty vodní aktivity v intervalu od 0,969 do 0,986. Změna koncentrace použitých tavicích solí v produktech tavených sýrů nijak neovlivnila jejich vodní aktivitu. Nejvyšší hodnota vodní aktivity byla pozorována v rámci skupiny draselných tavicích solí u K_2HPO_4 o koncentraci 1,5 % a nejnižší hodnota pro změnu byla naměřena u $K_5P_3O_{10}$ o koncentraci 2 %. U tavených sýrů s přidavkem sodných tavicích solí nejvyšší hodnota byla zjištěna u $Na_5P_3O_{10}$ o koncentraci 1,5 % a nejnižší pak u Na_2HPO_4 o koncentraci 3 %. Případné rozdílné hodnoty a_w v tavených sýrech mohou být důsledkem nestability těchto produktů, ke které dochází při mírné delaminaci na povrchu pozorovaném během procesu testování produktů. Vysoký obsah vody totiž vytváří příznivější podmínky pro rozvoj plísní a hub a ovlivňuje tak i množení bakterií. Podle FDA je potravinářský produkt s pH nad 4,6 stabilní pouze tehdy, je-li jeho vodní aktivita 0,85 nebo nižší. V testovaných produktech tavených sýrů bylo $pH > 5,67$ a $a_w > 0,970$, což dává podmínky pro rozvoj nežádoucí mikroflóry při získaných výsledcích vodní aktivity, a to v případě zejména neuchovávání produktu při chladicí teplotě (Szafránska a kol., 2020).

Tabulka 4: Získané hodnoty vodní aktivity u tavených sýrů s přidavkem draselných tavicích solí

Tavicí sůl	1. den		14. den		30. den		60. den	
	Ø	SD	Ø	SD	Ø	SD	Ø	SD
K_2HPO_4 1,5 %	0,980	0,001	0,984	0,001	0,985	0,001	0,980	0,001
K_2HPO_4 2 %	0,979	0,001	0,984	0,001	0,981	0,001	0,978	0,001
K_2HPO_4 2,5 %	0,979	0,001	0,983	0,001	0,982	0,001	0,979	0,001
K_2HPO_4 3 %	0,976	0,001	0,980	0,001	0,979	0,001	0,976	0,001
$K_4P_2O_7$ 1,5 %	0,981	0,001	0,985	0,001	0,984	0,001	0,982	0,001
$K_4P_2O_7$ 2 %	0,981	0,002	0,984	0,001	0,982	0,001	0,979	0,001
$K_4P_2O_7$ 2,5 %	0,979	0,001	0,983	0,001	0,981	0,001	0,980	0,001
$K_4P_2O_7$ 3 %	0,973	0,001	0,980	0,001	0,977	0,001	0,977	0,001
$K_5P_3O_{10}$ 1,5 %	0,979	0,001	0,984	0,001	0,983	0,001	0,990	0,001
$K_5P_3O_{10}$ 2 %	0,970	0,001	0,976	0,001	0,975	0,001	0,972	0,001
$K_5P_3O_{10}$ 2,5 %	0,977	0,002	0,982	0,001	0,980	0,001	0,980	0,001
$K_5P_3O_{10}$ 3 %	0,975	0,001	0,980	0,001	0,980	0,001	0,978	0,001

Tabulka 5: Získané hodnoty vodní aktivity u tavených sýrů s přidavkem sodných tavicích solí

Tavicí sůl	1. den		14. den		30. den		60. den	
	Ø	SD	Ø	SD	Ø	SD	Ø	SD
Na ₂ HPO ₄ 1,5 %	0,979	0,001	0,977	0,001	0,981	0,001	0,975	0,001
Na ₂ HPO ₄ 2 %	0,978	0,001	0,976	0,001	0,979	0,001	0,975	0,001
Na ₂ HPO ₄ 2,5 %	0,976	0,001	0,975	0,001	0,977	0,001	0,971	0,001
Na ₂ HPO ₄ 3 %	0,969	0,001	0,970	0,001	0,975	0,001	0,970	0,001
Na ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	0,981	0,001	0,980	0,001	0,983	0,001	0,978	0,001
Na ₄ P ₂ O ₇ 2 %	0,982	0,002	0,980	0,001	0,983	0,001	0,978	0,001
Na ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	0,982	0,001	0,980	0,001	0,982	0,001	0,978	0,001
Na ₄ P ₂ O ₇ 3 %	0,980	0,001	0,980	0,001	0,981	0,001	0,978	0,001
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	0,986	0,001	0,983	0,001	0,983	0,001	0,980	0,001
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	0,984	0,001	0,981	0,002	0,984	0,001	0,978	0,001
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	0,980	0,001	0,979	0,001	0,981	0,001	0,974	0,001
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	0,977	0,001	0,975	0,001	0,978	0,001	0,974	0,001

6.2 Výsledky texturní profilové analýzy

Pomocí texturní profilové analýzy jsme získali hodnoty tvrdosti (pevnosti), relativní lepivosti a kohezivnosti (soudržnosti) modelových vzorků tavených sýrů s přidavkem jak sodných tavicích solí, tak draselných tavicích solí. Texturní analýza byla provedena pomocí válcové sondy o průměru 20 mm (P20) u každého vzorku celkem třikrát, a to především z důvodu eliminace případných odchylek, ve kterých by mohl hrát roli i např. lidský faktor. Texturní vlastnosti byly u všech vzorků tavených sýrů zkoumány v 1., 14., 30. a 60. dnu skladování při 6 ± 2 °C. Všechny tři zmíněné parametry budou vyhodnoceny níže.

6.2.1 Tvrdost

Tvrdost, která je jedním z důležitých parametrů pro posouzení celkové kvality, vykazuje odolnost proti deformaci, když je vzorek sýru vystaven vnější síle (Bulut-Solak a Akin, 2019). V závislosti na délce skladování a použité koncentrace tavicích solí byl sledován vývoj hodnot tvrdosti u modelových vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicích solí, tedy sodných a draselných. Z těchto výsledků lze jednoznačně konstatovat, že tvrdost jednotlivých vzorků s přidavkem sodných i draselných tavicích solí konstantně rostla s délkou skladování, čímž byla potvrzena prvotní myšlenka. Ke stejnému závěru došli ve své studii Salek a kol. (2020), kteří v konečném stádiu experimentu konstatovali, že s postupnou délkou skladování tavených sýru konstantně roste u všech vzorků i jejich

tvrdost, a to bez přímé závislosti k použité koncentraci tavicích solí. Bulut-Solak a Akin (2019) tuto skutečnost vysvětlují, že v průběhu času dochází k nárstu hodnot tvrdosti vlivem poklesu hodnot pH a zvýšením obsahu sušiny. Jak je známo, primární fáze proteolýzy nastává během prvních 2 až 4 týdnů a zahrnuje oslabení para-kaseinové sítě a nakonec vede ke změkčení textury, zejména tvrdosti. To také souvisí se studií publikovanou Kapoorem a Metzgerem (2008). Kapoor a Metzger (2008) uvedli, že když se obsah intaktního kaseinu v přírodním sýru používaném pro výrobu taveného sýru snížil, tvrdost taveného sýra se mohla snížit kvůli zvyšující se úrovni proteolýzy (Bulut-Solak a Akin, 2019).

Dle Weiserová a kol. (2011), Nagyové a kol. (2012), Mizuno a Lucey (2005a), Bulut- Solak a Akin (2019) nebo Shirashoji a kol. (2010) si lze toto zvyšování tvrdosti v průběhu skladování vysvětlit hydrolyzou použitých tavicích solí, která se podílí na vývoji textury sýru a závisí na rozsahu proteolýzy. Samozřejmě mohou hydrolyzovat i další složky jako např. laktóza. Tyto rozkladné reakce jsou odstartovány již v průběhu tavicího procesu a jejich doznívání zaznamenáváme i během skladování. Výsledkem hydrolyzy je pak postupné uvolňování vápenatých iontů díky snížení afinity (\rightarrow vlivem poklesu fosforečnanových jednotek) a jejich následné zabudovávání do proteinové matrice taveného sýru, což má za následek i zvýšení tvrdosti ve finálním vzorku taveného sýru. Když to shrneme, tak k hydrolyze tavicích solí dochází v průběhu času a zahrnuje pozvolnější změny ve struktuře v důsledku malých změn hodnot pH. Mimo již zmíněné je textura taveného sýru navíc ovlivněna mnoha dalšími faktory, zejména biochemickými a fyzikálně chemickými změnami. Nejnižší hodnoty tvrdosti byly zjištěny první den u všech vzorků tavených sýrů bez ohledu na použití konkrétního typu a druhu tavicí soli. Výsledky závislosti tvrdosti tavených sýrů na přídatku fosforečnanů s různou délkou řetězce během 60-ti denního skladování (6 ± 2 °C) jsou blíže znázorněny na obrázcích 19 - 24.

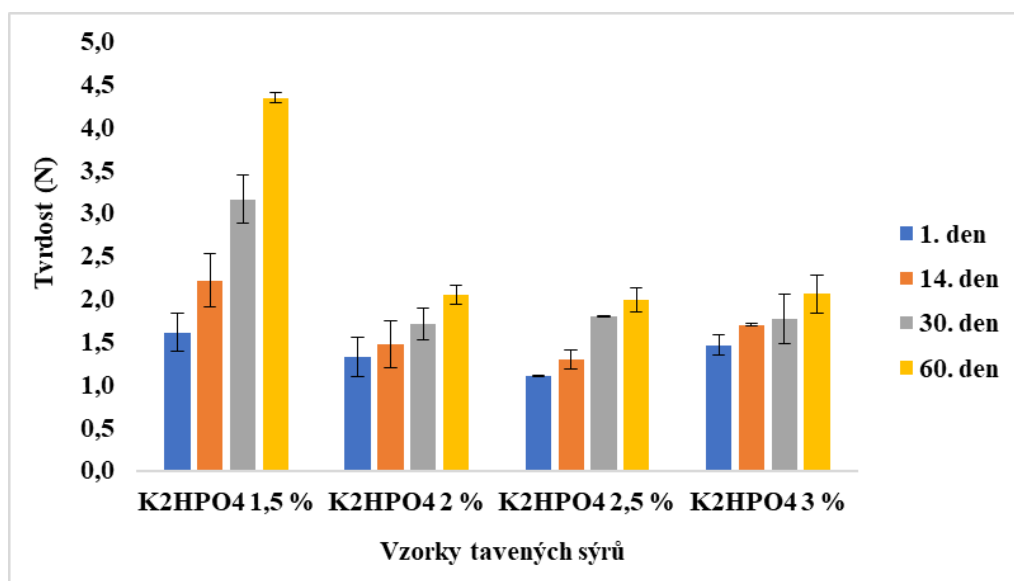
Obecně platí, že s rostoucí délkou řetězce sodných solí fosforečnanů roste také schopnost iontové výměny, neboť přídatek tavicích solí vede k dispergaci kaseinu čili pokud je iontová výměna intenzivní, tak lze očekávat o to intenzivnější dispergaci kaseinových frakcí. Ta těmto bílkovinám umožní lépe uplatnit své emulgační a hydratační schopnosti tím, že ve směsi stabilizuje přítomný tuk i vodu. S rostoucím rozsahem procesů hydratace proteinů a emulgace tuku narůstá také intenzita interakcí v tavenině a tím také intenzita zesítování kaseinů. Z toho vyplývá, že čím vyššího stupně zesítování v matici výrobku dosáhneme, tím tužší tavený sýr lze očekávat (Nagyová a kol., 2012) Ke stejným závěrům došli ve svých pracích i Marchesseau a kol. (1997) nebo Weiserová a kol., (2011).

Toto tvrzení se v rámci experimentu za použití draselných tavicích solí příliš neztotožňovalo, neboť u všech vzorků tavených sýrů s rostoucí délkou řetězce draselných tavicích solí se tvrdost konstantně nezvyšovala. Toto tvrzení bylo potvrzeno u všech třech tavicích solí jedině při koncentraci 2 %, kde docházelo ke konstantnímu zvýšení tvrdosti v průběhu skladování a tavený sýr s přídavkem 2 % $K_5P_3O_{10}$ dosahoval významně vyšších hodnot v rámci všech skladovacích dnů ve srovnání se všemi použitými draselnými tavicími solemi. Z hlediska ostatních aplikovaných koncentrací, kdy tento trend nebyl vždy úplně dodržen si lze vysvětlit i vlivem samotného pH. Mizuno a Lucey (2007) tvrdí, že iontová výměna nezávisí pouze na délce řetězce, ale také na pH systému. Při obousměrném vzdálení se od optima můžeme očekávat pokles schopnosti iontové výměny, který následně vede ke snížení intenzity dispergace kaseinů, což by mohlo mít za následek pokles hodnot tvrdosti, který nebyl kompenzován mírným posunem pH směrem k izoelektrickému bodu kaseinu. (Nagyová a kol., 2012; Mizuno a Lucey, 2007).

Při aplikaci samostatných sodných tavicích solí rostla tuhost tavených sýrů u výrobků s přídavkem 1,5 % a 2 % koncentrace vybraných tavicích solí v následujícím pořadí: $Na_2HPO_4 < Na_5P_3O_{10} < Na_4P_2O_7$, čímž bychom potvrdili obdobné trendy pro tavicí soli Na_2HPO_4 a $Na_4P_2O_7$, ke kterým došli ve svých studiích také Weiserová a kol. (2011) a Buňka a kol. (2012, 2013). Ti tento trend ve svých pracích zdůvodňují především odlišnou dispergací kaseinů a jejich hydrolytických štěpů v závislosti na jednotlivých fosforečnanech, u kterých se tato schopnost může významně lišit, včetně mnoho dalších rozdílných účinků mající vliv na konečnou pevnost všech vzorků. Proto z důvodu použití velkého množství odlišných druhů tavicích solí v tomto experimentu lze očekávat i různé hodnoty tvrdosti u modelových vzorků tavených sýrů. Toto tvrzení lze navíc podpořit i dalšími studiemi jako jsou například od Shirashoji a kol. (2010) nebo Mizuno a Lucey (2005a, 2005b), kteří ve svých pracích došli navíc k závěru, že každý typ tavicí soli ovlivňuje kaseinové micely různými mechanismy, přičemž použití 0,7 % orthofosforečnanu sodného (Na_2HPO_4) nemělo nijak významný vliv na množství vápníku a fosforu vázaného na kasein. Naopak za použití vyšších koncentrací např. pyrofosforečnanu tetrasodného ($Na_4P_2O_7$) již bylo zaznamenáno vyšší množství vápníku a fosforu vázaného na kaseinové micely, čímž je podpořeno i zvýšení tvrdosti u vzorku. Z těchto skutečností je tedy patrné, že množství fosforu vázaných na kaseinové micely je v přímé souvislosti s intenzitou tvrdosti u vzorku (→ čím více P jednotek, tím vyšší tuhost) a tvrdost u vzorků roste s přídavkem soli v tomto pořadí: monofosforečnany < difosforečnany < trifosforečnany

< polyfosforečnany (Mizuno a Lucey, 2005a). Pokud bychom chtěli srovnat stejný typ solí i v rámci draselných tavicích solí, konkrétně tavicí soli $K_4P_2O_7$ a K_2HPO_4 , tak se dosáhlo opět totožného trendu jako u výrobků s použitím sodných tavicích solí. Tavicí sůl $K_5P_3O_{10}$ se ve srovnání s těmito dvěma solemi významně lišila při koncentraci 2 %, neboť u ní byla zaznamenána nejvyšší tvrdost. Co se týče ostatních koncentrací této soli ve výrobku tavených sýrů, opět si drží v tvrdosti po tavicí soli $K_4P_2O_7$ druhé místo, případně u některých koncentrací v rámci různých dnů skladování se tato sůl blíží na podobné hodnoty tvrdosti jako byly získány pro K_2HPO_4 . Je nutno si uvědomit, že aplikovaný druh tavicí soli ve vzorku tavených sýrů ovlivňuje parametr tvrdosti pokaždé jiným způsobem, avšak rostoucí trend během 60-ti denního skladování je u všech vzorků tavených sýrů zachován.

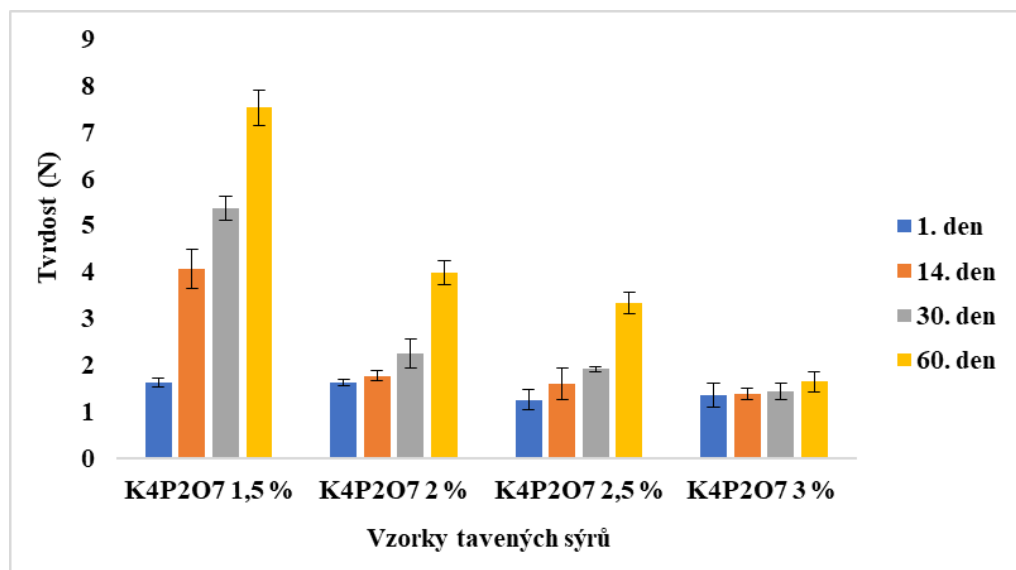
Nejvyšší nárůst tvrdosti lze zaznamenat po 60 dnech skladování u všech vzorků tavených sýrů s přidavkem draselných tavicích solí. Tvrdost tavených sýrů s přidavky tavicí soli K_2HPO_4 se pohybovala v intervalovém rozmezí od 1,10 do 4,35 N, přičemž nejnižší hodnotu vykazoval vzorek s přidavkem 2,5 % K_2HPO_4 . Naopak vzorek s přidavkem 1,5 % této tavicí soli měl v posledním dni skladování nejvyšší hodnotu ze všech, a tudíž projevoval i nejvyšší pevnost. V rámci této soli docházelo v průběhu skladování u všech koncentrací k postupnému nárůstu tvrdosti, kdy ten největší skok lze zaznamenat e u 1,5 % K_2HPO_4 v 60. dnu skladování, viz. obrázek 19. U vzorků s 2 %, 2,5 % a 3 % K_2HPO_4 je patrné, že nárůst tvrdosti měl pozvolný charakter a hodnoty se pohybovaly v podobných intervalových hladinách.



Obrázek 19: Závislost tvrdosti taveného sýru s přidavkem tavicí soli K₂HPO₄ o různých koncentracích (1,5 - 3,0 %) na délce skladování

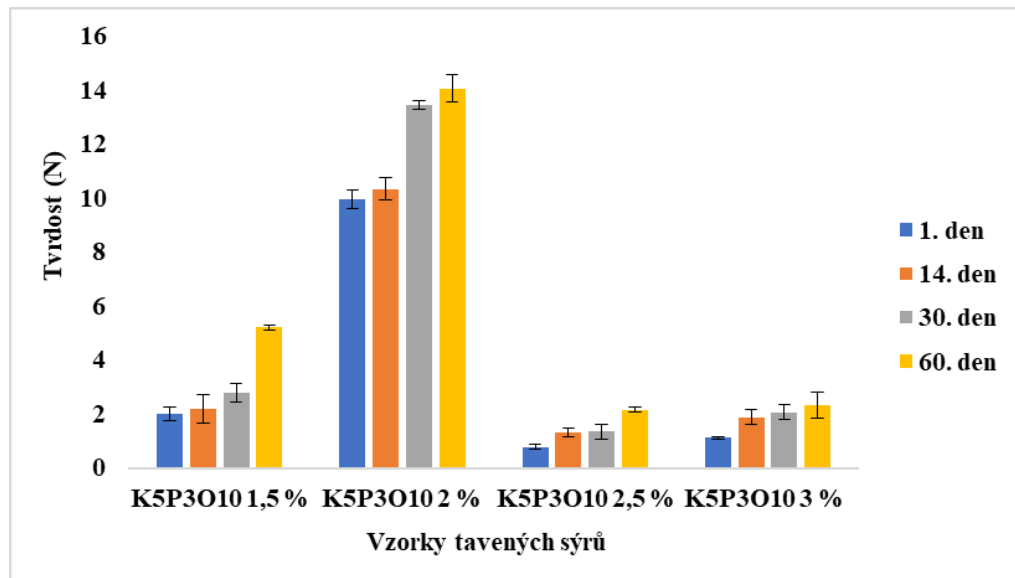
U modelových vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli K₄P₂O₇ o koncentraci 1,5 % lze zaznamenat podobný trend jako u předchozí soli jen s tím rozdílem, že u soli K₄P₂O₇ dosahují hodnoty tvrdosti mnohem vyšších hladin, neboť se pohybují v rozmezí od 1,26 do 7,53 N. Nejnížší hodnotu opět vykazoval vzorek s 2,5 % K₄P₂O₇. Nejmenší rozdíly hodnot tvrdosti v průběhu skladování byly zjištěny u 3 % vzorku K₄P₂O₇.

Jedním z možných faktorů ovlivňující zvýšení hodnot tvrdosti u vzorků tavených sýrů v průběhu skladování by také mohlo být v souladu se zvyšujícími se úrovněmi sušiny, která hraje důležitou roli v texturních vlastnostech vzorků. Zvýšení obsahu sušiny by také mohlo posílit strukturu sýrových sítí a zvýšit soudržnost proteinové matrice, aby se stala tvrdší. Jedním z nejpozoruhodnějších účinků na tvrdost sýra je také to, že hydrolýza peptidových vazeb uvolňuje dvě nové nabitě skupiny, které soutěží o vodu, čímž se snižuje obsah volné vody v sýru (Bulut-Solak a Akin, 2019).



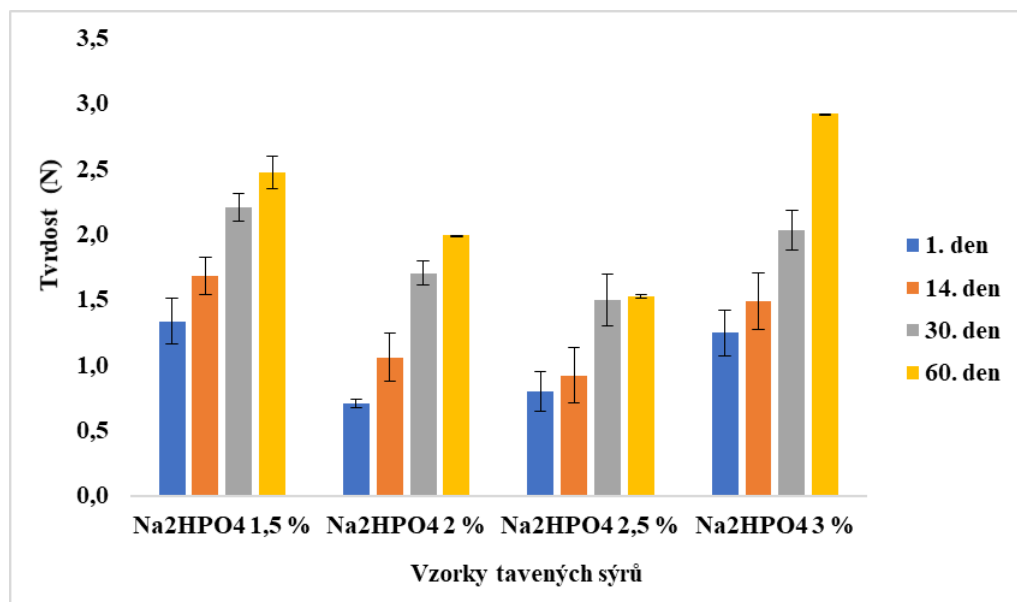
Obrázek 20: Závislost tvrdosti taveného sýru s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ o různých koncentracích (1,5 - 3,0 %) na délce skladování

Naopak u vzorku s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ dochází ve srovnání s přechozími tavicími solemi k nepatrné změně, kdy největší pevnost vykazuje vzorek s přidavkem 2 % $K_5P_3O_{10}$ s hodnotou tvrdosti 14,07 N, která je beze sporu ze všech použitých solí nejvyšší. Všeobecně se hodnoty tvrdosti u této soli pohybují v širším rozmezí od 0,78 do 14,07 N. Nejnížší hodnoty tvrdosti byly zjištěny u vzorku s 2,5 a 3 % přidavkem $K_5P_3O_{10}$. U vzorků s draselnými tavicími solemi jsme si mohli také všimnout klesajícího trendu v závislosti na koncentraci tavicí soli. Je patrné, že tvrdost vzorků tavených sýrů převážně klesala s rostoucím přidavkem draselných tavicích solí, výjimkou je vzorek s přidavkem 2 % $K_5P_3O_{10}$, o kterém jsme se již zmiňovali výše. Lucey a kol. (2003) ve své práci uvedli, že hodnoty tvrdosti vzorků tavených sýrů klesaly se zvyšujícími se hodnotami pH v důsledku zvýšeného elektrostatického odpuzování mezi micelami kaseinu. Tato hypotéza byla také námi potvrzena s výjimkou tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ o koncentraci 2 %, kdy tvrdost u tohoto vzorku měla opačný charakter. Stejný trend byl potvrzen u vzorků s přidavkem sodných tavicích solí, konkrétně u tavicích solí Na_2HPO_4 a $Na_5P_3O_{10}$ o koncentraci 3 %.



Obrázek 21: Závislost tvrdosti taveného sýru s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ o různých koncentracích (1,5 - 3,0 %) na délce skladování

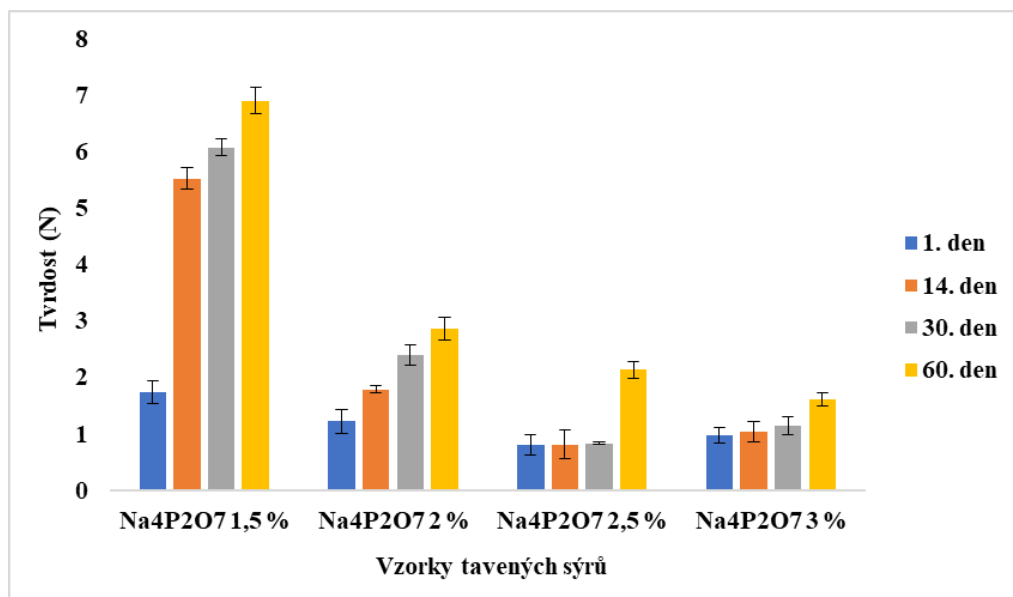
V rámci skupiny vzorků tavených sýrů se sodnými tavicími solemi byl zaznamenán stejný trend jako s použitím draselných tavicích solí, a to že s délkou skladování nám postupně roste tvrdost u všech vzorků. Bohužel už nám neplatí trend, který naznačoval klesání tvrdosti s přidavkem vyšší koncentrace tavicí soli. Tento trend je dodržen pouze u vzorku s tavicí solí $Na_4P_2O_7$, u ostatních vzorků s přidavkem tavicích solí Na_2HPO_4 a $Na_3P_5O_{10}$ je tento trend s klesajícím charakterem narušen v 60. dnu skladování, kdy naopak hodnoty tvrdosti znovu vzrůstají na hodnoty o něco vyšší, než jaké byly zjištěny u vzorků s koncentrací 1,5 % tavicí soli. Z obrázku 22 je patrné, že nejvyšší hodnoty tvrdosti v rámci tavicí soli Na_2HPO_4 byly zjištěny u vzorku o koncentraci 3 % (2,92 N), naopak nejnižší hodnota převládala u vzorku o koncentraci 2 % o hodnotě tvrdosti 0,71 N. Můžeme si také všimnout, že hodnoty tvrdosti v průběhu skladování rostly relativně pozvolným charakterem bez významně velkých skoků mezi jednotlivými vzorky navzájem.



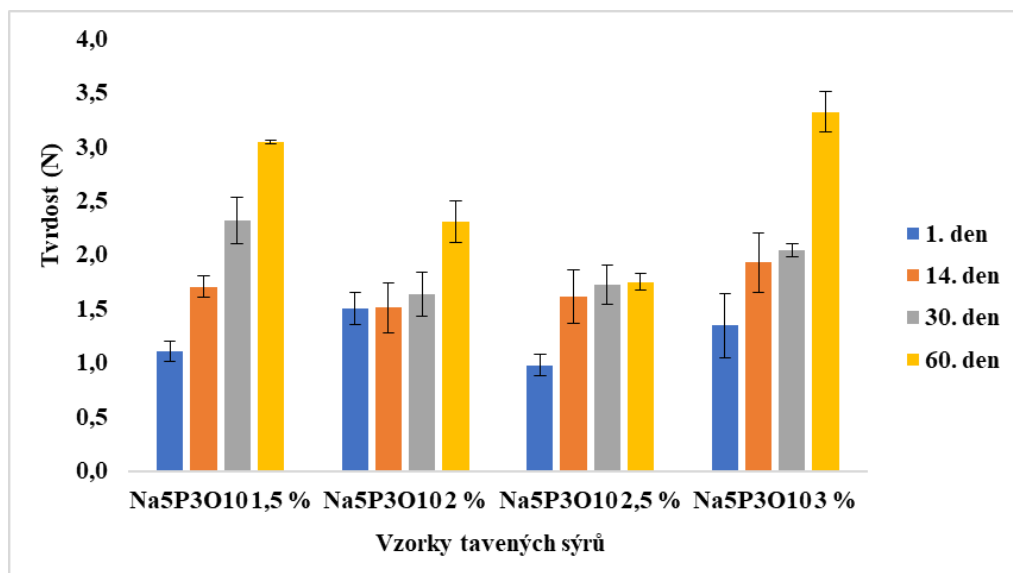
Obrázek 22: Závislost tvrdosti taveného sýru s přidavkem tavicí soli Na₂HPO₄ o různých koncentracích (1,5 - 3,0 %) na délce skladování

Ohledně vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli Na₄P₂O₇ lze jednoznačně říci, že pevnost vzorků klesá s rostoucí koncentrací tavicí soli, přičemž mezi koncentrací 1,5 % a 2 % přidavku tavicí soli vzniká značný pokles tvrdosti. Z hlediska pevnosti vzorku dominuje vzorek s koncentrací 1,5 % o hodnotě tvrdosti 6,90 N, naopak nejnižší hodnoty tvrdosti dosáhl vzorek s koncentrací 2,5 % (0,81 N), u kterého lze také pozorovat značný skok z hlediska tvrdosti v 60. dnu skladování. U ostatních koncentrací vývoj tvrdosti měl relativně pozvolný charakter. Pozorovaný pokles tvrdosti tavených sýrů, zejména u tavicích solí Na₂HPO₄ a Na₄P₂O₇, mohl být způsoben schopností polyfosfátů nabíjet kasein více zápornými ionty, což vede k nižší intenzitě hydrofobní interakce mezi dispergovaným kaseinem (Salek a kol., 2016; Mizuno a Lucey, 2007).

Podle obrázku 24 se nám může na první pohled zdát, že hodnoty tvrdosti u vzorku s tavicí solí Na₅P₃O₁₀ jsou velmi podobné s hodnotami tvrdosti, které byly naměřeny u vzorků tavených sýrů s tavicí solí Na₂HPO₄, což je pravdivé tvrzení s tím rozdílem, že hodnoty tvrdosti dosahovaly u Na₅P₃O₁₀ nepatrně o něco vyšších hladin (3, 32 N). Nejnižší pevnost tu pak byla zaznamenána kolem 0,98 N, a to u vzorku s koncentrací 2,5 % Na₅P₃O₁₀.



Obrázek 23: Závislost tvrdosti taveného sýru s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ o různých koncentracích (1,5 - 3,0 %) na délce skladování



Obrázek 24: Závislost tvrdosti taveného sýru s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ o různých koncentracích (1,5 - 3,0 %) na délce skladování

6.2.2 Relativní lepivost a kohezivnost

Lepivost je označení práce potřebné k překonání přitažlivých sil mezi povrchem taveného sýra a povrchem sondy. Vzhledem k penetračním zkouškám byl zvolen parametr relativní lepivosti (vztažený k tuhosti vzorku) (Nagyová a kol., 2012). Hodnoty relativní lepivosti jednotlivých vzorků tavených sýrů se pohybovaly pro konkrétní draselné tavicí soli v závislosti na délce skladování v intervalech: K_2HPO_4 , 0,44 - 0,99; $K_4P_2O_7$, 0,38 - 1,15; $K_5P_3O_{10}$, 0,38 - 1,72, přičemž nejvyšší relativní lepivost byla naměřena u vzorku taveného sýru 1. den po výrobě s přídavkem 2 % $K_5P_3O_{10}$ a nejnižší hodnota byla zjištěna u téže soli jen o koncentraci 1,5 % v 30. dnu skladování. Dále bylo zjištěno, že hodnoty relativní lepivosti u všech vzorků s přídavkem draselných tavicích solí, s výjimkou tavicích solí K_2HPO_4 o koncentracích 2 % a 2,5 %, $K_4P_2O_7$ o koncentraci 3 % a $K_5P_3O_{10}$ o koncentraci 1,5 %), byly k poslednímu dnu skladování nižší, než jak tomu bylo u nich na počátku výroby. Tato skutečnost vede k domněnce, že doba skladování má významný vliv na finální hodnoty relativní lepivosti.

Pro vzorky tavených sýrů s přídavkem sodných tavicích solí pak tyto hodnoty byly pro konkrétní tavicí soli v závislosti na době skladování následující: Na_2HPO_4 , 0,39 – 1,12; $Na_4P_2O_7$, 0,44 - 1,47; $Na_5P_3O_{10}$, 0,34 - 1,54. Nejvyšší hodnotu relativní lepivosti disponoval výrobek s tavicí solí $Na_5P_3O_{10}$ o koncentraci 2 % v 1. den skladování, naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána 30. den skladování u vzorku s tavicí solí $Na_5P_3O_{10}$ o koncentraci 1,5 %. Z toho vyplývá, že došlo ke změnám relativní lepivosti u stejných vzorků tavených sýrů za použití stejného typu tavicí soli, jako tomu bylo u vzorků s draselnými tavicími solemi. Opět hodnoty relativní lepivosti s dobou skladování u všech vzorků klesaly, s výjimkou vzorku s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ o koncentraci 1,5 %. Výše relativní lepivosti má vliv na roztíratelnost tavených sýrů, přičemž čím vyšší je hodnota relativní lepivosti, tím lze očekávat roztíratelnější výrobek. Sołowiej a kol. (2020) popisují, že přídavek tavicí soli přímo ovlivňuje hodnotu relativní lepivosti, přičemž s rostoucí koncentrací tavicí soli úměrně klesá i hodnota relativní lepivosti, a tudíž i samotná lepivost výrobku. Bohužel tuto studii nebylo možné jednoznačně potvrdit u všech vzorků tavených sýrů s přídavkem jak draselných, tak sodných tavicích solí, neboť každý druh tavicí soli fungoval odlišně. Tohoto trendu se podařilo dosáhnout pouze u vzorků s tavicími solemi $Na_4P_2O_7$ a $Na_5P_3O_{10}$.

Posledním sledovaným parametrem byla kohezivnost (soudržnost), která je popisována jako síla vnitřních vazeb, které tvoří potravinu jako takovou (v našem případě sýrový systém) (Nagyová a kol., 2012). Hodnoty kohezivnosti se všeobecně pohybovaly v závislosti na době skladování pro vzorky s draselnými tavicími solemi intervalu 0,318 - 0,731 a pro vzorky se sodnými tavicími solemi v rozmezí od 0,493 do 0,920. Jak s rostoucí délkou fosforečnanového řetězce, tak s rostoucí koncentrací tavicích solí nebyl pozorován jednoznačný trend ve změnách kohezivnosti ani relativní lepivosti modelových vzorků tavených sýrů. K obdobným závěrům došli ve své studii Nagyová a kol. (2012), jejichž hodnoty relativní lepivosti i kohezivnosti se pohybovaly v nižší hladině hodnot. Faktem však zůstává, že v naší studii byly použity různé a přesně definované koncentrace daných typů tavicích solí, zatímco v jejich studii byly zmíněné pouze druhy použitých tavicích solí, nikoli však jejich konkrétní koncentrace. Proto není zcela vyloučeno, že jsme se v určitých koncentracích daných tavicích solí s jejich výsledky taktéž shodovali. U většiny vzorků s draselnými tavicími solemi na konci skladování docházelo ke snižování soudržnosti, které si můžeme vysvětlit se související primární proteolýzou mající vliv na texturní vlastnosti taveného sýru, přičemž se zvyšující se proteolýzou klesá trend soudržnosti. K analogickému závěru došli ve své studii i Lane a kol. (1997). Výjimkou byly vzorky tavených sýrů s tavicími solemi $K_5P_3O_{10}$ (1,5 %, 2 %, 2,5 %) a K_2HPO_4 (2 %, 2,5 %), u kterých došlo na konci měření ke zvýšení hodnot soudržnosti. Stejného trendu se dosáhlo také u všech vzorků se sodnými tavicími solemi. Tento trend byl pozorován ve studii Bulut-Solak a Akin (2019), ve kterém došli k poznatku, že se zvyšující se dobou skladování hodnota soudržnosti stoupá. Tento jev zdůvodnili, že zvyšování koheze by mohlo být způsobeno nadměrnými interakcemi mezi mléčnými bílkovinami. Největší hodnota soudržnosti v 60. den skladování byla naměřena u vzorku s tavicí solí K_2HPO_4 o koncentraci 2 % (0,731) a Na_2HPO_4 o koncentraci 2,5 % (0,815). Zvyšující přídavek jednotlivých tavicích solí neměl přímo prokazatelný vliv na hodnoty soudržnosti.

6.3 Výsledky dynamické oscilační reometrie

Nejen tavené sýry, ale většina jiných pevných a polotuhých potravin vykazují vlastnosti jak elastické pevné látky, tak viskózní tekutiny, a proto jsou označovány jako viskoelastické látky. (Sutheerawattananonda a Bastian, 1998). Pomocí dynamické oscilační reometrie je možné získat souhrnný pohled o těchto látkách z hlediska fyzikálních vlastností, přičemž nám k tomu dopomůžou získané hodnoty elastického modulu pružnosti (G'), ztrátového modulu pružnosti (G''), komplexního modulu pružnosti (G^*) a parametr $\tan \delta$ (tangens úhlu fázového posunu). Hodnoty G^* (komplexního modulu) a $\tan \delta$ získáme výpočtem ze vzorce (viz. materiál a metodika) z elastického a ztrátového modulu pružnosti (Tamine a kol., 2011).

Hlavním cílem v této práci bylo, zda draselné tavicí soli ve srovnání se sodnými tavicími solemi významně ovlivňují u tavených sýrů jejich viskoelastické vlastnosti, jež jsou pro tyto výrobky typickým znakem. Modelové vzorky tavených sýrů byly podrobeny reologické analýze v průběhu celé doby skladování (1., 14., 30. a 60. den od výroby). Na obrázcích 25 - 48 jsou znázorněny pro vzorky tavených sýrů s přidavkem draselných tavicích solí dva vyhodnocující parametry, a to elastický model pružnosti (G') a ztrátový model (G'') pružnosti v závislosti na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz a jejich vývoj v průběhu skladování. To stejné nalezneme na obrázcích 49 - 72, ovšem pro vzorky tavených sýrů s přidavkem sodných tavicích solí.

Mechanické chování taveného sýru lze popsat pomocí elastického modulu pružnosti (G'), jenž popisuje míru chování „v pevném stavu“, čímž je myšleno že materiál je schopen ukládat vratně energii a tím vykazovat elastické chování (pevnost). Zatímco ztrátový modul pružnosti (G'') je mírou jeho chování jako kapaliny, neboť přeměna tepla je zde nevratná, a tudíž se materiál chová viskózně (tekutost). Podle toho, který z těchto dvou parametrů značně převažuje, lze u výrobků konstatovat, zda vykazují více elastické nebo spíše viskózní chování. Všechny vzorky taveného sýru bez ohledu na to, zda byla použita draselná nebo sodná tavicí sůl během výroby, se chovaly jako gely, neboť G' byla vždy větší než G'' v celém frekvenčním rozsahu 0,1 - 100,00 Hz, případně G'' dosahovala podobných hladin. Ze zjištěných výsledků lze konstatovat, že všechny vzorky tavených sýrů vykazovaly elastické chování (pevnost). Oba moduly se zvyšovaly s frekvencí, což naznačuje typické chování slabého gelu, přičemž ke stejnému závěru došli ve své práci také Ningtyas a kol. (2017), kteří studovali nejen reologické vlastnosti tavených sýrů, ale mnoho dalších

významných atributů. Parametry G' a G'' se měnily v závislosti na obsahu tavicích solí ve vzorku tavených sýrů, což naznačuje předpokládané změny ve viskoelastických vlastnostech tavených sýrů (Ningtyas a kol., 2017; Pavlínek a kol., 2015).

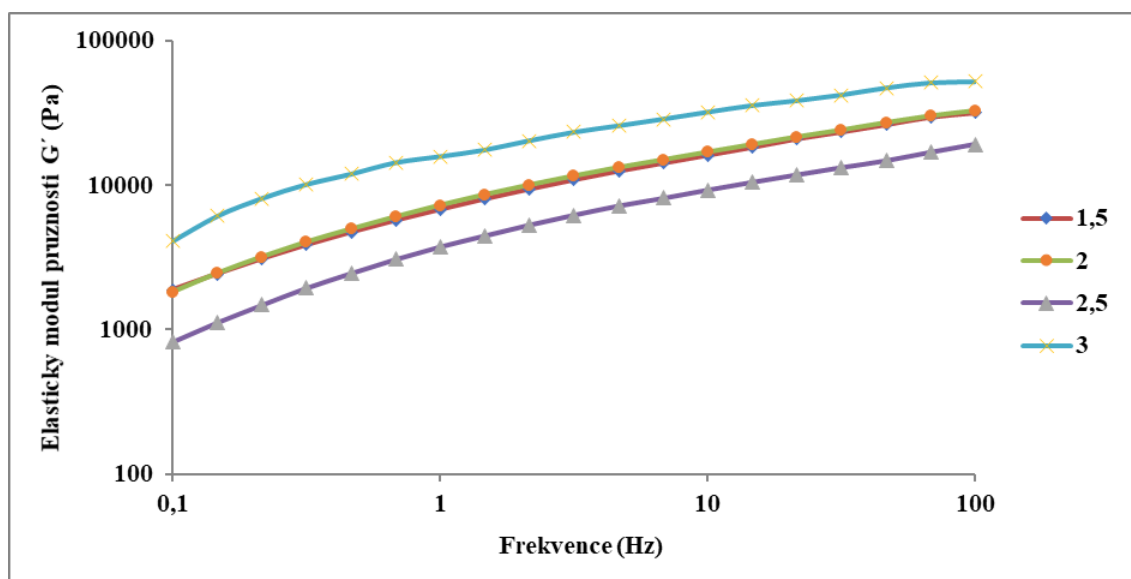
S rostoucí koncentrací tavicích solí jsme se na počátku experimentu domnívali, že by měla stejně tak růst i tvrdost vzorků tavených sýrů, nicméně tento trend se u všech vzorků nepotvrdil. To si můžeme zdůvodnit stejně jako již bylo zmíněno u tvrdosti (viz. podkapitola č. 6. 2. 1) tím způsobem, že aplikovaný druh tavicí soli působí na daný vzorek různými mechanismy, s čímž přímo souvisí intenzita iontové výměny vápenatých iontů za sodné probíhající mezi sýrovou maticí a přítomnou tavicí soli v průběhu tavicího procesu. Neboť čím intenzivnější iontová výměna ve vzorku probíhá, tím lze očekávat i vyšší stabilitu finálního výrobku taveného sýru. Obecně platí, že se zvyšujícím se počtem fosforečnanových jednotek roste i pevnost vzorku a jeho kompaktnost (Mizuno a Lucey, 2005a; Nagyová a kol., 2012). Naopak pokud by nám hodnoty elastického modulu pružnosti vycházely příliš nízké, naznačovalo by to použití nevhodné koncentrace tavicí soli během výroby tavených sýrů. Z této skutečnosti vyplývá, že námi zvolené koncentrace, včetně té nejnižší koncentrace byly adekvátně zvoleny (Lu a kol., 2007).

Ke stejným poznatkům došli v práci také Salek a kol. (2020), kteří rozdílné výsledky mezi vzorky tavených sýrů připisují právě rozdílnému množství a druhu použitých tavicích solí během výroby tavených sýrů. Mezi další atributy, které mají vliv na viskoelastické vlastnosti můžeme zařadit také hodnotu pH systému nebo potenciální hydrolyzu polyfosfátů, které mohou být příčinou vzniku vyšších hodnot parametrů G' a G'' , které konec konců vedou také ke zvýšené pevnosti a elasticitě u vzorků tavených sýrů. Toto riziko lze očekávat především u vzorků tavených sýrů s přídavkem fosforečnanových tavicích solí, ve finále vykazující u těchto produktů rozdílné viskoelastické vlastnosti (Pavlík a kol., 2015; Sádliková a kol., 2010).

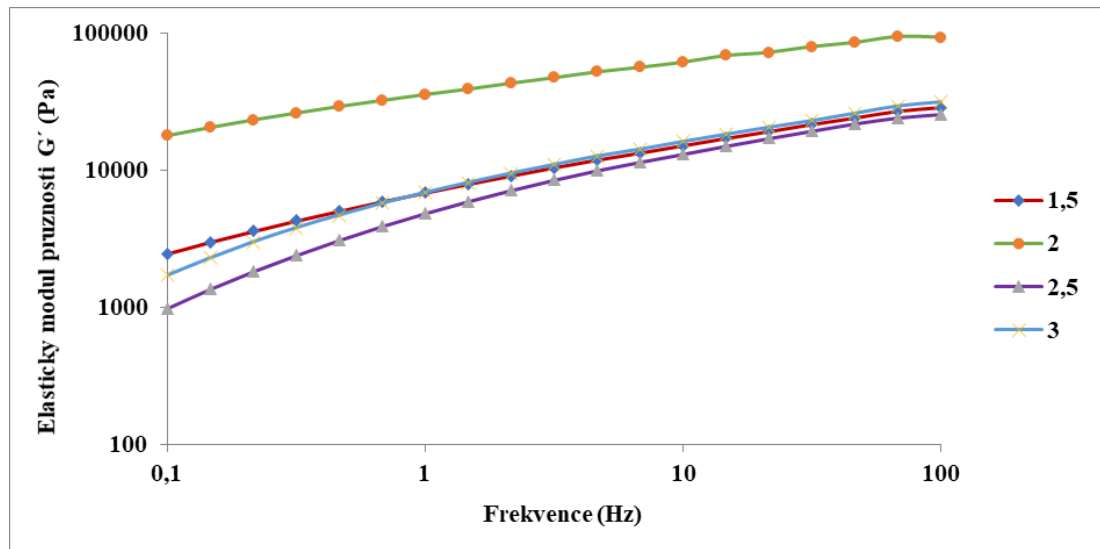
Vyšší sledované hodnoty pevnosti gelu, zjištěné během celé doby skladování například u vzorků tavených sýrů s přídavkem tavicích solí $K_5P_3O_{10}$ o koncentraci 2 % nebo u tavicí soli $Na_4P_2O_7$ o koncentraci 1,5 % lze pravděpodobně vysvětlit intenzivnějšími interakcemi vyskytujícími se ve vzorcích tavených sýrů, jako jsou vodíkové nebo disulfidické můstky, vápenaté můstky, hydrofobní interakce mezi kaseiny a tukem či elektrostatické vazby intervenované vápníkem mezi kaseiny, což vede v konečném důsledku k vytvoření „hustší“ síťové struktury. Na druhou stranu, snížené hodnoty pevnosti

gelu mohly být způsobeny právě poklesem v počtu těchto interakcí probíhajících v matici tavených sýrů. Příkladem takových vzorků můžeme uvést například tavené sýry s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ (2,5 %), K_2HPO_4 (2,5 %) nebo $Na_4P_2O_7$ (3 %) (Salek a kol., 2016; Nagyová a kol., 2012).

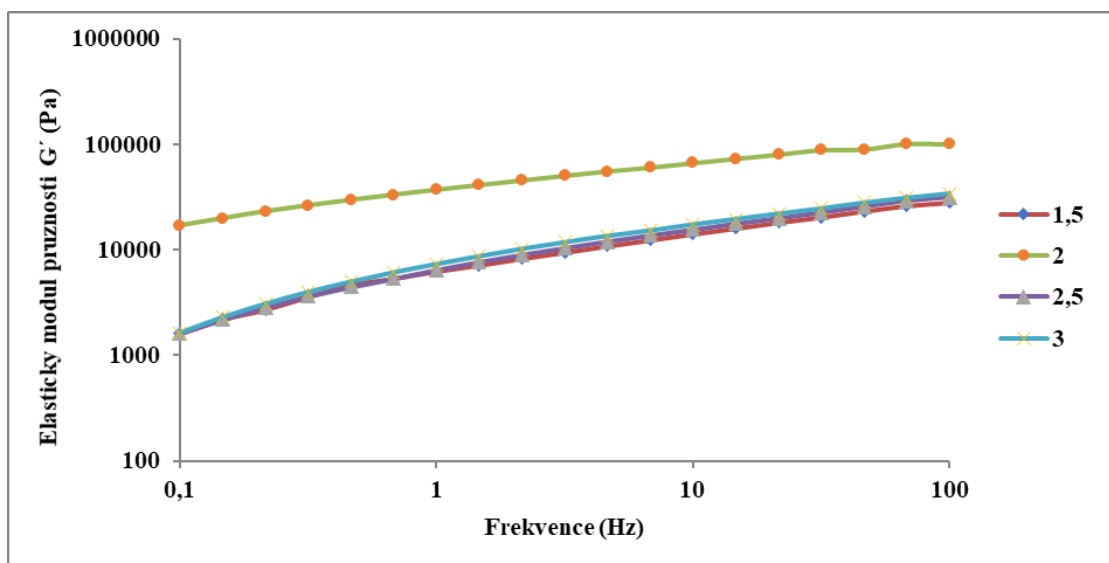
Výsledky závislosti elastického modulu pružnosti na frekvenci pro tavicí soli K_2HPO_4 , $K_4P_2O_7$ a $K_5P_3O_{10}$ o různých koncentracích v rámci prvního dne skladování jsou uvedeny na obrázcích 25-27. V rámci vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 nejvyšší hodnoty parametru G' vykazoval dle očekávání vzorek o koncentraci 3 %, naopak nejnižší u koncentrace 2,5 %. Zbylé koncentrace se pohybovaly zhruba ve stejné hladině. U vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicích solí $K_4P_2O_7$ a $K_5P_3O_{10}$ byla nejvyšší hodnota zaznamenána v obou případech u koncentrace 2 %. Jak již bylo zmíněno výše, neplatí tu trend, že se zvyšující se koncentrací tavicí soli také roste pevnost vzorků. Každá tavicí sůl pracuje ve vzorku odlišně, a tak nelze očekávat u všech vzorků tavených sýrů jednoznačný trend, který by se dal aplikovat na všechny tavicí soli. To samé tvrdí Nagyová a kol. (2012). Pokud bychom chtěli porovnat tavicí soli mezi sebou navzájem, tak nejvyšší pevnost vykazoval vzorek s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ o koncentrací 2 % s hodnotami $G' = 100\ 171,60$ Pa. Co týče ztrátových modulů pružnosti u všech tří solí, vykazovaly oproti elastickému modulu pružnosti nižší hodnoty, což vypovídá o elastickém chování vzorků, o kterém se blíže zmíníme v podkapitole 6. 3. 1. (viz. obrázky 37-39)



Obrázek 25: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)



Obrázek 26: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)

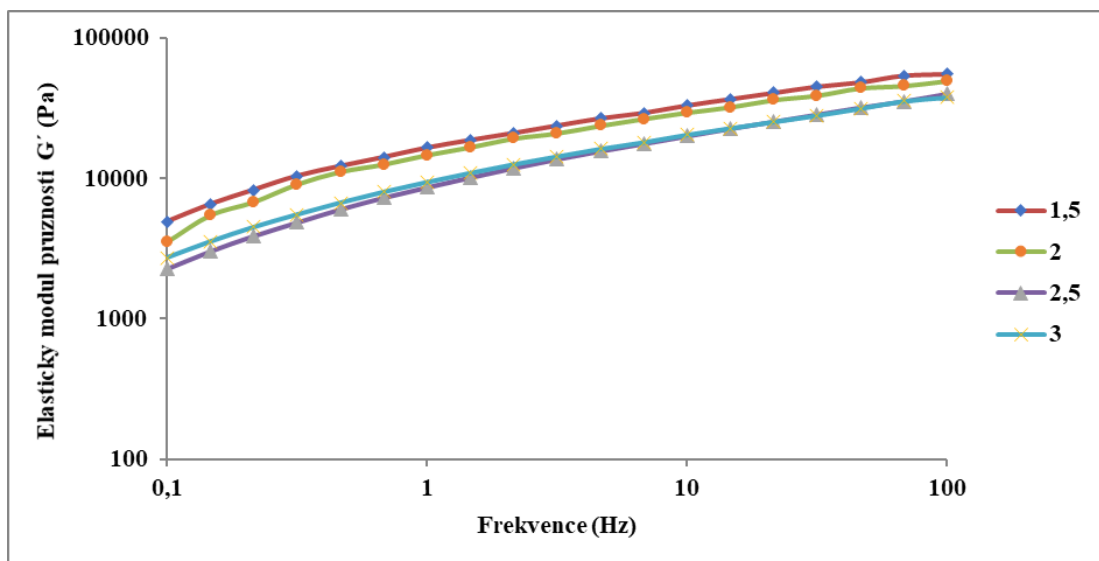


Obrázek 27: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)

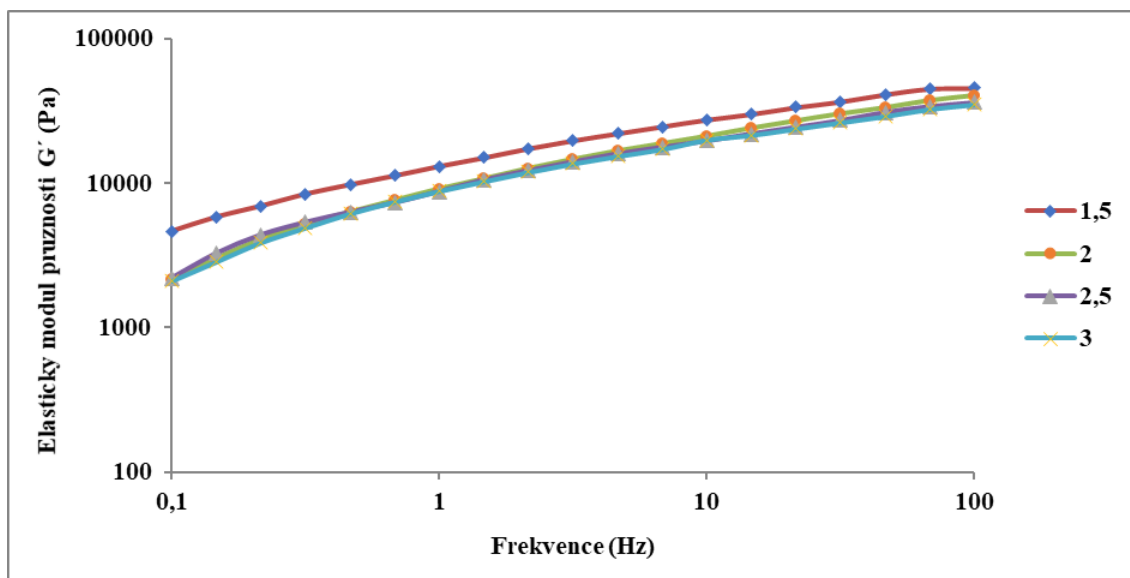
Z hlediska 14. dne skladování u tavicích solí K_2HPO_4 a $K_5P_3O_{10}$ došlo k nárůstu hodnot u parametru G' a naopak k očekávanému snížení hodnot u parametru G'' , kdy tedy platí vztah

$G' > G''$ (elastické chování). U tavicí soli $K_4P_2O_7$ v rámci parametru G' došlo pro změnu k snížení těchto hodnot, což mohlo být způsobeno během analýzy vlivem malých a velkých deformací. Ztrátový modul pružnosti si drží stále nižší hodnoty. Tento elastický model pružnosti je zobrazen na obrázcích 28-30. Glibowski a kol. (2008) došli ve své studii k závěru, že viskozita nekoreluje s tvrdostí, ale vysoká korelace byla potvrzena ve vztahu tvrdosti k roztíratelnosti vzorku. Tím jsme potvrdili jejich myšlenku v rámci tohoto experimentu u některých modelových vzorků tavených sýrů námi vyrobených. Také ve 14. dnu skladování u všech vzorků s draselnými tavicími solemi docházelo k nárůstu hodnot se zvyšující se frekvencí. Nejvyšších hodnot v rámci všech tří tavicích solí bylo dosaženo u 2 % $K_5P_3O_{10}$, naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána u téhož vzorku o koncentraci 2,5 %. Tyto výsledky jsou analogické s texturní profilovou analýzou. U vzorků s přídavkem tavicích solí K_2HPO_4 a $K_4P_2O_7$ se dosáhlo nejvyšších hodnot G' , a to v obou případech u koncentrace 1,5 %.

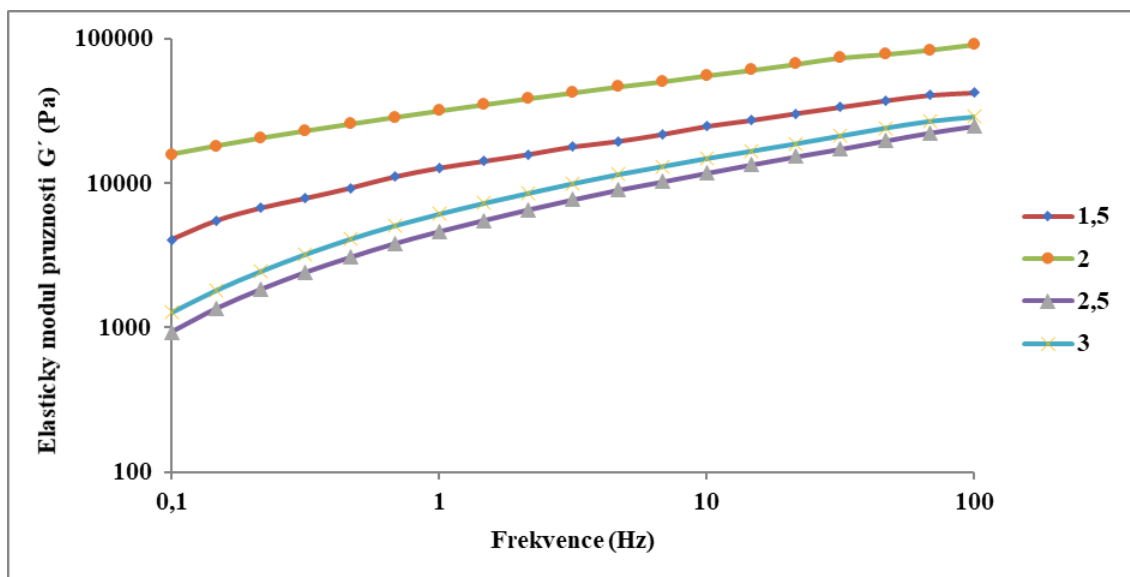
Pokud si vezmeme 1,5 % koncentraci v rámci všech tří tavicích solí z hlediska porovnání, tak je patrné že u tavicích solí K_2HPO_4 a $K_4P_2O_7$ vykazují hodnoty elastického modulu pružnosti nejvyšší pevnost vzorku, naopak u tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ je 1,5 % koncentrace až na druhém místě v pevnosti, kdy nejvyšší pevnost byla zjištěna u vyšší použité koncentrace (2 %). Ze zjištěných výsledků je tedy patrné, že nejlepší iontová výměna probíhala za přídavku tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ o koncentraci 2 %. Ztrátové moduly pružnosti všech vzorků se pohybovaly opět v nižších hladinách, než jak tomu bylo u elastických modulů pružnosti (Obrázky 40-42). Všechny zmíněné výsledky korelují s výsledky TPA.



Obrázek 28: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)



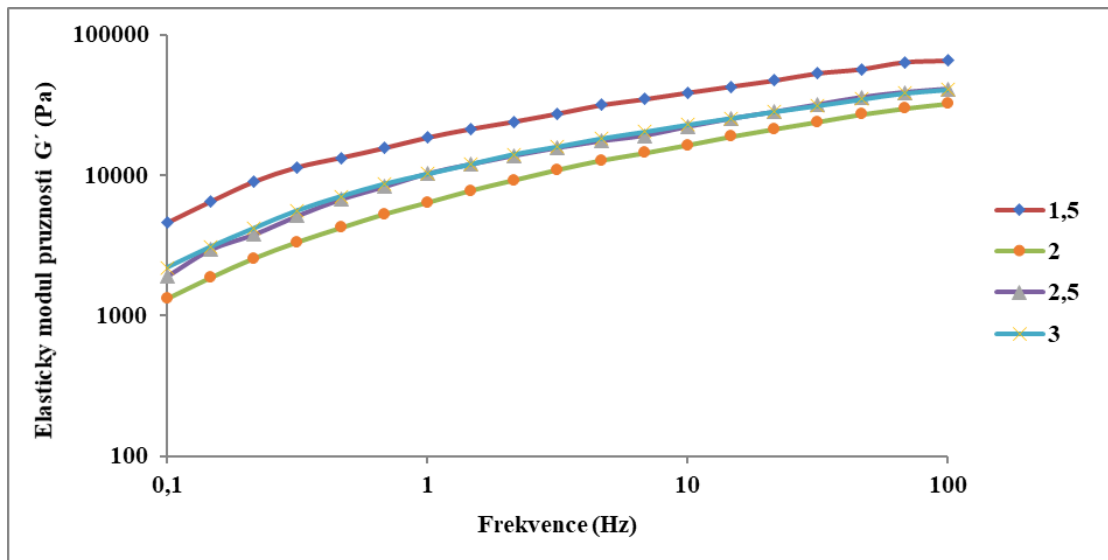
Obrázek 29: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)



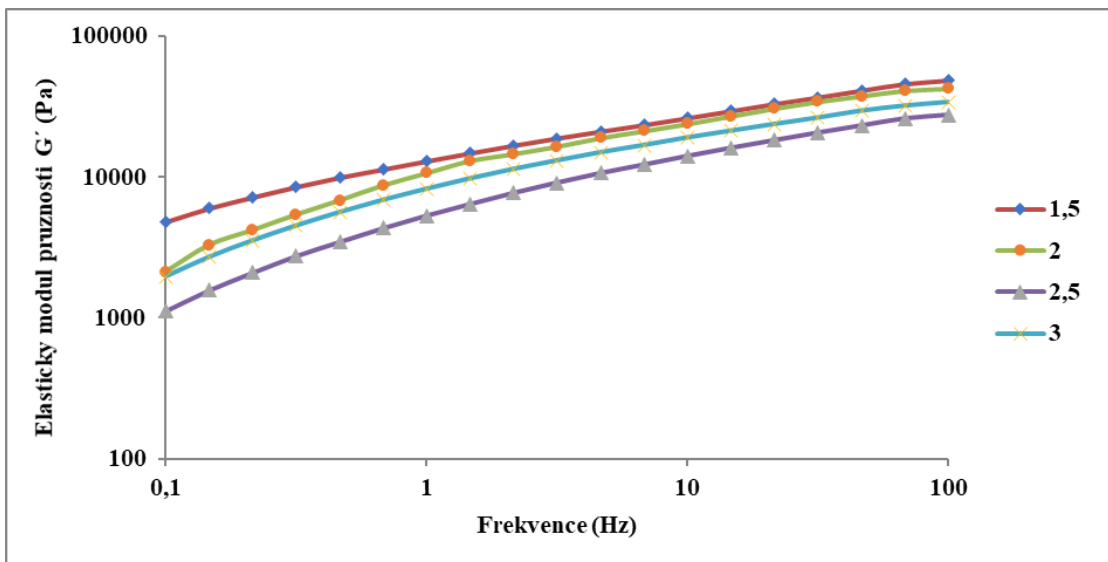
Obrázek 30: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)

Obrázek 31-33 popisuje elastický model pružnosti v 30. dnu od výroby, přičemž nejvyšších hodnot G' dosahuje ve srovnání se všemi třemi tavicími solemi opět vzorek $K_5P_3O_{10}$ o koncentraci 2 %. Hodnoty G' i v tomto dnu skladování s rostoucí frekvencí stoupají, tudíž se chovají jako gel. Díky tomu, že hodnoty G' převyšují hodnoty G'' můžeme mluvit o elastickém chování taveného sýru, který disponuje pevností. Ztrátové modely pružnosti nalezneme na obrázcích 43-45.

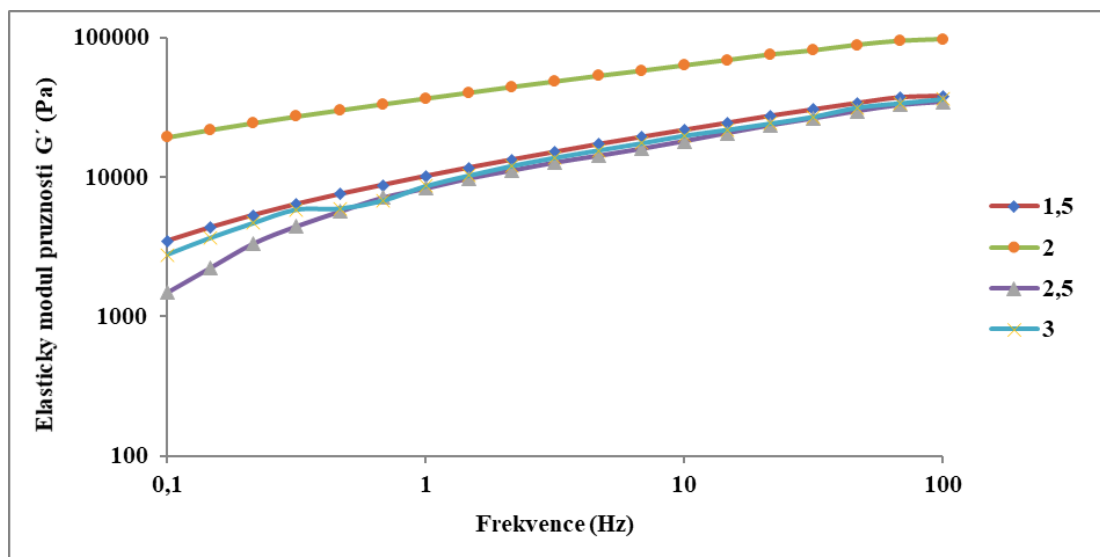
Při zaměření blíže na koncentraci 1,5 % v rámci všech tří tavicích solí, tak nejvyšších hodnot G' (68 989, 67 Pa) dosahuje tavicí sůl $K_4P_2O_7$. Naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána u vzorku s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$, přičemž hodnota činila 38 260,54 Pa. U tohoto typu soli očividně docházelo k slabší iontové výměně ve srovnání se zbývajícimi dvěma tavicími solemi. Tyto výsledky byly opět v souladu s texturní profilovou analýzou.



Obrázek 31: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)

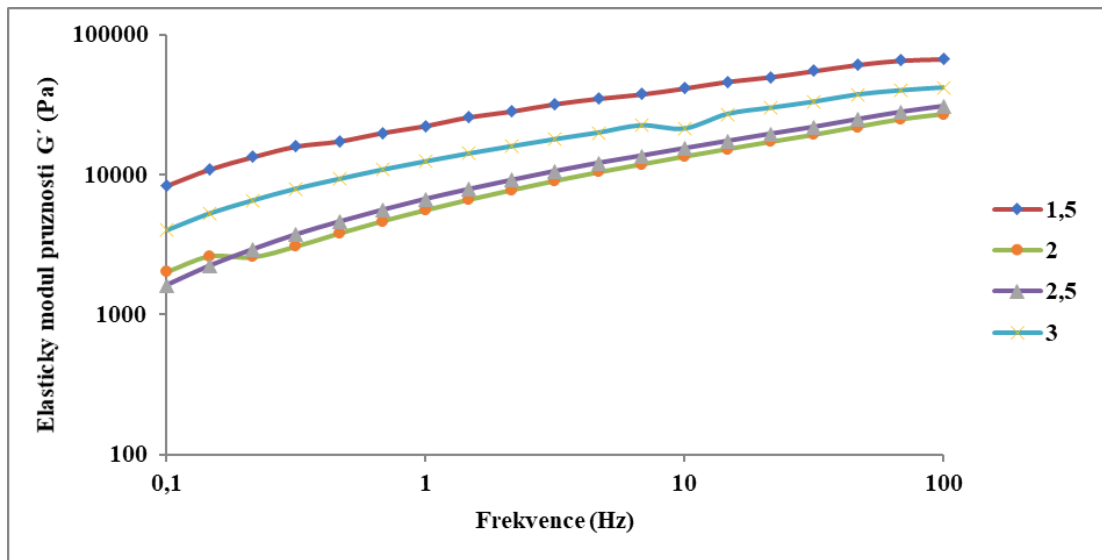


Obrázek 32: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)

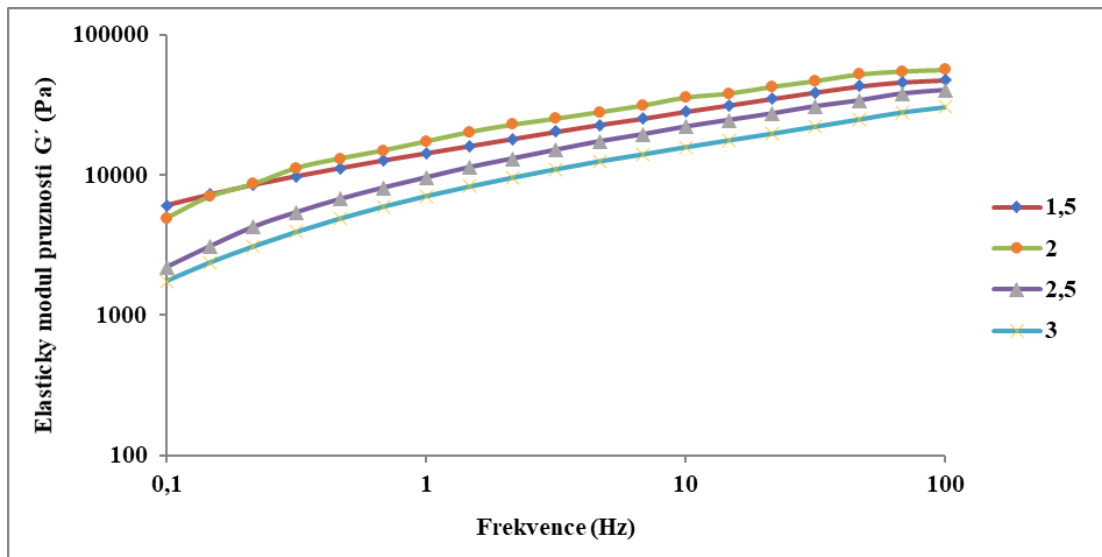


Obrázek 33: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)

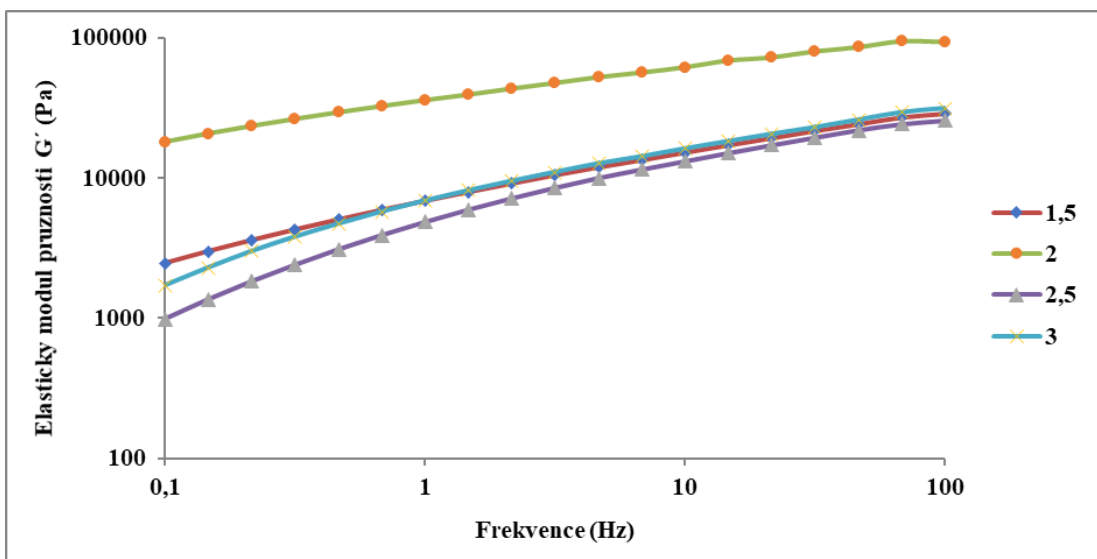
Na konci skladování, které proběhlo v 60. dnu byly hodnoty elastického modulu pružnosti značně navýšeny u všech vzorků s draselnými tavicími solemi. Opět byl dodržen rostoucí trend v závislosti na rostoucí frekvenci, přičemž nejvyšších hodnot bylo dosaženo opět u vzorku s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ o koncentraci 2 % z hlediska porovnání všech tří tavicích solí. U vzorku s tavicí solí $K_4P_2O_7$ byla nejvyšší hodnota G' zjištěna u koncentrace 2 % ačkoli v TPA byla zjištěna nejvyšší pevnost u koncentrace 1,5 %, pokud se na to podíváme opět z pohledu 1,5 %. Každopádně rozdíly mezi 1,5 % a 2 % koncentrací jsou opravdu tak malé, že si tento rozdíl můžeme vysvětlit vlivem velkých a malých deformací v průběhu měření. Z pohledu tavicí soli K_2HPO_4 byla nejvyšší hodnota G' zjištěna u koncentrace 1,5 %, přičemž hodnoty se opět shodovaly s výsledky TPA. Ztrátový model pružnosti vykazoval klasicky klesající trend, který je blíže znázorněn na obrázcích 46-48.



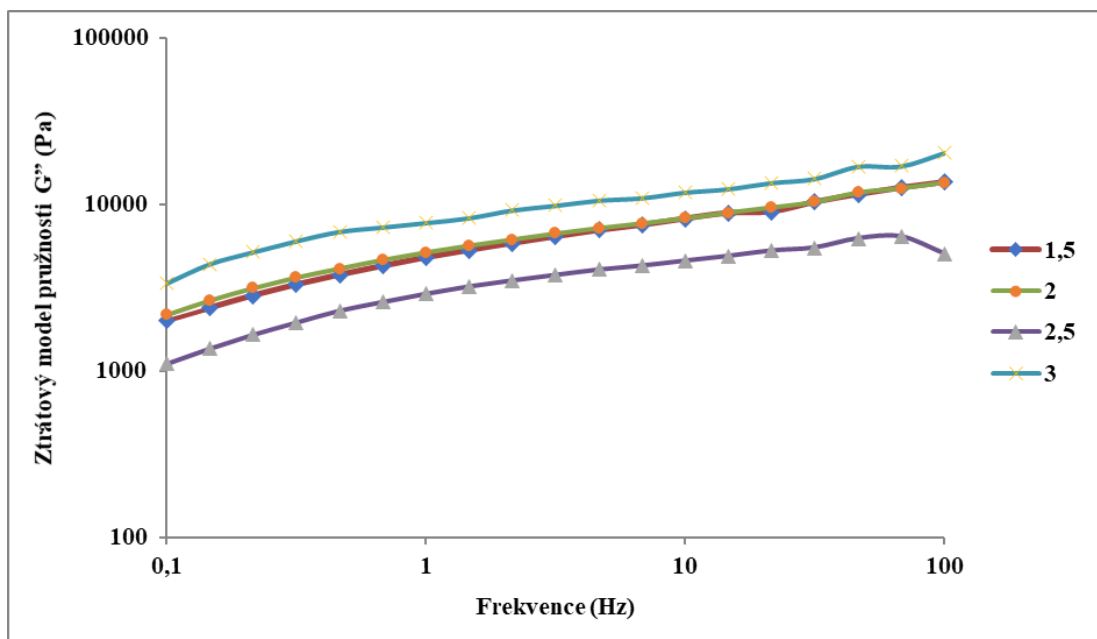
Obrázek 34: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)



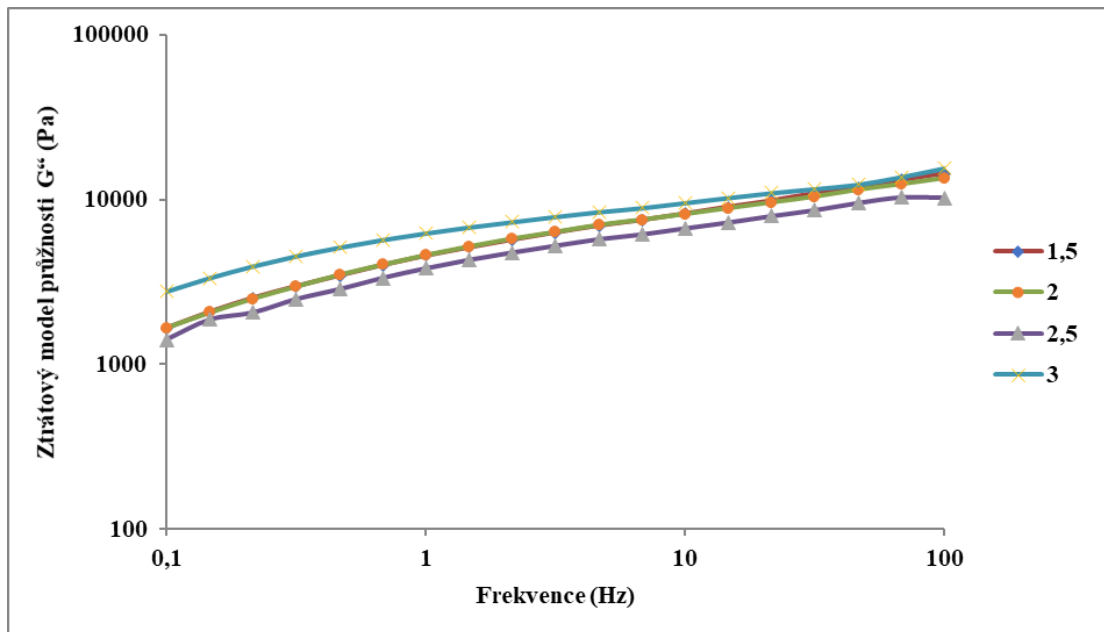
Obrázek 35: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)



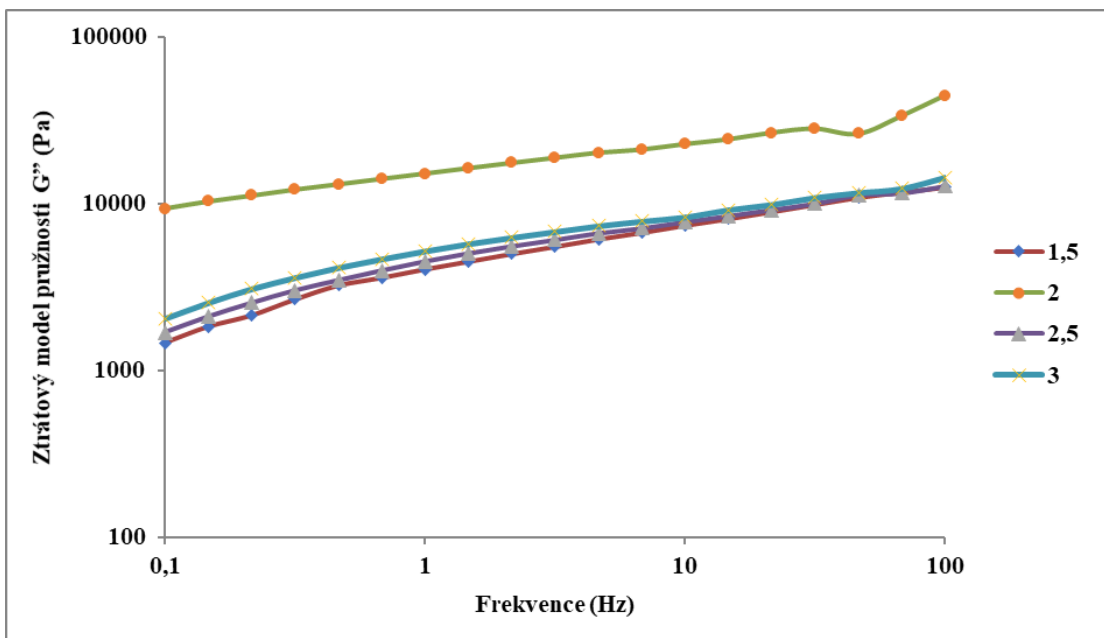
Obrázek 36: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)



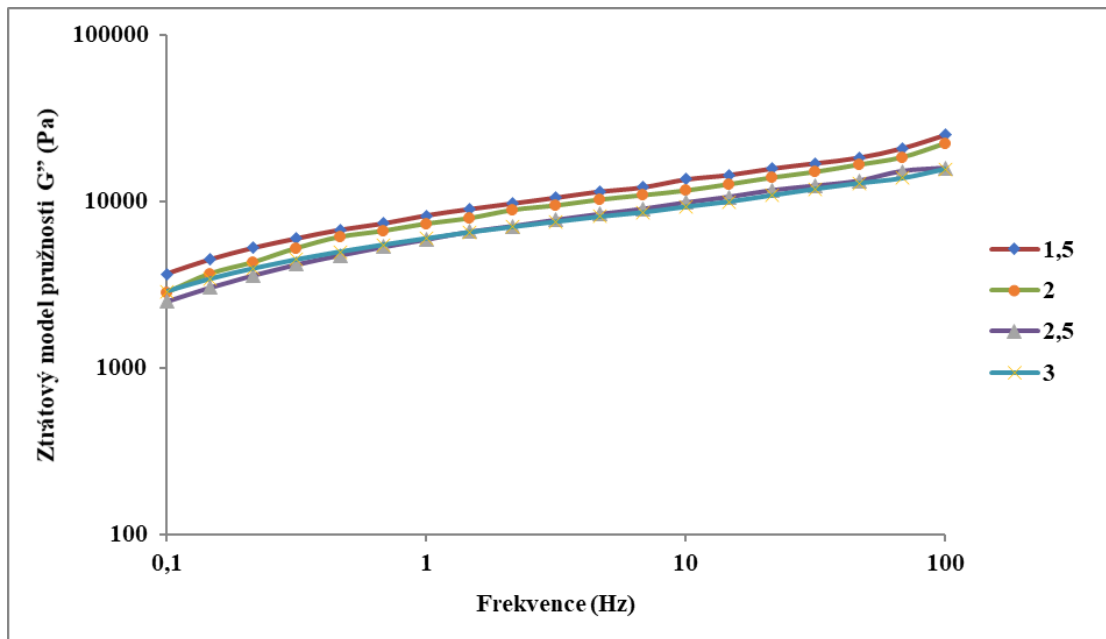
Obrázek 37: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)



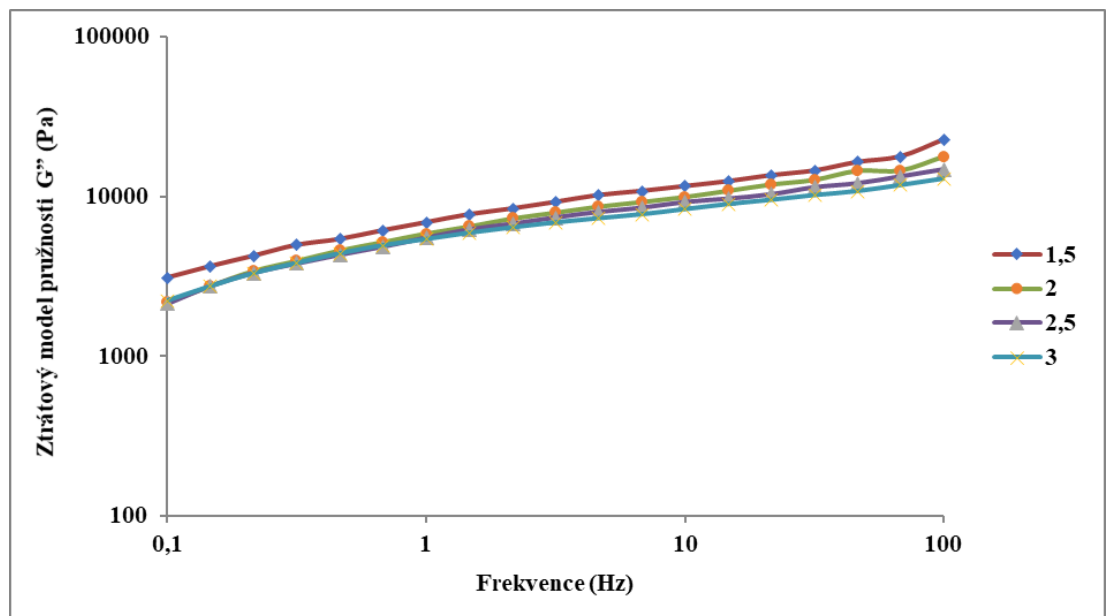
Obrázek 38: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)



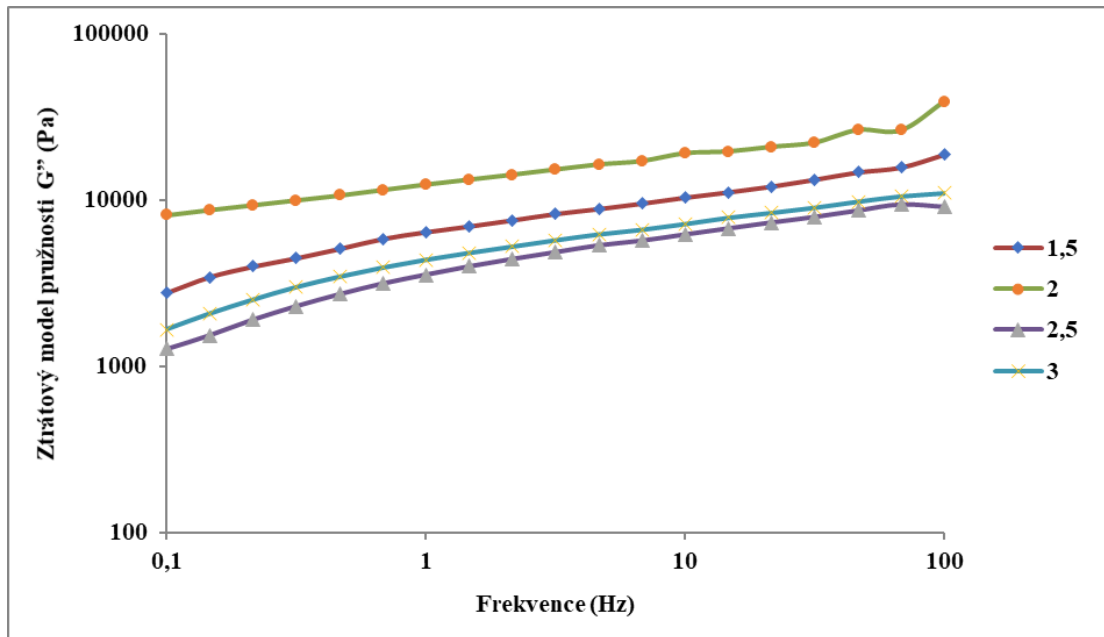
Obrázek 39: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1–100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 – 3 % (1. den skladování)



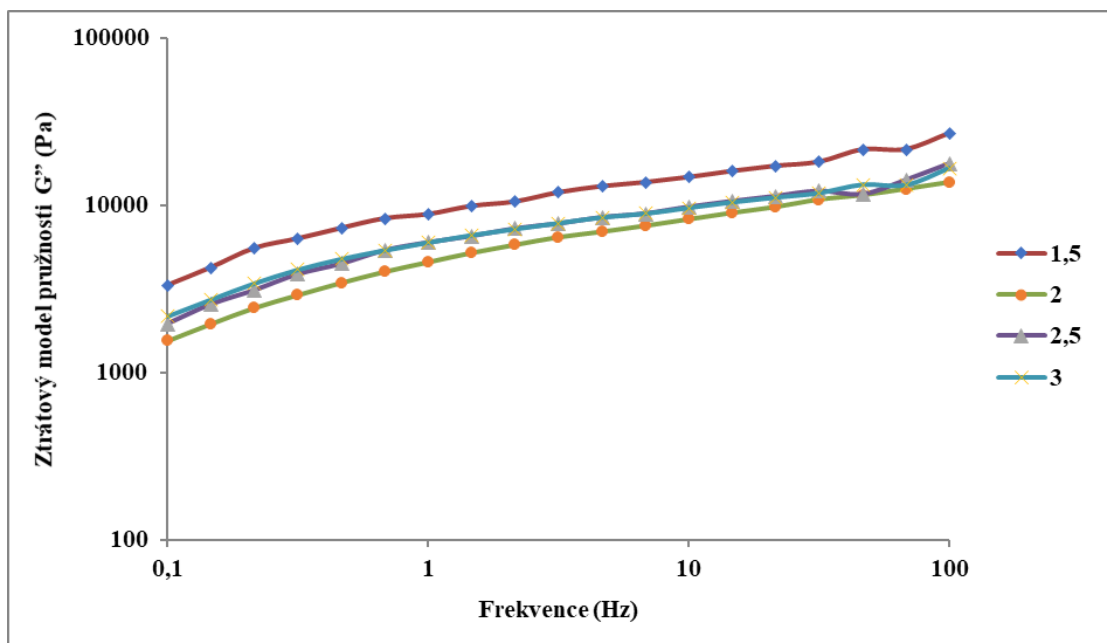
Obrázek 40: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)



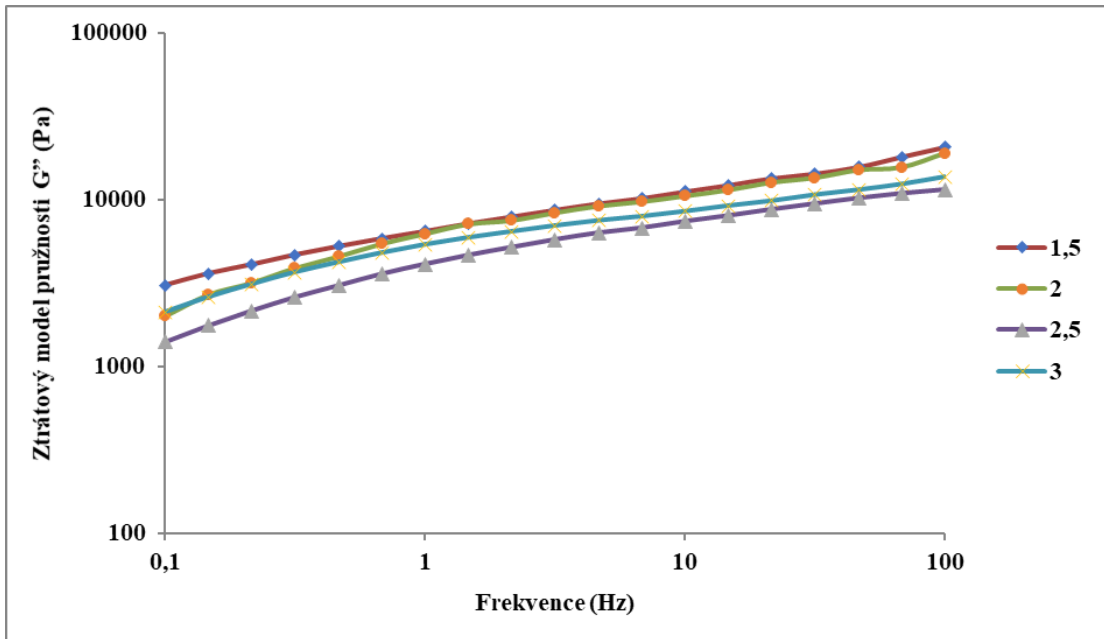
Obrázek 41: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)



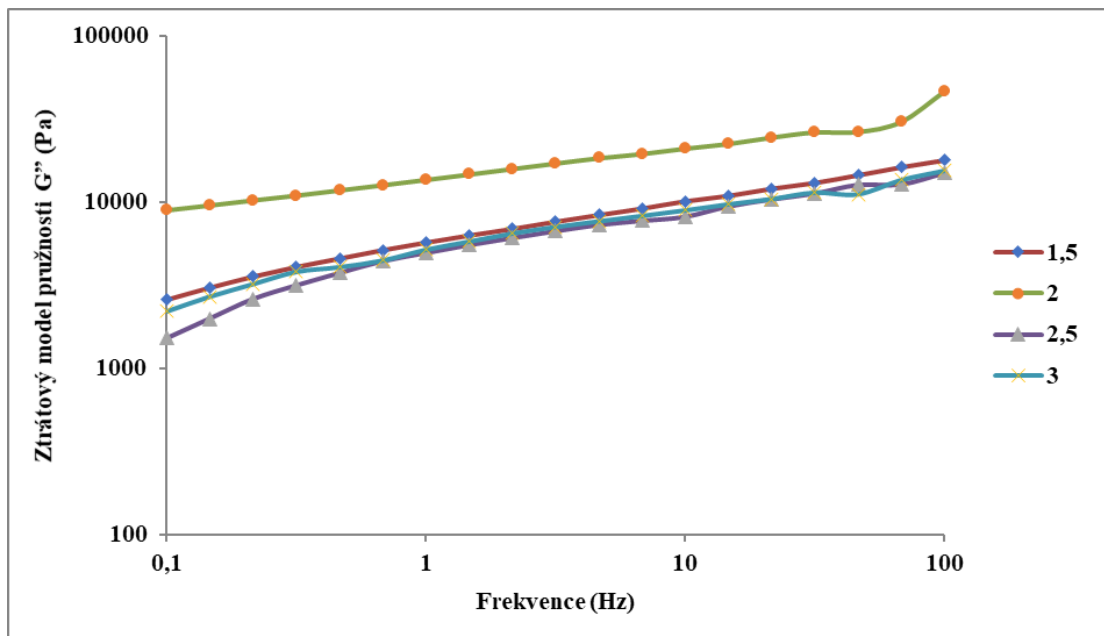
Obrázek 42: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)



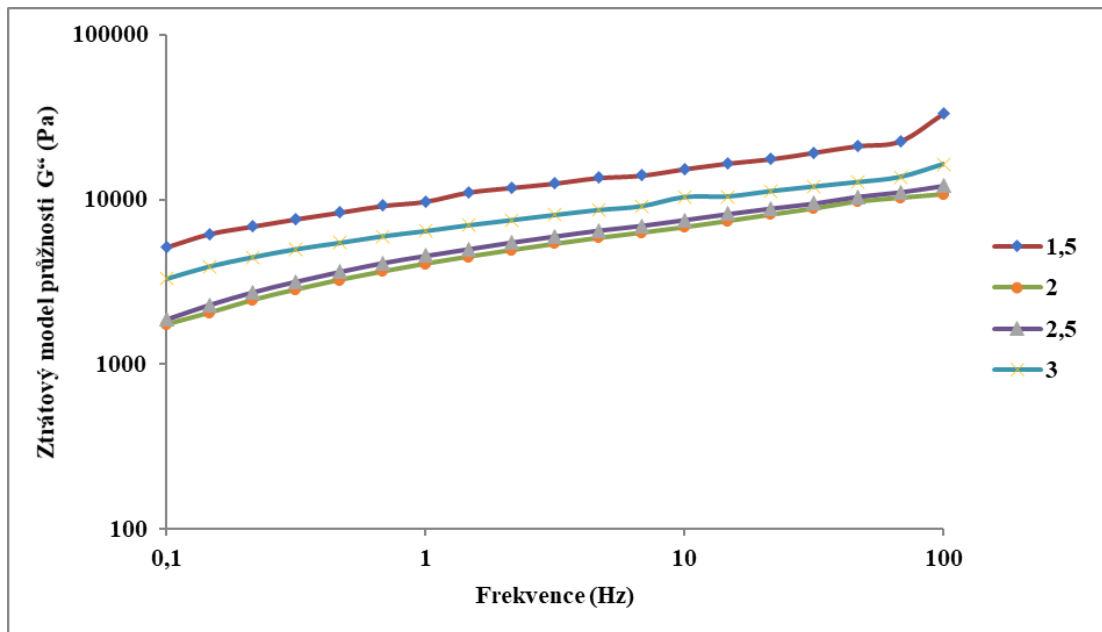
Obrázek 43: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)



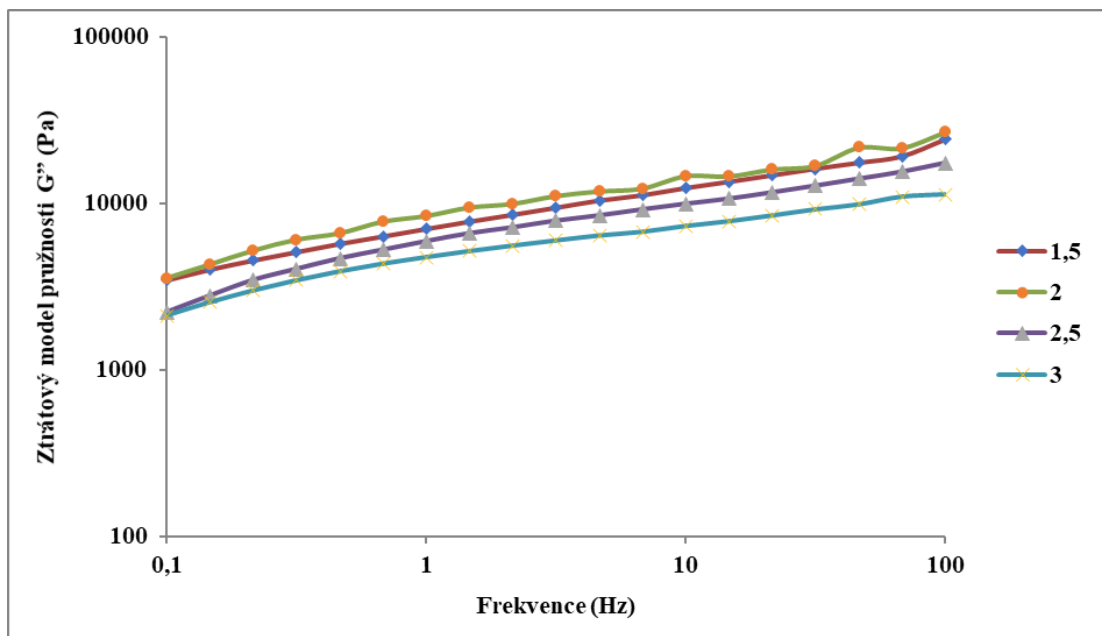
Obrázek 44: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)



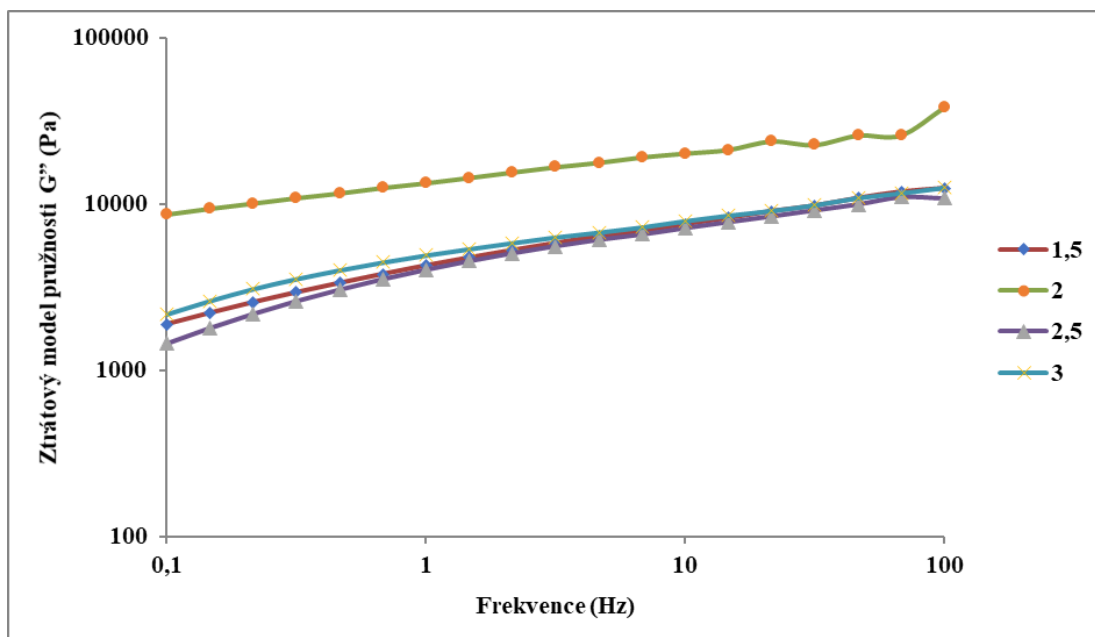
Obrázek 45: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)



Obrázek 46: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)

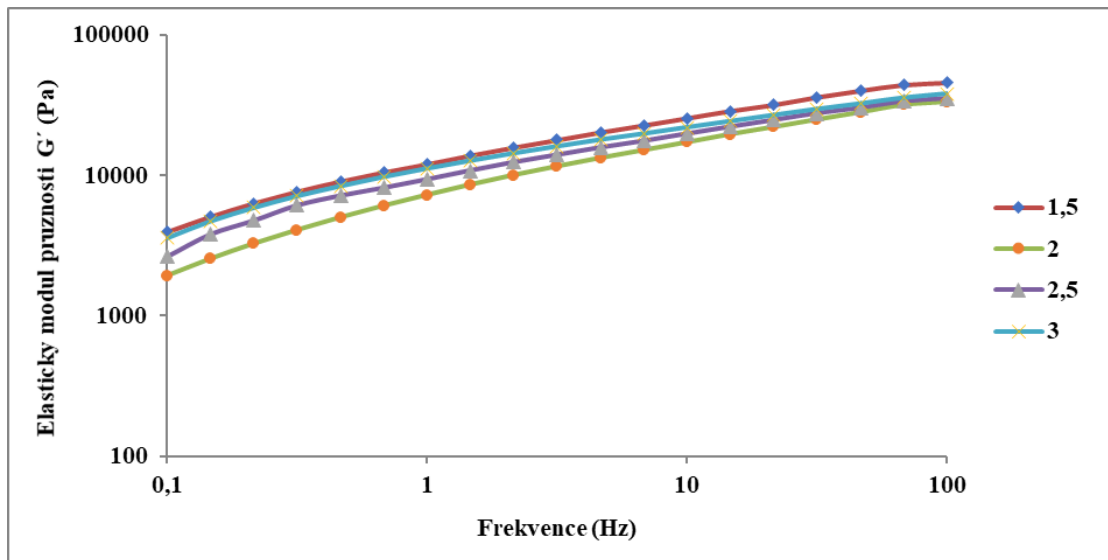


Obrázek 47: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1–100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 – 3 % (60. den skladování)

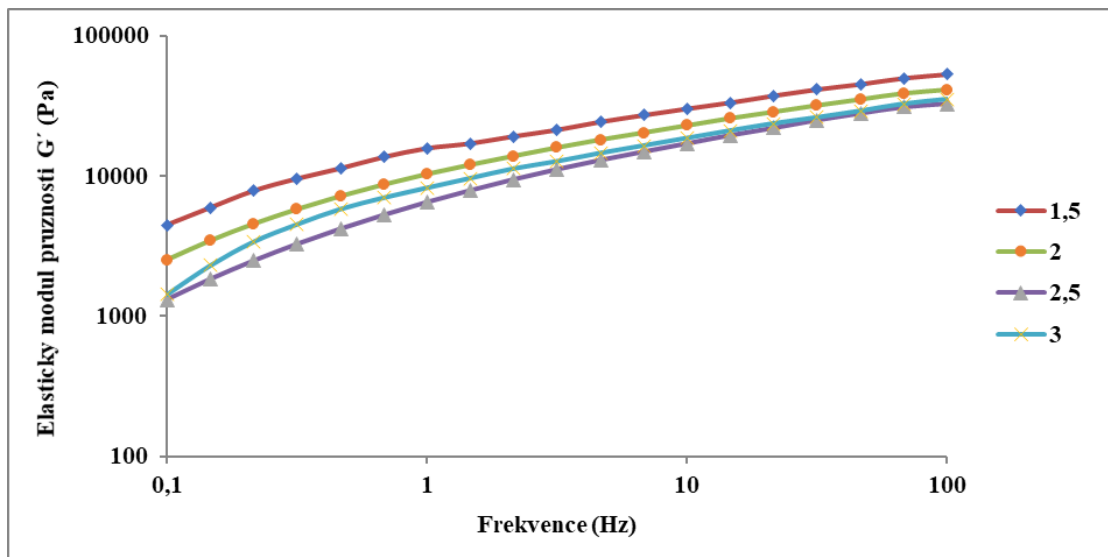


Obrázek 48: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)

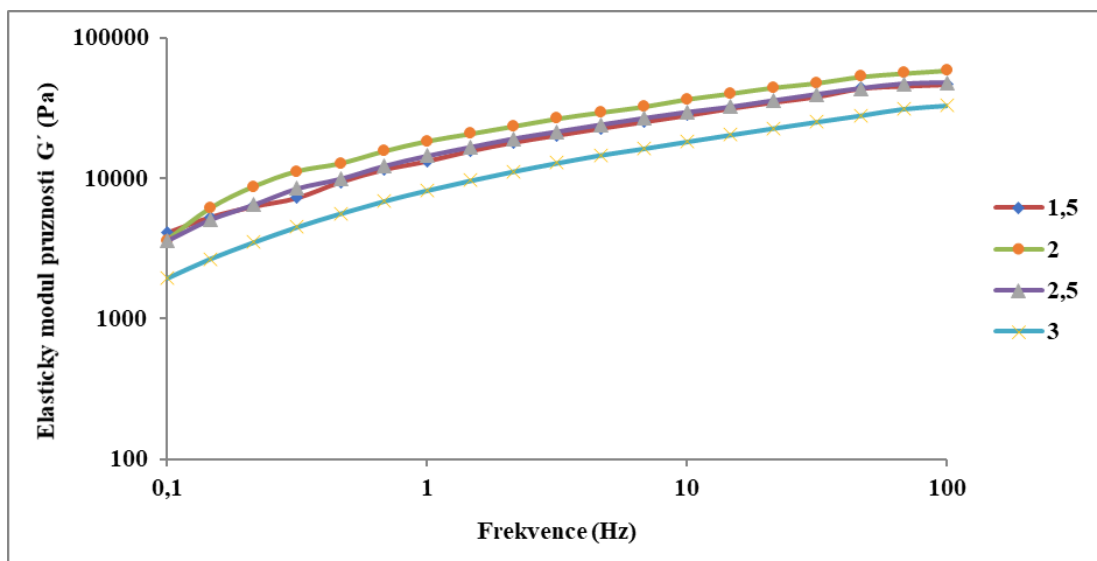
Obrázek 49-51 popisuje elastický model pružnosti pro vzorky s přidavkem tavicích solí Na_2HPO_4 , $Na_4P_2O_7$ a $Na_5P_3O_{10}$ o koncentracích 1 - 3 % v první den skladování. Vezmeme-li si pro porovnání například znovu koncentraci 1,5 %, tak tavicí sůl $Na_4P_2O_7$ o této koncentraci dosahuje ve srovnání se zbylými dvěma tavicími solemi nejvyšších hodnot (G') dosahujících 53 307, 09 Pa, následně pak K_2HPO_4 a nejnižších hodnot dosáhla vzorek s tavicí solí $Na_5P_3O_{10}$. Tento výsledek je analogický s výsledky TPA, kde výrobek s nejvyšší tvrdostí v rámci 1,5 % taktéž vyšel u téže soli. Tak jako tomu bylo u předešlých tavicích solí, toto měření probíhalo v hodnotách frekvence od 0,1 do 100 Hz, přičemž s rostoucí frekvencí hodnoty G' a G'' u všech vzorků opět rostly, což vykazuje chování gelu. S délkou skladování se pevnost vzorků zvyšovala, přičemž vykazovaly charakter gelu disponující elastickými vlastnostmi (více v podkapitole 6. 3. 1.), zatímco ztrátový modul pružnosti klesal (Obrázek 61-63). Na hodnoty jak elastického modulu pružnosti (G'), tak ztrátového modulu pružnosti (G'') měl jednoznačně vliv jako u přechozích vzorků s draselnými tavicími solemi druh a zvolený obsah tavicích solí ve vzorcích tavených sýrů.



Obrázek 49: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)

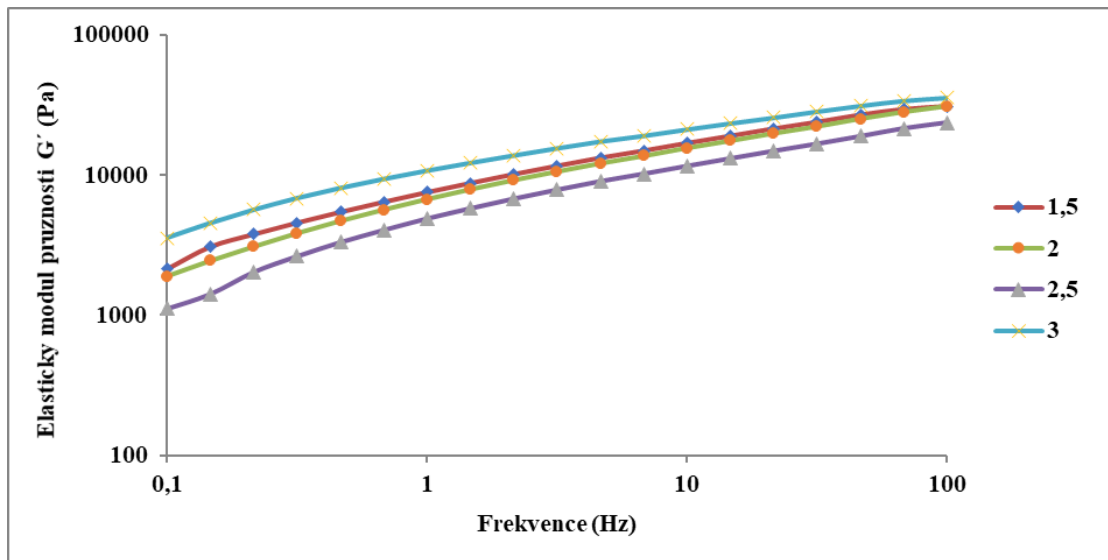


Obrázek 50: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)

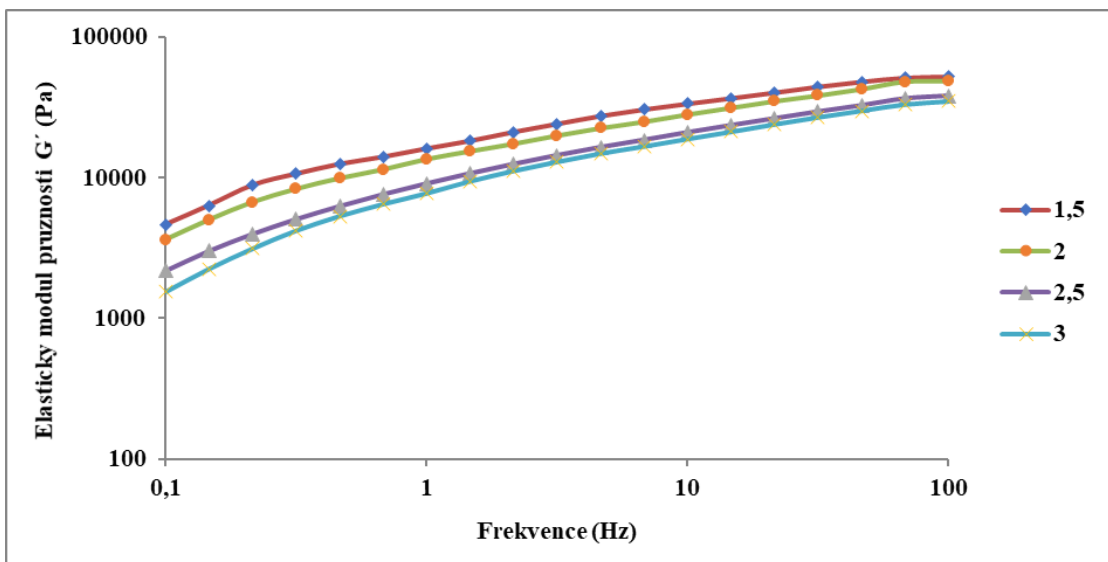


Obrázek 51: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)

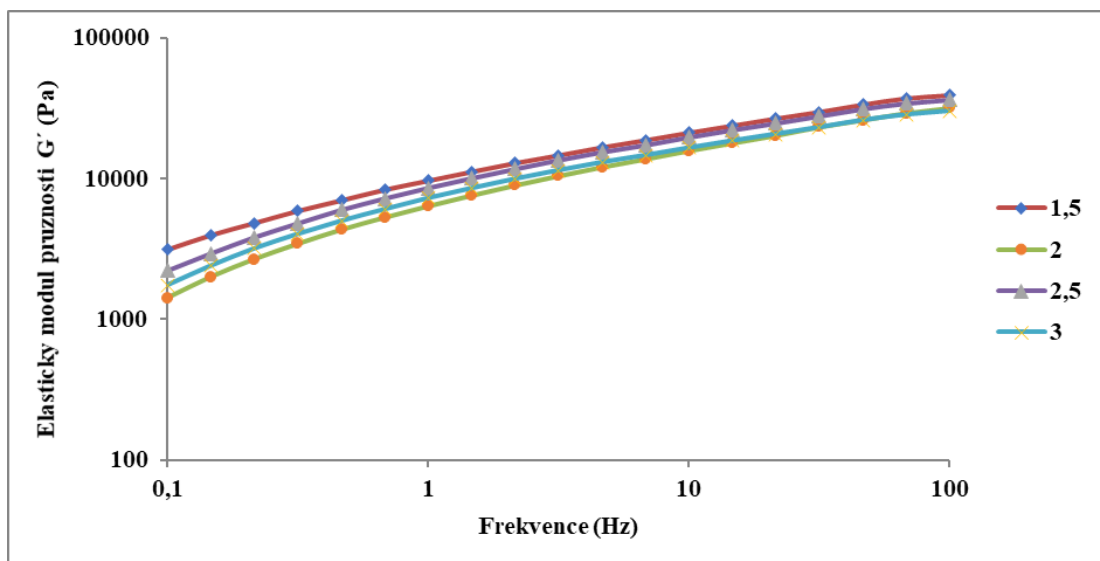
Obrázek 52-54 znázorňuje hodnoty elastického modulu pružnosti všech tří sodných tavicích solí o různých koncentracích v závislosti na rostoucí frekvenci v průběhu 14. dne skladování. Délka skladování měla na tyto hodnoty u všech vzorků tavených sýrů znatelný vliv, neboť s rostoucí délkou skladování docházelo k postupnému nárůstu pevnosti tavených sýrů. Pokud srovnáme mezi sebou všechny tři použité tavicí soli v rámci 1,5 %, tak nejvyšší hodnotu elastického modulu pružnosti měla tavicí sůl $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (52 368,24 Pa), následně $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ (39 333,67 Pa) a vzorek s nejnižší pevností v tomto konkrétním případě byl vzorek s tavicí solí Na_2HPO_4 (30 961, 53 Pa). Všechny výsledky jsou v souladu s texturní profilovou analýzou. Co se týče ztrátového modulu pružnosti (Obrázek 64-66), zde opět platil vztah $G' > G''$, odkazující na elastické chování všech vzorků taveného sýru.



Obrázek 52: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)

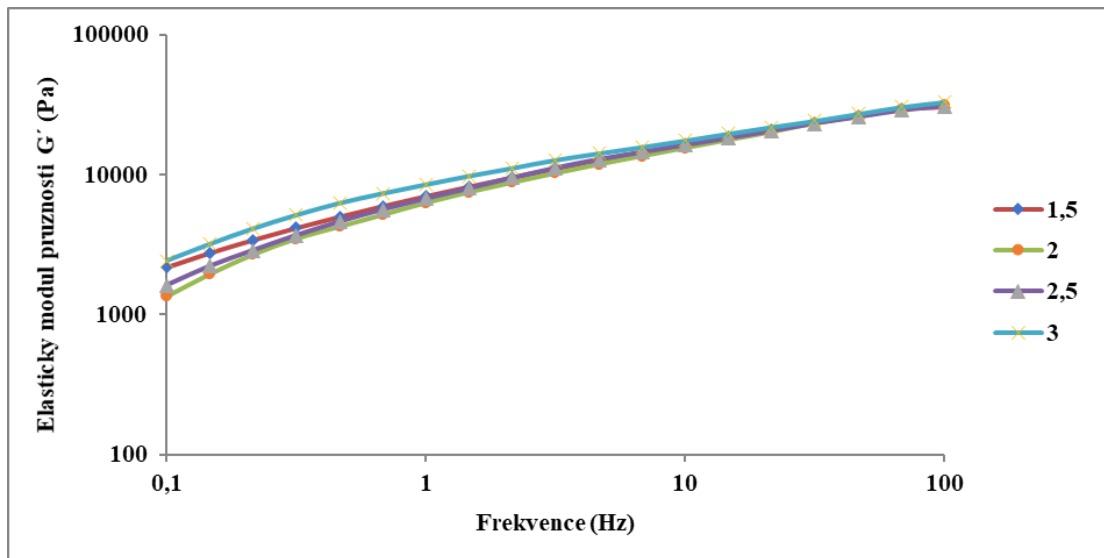


Obrázek 53: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)

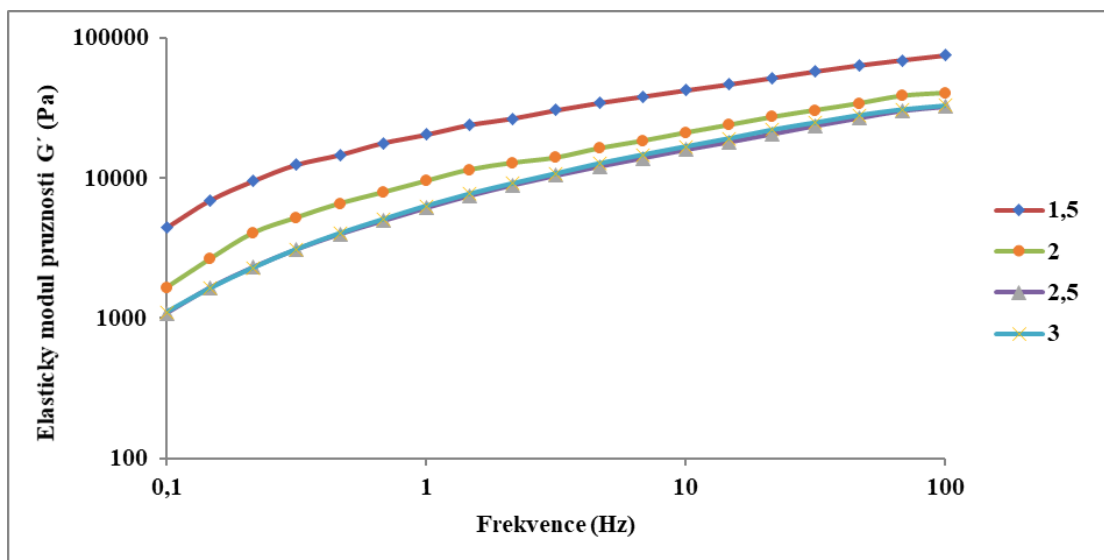


Obrázek 54: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)

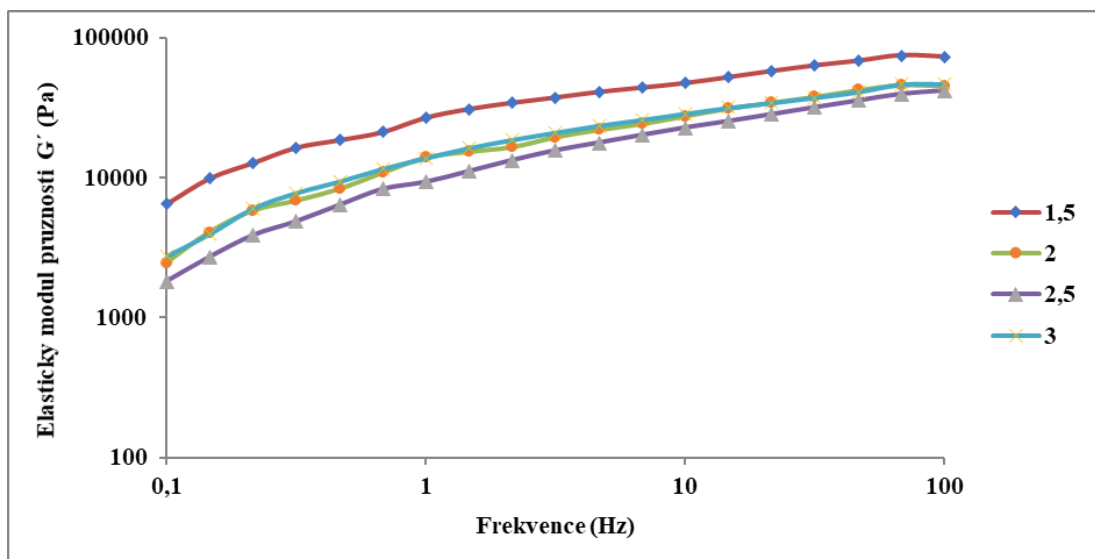
Na obrázku 55-57 je znázorněna závislost elastického modulu v závislosti na rostoucí frekvenci sodných tavicích solí v 30. den skladování. Pokud si vezmeme 1,5 % koncentraci a porovnáme jednotlivé soli navzájem, tak zjistíme, že nejvyšší hodnoty byly naměřeny u tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (74 974,13 Pa). Následně se umístil vzorek s tavicí solí $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, kde hodnota elastického modulu pružnosti byla stanovena na 73 084,31 Pa. Ve srovnání tavicí soli Na_2HPO_4 s předchozími dvěma tavicími solemi je na první pohled patrné, že tento vykazoval nejnižší pevnost zaznamenaný hodnotou 30 289,71 Pa. Analogický jev byl popsán také v rámci texturní profilové analýzy. Ztrátový modul pružnosti opět vykazoval nižší hodnoty, než jak tomu bylo u elastického modulu pružnosti, což poukazuje na elastické chování všech tavených sýrů (Obrázek 67-69).



Obrázek 55: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)

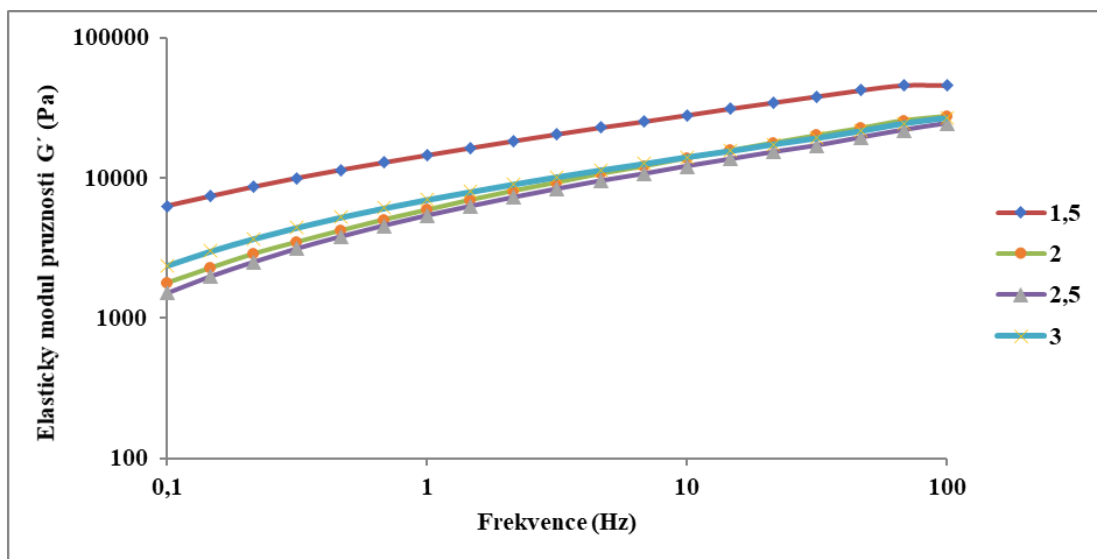


Obrázek 56: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)

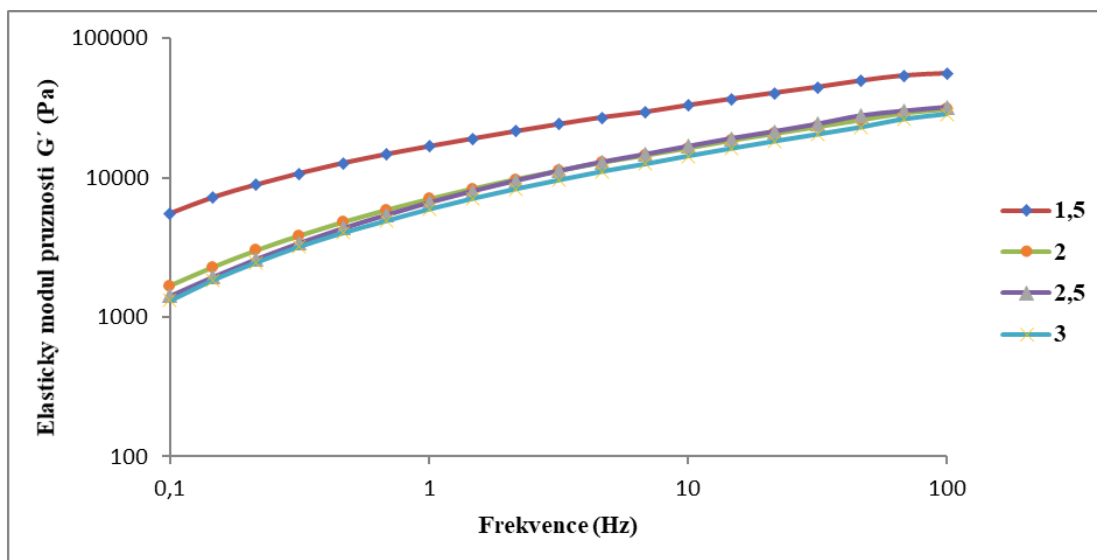


Obrázek 57: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)

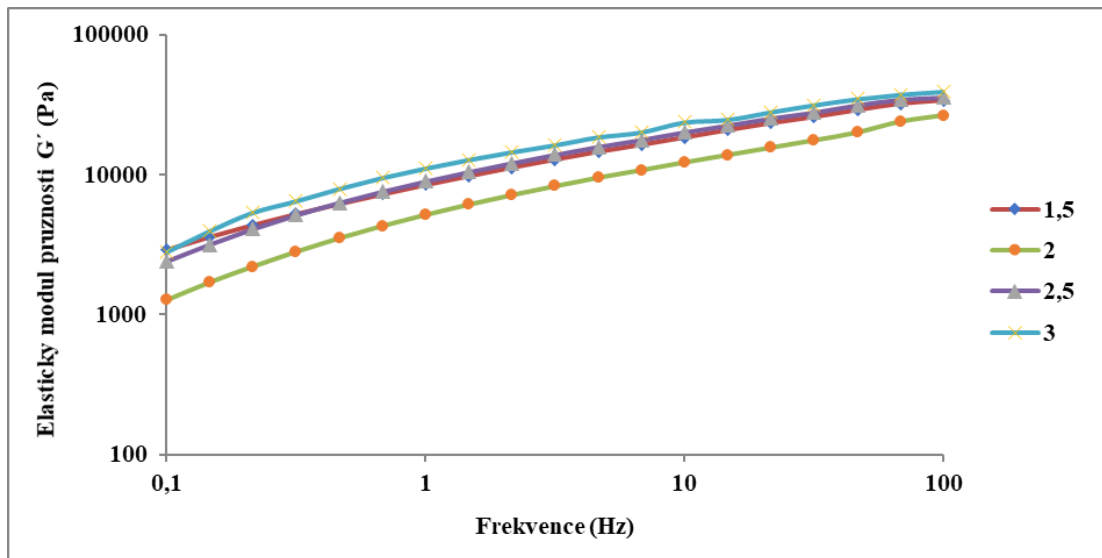
Pokud se podíváme na 60. den od výroby, který zároveň představuje poslední odběrový den, tak můžeme vidět na obrázcích 58-60, že vzorek s tavicí solí $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ o koncentraci 1,5 % dosahuje nejvyšších hodnot (55 868,92 Pa) ve srovnání se zbývajících tavicími solemi. Dále pak o téže koncentraci (1,5 %) je vzorek s tavicí solí Na_2HPO_4 a jako vzorek s nejmenší pevností byl v tomto konkrétním případě zjištěn vzorek $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$. Vzorek s tavicí solí $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ také v rámci texturní profilové analýzy značně převyšoval ostatní vzorky se sodnými tavicími solemi z hlediska pevnosti. Ztrátový modul pružnosti si zachoval i v poslední den klesající hodnoty, které nám popisují blíže chování vzorku, přičemž se uplatnilo stejně jako tomu bylo u všech vzorků, chování elastické. Tento parametr je znázorněn na obrázcích 70-72.



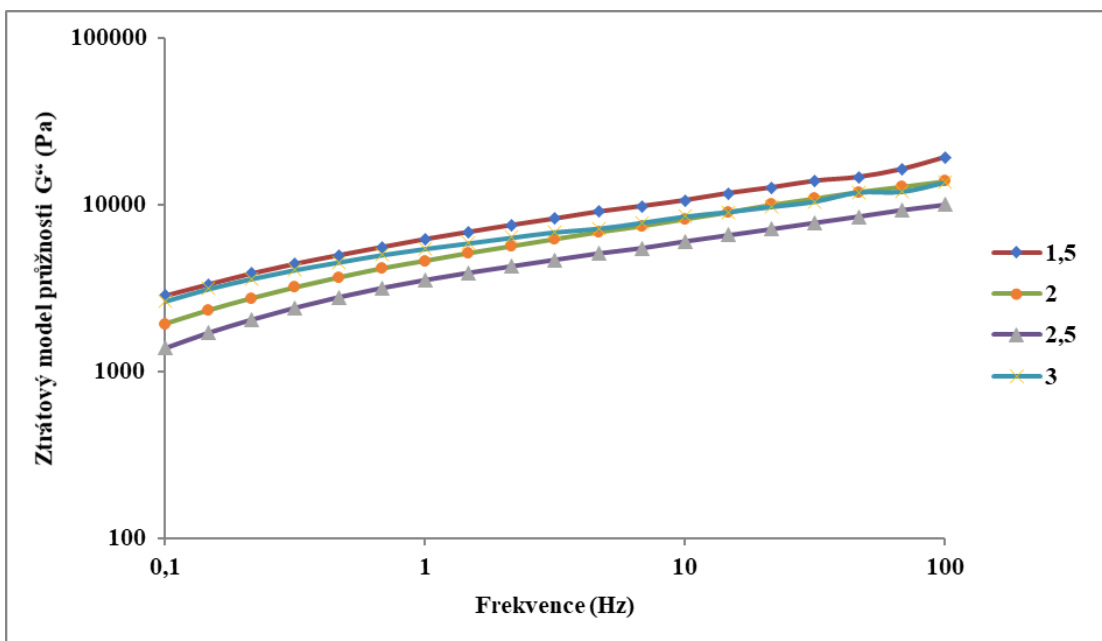
Obrázek 58: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)



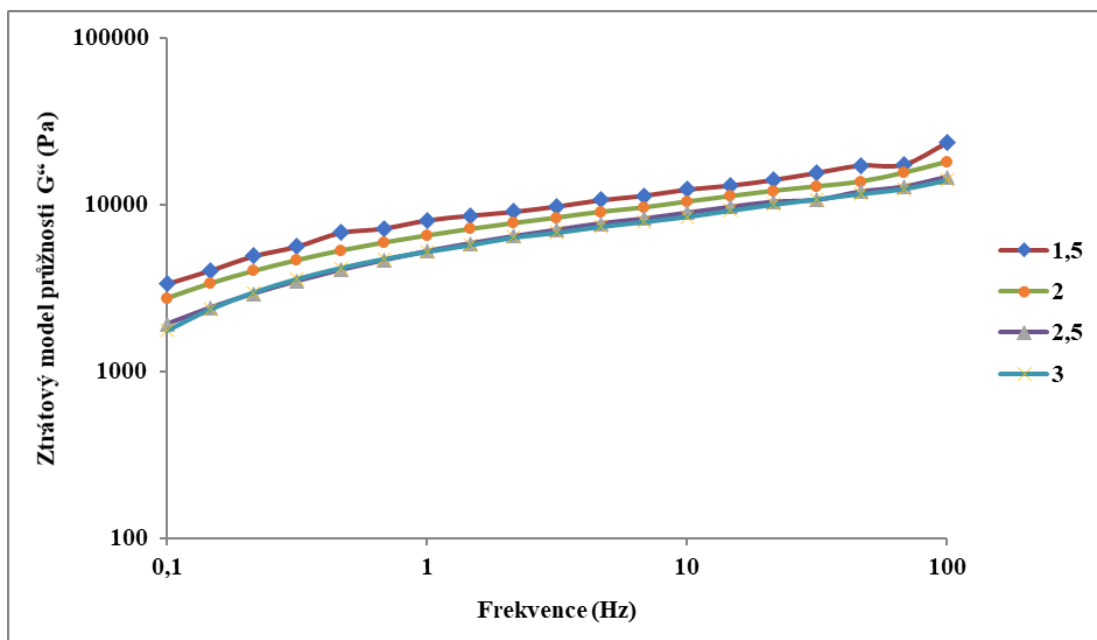
Obrázek 59: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)



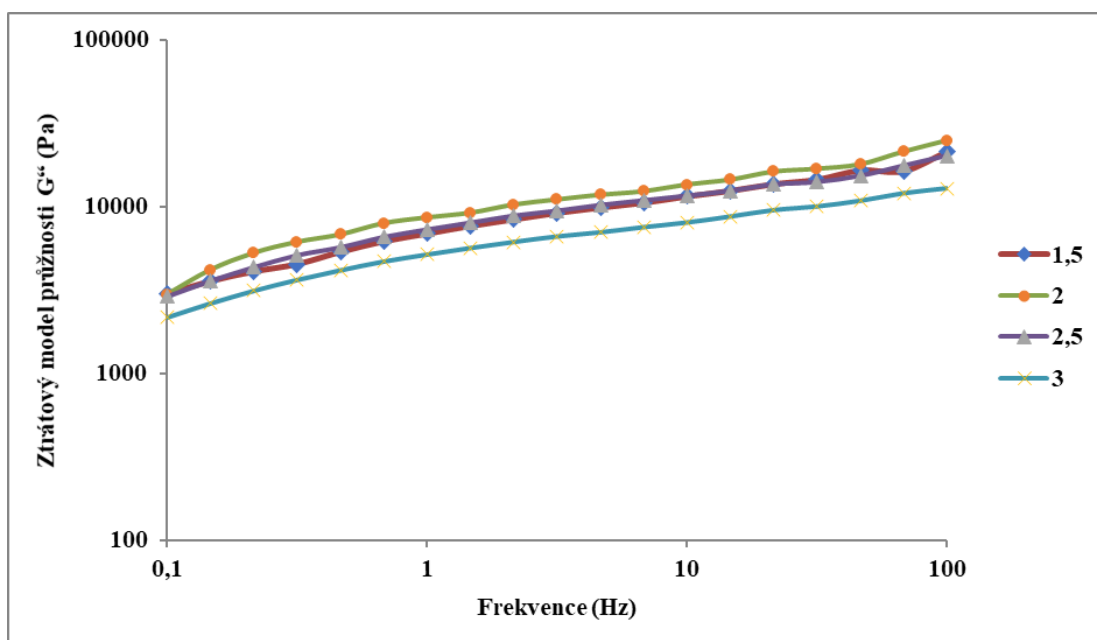
Obrázek 60: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)



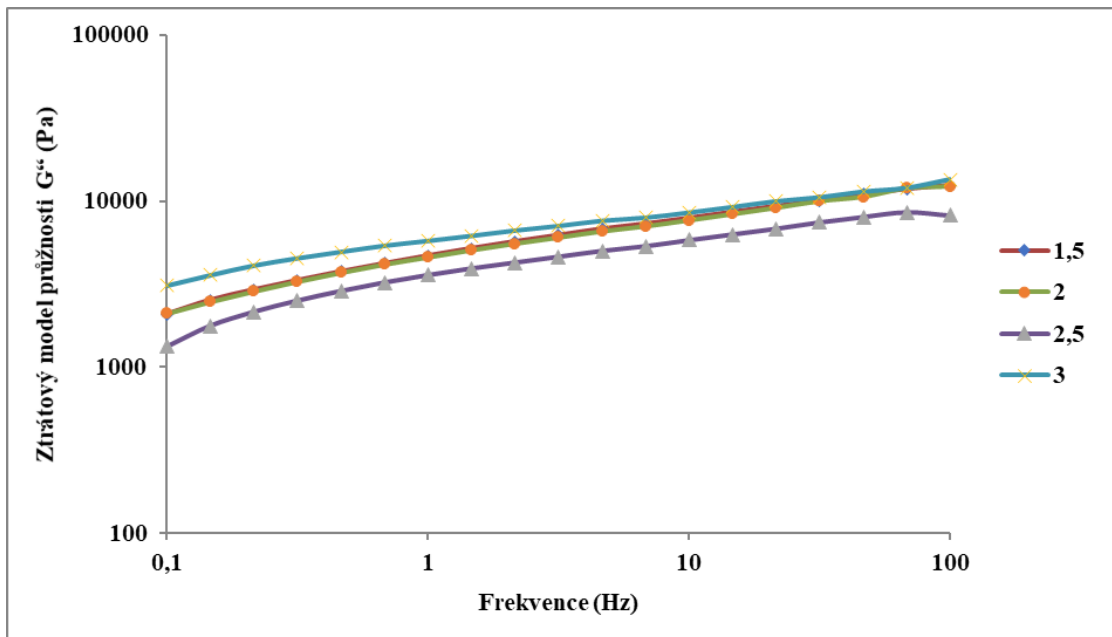
Obrázek 61: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)



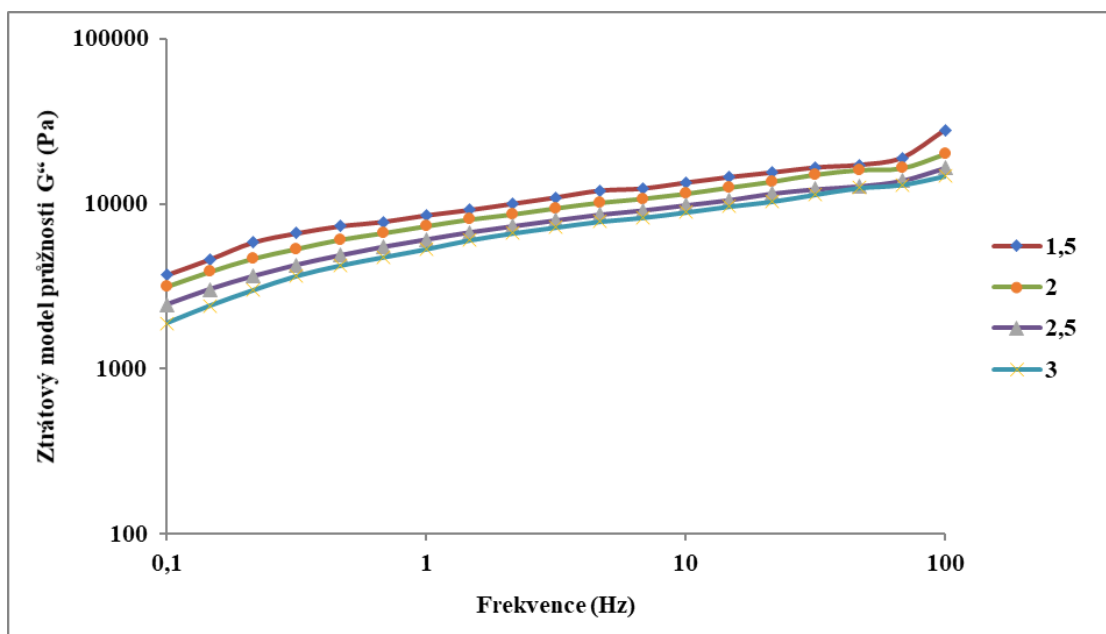
Obrázek 62: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)



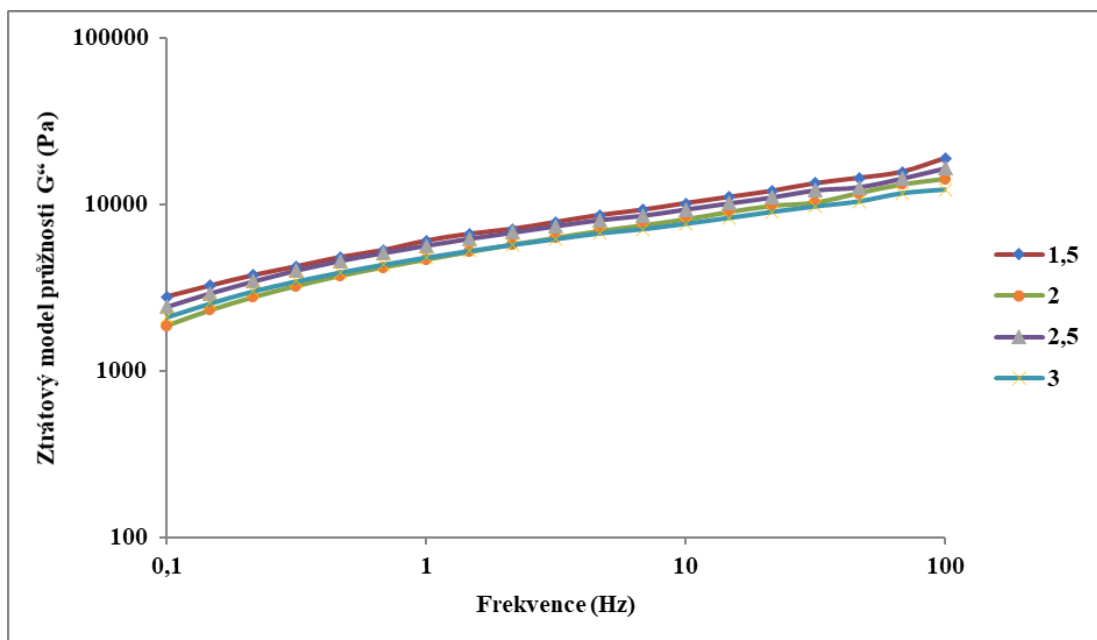
Obrázek 63: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)



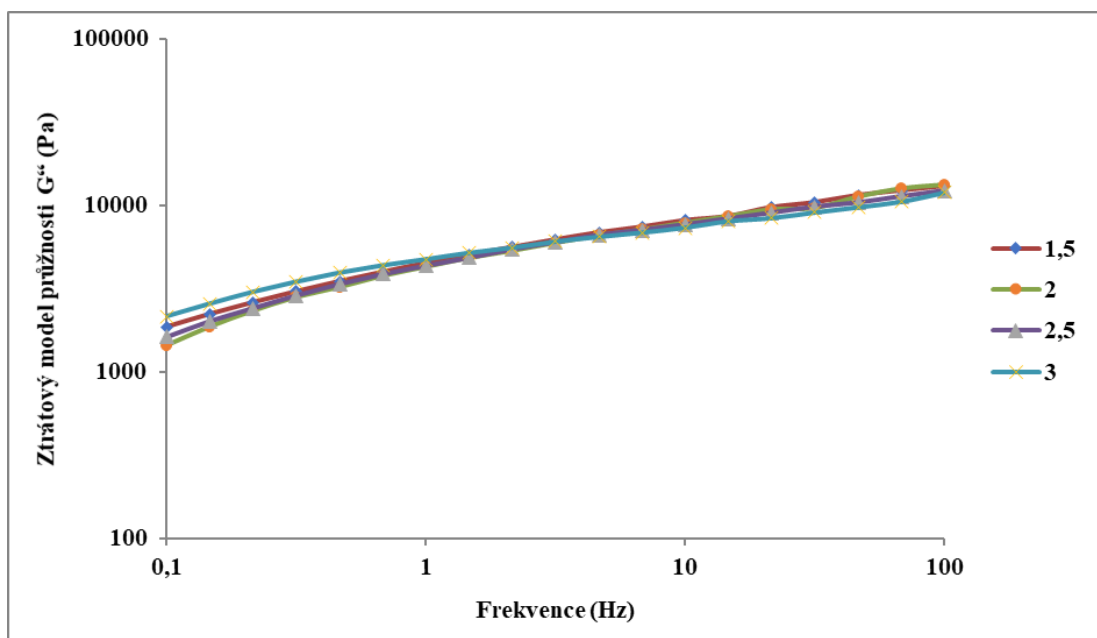
Obrázek 64: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)



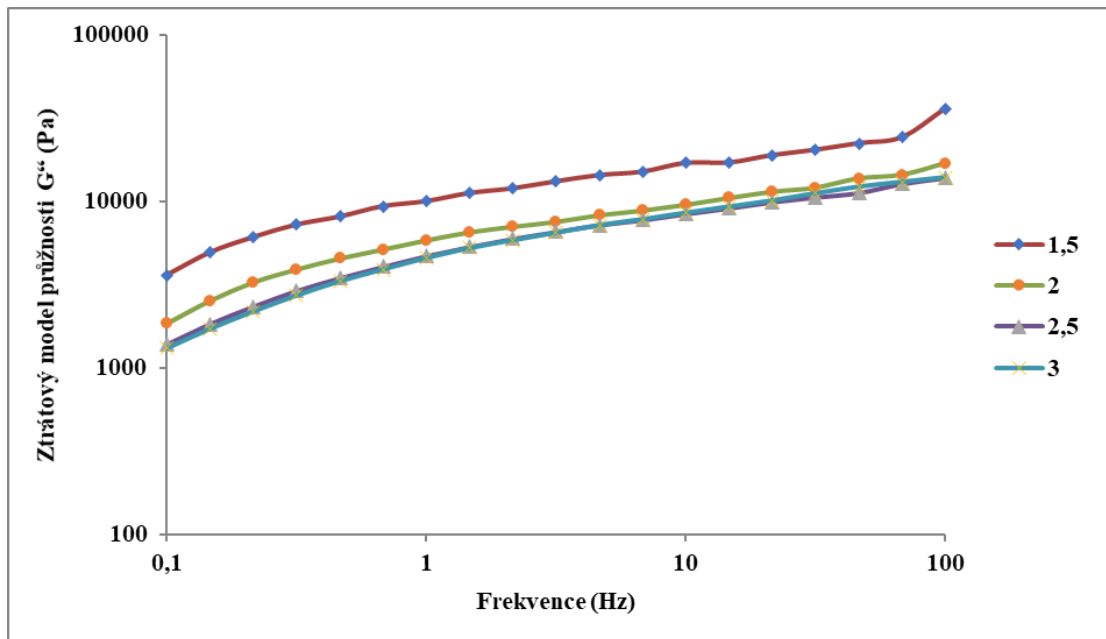
Obrázek 65: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)



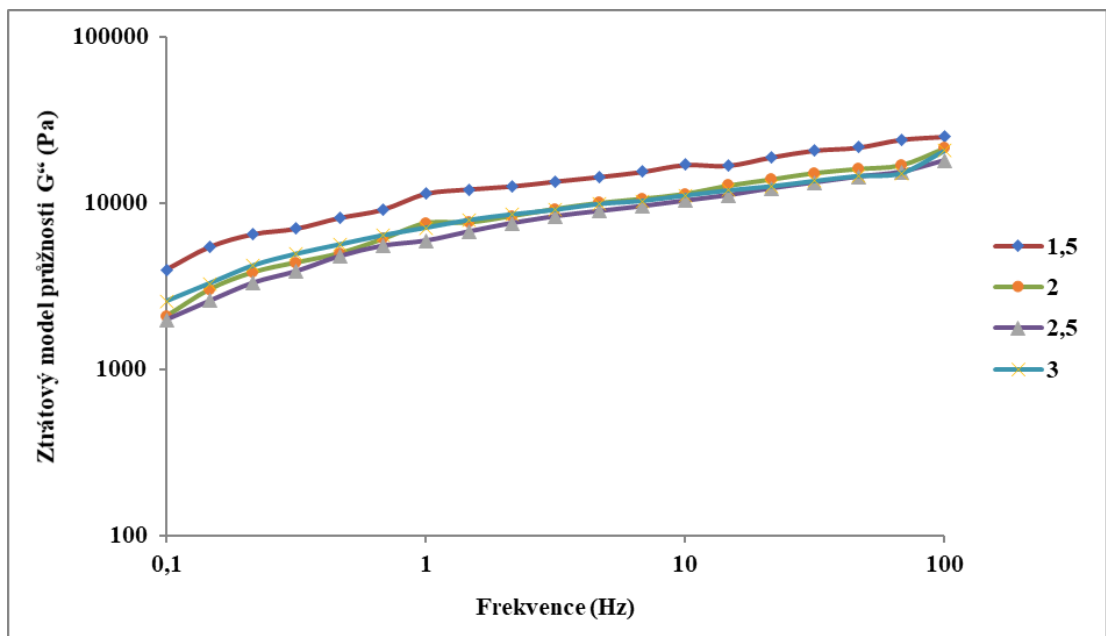
Obrázek 66: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)



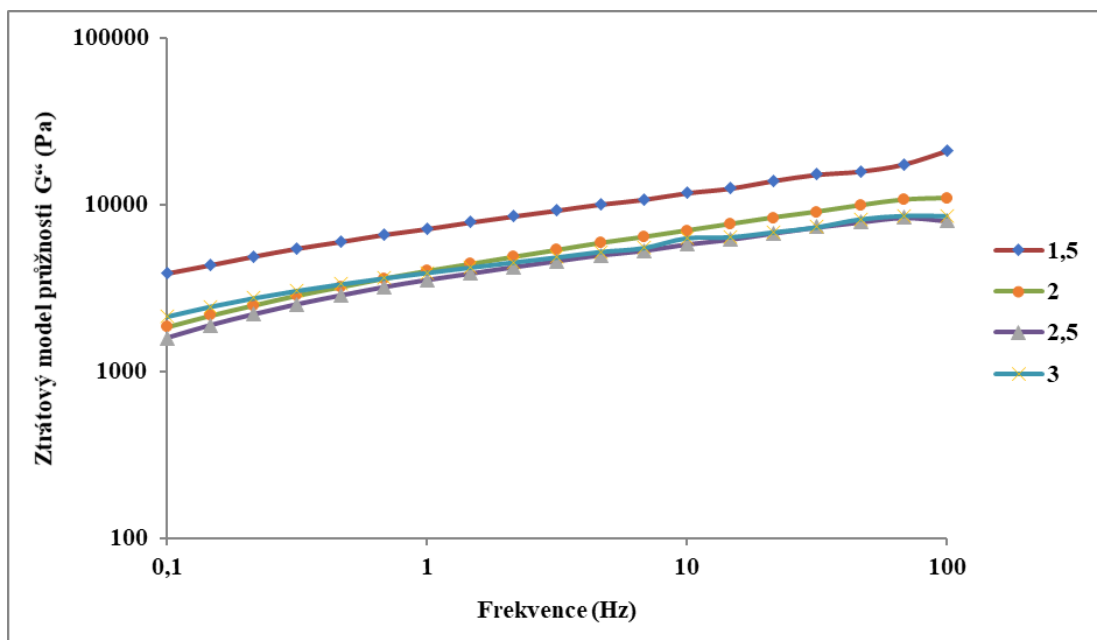
Obrázek 67: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)



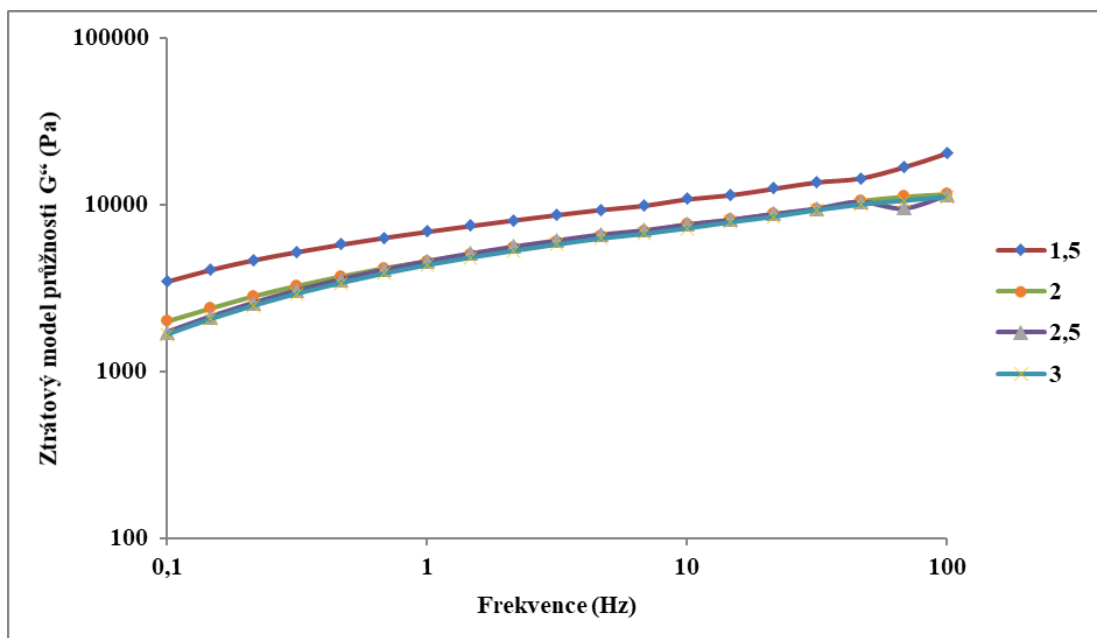
Obrázek 68: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)



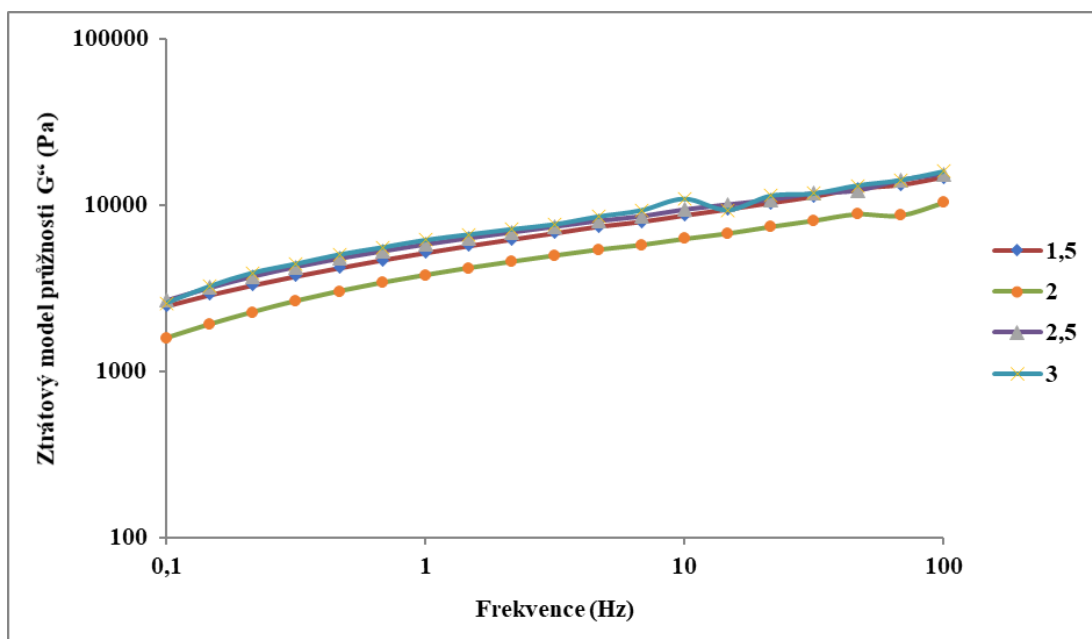
Obrázek 69: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)



Obrázek 70: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)



Obrázek 71: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)



Obrázek 72: Závislost zráťového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)

6.3.1 Skladování

Vývoj hodnot dynamické oscilační reometrie v průběhu skladování jsou uvedeny v tabulce 6 a 7 na následující straně. U všech vzorků tavených sýrů bylo provedeno stanovení hodnot komplexního modulu a hodnot $\tan \delta$. Hodnoty byly stanoveny stejně jako u elastického a zráťového modulu pružnosti v době skladování 1., 14., 28. a 60. dní. Měření probíhala za teploty $20,0 \pm 0,1$ °C, přičemž hodnoty jednotlivých veličin jsou vždy uvedeny pro frekvence 1 Hz. Komplexní modul (G^*) popisuje celkový odpor vůči deformaci materiálu (považovaného za elastickou pevnou látku), a je tedy měřítkem jeho konzistence. Navíc tangens úhlu fázového posunu (δ) nám představuje fázový úhel mezi napětím a deformací, tudíž je-li $\tan \delta$ (G'/G'') < 1 nebo $G' > G''$, je materiál více elastičtější než viskózní, a tím pádem se chová jako pevná látka. Naopak, je-li $\tan \delta > 1$ nebo $G'' > G'$, materiál je více viskózní než elastický, tudíž jeho chování je podobné kapalině. (Pluta-Kubica a kol., 2021). Tangentu fázového posunu si lze tedy představit jako poměrové měřítko elastického modulu pružnosti ku zráťovému modulu pružnosti (Salek a kol., 2017).

Z uvedených výsledků v Tabulce 6 a 7 je patrné, že všechny vzorky tavených sýrů jak s přídavkem draselných, tak sodných tavicích solí vykazovaly dominantnější elastickou složku viskózní, což naznačuje chování podobné gelu. (Ningtyas a kol., 2017). Ke stejnému závěru došli ve své studii i Ningtyas a kol. (2017), čímž byla tato studie potvrzena. Z výsledků lze také konstatovat, že přídavek vyšších koncentrací tavicích solí neměl vliv na konstantní zvyšování G^* a $\tan \delta$ ve vztahu k použitému obsahu solí ve vzorku, což si můžeme opět vysvětlit stejně jako u parametru tvrdosti, že aplikovaný druh tavicí soli působí na syrovou matici různými mechanismy. Tím pádem nelze očekávat u všech tavicích solí stejný trend v rámci daných koncentrací aplikovaných během výroby do tavených sýrů z hlediska vývoje pevnosti vzorku (Nagyová a kol., 2012). Ze zjištěných výsledků lze pozorovat trend v závislosti na době skladování, přičemž se zvyšující se dobou skladování roste pevnost všech vzorků neboli hodnota G^* a hodnota $\tan \delta$ se zvyšující se dobou skladování úměrně klesá. Ke stejným závěrům ve svých pracích došli také Salek a kol. (2016), Weiserová a kol. (2011) nebo dokonce Guinee a kol. (2004), čímž jsme se přidali k jejich závěrům a tuto teorii rovněž potvrdili.

Je pravda, že výsledky TPA odpovídaly ve většině případů výsledkům reologické analýzy, případné neshody si můžeme vysvětlit malými a velkými deformacemi vznikajícími během celkové analýzy přístrojem reometru. Nejvyšší celková tuhost (G^*), pevnost gelu byly zjištěny u vzorků připravených v rámci draselných tavicích solí u tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ o koncentraci 2 %, naopak u vzorků se sodnými tavicími solemi to byl vzorek s tavicí solí $Na_4P_2O_7$ o koncentraci 1,5 %. Sledované hodnoty pevnosti gelu nebyly v přímém vztahu s rostoucím stupněm zralosti použité tavicí soli, ale naopak s rostoucí dobou skladování, kdy v posledním dnu skladování dosahovaly nejvyšších hodnot. Intenzita tuhosti vzorků tavených sýrů má analogický vztah k intenzitě pevnosti gelu; čím vyšší je pevnost gelu vzorku, tím neohebnější produkt lze očekávat. (Salek a kol., 2016).

Tabulka 6: Získané hodnoty G^* (komplexního modulu) a $\tan \delta$ (tangens úhlu fázového posunu) při frekvenci 1 Hz u tavných sýrů s přidavkem draselných tavicích solí o různých koncentracích v průběhu skladování

Tavicí sůl	1. den		14. den		30. den		60. den	
	G^*	$\tan \delta$	G^*	$\tan \delta$	G^*	$\tan \delta$	G^*	$\tan \delta$
K_2HPO_4 1,5 %	8329	0,7062	14727	0,5538	20587	0,4756	24356	0,4377
K_2HPO_4 2 %	6914	0,7276	9724	0,6945	13237	0,5429	19012	0,4773
K_2HPO_4 2,5 %	7246	0,7950	9112	0,7051	10457	0,6853	12081	0,5736
K_2HPO_4 3 %	8709	0,6582	11152	0,6378	14028	0,5165	17620	0,4909
$K_4P_2O_7$ 1,5 %	8153	0,6758	9064	0,5870	15977	0,4905	25146	0,4469
$K_4P_2O_7$ 2 %	7750	0,7347	10807	0,6397	12334	0,5868	19330	0,4834
$K_4P_2O_7$ 2,5 %	5741	0,8944	7265	0,7389	10345	0,6263	11289	0,6164
$K_4P_2O_7$ 3 %	8531	0,6724	10672	0,6104	12347	0,5847	14222	0,5603
$K_5P_3O_{10}$ 1,5 %	7470	0,6455	8108	0,6210	11668	0,5634	14275	0,5045
$K_5P_3O_{10}$ 2 %	34017	0,3921	37714	0,3767	39530	0,3675	41428	0,4036
$K_5P_3O_{10}$ 2,5 %	5842	0,7703	6318	0,8290	9674	0,5980	11865	0,5868
$K_5P_3O_{10}$ 3 %	7527	0,7159	10047	0,6021	12563	0,6191	17017	0,4898

Tabulka 7: Získané hodnoty G^* (komplexního modulu) a $\tan \delta$ (tangens úhlu fázového posunu) při frekvenci 1 Hz u tavných sýrů s přidavkem sodných tavicích solí o různých koncentracích v průběhu skladování

Tavicí sůl	1. den		14. den		30. den		60. den	
	G^*	$\tan \delta$	G^*	$\tan \delta$	G^*	$\tan \delta$	G^*	$\tan \delta$
Na_2HPO_4 1,5 %	8703	0,6301	9745	0,5579	13597	0,5375	17328	0,4802
Na_2HPO_4 2 %	6905	0,7001	8128	0,6836	8821	0,6966	10909	0,5565
Na_2HPO_4 2,5 %	6073	0,7345	8999	0,5923	10844	0,5838	11881	0,5744
Na_2HPO_4 3 %	8038	0,5586	9094	0,5651	11405	0,5435	12608	0,5168
$Na_4P_2O_7$ 1,5 %	14619	0,5367	18202	0,5302	19579	0,5197	29126	0,4250
$Na_4P_2O_7$ 2 %	7892	0,7165	12180	0,6352	14974	0,5411	15388	0,5432
$Na_4P_2O_7$ 2,5 %	7247	0,8192	9048	0,7112	10908	0,6725	11336	0,6334
$Na_4P_2O_7$ 3 %	7000	0,7940	7375	0,7532	9515	0,6547	9759	0,6344
$Na_5P_3O_{10}$ 1,5 %	9916	0,6115	14999	0,5186	19937	0,4724	22719	0,4927
$Na_5P_3O_{10}$ 2 %	6416	0,7344	9103	0,7236	15872	0,5429	20327	0,4674
$Na_5P_3O_{10}$ 2,5 %	9509	0,6513	10180	0,6753	10669	0,6488	16181	0,5056
$Na_5P_3O_{10}$ 3 %	8699	0,6602	9714	0,6305	12740	0,5536	15527	0,5149

6.4 Výsledky instrumentálního měření barvy

Výsledky barevné analýzy vzorků tavených sýrů jsou uvedeny v tabulce 6 a 7. Můžeme vidět, že parametr a^* a b^* se nachází u všech vzorků s přidavkem jak draselných, tak sodných tavicích solí v kladných částech osy, z čehož vyplývá, že kladné hodnoty a^* indikovaly červený odstín a b^* odstín žlutý u všech vzorků tavených sýrů. Nejvyšší hodnotu a^* vykazovaly produkty s přidavkem K_2HPO_4 o koncentraci 2,5 % a $Na_4P_2O_7$ o koncentraci 2,5 %, naopak nejnižší hodnota a^* byla zaznamenána u taveného sýru s přidavkem $K_4P_3O_{10}$ o koncentraci 2 % a $Na_4P_2O_7$ o koncentraci 1,5 %. Parametr b^* dosáhl nejvyšších hodnot u vzorků s přidavkem K_2HPO_4 3 % a Na_2HPO_4 1,5 %. Bylo zjištěno, že vliv koncentrace tavicích solí v produktu taveného sýru nemá přímý vliv na zvyšování parametrů a^* a b^* , ačkoli dle výsledků u vzorků tavených sýrů s přidavkem draselných tavicích solí nás vede k domněnce, že parametr b^* se zvyšující se koncentrací konstantně roste. Další parametr L, který nám udává světelnost vzorku se pohyboval u vzorků s přidavkem draselných tavicích solí v rozmezí od 91,33 do 92,27. U vzorků s přidavkem sodných tavicích solí byly tyto hodnoty také větší než 90,08 a zároveň menší 91,80. U všech modelových vzorků tavených sýrů se hodnoty L pohybovaly $>90,00$, což se velmi blíží k hodnotám 100, které jsou reprezentovány bílou barvou.

Barva potravin je smyslový atribut, který má významný vliv na oblíbenost produktu u spotřebitelů. Pro výrobce potravin je důležité, aby jejich produkty měly očekávanou barvu, protože spotřebitelé spojují určité barvy s určitými příchutěmi. Barva a vzhled potravin vytváří určitá očekávání, která ovlivňují preference spotřebitelů a identifikaci přítomných potravin. Wadhvani a McMahon (2012) ve své studii došli ke stejným závěrům, a to že barva je velmi důležitým atributem i např. u nízkotučných sýrů, neboť příliš průsvitný vzhled sýru nebo příliš bílá barva může negativně ovlivňovat chuť spotřebitelů (Wadhvani a McMahon, 2012).

Tabulka 8: Průměrné hodnoty světelnosti (L^*) a barevnosti (a^* , b^*) u vzorků tavených sýrů s přidavkem draselných tavicích solí

Tavicí sůl	L^*		a^*		b^*	
	\bar{O}	SD	\bar{O}	SD	\bar{O}	SD
K_2HPO_4 1,5 %	91,59	1,33	0,32	0,11	14,14	0,73
K_2HPO_4 2 %	92,12	0,57	0,33	0,09	14,46	0,69
K_2HPO_4 2,5 %	91,92	0,52	0,38	0,09	14,88	0,24
K_2HPO_4 3 %	91,84	1,10	0,29	0,09	15,02	0,71
$K_4P_2O_7$ 1,5 %	91,90	0,18	0,26	0,02	13,09	0,06
$K_4P_2O_7$ 2 %	92,07	0,03	0,28	0,02	13,22	0,13
$K_4P_2O_7$ 2,5 %	92,27	0,74	0,37	0,12	13,92	0,18
$K_4P_2O_7$ 3 %	91,62	0,48	0,28	0,01	13,91	0,40
$K_5P_3O_{10}$ 1,5 %	91,97	0,29	0,19	0,07	13,23	0,34
$K_5P_3O_{10}$ 2 %	92,01	0,14	0,18	0,03	13,28	0,12
$K_5P_3O_{10}$ 2,5 %	92,06	0,14	0,26	0,03	13,73	0,14
$K_5P_3O_{10}$ 3 %	91,33	0,30	0,36	0,05	13,83	0,08

Tabulka 9: Průměrné hodnoty světelnosti (L^*) a barevnosti (a^* , b^*) u vzorků tavených sýrů s přidavkem sodných tavicích solí

Tavicí sůl	L^*		a^*		b^*	
	\bar{O}	SD	\bar{O}	SD	\bar{O}	SD
Na_2HPO_4 1,5 %	90,08	0,08	0,16	0,04	15,50	0,23
Na_2HPO_4 2 %	90,89	0,12	0,19	0,03	14,62	0,13
Na_2HPO_4 2,5 %	91,09	0,16	0,16	0,02	14,36	0,14
Na_2HPO_4 3 %	90,76	0,42	0,21	0,11	15,45	0,81
$Na_4P_2O_7$ 1,5 %	91,20	0,67	0,12	0,07	14,58	0,71
$Na_4P_2O_7$ 2 %	91,11	0,12	0,26	0,02	14,46	0,22
$Na_4P_2O_7$ 2,5 %	91,44	0,10	0,27	0,01	14,20	0,04
$Na_4P_2O_7$ 3 %	91,65	0,09	0,11	0,02	13,76	0,19
$Na_5P_3O_{10}$ 1,5 %	91,16	0,14	0,16	0,06	13,91	0,24
$Na_5P_3O_{10}$ 2 %	91,50	0,01	0,14	0,02	13,86	0,08
$Na_5P_3O_{10}$ 2,5 %	91,23	0,92	0,21	0,10	14,39	0,60
$Na_5P_3O_{10}$ 3 %	91,80	1,14	0,20	0,09	14,78	0,71

6.5 Výsledky diferenciální skenovací kalorimetrie

DSC termogramy signalizují krystalizační chování (cooling cyklus) vázané a volné vody přítomné ve vzorku, v našem případě ve vzorku tavených sýrů. Je potřeba si uvědomit, že vázaná a volná voda má významný vliv na kvalitu jak potravin, tak léčiv. Tudíž čím je více vázané vody v systému, tím více je potravin organolepticky a senzoricky hodnotnější. Při interakci mezi vodou, solemi a molekulami biopolymerů (proteinů a lipidů) se rozlišují tři formy vody. Nemrzoucí voda, mrznoucí vázaná voda a mrznoucí voda volná. Nemrzoucí vázaná voda je úzce spojena s polymerní maticí a nevykazuje fázový přechod stanovený kalorimetrickou analýzou. Naopak mrznoucí vázaná voda je méně těsně vázaná na maticí a vykazuje tání včetně krystalizační teploty, která se výrazně liší od teploty krystalizace objemové vody. Poslední forma vody, tzv. mrznoucí volná voda vykazuje podobné hodnoty tání/krystalizace jako objemová voda (TA Thermal Analysis to Determine Various Forms of Water Present in Hydrogels).

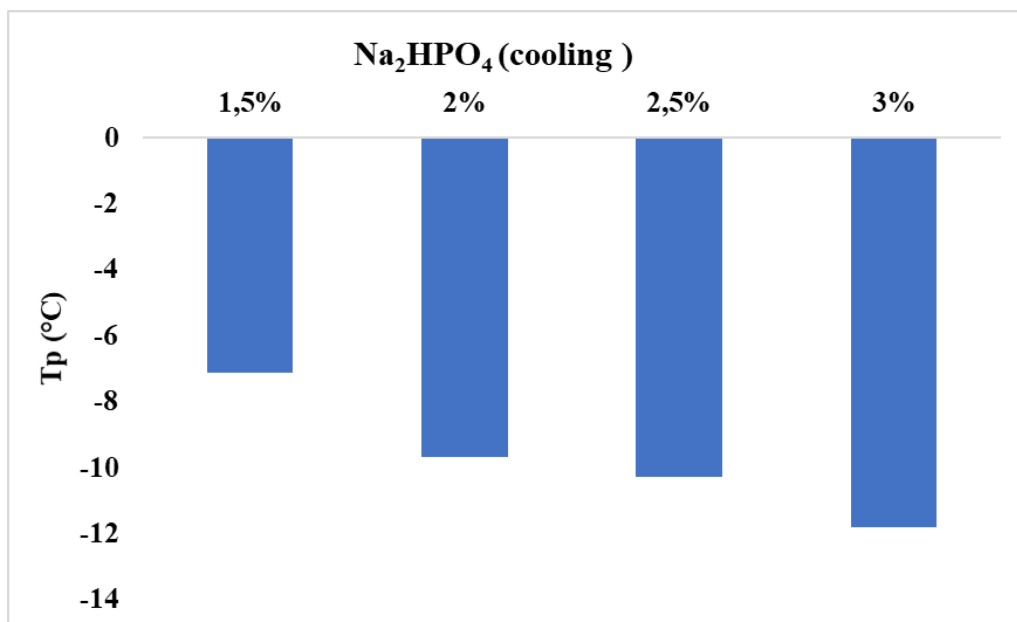
Doplňujícím cílem diplomové práce bylo charakterizovat stav vody v tavených sýrech ve vztahu k přidavku tavících solí jak sodných, tak draselných. DSC analýza snadno poskytuje vyhodnocení množství zmrazitelné vody a molekul vody, které nejsou schopny krystalizovat v důsledku specifické interakce se studovanou maticí. Množství vody, které zmrzne během chlazení potravin se běžně a snadno určí z entalpie tání ledu pozorovaného při chlazení (cooling cyklus) (Gliguem, 2009). Vodná fáze sýrových matic s různým obsahem tavících solí (sodných i draselných) byla monitorována na základě tepelných událostí, spojených se zamrznutím vody a táním ledu za definovaných podmínek pomocí DSC.

Tabulka 10: Výsledky krystalizace vody a teploty tání ledu u tavených sýrů s přidavkem draselných tavicích solí

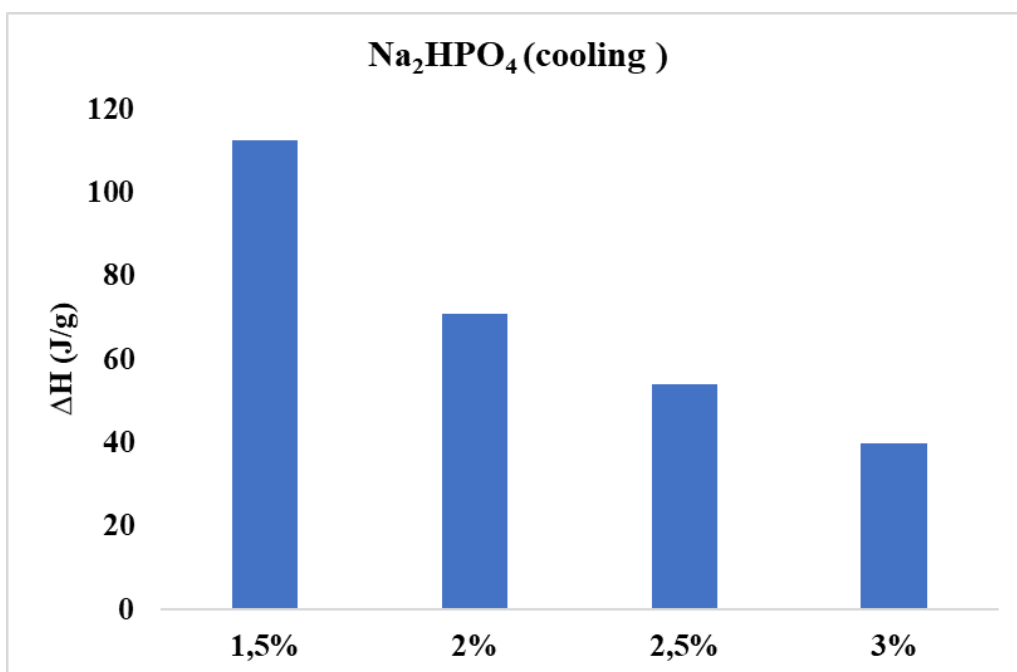
1. cyklus cooling 25 až -50°C (10°C/min)			2. cyklus heating -50 až 80°C (5°C/min)		
vzorek	T _p (°C)	ΔH (J/g)	vzorek	T _{onset} (°C)	ΔH (J/g)
K ₂ HPO ₄ 1,5 %	-19,39	55,01	K ₂ HPO ₄ 1,5 %	-7,95	57,43
K ₂ HPO ₄ 2 %	-18,50	56,90	K ₂ HPO ₄ 2 %	-5,60	58,77
K ₂ HPO ₄ 2,5 %	-17,85	110,59	K ₂ HPO ₄ 2,5 %	-6,29	118,03
K ₂ HPO ₄ 3 %	-17,38	68,67	K ₂ HPO ₄ 3 %	-9,79	71,64
K ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	-16,62	95,90	K ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	-6,89	103,93
K ₄ P ₂ O ₇ 2 %	-20,62	69,68	K ₄ P ₂ O ₇ 2 %	-8,52	72,28
K ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	-16,27	95,81	K ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	-7,22	99,43
K ₄ P ₂ O ₇ 3 %	-19,68	66,87	K ₄ P ₂ O ₇ 3 %	-10,14	83,24
K ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	-25,12	29,59	K ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	-13,35	30,84
K ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	-23,42	64,14	K ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	-11,72	76,32
K ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	-20,97	67,32	K ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	-8,28	67,29
K ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	-26,36	33,78	K ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	-21,84	31,97

Tabulka 11: Výsledky krystalizace vody a teploty tání ledu u tavených sýrů s přidavkem sodných tavicích solí

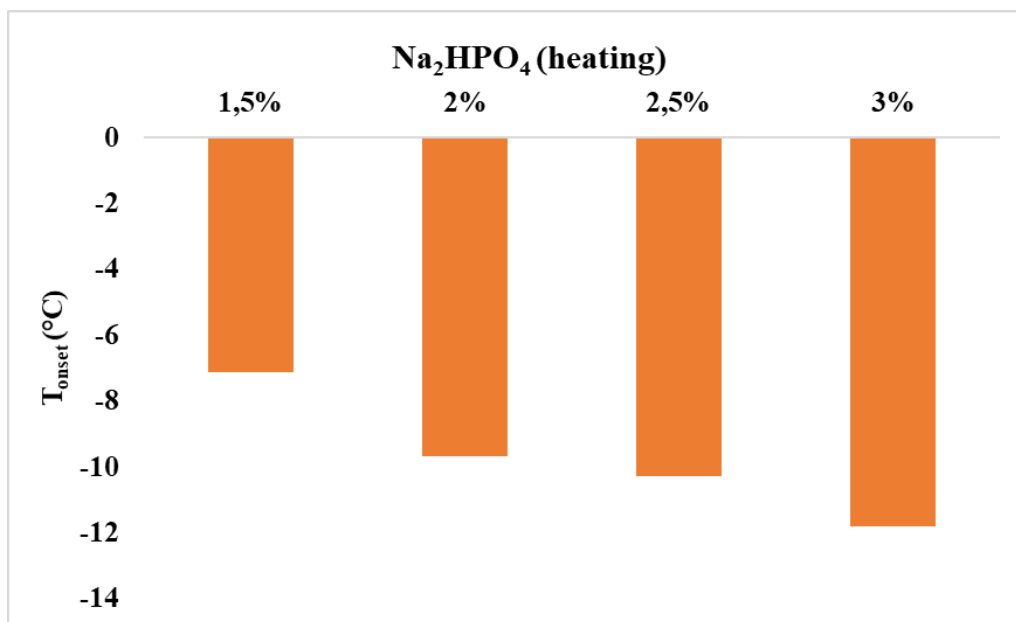
1. cyklus cooling 25 až -50°C (10°C/min)			2. cyklus heating -50 až 80°C (5°C/min)		
vzorek	T _p (°C)	ΔH (J/g)	vzorek	T _{onset} (°C)	ΔH (J/g)
Na ₂ HPO ₄ 1,5 %	-15,40	112,50	Na ₂ HPO ₄ 1,5 %	-7,11	118,30
Na ₂ HPO ₄ 2 %	-18,72	70,93	Na ₂ HPO ₄ 2 %	-9,69	67,53
Na ₂ HPO ₄ 2,5 %	-19,43	54,10	Na ₂ HPO ₄ 2,5 %	-10,27	51,61
Na ₂ HPO ₄ 3 %	-22,94	39,79	Na ₂ HPO ₄ 3 %	-11,80	40,64
Na ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	-15,27	105,56	Na ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	-7,18	111,34
Na ₄ P ₂ O ₇ 2 %	-16,65	62,42	Na ₄ P ₂ O ₇ 2 %	-9,25	65,71
Na ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	-17,87	97,91	Na ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	-5,75	99,09
Na ₄ P ₂ O ₇ 3 %	-18,23	75,05	Na ₄ P ₂ O ₇ 3 %	-7,11	70,99
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	-17,27	70,21	Na ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	-7,62	73,34
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	-19,93	40,40	Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	-9,83	46,54
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	-20,19	94,07	Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	-7,50	103,34
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	-23,71	81,49	Na ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	-10,83	109,87



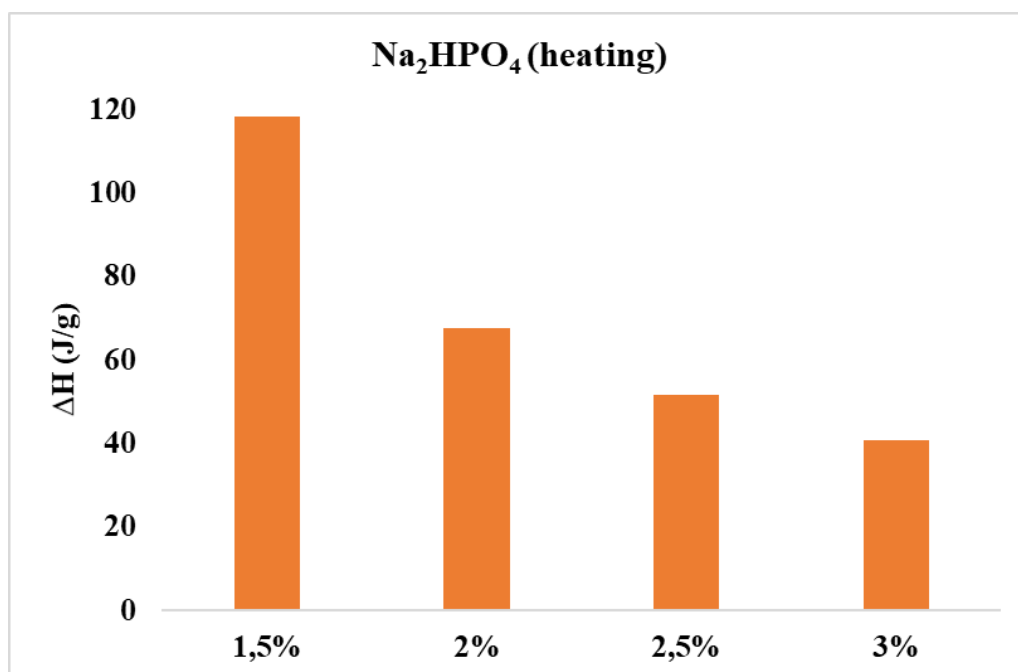
Obrázek 73: Graf zachycující krystalizační chování včetně teploty píku vrcholu (T_p) během 1. cyklu „cooling“ u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 % - 3 %



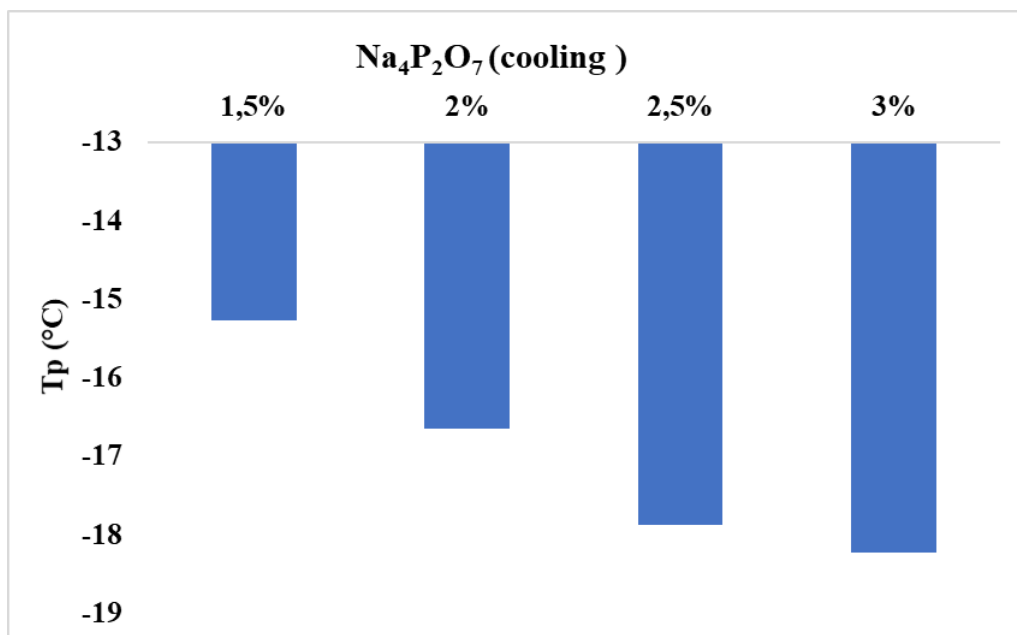
Obrázek 74: Graf 1. cyklu „cooling“ zachycující změnu entalpie mající vliv na krystalizační chování u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 % - 3 %



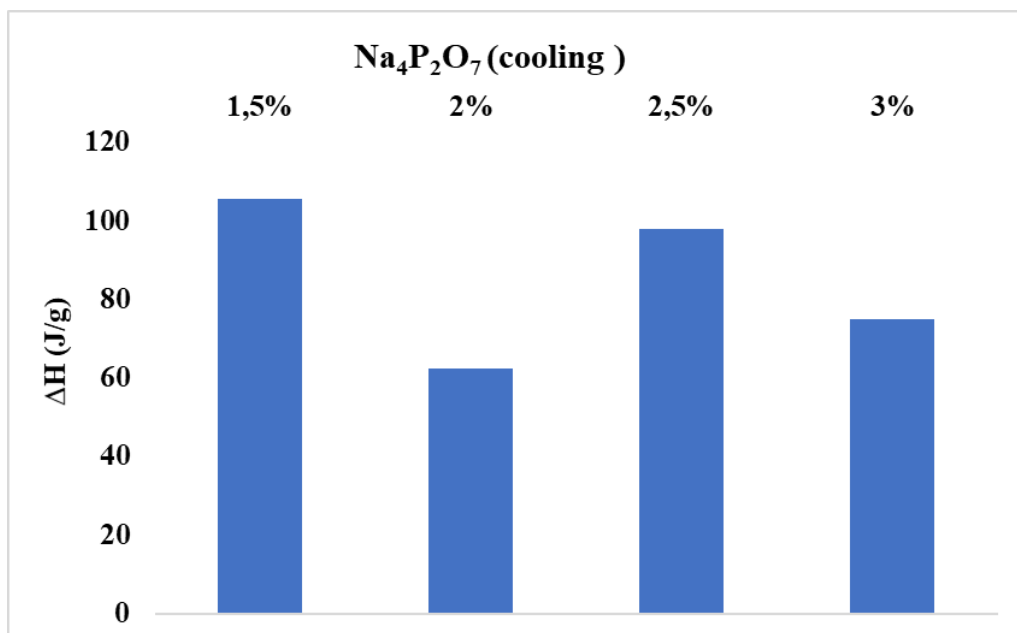
Obrázek 75: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ s hodnotami počáteční teploty tání (T_{onset}) zmrzlé vody vázané ve vzorcích tavených sýrů s přidavkem tavicí soli Na₂HPO₄ v koncentracích 1,5 % - 3 %



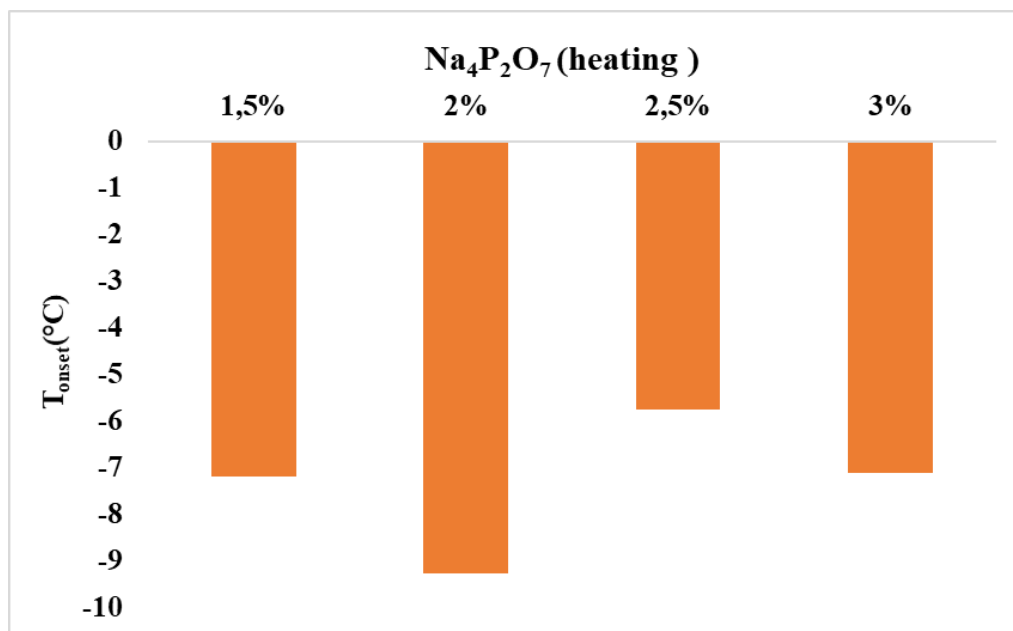
Obrázek 76: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ zachycující změnu entalpie mající vliv na teplotu tání ledu u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli Na₂HPO₄ v koncentracích 1,5 % - 3 %



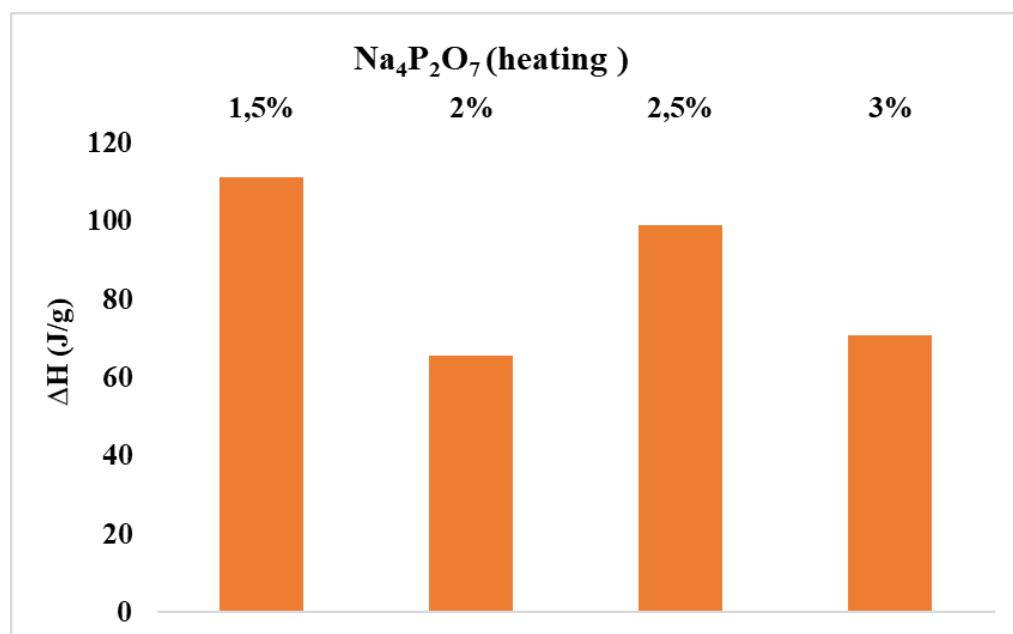
Obrázek 77: Graf zachycující krystalizační chování včetně teploty píku vrcholu (T_p) během 1. cyklu „cooling“ u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 % - 3 %



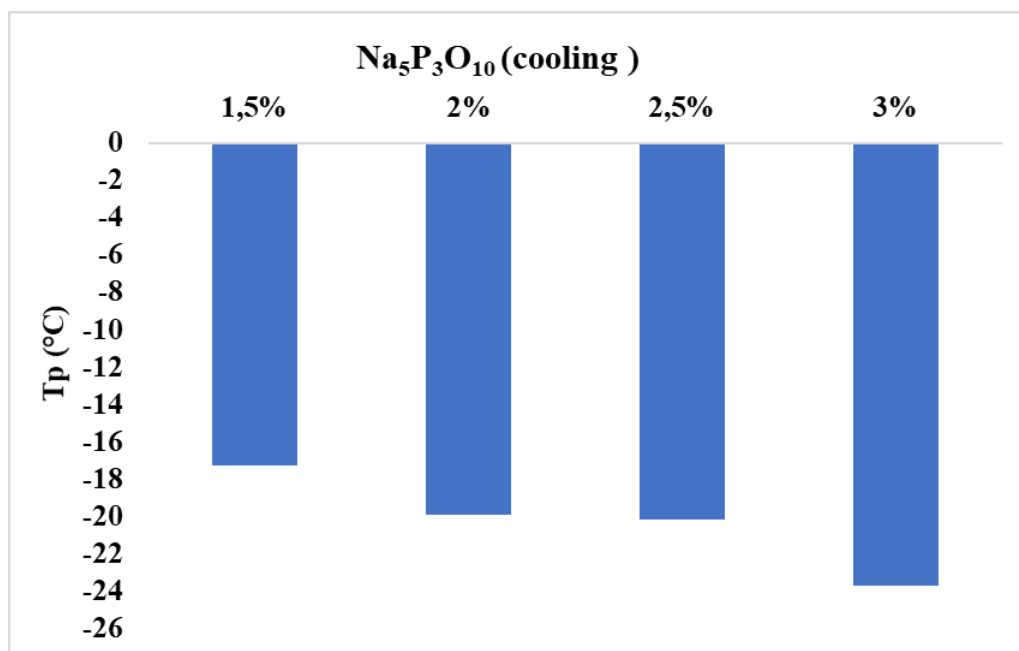
Obrázek 78: Graf 1. cyklu „cooling“ zachycující změnu entalpie mající vliv na krystalizační chování u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 % - 3 %



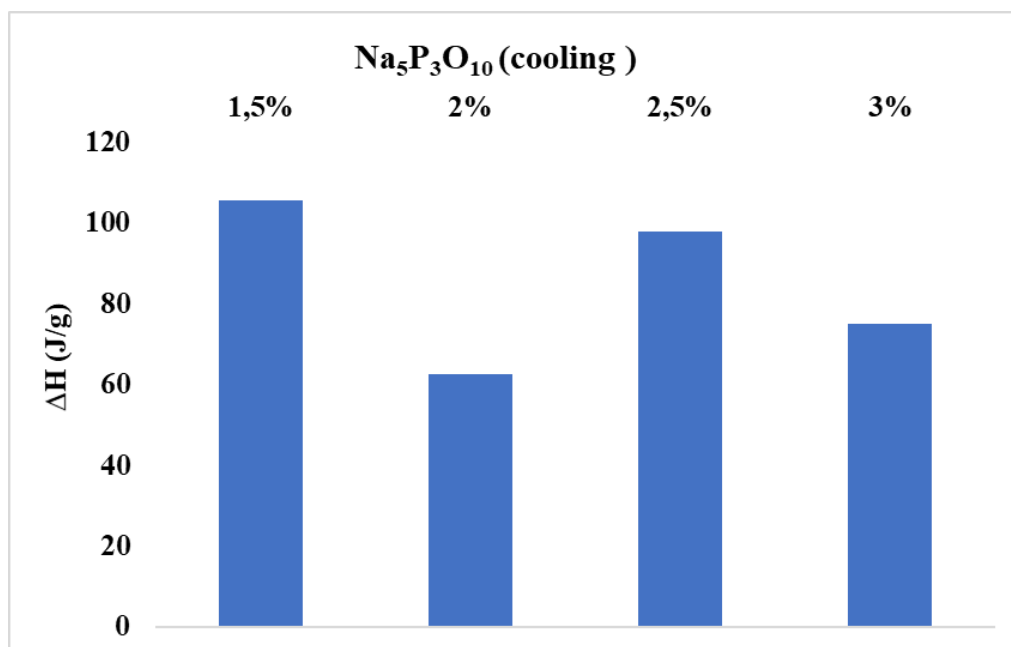
Obrázek 79: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ s hodnotami počáteční teploty tání (T_{onset}) zmrzlé vody vázané ve vzorcích tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 % - 3 %



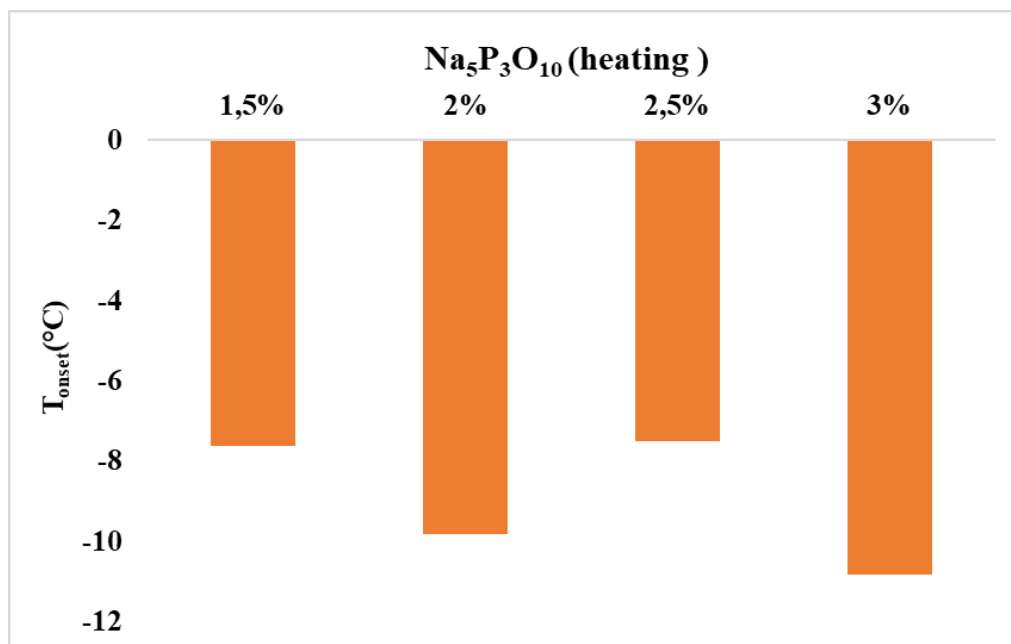
Obrázek 80: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ zachycující změnu entalpie mající vliv na teplotu tání ledu u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 % - 3 %



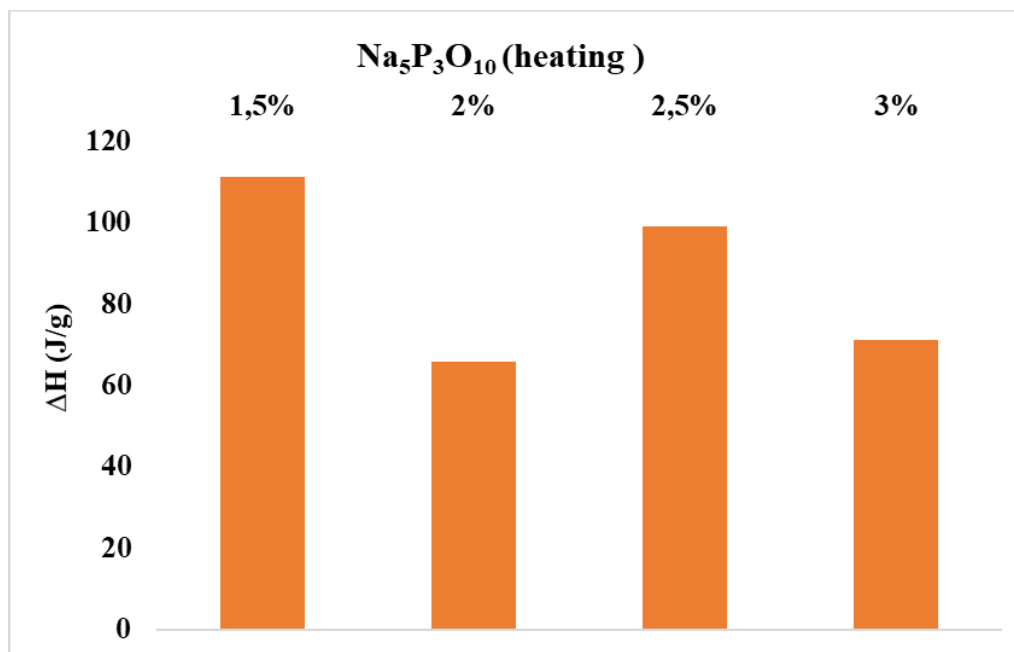
Obrázek 81: Graf zachycující krystalizační chování včetně teploty píku vrcholu (T_p) během 1. cyklu „cooling“ u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 % - 3 %



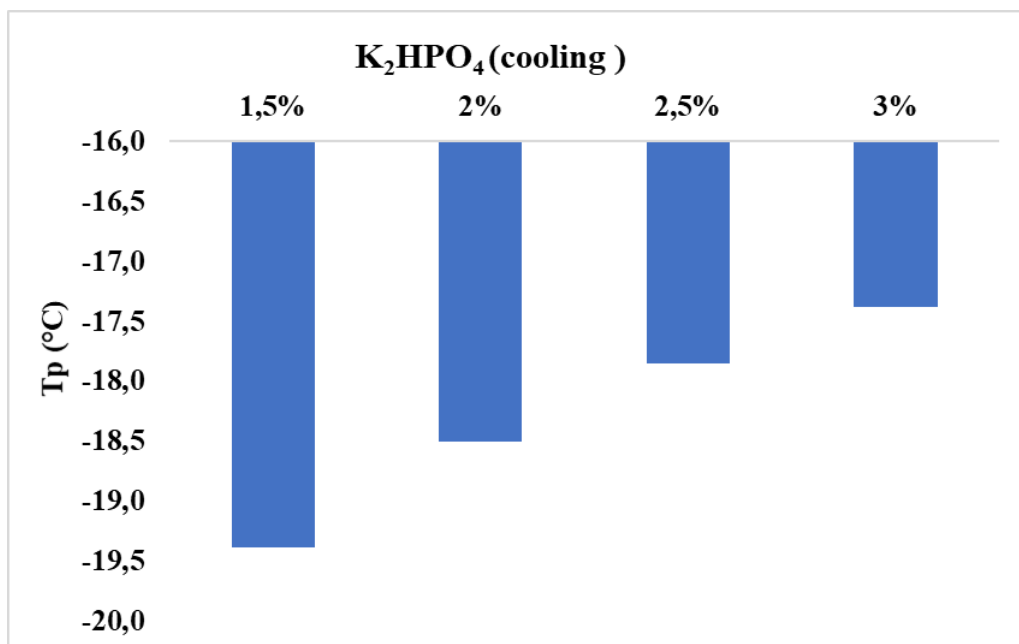
Obrázek 82: Graf 1. cyklu „cooling“ zachycující změnu entalpie mající vliv na krystalizační chování u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 % - 3 %



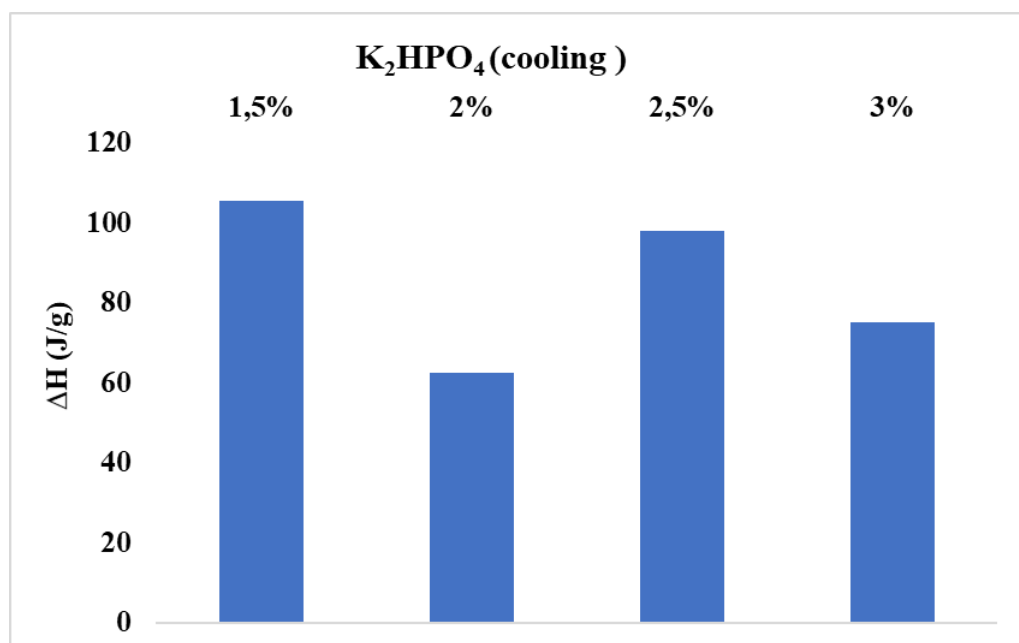
Obrázek 83: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ s hodnotami počáteční teploty tání (T_{onset}) zmrzlé vody vázané ve vzorcích tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 % - 3 %



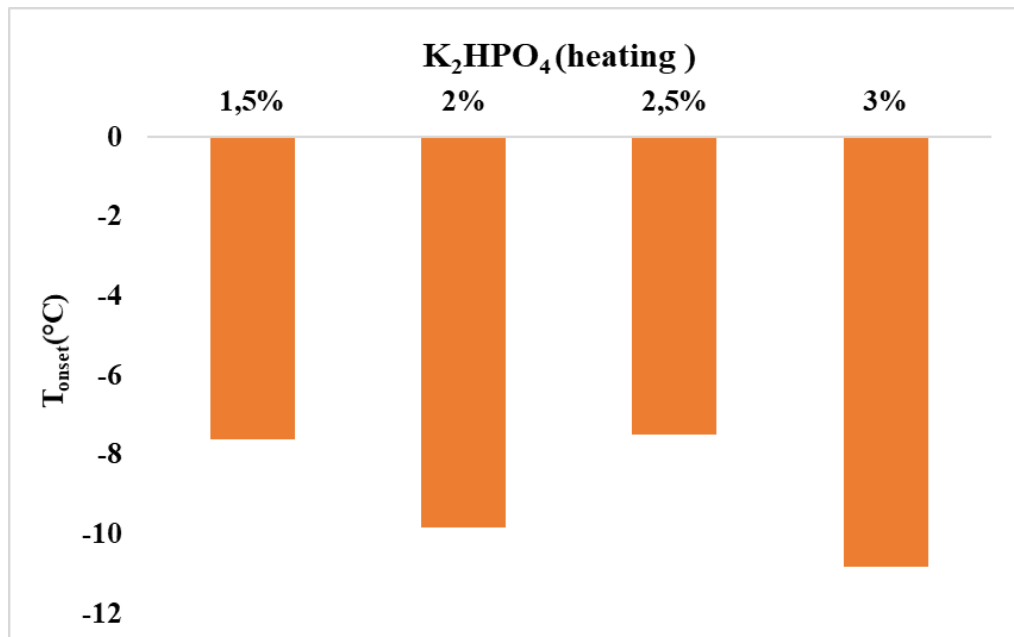
Obrázek 84: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ zachycující změnu entalpie mající vliv na teplotu tání ledu u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 % - 3 %



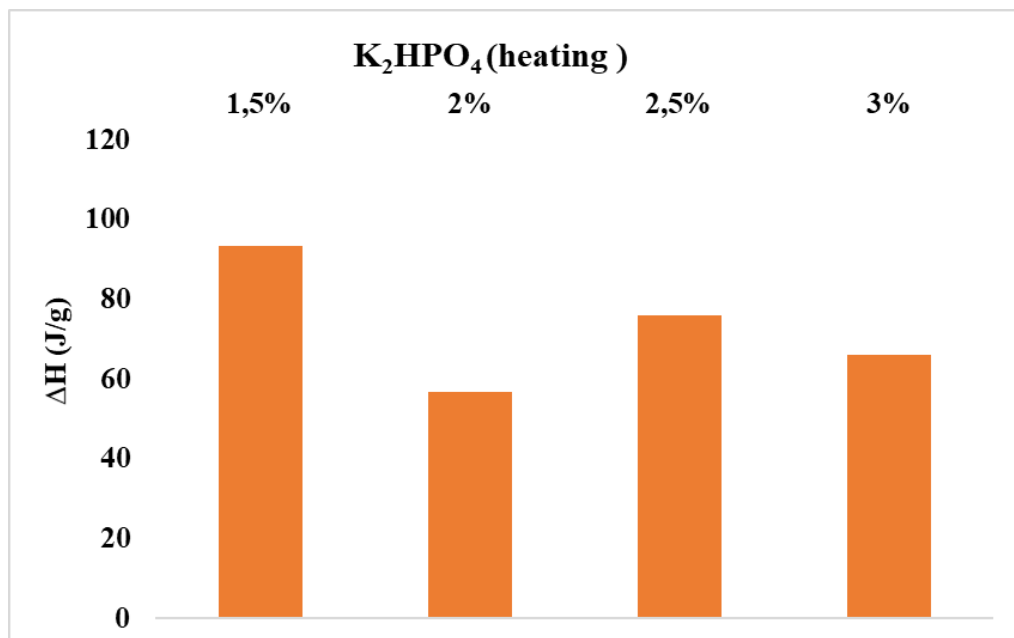
Obrázek 85: Graf zachycující krystalizační chování včetně teploty píku vrcholu (T_p) během 1. cyklu „cooling“ u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 % - 3 %



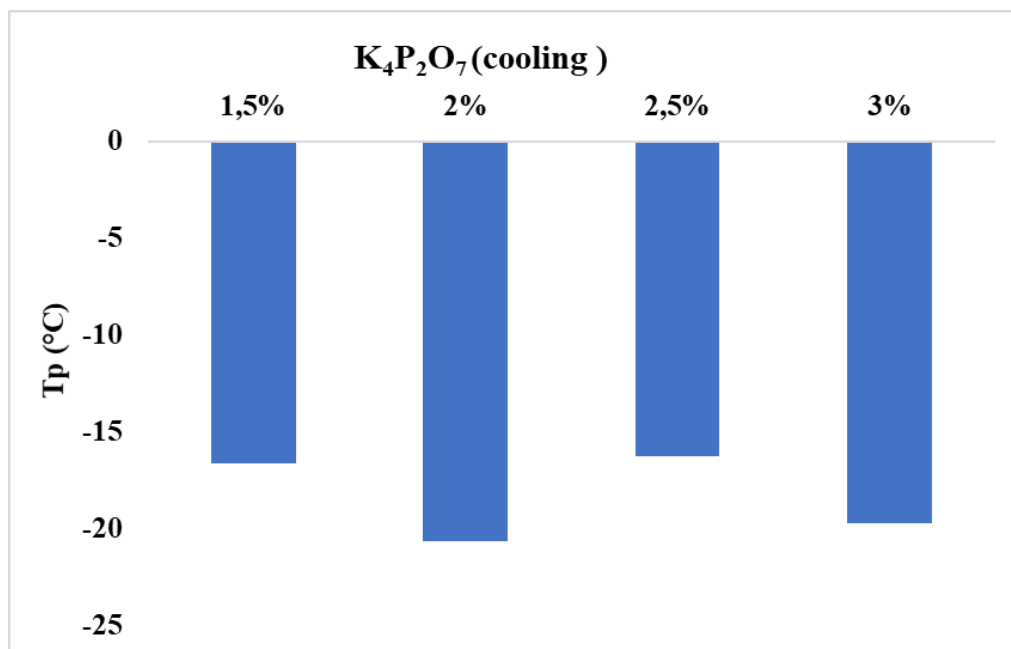
Obrázek 86: Graf 1. cyklu „cooling“ zachycující změnu entalpie mající vliv na krystalizační chování u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 % - 3 %



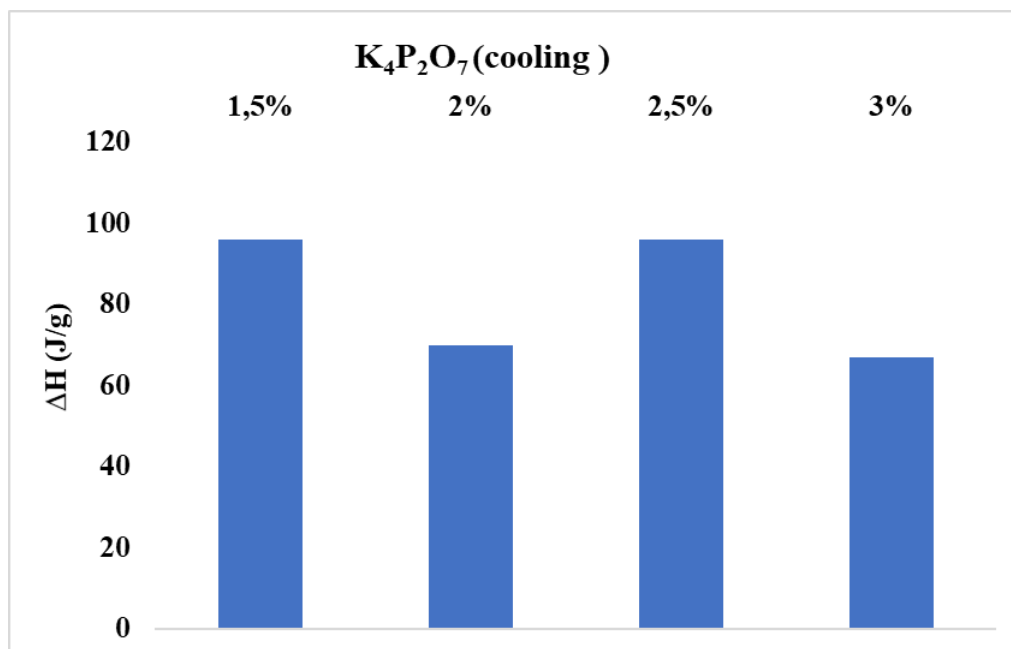
Obrázek 87: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ s hodnotami počáteční teploty tání (T_{onset}) zmrzlé vody vázané ve vzorcích tavených sýrů s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 % - 3 %



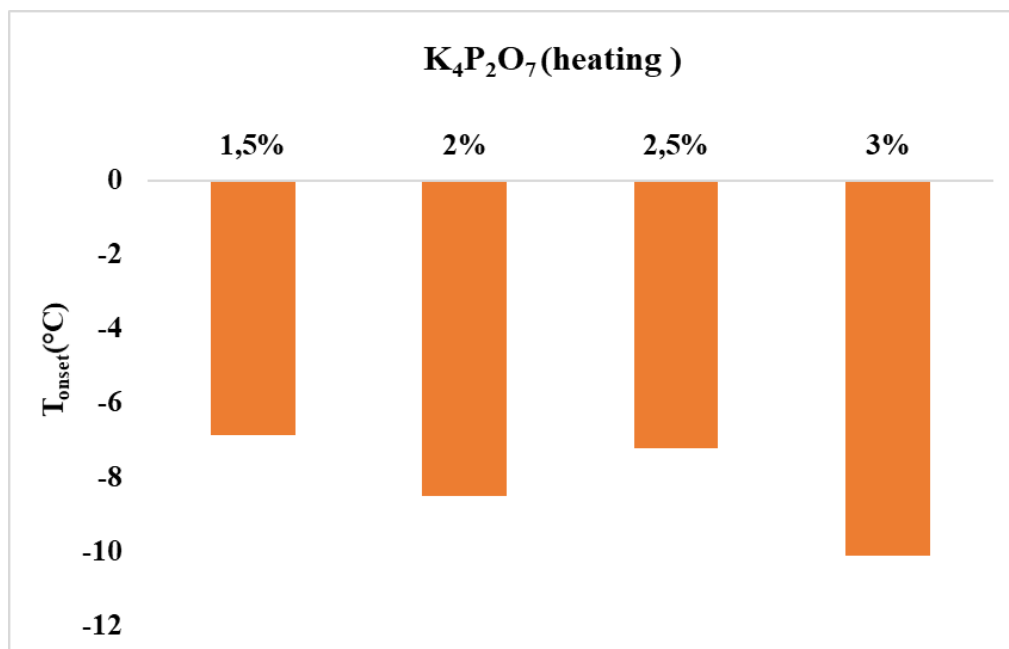
Obrázek 88: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ zachycující změnu entalpie mající vliv na teplotu tání ledu u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 % - 3 %



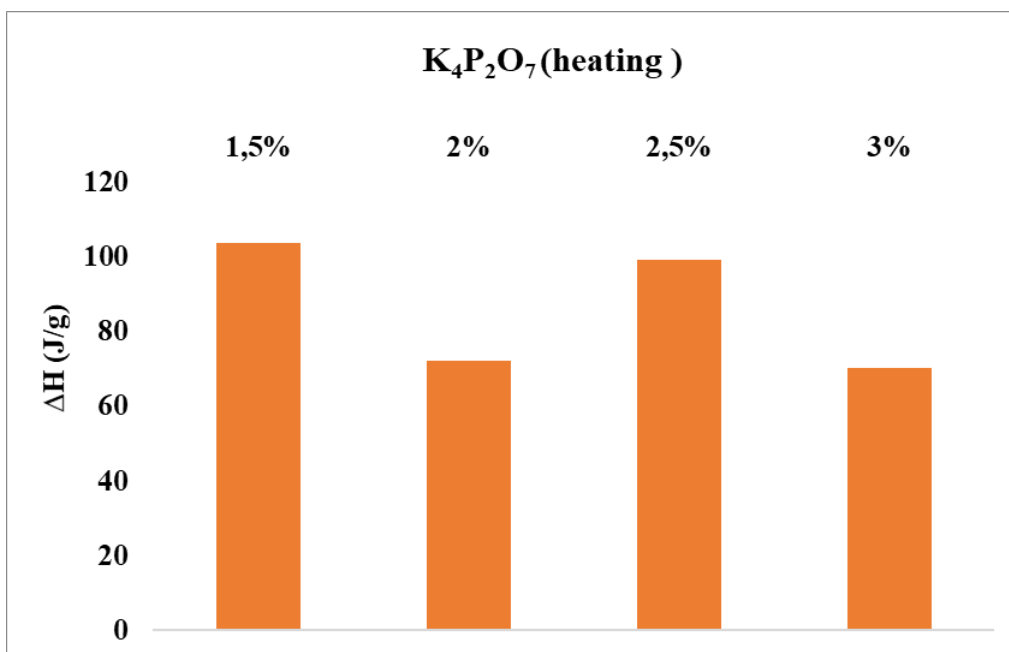
Obrázek 89: Graf zachycující krystalizační chování včetně teploty píku vrcholu (T_p) během 1. cyklu „cooling“ u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli K₄P₂O₇ v koncentracích 1,5 % - 3 %



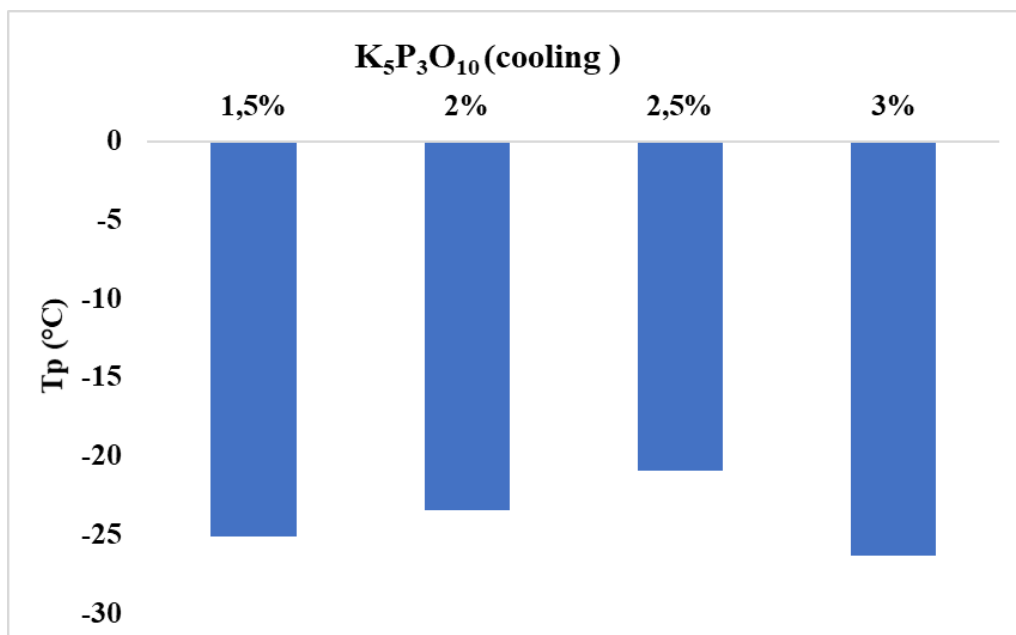
Obrázek 90: Graf 1. cyklu „cooling“ zachycující změnu entalpie mající vliv na krystalizační chování u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli K₄P₂O₇ v koncentracích 1,5 % - 3 %



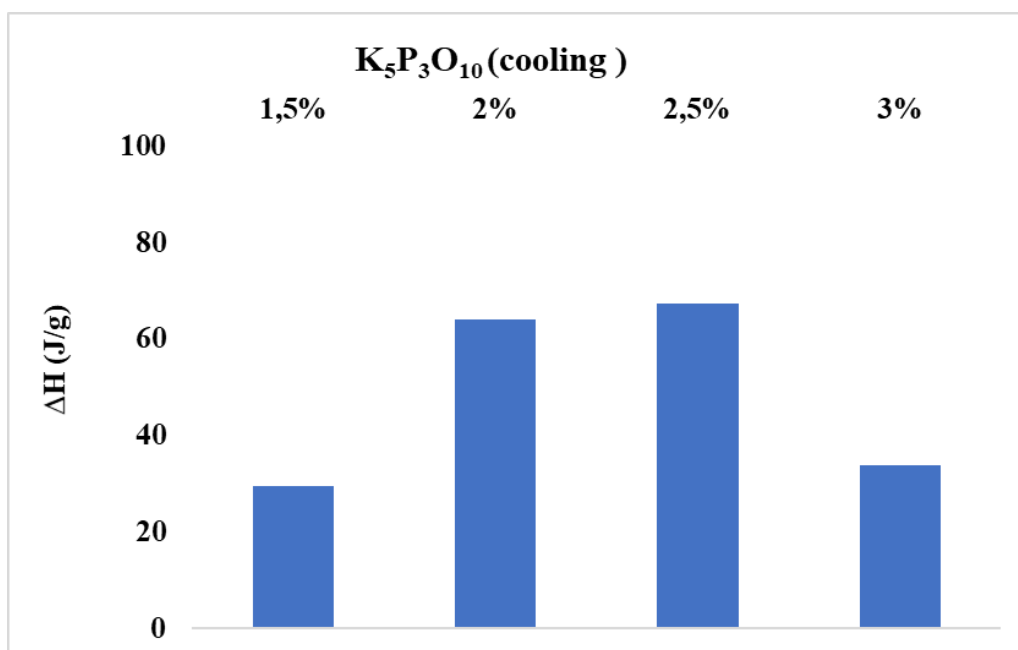
Obrázek 91: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ s hodnotami počáteční teploty tání (T_{onset}) zmrzlé vody vázané ve vzorcích tavených sýrů s přidavkem tavicí soli K₄P₂O₇ v koncentracích 1,5 % - 3 %



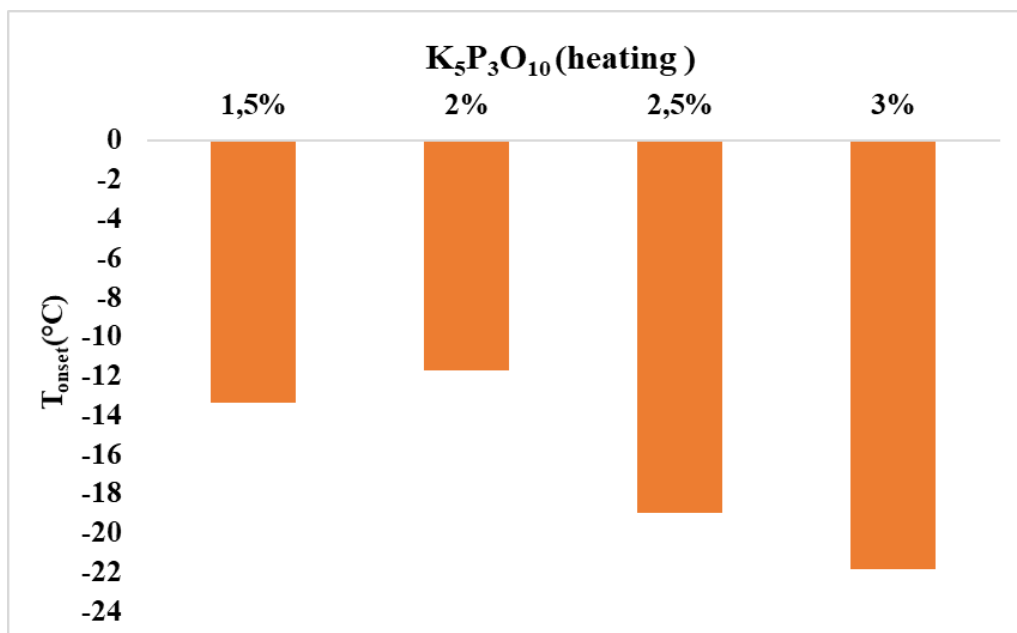
Obrázek 92: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ zachycující změnu entalpie mající vliv na teplotu tání ledu u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli K₄P₂O₇ v koncentracích 1,5 % - 3 %



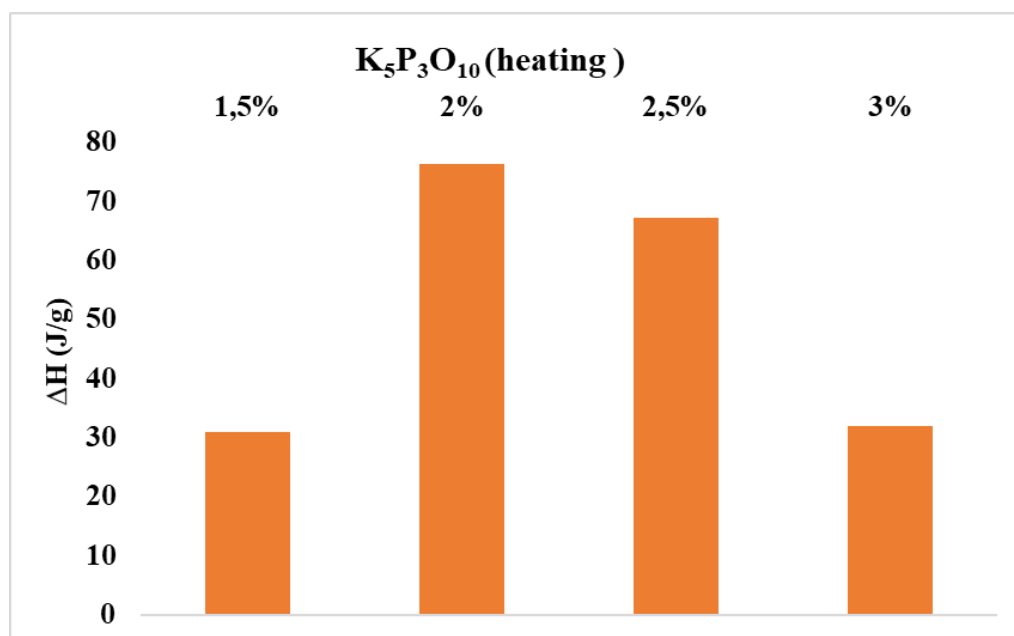
Obrázek 93: Graf zachycující krystalizační chování včetně teploty píku vrcholu (T_p) během 1. cyklu „cooling“ u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 % - 3 %



Obrázek 94: Graf 1. cyklu „cooling“ zachycující změnu entalpie mající vliv na krystalizační chování u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 % - 3 %



Obrázek 95: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ s hodnotami počáteční teploty tání (T_{onset}) zmrzlé vody vázané ve vzorcích tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 % - 3 %



Obrázek 96: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ zachycující změnu entalpie mající vliv na teplotu tání ledu u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 % - 3 %

Vzorek během DSC experimentu byl vystaven klesajícím teplotám od 25 °C do - 80 °C, rychlostí chlazení 10 °C za 1 minutu. Voda přítomná ve vzorku začíná krystalizovat při teplotách od - 15 °C do - 23 °C v závislosti na obsahu Na₂HPO₄ v důsledku rozpadu nekovalentních vazeb mezi proteinem a rozpouštědlem (Xing Du a kol., 2016). Na DSC křivce pozorujeme strmý krystalizační pík – proces krystalizace je velmi rychlý, významná část energie se uvolňuje v krátkém čase. Přítomnost solí v měřeném systému mění jak krystalizační chování (cooling), tak i teplotu tání ledu (heating). S rostoucí koncentrací tavicí soli se krystalizační pík posouvá k nižším teplotám (Tabulka 8 a 9) a ΔH se snižuje s rostoucím obsahem tavicí soli. Endotermní pík (heating cyklus) pozorovaný při teplotách - 7 °C až - 12 °C (T_{onset}) představuje teplotu tání zmrzlé vody vázané ve vzorcích tavených sýrů. Pík tání vody při nižších teplotách než při 0 °C se připisuje tání zmrzlé vázané vodě označované jako „Freezing point depression“ a je obvykle nižší než volná objemová voda v důsledku přítomnosti vodíkových vazeb. U vzorku taveného sýru s přídavkem Na₅P₃O₁₀ docházelo ke krystalizaci ve srovnání s ostatními sodnými tavicími solemi při mnohem nižších teplotách pohybujících se od - 17 °C do - 24 °C, přičemž čím vyšší koncentrace soli byla použita, tím bylo vždy potřeba nižší teploty k zahájení krystalizace vody (platí pro všechny sodné tavicí soli). U draselných tavicích solí jako je např. K₅P₃O₁₀ byl exotermní pík (cooling) pozorován při teplotách od - 21 °C po - 26 °C (T_p), jenž nám signalizuje počátek krystalizace vody ve vzorku. Je patrné, že tyto teploty se u vzorků s draselnými tavicími solemi pohybují v mnohem nižších hladinách, než jak je tomu u vzorků s přídavkem sodných tavicích solí. Teplota tání ledu v rámci 2. cyklu (heating) byla u tohoto vzorku rovněž pozorována jako nejnižší teplota pohybující se v intervalu od - 12 °C po - 22 °C. U draselných tavicích solí s vyšší koncentrací dané tavicí soli konstantě neroste teplota krystalizace vody, ani teplota tání ledu. U vzorků s přídavkem sodných tavicích solí byl naopak pozorován rostoucí trend v rámci krystalizačního chování, kdy se zvyšující se koncentrací tavicí soli roste i počáteční krystalizační teplota vody.

Dle studie Dalmazzone a kol. (2009) se teplota tání ledu snižuje se vzrůstající koncentrací soli ve vzorku a ΔH se snižuje s rostoucím obsahem soli, tudíž je pak voda ve vzorku více vázána. V rámci našeho experimentu týkajícího se tavených sýrů s přídavkem draselných tavicích solí jsme došli u některých druhů solí k opačnému závěru, kdy teplota tání ledu se zvyšovala s rostoucí koncentrací soli (neplatí pro všechny koncentrace). Mluvíme zejména o vzorcích s 3 % koncentrací, které od tohoto trendu obzvlášť

vybočovaly. Parametr ΔH je také proměnlivý v závislosti na obsahu tavicí soli ve vzorku taveného sýru, včetně použitého druhu tavicí soli.

Pokud bychom chtěli porovnat jednotlivé vzorky tavených sýru s přidavkem sodných tavicích solí v rámci schopnosti vázat vodu v matrici, tak nejlépe vážou vodu ve své matrici vzorky s tavicí solí Na_2HPO_4 o koncentraci 3 %, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ a $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ o koncentraci 2 %. U poslední dvou tavicích solí jsou hodnoty měrné entalpie velmi v těsné blízkosti mezi 2 % a 3 % koncentrací (očekávaná \uparrow vaznost vody). Došli jsme k závěru, že s rostoucím obsahem soli ve vzorku s tavicí solí Na_2HPO_4 se snižuje ΔH , což má za následek také vyšší vaznost vody v sýrové matrici (1,5 % < 2 % < 2,5 % < 3 %). U zbylých dvou sodných tavicích solí tento trend nelze aplikovat, navíc u vzorků s koncentrací 2 % zaznamenáváme významně nižší hodnoty ve srovnání s ostatními koncentracemi. Tuto anomálii si můžeme vysvětlit například špatným navážením všech surovin na počátku výroby tavených sýrů či nepatrným odchýlením se od postupu výroby. Co se týká vzorků tavených sýru s přidavkem draselných tavicích solí, tak zde nelze ani u jedné ze solí aplikovat tentýž trend jako u vzorku s tavicí solí Na_2HPO_4 . Nejvyšší vazností vody ze zjištěných výsledků disponuje vzorek s tavicí solí K_2HPO_4 o koncentraci 1,5 %, dále u vzorku s tavicí soli $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ to byl vzorek o koncentraci 3 % a u poslední použité tavicí soli $\text{K}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ to je vzorek o koncentraci 1,5 %, přičemž u této poslední tavicí soli je v těsném závěsu za 1,5 % koncentrace 3 %, u které se nejvyšší vaznost dala předpokládat. Opět tato anomálie mohla být způsobena řadou faktorů, zejména selháním toho lidského. Není vyloučeno nedodržení doby výdrže tavicí teploty v průběhu tavicího procesu.

Se zvyšujícím se obsahem solí dochází ke snížení obsahu volné vody a dochází ke stabilizaci proteinů, přičemž množství objemové kapalně vody se snižuje. Touto problematikou se zabývali ve své studii i Hani a kol. (2019), přičemž za pomoci dobře charakterizovaných bakteriálních vodných cytosolových enzymů (β -galaktosidázy a katechol 2,3-dioxygenázy) prokázali, že soli mohou stabilizovat proteiny in vivo i intracelulárně a že schopnost solí stabilizovat tyto dva proteiny intracelulárně také koreluje s Hofmeisterovou sérií iontů. V jejich studii pro tento průkaz bylo použito osm solí, z nichž jednou byla i námi použitá tavicí sůl Na_2HPO_4 , která se potvrdila jako velmi účinná při stabilizaci obou použitých proteinů (Hani a kol., 2019). V rámci našeho experimentu jsme došli ke stejným závěrům, a to, že se zvyšujícím se obsahem tavicích solí ve vzorku se zvyšuje i stabilizace proteinů a dochází ke snížení obsahu volné vody.

V neposlední řadě se snižuje i bod tuhnutí s rostoucí koncentrací tavicích solí. Všeobecně sodné tavicí soli vykazují mnohem lepší schopnost vázat vodu ve vzorku oproti draselným tavicím solím.

Zůstaneme-li však u schopnosti stabilizace proteinů, tak v sérii studií Von Hippel a Wong (1962, 1963, 1964) rovněž potvrdili skutečnost, že proteiny byly stabilizovány s ohledem na Hofmeisterovu sérii iontů, přičemž jednou z použitých solí byla K_2HPO_4 , která vykazovala nejlepší stabilizační účinky ze všech. Dále pak následovaly soli jako např. KCl a nakonec NaCl. Vzhledem ke zjištěným výsledkům jsme tuto studii potvrdili, neboť vzorek s nejvyšší vazností vody byl prokázán u vzorku právě s tavicí solí K_2HPO_4 .

Tabulka 12: Výsledky zmrzlé volné vody ($W_{f,s}$) ve vzorcích tavených sýrů s přidavkem tavicích solí draselných a sodných

vzorek	$W_{f,s}$ (%)	vzorek	$W_{f,s}$ (%)
K_2HPO_4 1,5 %	17,12	Na_2HPO_4 1,5 %	35,26
K_2HPO_4 2 %	17,52	Na_2HPO_4 2 %	20,13
K_2HPO_4 2,5 %	35,18	Na_2HPO_4 2,5 %	15,38
K_2HPO_4 3 %	21,35	Na_2HPO_4 3 %	12,11
$K_4P_2O_7$ 1,5 %	31,16	$Na_4P_2O_7$ 1,5 %	33,19
$K_4P_2O_7$ 2 %	21,54	$Na_4P_2O_7$ 2 %	19,59
$K_4P_2O_7$ 2,5 %	29,64	$Na_4P_2O_7$ 2,5 %	29,54
$K_4P_2O_7$ 3 %	24,81	$Na_4P_2O_7$ 3 %	21,16
$K_3P_3O_{10}$ 1,5 %	9,19	$Na_3P_3O_{10}$ 1,5 %	21,86
$K_3P_3O_{10}$ 2 %	22,75	$Na_3P_3O_{10}$ 2 %	13,87
$K_3P_3O_{10}$ 2,5 %	20,06	$Na_3P_3O_{10}$ 2,5 %	30,80
$K_3P_3O_{10}$ 3 %	9,53	$Na_3P_3O_{10}$ 3 %	32,75

Volnou vodu ve vzorku můžeme zjistit z hodnot teploty tání ledu (T_{onset}) a entalpie tání podle následujícího vzorce:

$$W_{f,s} (\%) = \frac{\Delta H_{hydrogel}}{\Delta H_{m,H_2O}^0}$$

kde:

$W_{f,s}$ je množství zmrzlé volné vody „freezable water“,

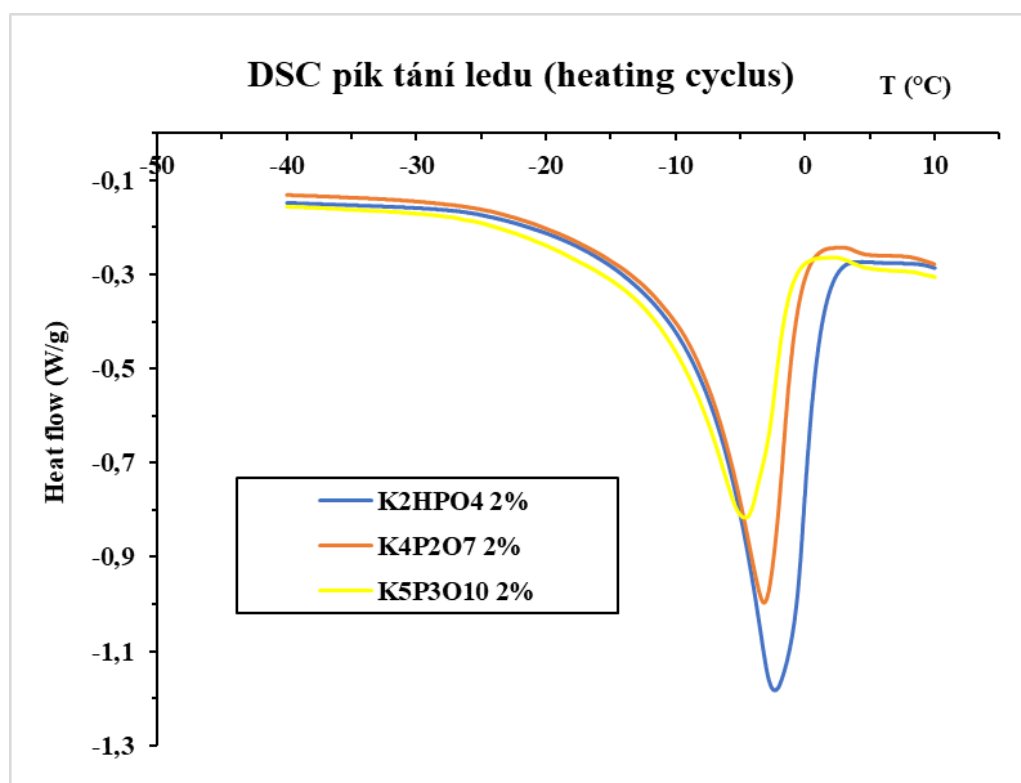
$\Delta H_{hydrogel}$ je entalpie tání vody ve vzorku pozorována při ohřevu vzorku,

$\Delta H_{m,H_2O}^0 = 333,5$ J/g je entalpie tání ledu (Thermal Analysis to Determine Various Forms of Water Present in Hydrogels).

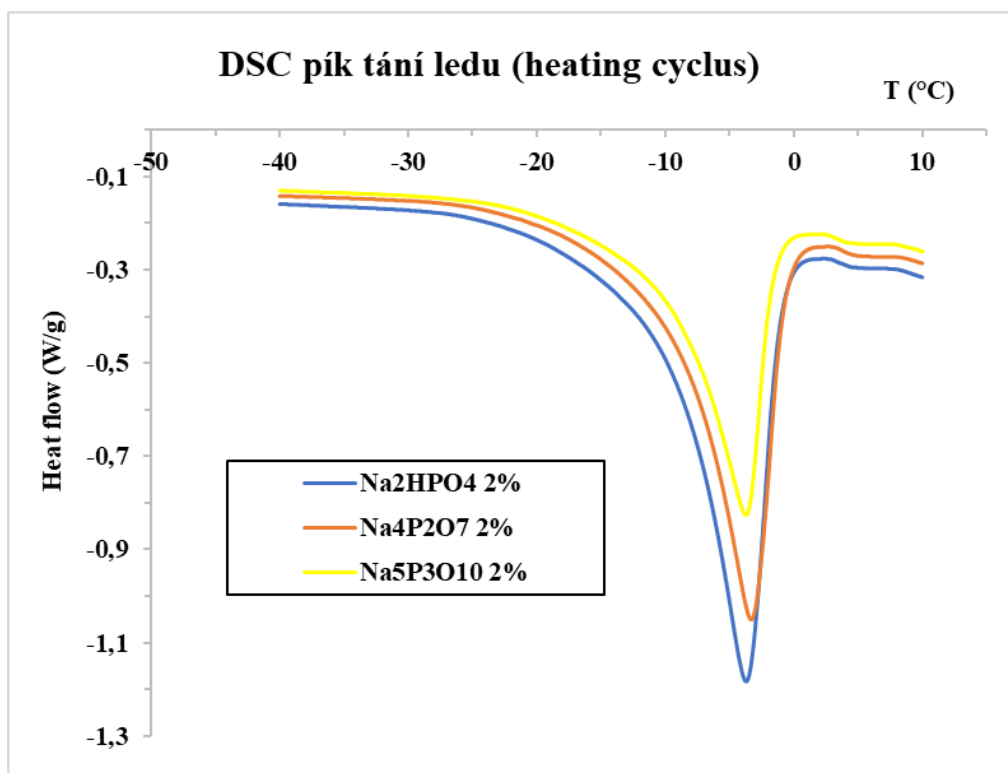
V rámci vzorků tavených sýrů s použitím sodných tavicích solí, konkrétně u tavicí soli Na_2HPO_4 se hodnoty $W_{f,s}$ snižují s obsahem soli, což znamená, že voda je více vázána ve vzorku, pro 2 % obsah soli je $W_{f,s} = 20,13 \%$. U zbývajících dvou tavicích solí použitých při výrobě tavených sýrů pozorujeme nejnižší hodnoty $W_{f,s}$ u 2 % koncentrací, konkrétně pro tavicí sůl $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ je $W_{f,s} = 19,88 \%$ a pro $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ tato hodnota činí 13,87 %.

Co se týká vzorků tavených sýrů s přidavkem draselných tavicích solí, tak pro tavicí sůl K_2HPO_4 pozorujeme nejnižší hodnoty (17,1 a 17,5 %) u 1,5 % a 2 % obsahu soli. Zatímco u tavicích solí $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ a $\text{K}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ pozorujeme o něco vyšší hodnoty, přičemž nejnižší množství zmrzlé volné vody pro $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ je u 2 % obsahu soli, a to $W_{f,s} = 21,5 \%$. U tavicí soli $\text{K}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ pozorujeme nejnižší hodnoty (22,74 %) opět u 2 % obsahu soli této soli.

Na obrázku 97 a 98 je krásně vyobrazen trend vztažený na 2 % koncentrace tavicích solí, z kterého lze konstatovat, že se zvyšujícím se obsahem draslíku/sodíku v tavených sýrech dochází k pozvolnému snižování entalpie tání ledu, tudíž voda je více vázána ve vzorku.



Obrázek 97: Termogram DSC pro tavené sýry s 2 % koncentrací draselných tavicích solí



Obrázek 98: Termogram DSC pro tavené sýry s 2 % koncentrací sodných tavicích solí

6.6 Výsledky sensorické analýzy

Senzorické hodnocení modelových vzorků tavených sýrů bylo uskutečněno v rámci všech odběrových dnů v průběhu skladování (6 ± 2 °C), a to 1., 14., 30. a 60. den od výroby. Cílem sensorické analýzy bylo sledovat především vývoj hořké chuti u tavených sýrů s přidavkem draselných tavicích solí. Dalším aspektem této analýzy bylo, zdali posuzovatelé zaznamenají patrné rozdíly mezi jednotlivými vzorky s různým druhem použité tavicí soli a s různou koncentrací. Sensorické hodnocení bylo provedeno za použití sedmibodové stupnice se zaměřením na vzhled a barvu, konzistenci, tuhost, roztíratelnost, chuť a vůni, hořkou chuť a přítomnost cizích pachů a pachutí u daných vzorků. Veškeré výsledky shrnuté v tabulkách jsou k dispozici v příloze B a C.

U všech vzorků jak na počátku výroby, tak během skladování se docílilo vynikajícího vzhledu a barvy, které lze považovat za jedny z nejdůležitějších atributů přijatelnosti pro budoucí spotřebitele. Všechny vzorky jak s přidavkem draselných, tak sodných tavicích solí vykazovaly smetanově bílou barvu bez cizích odstínů s hladkým a lesklým povrchem. Pro co nejlepší představu a zobrazení byly všechny modelové vzorky tavených sýrů s přidavkem konkrétních tavicích solí vyfoceny fotoaparátem a vloženy v příloze D a E pro možnost nahlédnutí.

U konzistence modelových vzorků tavených sýrů nelze jednoznačně říci, zda během skladování se konzistence buďto konstantně zhoršovala nebo naopak zlepšovala. Každá tavicí sůl působila na výsledný produkt trochu odlišně a zároveň podobným charakterem. U všech vzorků tavených sýrů jak s použitím sodných, tak draselných tavicích solí si konzistence držela během skladování podle hodnotitelů převážně dobrou až velmi dobrou konzistenci, zejména v 1. a 14. dnu od výroby.

Byly i výjimky jako je například tavený sýr s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ o koncentrací 1,5 % a 2 %, která dle hodnotitelů vykazovala ve 14. dnu od výroby naopak zlepšení konzistence a byla hodnocena jako výborně roztíratelná, jemná a nelepivá. Všeobecně tato sůl si držela nejlepší hodnocení ve srovnání s ostatními druhy tavicích solí použitých v tavených sýrech, a to dokonce i v 30. dnu skladování. V 60. dnu od výroby docházelo u převážné většiny vzorků obsahující draselní tavicí soli k nepatrnému zhoršení konzistence jako například u K_2HPO_4 o koncentraci 3 % a $K_5P_3O_{10}$ o koncentraci 2 % s hodnocením konzistence dle hodnotitelů jako horší, tužší, špatně roztíratelná až lepivá. U tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ o koncentraci 2 % lze jednoznačně konstatovat, že od 14. dne skladování docházelo ke zlepšení konzistence, přičemž tento charakter si výrobek zachoval až do 60. dne skladování. Hodnotiteli byl posouzen jako výrobek s výbornou roztíratelností, jemnou a nelepivou konzistencí. U některých modelových vzorků tavených sýrů byla během konzumace zaznamenána změna struktury a přítomnost drobných krystalků, jednalo se o výrobky s přidavkem tavicích solí K_2HPO_4 3 %, $Na_4P_2O_7$ 2 % a 2,5 %. Vznik drobných krystalků může mít mnoho příčin, což ve své studii uvedl i Guinee (2017). Dle něj jednou z možných příčin je např. vznik nerozpustných krystalů fosforečnanu vápenatého, neúplné rozpuštění tavicích solí apod. (Guinee, 2017; El-Bakry a Mehta, 2022).

Z hlediska tuhosti a roztíratelnosti tavených sýrů s přidavkem sodných tavicích solí docházelo v průběhu skladování až na výjimky ke vzniku optimální tvrdosti a roztíratelnosti. Výjimkou máme na mysli například tavicí sůl $Na_4P_2O_7$ 1,5 %, která byla hodnocena posuzovateli na konci skladování jako výrobek velmi tuhý nebo dále tavený sýr s tavicí solí Na_2HPO_4 1,5 % či $Na_5P_3O_{10}$ 1,5 %, které naopak na konci skladování dosáhly mírně měkčí konzistence u produktů, než je jeho požadované optimum. U produktů vyrobených s přidavkem draselných solí si většina udržovala během skladování optimální tuhost až mírně tužší konzistenci. Stejný průběh byl hodnotiteli posouzen i u parametru roztíratelnosti. Opět nalezneme výjimky i zde, kdy u tavených sýrů s přidavkem tavicích solí

K_2HPO_4 o koncentraci 3 % a $K_5P_3O_{10}$ o koncentraci 2 % došlo dle hodnotitelů ke vzniku tuhého až velmi tuhého produktu.

V rámci chuti a vůně vzorků tavených sýrů byl nejlépe hodnocen produkt s přidavkem draselných tavicích solí tavený sýr s 1,5 % a 2 % tavicí solí K_2HPO_4 a dále tavený sýr s tavicí solí $K_5P_3O_{10}$ o koncentraci 1,5 %, přičemž tyto produkty byly hodnotiteli posouzeny jako vynikající s jemnou mléčně sýrovou chutí, velmi harmonickou bez cizích příchutí. Ostatní výrobky s dalšími použitými tavicími solemi si rovněž nevedly špatně a z hlediska chuti a vůně byly stále hodnoceny jako: přijatelně výborné, velmi dobré nebo dobré. Samozřejmě i tady se našly výjimky jako např. tavený sýr s přidavkem 2,5 % $K_4P_2O_7$ byl hodnocen hodnotiteli jako nevyhovující z hlediska chuti a vůně nebo tavený sýr s přidavkem $K_4P_2O_7$ o koncentracích 2 %, 2,5 % a 3 % byly posouzeny jako výrobky s méně dobrou chutí a vůní. V rámci tavených sýrů s přidavkem sodných draselných solí byla nejlépe hodnocenou skupinou v chuti a vůni tavených sýrů produkt s přidavkem tavicí soli $Na_5P_3O_{10}$ ve všech koncentracích (1,5 %, 2 %, 2,5 % a 3 %). Dále někteří hodnotitelé poznamenali u taveného sýru s přidavkem K_2HPO_4 o koncentraci 2,5 % a Na_2HPO_4 o koncentracích 1,5 %, 2,0 % a 2,5 %, že produkty působí kyselým charakterem.

Hořká chuť v tavených sýrech s přidavkem sodných tavicích solí nebyla hodnotiteli převážně zaznamenána. Naopak u draselných tavicích solí se již vyskytla přítomnost hořké chuti u některých typů použitých solí v tavených sýrech, ovšem stále lze označit tyto produkty za velmi málo hořké podle hodnotitelů. To se týkalo především taveného sýru s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ o všech koncentracích v 1. den skladování od výroby, kdy byl produkt hodnotiteli označen za velmi málo hořký. Poté v průběhu skladování hořkost vymizela a 60. den skladování byla hořká chuť opět hodnotiteli zaznamenána, nicméně ve stejné intenzitě jako u prvního dne skladování. Naopak tavený sýr s přidavkem K_2HPO_4 o koncentraci 3 % byl hodnotiteli posouzen za velmi málo hořký výrobek od 1. dne po 30. den skladování, ovšem 60. den od výroby hodnotiteli již hořká chuť zaznamenána nebyla. U ostatních produktů tavených sýrů s přidavkem draselných tavicích solí se posuzovatelé shodli, že u většiny těchto produktů není hořkost zaznamenána, popřípadě jen ve velmi nízké intenzitě. Podle dostupné literatury doposud nebyla nalezena jasná odpověď objasňující tento fenomén s ohledem na interakce mezi draselnými tavicími soli a sýrovou maticí způsobující potenciální hořkou chuť u finálních výrobků tavených sýrů.

Přítomnost cizích pachutí byla zaznamenána v první den skladování od výroby u produktů s přídavkem tavicí soli Na_2HPO_4 o všech koncentracích a $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ o koncentracích 2,5 % a 3 %. V dalších dnech skladování byl výrobek s těmito tavicími solemi označen jako výrobek naprosto prostý cizích pachů a pachutí. Ostatní produkty tavených sýrů s přídavkem dalších druhů sodných tavicích solí byly označeny také jako výrobky prosté cizích pachů a pachutí.

Co se týká tavených sýrů s přídavkem draselných tavicích solí, tak s výjimkou 14. dne skladování byla většina těchto produktů posouzena hodnotiteli jako výrobky prosté cizích pachů a pachutí. U 14. dne skladování od výroby u všech tavených sýrů s přídavkem draselných tavicích solí s výjimkou $\text{K}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ (2,5 %) došlo ke vzniku určité pachutě (mýdlo). U zmiňované výjimky byla tato pachut' zaznamenána hodnotiteli až 30. a 60. den skladování.

ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na vybrané vlastnosti tavených sýrů za přídavku zejména draselných tavicích solí s různou délkou řetězce (K_2HPO_4 , $K_4P_2O_7$ a $K_5P_3O_{10}$) o koncentracích 1 - 3 %, u kterých bylo sledováno, zda jednotlivé druhy a konkrétní koncentrace draselných tavicích solí mají či nemají významný vliv na utváření finální konzistence ovlivňující zejména texturní a viskoelastické vlastnosti produktu. Dále na hodnoty pH, vodní aktivity a obsah sušiny. To stejné bylo sledováno i u tavených sýrů s obsahem sodných tavicích solí, jež sloužily především pro srovnání. Veškeré analýzy se prováděly 1., 14., 30. a 60. den po výrobě s výjimkou stanovení obsahu sušiny (1. a 60. den). Výsledky této práce lze shrnout do následujících bodů:

- Jednotlivé tavicí soli, ať už draselné nebo sodné, jsou různě účinné v systému modelových tavených sýrů. Nejúčinnější ve zvyšování tvrdosti tavených sýrů byla tavicí sůl $K_5P_3O_{10}$ o koncentraci 2 % (w/w) a $Na_4P_2O_7$ o koncentraci 1,5 % (w/w). Nejméně efektivní pak byla tavicí sůl $K_5P_3O_{10}$ o koncentraci 2,5 % (w/w) a $Na_4P_2O_7$ o koncentraci 3 % (w/w).
- U všech vzorků byl pozorován rostoucí trend ve vztahu s rostoucí dobou skladování. Nejvyšší hodnoty jak u tvrdosti, tak pevnosti všech vzorků tavených sýrů byly pozorovány poslední den skladování → 60. den skladování.
- V závislosti na použité koncentraci či délce řetězce tavicích solí nebyl prokázán jednoznačný trend, který by se dal obecně aplikovat na všechny soli v rámci texturních a viskoelastických vlastností, neboť vzorky s tavicími solemi $K_4P_2O_7$ (3 %), $K_5P_3O_{10}$ (2 %), Na_2HPO_4 (1,5 %) a $Na_5P_3O_{10}$ (3 %) tento trend vždy narušily.
- Všechny modelové vzorky vykazovaly vyšší hodnoty u elastického modulu pružnosti než u ztrátového modulu pružnosti, včetně hodnot $\tan \delta < 1$. To vypovídá o elastickém chování všech vzorků tavených sýrů disponující pevnou maticí.
- Hodnoty kohezivnosti a relativní lepivosti byly různé v závislosti na použitém druhu a koncentraci tavicích solí čili nelze opět definovat jednoznačný trend.
- U hodnot pH bylo zjištěno, že s rostoucí koncentrací dosahuje pH vyšších hodnot, zatímco s délkou skladování hodnoty pH u všech vzorků pozvolna klesaly.
- Získané hodnoty sušiny lze považovat za akceptovatelné i přes nepatrné odchylky.

- Obsah sušiny a hodnoty pH testovaných vzorků tavených sýrů byly v úzkých intervalech, což je klíčové pro zachování srovnatelnosti studovaného taveného sýru.
- Vodní aktivita u všech vzorků tavených sýrů se v průběhu skladování nijak výrazně neměnila, což poukazuje na dobrou mikrobiální stabilitu, navíc podpořenou chladírenskou teplotou skladování (6 ± 2 °C).
- Diferenciální skenovací kalorimetrií bylo zjištěno, že se zvyšujícím se obsahem tavicích solí ve vzorku tavených sýrů se zvyšuje stabilizace proteinů a dochází ve většině případů ke snížení obsahu volné vody, včetně snížení bodu tuhnutí. Nejlepší vaznost vody vykazují dle výsledků vzorky s tavicí solí Na_2HPO_4 (3 %) a $\text{K}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ (1,5 % a 3 %).
- Všeobecně lze shrnout, že sodné tavicí soli vykazují mnohem lepší schopnost vázat vodu ve vzorku ve srovnání s draselnými tavicími solemi, ačkoli tato schopnost v rámci draselných tavicích solí se významně neodlišovala od schopností, které byly prokázány u sodných tavicích solí.
- Z hlediska sensorické analýzy a posouzení vývinu hořké chuti u tavených sýrů můžeme s přidavkem sodných tavicích solí jednoznačně konstatovat, že hořká chuť u těchto výrobků zaznamenána nebyla.
- U vzorků s draselnými tavicími solemi došlo k nepatrnému vzniku hořkosti v průběhu skladování označenými hodnotiteli jako „velmi málo hořký“, přičemž na konci skladování u většiny hořká chuť zaznamenána taktéž nebyla, s výjimkou tavicí soli $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (1,5 %, 2 % a 3 %, w/w).
- Z pohledu vzhledu měly všechny produkty očekávanou barvu, což je velmi důležité, neboť barva a vzhled jsou atributy, které ovlivňují preference spotřebitelů a zároveň slouží k identifikaci potravin.

Ze zjištěných skutečností (viz. výše) v rámci experimentu lze vyvodit následující závěry:

- Hlavními faktory ovlivňujícími vlastnosti (texturní, reologické, fyzikálně-chemické) tavených sýrů jsou především aplikované tavicí soli, včetně použitého druhu a množství.
- Velký vliv mají také zvolené podmínky zpracování a skladování, přičemž naše podmínky zpracování je možné považovat za dostatečné pro výrobu taveného sýrů o obsahu sušiny 40 % (W/W) a obsahem tuku v sušině 50 % (w/w) s dobrou kvalitou.
- Je možné vyrobit tavené sýry s přidavkem draselných tavicích solí se srovnatelnou kvalitou jako za použití sodných tavicích solí, ovšem za aplikace vhodného druhu a koncentrace tavicí soli.
- Tato oblast zůstává nadále předmětem zkoumání za účelem dosažení co nejlepších výsledků z hlediska finální kvality tavených sýrů, neboť tyto soli jsou vhodnější alternativou nejen z pohledu nutričního (↓ obsah sodíku). Lze je tedy v potravinářském průmyslu považovat za velký příslib do budoucna.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ABDEL-HAMID, L. B., EL-SHABRAWY, S.A., AWAD, R.A. a R.K. SINGH. Chemical properties of processed ras cheese spreads as affected by emulsifying salt mixtures. *Journal of Food Processing and Preservation* [online]. 2000, **24**(3), 191-208 [cit. 2022-03-14]. ISSN 0145-8892. Dostupné z: doi:10.1111/j.1745-4549.2000.tb00413.x

AKHTAR, S, PAREDESSABJA, D. a M SARKER. Inhibitory effects of polyphosphates on *Clostridium perfringens* growth, sporulation and spore outgrowth. *Food Microbiology* [online]. 2008, **25**(6), 802-808 [cit. 2022-03-14]. ISSN 07400020. Dostupné z: doi:10.1016/j.fm.2008.04.006

ALY, S., EL DAKHAKHNY, E., EL SAADANY, K., DABOUR, N. a E. KHEADR. Processed Cheese: Basics and Possibility for the Development of Healthier Products. *Alexandria Journal of Food Science and Technology* [online]. 2016, **13**(2), 45-62 [cit. 2022-03-19]. ISSN 1687-3920. Dostupné z: doi:10.12816/0038413

AMAMCHARLA, J.K. a L. E. METZGER. Prediction of process cheese instrumental texture and melting characteristics using dielectric spectroscopy and chemometrics. *Journal of Dairy Science* [online]. 2015, **98**(9), 6004-6013 [cit. 2022-03-14]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2015-9739

ANONYM(a). FDA. Cheese and related cheese products. Cream cheese. *Retrieved*. [online]. 1. 4. 2015, [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=133.133>.

ANONYM(b). Food and Drugs Administration. Code of Federal Regulations: Title 21 Part 133 *Cheese and Related Cheese Products* [online]. Washington, DC: Department of Health and Human Services. 2016. [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?cfrpart=133>

ANONYM(c). Vyhláška č. 274/2019 Sb.: *o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje*. [cit. 2022-03-03]. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2019-274>

ANONYM(d). Nařízení Evropského Parlamentu a Rady č. 1333/2008 *o potravinářských přídatných látkách, v platném znění*. [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: [EUR-Lex - 32008R1333 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](http://eur-lex.europa.eu/lexuri/cs/l1333-2008)

ANONYM(e) Vyhláška č. 397/2016 Sb., kterou se stanoví požadavky pro mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje, v platném znění. [cit. 2022-03-05].

Dostupné z: [397/2016 Sb. Vyhláška o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje \(zakonyprolidi.cz\)](https://www.zakonyprolidi.cz/cs/397/2016/Sb./Vyhlaska_o_pozadavcich_na_mleko_a_mleczne_vyrobyky_mrazene_kremy_a_jedle_tuky_a_oleje)

ANONYM(f). ČSN EN ISO 5534. *Sýry a tavené sýry – Stanovení obsahu celkové sušiny (Referenční metoda)*. Český normalizační institut. Praha, 2005

ANONYM(g). *Křivka texturní profilové analýzy*. [online] 2013. [cit. 2022-03-22], software Texture Exponent Lite (Stable Micro Systéme, Ltd.).

ANSORENA, D., DE PEÑA, M.P., ASTIASARÁN, I. a J. BELLO. Colour evaluation of chorizo de Pamplona, a Spanish dry fermented sausage: Comparison between the CIE L*a*b* and the Hunter lab systems with illuminants D65 and C. *Meat Science* [online]. 1997, **46**(4), 313-318 [cit. 2022-04-15]. ISSN 03091740. Dostupné z: doi:10.1016/S0309-1740(97)00025-9

BARROS, C.P., GUIMARÃES, J.T., ESMERINO, E.A., DUARTE, M.C.K., SILVA, M.C., SILVA, R. a A. G. CRUZ. Paraprobiotics and postbiotics: concepts and potential applications in dairy products. *Current Opinion in Food Science* [online]. 2020, **32**, 1–8. [cit. 2022-03-25]. ISSN 22147993. Dostupné z: doi:10.1016/j.cofs.2019.12.003

BERÁNKOVÁ, K. J. Codex alimentarius a tavené sýry. *Mlékařské listy*. 2009, č. 113-114, s. 29-30. [online], [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.bezpecnostpotravin.cz/codex-alimentarius-a-tavene-syry.aspx>

BERGER, W., KLOSTERMAYER, H., MERKENICH, K. a G. UHLMANN. *Process Cheese Manufacture – A JOHA Guide*, Ladenburg: BK Giulini Chemie GmbH & Co. OHC., [online]. 2002. s. 239 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: [Processed Cheese Science and Technology: Ingredients, Manufacture ... - Knihy Google](https://www.google.com/books/edition/Processed_Cheese_Science_and_Technology/Ingredients_Manufacture.../q1=1)

BOWLAND, E. L. a E. A. FOEGEDING. Factors determining large-strain (fracture) rheological properties of model processed cheese. *Journal of Dairy Science* [online]. 1999, **82**(9), 1851-1859. [cit. 2022-03-14] ISSN: 0022-0302

BREUIL, PATRICE a JEAN-FRANCOIS MEULLENET. A COMPARISON OF THREE INSTRUMENTAL TESTS FOR PREDICTING SENSORY TEXTURE PROFILES OF CHEESE. *Journal of Texture Studies* [online]. 2001, **32**(1), 41-55 [cit. 2022-03-25]. ISSN 0022-4901. Dostupné z: doi:10.1111/j.1745-4603.2001.tb01033.x

BRIGHENTI, M., S. GOVINDASAMY-LUCEY, K. LIM, K. NELSON a J.A. LUCEY. Characterization of the Rheological, Textural, and Sensory Properties of Samples of Commercial US Cream Cheese with Different Fat Contents. *Journal of Dairy Science* [online]. 2008, **91**(12), 4501-4517 [cit. 2022-03-14]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2008-1322

BRUNE, W. H. *Meteo 300 Fundamentals of Atmospheric Science: First Law of Thermodynamics*. John A. Dutton e-Education Institute. Pennsylvania State University: College of Earth and Mineral Sciences [online]. 2020. [cit. 2022-04-23] Dostupné z: [2.3 First Law of Thermodynamics | METEO 300: Fundamentals of Atmospheric Science \(psu.edu\)](#)

BULUT-SOLAK, B. a N. AKIN. Impact of Cooking pH Values on the Textural and Chemical Properties for Processed Cheeses with/without the Use of Traditional Village Cheese during Storage. *Food Science of Animal Resources* [online]. 2019, **39**(4), 541-554 [cit. 2022-04-27]. ISSN 2636-0772. Dostupné z: doi:10.5851/kosfa.2019.e34

BUŇKOVÁ, L. a F. BUŇKA. Microflora of processed cheese and the factors affecting it. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [online]. 2015, **57**(11), 2392-2403 [cit. 2022-03-25]. ISSN 1040-8398. Dostupné z: doi:10.1080/10408398.2015.1060939

BUŇKA, F. a L. BUŇKOVÁ. Úloha tavicích solí při výrobě tavených sýrů. *Potravinářská revue*, 2009, 1. 13-16. Praha: AGRAL s. r. o. ISSN 1801-9102 [cit. 2022-03-25].

BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L. a S. KRÁČMAR. Vybrané hydrokoloidy a emulgátory ve výrobě tavených sýrů. *Acta fytotechnica et zootechnica – Mimoriadne číslo*, Nitra: Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae [online]. 2009, s. 69-78. [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: [Acta fytotechnica et zootechnica Mimoriadne číslo Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2009, s - PDF Free Download \(docplayer.cz\)](#)

BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L. a S. KRÁČMAR. *Základní principy výroby tavených sýrů: Basic principles of processed cheese production : monografie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. ISBN 978-80-7375-336-8. [cit. 2022-03-18]

BUŇKA, F., DOUDOVÁ, L., WEISEROVÁ, E. a kol. The effect of concentration and composition of ternary emulsifying salts on the textural properties of processed cheese

spreads. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2014, **58**(1), 247-255 [cit. 2022-04-19]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2014.02.040

BUŇKA, F., DOUDOVÁ, L., WEISEROVÁ, E., KUCHARŤ, D., MICHÁLEK, J., SLAVÍKOVÁ, Š. a S. KRÁČMAR. The effect of different ternary mixtures of sodium phosphates on hardness of processed cheese spreads. *International Journal of Food Science* [online]. 2012, **47**(10), 2063-2071 [cit. 2022-03-22]. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2012.03070.x. ISSN 09505423. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2621.2012.03070.x>

BUŇKA, F., DOUDOVÁ, L., WEISEROVÁ, E., KUCHARŤ, D., PONÍŽIL, P., ZAČALOVÁ, D., NAGYOVÁ, G., PACHLOVÁ, V. a J. MICHÁLEK. The effect of ternary emulsifying salt composition and cheese maturity on the textural properties of processed cheese spreads. *International Dairy Journal* [online]. 2013, **29**(1), 1-7. [cit. 2022-04-25]. ISSN: 0958-6946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2012.09.006

BUŇKA, F., HRABĚ, J. a I. HOZA. Tavené sýry ve výživě člověka. *Výživa a potraviny: časopis Společnosti pro výživu*. Praha: Výživaservis s. r. o., 2006, **61**, 135-136 s. ISSN 1211- 846X. [cit. 2022-03-03].

BUŇKA, F. a J. KOPÁČEK. Mýty o tavených sýrech a jak proti nim argumentovat. *Potravinářská revue*. 2012, **1**, 28-31. [cit. 2022-03-03].

BUŇKOVÁ, L., LORENCOVÁ, E., JURČOVÁ, D., BUŇKA, F. a S. KRÁČMAR. Effect of sodium phosphates on selected food grade bacteria. *Potravinářstvo* [online], 2011, **5**(2), 9-12 [cit. 2022-03-07]. ISSN 1337-0960. Dostupné z: DOI: 10.5219/141.

CARIĆ, M. a M. KALÁB. Processed cheese products. *Cheese Chemistry, physics and Microbiology*. [online] Vol. 2, Major cheese groups. Elsevier Applied Science, London and New York, 1997, s. 467-505. ISBN: 978-1-4613-6138-1. [cit. 2022-03-04].

CARIĆ, M. a M. KALÁB. Processed cheese products. *Cheese Chemistry, physics and Microbiology*. [online] Vol. 2, Major cheese groups. Maryland: Aspen Publisher, 1999, s. 467-490. ISBN: 0412535106. [cit. 2022-03-04].

CARIĆ, M. a S. MILANOVIC. Processed Cheese. In Hui, Y. H. *Handbook of Food Science, Technology and Engineering*. Vol. 4. New York: Taylor & Francis Group, 2006. ISBN 0-8493-9849-5. [cit. 2022-03-05].

CRUZ, A.G., ZACARCHENCO, P.B., OLIVEIRA, C.A.F. a C. H. CORASSIN. *Processamento de Produtos Lácteos: Queijos, Leites Fermentados, Bebidas Lácteas, Sorvete, Manteiga. Creme de Leite, Doce de Leite, Soro em Pó e Lácteos Funcionais*. Ed. Elsevier: Rio de Janeiro. 2019, s. 360. [cit. 2022-03-25].

CUNHA, C. R. a W. H. VIOTTO. Casein Peptization, Functional Properties, and Sensory Acceptance of Processed Cheese Spreads Made with Different Emulsifying Salts. *Journal of Food Science* [online]. 2010, **75**(1), p. 113-120 [cit. 2022-03-14]. ISSN 00221147. Dostupné z: doi:10.1111/j.1750-3841.2009.01444.x

ČERNÍKOVÁ, M. *Vybrané faktory působící na konzistenci tavených sýrů*. [online] Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2018. ISBN 978-80-7454-728-7. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/41623>. [cit. 2022-03-05].

ČERNÍKOVÁ, M., BUŇKA, F., POSPIECH, M., TREMLOVÁ, B., HLADKÁ, K., PAVLÍNEK, V. a P. BŘEZINA. Replacement of traditional emulsifying salts by selected hydrocolloids in processed cheese production. *International Dairy Journal* [online]. 2010, **20**(5), 336-343 [cit. 2022-03-05]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2009.12.012

DALMAZZONE, C., NOŮK, C. a D. CLAUSSE. Application of DSC for Emulsified System Characterization. *Oil & Gas Science and Technology - Revue de l'IFP* [online]. 2009, **64**(5), 543-555 [cit. 2022-04-24]. ISSN 1294-4475. Dostupné z: doi:10.2516/ogst:2008041

DICKINSON, E. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids* [online]. 2003, **17**(1), 25-39 [cit. 2022-03-14]. ISSN 0265-005X. Dostupné z: doi:10.1016/S0268-005X(01)00120-5

DIMITRELI, G. a A. S. THOMAREIS. Effect of temperature and chemical composition on processed cheese apparent viscosity. *Journal of Food Engineering* [online]. 2004, **64**(2), 265-271 [cit. 2022-03-14]. ISSN 02608774. Dostupné z: doi:10.1016/j.jfoodeng.2003.10.008

DIMITRELI, G. a A. S. THOMAREIS. Effect of chemical composition on the linear viscoelastic properties of spreadable-type processed cheese. *Journal of Food Engineering*. 2008, **84**, 368-374. [cit. 2022-03-14].

DOSTÁLOVÁ, J. Výživová doporučení Společnosti pro výživu pro obyvatelstvo České Republiky. *Potravinářská revue*. 2005, **1**, 17- 19 s. ISSN 1801- 9102 [cit. 2022-03-03].

DOSTÁLOVÁ, J. a L. ČURDA. Význam tavených sýrů ve výživě. *Výživa a potraviny: časopis Společnosti pro výživu*. Praha: Výživaservis s. r. o., 2010, 29-30. ISSN 1211-846x [cit. 2022-03-03].

DRAKE, M. A., TRUONG, V. D. a C. R. DAUBERT. Rheological and Sensory Properties of Reduced-Fat Processed Cheeses Containing Lecithin. *Journal of Food Science* [online]. 1999, **64**(4), 744-747 [cit. 2022-03-14]. ISSN 0022-1147. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2621.1999.tb15123.x

ECKNER, K. F., DUSTMAN, W. A. a A. A. RYŚ-RODRIGUEZ. Contribution of Composition, Physicochemical Characteristics and Polyphosphates to the Microbial Safety of Pasteurized Cheese Spreads. *Journal of Food Protection* [online]. 1994, **57**(4), 295-300 [cit. 2022-03-14]. ISSN 0362-028X. Dostupné z: doi:10.4315/0362-028X-57.4.295

EL-BAKRY, M. a B. M. MEHTA. *Processed Cheese Science and Technology*. [online] United Kingdom, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Elsevier, 2022, s. 526 [cit. 2022-03-23]. ISBN: 978-0-12-821445-9

EVROPA. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1333/2008 ze dne 16. prosince 2008 o potravinářských přídatných látkách, v platném znění. Úřední věstník Evropské Unie. L 354, 31.12. 2008, 16-33. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: http://eur-lex.europa.eu/legalcontent/CS/TXT/?qid=1505593411153&uri=CEL_EX:32008R1333

FISZMAN, S. M. a M. H. DAMÁSIO. Instrumental measurement of adhesiveness in solid and semi-solid foods. A survey. *Journal of Texture Studies* [online]. 2000, **31**(1), 69-91 [cit. 2022-03-25]. ISSN 0022-4901. Dostupné z: doi:10.1111/j.1745-4603.2000.tb00285.x

FORMAN, L. *Mlékárenská technologie II.*, 2. vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1996. 228 s. ISBN 80-7080-214-6 [cit. 2022-03-03].

FOX, F. P. *Cheese: chemistry, physics and microbiology*. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2004, 434 s. ISBN 0-1226-3653-8. [cit. 2022-03-07].

FOX, P. F., GUINEE, T. P., COGAN, T. M. a P. L. H. MCSWEENEY. *Fundamentals of Cheese Science* [online]. Boston, MA: Springer US, 2017 [cit. 2022-03-12]. ISBN 978-1-4899-7679-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4899-7681-9

FOX, P. F., MCSWEENEY, P. L. H., COGAN, T. M. a T. P. GUINEE. *Fundamentals of cheese science*. Gaithersburg, MD: Aspen Publishing, 2000, s. 587. ISBN 08-342-1260-9. [cit. 2022-03-03].

FRIEDMAN, M. Food Browning and Its Prevention: An Overview. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 1996, **44**(3), 631-653 [cit. 2022-03-14]. ISSN 0021-8561. Dostupné z: doi:10.1021/jf950394r

GAJDŮŠEK, S. *Mlékařství II*. 1. vyd. Brno: MZLU, 1998, s. 86 - 91. ISBN 80- 7157-342-6 [cit. 2022-03-03].

GLIBOWSKI, P., ZARZYCKI, P., & KRZEPKOWSKA, M. (2008). The rheological and instrumental textural properties of selected table fats. *International Journal of Food Properties* [online]. 2008, **11**, s. 678-686 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: [Full article: The Rheological and Instrumental Textural Properties of Selected Table Fats \(tandfonline.com\)](#)

GLIGUEM, H., GHORBEL, D., GRABIELLE-MADELMONT, C., GOLDSCHMIDT, B., LESIEUR, S., ATTIA, H., OLLIVON, M. a P. LESIEUR. Water behaviour in processed cheese spreads. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* [online]. 2009, **98**(1), 73-82 [cit. 2022-04-25]. ISSN 1388-6150. Dostupné z: doi:10.1007/s10973-009-0376-x

GUINEE, T.P. Pasteurized Processed Cheese Product. *Encyclopedia of Dairy Science*, 2003, **1**, s. 411-418. ISBN 0122272358. [cit. 2022-03-14].

GUINEE, T. P. Effects of Natural Cheese Characteristics and Processing Conditions on Rheology and Texture: The Functionality of Cheese Components in the Manufacture of Processed Cheese. TAMIME, A. Y., ed. *Processed Cheese and Analogues* [online]. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2011, 2011-05-25, s. 81-109 [cit. 2022-03-11]. ISBN 9781444341850. Dostupné z: doi:10.1002/9781444341850.ch3

GUINEE, T. P. Pasteurized Processed and Imitation Cheese Products. *Cheese* [online]. Elsevier, 2017, s. 1133-1184 [cit. 2022-03-03]. ISBN 9780124170124. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-417012-4.00046-6

GUINEE, T.P., CARIĆ, M. a M KALÁB. Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. In Fox, P. H. (Ed.). *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, Volume 2, Major Cheese Groups, 3rd ed. London UK: Elsevier. [online]. 2004, s. 349-394 [cit. 2022-03-14]. ISBN 0-1226-3653-8. Dostupné z: doi:10.1016/S1874-558X(04)80052-6

GUPTA, V. K. a H. REUTER. Firmness and melting quality of processed cheese foods with added whey protein concentrates. *Le Lait* [online]. 1993, **73**(4), 381- 388. [cit. 2022-03-25]. ISSN 0023-7302. Dostupné z: doi:10.1051/lait:1993435

HANI, F. M., COLE, A. E. a E. ALTMAN. The ability of salts to stabilize proteins in vivo or intracellularly correlates with the Hofmeister series of ions. *Int J Biochem Mol Biol.* [online]. 2019, **10**(3), 23-31. [cit. 2022-04-24]. PMID: 31523478; PMCID: PMC6737386. Dostupné z: [Hani F. M., 2019.pdf](#)

HOFFMANN, W., GÄRTNER, J., LÜCK, K., JOHANNSEN, N. a A. MAURER. Effect of emulsifying salts containing potassium on the quality of block-type processed cheese. *International Dairy Journal* [online]. 2012, **25**(1), 66-72 [cit. 2022-03-04]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2011.11.010

HOUGAARD, A. B., SIJBRANDIJ, A. G., VARMING, C., ARDÖ, Y. a R. IPSEN. Emulsifying salt increase stability of cheese emulsions during holding. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2015, **62**(1), 362-365 [cit. 2022-03-03]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2015.01.006

HRABĚ, J., BŘEZINA, P. a P. VALÁŠEK. *Technologie výroby potravin živočišného původu: bakalářský směr*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2006. 180 s. ISBN 80-7318-405-2. Učební texty vysokých škol. [cit. 2022-03-06].

HRUBÝ, S. K návratu nových výživových dávek doporučených pro ČR. *Výživa a potraviny: časopis Společnosti pro výživu*. Praha: Výživaservis s. r. o., 1999, **54**, s. 56-57. ISSN 1211- 846X. [cit. 2022-03-03].

HUI, Y. H. *Handbook of food science, technology, and engineering*. Boca Raton: Taylor, 2006 [cit. 2022-03-05]. Food science and technology (Taylor, 148. ISBN 978-0-8493-9847-6).

- CHAVHAN, G. B., KANAWJIA, S. K., KHETRA, Y. a R. PURI. Effect of potassium-based emulsifying salts on sensory, textural, and functional attributes of low-sodium processed Mozzarella cheese. *Dairy Science & Technology* [online]. 2015, **95**(3), 265-278 [cit. 2022-03-14]. ISSN 1958-5586. Dostupné z: doi:10.1007/s13594-014-0207-0
- JANŠTOVÁ, B. *Technologie mléka a mléčných výrobků*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita, 2012. s. 109-110. ISBN 978-80-7305-637-7. [cit. 2022-03-05].
- JEŽEK, F. a A. SALÁKOVÁ. *Senzorická analýza potravin*. MMP. Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, Brno 2012: 125 s. Dostupné z: https://fvhe.vfu.cz/files/skripta-senzorika_2012.pdf
- JOHNSON, M. E., KAPOOR, R., MCMAHON, D. J., MCCOY, D. R. a R. G. NARASIMMON. Reduction of Sodium and Fat Levels in Natural and Processed Cheeses: Scientific and Technological Aspects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 2009, **8**(3), 252-268 [cit. 2022-03-03]. ISSN 15414337. Dostupné z: doi:10.1111/j.1541-4337.2009.00080.x
- KADLEC, P. *Technologie potravin I*, 1.vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2007. ISBN 80-7080-509-9. [cit. 2022-03-06].
- KALÁB, M., YUN, J. a S. H. YIU. Textural properties and microstructure of process cheese food rework. *Food Microstructure*. 1987, **6**, 181-192. [cit. 2022-03-14].
- KAPOOR, R. a L. E. METZGER. Process Cheese: Scientific and Technological Aspects—A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 2008, **7**(2), 194-214 [cit. 2022-03-03]. ISSN 1541-4337. Dostupné z: doi:10.1111/j.1541-4337.2008.00040.x
- KARAHADIAN, C. a R.C. LINDSAY. Flavor and Textural Properties of Reduced-Sodium Process American Cheeses. *Journal of Dairy Science* [online]. 1984, **67**(9), 1892-1904 [cit. 2022-03-04]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.S0022-0302(84)81522-2
- KOCA, N. a M. METIN. Textural, melting and sensory properties of low-fat fresh kashar cheeses produced by using fat replacers. *International Dairy Journal* [online]. 2004, **14**(4), 365-373 [cit. 2022-03-14]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2003.08.006

KODET, J., ŠOTOLOVÁ, I., a S. ŠTĚRBA. *Plnící, zahušťovací, gelotvorné a stabilizační látky pro potraviny. (Potravinářské hydrokoloidy)*. 1. vyd. Praha: Středisko potravinářských informací, 1993. 236 s. ISBN 80-85120-32-1. . [cit. 2022-03-05].

KOPÁČEK, J. *Přednáška na konferenci k 100. výročí výroby tavených sýrů*, Praha, 2011. [cit. 2022-03-03]

KLOSTERMEYER, H. a W. BUCHHEIM. Die Mikrostruktur von Schmelzkäseerzeugnissen. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte*. 1988, **40**, 219-231. ISSN 0023-1347. [cit. 2022-03-14].

KWAK, H.S., CHOI, S.S., AHN, J. a S.W. LEE. Casein Hydrolysate Fractions Act as Emulsifiers in Process Cheese. *Journal of Food Science* [online]. 2002, **67**(2), 821-825 [cit. 2022-03-14]. ISSN 0022-1147. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2621.2002.tb10684.x

LANE, C. N., FOX, P. F., JOHNSTON, D. E. a P. L.H. MCSWEENEY. Contribution of coagulant to proteolysis and textural changes in Cheddar cheese during ripening. *International Dairy Journal* [online]. 1997, **7**(6-7), 453-464 [cit. 2022-04-27]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/S0958-6946(97)00041-1

LAZÁRKOVÁ, Z., BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L., HOLÁŇ, F., KRÁČMAR, S. a J. HRABĚ. The effect of different heat sterilization regimes on the quality of canned processed cheese. *Journal of Food Process Engineering* [online]. 2011, **34**(6), 1860-1878 [cit. 2022-03-14]. ISSN 01458876. Dostupné z: doi:10.1111/j.1745-4530.2009.00376.x

LEE, S. K. a S. G. ANEMA. The effect of the pH at cooking on the properties of processed cheese spreads containing whey proteins. *Food Chemistry* [online]. 2009, **115**(4), 1373-1380 [cit. 2022-03-14]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2009.01.057

LEE, S. K, ANEMA, S. a H. KLOSTERMEYER. The influence of moisture content on the rheological properties of processed cheese spreads. *International Journal of Food Science and Technology* [online]. 2004, **39**(7), 763-771 [cit. 2022-03-14]. ISSN 0950-5423. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2621.2004.00842.x

LEE, S.K, BUWALDA, R.J, EUSTON, S.R, FOEGEDING, E. A. a A.B MCKENNA. Changes in the rheology and microstructure of processed cheese during cooking. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2003, **36**(3), 339-345 [cit. 2022-03-14]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/S0023-6438(03)00012-4

LEE, S.K. a H. KLOSTERMEYER. The Effect of pH on the Rheological Properties of Reduced-fat Model Processed Cheese Spreads. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2001, **34**(5), 288-292 [cit. 2022-03-14]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1006/fstl.2001.0761

LUCEY, J.A., JOHNSON, M.E. a D.S. HORNE. Invited Review: Perspectives on the Basis of the Rheology and Texture Properties of Cheese. *Journal of Dairy Science* [online]. 2003, **86**(9), 2725-2743 [cit. 2022-04-27]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73869-7

LUCEY, J. A., MAURER-ROTHMANN, A. a S. KALIAPPAN. Functionality of Ingredients: Emulsifying Salts. TAMIME, A. Y., ed. *Processed Cheese and Analogues* [online]. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2011, 2011-05-25, s. 110-132 [cit. 2022-03-14]. ISBN 9781444341850. Dostupné z: doi:10.1002/9781444341850.ch4

LU, Y. J., SHIRASHOJI, N., LUCEY, J. A. Rheological, Textural and Melting Properties of Commercial Samples of Some of the Different Types of Pasteurized Processed Cheese. *International Journal of Dairy Technology*. 2007, **60**(2), s. 74–80. [cit. 2022-03-14]. ISSN 1364-727X.

MAIER, S. K., SCHERER, S. a M. J. LOESSNER. Long-Chain Polyphosphate Causes Cell Lysis and Inhibits *Bacillus cereus* Septum Formation, Which Is Dependent on Divalent Cations. *Applied and Environmental Microbiology* [online]. 1999, **65**(9), 3942-3949 [cit. 2022-03-14]. ISSN 0099-2240. Dostupné z: doi:10.1128/AEM.65.9.3942-3949.1999

MARCHESSEAU, S., GASTALDI, E., LAGAUDE, A. a J.-L. CUQ. Influence of pH on Protein Interactions and Microstructure of Process Cheese. *Journal of Dairy Science* [online]. 1997, **80**(8), 1483-1489 [cit. 2022-03-14]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.S0022-0302(97)76076-4

MARTINEZ-RIOS, V., JØRGENSEN, M. O., KOUKOU, I., GKOGKA, E. a P. DALGAARD. Growth and growth boundary model with terms for melting salts to predict growth responses of *Listeria monocytogenes* in spreadable processed cheese. *Food Microbiology* [online]. 2019, **84** [cit. 2022-03-14]. ISSN 07400020. Dostupné z: doi:10.1016/j.fm.2019.103255

MEYER, A. *Processed Cheese Manufacture*. London, U.K. Food Trade Press Ltd., 1973, 329 s. [cit. 2022-03-03].

MIZUNO, R. a J.A. LUCEY. Effects of Emulsifying Salts on the Turbidity and Calcium-Phosphate-Protein Interactions in Casein Micelles. *Journal of Dairy Science* [online]. 2005a, **88**(9), 3070-3078 [cit. 2022-04-25]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.S0022-0302(05)72988-X

MIZUNO, R. a J.A. LUCEY. Effects of Two Types of Emulsifying Salts on the Functionality of Nonfat Pasta Filata Cheese. *Journal of Dairy Science* [online]. 2005b, **88**(10), 3411-3425 [cit. 2022-04-25]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.S0022-0302(05)73025-3

MIZUNO, R. a J.A. LUCEY. Properties of Milk Protein Gels Formed by Phosphates. *Journal of Dairy Science* [online]. 2007, **90**(10), 4524-4531 [cit. 2022-04-25]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2007-0229

MOLINS, R. A. *Phosphates in food*. Boca Raton: CRC Press, 1991, ISBN 9780849345883 [cit. 2022-03-07].

MULSOW, B.B., JAROS, D. a H. ROHM. Processed Cheese and Cheese Analogues. In Tamime, A.Y. (Ed.) *In Structure of Dairy Products*, Oxford, UK: 1 st. Ed. Blackwell Publishing Ltd., 2007, s. 210-235 [cit. 2022-03-25]. ISBN 9780470995921. Dostupné z: doi:10.1002/9780470995921.ch8

NAGYOVÁ, G., BUŇKA, F., KUCHAR, D. a T. GRŮBER. Vliv délky fosforečnanového řetězce na texturní vlastnosti tavených sýrů. *Mlékařské listy*. 2012, 133, IV–VI [cit. 2022-03-03].

NAGYOVÁ, G., BUŇKA, F., SALEK, R.N., ČERNÍKOVÁ, M., MANČÍK, P., GRÜBER, T. a D. KUCHAR. Use of sodium polyphosphates with different linear lengths in the production of spreadable processed cheese. *Journal of Dairy Science* [online]. 2014, **97**(1), 111-122 [cit. 2022-04-19]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2013-7210

NGUYEN, P. T. M., BHANDARI, B. a S. PRAKASH. Tribological method to measure lubricating properties of dairy products. *Journal of Food Engineering* [online]. 2016, **168**, 27-34 [cit. 2022-03-23]. ISSN 02608774. Dostupné z: doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.07.011

NINGTYAS, D. W., BHANDARI, B., BANSAL, N. a S. PRAKASH. A tribological analysis of cream cheeses manufactured with different fat content. *International Dairy Journal* [online]. 2017, **73**, 155-165 [cit. 2022-03-14]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2017.06.005

NOVÁK, J. *Fyzikální chemie: bakalářský a magisterský kurz*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2008. ISBN 978-80-7080-675-3.

OBERMAIER, O. *Mlékařské listy*. č. 118: zpravodaj. Praha.: Výzkumný ústav mlékárenský. 2009, 18 – 19 s. ISSN 1212-950X [cit. 2022-03-03].

OLSON, N.F., VAKALERIS, D.G., PRICE, W.V. a S.G. KNIGHT. Acidity and Age of Natural Cheese as Factors Affecting the Body of Pasteurized Process Cheese Spread. *Journal of Dairy Science* [online]. 1958, **41**(8), 1005-1016 [cit. 2022-03-14]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.S0022-0302(58)91044-0

PARODI, P.W. Nutritional significance of milk lipids. In: Fox P.F., McSweeney PLH (eds.). In *Advanced Dairy Chemistry*, (Lipids 2nd ed., 2006. vol 2., s. 601–639. Springer Science: New Yorker). [cit. 2022-03-12]

PAVELKA, A. *Mléčné výrobky pro vaše zdraví*. 1. vyd. Brno: Littera, 1996. 105 s. ISBN 80-85763-09-5 [cit. 2022-03-03].

PAVLÍNEK, V., STĚNIČKA, M., MRLÍK, M. *Reologie potravin a kosmetických prostředků*. Skriptum. Zlín: UTB ve Zlíně. 2015. [cit. 2022-03-03].

PEREIRA, C. I., GOMES, A. M. P. a F. X. MALCATA. Microstructure of cheese: Processing, technological and microbiological considerations. *Trends in Food Science & Technology* [online]. 2009, **20**(5), 213-219 [cit. 2022-03-14]. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2009.02.006

PISKA, I. a J. ŠTĚTINA. Influence of cheese ripening and rate of cooling of the processed cheese mixture on rheological properties of processed cheese. *Journal of Food Engineering* [online]. 2004, **61**(4), 551-555 [cit. 2022-03-14]. ISSN 02608774. Dostupné z: doi:10.1016/S0260-8774(03)00217-6

PLUTA, A., ZIARNO, M. a A. SMOLINSKA. Możliwości zastosowania hydrokoloidów w produkcji serów topionych. *Przemysł Spożywczy*, 2000, **54**, 42–44. ISSN 0033-250X. [cit. 2022-03-05].

PLUTA-KUBICA, A., ČERNÍKOVÁ, M., DIMITRELI, G., NEBESÁŘOVÁ, J., EXARHOPOULOS, S., THOMAREIS, A. S., SALEK, R. N. a F. BUŇKA. Influence of the melt holding time on fat droplet size and the viscoelastic properties of model spreadable processed cheeses with different compositions. *International Dairy Journal* [online]. 2021, **113** [cit. 2022-04-28]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2020.104880

SADEK, Z.I., REFAAT, B.M., EL-SHAKOUR, E.H., MEHANNA, N. a M. S. HASSAN. Biocontrol of processed cheese by incorporation of probiotic bacteria and its metabolites. *International Journal of Dairy Science* [online]. 2017, **12**(2), 93–104. [cit. 2022-03-25]. ISSN 18119743. Dostupné z: doi:10.3923/ijds.2017.93.104

SALEK, R.N., ČERNÍKOVÁ, M., MADĚROVÁ, S., LAPČÍK, L. a F. BUŇKA. The effect of different composition of ternary mixtures of emulsifying salts on the consistency of processed cheese spreads manufactured from Swiss-type cheese with different degrees of maturity. *Journal of Dairy Science* [online]. 2016, **99**(5), 3274-3287 [cit. 2022-03-07]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2015-10028

SALEK, R. N., ČERNÍKOVÁ, M., NAGYOVÁ, G., KUCHAR, D., BAČOVÁ, H., MINARČÍKOVÁ, L. a F. BUŇKA. The effect of composition of ternary mixtures containing phosphate and citrate emulsifying salts on selected textural properties of spreadable processed cheese. *International Dairy Journal* [online]. 2015, **44**, 37-43 [cit. 2022-03-14]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2014.12.009

SALEK, R. N., ČERNÍKOVÁ, M., PACHLOVÁ, V., LORENCOVÁ, E. a F. BUŇKA. Tvrdost tavených sýrů Vyrobených z různých druhů přírodních sýrů. *Mlékařské listy*. 2017, **28**(3), 162. [cit. 2022-03-03]

SALEK, R. N., ČERNÍKOVÁ, M., PACHLOVÁ, V., BUBELOVÁ, Z., KONEČNÁ, V. a F. BUŇKA. Properties of spreadable processed Mozzarella cheese with divergent compositions of emulsifying salts in relation to the applied cheese storage period. *LWT* [online]. 2017, **77**, 30-38 [cit. 2022-04-28]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2016.11.019

SALEK, R. N., LORENCOVÁ, E., MÍŠKOVÁ, Z., LAZÁRKOVÁ, Z., PACHLOVÁ, V., ADÁMEK, R., BEZDĚKOVÁ, K. a F. BUŇKA. The impact of Chios mastic gum on textural, rheological and melting properties of spread-type processed cheese during storage. *International Dairy Journal* [online]. 2020, **109** [cit. 2022-04-26]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2020.104755

SÁDLÍKOVÁ, I., BUŇKA, F. BUDINSKÝ, P., VOLDÁNOVÁ, B., PAVLÍNEK, V. a I. HOZA. The effect of selected phosphate emulsifying salts on viscoelastic properties of processed cheese. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2010, **43**(8), 1220-1225 [cit. 2022-03-14]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2010.04.012

SHIRASHOJI, N., JAEGGI, J.J. a J.A. LUCEY. Effect of sodium hexametaphosphate concentration and cooking time on the physicochemical properties of pasteurized process cheese. *Journal of Dairy Science* [online]. 2010, **93**(7), 2827-2837 [cit. 2022-04-25]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2009-2960

SCHÄR, W. a J.O. BOSSET. Chemical and Physico-chemical Changes in Processed Cheese and Ready-made Fondue During Storage. A Review. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2002, **35**(1), 15-20 [cit. 2022-03-07]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1006/fstl.2001.0820

SMITH, B.L. *Codex Alimentarius: Abridged Version*, 1990, pp. 12.10–12.16. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome [cit. 2022-03-03].

SOARES, M.B., ALMADA, C.N., MARTINEZ, R.C.R., PEREIRA, E.P.R., BALTHAZAR, C.F., CRUZ, A.G., RANADHEERA, C.S a A. S. SANT'ANA. Behavior of different Bacillus strains with claimed probiotic properties throughout processed cheese (“requeijão cremoso”) manufacturing and storage. *Internatinal Journal Food Microbiology* [online]. 2019, 307, 108288. [cit. 2022-03-25].

SOŁOWIEJ, B. G., NASTAJ, M., SZAFRAŃSKA, J. O., MUSZYŃSKI, S., GUSTAW, W., TOMCZYŃSKA-MLEKO, M. a S. MLEKO. Effect of emulsifying salts replacement with polymerised whey protein isolate on textural, rheological and melting properties of acid casein model processed cheeses. *International Dairy Journal* [online]. 2020, 105 [cit. 2022-03-05]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2020.104694

HENNEY, J. E., TAYLOR, CH. L. a C. S. BOON. *Strategies to Reduce Sodium Intake in the United States* [online]. Washington, D.C: National Academies Press, 2010 [cit. 2022-04-24]. ISBN 978-0-309-14805-4. Dostupné z: doi:10.17226/12818

SUTHEERAWATTANANONDA, M. a E.D. BASTIAN. Monitoring process cheese meltability using dynamic stress rheometry. *Journal of Texture Studies* [online]. 1998, 29(2), 169-183 [cit. 2022-03-12]. ISSN 0022-4901. Dostupné z: doi:10.1111/j.1745-4603.1998.tb00162.x

SWENSON, B.J., WENDORFF, W.L. a R.C. LINDSAY. Effects of Ingredients on the Functionality of Fat-free Process Cheese Spreads. *Journal of Food Science* [online]. 2000, 65(5), 822-825 [cit. 2022-03-14]. ISSN 0022-1147. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2621.2000.tb13594.x

SZAFRAŃSKA, J. O., MUSZYŃSKI, S. a B. G. SOŁOWIEJ. Effect of whey protein concentrate on physicochemical properties of acid casein processed cheese sauces obtained with coconut oil or anhydrous milk fat. *LWT* [online]. 2020, 127 [cit. 2022-04-19]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2020.109434

TA Instruments. *Thermal Analysis to Determine Various Forms of Water Present in Hydrogels*, TA 384 [online]. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: [TA bounded water.pdf](#)

TALBOT-WALSH, G., KANNAR, D. a C. A. SELOMULYA. A review on technological parameters and recent advances in the fortification of processed cheese. *Trends in Food Science and Technology* [online], 2018, 81, 193– 202. [cit. 2022-03-25]. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2018.09.023

TAMIME, A. Y. *Structure of dairy products*. Ames, Iowa: Blackwell Publishing Ltd., 2007 [online]. ISBN 978-1-4051-2975-6. Dostupné z: [Structure of Dairy Products - TAMIME \(dokumen.tips\)](#) [cit. 2022-03-03].

TAMINE, A. Y. *Processed Cheese and Analogues*. Blackwell Publishing Ltd., 2011, s. 3-24; s. 378. ISBN 978-1-405-18642-1. [cit. 2022-05-03].

TAMIME, A. Y., MUIR, D. D., WSZOLEK, M. a kol.. *Quality Control in Processed Cheese Manufacture* [online]. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2011, 2011-05-25, s. 245-340 [cit. 2022-04-26]. ISBN 9781444341850. Dostupné z: doi:10.1002/9781444341850.ch10

TAVERNITI, V. a S. GUGLIELMETTI. The immunomodulatory properties of probiotic microorganisms beyond their viability (ghost probiotics: proposal of paraprobiotic concept). *Genes & Nutrition*. [online], 2011, **6**(3), 261–274. [cit. 2022-03-25]. ISSN 1555-8932. Dostupné z: doi:10.1007/s12263-011-0218-x

TRUONG, V.D. a C.R. DAUBERT. Textural Characterization of Cheeses Using Vane Rheometry and Torsion Analysis. *Journal of Food Science* [online]. 2001, **66**(5), 716-721 [cit. 2022-03-12]. ISSN 0022-1147. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2621.2001.tb04627.x

VAN HEKKEN, D. L., TUNICK, M. H., MALIN, E. L. a V. H. HOLSINGER. Rheology and melt characterization of low-fat and full fat Mozzarella cheese made from microfluidized milk. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2007, **40**(1), 89-98 [cit. 2022-03-14]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2005.08.005

VON HIPPEL, P. H. a K.Y. WONG. The Effect of Ions on the Kinetics of Formation and the Stability of the Collagen-Fold *. *Biochemistry* [online]. 1962, **1**(4), 664-674 [cit. 2022-04-24]. ISSN 0006-2960. Dostupné z: doi:10.1021/bi00910a020

VON HIPPEL, P. H. a K. Y. WONG. The Collagen [UNK] Gelatin Phase Transition. I. Further Studies of the Effects of Solvent Environment and Polypeptide Chain Composition *. *Biochemistry* [online]. 1963, **2**(6), 1387-1398 [cit. 2022-04-24]. ISSN 0006-2960. Dostupné z: doi:10.1021/bi00906a035

VON HIPPEL, P. H. a K. Y. WONG. Neutral Salts: The Generality of Their Effects on the Stability of Macromolecular Conformations. *Science* [online]. 1964, **145**(3632), 577-580 [cit. 2022-04-24]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi:10.1126/science.145.3632.577

WADHWANI, R. a D.J. MCMAHON. Color of low-fat cheese influences flavor perception and consumer liking. *Journal of Dairy Science* [online]. 2012, **95**(5), 2336-2346 [cit. 2022-04-19]. ISSN 00220302. Dostupné z: doi:10.3168/jds.2011-5142

WEISEROVÁ, E., DOUDOVÁ, L., GALIOVÁ, L., ŽÁK, L., MICHÁLEK, J., JANIŠ, R. a F. BUŇKA. The effect of combinations of sodium phosphates in binary mixtures on selected texture parameters of processed cheese spreads. *International Dairy Journal* [online]. 2011, **21**(12), 979-986 [cit. 2022-04-19]. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2011.06.006

XING DU, YI LI, YUAN-LING XIA, SHI-MENG AI, JING LIANG, PENG SANG, XING-LAI JI a LIU SHU-QUN. Insights into Protein–Ligand Interactions: Mechanisms, Models, and Methods. *International Journal of Molecular Sciences* [online]. 2016, **17**(2) [cit. 2022-04-23]. ISSN 1422-0067. Dostupné z: doi:10.3390/ijms17020144

SEZNAM ELEKTRONICKÝCH ZDROJŮ OBRÁZKŮ

1. Hanna Instruments HI 99161 Waterproof Portable pH Meter, For Food and Dairy Products: Science Lab Ph Meters: Amazon.com: Industrial & Scientific
2. FF Instrumentation :: Aqualab Series 4TE Duo
3. Texture analyzer - TA.XTplus - Stable Micro Systems - food / portable (directindustry.com)
4. Thermo Scientific HAAKE RheoStress 1 | Rheology Solutions
5. LAB – Kopina – Tiskové centrum Olomouc
6. HunterLab - Food Processing Technology (foodprocessing-technology.com)
7. Diferenciální skenovací kalorimetry DSC 204 Phoenix a DSC 404 Pegasus – Ústav fyziky materiálů AV ČR, v. v. i. (ipm.cz)

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

- a_w Vodní aktivita
- DSC Diferenciální skenovací kalorimetrie
- FDA Federální úřad pro potraviny USA
- P Fosfor
- TPA Texturní profilová analýza
- WHO Světová zdravotnická organizace

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schematické znázornění struktury přírodního sýra, znázorňující matici složenou ze sítě fúzovaných para-kaseinových micel se zachyceným zbytkovým sérem (vlhkostí) a tukových kuliček zachycených sítí (Fox a kol., 2017).	16
Obrázek 2: Obvyklý denní průměrný příjem sodíku z potravin podle pohlaví (d - den; mg = miligram; průzkum vylučuje těhotné a kojící ženy) (Henney, 2010)	21
Obrázek 3: Modelově znázorněná funkce tavicích solí při výměně iontů sodíku za vápenaté ionty během procesu tavení (NaA – tavicí sůl se sodným kationtem; CaA – tavicí sůl s vápenatým kationtem) (Carić a Kaláb, 1997).	30
Obrázek 4: Schéma vývojového diagramu základních kroků výroby taveného sýru (upraveno dle Aly a kol., 2016)	48
Obrázek 5: Tavička Niromix s řídicí jednotkou, jež byla použita pro výrobu modelových vzorků tavených sýrů (Šantová, 2022)	59
Obrázek 6: Naplnění kelímků horkou taveninou a uzavření hliníkovým víčkem pomocí zatavovacího zařízení (Šantová, 2022)	60
Obrázek 7: Nehomogenní tavenina ve srovnání s homogenní taveninou po přidavku tavicí soli $K_5P_3O_{10}$, v pořadí 1 % přidavek vlevo a 2 % přidavek vpravo (Šantová, 2022)	61
Obrázek 8: Vysoušecí miska s křemenným pískem, skleněnou tyčinkou a vzorkem taveného sýru připravená na analýzu celkové sušiny (Šantová, 2022)	62
Obrázek 9: pH-metr Foodcare s vpichovou elektrodou (1)	63
Obrázek 10: Přístroj na měření vodní aktivity (2)	64
Obrázek 11: Záznam grafu z texturního analyzátoru TA.XT vyobrazující závislost síly deformace (N) na čase (s) (AnonymG, 2013)	65
Obrázek 12: Texturometr TA-XTplus využívaný pro analýzu modelových vzorků tavených sýrů (3)	66
Obrázek 13: Ukázka viskozimetru Thermo Scientific™ HAAKETM TheoStress™ 1 Rheometer (4)	67
Obrázek 14: Ukázka CIE L* a* b* diagramu (5)	68

Obrázek 15: Použitý spektrofotometr HunterLab UltraScan® VIS pro instrumentální měření barvy (6).....	69
Obrázek 16: Diferenciální skenovací kalorimetry DSC 204 Phoenix (teplotní rozmezí - 180 °C - 700 °C) a DSC 404 Pegasus (pro vysoké teploty až do 1600 °C) (7)	71
Obrázek 17: Graf výsledků stanovených hodnot pH v průběhu skladování pro tavené sýry s přidavkem různých druhů draselných tavicích solí.....	75
Obrázek 18: Graf výsledků stanovených hodnot pH v průběhu skladování pro tavené sýry s přidavkem různých druhů sodných tavicích solí.....	75
Obrázek 19: Závislost tvrdosti taveného sýru s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 o různých koncentracích (1,5 - 3,0 %) na délce skladování	81
Obrázek 20: Závislost tvrdosti taveného sýru s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ o různých koncentracích (1,5 - 3,0 %) na délce skladování	82
Obrázek 21: Závislost tvrdosti taveného sýru s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ o různých koncentracích (1,5 - 3,0 %) na délce skladování	83
Obrázek 22: Závislost tvrdosti taveného sýru s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 o různých koncentracích (1,5 - 3,0 %) na délce skladování	84
Obrázek 23: Závislost tvrdosti taveného sýru s přidavkem tavicí soli $Na_4P_2O_7$ o různých koncentracích (1,5 - 3,0 %) na délce skladování	85
Obrázek 24: Závislost tvrdosti taveného sýru s přidavkem tavicí soli $Na_5P_3O_{10}$ o různých koncentracích (1,5 - 3,0 %) na délce skladování	85
Obrázek 25: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)	90
Obrázek 26: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)	91
Obrázek 27: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)	91

Obrázek 28: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)	93
Obrázek 29: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)	93
Obrázek 30: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)	94
Obrázek 31: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)	95
Obrázek 32: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)	95
Obrázek 33: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)	96
Obrázek 34: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)	97
Obrázek 35: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)	97
Obrázek 36: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)	98

Obrázek 37: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)	98
Obrázek 38: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)	99
Obrázek 39: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1–100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 – 3 % (1. den skladování)	99
Obrázek 40: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)	100
Obrázek 41: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)	100
Obrázek 42: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)	101
Obrázek 43: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)	101
Obrázek 44: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)	102
Obrázek 45: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)	102
Obrázek 46: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)	103

Obrázek 47: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1–100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 – 3 % (60. den skladování)	103
Obrázek 48: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)	104
Obrázek 49: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)	105
Obrázek 50: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $Na_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)	105
Obrázek 51: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $Na_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)	106
Obrázek 52: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)	107
Obrázek 53: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $Na_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)	107
Obrázek 54: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $Na_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)	108
Obrázek 55: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)	109
Obrázek 56: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $Na_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)	109

Obrázek 57: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování)	110
Obrázek 58: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)	111
Obrázek 59: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)	111
Obrázek 60: Závislost elastického modulu (G') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování)	112
Obrázek 61: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)	112
Obrázek 62: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)	113
Obrázek 63: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (1. den skladování)	113
Obrázek 64: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)	114
Obrázek 65: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)	114
Obrázek 66: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (14. den skladování)	115

- Obrázek 67: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování) 115
- Obrázek 68: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování) 116
- Obrázek 69: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (30. den skladování) 116
- Obrázek 70: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování) 117
- Obrázek 71: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování) 117
- Obrázek 72: Závislost ztrátového modulu (G'') na frekvenci v rozsahu 0,1 - 100,00 Hz pro tavené sýry s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 - 3 % (60. den skladování) 118
- Obrázek 73: Graf zachycující krystalizační chování včetně teploty píku vrcholu (T_p) během 1. cyklu „cooling“ u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 % - 3 % 125
- Obrázek 74: Graf 1. cyklu „cooling“ zachycující změnu entalpie mající vliv na krystalizační chování u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 % - 3 % 125
- Obrázek 75: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ s hodnotami počáteční teploty tání (T_{onset}) zmrzlé vody vázané ve vzorcích tavených sýrů s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 % - 3 % 126
- Obrázek 76: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ zachycující změnu entalpie mající vliv na teplotu tání ledu u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli Na_2HPO_4 v koncentracích 1,5 % - 3 % 126

- Obrázek 77: Graf zachycující krystalizační chování včetně teploty píku vrcholu (T_p) během 1. cyklu „cooling“ u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 % - 3 % 127
- Obrázek 78: Graf 1. cyklu „cooling“ zachycující změnu entalpie mající vliv na krystalizační chování u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 % - 3 % 127
- Obrázek 79: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ s hodnotami počáteční teploty tání (T_{onset}) zmrzlé vody vázané ve vzorcích tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 % - 3 % 128
- Obrázek 80: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ zachycující změnu entalpie mající vliv na teplotu tání ledu u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ v koncentracích 1,5 % - 3 % 128
- Obrázek 81: Graf zachycující krystalizační chování včetně teploty píku vrcholu (T_p) během 1. cyklu „cooling“ u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 % - 3 % 129
- Obrázek 82: Graf 1. cyklu „cooling“ zachycující změnu entalpie mající vliv na krystalizační chování u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 % - 3 % 129
- Obrázek 83: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ s hodnotami počáteční teploty tání (T_{onset}) zmrzlé vody vázané ve vzorcích tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 % - 3 % 130
- Obrázek 84: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ zachycující změnu entalpie mající vliv na teplotu tání ledu u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ v koncentracích 1,5 % - 3 % 130
- Obrázek 85: Graf zachycující krystalizační chování včetně teploty píku vrcholu (T_p) během 1. cyklu „cooling“ u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 % - 3 % 131

- Obrázek 86: Graf 1. cyklu „cooling“ zachycující změnu entalpie mající vliv na krystalizační chování u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 % - 3 % 131
- Obrázek 87: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ s hodnotami počáteční teploty tání (T_{onset}) zmrzlé vody vázané ve vzorcích tavených sýrů s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 % - 3 % 132
- Obrázek 88: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ zachycující změnu entalpie mající vliv na teplotu tání ledu u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli K_2HPO_4 v koncentracích 1,5 % - 3 % 132
- Obrázek 89: Graf zachycující krystalizační chování včetně teploty píku vrcholu (T_p) během 1. cyklu „cooling“ u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 % - 3 % 133
- Obrázek 90: Graf 1. cyklu „cooling“ zachycující změnu entalpie mající vliv na krystalizační chování u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 % - 3 % 133
- Obrázek 91: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ s hodnotami počáteční teploty tání (T_{onset}) zmrzlé vody vázané ve vzorcích tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 % - 3 % 134
- Obrázek 92: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ zachycující změnu entalpie mající vliv na teplotu tání ledu u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $K_4P_2O_7$ v koncentracích 1,5 % - 3 % 134
- Obrázek 93: Graf zachycující krystalizační chování včetně teploty píku vrcholu (T_p) během 1. cyklu „cooling“ u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 % - 3 % 135
- Obrázek 94: Graf 1. cyklu „cooling“ zachycující změnu entalpie mající vliv na krystalizační chování u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 % - 3 % 135

- Obrázek 95: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ s hodnotami počáteční teploty tání (T_{onset}) zmrzlé vody vázané ve vzorcích tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 % - 3 % 136
- Obrázek 96: Graf zobrazující 2. cyklus „heating“ zachycující změnu entalpie mající vliv na teplotu tání ledu u jednotlivých vzorků tavených sýrů s přidavkem tavicí soli $K_5P_3O_{10}$ v koncentracích 1,5 % - 3 % 136
- Obrázek 97: Termogram DSC pro tavené sýry s 2 % koncentrací draselných tavicích solí 140
- Obrázek 98: Termogram DSC pro tavené sýry s 2 % koncentrací sodných tavicích solí . 141

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Přehled povolených složek jiných než sýry pro výrobu tavených sýrů a tavených sýrových výrobků a tavených mléčných výrobků (AnonymC, 2019).	19
Tabulka 2: Tavicí soli na bázi fosforečnanů používané v potravinářství (Carić a Kaláb, 1997).	36
Tabulka 3: Tavicí soli na bázi citronanů používané v potravinářství (Fox, 2004).	38
Tabulka 4: Získané hodnoty vodní aktivity u tavených sýrů s přidavkem draselných tavicích solí.....	76
Tabulka 5: Získané hodnoty vodní aktivity u tavených sýrů s přidavkem sodných tavicích solí.....	77
Tabulka 6: Získané hodnoty G^* (komplexního modulu) a $\tan \delta$ (tangens úhlu fázového posunu) při frekvenci 1 Hz u tavných sýrů s přidavkem draselných tavicích solí o různých koncentracích v průběhu skladování.....	120
Tabulka 7: Získané hodnoty G^* (komplexního modulu) a $\tan \delta$ (tangens úhlu fázového posunu) při frekvenci 1 Hz u tavných sýrů s přidavkem sodných tavicích solí o různých koncentracích v průběhu skladování.....	120
Tabulka 8: Průměrné hodnoty světelnosti (L^*) a barevnosti (a^* , b^*) u vzorků tavených sýrů s přidavkem draselných tavicích solí	122
Tabulka 9: Průměrné hodnoty světelnosti (L^*) a barevnosti (a^* , b^*) u vzorků tavených sýrů s přidavkem sodných tavicích solí	122
Tabulka 10: Výsledky krystalizace vody a teploty tání ledu u tavených sýrů s přidavkem draselných tavicích solí.....	124
Tabulka 11: Výsledky krystalizace vody a teploty tání ledu u tavených sýrů s přidavkem sodných tavicích solí.....	124
Tabulka 12: Výsledky zmrzlé volné vody ($W_{f, s}$) ve vzorcích tavených sýrů s přidavkem tavicích solí draselných a sodných.....	139

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Stupnice pro sensorické hodnocení tavených sýrů

Příloha B: Výsledky sensorické analýzy pro modelové vzorky tavených sýrů s přidavkem draselných tavicích solí

Příloha C: Výsledky sensorické analýzy pro modelové vzorky tavených sýrů s přidavkem sodných tavicích solí

Příloha D: Fotky modelových vzorků tavených sýrů s přidavkem draselných tavicích solí v koncentracích 1 % - 3 %

Příloha E: Fotky modelových vzorků tavených sýrů s přidavkem sodných tavicích solí v koncentracích 1 % - 3 %

PŘÍLOHA A: STUPNICE PRO SENZORICKÉ HODNOCENÍ TAVENÝCH SÝRŮ

HODNOTITELSKÉ SCHÉMA PRO TAVENÉ SÝRY

Vzhled a barva

- 1. Vynikající** – barva smetanově bílá, stejnorodá, bez cizích odstínů. Sýr hladký, lesklý.
- 2. Výborná** – nepatrná odchylka od deklarované barvy a vzhledu, bez cizích odstínů, homogenní. Změny barvy způsobené osýcháním sýru, oxidačními změnami vyloučeny. Vzhled bez jakýchkoliv známek deformace, čistý, hladký, lesklý.
- 3. Velmi dobrá** – mírná odchylka od deklarované barvy a vzhledu, bez cizích odstínů, homogenní, typická pro smetanový tavený sýr. Změny barvy způsobené osýcháním sýru, oxidačními změnami jen nepatrné. Vzhled bez jakýchkoliv známek deformace, na povrchu sýra čistý, hladký, lesklý.
- 4. Dobrá** – 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 nepatrně matný, stále však hladký.
- 5. Méně dobrá** – 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. Nevyhovující** – barva mírně nehomogenní (mramorovitá), povrch sýra matný bez lesku, na povrchu mírné barevné změny v důsledku oxidativních změn.
- 7. Nepřijatelný** – 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. **Vynikající** – lehce roztíratelná, plastická, dokonale utavená, bez vzduchových dutin, homogenní, bez výskytu neutavených kousků sýra
2. **Výborná** – konzistence výborně roztíratelná, jemná, nelepivá
3. **Velmi dobrá** – roztíratelnost velmi dobrá, nepatrně tužší nebo měkčí
4. **Dobrá** – roztíratelnost dobrá, mírně tužší nebo měkčí, slabě lepivá
5. **Méně dobrá** – roztíratelnost horší, tužší, pastovitá nebo měkčí, lepivá
6. **Nevyhovující** – lepivá, tuhá, řídká, nehomogenní, špatně roztíratelná
7. **Nepříjemná** – velmi tuhá až drobivá, silně lepivá, rozbředlá, nehomogenní s oddělujícím se 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 příchuti 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 solí, mírně kyselejší, dílčí odchylky v chuti, slabě nečistá, slabě kvasničná.
- 6. Nevyhovující** – výskyt cizích příchutí, méně harmonická, nahořklá, slanější, příchut' po tavicích solí, 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. Dosti málo hořký
4. Zřetelně hořký
5. Dosti hořký
6. Velmi hořký
7. Nesmírně 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

**PŘÍLOHA B: VÝSLEDKY SENZORICKÉ ANALÝZY PRO
MODELOVÉ VZORKY TAVENÝCH SÝRŮ S PŘÍDAVKEM
DRASELNÝCH TAVICÍCH SOLÍ**

Tavicí sůl	Vzhled a barva			
	1. den	14. den	30. den	60. den
K ₂ HPO ₄ 1,5 %	1	1	1	1
K ₂ HPO ₄ 2 %	1	1	1	1
K ₂ HPO ₄ 2,5 %	1	1	1	1
K ₂ HPO ₄ 3 %	1	1	1	1
K ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	1	1	1	1
K ₄ P ₂ O ₇ 2 %	1	1	1	1
K ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	1	1	1	1
K ₄ P ₂ O ₇ 3 %	1	1	1	1
K ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	1	1	1	1
K ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	1	1	1	1
K ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	1	1	1	1
K ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	1	1	1	1

Tavicí sůl	Konzistence			
	1. den	14. den	30. den	60. den
K ₂ HPO ₄ 1,5 %	3	4	3	3
K ₂ HPO ₄ 2 %	3	5	3	3
K ₂ HPO ₄ 2,5 %	3	3	4	4
K ₂ HPO ₄ 3 %	3	3	3	5
K ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	3	2	2	4
K ₄ P ₂ O ₇ 2 %	3	2	2	2
K ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	3	3	3	4
K ₄ P ₂ O ₇ 3 %	3	4	2	4
K ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	3	4	3	4
K ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	3	5	3	6
K ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	4	3	4	4
K ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	3	3	3	3

Tavicí sůl	Tuhost			
	1. den	14. den	30. den	60. den
K ₂ HPO ₄ 1,5 %	3	3	2	3
K ₂ HPO ₄ 2 %	3	3	3	3
K ₂ HPO ₄ 2,5 %	3	3	3	4
K ₂ HPO ₄ 3 %	3	2	3	2
K ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	4	3	4	3
K ₄ P ₂ O ₇ 2 %	3	4	5	5
K ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	3	4	5	3
K ₄ P ₂ O ₇ 3 %	3	3	5	5
K ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	3	3	4	3
K ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	2	2	2	1
K ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	3	2	5	4
K ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	3	3	4	4

Tavicí sůl	Roztíratelnost			
	1. den	14. den	30. den	60. den
K ₂ HPO ₄ 1,5 %	3	3	4	5
K ₂ HPO ₄ 2 %	3	3	2	4
K ₂ HPO ₄ 2,5 %	3	3	2	4
K ₂ HPO ₄ 3 %	3	3	3	3
K ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	3	3	4	4
K ₄ P ₂ O ₇ 2 %	4	3	5	5
K ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	3	4	4	4
K ₄ P ₂ O ₇ 3 %	3	3	4	4
K ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	3	3	4	4
K ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	2	2	2	1
K ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	3	3	3	4
K ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	3	3	4	4

Tavicí sůl	Chut' a vůně			
	1. den	14. den	30. den	60. den
K ₂ HPO ₄ 1,5 %	1	4	1	1
K ₂ HPO ₄ 2 %	1	3	1	1
K ₂ HPO ₄ 2,5 %	1	4	3	2
K ₂ HPO ₄ 3 %	3	4	3	3
K ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	3	4	6	4
K ₄ P ₂ O ₇ 2 %	3	3	5	4
K ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	3	4	5	6
K ₄ P ₂ O ₇ 3 %	4	4	5	5
K ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	2	5	2	4
K ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	3	5	2	3
K ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	3	5	3	4
K ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	3	4	3	5

Tavicí sůl	Hořká chut'			
	1. den	14. den	30. den	60. den
K ₂ HPO ₄ 1,5 %	1	1	1	1
K ₂ HPO ₄ 2 %	1	1	1	1
K ₂ HPO ₄ 2,5 %	1	1	1	1
K ₂ HPO ₄ 3 %	2	2	2	1
K ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	2	1	1	2
K ₄ P ₂ O ₇ 2 %	2	1	1	2
K ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	2	1	1	1
K ₄ P ₂ O ₇ 3 %	2	1	2	2
K ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	1	1	1	1
K ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	1	2	1	1
K ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	2	1	1	1
K ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	2	2	2	1

Tavící sůl	Pachutě			
	1. den	14. den	30. den	60. den
K ₂ HPO ₄ 1,5 %	1	3	1	1
K ₂ HPO ₄ 2 %	1	2	1	1
K ₂ HPO ₄ 2,5 %	1	3	1	1
K ₂ HPO ₄ 3 %	1	3	1	1
K ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	1	2	1	1
K ₄ P ₂ O ₇ 2 %	1	2	1	1
K ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	1	2	1	1
K ₄ P ₂ O ₇ 3 %	1	2	1	1
K ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	1	2	1	1
K ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	1	3	1	1
K ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	1	1	2	2
K ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	1	2	2	1

**PŘÍLOHA C: VÝSLEDKY SENZORICKÉ ANALÝZY PRO
MODELOVÉ VZORKY TAVENÝCH SÝRŮ S PŘÍDAVKEM
SODNÝCH TAVICÍCH SOLÍ**

Tavicí sůl	Vzhled a barva			
	1. den	14. den	30. den	60. den
Na ₂ HPO ₄ 1,5 %	1	1	1	1
Na ₂ HPO ₄ 2 %	1	1	1	1
Na ₂ HPO ₄ 2,5 %	1	1	1	1
Na ₂ HPO ₄ 3 %	1	1	1	1
Na ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	1	1	1	1
Na ₄ P ₂ O ₇ 2 %	1	1	1	1
Na ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	1	1	1	1
Na ₄ P ₂ O ₇ 3 %	1	1	1	1
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	1	1	1	1
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	1	1	1	1
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	1	1	1	1
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	1	1	1	1

Tavicí sůl	Konzistence			
	1. den	14. den	30. den	60. den
Na ₂ HPO ₄ 1,5 %	3	3	4	1
Na ₂ HPO ₄ 2 %	4	3	4	1
Na ₂ HPO ₄ 2,5 %	3	3	2	3
Na ₂ HPO ₄ 3 %	4	2	4	5
Na ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	4	5	5	5
Na ₄ P ₂ O ₇ 2 %	4	4	4	3
Na ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	3	4	4	3
Na ₄ P ₂ O ₇ 3 %	4	3	5	4
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	4	4	2	4
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	3	4	3	4
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	4	4	3	3
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	4	4	3	4

Tavicí sůl	Tuhost			
	1. den	14. den	30. den	60. den
Na ₂ HPO ₄ 1,5 %	3	4	4	5
Na ₂ HPO ₄ 2 %	2	4	3	5
Na ₂ HPO ₄ 2,5 %	3	3	4	3
Na ₂ HPO ₄ 3 %	2	2	2	3
Na ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	3	2	2	2
Na ₄ P ₂ O ₇ 2 %	2	2	3	3
Na ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	3	2	3	4
Na ₄ P ₂ O ₇ 3 %	3	3	3	4
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	2	3	4	5
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	2	4	4	4
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	2	3	4	3
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	2	2	3	3

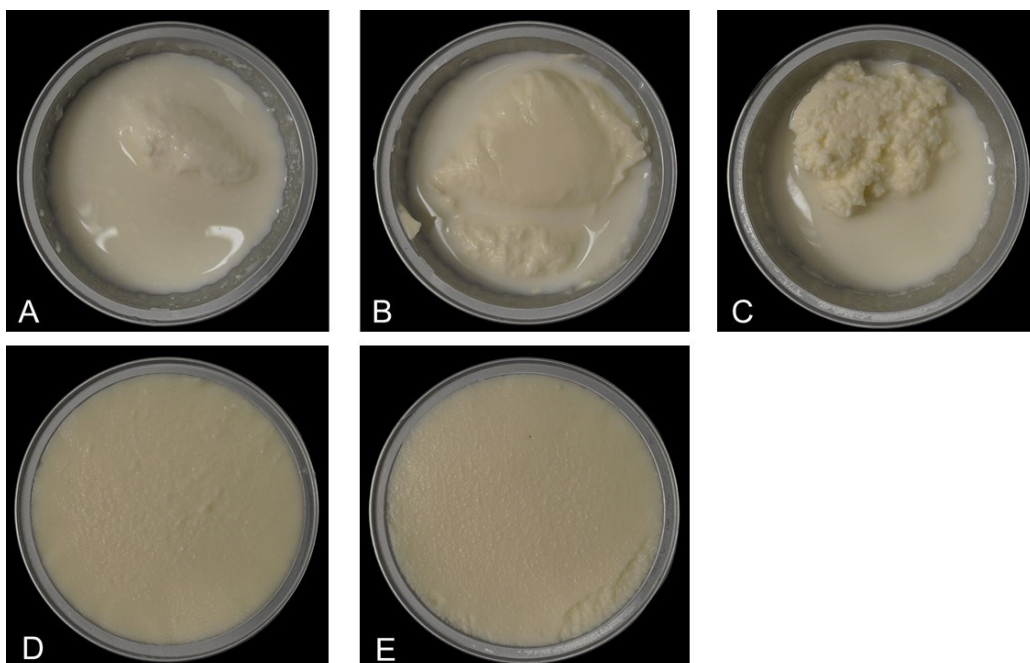
Tavicí sůl	Roztíratelnost			
	1. den	14. den	30. den	60. den
Na ₂ HPO ₄ 1,5 %	3	3	3	4
Na ₂ HPO ₄ 2 %	3	3	4	4
Na ₂ HPO ₄ 2,5 %	2	2	4	4
Na ₂ HPO ₄ 3 %	2	2	3	3
Na ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	3	2	3	3
Na ₄ P ₂ O ₇ 2 %	3	3	2	3
Na ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	3	2	3	3
Na ₄ P ₂ O ₇ 3 %	3	3	3	5
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	2	3	4	3
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	2	3	4	3
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	2	3	4	4
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	2	3	3	3

Tavicí sůl	Chuť a vůně			
	1. den	14. den	30. den	60. den
Na ₂ HPO ₄ 1,5 %	2	1	3	1
Na ₂ HPO ₄ 2 %	3	1	2	1
Na ₂ HPO ₄ 2,5 %	3	1	2	2
Na ₂ HPO ₄ 3 %	4	1	3	3
Na ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	1	1	1	3
Na ₄ P ₂ O ₇ 2 %	2	2	3	5
Na ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	3	2	4	4
Na ₄ P ₂ O ₇ 3 %	2	1	4	4
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	1	1	1	1
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	1	1	1	2
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	2	1	1	1
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	2	1	1	2

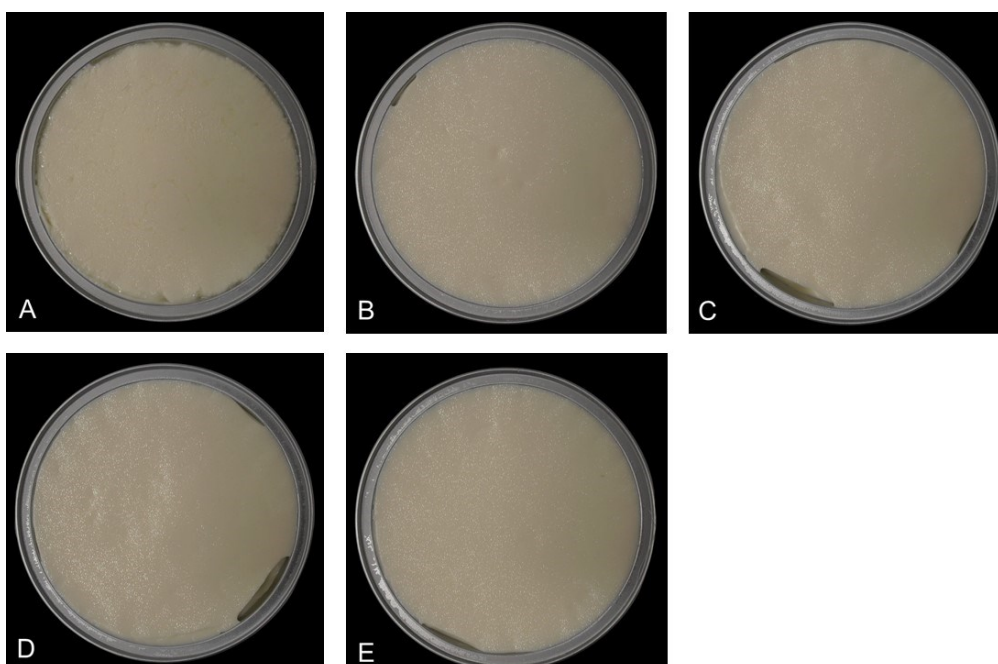
Tavicí sůl	Hořká chuť			
	1. den	14. den	30. den	60. den
Na ₂ HPO ₄ 1,5 %	1	1	1	1
Na ₂ HPO ₄ 2 %	1	1	1	1
Na ₂ HPO ₄ 2,5 %	1	1	1	1
Na ₂ HPO ₄ 3 %	1	1	1	1
Na ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	1	1	1	1
Na ₄ P ₂ O ₇ 2 %	1	1	1	1
Na ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	1	1	1	1
Na ₄ P ₂ O ₇ 3 %	2	1	1	1
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	1	1	1	1
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	1	1	1	1
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	2	1	1	1
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	2	1	1	1

Tavicí sůl	Pachutě			
	1. den	14. den	30. den	60. den
Na ₂ HPO ₄ 1,5 %	2	1	1	1
Na ₂ HPO ₄ 2 %	2	1	1	1
Na ₂ HPO ₄ 2,5 %	2	1	1	1
Na ₂ HPO ₄ 3 %	2	1	1	1
Na ₄ P ₂ O ₇ 1,5 %	1	1	1	1
Na ₄ P ₂ O ₇ 2 %	1	1	1	1
Na ₄ P ₂ O ₇ 2,5 %	2	1	1	1
Na ₄ P ₂ O ₇ 3 %	2	1	1	1
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 1,5 %	1	1	1	1
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2 %	1	1	1	1
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 2,5 %	1	1	1	1
Na ₅ P ₃ O ₁₀ 3 %	1	1	1	1

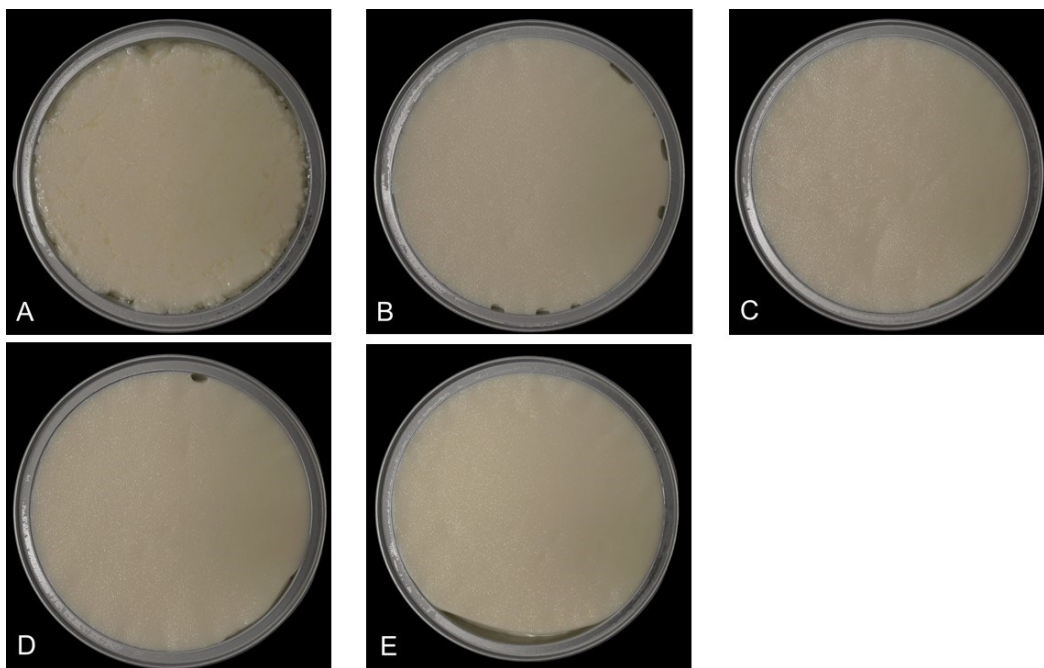
**PŘÍLOHA D: FOTKY MODELOVÝCH VZORKŮ TAVENÝCH SÝRŮ
S PŘÍDAVKEM DRASELNÝCH TAVICÍCH SOLÍ
V KONCENTRACÍCH 1 % - 3 %**



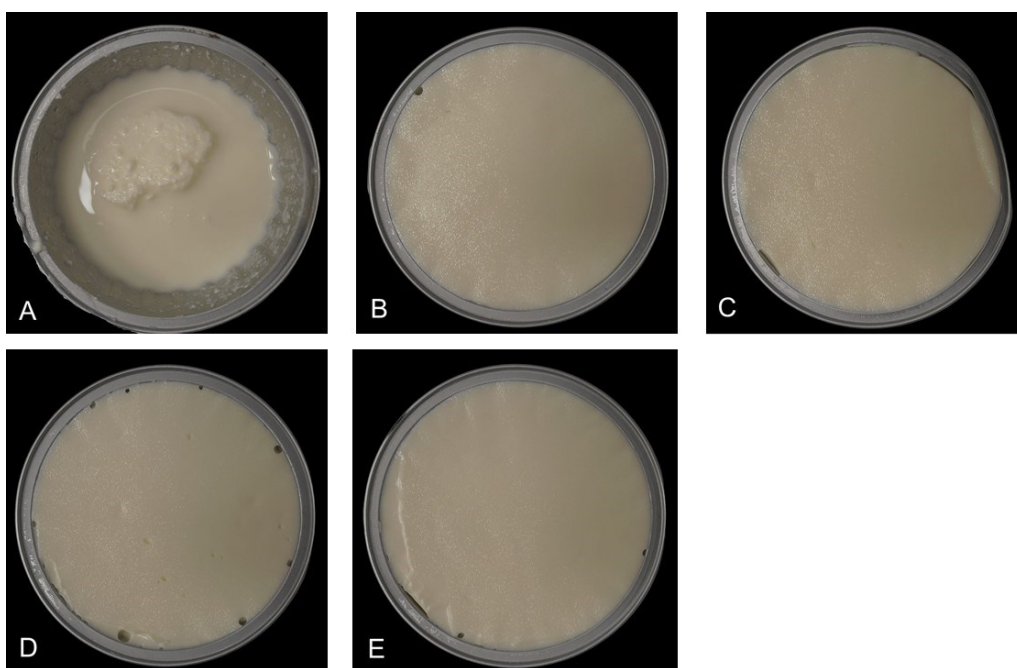
Vzorek KH_2PO_4 : A – 1,0 %, B – 1,5 %, C – 2 %, D – 2,5 %, E – 3,0 %



Vzorek K_2HPO_4 : A – 1,0 %, B – 1,5 %, C – 2 %, D – 2,5 %, E – 3,0 %

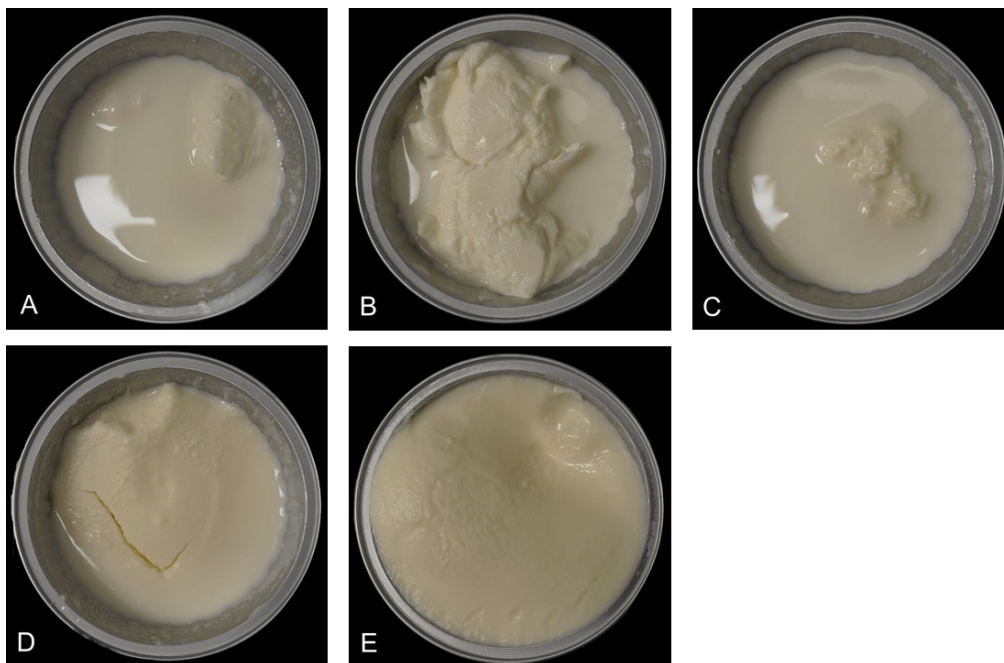


Vzorek $K_4P_2O_7$: A – 1,0 %, B – 1,5 %, C – 2 %, D – 2,5 %, E – 3,0 %

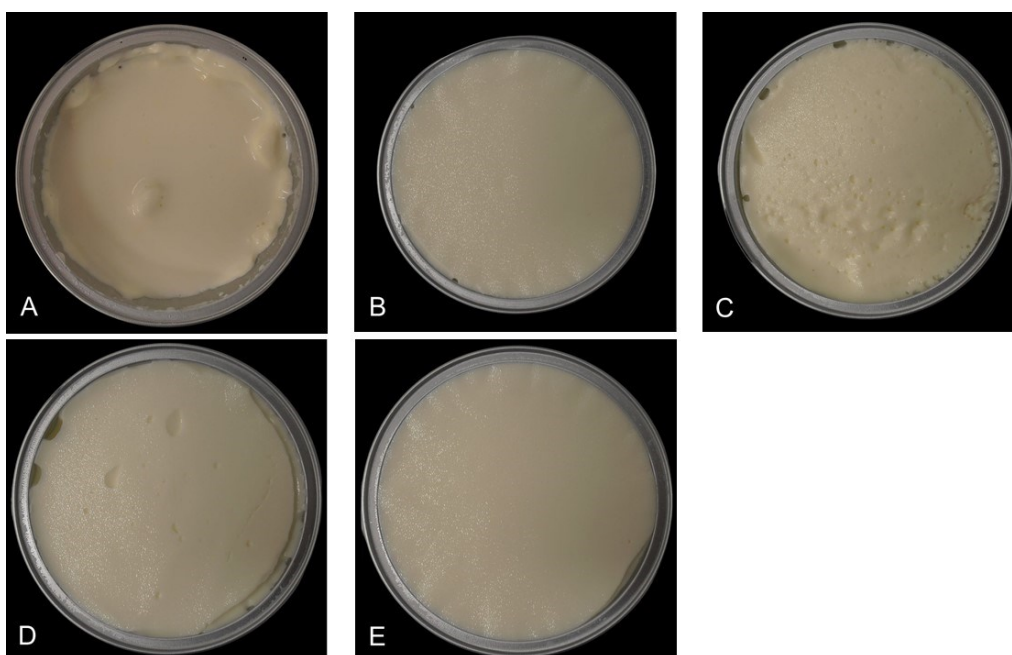


Vzorek $K_5P_3O_{10}$: A – 1,0 %, B – 1,5 %, C – 2 %, D – 2,5 %, E – 3,0 %

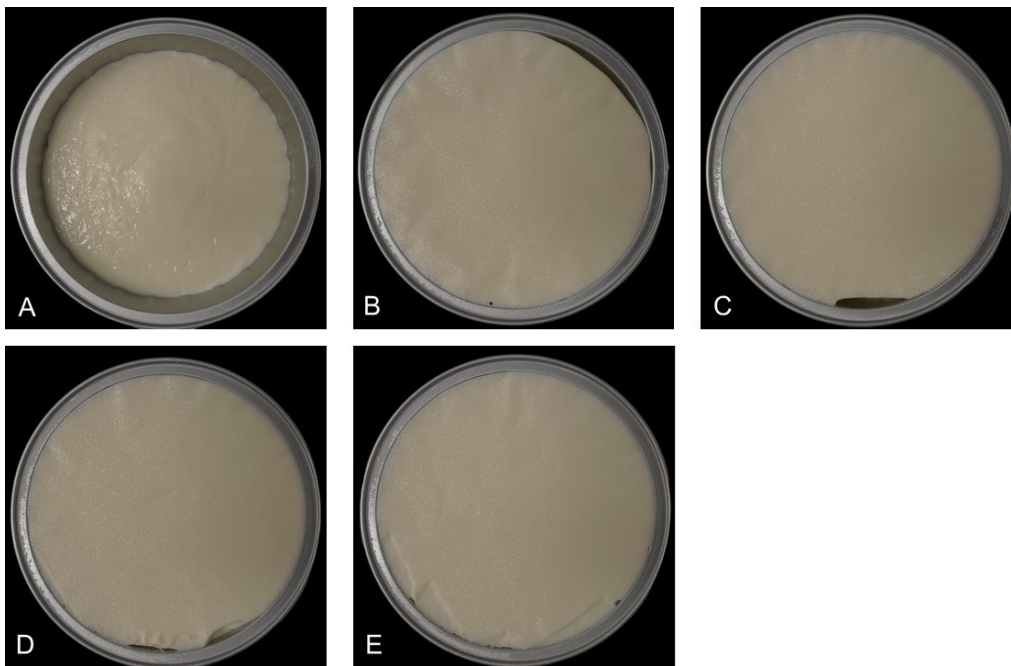
**PŘÍLOHA E: FOTKY MODELOVÝCH VZORKŮ TAVENÝCH SÝRŮ
S PŘÍDAVKEM SODNÝCH TAVICÍCH SOLÍ V KONCENTRACÍCH
1 % - 3 %**



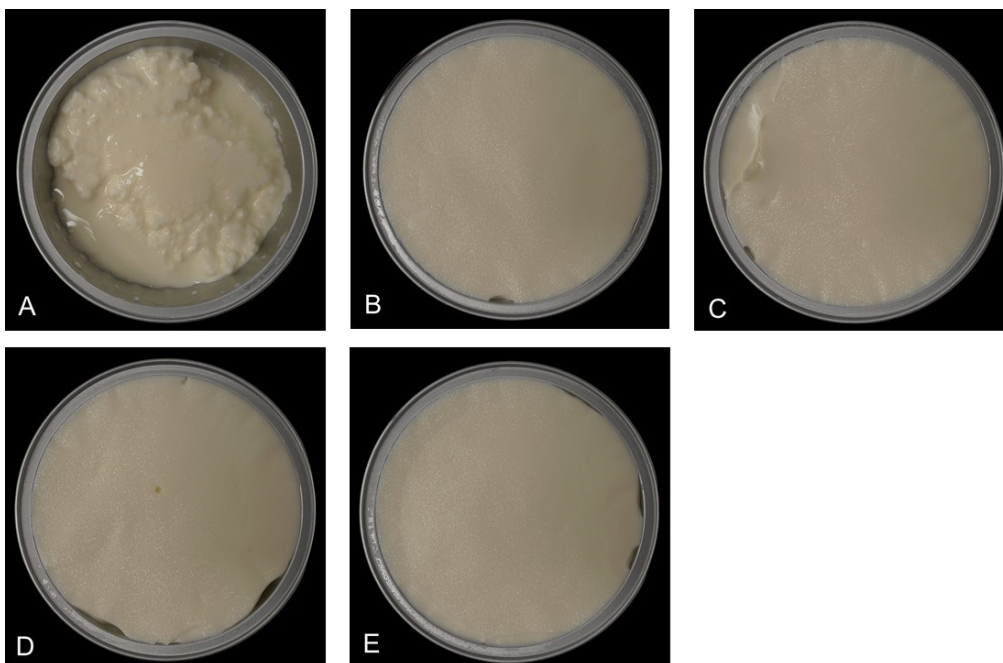
Vzorek NaH_2PO_4 : A – 1,0 %, B – 1,5 %, C – 2 %, D – 2,5 %, E – 3,0 %



Vzorek Na_2HPO_4 : A – 1,0 %, B – 1,5 %, C – 2 %, D – 2,5 %, E – 3,0 %



Vzorek $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$: A – 1,0 %, B – 1,5 %, C – 2 %, D – 2,5 %, E – 3,0 %



Vzorek $\text{K}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$: A – 1,0 %, B – 1,5 %, C – 2 %, D – 2,5 %, E – 3,0 %