

# **Vliv různých ternárních směsí vybraných fosforečnanových solí na texturu tavených sýrů**

Bc. Dominika Začalová

---

Diplomová práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav technologie a mikrobiologie potravin  
akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Dominika ZAČALOVÁ**  
Osobní číslo: **T10432**  
Studijní program: **N 2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Technologie, hygiena a ekonomika výroby potravin**

Téma práce: **Vliv různých ternárních směsí vybraných fosforečnanových solí na texturu tavených sýrů**

Zásady pro vypracování:

### Teoretická část

1. Charakterizujte výrobovou skupinu tavených sýrů a technologii jejich výroby.
2. Stručně pojednejte o vlivech působících na konzistenci tavených sýrů.
3. Popište funkci fosforečnanových tavicích solí v matrici tavených sýrů.

### Praktická část

1. Vyroberte modelové tavené sýry s různým zastoupením monofosforečnanů, difosforečnanů a polyfosforečnanů v tavicích solích.
2. Modelové vzorky skladujte 30 dnů.
3. V průběhu skladování sledujte vybrané texturní parametry modelových vzorků.
4. Výsledky vyhodnoťte a formulujte závěry.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Buňka, F., Buňková, L., Kráčmar, S. Základní principy výroby tavených sýrů. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. 70s. ISBN 978-80-7375-336-8
2. Fox, P. F., McSweeney, P. L. H. Dairy chemistry and biochemistry. Springer, 1998. 494 s. ISBN 9780412720000.
3. DeMan, J. M. Principles of Food Chemistry. 3rd vyd. Springer, 1999. 520 s. ISBN 083421234X.
4. Mattila-Sandholm, T., Saarela, M. Functional dairy products. Woodhead Publishing, 2003. 424 s. ISBN 9781855735842.
5. Fennema, O. R. Food chemistry. Marcel Dekker, 1996. 1094 s. ISBN 9780824796914.

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Ing. František Buňka, Ph.D.**

Ústav technologie a mikrobiologie potravin

Datum zadání diplomové práce:

**1. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce:

**2. května 2012**

Ve Zlíně dne 10. února 2012

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



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

Příjmení a jméno: Začalová Dominika Obor: Technologie, hygiena a ekonomika výroby potravin

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 2. 5. 2012

Začalová Dominika

---

<sup>21)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

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

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

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

<sup>22)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

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

<sup>31)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Práce je zaměřena na sledování vlivu ternárních směsí fosforečnanových tavicích solí (hydrogenfosforečnan sodný -  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , difosforečnan sodný -  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ , polyfosforečnan sodný -  $(\text{NaPO}_3)_n$ ) na pH a vybrané texturní vlastnosti (tvrdost, soudržnost, relativní lepivost) tavených sýrů. Výše zmíněné soli byly použity v různých systematicky zvolených hmotnostních poměrech. Jako základní surovina tavených sýrů byly zvoleny vzorky Eidamské cihly, které zrály 2, 4 a 8 týdnů. Zvyšující se doba zralosti Eidamu způsobovala pokles tvrdosti, soudržnosti, pH a nárůst relativní lepivosti tavených sýrů. Delší doba skladování pak způsobovala nárůst jejich tvrdosti, soudržnosti, mírný pokles pH a relativní lepivosti. Závislost změn texturních parametrů na složení tavicích solí nebyla lineární.

Klíčová slova:

Tavicí sůl, ternární směs, tavený sýr, fosforečnan, kasein, pH, texturní analýza.

## **ABSTRACT**

The diploma thesis is focused on observation of an influence of various ternary mixtures of phosphate salts on processed cheese texture. Hardness, cohesiveness and relative stickiness were measured in texture analysis, pH was determined in chemical analysis. Selected phosphate emulsifying salts (disodium hydrogenphosphate -  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , tetrasodium diphosphate -  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ , sodium salt of polyphosphate -  $(\text{NaPO}_3)_n$ ) were mixed in systematically chosen weight ratios. Edam cheese samples with degree of maturity 2, 4 and 8 weeks were chosen as basic ingredients. Higher degree of Edam maturity causes decline in hardness, cohesiveness, pH, and rise of relative stickiness of processed cheese. Longer time of storage brought increase of hardness, cohesiveness and slight decrease of pH and relative stickiness. Emulsifying salt ratio did not influence chemical and texture properties linearly.

Keywords:

Emulsifying salt, ternary mixture, processed cheese, phosphate, casein, pH, texture analysis.

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce, doc. Ing. Františku Buňkovi, Ph.D., za odborné vedení, věnovaný čas a podnětné připomínky.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1 TAVENÉ SÝRY .....</b>	<b>12</b>
1.1    OBECNÁ CHARAKTERISTIKA TAVENÝCH SÝRŮ .....	12
1.2    VÝROBA .....	13
<b>2 PŘÍRODNÍ SÝR A JEHO VLIV NA VLASTNOSTI TAVENÉHO SÝRA.....</b>	<b>16</b>
2.1    MATRICE PŘÍRODNÍHO SÝRA .....	16
2.2    STUPEŇ ZRALOSTI .....	17
2.3    VLIV STUPNĚ ZRALOSTI PŘÍRODNÍHO SÝRA NA VLASTNOSTI TAVENÉHO SÝRA .....	19
<b>3 TAVICÍ SOLI.....</b>	<b>21</b>
3.1    ROLE TAVICÍCH SOLÍ A JEJICH INTERAKCE S PROTEINY V TAVENÉM SÝRU .....	21
3.2    VLASTNOSTI VÁPNIKU A SODÍKU A JEJICH IONTOVÁ VÝMĚNA .....	23
3.2.1    Důležitost vápníku a sodíku pro lidský organismus .....	23
3.2.2    Srovnání chemických vlastností vápníku a sodíku .....	24
3.3    Kyselina fosforečná .....	24
3.4    Fosforečnany .....	26
3.4.1    Použití fosforečnanů.....	26
3.4.2    Vlastnosti fosforečnanů.....	27
3.4.3    Funkce fosforečnanů v lidském organismu.....	28
3.5    Fosforečnanové tavicí soli.....	28
3.5.1    Vliv fosforečnanů na vlastnosti tavených sýrů .....	29
3.6    SMĚSI FOSFOREČNANOVÝCH TAVICÍCH SOLÍ .....	34
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>37</b>
<b>4 CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>38</b>
<b>5 MATERIÁL A METODY .....</b>	<b>39</b>
5.1    POPIS EXPERIMENTU.....	39
5.2    PŘÍPRAVA MODELOVÝCH VZORKŮ TAVENÝCH SÝRŮ .....	39
5.3    STANOVENÍ CHEMICKÝCH VLASTNOSTÍ.....	40
5.3.1    Stanovení sušiny.....	40
5.3.2    Stanovení pH.....	40
5.4    TEXTURNÍ PROFILOVÁ ANALÝZA.....	40
<b>6 VÝSLEDKY A DISKUZE.....</b>	<b>41</b>
6.1    STANOVENÍ OBSAHU SUŠINY A HODNOT PH.....	41
6.2    TVRDOST.....	50
6.3    SOUDRŽNOST .....	57
6.4    RELATIVNÍ LEPIVOST.....	64
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>71</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>73</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>82</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>83</b>



<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>85</b>
----------------------------	-----------

## ÚVOD

Mléčné výrobky jsou cenným a téměř nenahraditelným zdrojem živin ve skladbě potravy lidí. V průběhu vývoje lidstva byly nalezeny různé způsoby jak mléko zpracovat. V dřívějších dobách bylo hlavním důvodem ke zpracování mléka zvýšení trvanlivosti. Proto postupem času docházelo k objevení keфіru, tvarohu, syrovátky, másla, podmáslí, smetany, zakysané smetany a sýrů.

Různé experimenty vedly roku 1911 k vytvoření prvního taveného sýra. Stal se oblíbeným artiklem zejména díky své variabilitě po stránce konzistence, chuti, manipulace a trvanlivosti. V dnešní době jsou tavené sýry produkovány a spotřebovávány na celém světě, avšak jejich popularita mezi spotřebiteli v ČR nemá obdoby.

Variabilita vlastností konečného produktu je závislá na složení směsi určené pro výrobu taveného sýra. Jednotlivé ingredience této směsi se vzájemně ovlivňují, což způsobuje buď žádoucí, nebo nežádoucí účinky na vlastnosti výrobku. A právě na tomto místě se ukazuje důležitost a nutnost potravinářského výzkumu, který se v tavených sýrech zabývá zkoumáním jednotlivých složek (přírodní sýr, tavicí soli, hydrokoloidy, dochucovadla, regulátory kyselosti, barviva, atd.), jejich směsí, ovlivňováním složek směsi, souvislostmi mezi chemickou strukturou a následnými účinky na strukturu, konkrétně na její texturní vlastnosti (tvrdost, pevnost, soudržnost, pružnost, lepivost, žvýkavost,...).

Tato práce zabývající se vlivem ternárních směsí fosforečnanových tavicích solí na vybrané texturní vlastnosti je součástí této snahy o nalézání takových složení tavených sýrů, aby výsledné produkty byly homogenní, měly optimální tuhost, soudržnost, lepivost, atd., zkrátka aby byly spotřebitelsky přijatelné.

V teoretické části je pojednáno obecně o historii, složení, výrobě tavených sýrů, o matici a stupni zralosti přírodního sýra a jeho vlivu na tavený sýr, o struktuře, vlastnostech a principu funkce fosforečnanových tavicích solí.

V praktické části jsou shrnuty a diskutovány výsledky měření pH, obsahu sušiny a vybraných texturních vlastností (tvrdost, soudržnost a relativní lepivost) taveného sýra při použití různých systematicky zvolených poměrech hydrogenfosforečnanu sodného, difosforečnanu sodného a polyfosforečnanu sodného jako složek ternární směsi tavicích solí.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 TAVENÉ SÝRY

## 1.1 Obecná charakteristika tavených sýrů

Dle vyhlášky č. 77/2003 Ministerstva zemědělství České republiky je tavený sýr definován jako sýr, který byl tepelně upraven za přídavku tavicí soli [1].

V porovnání s přírodními sýry jsou tavené sýry poměrně nový produkt, který se objevil počátkem 20. století. První pokus o jeho přípravu je znám již z roku 1895. Zpočátku se nepoužívaly tavicí soli a teprve po zavedení citrátů vápenatého v roce 1911 ve Švýcarsku se průmyslová výroba taveného sýra stala technicky proveditelnou. Téměř nezávisle na švýcarském vynálezu začala v roce 1917 v Chicagu ve firmě Kraft výroba taveného Čedaru s použitím fosforečnanů a citrátů jako tavicích solí. Avšak hlavní základní surovina pro výrobu tavených sýrů, přírodní sýr, je známa mnohem déle. Již v dobách starověkého Říma před 2000 lety byla používána široká škála přírodních sýrů jako nedílná součást stravy jak potvrzují zmínky v Bibli, starořeckých a starořímských spisech [2,3].

Ve spotřebě tavených sýrů je ČR na 1. místě s roční konzumací 2-3 kg tavených sýrů na osobu. V dalších zemích s vysokou spotřebou sýrů je to o cca 1 kg méně. Z pohledu výroby se v Evropské unii mezi největší producenty řadí Francie, Německo, Irsko a Polsko [4].

Energetická hodnota tavených sýrů podle druhu je v mezích 6-16 MJ/kg v závislosti zejména na obsahu sušiny a tuku v sušině [5,6]. Tavené sýry vyskytující se na českém trhu obsahují cca 6-25 % bílkovin [6] v závislosti na obsahu sušiny přírodního sýra, jsou zdrojem vápníku a riboflavinu. Proti kladům je ve srovnání s přírodními sýry kladen vyšší obsah sodíku [5,7].

Nejen podle české legislativy [1], ale i podle mezinárodně uznávané sbírky standardů *Codex Alimentarius* obsahuje tavený sýr alespoň 51 % přírodního sýra [8]. V závislosti na konkrétním výrobcí a výrobku se složení (obsah tuku, tavicích solí, atd.) a texturní vlastnosti daného sýra liší, a tudíž se liší i obsah přírodního sýra. Obvyklé jsou tavené sýry s obsahem přírodního sýra spíše u spodního limitu daného zákonem. Právě obsah přírodního sýra má významný vliv na texturní a funkční vlastnosti. Zejména množství intaktního kaseinu má hlavní vliv na mikrostrukturu a reologické vlastnosti. Ostatní mléčné přísady obsahují mléčný tuk, mléčné bílkoviny a laktózu. Mléčný tuk (hlavně máslo a bezvodý mléčný tuk) je potřebný ke standardizaci obsahu tuku a funkční modifikaci.

Mléčné bílkoviny (například kaseiny, kaseináty nebo syrovátkové proteiny) přispívají k texturní modifikaci a laktóza (sušená syrovátka a sušené mléko o různé tučnosti) slouží jako plnivo [4], které nejen snižuje cenu výsledného produktu, ale také ovlivňuje jeho texturní vlastnosti (např. tekutost) a chuť (sladkost) [8]. Přidává se i enzymaticky modifikovaný sýr jako ochucovadlo [9,10].

Vyhláška 77/2003 Sb. [1] v platném znění stanoví, že tavený sýr musí být označen názvem druhu *tavený sýr*, obsahem tuku nebo tuku v sušině, obsahem sušiny, a stanoví i další možné označení podle obsahu tuku v sušině:

1. Nízkotučný – nejvýše 30 hm. % tuku v sušině
2. Vysokotučný – nejméně 60 hm. % tuku v sušině

Toto dodatečné značení však není povinné. Pro tavené sýry s obsahem tuku v sušině mezi 30-60 hm. % vyhláška označení nestanoví [1]. Studie ukázaly, že obsah tuku hlavně určuje organoleptické vlastnosti, přičemž chuť zůstává neovlivněna [7].

Kromě tavicích solí a stabilizátorů (hydrokoloidy jako karagenany, guarová a xantanová guma) zahrnují nemléčné složky tavených sýrů také emulgátory (konkrétně lecitin a mono- a diglyceridy), ochucovadla (umělá ochucovadla, uzené extrakty) a zvýrazňovače chuti (NaCl, kvasnicové extrakty), další přísady pro zvýraznění či změnu chuti (masové složky nebo zelenina) [9], kyseliny (různé organické kyseliny: mléčná, octová, fosforečná a citronová), sladidla (sacharóza, dextróza, kukuřičný sirup, hydrolyzát mléčného cukru), barviva (paprika, umělá barviva), konzervační látky (sorbát draselný, propionát sodný popř. vápenatý, nisin) [7-9,11].

## 1.2 Výroba

Tavené sýry se vyrábějí smícháním rozemletých přírodních sýrů s tavicími solemi, přidáním vody, zahřáním směsi při podtlaku a konstantním míchání až do vzniku homogenní směsi požadovaných vlastností. Použití přírodních sýrů o různých stupních zralosti spolu s dalšími možnými mléčnými i nemléčnými přísadami a různými způsoby míchání a homogenizace, to vše jsou faktory umožňující výrobu široké škály tavených sýrů [2].

Proces výroby taveného sýra se skládá z následujících kroků.

- a) Příprava směsi, čímž je konkrétně myšlen výběr, mletí a smíchání správného typu a množství přírodního sýra, tavicích solí, vody (nutné započítat i vodní páru použitou

při ohřevu směsi v průběhu procesu tavení) a volitelných ingrediencí dle receptury daného druhu taveného sýra.

- b) Tavení směsi, čímž rozumíme tepelnou úpravu, při níž dochází k neustálému míchání. Podtlak v průběhu procesu zpracování není podmínkou pro výrobu všech druhů taveného sýra, ale může být použit pro odsávání přebytečného vzduchu, který by urychlil vady vzhledu (dutinky) nebo dokonce oxidační změny produktu [3]. Obvyklé použité teplotní (některé starší zdroje zejména z 90. let 20. století uvádějí nižší teploty 75-85 °C [8], novější zdroje uvádějí vyšší teploty 90-100 °C [12]) a časové intervaly (řádově minuty) závisí na složení, jemnosti směsi a požadovaných vlastnostech (vzhled, trvanlivost, atd.) produktu. Ohřev bývá zpravidla realizován nejen mezipláštěm kotle, ale také přímým vstřikováním páry do směsi. Při dané teplotě obecně klesá procesní čas s vyšší mírou rozmělnění směsi. Procesní čas a jemnost směsi jsou samozřejmě u diskontinuálního způsobu výroby ovlivněny typem tavícího kotle a rychlostí míchání (50-3000 ot./min.) [9]. Při kontinuálním způsobu výroby je směs mixována a zahřívána na 80-90 °C v podtlakovém mixeru, odkud je přečerpávána soustavou trubkových výměníků, na několik sekund zahřívána na 130-145 °C a následně prudce ochlazena na 90 °C. Produkt je pak čerpán do promíchávané vyrovnávací nádrže, která zásobuje balící linku. Před balením a chlazením neklesá ve výrobě teplota taveného sýra pod 60-70 °C.
- c) Balení, chlazení a skladování taveného sýra - obaly taveného sýra mají obvykle formu plastových kelímků nebo hliníkové fólie sbalené do různých tvarů. Výroba taveného plátkového sýra se v konečné fázi liší. Zde je horký roztavený produkt čerpán rozvodným potrubím do trysek, které vytlačují dlouhé pláty sýra na protiběžné chladicí válce, kde je sýr ochlazen na 30 °C. Pláty jsou následně automaticky krájeny na plátky, které jsou skládány a baleny [9].

Tavené sýry se uchovávají při teplotě okolo 4-8 °C [2,3,4]. V průběhu skladování jsou jejich texturní vlastnosti ovlivňovány kromě teploty také průnikem světla a vzduchu obalovým materiálem. V případě plastových obalů se trvanlivost zvýší použitím plastů s nižší propustností pro kyslík a neprůhledným pigmentem [13]. Změny probíhající v průběhu skladování v taveném sýru jsou sice všeobecně známy (mikrobiologické změny, ztráta vody, hydrolýza fosforečnanů, iontové výměny, tvorba krystalů, Maillardovy reakce,

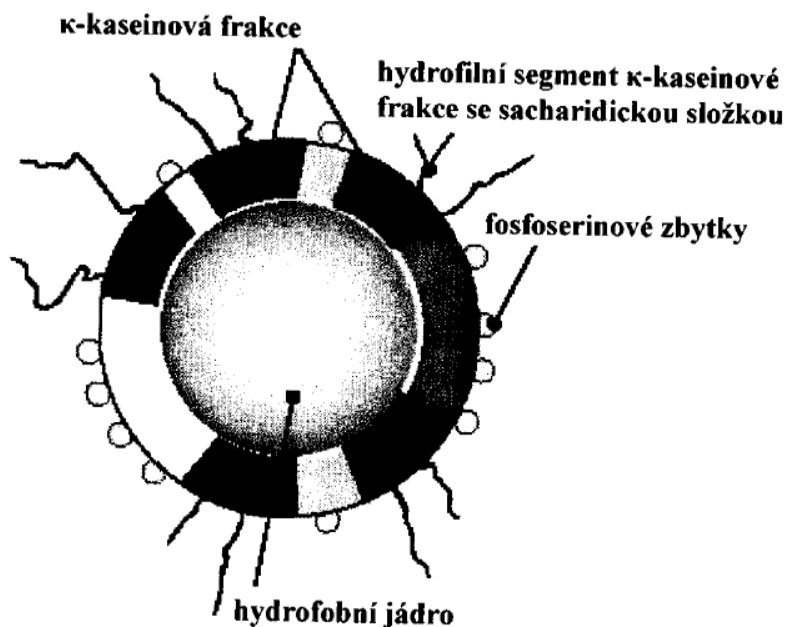
děje iniciované enzymy, teplem, světlem, kyslíkem, interakcemi s obalem), ale průběhem chemických reakcí se stále zabývají vědecká pracoviště, protože dosud nejsou detailně objasněny [14].

## 2 PŘÍRODNÍ SÝR A JEHO VLIV NA VLASTNOSTI TAVENÉHO SÝRA

### 2.1 Matrice přírodního sýra

Kasein kravského mléka je komplex 4 fosfoproteinových frakcí. Čtyři kaseinové frakce,  $\alpha_{s1}$ -kasein,  $\alpha_{s2}$ -kasein,  $\beta$ -kasein a  $\kappa$ -kasein obsahují jak hydrofilní tak hydrofobní segmenty, což způsobuje emulgační efekt kaseinů [8,12].

Jednotlivé kaseinové frakce se shlukují do submicel. Hydrofobní segmenty jsou nasměrovány dovnitř do jádra submicely a hydrofilní segmenty obsahující fosfoserinové zbytky na její povrch. Tam se také nacházejí  $\kappa$ -kaseinové frakce se sacharidickými složkami (Obr. 1) [3,12].



Obr. 1 – Schematické znázornění submicely kaseinu (převzato z Buňka a kol. [12])

Submicely se následně shlukují do větších celků – micel. Micely se v syrovém mléku nevysráží díky záporně nabitému  $\kappa$ -kaseinu vyskytujícímu se na povrchu micel. Takto obaleny se pak micely odpuzují a to brání jejich shlukování. Aby mohl být vyroben přírodní sýr, je potřeba odstranit tento tzv. ochranný koloid. U sladkých sýrů se k tomu využívá syřidlo, jehož působením dojde k proteolýze  $\kappa$ -kaseinu, následně se ztrátou hydrofilního segmentu a ochranné funkce  $\kappa$ -kaseinu. Ostatní kaseinové frakce interagují s vápenatými ionty a dojde ke srážení. Vytvoří se trojrozměrná kaseinová matrice –



sýřenina [3,12]. Jednotlivé řetězce na sebe vzájemně působí, např. pomocí komplexních vazeb s vápníkem, vodíkových můstků, hydrofobních interakcí a elektrostatických sil. Vápenaté ionty jsou navázány na aminokyselinové zbytky, zejména na fosfoserinové zbytky a dále zbytky kyseliny glutamové a asparagové [68,12]. Obsah vápníku a fosforečnanů se různí podle druhu sýra a pohybuje se řádově v desítkách mg na gram sušiny [4,8].

Po oddělení sýřeniny nám zůstane syrovátka, která se oddělí a přejdou do ní sérové bílkoviny, hydrofilní část  $\kappa$ -kaseinu, většina rozpustných solí a laktózy [3,12].

Základní surovinu pro výrobu taveného sýra, přírodní sýr, můžeme rozdělit na 2 hlavní skupiny právě podle způsobu vysrážení kaseinu na para-kasein:

1. Sladké sýry – srážení provedeno pomocí syřidla (např. enzym renin). Většina vápníku a fosforu (50-60 % hm.) je při pH  $\sim 5,2$  v nerozpustné formě. Obsah nerozpustné formy roste s dalším nárůstem pH mezi 5 a 6 [15,16] a klesá s rostoucí dobou zrání sýra [17].
2. Kyselé sýry – srážení se provádí kyselinou (např. mléčná). Většina vápníku a fosforečnanů je v rozpustné formě.

Proteiny se v přírodním sýru sladkého typu (např. Gouda, Čedar) vyskytují ve formě kaseinových a para-kaseinových agregátů [8], v přírodním sýru kyselého typu (Cottage) ve formě nerozpustných agregátů kasein-syrovátkový protein. Celistvost agregátů zajišťují hydrofobní interakce, elektrostatické a kovalentní disulfidové můstky. V porovnání se sladkým sýrem se sýr kyselého typu vyznačuje velmi nízkým obsahem vápníku a fosforečnanu (1 až 5,8 mg.g<sup>-1</sup>), což je způsobeno nízkým pH  $\sim 4,7$  gelové sítě před separací syrovátky a rozpouštěním koloidního fosforečnanu vápenatého [4,18].

V obou typech sýra jsou agregáty uspořádány do sítě propletených řetězců, které tvoří síť zabráňující úniku tuku a vlhkosti. Tuk se ve sladkých sýrech a většině kyselých sýrů vyskytuje ve formě tukových kuliček. Jejich velikost, tvar a interakce s okolní sítí závisí na konkrétním druhu sýra a případné další modifikaci přírodního sýra [4,18].

## 2.2 Stupeň zralosti

Druhy přírodních sýrů, hlavní složky taveného sýra, se liší složením (obsah tuku, vápníku, fosforečnanů, vody, atd.) a hodnotou pH. Také v rámci jednoho druhu sýra se však vlastnosti mění v čase. To je způsobeno tzv. zráním sýra. Proteiny v sýrech jsou v průběhu

zrání hydrolyzovány rostoucí rychlostí na peptidy a volné aminokyseliny různými enzymatickými ději způsobenými například proteázami a peptidázami bakterií mléčného kvašení, k čemuž přispívají ještě zbytky syřidla (renin) [19,20]. Více než 30 % reninu zůstává aktivní i po sražení kaseinové části a oddělení syrovátky. Renin štěpí  $\beta$ -kasein na sedmi místech. Většina z nich je blízko hydrofobního segmentu  $\beta$ -kaseinu a štěpení na těchto místech (např. Leu<sub>192</sub>–Tyr<sub>193</sub>) může vést ke tvorbě krátkých hydrofobních peptidů způsobujících hořkou chuť. Na  $\alpha_{s1}$ -kaseinu je reninem štěpena hlavně vazba Phe<sub>23</sub>–Phe<sub>24</sub>. Vznikající krátké peptidy jsou rychle hydrolyzovány proteázami kyselých bakterií. Renin štěpí v  $\alpha_{s1}$ -kaseinu ve velké míře ještě vazbu Leu<sub>101</sub>–Lys<sub>102</sub> a několik dalších míst.  $\alpha_{s2}$ -kasein je proti  $\alpha_{s1}$ -kaseinu odolnější proti štěpení reninem. Štěpení je omezeno na některé části hydrofobních segmentů molekuly. Para- $\kappa$ -kasein se reninem už dál neštěpí. Další proteázou podílející se na proteolýze při zrání sýra je plasmin. Ten specificky štěpí řetězce na vazbách na lysin a arginin. Nejvíce působí na  $\beta$ -kasein a  $\alpha_{s2}$ -kasein, méně pak na  $\alpha_{s1}$ -kasein. Para- $\kappa$ -kasein je vůči plasminu odolný. Plasmin štěpí  $\beta$ -kasein na třech místech: Lys<sub>28</sub>–Lys<sub>29</sub>, Lys<sub>105</sub>–His<sub>106</sub> and Lys<sub>107</sub>–Glu<sub>108</sub>. Na štěpení proteinu v sýru v průběhu zrání se podílejí ještě další proteázy jako například kathepsiny, laktocin a další [21].

Proteázy a peptidázy, které katalyzují proteolýzu, pocházejí z 6 hlavních zdrojů: syřidla, mléka, kyselých a nekyselých bakterií mléčného kvašení, sekundárních bakterií a exogenních proteináz a peptidáz přidaných pro urychlení zrání [21]. Syrové mléko obsahuje více než 60 nativních enzymů [11]. Jednotlivé proteolytické enzymy mají specifické působení - štěpí řetězce bílkovin v určitých místech. Klíčový děj pro inicializaci zrání sýra je přeměna laktózy na laktát kyselými bakteriemi mléčného kvašení. Zbytková laktóza je přeměněna nekyselými bakteriemi mléčného kvašení. Zrání sýra je ovlivňováno aktuálním pH, které přímo ovlivňuje texturu tím, že ovlivňuje rozpustnost kaseinu. Sýry s vyšším pH jsou měkčí než sýry s nižším pH. Také aktivita enzymů je ovlivňována pH [21].

Proteolýza je nejkomplexnější a nejdůležitější základní biochemický děj probíhající během zrání sýra. Proto byla posledních více než 20 let intenzivně zkoumána. Podílí se na měknutí sýra v průběhu zrání hydrolýzou kaseinové matrice a snížením vodní aktivity. Produkuje volné aminokyseliny, které jsou prekurzorem dalších katabolických reakcí, které produkují důležité složky chuťového aroma [21].

Další primární jev, ke kterému dochází v průběhu zrání, je lipolýza, při níž se uvolňují mastné kyseliny. Sekundárními ději při zrání sýra jsou enzymatické rozklady volných mastných kyselin a volných aminokyselin na jednodušší sloučeniny [21].

Stupeň zralosti sýra a s tím související množství intaktního kaseinu je v průmyslu již dlouho využíváno jako určující parametr při výběru ingrediencí pro skladbu směsi pro výrobu taveného sýra. Blokovaný tavený sýr je vyráběn z mladého sýra (85-95 % intaktního kaseinu z celkového) a roztíratelný tavený sýr ze středně zralého přírodního sýru (60-85 % intaktního kaseinu). Přes znalost těchto závislostí v průmyslové výrobě stále není jednoduché vybrat do kompozice směsi správnou šarži sýra, protože stupeň zralosti, a tím obsah intaktního kaseinu, je ovlivňován mnoha faktory (dobou a podmínkami pro zrání, všemi předúpravami mléka, ze kterého je sýr vyroben, typy syřidel a použitých zákysových kultur, přítomnými nezákysovými bakteriemi mléčného kvašení, přidanými enzymy, pH, množstvím původního vápníku, atd.) [18,22].

### 2.3 Vliv stupně zralosti přírodního sýra na vlastnosti taveného sýra

Snižování obsahu intaktního kaseinu se zjišťuje z měření množství dusíku nerozpustného při pH 4,6 (izoelektrický bod kaseinu) [4,18]. Právě s klesajícím množstvím intaktního kaseinu výrazně klesá tuhost taveného sýra a zlepšuje se opětovná tavitelnost taveného sýra [22,23]. Například ve studiích zkoumajících Čedar [23] a Moravský a Eidamský blok [22] byl sledován vliv zrání sýrů zejména na texturní vlastnosti tavených sýrů, které byly ze zmíněných přírodních sýrů vyrobeny. Rychlá proteolýza Čedaru se po 28 dnech zpomalila a do konce měření (168. dne) probíhala pomalejším tempem. Prvních 28 dnů výrazně klesala tvrdost a tavitelnost. Stupeň emulgace tuku rostl až do 168. dne zrání. Zároveň s tím klesala tvrdost vzorků tavených sýrů. Množství  $\alpha_{S1}$ -kaseinu bylo v silné přímé souvislosti s tvrdostí, lepivostí, lomivostí a pružností odpovídajícího taveného sýra. Je to pochopitelné, protože s rostoucím stupněm zralosti klesal obsah intaktního kaseinu (vazeb kasein-kasein) v přírodním Čedaru a to umožnilo lepší emulgaci tuku v taveném sýru. S rostoucím stupněm zralosti přírodního sýra klesala velikost a rostl počet tukových kuliček v taveném sýru. Dělo se tak po dobu experimentu, tedy prvních 168 dnů zrání Čedaru. Základní složení Čedaru (obsah vlhkosti, tuku, proteinů a solí) se v průběhu 168 dní neměnil, pH se téměř neměnilo (jeho změny nevykazovaly žádný jasný trend jako nárůst nebo pokles v čase). Hodnoty těchto parametrů se nelišily ani u vzorků taveného sýra vyrobených z různě zralých sýrů. Oproti pH Čedaru měly tavené sýry samozřejmě

vyšší pH vlivem použití tavicích solí (fosforečnan sodný, hydrogenfosforečnan sodný, citrát sodný). Při zrání Čedaru rapidně rostl obsah leucinu a dusíku rozpustného při pH 4,6, což značí peptizaci kaseinových řetězců [23].

Při zrání Moravského a Eidamského bloku se texturní vlastnosti měnily stejně jako u studie zmíněné výše. Použití mladého sýra způsobovalo pozdější tvrdnutí taveného sýra a zralý sýr ve směsi naopak příliš zvyšoval roztékavost tavených sýrů. Sensorické zkoušky neprokázaly, že tavený sýr vytvořený s použitím mladého přírodního sýra by měl nevýraznou chuť. Naopak přezrálý sýr způsoboval příliš silnou chuť. Rychlost chlazení produktu měla větší vliv na texturu taveného sýra než stupeň zralosti. Rychlé ochlazení způsobilo nižší tvrdost a větší lepivost produktu k obalové hliníkové folii a než pomalé ochlazení [22].

### 3 TAVICÍ SOLI

Tavicí soli jsou sloučeniny jednosytných kationtů a vícesytných aniontů, jejichž nejdůležitějšími funkcemi v taveném sýru jsou rozrušení struktury gelové sítě a žádoucí změna a stabilizace pH [2,3,9,24]. Nejčastěji používanými tavicími solemi jsou fosforečnany, polyfosforečnany [12] a citráty [12,25]. Kvůli odlišnosti vlastností a účinků bývají používány jejich směsi [12,26]. Podle Codex Alimentarius nesmí tavený sýr obsahovat více než 4 % těchto látek [8], což bývá splněno, protože v tavených sýrech bývá 2-3 % tavicích solí [12]. Česká legislativa [27] udává limitní obsah fosforečnanových tavicích solí jinak. Stanoví maximální množství kyseliny fosforečné, fosforečnanů nebo jejich směsí vyjádřených jako  $P_2O_5$ . Limitní množství  $P_2O_5$  pro tavené sýry je stanoveno na 20 g/l resp. 20 g/kg výrobku [27], což odpovídá přibližně 3,5 % hm. fosforečnanových tavicích solí v konečném produktu [28].

#### 3.1 Role tavicích solí a jejich interakce s proteiny v taveném sýru

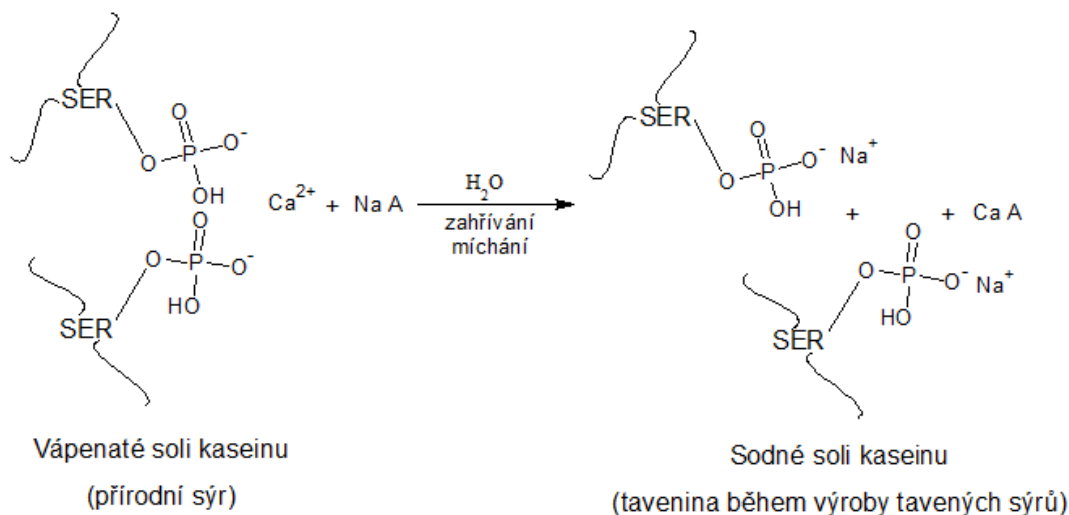
V případě zahřátí a mechanického namáhání sýra bez přídavku tavicích solí by došlo vlivem zvýšené teploty k:

1. spojování tukových kuliček a jejich vysrážení z hmoty sýra.
2. částečné dehydrataci a vysrážení kaseinové sítě. To je způsobeno hydrofobními interakcemi vyvolanými nízkým pH (pro většinu sýrů ~4,6-5,6) v kombinaci s vysokou teplotou, následným srážením rozpustné části obsahu vápníku a fosforečnanů, jejich zapojením do para-kaseinové sítě (zejména u sladkých sýrů), a tím dalším snížením pH a negativního náboje.

Přídavek sodné (draselné) soli kyseliny citronové nebo fosforečné v množství 1-3 hm. % eliminuje efekty zmíněné výše a napomáhá vytvoření homogenního, hladkého, stabilního produktu. Tavicí soli nejsou v pravém slova smyslu emulgátory, v principu převádějí nerozpustný para-kaseinan vápenatý na para-kaseinan sodný, který je lépe rozpustný ve vodném prostředí, což napomáhá procesům hydratace systému a emulgace tuku [4,12]. Přídavek tavicí soli nebo směsi tavicích solí tedy způsobí řadu souběžných fyzikálně-chemických změn:

1. zvýší pH (z přibližně 5,0-5,5 v přírodním sýru na 5,6-5,9 v taveném sýru) a stabilizuje jej pufracním efektem v rámci své pufracní kapacity, závislé na typu a koncentraci fosforečnanu.

- dojde k nahrazení dvojsytného kationtu vápníku jednosytným kationtem (např.  $\text{Na}^+$ ) a tím rozbití sítě (Obr. 2).
- hydrataci a tím způsobenou dispergaci proteinu.
- emulgaci volného tuku.



Obr. 2 – Schematické znázornění výměny sodných kationtů za vápenaté kationty při tavení přírodních sýrů (A-anion tavicí soli, SER-serinové zbytky) (převzato a upraveno podle Buňka a kol. [12])

Při typickém pH taveného sýra (pH 6,0) jsou tavicí soli dostatečně disociovány a vyměňují velkou část vápníku vázaného na kasein za jednosytný kation a to způsobuje přesun přirozeně se vyskytujícího navázaného koloidního fosforečnanu vápenatého z kaseinové sítě. Proteinová síť přírodního sýra se transformuje na para-kaseinát sodný [29,30]. Úbytek vápenatých můstků v kaseinu a nárůst pH vede tedy následně k rozvolnění sítě a tím ke zvýšení hydratační kapacity [4,18].

O stupni iontové výměny a hydratace kaseinu při tavení rozhoduje množství a typ (stupeň polymerace, disociační konstanta, molekulová hmotnost) tavicí soli, pH směsi a procesní parametry (čas, teplota a intenzita míchání), což má vše zásadní vliv na texturní parametry konečného výrobku [4,18].

Studie mikrostruktury ukazují, že tavené sýry jsou tvořeny emulzí nespojitých tukových kuliček různé velikosti ve spojitě proteinové síti, avšak struktura je výrazně jemnější

v porovnání s přírodními sýry. Jemnost struktury roste s nárůstem pH z 5,2 do 6,1, což je způsobeno širokou škálou změn v meziproteinových interakcích jako jsou elektrostatická působení, vodíkové můstky a zbytkové sítě přes vápenaté můstky [18,31,32].

## 3.2 Vlastnosti vápníku a sodíku a jejich iontová výměna

### 3.2.1 Důležitost vápníku a sodíku pro lidský organismus

Vápník je kovový prvek nacházející se ve II. A skupině periodické soustavy prvků a patří mezi tzv. kovy alkalických zemin. Sodík je alkalický kov z I. A skupiny [33,34].

Oba kovy se ve formě iontů přirozeně vyskytují v lidském organismu, jsou pro jeho správnou funkci přímo nezbytné. Sodík je jedním ze základních prvků elektrolytu lidského těla. Na rozdíl od spíše intracelulárního draslíku, se kterým neustále „soupeří“, je sodík extracelulárním iontem. Podílí se na regulaci obsahu vody v těle, osmotického tlaku, acidobazické rovnováhy a je nezbytný pro nervosvalovou činnost [35]. Jeho nedostatek ve stravě způsobuje mnohé problémy (nízký krevní tlak, dehydratace, křeče), ale v současné době je spíše problém s jeho nadměrnou konzumací, která způsobuje jeho nadbytek, který rovněž způsobuje zdravotní problémy (zadržování tekutin v těle, otoky, selhání srdce a ledvin). Doporučená dávka kuchyňské soli, hlavního zdroje sodíku v potravě, pro dospělého člověka je podle Světové zdravotnické organizace (WHO) 3-5 g/den [36-39]. Vápník je 5. nejhojnější prvek v lidském těle [40] a je nezbytný při interakcích bílkovinných řetězců [41-44], ale převážná většina (až 99 %) se uplatňuje zejména při stavbě kostí a zubů. Kromě toho je nezbytný pro udržování selektivní propustnosti buněčných membrán, aktivaci a inhibici hormonů a enzymů a pro regulaci nervosvalové dráždivosti. Pokud dojde ke změně podílu ionizovaného a neionizovaného vápníku v biologických tekutinách, může být chybějící vápník, doplněn ze zásob v kostní tkáni [35].

Podíl vápenatých iontů ve vztahu k celkovému vápníku v těle souvisí [35]:

- s množstvím celkových bílkovin plazmy (ztráty bílkovin mají za následek zvýšení  $\text{Ca}^{2+}$ )
- se změnami pH (acidóza zvyšuje a alkalóza snižuje podíl  $\text{Ca}^{2+}$ )
- s koncentrací anorganického fosforu (vzestup koncentrace fosforu vede k poklesu  $\text{Ca}^{2+}$ )

Nízký příjem vápníku tedy způsobuje svalové křeče, poruchy funkce ledvin, demineralizaci a měknutí kostní tkáně a větší pravděpodobnost zlomenin vlivem

osteoporózy, proto se doporučuje v závislosti na věku a pohlaví příjem 800-1200 mg vápníku na den. Byl zjištěn ale takzvaný „vápníkový paradox“, kde při nadměrném příjmu vápníku dochází opět ke křehnutí kostí vlivem nadměrného ukládání vápníku v kostech [35], ale také v jiných orgánech jako jsou například ledviny [36]. Akutní krátkodobý nadbytek vápenatých iontů se projevuje sníženou nervosvalovou dráždivostí, ospalostí, únavou, zácpou a zvracením, poruchami ledvin, vzniku močových konkrementů (oxalát vápenatý) a patologickému vápnění orgánů [35]. Přes tyto poznatky je rovnováha v těle ale ještě komplikována dalšími vlivy, protože na hospodaření s vápníkem organismu má zásadní vliv přítomnost vitamínu D, jehož nedostatek způsobuje celkový deficit vápníku a nadbytek převápnění celého organismu [45].

### 3.2.2 Srovnání chemických vlastností vápníku a sodíku

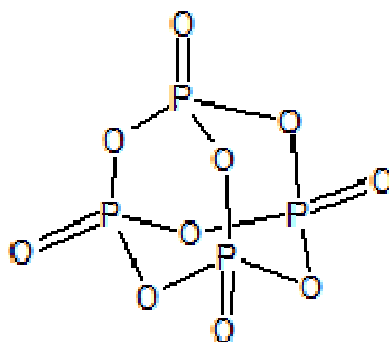
Ve sloučeninách se vápník vyskytuje ve formě dvojmocného  $\text{Ca}^{2+}$  kationtu zatímco sodík jako jednomocný  $\text{Na}^+$  kationt, což je samozřejmě dáno jejich polohou v periodické soustavě prvků a z toho plynoucí elektronovou konfigurací. Vápník má vyšší ionizační energii a elektronegativitu a menší velikost kationtu než sodík. Elektronegativita vápníku se ale neliší tak výrazně, takže vápník ochotně tvoří stabilní kovalentní vazby s elektronegativními anionty. Menší poloměr kationtu a násobná mocnost vápníku zapříčiňuje, že vazby mezi  $\text{Ca}^{2+}$  a anionty jsou vždy pevnější než mezi  $\text{Na}^+$  a anionty [33,34]. Nižší afinity sodných v porovnání s vápenatými ionty k aniontům se využívá např. v katexových iontoměničích pro úpravu vody [46] nebo právě při použití tavicích solí v potravinářském průmyslu [12]. Při interakci s proteiny zůstává zachován stejný princip, ale komplikovaný složitostí polymerních řetězců a mnohými dalšími interakcemi [41-44]. Záporný náboj na segmentech bílkovin je však slabý v porovnání s jednoduchými anorganickými anionty a proto může vlivem přidané sodné soli se silnějším aniontem dojít k iontové výměně [12,44].

### 3.3 Kyselina fosforečná

Nedlouho po objevu fosforu byla Robertem Boylem v roce 1694 připravena reakcí vody a oxidu fosforečného ( $\text{P}_4\text{O}_{10}$ ). Jedná se o jednu z nejdůležitějších průmyslově vyráběných anorganických kyselin. Více než 60 % vyráběného  $\text{P}_2\text{O}_5$  se spotřebuje ve formě hnojiv, 25 % v detergitech a pracích prášcích a 15 % ve farmaceutickém, krmivářském a potravinářském průmyslu [47].



Dimerní oxid fosforečný  $P_4O_{10}$  je tvořen tetraedrickými molekulami (Obr. 3).

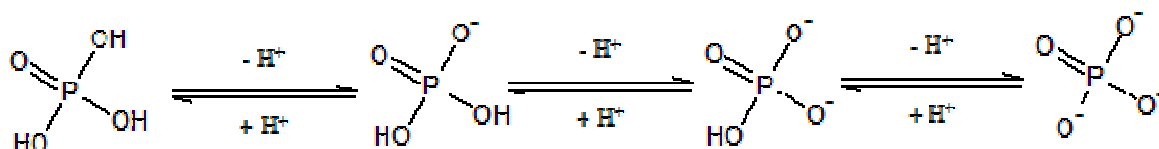


Obr. 3 – Struktura  $P_4O_{10}$  (převzato a upraveno podle Klikorka a kol. [33])

$P_4O_{10}$  je bílá tuhá krystalická velmi kyselá látka s velkou afinitou k vodě, proto se využívá jako dehydratační a sušící činidlo. S vodou dává kyselinu trihydrogenfosforečnou  $H_3PO_4$  [33].

Existují 2 způsoby výroby kyseliny fosforečné. Termickou metodou, založenou na výrobě z elementárního fosforu, lze získat velmi čistou kyselinu. Extrakční metodou pomocí rozkladu přírodního fosforečnanu minerální kyselinou, nejčastěji  $H_2SO_4$ , se získává zředěná a znečištěná kyselina. Je však levnější a vyrobí se jí 95 % celkového vyráběného množství, protože většina poptávky pochází z aplikací nevyžadujících vysokou čistotu, ale náročných na kvantitu (například hnojiva) [47].

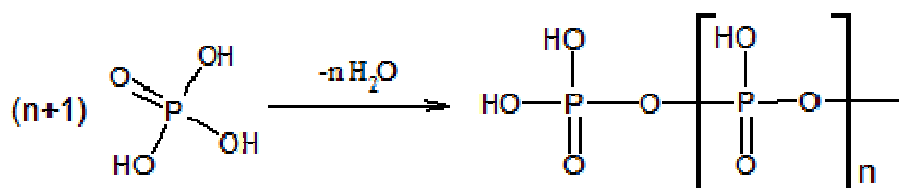
Kyselina trihydrogenfosforečná, pro zjednodušení nazývaná krátce fosforečná, je ve vodě a alkoholu rozpustná krystalická hygroskopická trojsytná středně silná kyselina. Jak schéma (Obr. 4) její disociace napovídá, dokáže odštěpit až 3 protony a tvoří tedy soli fosforečnany, hydrogenfosforečnany a dihydrogenfosforečnany [47,48].



Obr. 4 – Schéma disociace kyseliny trihydrogenfosforečné (převzato a upraveno podle Richter a Jursík [47,48])

Soli a estery tvoří snadno, ale jinak je poměrně nereaktivní a nemá oxidační účinky [33]. Přesto, že je ze všech kyselin fosforu nejstálejší [33,47], při tepelné kondenzaci kyseliny

trihydrogenfosforečné dochází postupně k její polymeraci na difosforečnou (při 215 °C), trifosforečnou, polyfosforečnou (při 300 °C) [12,47].



Obr. 5 – Schéma polymerace kyseliny trihydrogenfosforečné (převzato a upraveno podle Jursík [48])

V krajním případě může dehydratací dojít až k cyklizaci na kyseliny cyklofosforečnané nebo dokonce síťování na ultrafosforečnou, ale ke zpětnému získání  $P_4O_{10}$  nedojde [47,48].

$H_3PO_4$  má molární hmotnost 97,995 g/mol, krystalizuje jako hemihydrát, který má teplotu tání 29,32 °C a ztrácí vodu při 150 °C, bezvodá ve formě anhydridu má teplotu tání 42,35 °C. Fosforečnanový anion  $PO_4^{3-}$  je možné okamžitě analyzovat chromatografií nebo kolorimetrií, molární koncentrace se stanovuje pH metrem nebo titrací se standardním roztokem NaOH [49].

### 3.4 Fosforečnany

#### 3.4.1 Použití fosforečnanů

Fosforečnany jsou sloučeniny odvozené od kyseliny trihydrogenfosforečné. Podle vyráběného množství jsou významné zejména sodné, draselné, amonné a vápenaté fosforečnany. Dihydrogenfosforečnan vápenatý se používá jako minerální přísada do potravin a jako stabilizátor, hydrogenfosforečnan vápenatý jako plnivo do tabletových léků, plnivo do zubních past a jako přísada do krmiv, fosforečnany a dihydrogenfosforečnany draselné jako nutriční minerální přísada v džusech.  $NaH_2PO_4$  se používá k povrchové úpravě kovů, jako minerální přísada do krmiva a stabilizátor pH do džusů a polévek.  $Na_2HPO_4$  se používá jako přísada do detergentů a  $Na_3PO_4$  je využíván na úpravu napájecí vody pro parní kotle a kvůli schopnosti silně saponifikovat tuky také jako průmyslový čisticí prostředek. Kondenzované fosforečnany (di-, tri-, polyfosforečnany) se používají při úpravě vody, v pracích prostředcích, detergentech, kde snižují tvrdost vody a zabraňují usazování sloučenin alkalických zemin na vláknech a topném elementu pračky. Co je ale důležité pro účely této práce, tak jak monofosforečnany, tak i kondenzované

fosforečnany se používají v potravinářském průmyslu jako emulgační činidlo a pufr při přípravě masových směsí pro výrobu uzenin a zejména při výrobě sušeného a zahuštěného mléka a tavených sýrů [47].

Sodné fosforečnany  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  a  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  se vyrábí neutralizací kyseliny trihydrogenfosforečné uhličitanem sodným nebo hydroxidem sodným. Po ochlazení příslušný fosforečnan vykrytalizuje a je odfiltrován. Kondenzované fosforečnany se vyrábějí zahřátím monofosforečnanů [47,49].

### 3.4.2 Vlastnosti fosforečnanů

Rozpustnost solí ve vodě za normální teploty a tlaku roste od málo rozpustných fosforečnan ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) přes hydrogenfosforečnany ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) k dihydrogenfosforečnanům ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) [33]. Fosforečnany alkalických kovů (kromě lithného) jsou všechny ve vodě rozpustné za normální teploty a tlaku (Tab. 1) a pH u nich roste v řadě: kyselina fosforečná (silně kyselá) < dihydrogenfosforečnany (slabě kyselé) < hydrogenfosforečnany (slabě zásadité) < fosforečnany (silně zásadité) [50].

Tab. 1 – Rozpustnost fosforečnanů

Název	Chem. vzorec	Rozp. ve vodě	Teplota	Zdroj
		(g/l)	(°C)	
Fosforečnan sodný (dodekahydrát)	$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	285	20	[51]
Hydrogenfosforečnan sodný (dihydrát)	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	93	20	[52]
Dihydrogenfosforečnan sodný (dodekahydrát)	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	874	34	[53]
Fosforečnan draselný	$\text{K}_3\text{PO}_4$	508	25	[54]
Hydrogenfosforečnan draselný	$\text{K}_2\text{HPO}_4$	1600	20	[55]
Dihydrogenfosforečnan draselný	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	222	20	[56]
Fosforečnan lithný	$\text{Li}_3\text{PO}_4$	0,39	20	[57]

Polyfosforečnany jsou stabilní v široké škále pH, ale dochází k jejich hydrolyze, která může být způsobena nebo urychlena změnou pH (v kyselém prostředí náhodně, jinak od koncových fosforečnanových skupin), zvýšenou teplotou, činností mikroorganismů nebo

enzymů [50]. Fosforečnany tvoří díky svému polyvalentnímu aniontu snadno komplexní sloučeniny. Napomáhá tomu zvýšená teplota a pH. U polyfosforečnanů pufrací kapacita klesá s rostoucí délkou řetězce [47,49].

### 3.4.3 Funkce fosforečnanů v lidském organismu

Z hmotnosti lidského těla je 0,8-1,2 % tvořeno fosforem, který se řadí na 6. místo v procentuálním zastoupení ze všech prvků [40]. Přibližně 85 % celkového fosforu se vyskytuje v kostech, 1 % v krvi a dalších tělních tekutinách, 14 % je v měkkých tkáních, jako jsou například svaly. Téměř všechno je ve formě anorganických a organických sloučenin a nikoliv volný. Kostí slouží nejen jako podpěrná struktura pro ostatní tkáň organismu, ale v případě vápníku [35] a fosforečnanových aniontů [38] také jako vyrovnávací zásobní nádrž při jejich nedostatku v tělních tekutinách a buňkách ostatních tkání [38]. Fosfolipidy jsou hlavní komponentou buněčných membrán [40]. Fosforečnany se dále podílí na interakcích bílkovinných řetězců [12] a jako součást adenosintrifosfátu (ATP) má naprosto zásadní a nepostradatelnou funkci při přenosu energie [58,59]. Doporučená denní dávka fosforu přijatého ve stravě je pro dospělého 80 kg muže 700 mg. Nedostatek fosforu je vzácný, nadbytečný příjem však může způsobit zdravotní problémy. Maximální nepravidelná dávka fosforu přijatého ve stravě by neměla překročit 3 g za jeden den. Důležitější než absolutní množství fosforu je ale poměr vápníku a fosforu v těle, který by měl být vyrovnaný [58,60,61]. Stejně jako u vápníku, platí i u fosforečnanových iontů, že jejich regulace v těle je silně ovlivněna přítomným množstvím vitamínu D. Při vyšším příjmu tohoto vitamínu se v těle ukládá vyšší množství fosforečnanu a hydrogenfosforečnanu vápenatého [45].

Polyvalentní charakter, schopnost polymerizovat, dobrá pufrací kapacita, možnost chelatace a emulgace, přirozený výskyt v živých organismech, to vše předurčuje fosforečnany k tomu, aby byly přídatnými látkami v potravinách [12], kde jsou ze zákona povolené a zákon také stanoví i jejich doporučené a maximální dávky [27], které u průměrného lidského metabolismu korelují právě se schopností vstřebat, využít a vyloučit optimální množství živin [40,58,62].

### 3.5 Fosforečnanové tavicí soli

Fosforečnany používané v různých potravinách dokáží díky své chemické struktuře modifikovat některé vlastnosti potravin jako například strukturu, chuť, barvu, šťavnatost,

proto plní funkci stabilizátorů, sekvestrantů, kypřících látek, regulátorů kyselosti, zahušťovadel, emulgátorů, plnidel, protispékavých látek, zvlhčujících látek a tavicích solí. V některých případech působí dokonce částečně jako bakteriostatické látky.

Pro účel této práce je třeba zdůraznit fosforečnany používané jako tavicí soli používané v tavených sýrech [12,62]. Fosforečnany používané jako tavicí soli se skládají z monovalentního kationtu (např. sodík) a polyvalentního aniontu fosforečnanu [4,18]. Znění vyhlášky Ministerstva zdravotnictví ČR č. 4/2008 Sb., kterou se stanoví druhy a podmínky použití přídatných látek a extrakčních rozpouštědel při výrobě potravin [27] a pozdější novely č.130/2010 Sb. stanoví značení tavicích solí. Následující Tab. 2 uvádí jak značení tavicích solí vyplývající z legislativy ČR [27] také legislativy EU, tak i pH jejich 1 % vodných roztoků [12] a sumární vzorce fosforečnanových sodných tavicích solí. Pro zjednodušení nejsou uváděny molekuly vody, kterými jsou fosforečnany hydratovány.

Tab. 2 – Značení fosforečnanových tavicích solí a jejich pH [12,27]

Skupina	Látka	Vzorec	pH 1 % vodného roztoku	E-kódy
Fosforečnany	Dihydrogenfosforečnan sodný	$\text{NaH}_2\text{PO}_4$	4.5	E 339
	Monohydrogenfosforečnan sodný	$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	9.1	
	Trihydrogenfosforečnan sodný	$\text{Na}_3\text{PO}_4$	11.9	
Difosforečnany	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	$(\text{NaPO}_3)_n$	6.6	E 452

Jak je zřejmé z Tab. 2 a logicky vyplývá již z různých hodnot pH 1 % roztoků tavicích solí, k dosažení optimálního účinku tavených sýrech je potřeba použít směs tavených solí.

### 3.5.1 Vliv fosforečnanů na vlastnosti tavených sýrů

Fosforečnanové tavicí soli mají v potravinách vliv zejména na pH, emulgaci tuků, dispergaci bílkovinných řetězců a iontovou výměnu mezi vápníkem a jednomocnými

ionty. Nejdůležitější z těchto fyzikálně-chemických vlastností je schopnost vázat na sebe kationty kovů, v čemž se jednotlivé fosforečnany liší [63].

Sodík je silněji vázán než draslík. Draselné fosforečnany se ale v tavených sýrech spíše nepoužívají, protože by ve finálním výrobku mohly způsobit nahořklou příchuť [63]. Výzkum draselných tavicích solí se však znovu vrací. Nové výzkumy ukazují [64], že v dřívějších studiích [65] bylo použito nadměrné množství draselných solí, které způsobily nepříjemnou hořkost. Při snížení jejich obsahu může být tato chuť ze strany spotřebitele zanedbatelná [64].

Podle studie El-Bakry a kol. [66] došlo nahrazením sodné tavicí soli draselnou solí k vytvoření produktu se sníženým obsahem sodíku, v průběhu zpracování byly zapotřebí menší točivé momenty při míchání. Ve srovnání s taveným sýrem vyrobeným bez draselné soli měl konečný produkt vyšší pH, nižší tvrdost a soudržnost, vyšší lepivost, mírně se zvýšila velikost tukových kuliček a tekutost a snížila mikrobiální stabilita. Podle Hoffmanna a kol. [67], který zkoumal vliv komerčních solí JOHA na blokové tavené sýry, není možné jako tavicí soli použít draselné polyfosforečnany, protože jsou ve vodě nerozpustné.

Univerzálnímu použití se vymykaly citrátové tavicí soli, které se ukázaly jako nevhodné pro výrobu blokových tavených sýrů, protože produkt byl příliš měkký a lepivý. Naopak směsi obsahující jako hlavní složku lineární polyfosforečnany, měly žádoucí účinky na texturní vlastnosti. V použitých směsích sodných a draselných solí byla u některých vzorků typická hořká příchuť draselných solí téměř nezatelná a došlo dokonce k optimalizaci jejich účinku, což umožnilo snížit jejich obsah v konečném produktu. Úplně nahradit sodnou sůl se však nepodařilo. Z experimentů vyplynulo, že je vhodné, pokud se obsah sodíku v taveném sýru pohybuje mezi 0,39-0,55 % a obsah draslíku 0,47-0,72 % [67]. Ze vzniku hořké příchuti byly podezřívány i tavicí soli s větším obsahem fosforu, ale podezření nebylo jednoznačně potvrzeno a zůstalo pouze ve fázi domněnky [68].

Dalším důležitým parametrem fosforečnanových tavicích solí je počet fosforečnanových jednotek. Více fosforečnanových jednotek v aniontu znamená větší afinitu ke kationtu, účinnost izolování vápníku fosforečnanovými anionty z kaseinové sítě roste také s rostoucím pH. Účinky tavicích solí jsou ovlivňovány pH. Tavicí soli pH zároveň ovlivňují (zvyšují, snižují nebo stabilizují). Podle Tab. 2 lze odvodit, které tavicí soli budou ve směsi zvyšovat a které naopak snižovat pH. Jejich poměry a celkové množství mají přímý vliv nejen na konečné pH, ale i pufrční kapacitu [63,69]. Vyšší pH způsobí

relativní zvýšení záporného náboje na kaseinových a parakaseinových řetězcích, jejich oddálení a usnadnění vniku fosforečnanových aniontů, které mohou následně vyměnit vápenaté kationty za sodné [12,63].

Právě obsah vápníku a fosforu byl ve studiích shledán jako hlavní a určující pro fyzikálně-chemické a texturní vlastnosti přírodního sýra, což pak následně ovlivňuje z něj vyrobený tavený sýr [70]. Dle schopnosti vyměnit kationty  $\text{Na}^+$  za  $\text{Ca}^{2+}$  lze fosforečnany seřadit následovně: polyfosforečnany ( $n > 3$ )  $> \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} > \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 > \text{Na}_3\text{HP}_2\text{O}_7 > \text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7 > \text{Na}_3\text{PO}_4 > \text{Na}_2\text{HPO}_4 > \text{NaH}_2\text{PO}_4$  [12,63].

Další již zmíněná důležitá vlastnost spočívá ve zlepšení emulgace tuků proteiny. Schopnost emulgovat tuky klesá při koncentraci soli 1 % w/w v následujícím pořadí: trifosforečnan  $>$  difosforečnan  $>$  polyfosforečnan  $>$  hydrogenfosforečnan sodný [71]. Jak již bylo zmíněno, velký vliv na emulgaci má pH, s jehož nárůstem je z kaseinových řetězců odebráno více vápenatých iontů, oddálí se řetězce a tím selepší přirozené emulgační schopnosti kaseinu. Dochází ke zmenšení tukových kuliček a zvětšení jejich specifického povrchu. Oddálené řetězce proteinu pak lépe interagují s tukovými kuličkami. Další zmenšování tukových kuliček může následně vést k tomu, že se proteinové řetězce opět přiblíží k sobě a začnou spolu znovu interagovat. [63]. Nárůst koncentrace polyfosforečnanu sodného pomáhá zlepšit dispergaci kaseinu a pak následně emulgaci tuků. Koncentrace polyfosforečnanu okolo 0,25 % není dostačující k dispergaci kaseinu zejména při delších dobách tavení. Vysoké koncentrace polyfosforečnanů způsobují rozsáhlou dispergaci kaseinu v průběhu tavení a při ochlazení vzniká tužší produkt kvůli vytvoření hustěji síťované matrice tvořené komplexy koloidního fosforečnanu vápenatého s kaseiny [72]. Velmi špatná emulgace způsobí vylučování tukových kuliček z taveného sýra, dobrá emulgace tvorbu měkkých tavených sýrů a ještě lepší emulgace tuku vede ke vzniku tužších tavených sýrů [63].

S mírou emulgace souvisí také spolupráce tavicích solí na následné tvorbě gelu. Podle klesající gelotvornosti se dají seřadit takto: trifosforečnany  $>$  difosforečnany  $>$  kratší fosforečnany ( $4 \leq n \leq 10$ )  $>$  delší polyfosforečnany ( $n > 10$ )  $>$  monofosforečnany [12]. Ve studii zkoumající vliv tavicích solí na koncentrát mléčného proteinu tvořil difosforečnan sodný při 25 °C, pH 5,8 po 24 hodinách nejpevnější gel při koncentraci 6,7 mmol/l. Při koncentracích nižších než 2,9 mmol/l a větších než 10,5 mmol/l se gel netvořil. Gelotvornost byla závislá na pH. Difosforečnan tvořil nejpevnější gel při pH 6,0. Při pokojové teplotě probíhá gelace pomalu. Vlastnosti gelu jsou závislé na koncentraci a

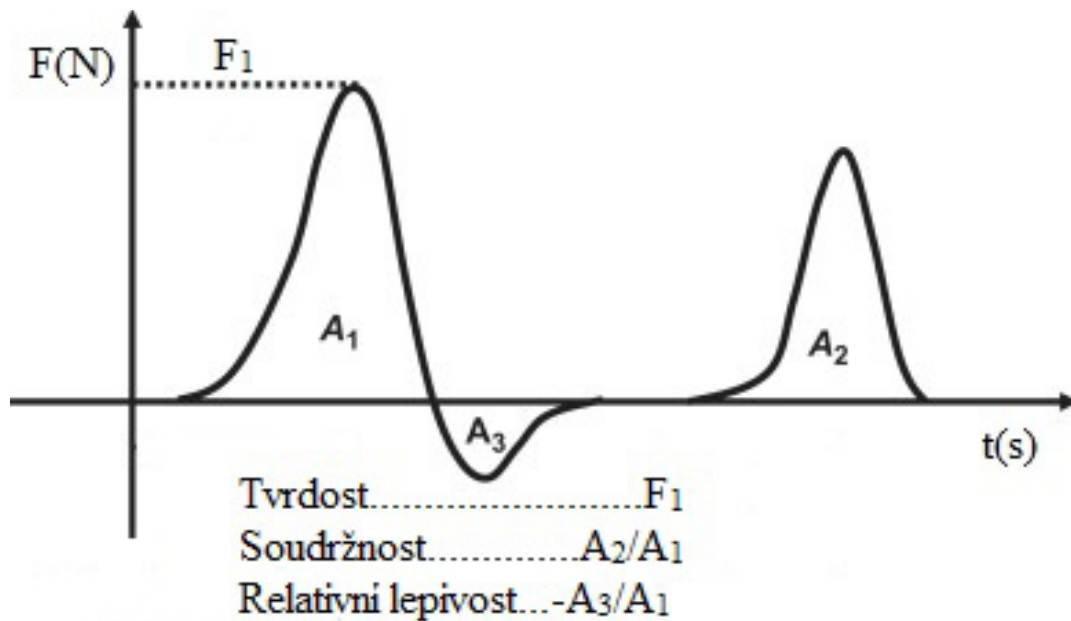
typu tavicí soli, teplotě, čase, pH a koncentraci kaseinu. Delší čas a vyšší teplota umožňuje tvorbu pevnějšího gelu [73].

Fosforečnany mají ještě jednu důležitou funkci v průběhu tavení sýrů a to zlepšení schopnosti bílkovin vázat vodu. Při několikaminutovém míchání za zvýšené teploty dochází ke komplexnímu navazování fosforečnanů na kaseinové frakce přes vápenaté ionty. Na řetězce se pak přes hydrofilní fosforečnanové anionty váže dodatečná voda, přičemž se váže více na polyvalentní anionty. Z novějších studií byl tento mechanismus zkoumán a potvrzen např. El-Bakry a kol. [74,75]. Viskozita taveniny narůstá a dochází k tzv. krémování. Nárůst viskozity je způsoben opětovným vytvářením kaseinové sítě. Logicky je pro tento proces i pro vznik výsledné struktury důležitá přítomnost vápníku v tavicích solích. Při chladnutí sýra po ukončení tavicího procesu dochází k opětovnému uvolňování vápníku z tavicích solí, protože s klesající teplotou obecně klesá schopnost fosforečnanů vázat kationty. Vápník se pak opět zapojuje do síťování kaseinových struktur [28].

#### **Vliv fosforečnanů na texturní vlastnosti tavených sýrů**

Zároveň s fyzikálně-chemickými vlastnostmi jsou tavicími solemi ovlivňovány texturní vlastnosti tavených sýrů [28,76]. Jako texturu označujeme u potravin souhrn všech mechanických, geometrických a povrchových vlastností výrobku, které lze vnímat hmatem a zrakem, případně i sluchem. Mechanické vlastnosti se dělí na 5 základních: tvrdost, soudržnost, viskozitu, pružnost a lepivost [77]. Tato práce je zaměřena na měření třech z nich: tvrdosti, soudržnosti a lepivosti. Výstupem měření texturní profilové analýzy je křivka závislosti síly na čase (Obr. 6).





Obr. 6 – Schematické znázornění zátěžové křivky získané texturní profilovou analýzou (převzato a upraveno podle Chen [78])

Tvrdost vyjadřuje odpor proti vnikání cizího tělesa [79], je přímo úměrná síle potřebné k dosažení určité deformace nebo průniku tělesa do vzorku. Tvrdost potravin je v ústech vnímána při stlačení mezi zuby nebo jazykem a patrem, což bývá u měřících přístrojů simulováno sondou vnikající do vzorku. Pro popis tvrdosti potravinového vzorku se používají výrazy (měkký, tuhý, tvrdý) upřesňující vyjádření tvrdosti v případech, kde není použita přímo číselná hodnota z měření texturní analýzy [77].

Studiemi bylo zjištěno, že výsledky měření tvrdosti tavených sýrů jsou silně ovlivněny mírou deformace. Při velkých deformacích dosahovaly nejvyšších hodnot tvrdosti sýry, ve kterých byly jako tavicí soli použity polyfosforečnany, teprve až za nimi se umístily sýry s difosforečnany a trifosforečnany [63,72]. Při měření při malých deformacích se tuhost zvyšovala při použití tavicích solí v následujícím pořadí: fosforečnany ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ), polyfosforečnany, difosforečnany ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ), trifosforečnany ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) [69]. To se vysvětluje schopností difosforečnanů a trifosforečnanů tvořit třírozměrnou síť díky přítomnosti více fosforečnanových aniontů v molekule. Tyto anionty jsou schopny vázat vápenaté kationty a poté je při ochlazování uvolňovat na rozdíl od polyfosforečnanů, které vážou vápenaté ionty pevněji a při ochlazování je tak snadno neuvolňují [12,28].

Soudržnost je síla vnitřních vazeb držících materiál (potravinu) vcelku [80], které musíme překonat, aby došlo k tak rozsáhlé deformaci materiálu, že dojde k jeho rozlomení [77].

Lepivost je úměrná síle, kterou je nutno vyvinout, aby se odtrhly dvě slepené plochy od sebe [81]. V konkrétním případě zkoušky lepivosti tavených sýrů se jedná o sílu potřebnou k překonání přitažlivých sil mezi povrchem sondy a povrchem sýra. Při zkouškách při velkých rozsazích deformace byly nejlepivější sýry s polyfosforečnanem následované sýry s difosforečnanem a pak s trifosforečnanem [63]. Lepivost lze zmírnit snížením obsahu tuku nebo přidáním 0,2-0,3% hydrokoloidů [82].

Zajímavým řešením analýzy taveného sýra s předpovězením některých jeho důležitých texturních vlastností (tavitelnost, tvrdost, pružnost, soudržnost) bylo použití infračervené spektroskopie v práci Fagana a kol [83]. Koeficient determinace se pohyboval u jednotlivých parametrů v rozsahu mezi 0,64-0,88, takže předpověď nebyla příliš přesná, ale má určitý informativní charakter pro hrubý odhad.

Ingredience obsažené v taveném sýru jsou chemicky složité, mají časově proměnlivé vlastnosti a vzájemně mezi sebou interagují. Je tedy pochopitelné, že proces vytvoření konečné struktury taveného sýru dosud nebyl na molekulární úrovni přesně prozkoumán. Předpokládá se, že se na něm podílí vodíkové můstky, hydrofobní interakce, vápenaté a disulfidické můstky a pravděpodobně i můstky mezi kaseinovými frakcemi tvořené pomocí samotných fosforečnanů [12,28].

### 3.6 Směsi fosforečnanových tavicích solí

S pomocí jednotlivých tavicích solí je velmi těžké dosáhnout optimálního efektu při výrobě tavených sýrů, proto se využívá směsí tavicích solí, což umožňuje zkombinovat a sladit požadované účinky a zmírnit ty nežádoucí. Tím se komplikují interakce na molekulární úrovni a rovněž jejich interpretace [4,9,12,28]. Složení směsí tavicích solí a předpovězení jejich vlivu na matrici taveného sýra se pak snadno stává chráněným tajemstvím firem vyrábějících, resp. prodávajících tavicí soli. Účinky směsí tavicích solí jsou určeny především těmi solemi, které jsou ve směsi v nadbytku [84].

Při zkoumání směsí difosforečnanu, trifosforečnanu a polyfosforečnanu sodného v konkrétních poměrech byla některými autory u směsí tavicích solí zkoumána tvrdost, pevnost, lepivost, pH, obsah veškerého a rozpustného dusíku, obsah popelovin, soudržnost, žvýkavost a byla provedena obrazová analýza pomocí světelné a transmisní elektronové mikroskopie [85,86].

Jeden z nejdůležitějších dějů, který je způsoben tavicími solemi, je iontová výměna vápníku a jednosytného kationtu (většinou sodíku) mezi tavicí solí a komplexem fosforečnanu vápenatého s kaseinovými zbytky. Odebráním Ca z komplexu se zvýší odpudivé síly mezi řetězci, řetězce se oddálí, dojde k jejich dispergaci a to umožní ještě rozsáhlejší iontovou výměnu [87]. V konkrétních směsích to bylo prokázáno např. turbidimetrickým měřením roztoku modelového proteinového koncentráту. Hydrogenfosforečnan sodný neovlivňoval micely do 0,5 % hm., při koncentraci nad 1,0 % hm. klesala turbidita a řetězce se dispergovaly. U polyfosforečnanu docházelo k rozsáhlejší iontové výměně a následně k dispergaci kaseinu už při 0,5 % hm. Polyfosforečnan se v tomto ohledu tedy ukázal jako účinnější [88].

Také zvýšení pH podporuje dispergaci proteinových řetězců, jak ukázalo např. měření indexu toku tavených sýrů při 45 °C vyrobených z Čedaru, kdy docházelo k nárůstu indexu toku při zvyšování pH z 5,3 na 5,6 [87]. Potvrdila se již zmíněná posloupnost afinit jednotlivých fosforečnanových solí [63,69,87].

Průběh procesu tavení sýra nekončí zmíněnou dispergací proteinových řetězců a emulgací tuků, ale pokračuje do fáze tvorby budoucí matrice taveného sýra, která začíná již při krémování a pokračuje přes fáze chlazení, balení a skladování až do okamžiku spotřeby. V této fázi dochází ke znovuvytvoření sítě proteinových řetězců, zapojování koloidního fosforečnanu vápenatého do sítě, a tím ke gelaci [28].

V konkrétních směsích proměnlivých poměrů polyfosforečnanů, difosforečnanů, trifosforečnanů, hydrogenfosforečnanů a monofosforečnanů se projevil vliv znovuvytvoření sítě na texturní vlastnosti tavených sýrů.

Při zvětšujícím se poměru polyfosforečnanu k difosforečnanu a trifosforečnanu v ternární směsi klesalo pH [85] taveného sýra, narůstala jeho tvrdost a lepivost, naopak klesala pružnost [86,89]. V binární směsi polyfosforečnanu a difosforečnanu nebo polyfosforečnanu a monofosforečnanu narůstala pevnost taveného sýra při zvyšování obsahu polyfosforečnanu až do poměru 1:1, při dalším zvyšování zastoupení polyfosforečnanu pevnost klesala [69].

Použití hydrogenfosforečnanu sodného ve směsích způsobovalo snížení tvrdosti produktu a při použití 2% hm. hydrogenfosforečnanu v netučných tavených sýrech docházelo dokonce k vysrážení krystalů, které by mohly zhoršit sensorické vlastnosti produktu [90].

Vlastnosti tavených sýrů jsou tavicími solemi ovlivňovány jak nepřímo – skrze změnu pH, tak i přímo samotnou strukturou tavicí soli. Na většině dějů se podílejí oba způsoby ovlivňování taveného sýra. Příkladem převážně druhého typu ovlivnění taveného sýra může být například horší tavitelnost oproti předpokladům u výrobků s polyfosforečnany. K tužšímu gelu a horší tavitelnosti přispívá schopnost polyfosforečnanových jednotek síťovat mezi sebou, což se děje zejména při vyšším pH (blízko pH 6,0) [87].

Vliv tavicích solí a jejich směsí je zkoumán již několik desetiletí a stále se vynořují nové otázky vyžadující odpovědi. Mnohé z otázek se dají teoreticky zodpovědět, avšak jejich správnost se musí ověřit a zpřesnit empiricky.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍLE PRÁCE

### Teoretická část

1. Charakterizujte výrobovou skupinu tavených sýrů a technologii jejich výroby.
2. Stručně pojednejte o vlivech působících na konzistenci tavených sýrů.
3. Popište funkci fosforečnanových tavicích solí v matrici tavených sýrů.

### Praktická část

1. Vytvořte modelové tavené sýry s různým zastoupením monofosforečnanů, difosforečnanů a polyfosforečnanů v tavicích solích.
2. Modelové vzorky skladujte 30 dnů.
3. V průběhu skladování sledujte vybrané texturní parametry modelových vzorků.
4. Výsledky vyhodnoťte a formulujte závěry.

## 5 MATERIÁL A METODY

### 5.1 Popis experimentu

Byly vyrobeny modelové tavené sýry s různým zastoupením monofosforečnanu, difosforečnanu a polyfosforečnanu ve směsi tavicích solí. Základem surovinové směsi k tavení byly Eidamské cihly o 3 stupních zralosti – 2 týdny, 4 týdny a 8 týdnů. Po utavení a zabalení byly tavené sýry 30 dní skladovány. V průběhu skladování byl sledován vliv poměrného zastoupení fosforečnanů, stupně zralosti a doby skladování na pH a vybrané texturní vlastnosti, kterými byly tvrdost, soudržnost a relativní lepivost.

### 5.2 Příprava modelových vzorků tavených sýrů

Modelové vzorky tavených sýrů s obsahem 40 % hm. sušiny a 50 % hm. tuku v sušině byly připraveny z Eidamské cihly (30 % hm tuku v sušině, másla (82 % hm. tuku), pitné vody a tavicích solí (Fosfa, a.s., Břeclav). Ternární směsi tavicích solí byly připraveny z následujících sloučenin:

DSP - hydrogenufosforečnan sodný dihydrát ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

TSPP - difosforečnan sodný ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ )

POLY - polyfosforečnan sodný ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>n</sub>

Eidamská cihla byla nakrájena na kostičky a vložena do tavicího zařízení (Vormerk Thermomix TM31). Po té byly vloženy zbývající suroviny. Při dosažení teploty 90 °C pokračovalo tavení ještě 1 minutu a pak byla homogenní hmota dávkována do 48 mm vysokých polypropylenových kelímků o průměru 55 mm. Kelímky byly zažehleny hliníkovým víčkem. Po dvouhodinovém ochlazování na chladírenskou teplotu byly kelímky uskladněny v chladírenských podmínkách při teplotě  $6 \pm 2$  °C. Celkem bylo provedeno 396 taveb (2krát opakovaných 66 poměrů tavicích solí při 3 stupních zralosti přírodního sýra). Použitý Eidam zrál 2 týdny (2T), 4 týdny (4T) a 8 týdnů (8T). Měření chemických a texturních vlastností probíhala po 2, 9 a 30 dnech skladování.

### 5.3 Stanovení chemických vlastností

#### 5.3.1 Stanovení sušiny

Po 30 dnech skladování při teplotě 6 °C byl podle normy ČSN EN ISO 5534 změřen obsah sušiny ve vzorcích tavených sýrů. U každého vzorku se postupovalo následovně.

Hliníková miska s víčkem byla vysušena, na analytických vahách do ní bylo odváženo 15-20 g vysušeného křemenného písku, poté byla miska zvážena. Do misky byly naváženy 3g vzorku taveného sýra, který byl poté promíchán tyčinkou s křemenným pískem. Miska byla znovu zvážena, vložena do sušárny vyhřáté na 105 °C a vzorek byl sušen až do konstantních úbytků hmotnosti.

Procentuální obsah sušiny se pak vypočítá z následující rovnice:

$$S = \frac{m_0 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad (1)$$

kde S....obsah sušiny [%]  
m<sub>0</sub>.....hmotnost vysušené hliníkové misky s pískem a vzorkem po sušení [g]  
m<sub>1</sub>.....hmotnost vysušené hliníkové misky s pískem [g]  
m<sub>2</sub>.....hmotnost vysušené hliníkové misky s pískem a vzorkem před sušením [g]

#### 5.3.2 Stanovení pH

U každého vyrobeného vzorku taveného sýra bylo 2x měřeno pH za použití vpichového pH-metru pH Spear, Eutech Instruments.

### 5.4 Texturní profilová analýza

Měření bylo provedeno na přístroji TA-XT plus (Stable Micro Systems, Ltd.) 2x u každé z 396 taveb při následujících parametrech: penetrační hloubka 10 mm, rychlost průniku sondy 2 mm/s, válcová sonda o průměru 20 mm.

V průběhu pracovního cyklu měřicího přístroje byla sledována tvrdost, která je ve výstupních datech vyjádřena jako maximální síla potřebná k penetraci sondy do vzorku v průběhu prvního cyklu, soudržnost jako poměr ploch A2/A1 pod silovou křivkou (Obr. 6) a relativní lepivost jako poměr ploch A3/A1 (Obr. 6). Definice tvrdosti, soudržnosti a relativní lepivosti je uvedena v kapitole 3.5.1.



## 6 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 6.1 Stanovení obsahu sušiny a hodnot pH

Gravimetrickou metodou byl změřen procentuální obsah sušiny ve vzorcích tavených sýrů. Výsledné hodnoty sušiny všech tavených sýrů byly v rozmezí 40,07 – 42,98 % (w/w).

Výsledky měření pH uvádí Obr. 7-12. Při sledování vlivu složení směsi tavicích solí na pH lze vidět, že s narůstajícím množstvím polyfosforečnanu (POLY) a tím klesajícím množstvím hydrogenfosforečnanu (DSP) a difosforečnanu (TSPP) klesá pH, což potvrzuje dřívější studie jiných autorů [63,69,86]. Pokud sledujeme pouze vzorky se stejným obsahem POLY, tak při poklesu obsahu DSP a zvyšování obsahu TSPP roste pH. Oba efekty jsou logicky vysvětlitelné, protože hodnota pH se při nich odvíjí od pH převažující sloučeniny ve směsi. Z trojice má nejvyšší pH TSPP a nejnižší pH POLY (Tab. 2). Zajímavé je, že ale i trend nárůstu pH s rostoucím zastoupením TSPP má své nepravidelnosti, což ukazuje na možné složitější interakce při proměnném poměru fosforečnanů v jejich směsi.

Protože jako optimální pH pro tavené sýry je považováno přibližně rozmezí 5,5-6,0 [28], v následujícím vyhodnocení se zaměříme na taková složení směsí tavicích solí, při kterých měly vzorky pH z intervalu 5,5-6,1. Poměr tavicích solí bude uváděn ve tvaru DSP:TSPP:POLY.

U sady 2T (2 týdny zralosti Eidamu) do tohoto intervalu spadaly vzorky s poměry tavicích solí 30:10:60, 20:0:80, 0:20:80. U sady 4T tomuto kritériu vyhovují vzorky s poměry 50:0:50, 40:10:50, 0:50:50 až 10:20:70, 20:0:80 až 0:20:80 a u sady 8T to byly vzorky s poměry 60:10:40, 50:0:50, 40:10:50, 20:30:50, 0:50:50 až 10:30:60.

Trend vývoje hodnot pH v závislosti na době zrání výchozí suroviny (Eidamské cihly) nebyl zcela jednoznačný, jak je patrné z Obr. 7-12. To lze vysvětlit zejména pufrací schopností některých tavicích solí [28,47]. Na základě literárních údajů [21] se pH přírodních sýrů s dobou prozrálости mírně zvyšuje.

Souhrnně do intervalu pH 5,5-6,1 spadaly u všech zralostí a všech dob skladování pouze vzorky tavených sýrů, které obsahovaly poměry solí: 30:10:60, 20:0:80, 10:10:80, 0:20:80 (Obr. 7). Větší možnosti poskytuje použití Eidamu, který zrál 4 týdny, protože u něj se z hlediska pH ukázalo vhodných 6 poměrů tavicích solí:

30:10:60, 10:30:60, 30:0:70, 10:20:70, 10:10:80, 0:20:80.

Při posuzování vlivu zralosti Eidamské cihly po 2 dnech skladování můžeme vidět, že při 0 % POLY ve směsi dochází z 2 týdnů zrání na 4 týdny zrání většinou k nárůstu pH a pak směrem k 8 týdennímu zrání zase k poklesu pH. Stejným trendem se řídí i sýry s 10 % POLY ve směsi, při 20-30 % POLY ve směsi se nedá mluvit o jednoznačném trendu a od 40 % POLY ve směsi pH tavených sýrů při zrání většinou klesá.

U většiny vzorků skladovaných 4 dny dochází k poklesu pH v celém rozsahu poměrů POLY. U většiny vzorků skladovaných 8 dní dochází z 2 týdnů zrání na 4 týdny zrání většinou k nárůstu pH a pak směrem k 8 týdennímu zrání zase k poklesu pH.

Z vyhodnocení vlivu složení směsi tavicích solí na pH u jednotlivých zralostí tedy plyne, že rostoucí doba zrání použité Eidamské cihly způsobila většinou pokles pH tavených sýrů, což sice koresponduje s vývojem pH sýra (přírodního a následně i taveného) ve studii Brickley [23], který se ale zabýval tavenými sýry vyrobenými z Čedaru. Na druhou stranu tento fakt ale nesouhlasí s obecně přijímanou myšlenkou, že v průběhu zrání pH mírně roste vlivem volných bazických aminokyselin a sekundárních produktů proteolýzy jako jsou například amoniak a močovina [21]. Svou roli ve zjištěných anomáliích hraje jistě již zmíněná pufrací schopnost některých tavicích solí [28,47], ale také možná i vliv rozdílného pH na povrchu a uvnitř zrajícího přírodního sýra [21], v našem případě Eidamské cihly.

Při 0 % POLY dochází 30 denním skladováním u vzorků vyrobených z 2 týdnů (2T) zrající Eidamské cihly většinou k nárůstu pH, u vzorků 4T k poklesu pH po poměr 30:70:0 a pak k nárůstu, u vzorků 8T není jednoznačný trend až do vzorků 40:60:0 a pak dochází k poklesu pH.

Při 10 % POLY dochází u 2T k nárůstu pH, u 4T až na 4 výjimky k poklesu, u 8T až na 2 výjimky k nárůstu pH po 9 dnech skladování a pak při pokračujícím skladování až do 30 dnů k poklesu pH.

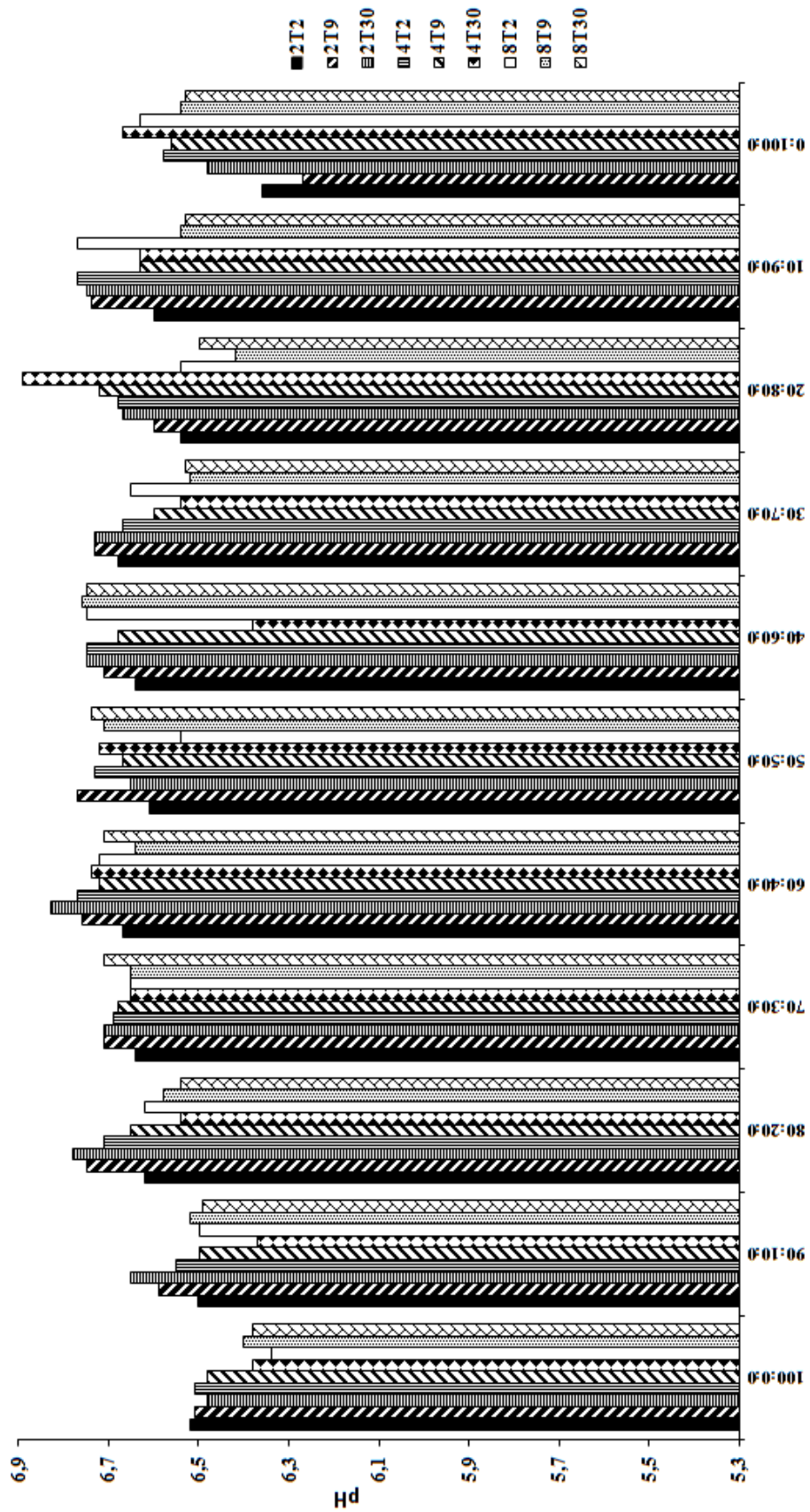
Při 20 % POLY a 2 týdnech zrání dochází až na výjimku o složení 20:60:20 k rostoucímu trendu pH, u některých vzorků je pH ale po 9 dnech skladování vyšší než po 30 dnech. U vzorků 4T a 8T se nedá hovořit o rostoucím nebo klesajícím trendu.

Při 30 % POLY není u vzorků 2T a 4T viditelný žádný trend pH a u vzorků 8T dochází k jeho poklesu.

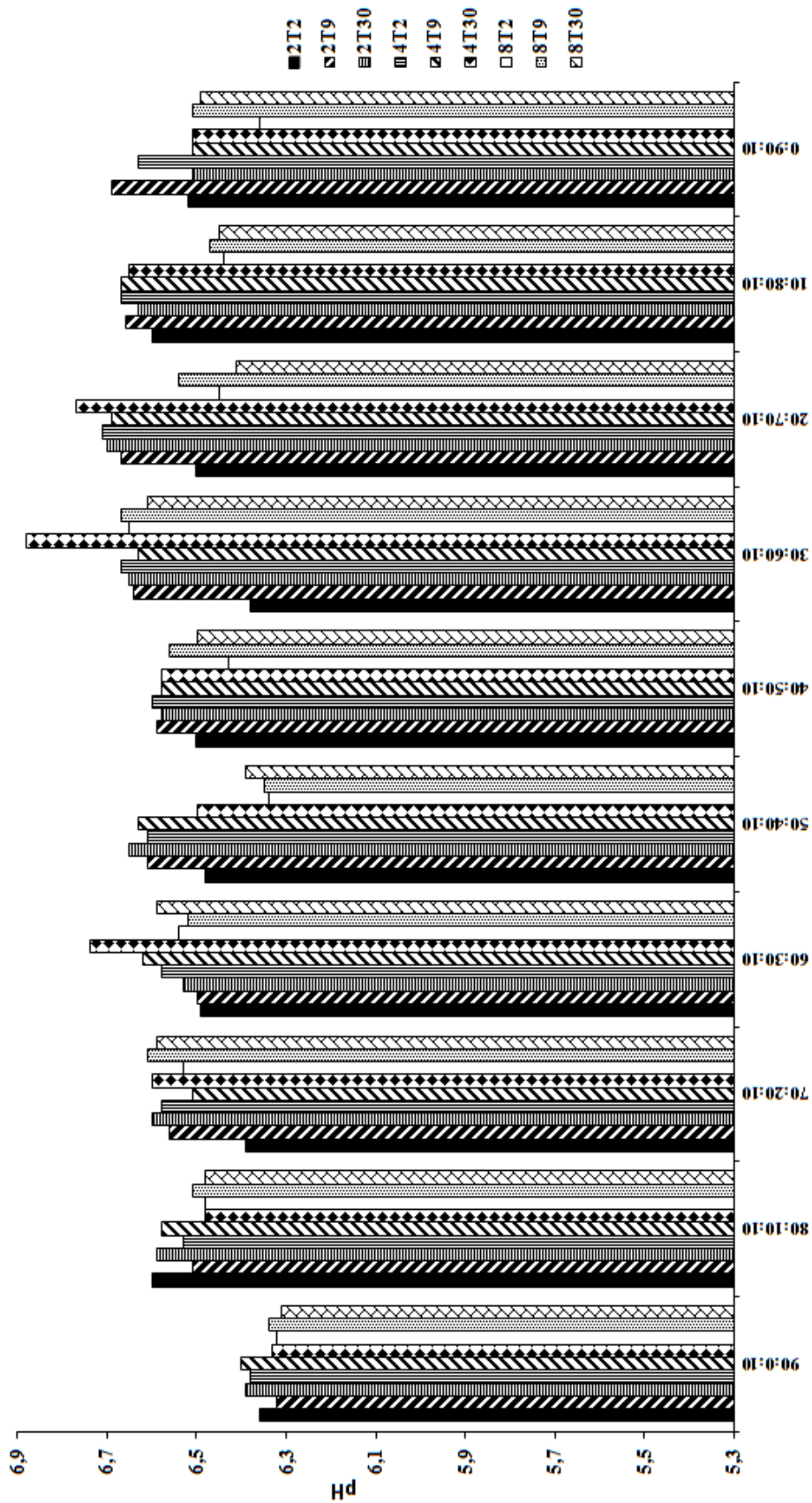
Při 40-50 % POLY a zralosti 2T dochází většinou k poklesu pH, u 4T k jeho nárůstu až do poměrů solí 0:60:40, pak k poklesům pH s několika výjimkami (20:30:50 a 10:40:50). U zralosti 8T se 4 vzorky vymykaly klesajícímu trendu.

Při 60-100 % POLY má až na několik výjimek sada 2T klesající trend pH, někdy k tomuto poklesu ale dojde po předchozím nárůstu pH po 9 dnech skladování. U vzorků 4T dochází až do poměrů 10:20:70 k poklesu pH, pak k jeho nárůstům. Sada 8T má nepravidelné chování pH.

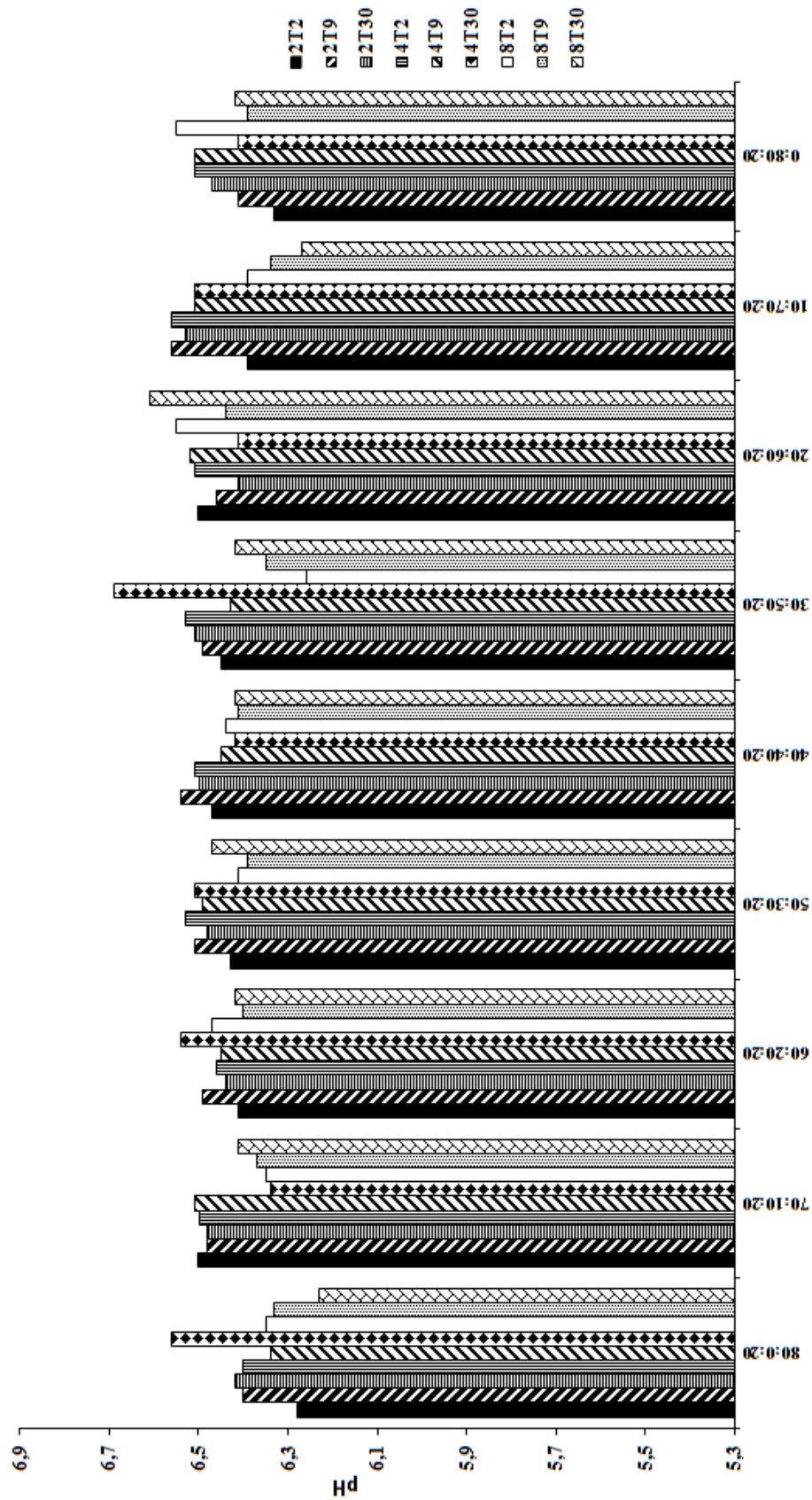
Pokud tedy vybereme vzorky se srovnatelným složením směsi tavicích solí a stejnou dobou zrání Eidamu, tak prodlužující se doba skladování většinou způsobuje mírný pokles pH, což je v souladu s literaturou [86].



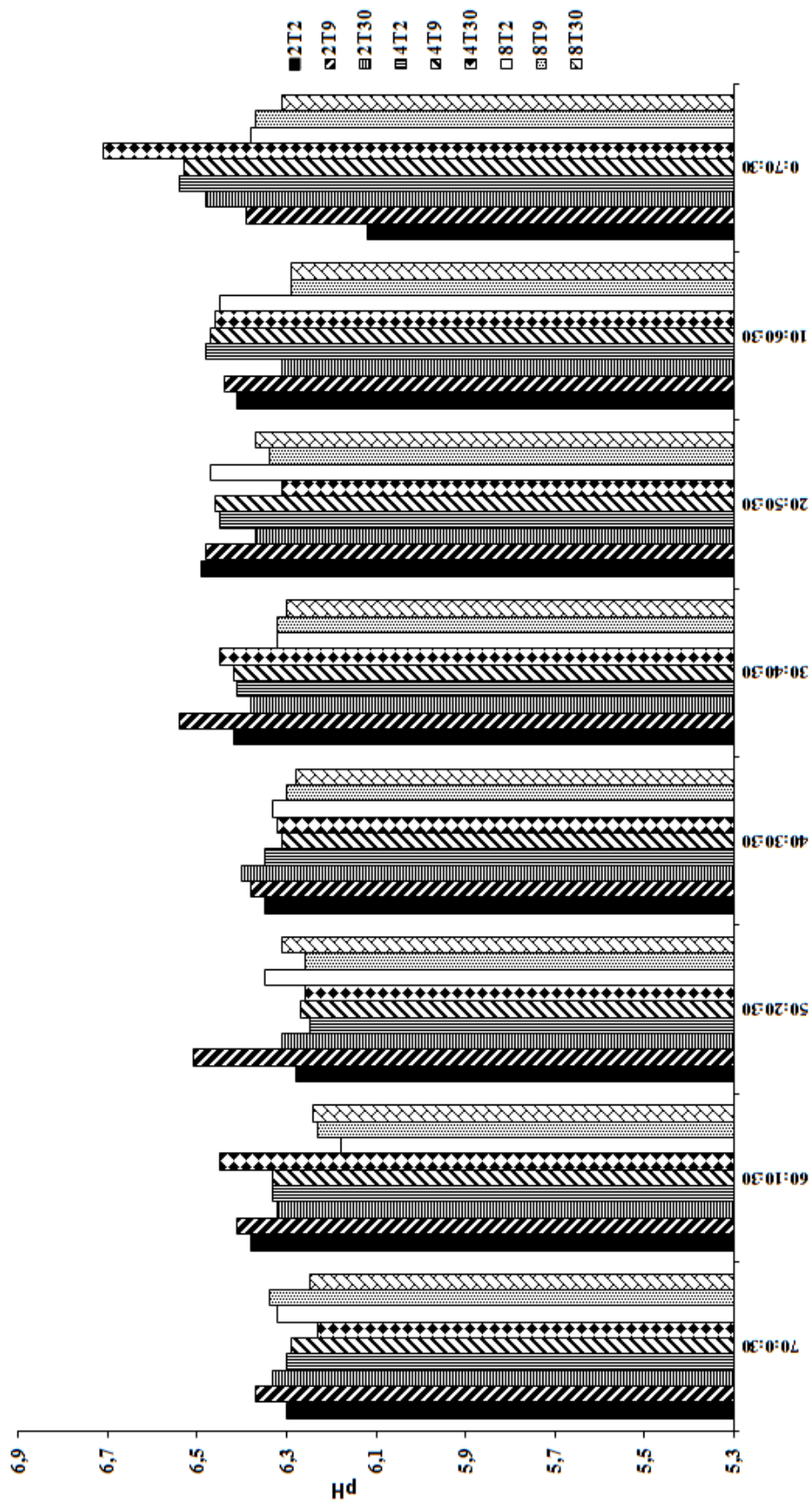
Poměr DPH  
Obr. 7 - pH taveného sýra s obsahem 0% polyfosforečnanu



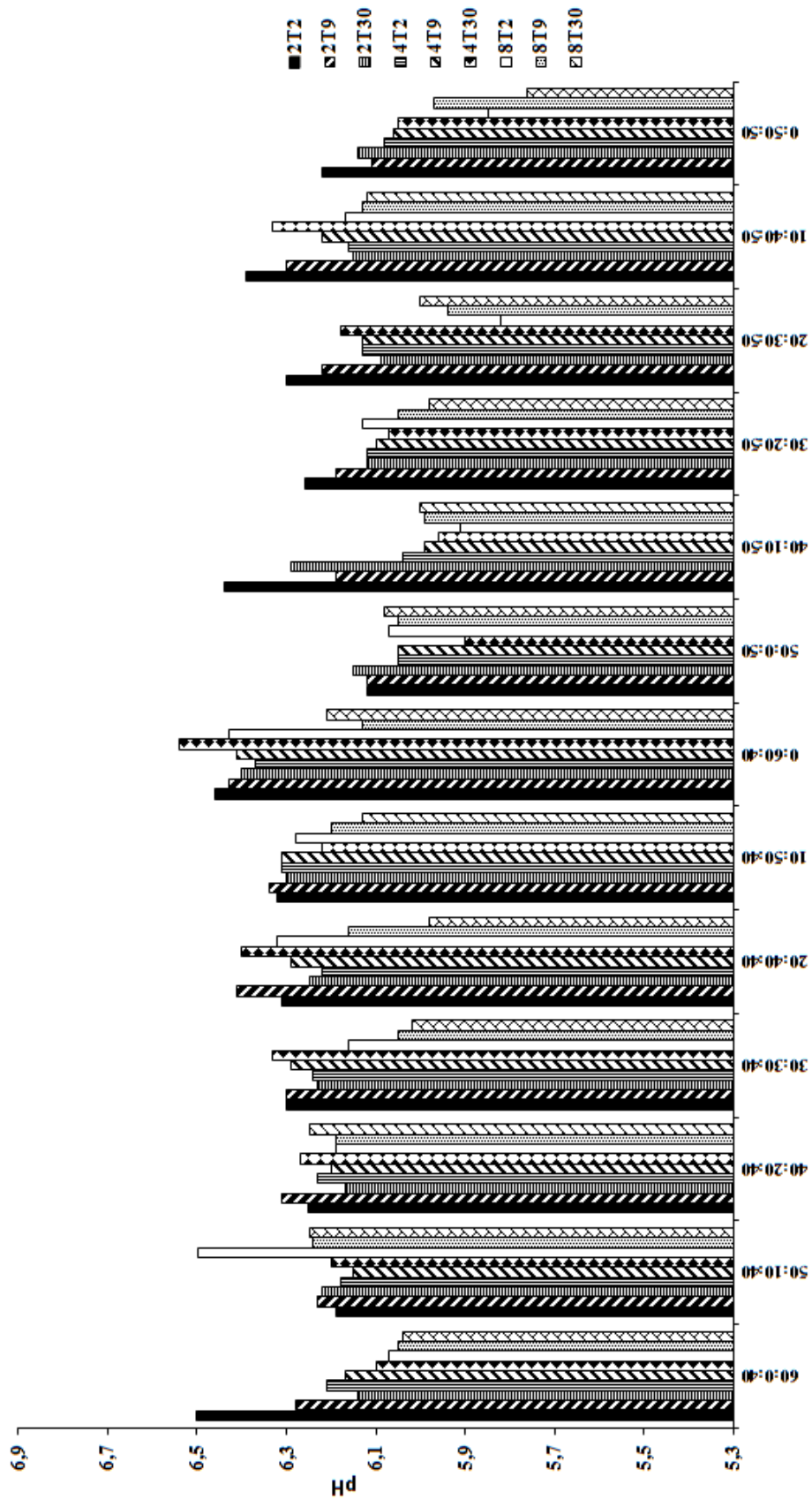
Poměr DPH  
Obr. 8 - pH taveného sýra s obsahem 10% polyfosforečnanu



Poměr DPH  
Obr. 9 - pH taveného sýra s obsahem 20% polyfosforečnanu

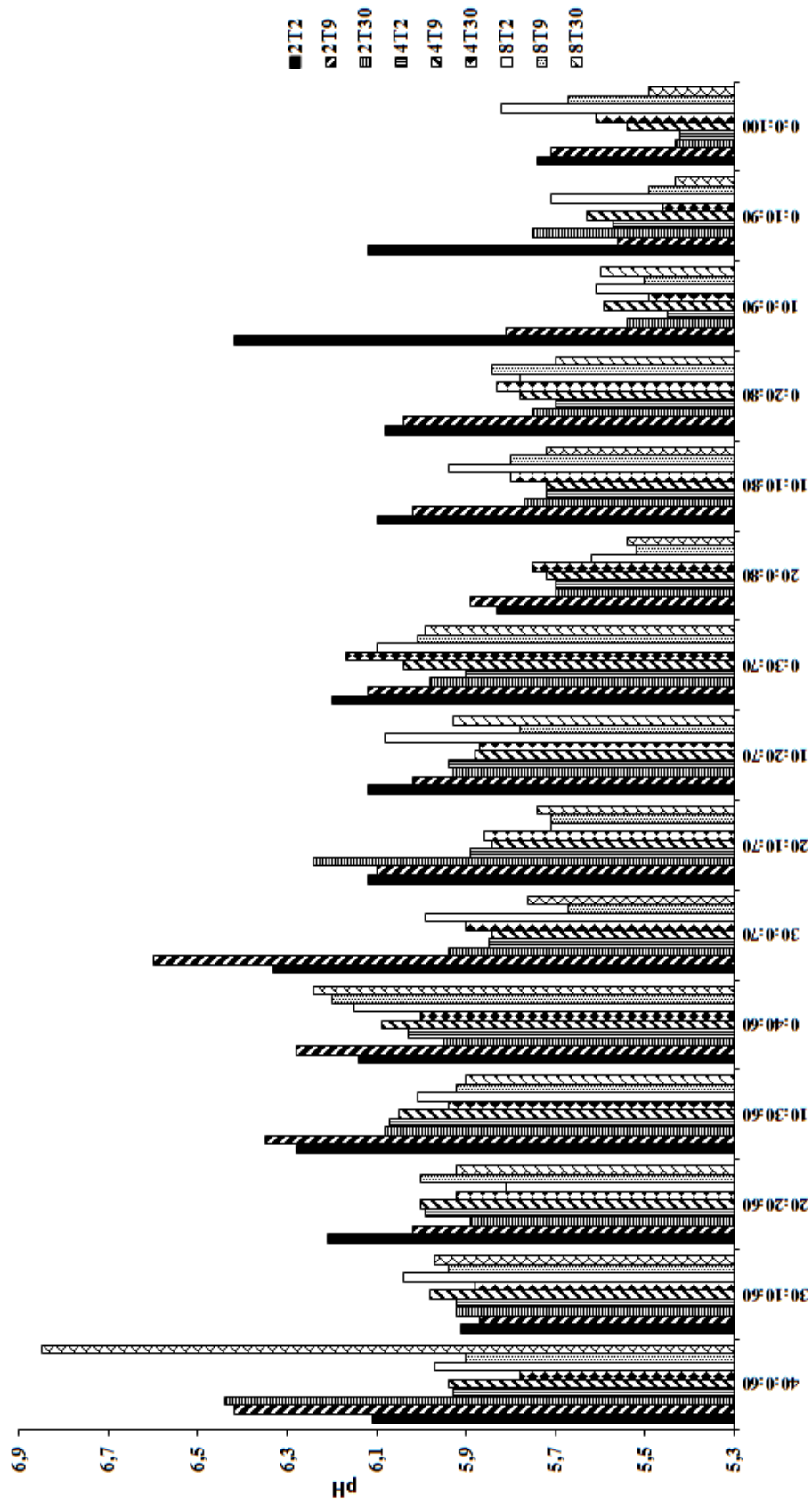


Poměr DPH  
Obr. 10 - pH taveného sýra s obsahem 30% polyfosforečnanu



Poměr DPH  
Obr. 11 – pH taveného sýra s obsahem 40-50% polyfosforečnanu





Obr. 12 - pH taveného sýra s obsahem 60-100% polyfosforečnanu

## 6.2 Tvrdost

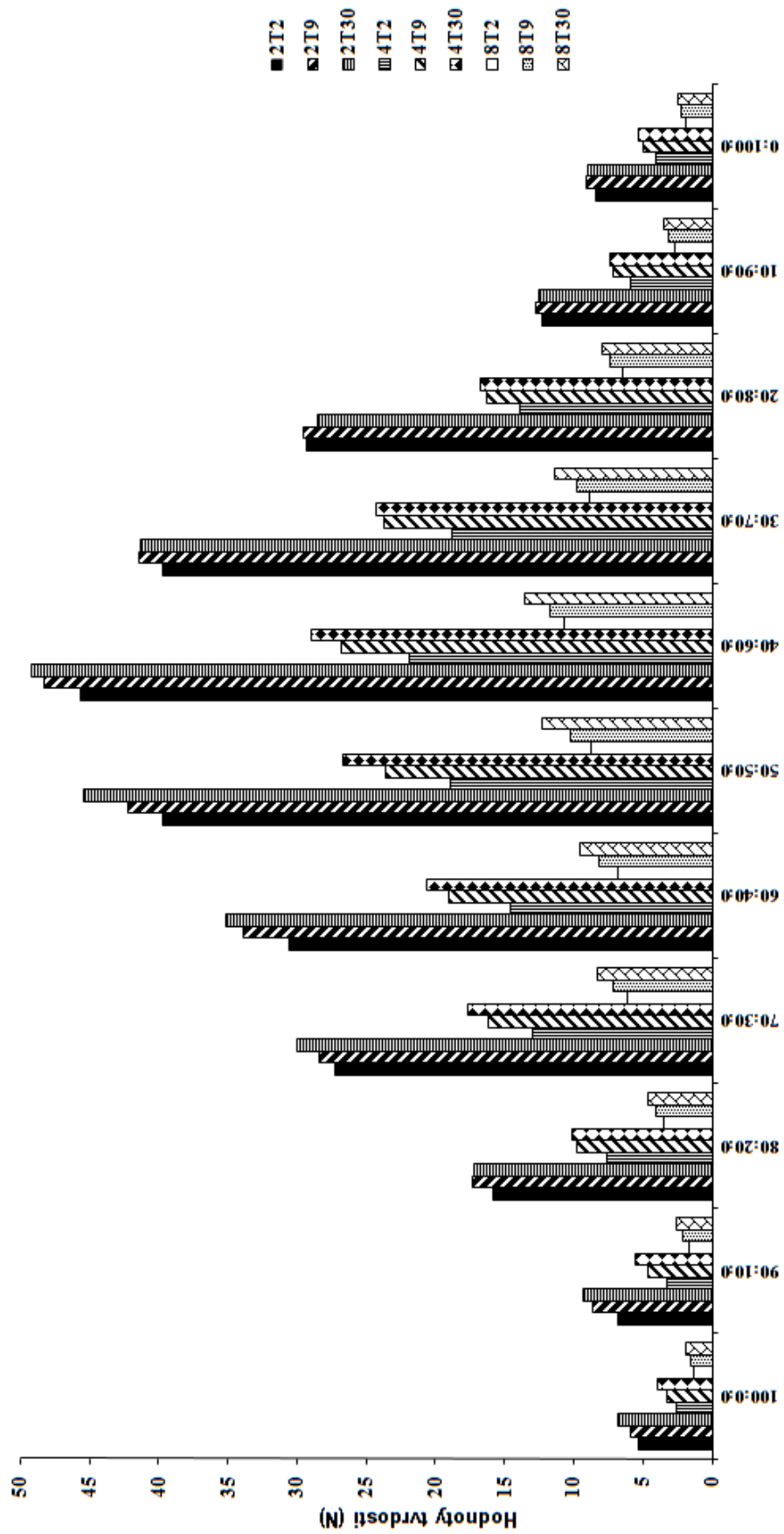
Výsledky měření tvrdosti jsou uvedeny na Obr. 13-18.

Nejprve se zaměříme na vliv poměrů tavicích solí na tvrdost u vzorků se stejnou dobou skladování i stejným stupněm zralosti Eidamu. Nejvyšší, ale i nejnižší tvrdosti dosahují vzorky bez polyfosforečnanu (POLY). Přitom při vyrovnaném poměru hydrogenfosforečnanu sodného (DSP) a jeho mírného přebytku proti difosforečnanu (TSPP) byly získány vzorky s největší tvrdostí (Obr. 13) konkrétně 49,2 N u vzorku 2T30 40:60:0. Nejmenší tvrdosti ve vzorcích, kde byl přítomen pouze DSP, konkrétně 1,2 N u vzorku 8T2 100:0:0, což souhlasí s literaturou [63,72].

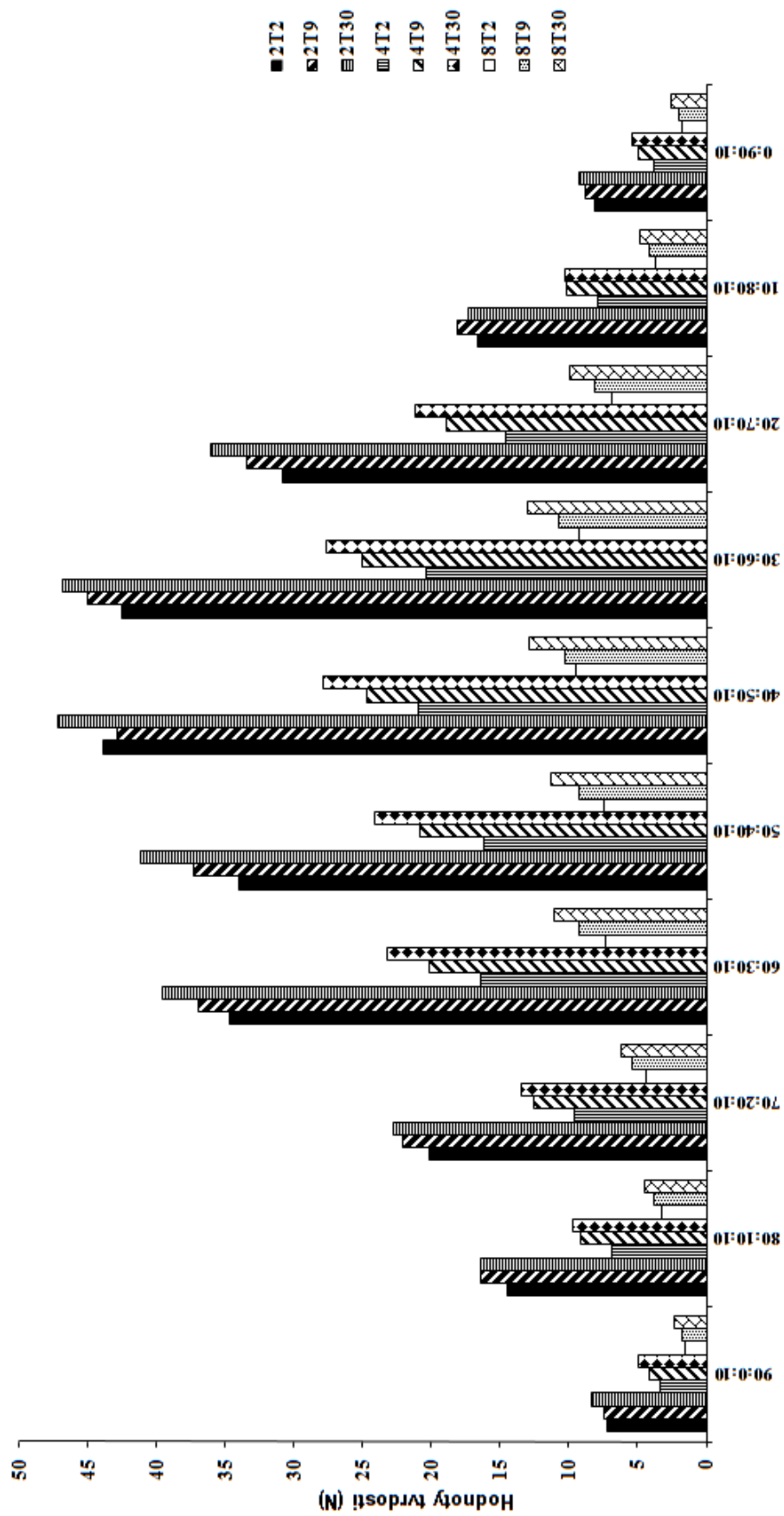
Při pohledu na vzorky, kde se obsah DSP a TSPP pohyboval v rozmezí 1:1-3:4 vidíme, že s rostoucím zastoupením POLY tvrdost prudce klesá (Obr. 13-18). Pokud byl obsah POLY 50 % a více, způsobovaly změny v zastoupení DSP a TSPP jen minimální rozdíly v tvrdosti.

Pro posouzení vlivu zrání Eidamu na tvrdost zvolíme vzorky se stejným složením směsi tavicích solí a stejnou dobou skladování tavených sýrů. Se zvyšující se dobou zrání klesá tvrdost. Tento pokles tvrdosti způsobený proteolýzou základní suroviny [21].

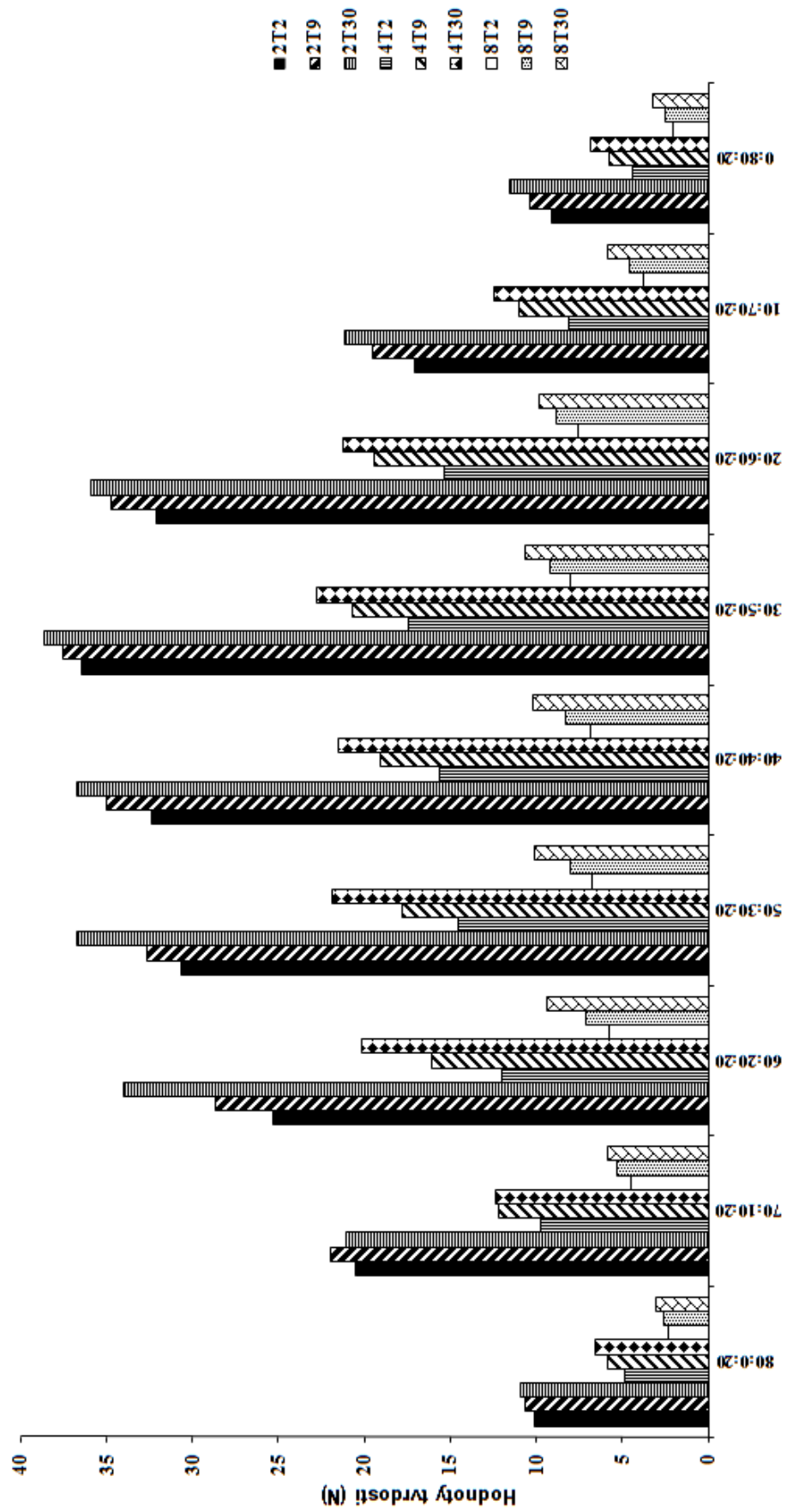
Při pohledu na vzorky tavených sýrů s konstantní dobou zrání Eidamu a konstantním složením směsi tavicích solí můžeme posoudit vliv skladování na jejich tvrdost. Z grafických znázornění (Obr. 13-18) získaných dat je zřetelné, že v průběhu skladování mírně roste tvrdost. Tento trend je stejný u všech příslušných řad vzorků. Tento nárůst tvrdosti způsobený rostoucí dobou skladování hotových vzorků, ve kterých dochází při skladování k částečné hydrolýze tavicích solí [87] a opětovnému vytváření proteinové sítě [28] má ale menší vliv, než pokles tvrdosti vlivem zrání základní suroviny.



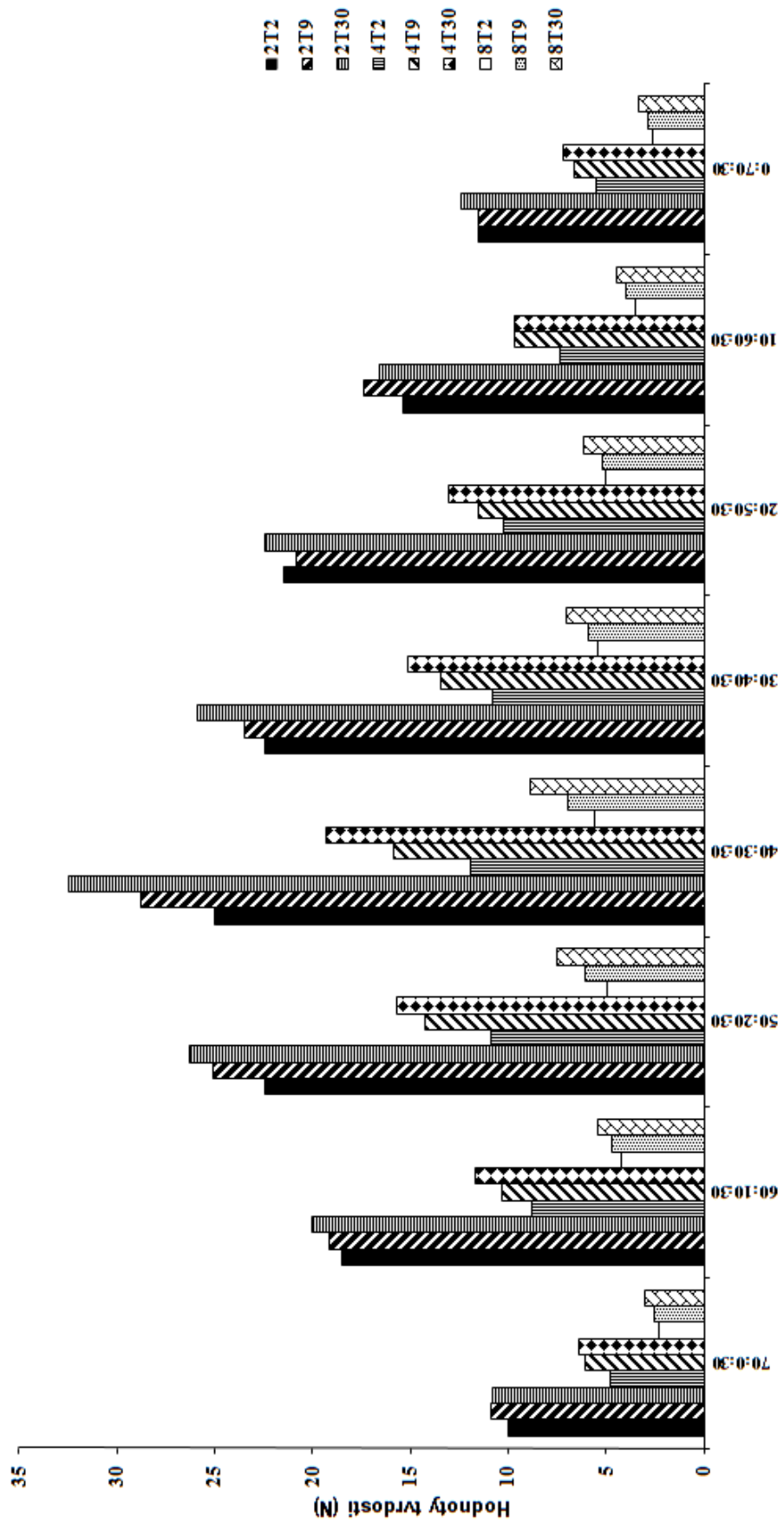
Obr. 13 - Tvrdost taveného sýra s obsahem 0% polyfosforečnanu



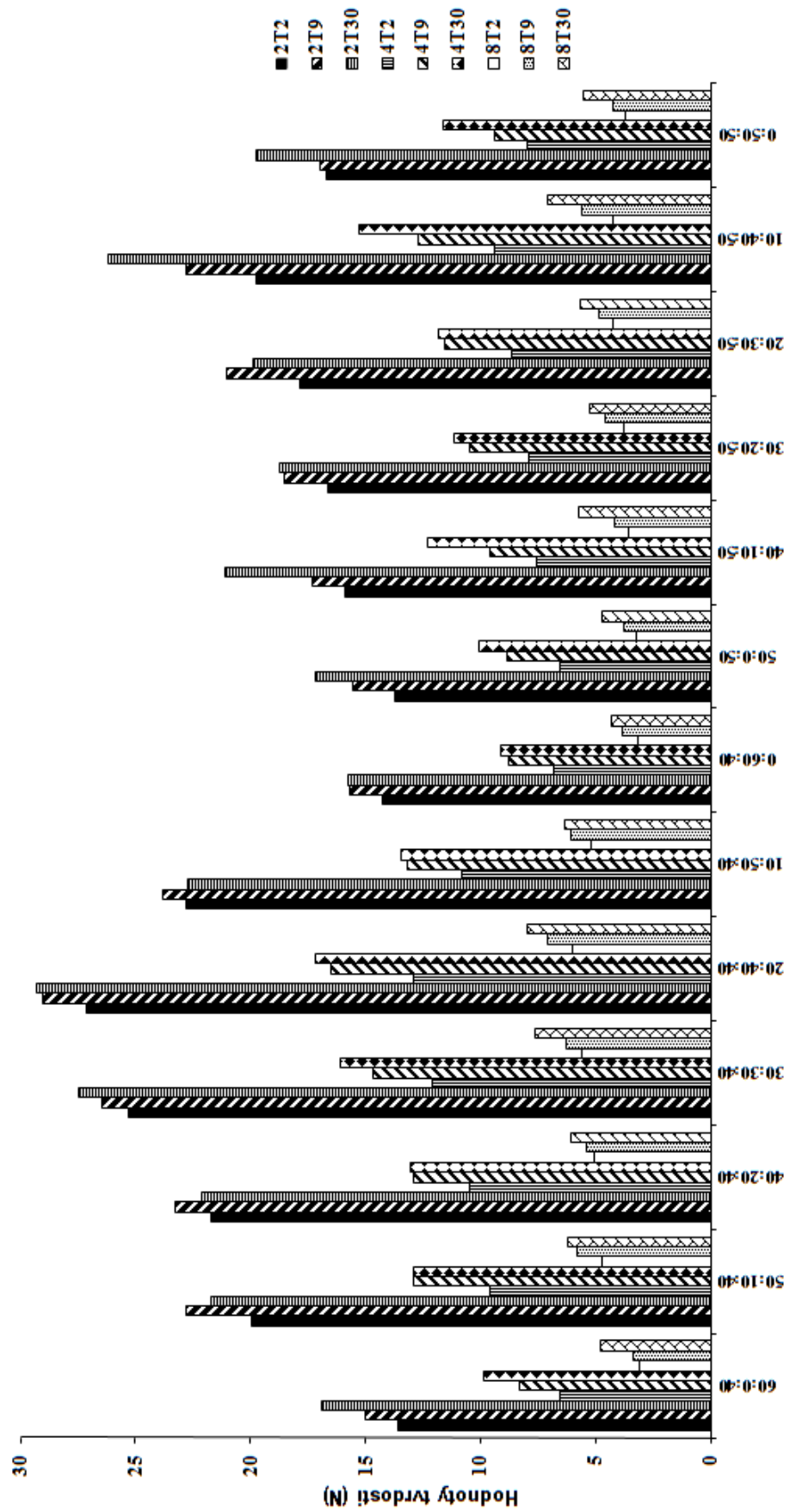
Poměr DPH  
Obr. 14 - Tvrdost taveného sýra s obsahem 10% polyfosforečnanu



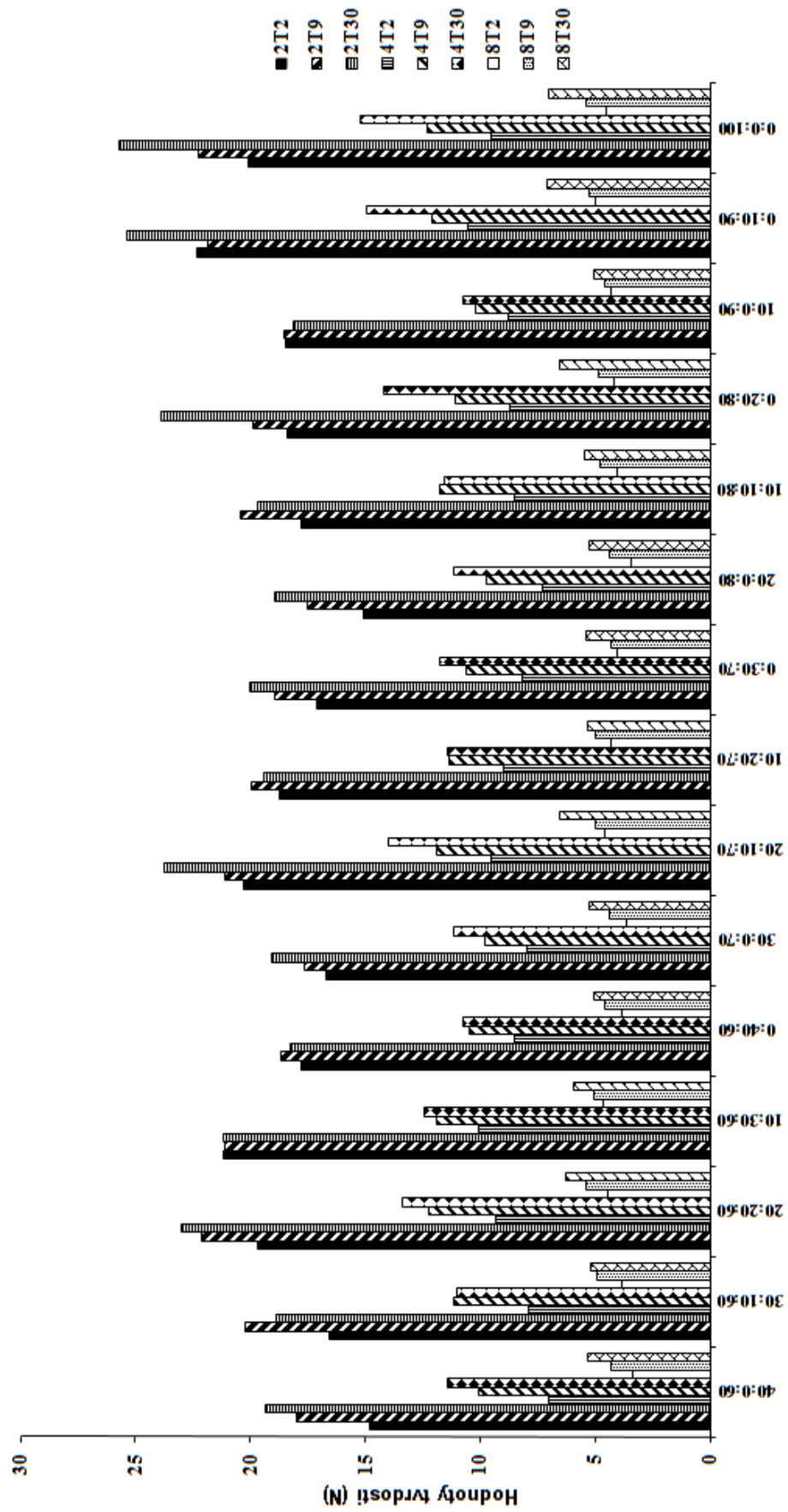
Obr. 15 - Tvrdost taveného syra s obsahem 20% polyfosforečnanu  
Poměr DPH



Obr. 16 - Tvrdost taveného syra s obsahem 30% polyfosforečnanu



Obr. 17 - Tvrdost taveného sýra s obsahem 40-50% polyfosforečnanu



Poměr DPH  
Obr. 18 - Tvrdost taveného syra s obsahem 60-100% polyfosforečnanu



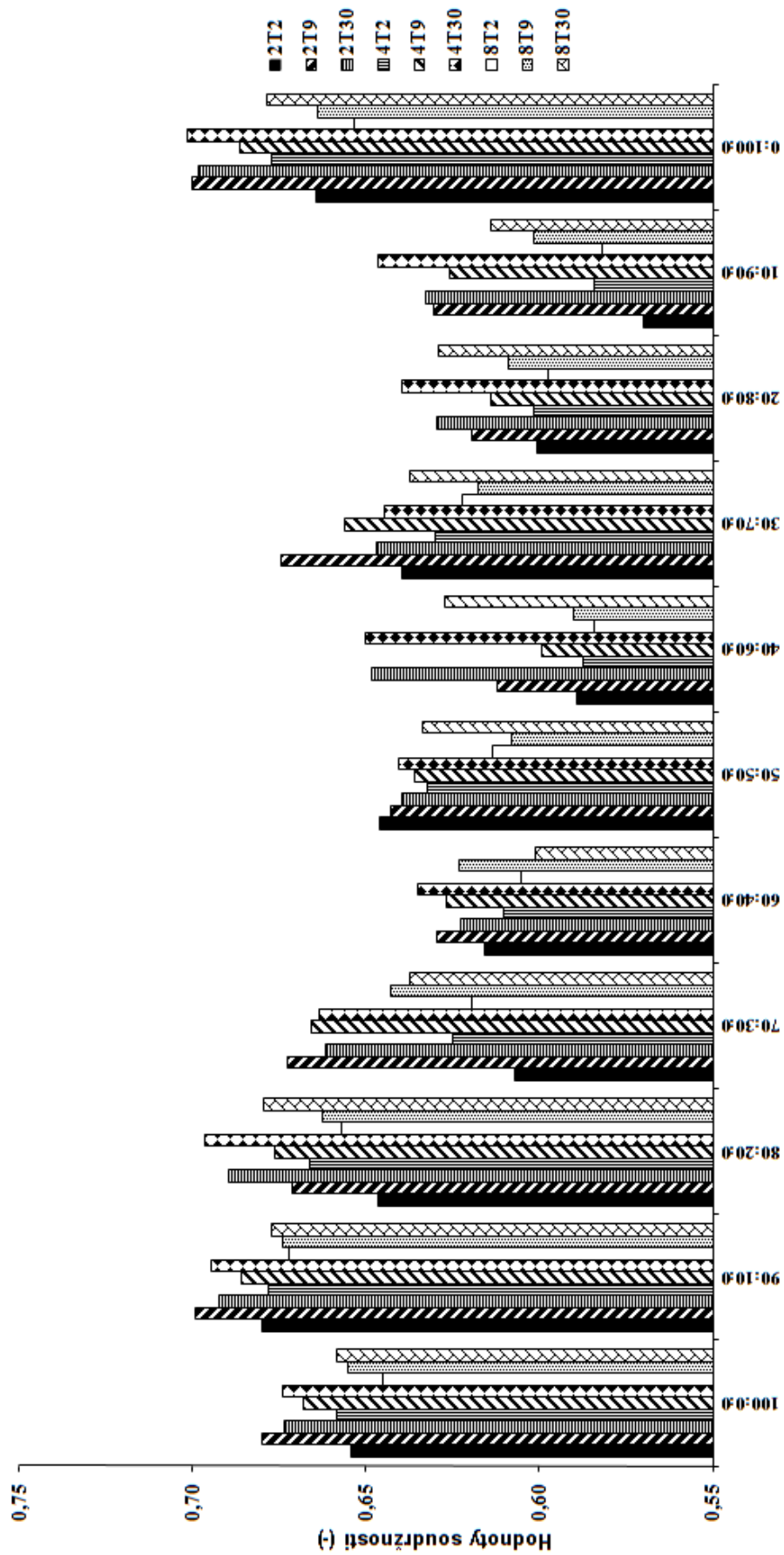
### 6.3 Soudržnost

Výsledky měření soudržnosti uvádí Obr. 19-24. Při pohledu na trend soudržnosti při konstantním obsahu polyfosforečnanu můžeme vidět, že s rostoucím zastoupením POLY se minimální hodnoty soudržnosti posouvají (Obr. 19-24) od poměru DSP:TSP 1:2 při 10 % POLY (Obr. 20) po poměr 1:1 při 50 % POLY (Obr. 23).

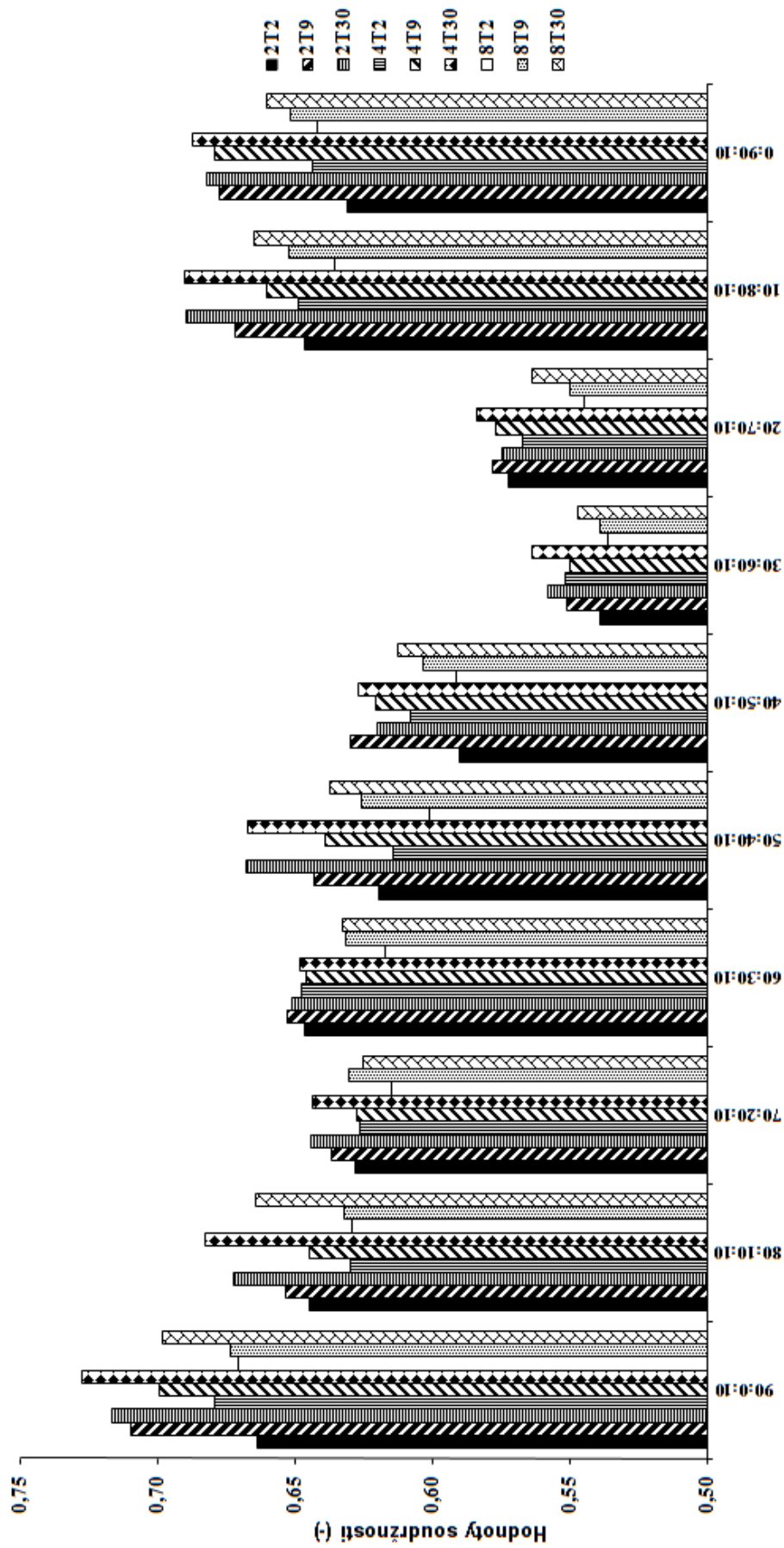
Při srovnatelných poměrech DSP a TSP soudržnost klesá s vyšším zastoupením POLY. Nedá se to však říci o celém rozsahu zastoupení POLY ve vzorcích tavených sýrů. Pokud je obsah POLY 10 a 20 %, vymykají se vzorky tomuto trendu, při použití 10 % POLY ve směsi byla zjištěna nejnižší soudržnost, konkrétně u vzorků s poměry DSP:TSP:POLY = 30:60:10, kde byly minimální rozdíly mezi vzorky s různými dobami zrání Eidamu a různými dobami skladování taveného sýra (Obr. 20).

Vliv zrání Eidamu a skladování výrobků má na soudržnost obdobný vliv jako na tvrdost. V průběhu skladování soudržnost mírně roste, průběhu zrání Eidamu mírně klesá (Obr. 19-24).

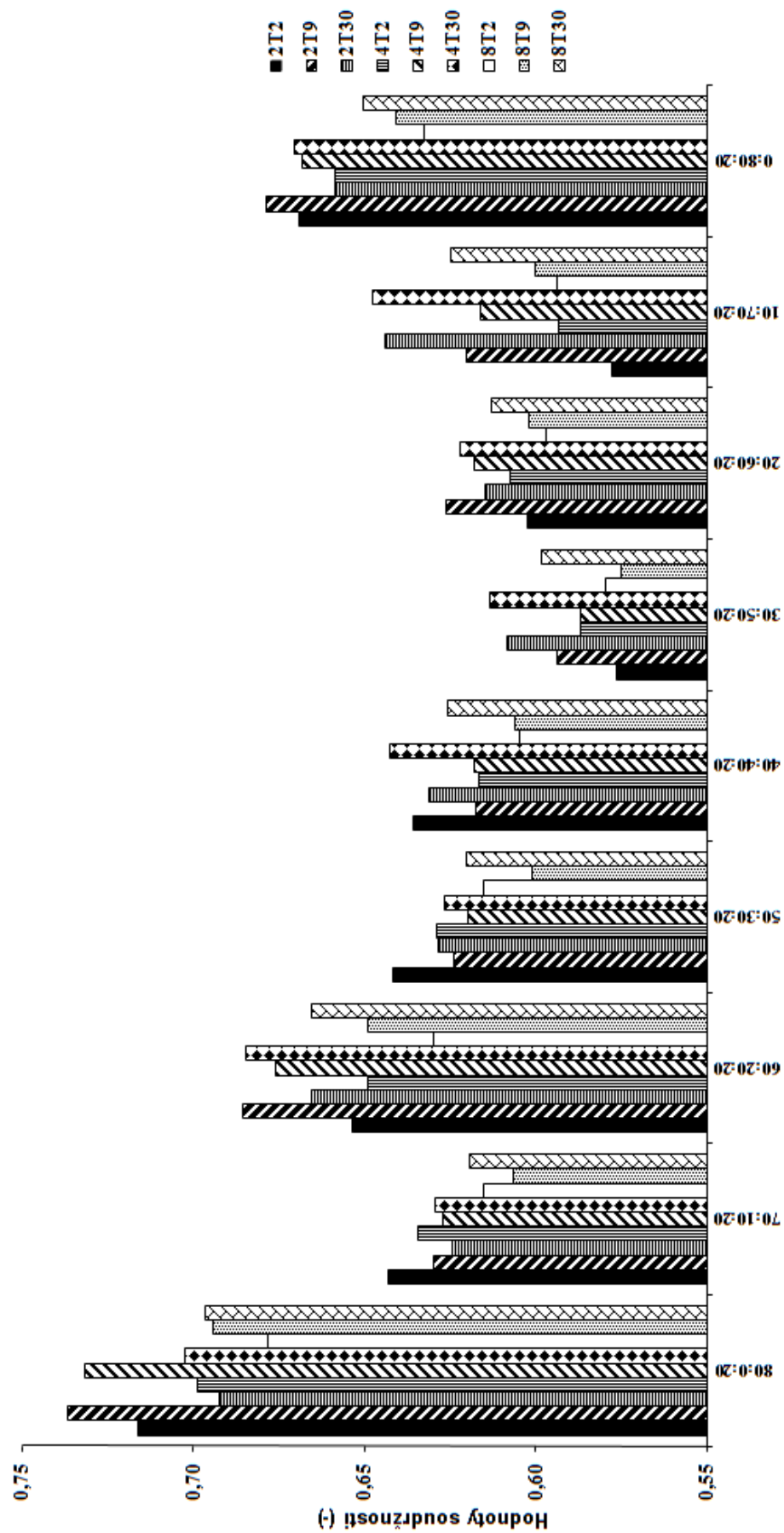
Poklesy soudržnosti s rostoucí zralostí Eidamu jsou stejně jako u tvrdosti způsobeny proteolýzou a rozpadem proteinové sítě přírodního sýra, nárůsty tvrdosti při skladování hotového sýra naopak částečnou hydrolýzou tavicích solí [87] a opětovným znovuvytvořením sítě [28].



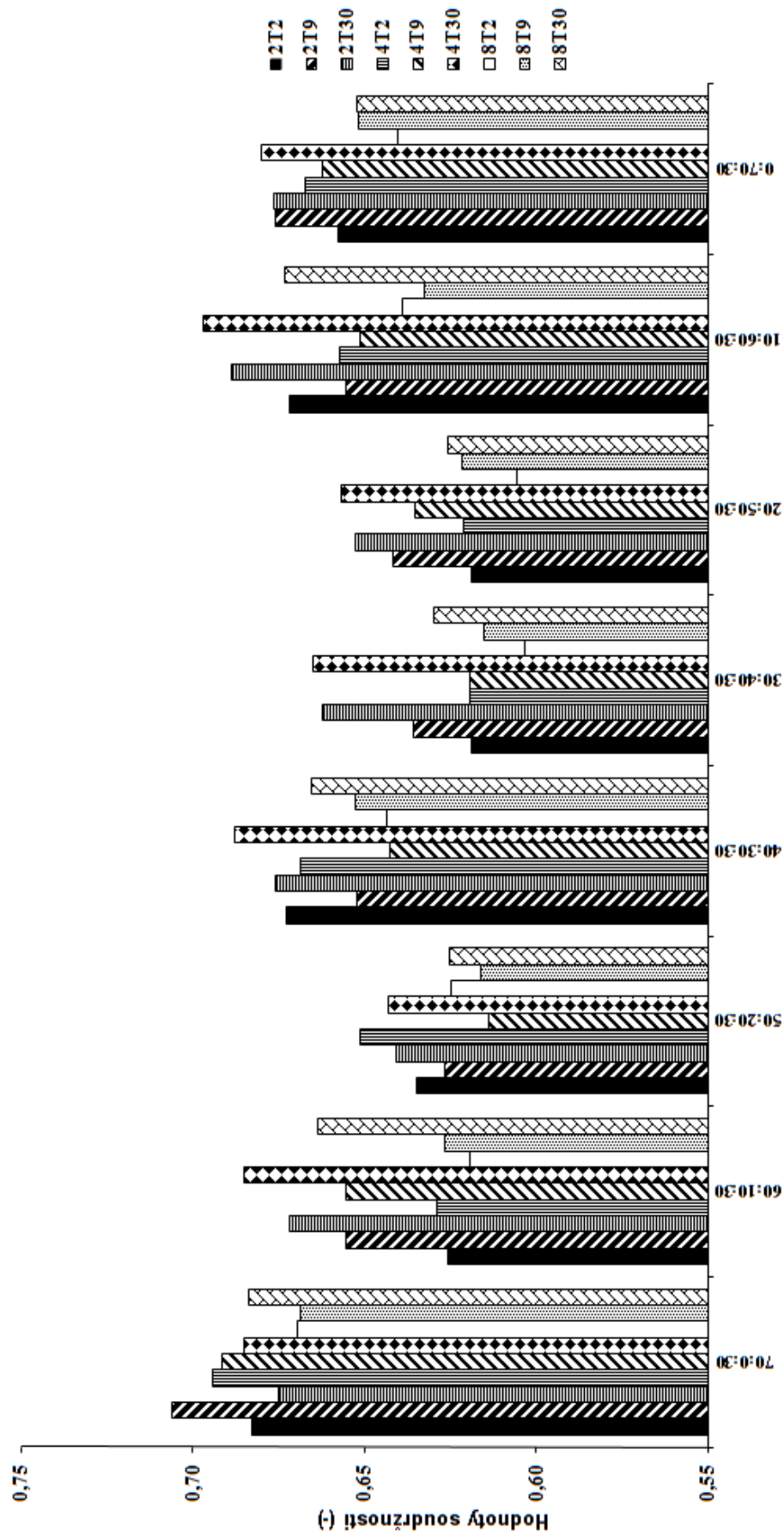
Obr. 19 - Soudržnost taveného sýra s obsahem 0% polyfosforečnanu



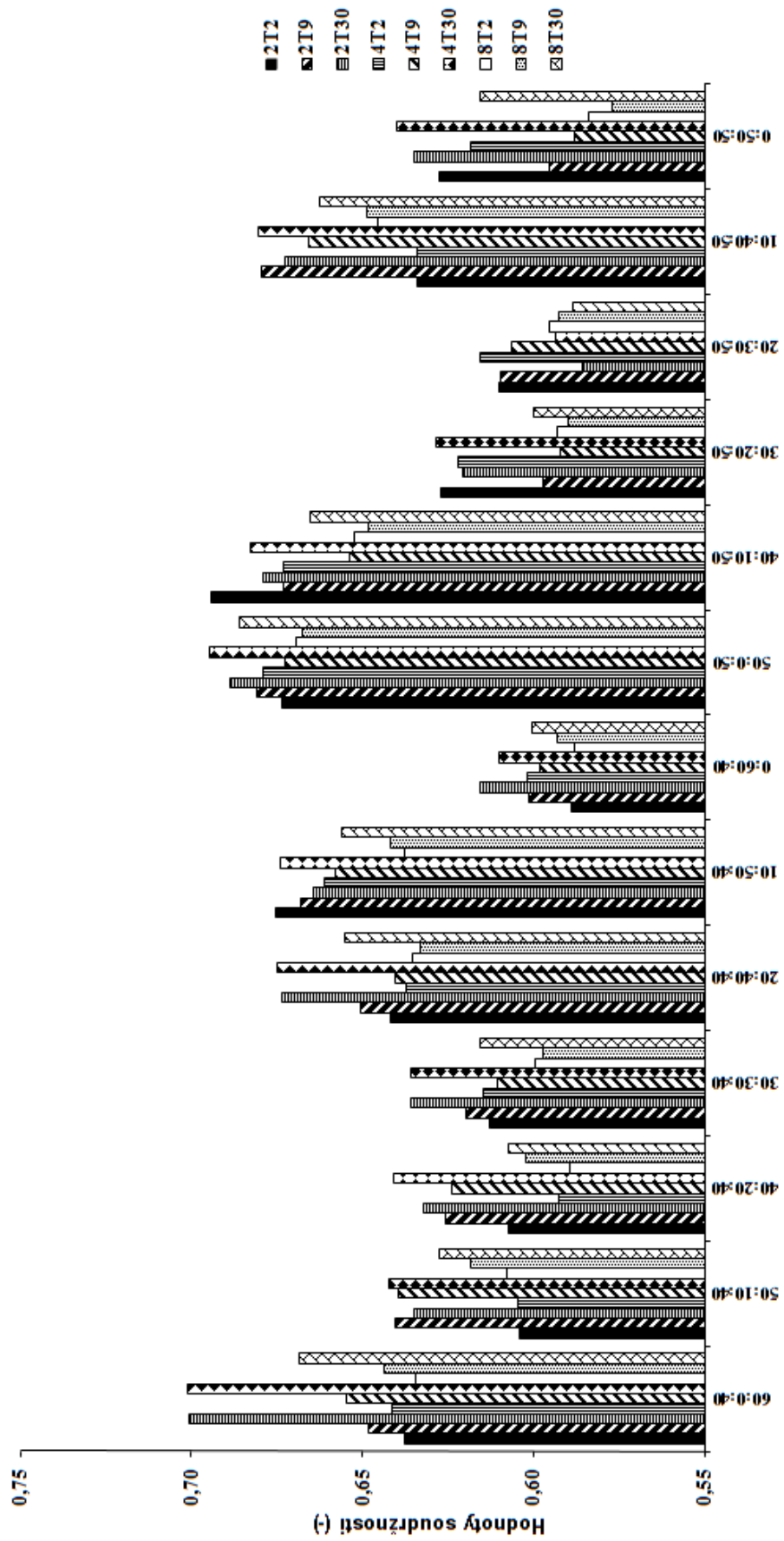
Poměr DPH  
Obr. 20 - Soudržnost taveného sýra s obsahem 10% polyfosforečnanu



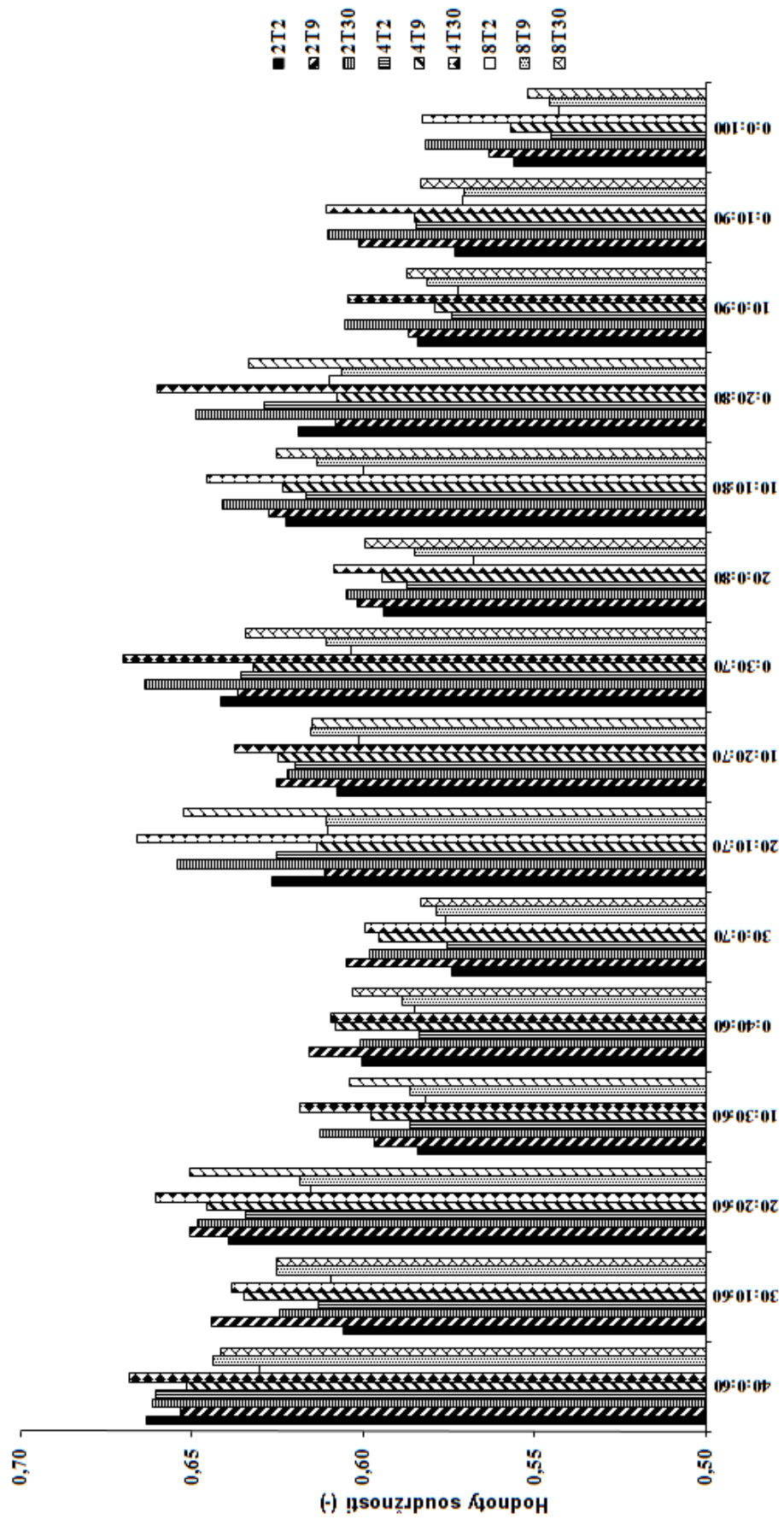
Obr. 21 - Soudržnost taveného sýra s obsahem 20% polyfosforečnanu



Obr. 22 - Soudržnost taveného sýra s obsahem 30% polyfosforečnanu



Obr. 23 - Soudržnost taveného sýra s obsahem 40-50% polypropylenem



Obr. 24 - Soudržnost taveného sýra s obsahem 60-100% polyfosforečnanu  
Poměr DPH

## 6.4 Relativní lepivost

Výsledky měření relativní lepivosti uvádí Obr. 25-30. Vliv složení směsi tavicích solí na relativní lepivost již nevykazuje tak očividný trend (Obr. 22-27), takže je nutné posoudit data po kratších úsecích na grafech, ukazujících poměr hydrogenfosforečnanu (DSP):difosforečnanu (TSPP):polyfosforečnanu (POLY).

Při 0 % POLY rel. lepivost klesala od 100:0:0 do 40:60:0, pak se vyskytla anomálie v trendu na poměru 30:70:0 a pak rel. lepivost narůstala k 0:100:0 (Obr. 25).

Při 10 % POLY klesala rel. lepivost od 90:0:10 do 50:40:10 a pak zpět narůstala až k poměru tavicích solí 10:80:10 (Obr. 26).

Při 20 % POLY vykazovaly hodnoty rel. lepivosti velmi kolísavé chování, pro jehož popis by bylo nutno rozdělit graf na příliš mnoho malých úseků (Obr. 27).

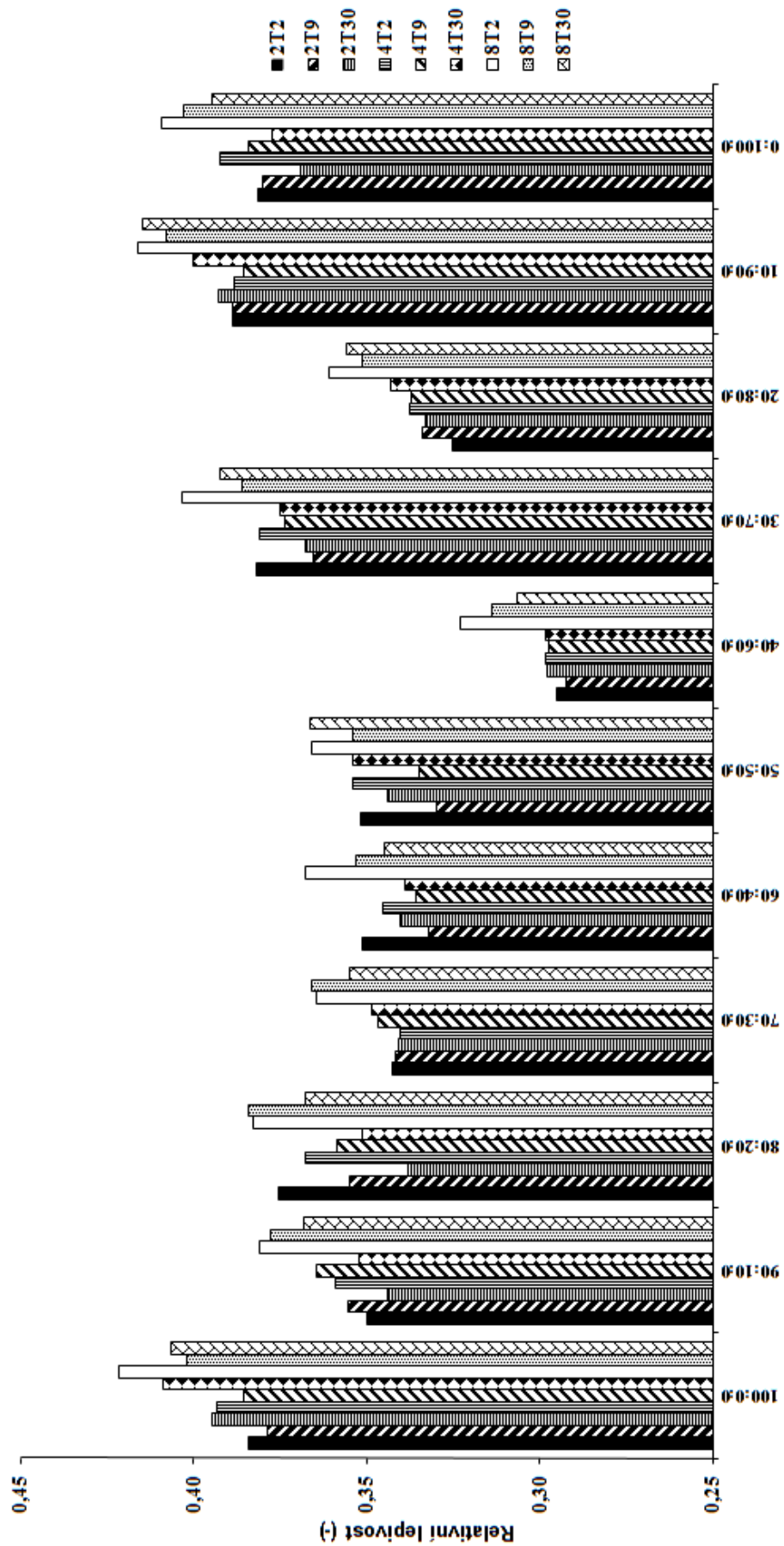
Při 30 % POLY relativní lepivost s klesajícím zastoupením DSP klesala. Výjimkou byla pouze anomálie při poměru 20:50:30 s výrazně nižšími hodnotami relativní lepivosti oproti trendu (Obr. 29).

Při zastoupení POLY 40 % a více nemá vliv složení směsi tavicích solí na relativní lepivost jasný trend (Obr. 30).

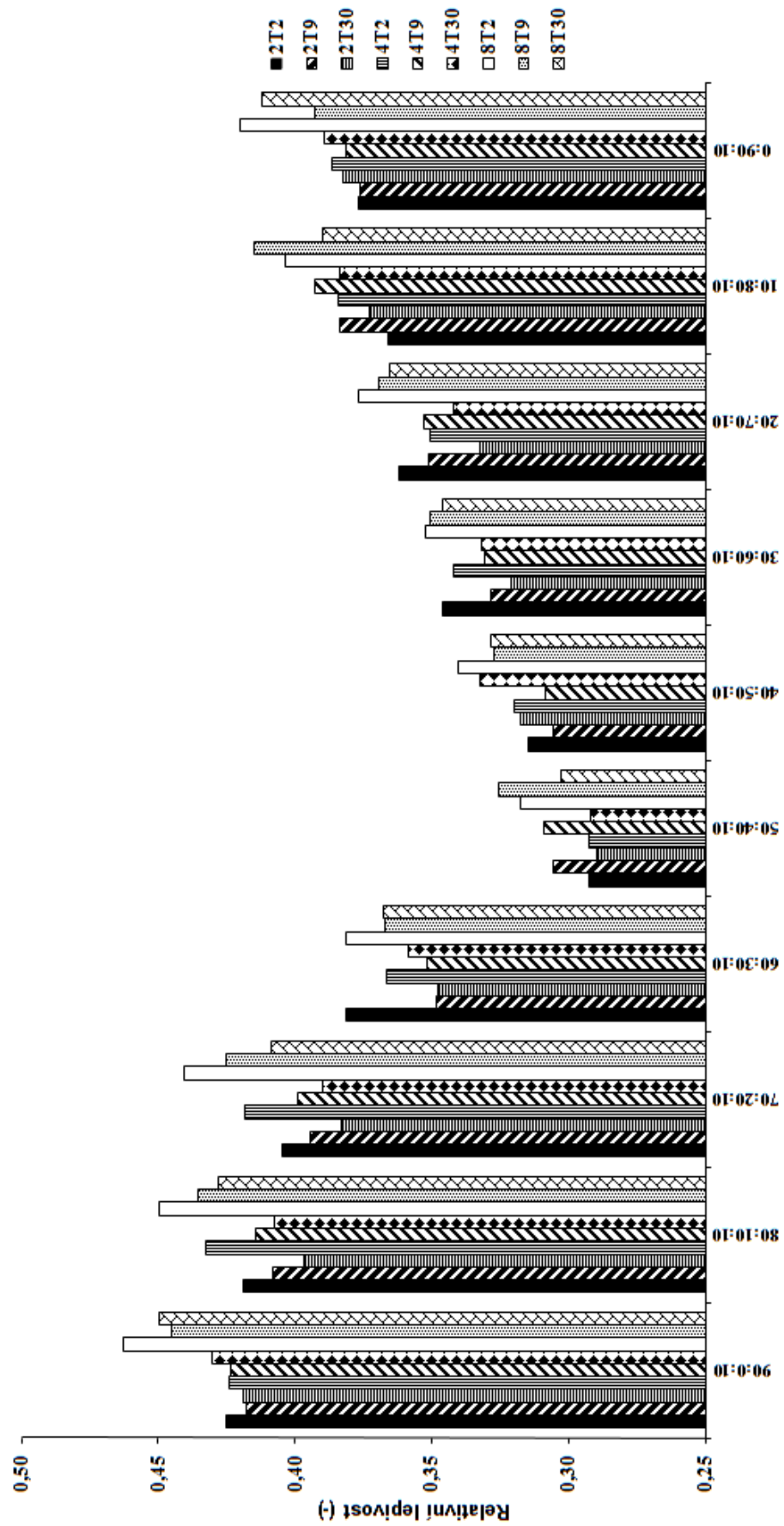
Ovlivnění relativní lepivosti prodlužující se dobou zrání Eidamu je zřetelné, relativní lepivost v tomto případě mírně rostla. Vliv doby skladování na relativní lepivost nevykazuje u vzorků ze sad 2T a 4T žádný jasný trend. U vzorků ze sady 8T, tedy z Eidamu, který zrál 8 týdnů, u převážné většiny tavených sýrů v průběhu skladování relativní lepivost klesala (Obr. 25-30), což souhlasí s výsledky Slavíkové [76].

Mírný nárůst lepivosti s delší dobou zrání Eidamu odpovídá jako antagonistický jev výsledkům měření tvrdosti a soudržnosti. To stejné se dá u vzorků ze sady 8T říci o mírném poklesu relativní lepivosti v závislosti na skladování. Opět se jedná o antagonistickou vlastnost k tvrdosti a soudržnosti [21].

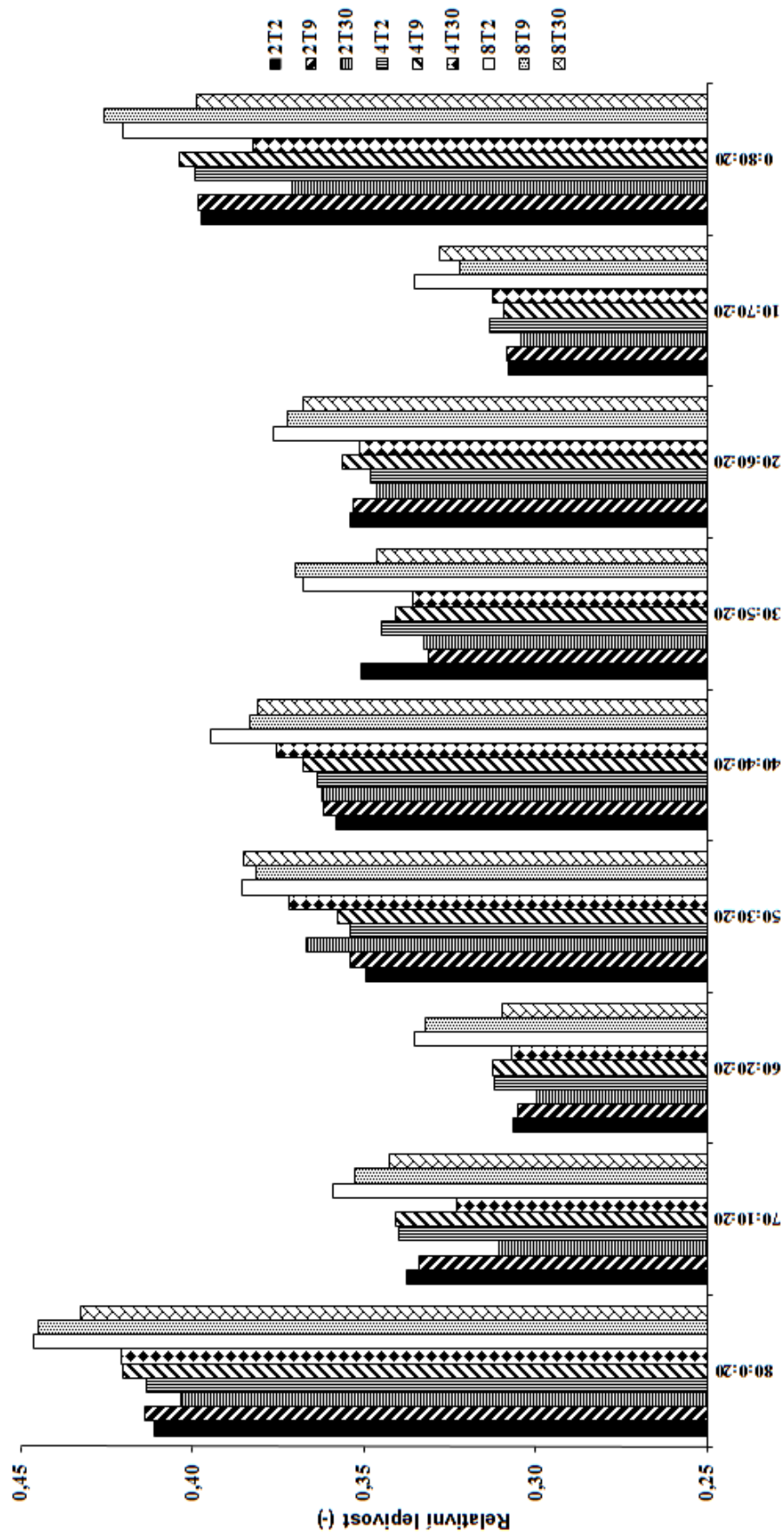




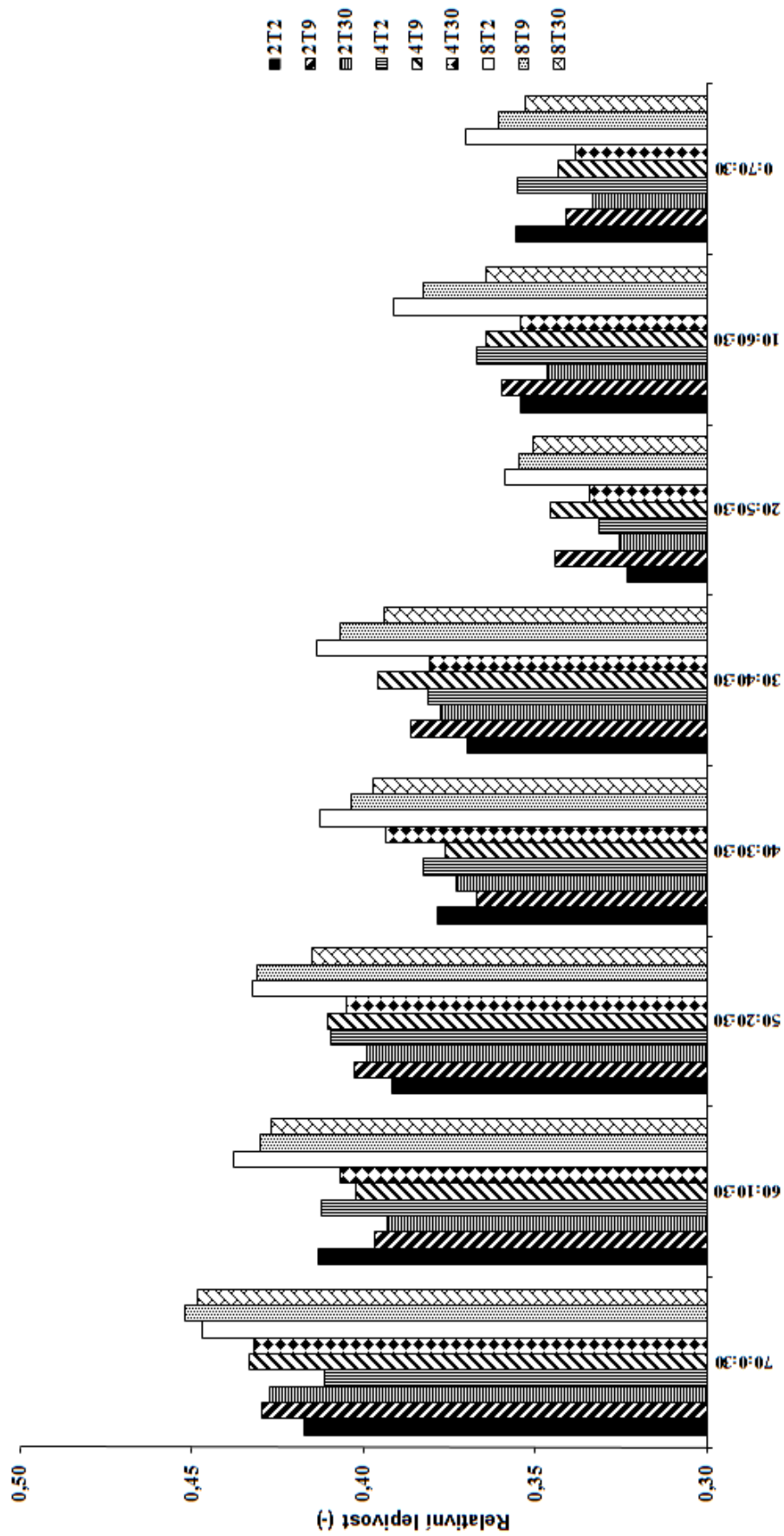
Obr. 25 - Relativní lepkavost taveného sýra s obsahem 0% polyfosforečnanu



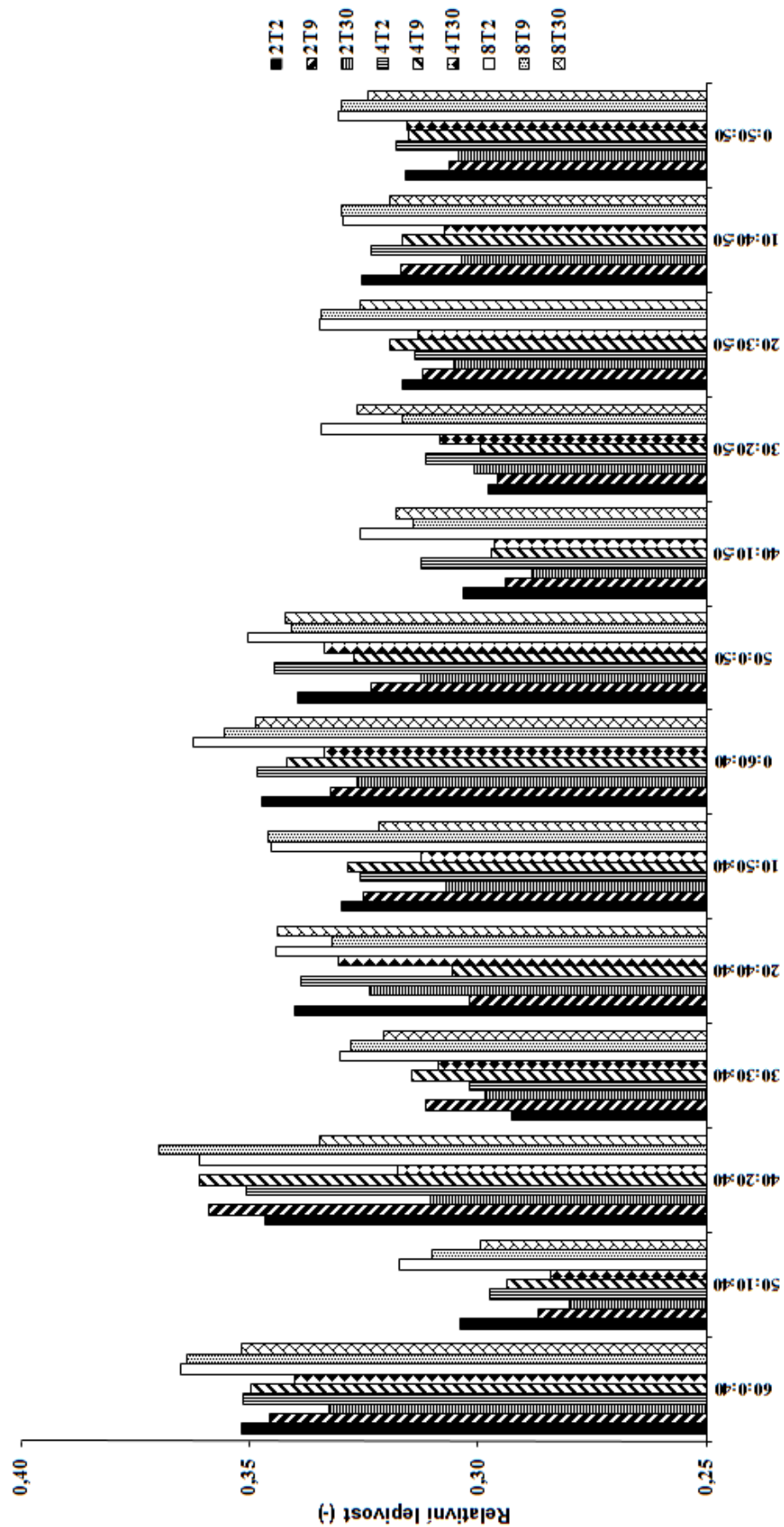
Obr. 26 - Relativní lepivost taveného sýra s obsahem 10% polyfosforečnanu



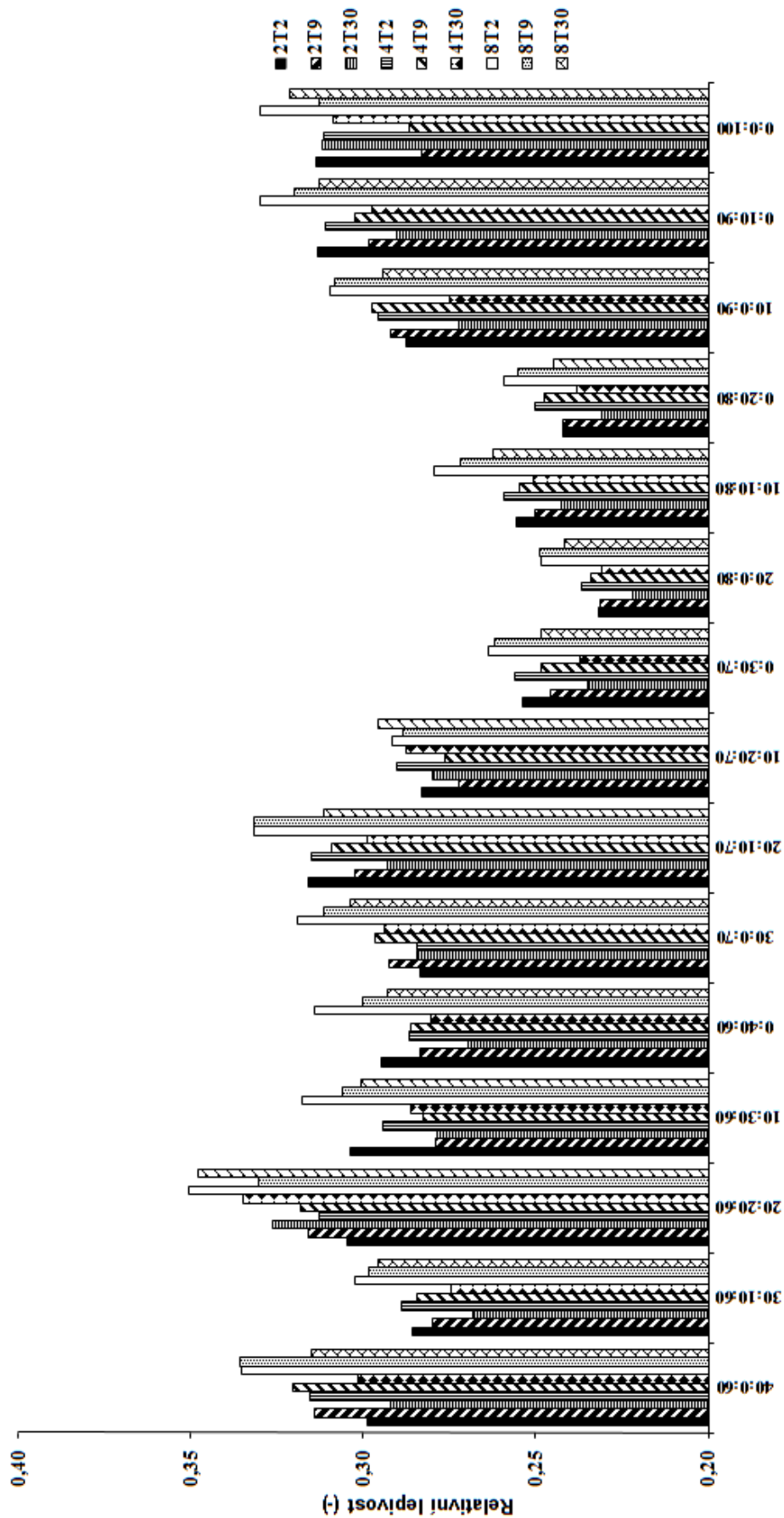
Obr. 27 - Relativní lepiivost taveného sýra s obsahem 20% polyfosforečnanu



Obr. 28 - Relativní lepiivost taveného sýra s obsahem 30% polyfosforečnanu



Obr. 29 - Relativní lepivost taveného sýra s obsahem 40-50% polyfosforečnanu



Obr. 30 - Relativní lepiivost taveného sýra s obsahem 60-100% polyfosforečnanu

## ZÁVĚR

V průběhu této diplomové práce byl sledován vliv ternárních směsí fosforečnanových tavicích solí (hydrogenfosforečnan sodný dihydrát -  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , difosforečnan sodný -  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ , polyfosforečnan sodný -  $(\text{NaPO}_3)_n$ ) na pH a vybrané texturní vlastnosti (tvrdost, soudržnost, relativní lepivost) tavených sýrů. Základní surovinou pro výrobu vzorků byl Eidam o zralosti 2, 4 a 8 týdnů.

Zvyšující se doba zralosti Eidamu způsobovala pokles tvrdosti, soudržnosti, pH a nárůst relativní lepivosti tavených sýrů. Delší doba skladování pak způsobovala nárůst jejich tvrdosti, soudržnosti, mírný pokles pH a relativní lepivosti. Vliv změn poměrů tavicích solí na texturní a chemické vlastnosti už ale bylo nutné v části Výsledky a diskuze popsat detailněji, protože nevykazoval jasný trend.

Gravimetrickou metodou byl změřen procentuální obsah sušiny ve vzorcích tavených sýrů. Výsledné hodnoty sušiny všech tavených sýrů byly v rozmezí 40,07 – 42,98 % (w/w). Při sledování vlivu složení směsi tavicích solí na pH lze vidět, že s narůstajícím množstvím polyfosforečnanu a tím klesajícím množstvím hydrogenfosforečnanu a difosforečnanu klesá pH.

Nejvyšší ale i nejnižší tvrdosti dosahují vzorky bez polyfosforečnanu. Při vyrovnaném poměru hydrogenfosforečnanu sodného k difosforečnanu 2:3 a 1:1 byly získány vzorky s největší tvrdostí, ve vzorcích s nejmenší tvrdostí byl přítomen pouze hydrogenfosforečnan.

Při pohledu na vzorky, kde se obsah hydrogenfosforečnanu a difosforečnanu pohyboval v rozmezí poměrů od 1:1 do 3:4, vidíme, že s rostoucím zastoupením polyfosforečnanu tvrdost prudce klesá (Obr. 13-18). Pokud byl obsah polyfosforečnanu 50 % a více, způsobovaly změny v zastoupení zbylých dvou jen minimální rozdíly v tvrdosti.

Při pohledu na trend soudržnosti při konstantním obsahu polyfosforečnanu můžeme vidět, že s rostoucím zastoupením POLY se minimální hodnoty soudržnosti posouvají (Obr. 19-24) od poměru DSP:TSPP 1:2 při 10 % POLY (Obr. 20) po poměr 1:1 při 50 % POLY (Obr. 23). Při 60-100 % obsahu POLY už tento trend neplatí.

Při srovnatelných poměrech hydrogenfosforečnanu a difosforečnanu soudržnost klesá s vyšším zastoupením polyfosforečnanu. Nedá se to však říci o celém rozsahu zastoupení polyfosforečnanu ve vzorcích tavených sýrů. Pokud je obsah polyfosforečnanu 10 % a

20 %, vymykají se vzorky tomuto trendu, při použití 10 % polyfosforečnanu ve směsi byla zjištěna nejnižší soudržnost, konkrétně u vzorků s poměry 30:60:10, kde byly minimální rozdíly mezi vzorky s různými dobami zrání Eidamu a různými dobami skladování taveného sýra (Obr. 20).

Vliv složení směsi tavicích solí na relativní lepivost již nevykazuje tak očividný trend (Obr. 25-30).

Použití směsí tavicích solí umožňuje výrazně větší variabilitu dosažitelných výsledků vedoucích k výrobě spotřebitelsky přijatelných tavených sýrů, než kdyby byly použity jen jednotlivé tavicí soli.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] *Vyhláška MZe č. 77/2003 Sb.* v platném znění, kterou se stanoví požadavky pro mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje. Sbírka zákonů 2003, částka 32 (2003).
- [2] BARBUT, S. Processed cheese. V knize: *Wiley Encyclopedia of Food Science and Technology (2nd Edition) Volumes 1-4.* (Francis, F. J.), s. 1973-87. John Wiley & Sons, 1999. ISBN 978-0-471-19285-5.
- [3] FOX, P.F. a kol. *Fundamentals of Cheese Science.* 1 vyd. Springer, 2000. 608 s. ISBN 0834212609.
- [4] MULSOW, B. B., Jaros, D., Rohm, H. Processed Cheese and Cheese Analogues. V knize: *Structure of Dairy Products.* s. 210–235. Blackwell Publishing Ltd, 2007. ISBN 9780470995921.
- [5] DOSTÁLOVÁ, J., Čurda, L. *Význam tavených sýrů ve výživě.* VŠCHT Praha, 2005. [cit. 2012-03-25], Dostupný online z WWW: <[www.zdravykorinek.cz/Files/pro\\_media/tm\\_vyznam\\_tavenych\\_syru.doc](http://www.zdravykorinek.cz/Files/pro_media/tm_vyznam_tavenych_syru.doc)>
- [6] Společnost pro výživu a Ministerstvo zemědělství České republiky. *Potravinové tabulky: Chemické složení a energetický obsah požitelní v hodnotách jedlého podílu.* Společnost pro výživu, 1992. ISBN 9788085120424.
- [7] BUŇKA, F., Hrabě, J. Hoza, I. Tavené sýry ve výživě člověka. *Výživa a potraviny* 61, 2006, č. 5, s. 135 – 136. ISSN 1211-846X.
- [8] GUINEE, T. P. The role of dairy ingredients in processed cheese products. V knize: *Dairy Derived Ingredients - Food and Nutraceutical.* (Corredig, M.), s. 507-538. Woodhead Publishing, 2009. ISBN 978-1-84569-465-4.
- [9] FOX, Patrick F. a kol. *Fundamentals of Cheese Science.* 1 vyd. Springer, 2000. 608 s. ISBN 0834212609.
- [10] KILCAWLEY, K. N. a kol. Enzyme-modified cheese. *International Dairy Journal.* 1998, roč. 8, č. 1, s. 1–10. doi: 10.1016/S0958-6946(98)00010-7.
- [11] STEPANIAK, L. Dairy enzymology. *International Journal of Dairy Technology.* 2004, roč. 57, č. 2-3, s. 153-171. doi: 10.1111/j.1471-0307.2004.00144.x
- [12] BUŇKA, F., Buňková, L., Kráčmar, S. *Základní principy výroby tavených sýrů.* Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. 70s. ISBN 978-80-7375-336-8.

- [13] ALVES, R. M. V. a kol. Effect of light and packages on stability of spreadable processed cheese. *International Dairy Journal*. 2007, roč. 17, č. 4, s. 365–373. doi: 10.1016/j.idairyj.2006.04.004.
- [14] SCHÄR, W., BOSSET, J.O. Chemical and Physico-chemical Changes in Processed Cheese and Ready-made Fondue During Storage. A Review. *LWT - Food Science and Technology*. 2002, roč. 35, č. 1, s. 15–20. doi: 10.1006/fstl.2001.0820.
- [15] GUINEE, T.P. a kol. The compositional and functional properties of commercial Mozzarella, Cheddar and analogue pizza cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 2000, č. 53, s. 51–56. doi: 10.1111/j.1471-0307.2000.tb02658.x
- [16] GE, O., Almena-Aliste, M., Kindstedt, P.S. Reversibility of pH-induced changes in the calcium distribution and melting characteristics of mozzarella cheese. *Australian Journal of Dairy Technology*, 2002, č. 57, s.3–9. doi: 10.1111/j.1750-3841.2008.00943.x
- [17] HASSAN, A., Johnson, M.E., Lucey, J.A. Changes in the proportions of soluble and insoluble calcium during the ripening of Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, 2004, 87, 854–862. doi:10.3168/jds.S0022-0302(04)73229-4
- [18] TAMIME, A. *Processed Cheese and Analogues*. John Wiley & Sons, 2011. 403 s. ISBN 9781444341836.
- [19] UPADHYAY, V.K. a kol. Proteolysis in cheese during ripening. V knize: *Cheese Chemistry, Physics and Microbiology, Vol. 1 General Aspects, 3rd edn.* (Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., Cogan, T.M. and Guinee, T.P.), 2004, Amsterdam, Elsevier Academic Press, s. 391–433. ISBN 978-0834213388
- [20] O'MALLEY, A.M a kol. Proteolysis in rennet casein-based cheese analogues. *International Dairy Journal*. 2000, roč. 10, č. 11, s. 743–753. doi: 10.1016/S0958-6946(00)00107-2.
- [21] McSWEENEY, P.L.H. Biochemistry of cheese ripening. *International Journal of Dairy Technology*. 2004, roč. 57, č. 2-3, s. 127–144. doi: 10.1111/j.1471-0307.2004.00147.x.
- [22] PISKA, I., Štětina, J. Influence of cheese ripening and rate of cooling of the processed cheese mixture on rheological properties of processed cheese. *Journal*

- of Food Engineering*, 2004, č. 61, s. 551–555. doi: 10.1016/S0260-8774(03)00217-6
- [23] BRICKLEY, C.A. a kol. The effect of natural Cheddar cheese ripening on the functional and textural properties of the processed cheese manufactured therefrom. *Journal of Food Science*, 2007, č. 72, s. 483–490. doi: 10.1111/j.1750-3841.2007.00539.x
- [24] TEMPLETON, H.L., SOMMER, H.H. Studies on the emulsifying salts used in processed cheese. *Journal of Dairy Science*. 1936, č. 19, s. 561-572. ISSN 0022-0302.
- [25] SHIRASHOJI, N. a kol. Effect of Trisodium Citrate Concentration and Cooking Time on the Physicochemical Properties of Pasteurized Process Cheese. *Journal of Dairy Science*. 2006, roč. 89, č. 1, s. 15–28. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72065-3.
- [26] MIZUNO, R., LUCEY, J.A. Effects of two types of emulsifying salts on the functionality of nonfat pasta filata cheese. *Journal of Dairy Science*. 2005, roč. 88, č. 10, s. 3411–3425. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)73025-3.
- [27] *Vyhláška MZe č. 4/2008 Sb.*, kterou se stanoví druhy a podmínky použití přídatných látek a extrakčních rozpouštědel při výrobě potravin. Sbírka zákonů 2003, částka 3 (2008).
- [28] BUŇKA, F. a kol. Úloha tavicích solí při výrobě tavených sýrů. *Potravinářská revue*. 2009. č.1. [online]. 2012, [cit. 2012-02-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.agral.cz/LinkClick.aspx?fileticket=jpFxyhHHZhk%3D&tabid=730&language=cs-CZ>>
- [29] GAUCHER, I. a kol. Physico-chemical characterization of phosphate-added skim milk. *International Dairy Journal*, 2007, č. 17, s. 1375–1383. doi: 10.1016/j.idairyj.2007.05.002
- [30] GUINEE, T.P., O’Kennedy, B.T. The effect of calcium content of Cheddar-style cheese on the biochemical and rheological properties of processed cheese. *Dairy Science and Technology*, 2009, č. 89, s. 317-333. doi: 10.1051/dst/2009009
- [31] MARCHESSEAU, S., Cuq, J.L. Water-holding capacity and characterization of protein interactions in processed cheese. *Journal of Dairy Research*, 1995, č. 62, s. 479–489. doi: 10.1017/S0022029900031174

- [32] MARCHESSEAU, S. a kol. Influence of pH on protein interactions and microstructure of process cheese. *Journal of Dairy Science*, 1997, č. 80, s. 1483–1489. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76076-4
- [33] KLIKORKA, J., Hájek, B., Votinský, J.: *Obecná a anorganická chemie*. SNTL, Praha, 1985. 591 s.
- [34] JURŠÍK, F. *Anorganická chemie kovů*. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, 2002. ISBN 80-7080-504-8.
- [35] *Stanovení iontů*. Doplněk ke skriptům Praktická cvičení z klinické biochemie pro biochemiky (Ludmila Zajoncová) 2004, Katedra biochemie PřF UP v Olomouci, [online]. 2012, [cit. 2012-02-28]. Dostupný z WWW: <[http://biochemie.upol.cz/doc/skripta/kbc/Stanoveni\\_iontu.pdf](http://biochemie.upol.cz/doc/skripta/kbc/Stanoveni_iontu.pdf)>
- [36] WEAVER, C., Heaney, R.P. *Calcium in human health*. Humana Press, 2006. 442 s. ISBN 9781588294524.
- [37] ADLER, R.A. *Osteoporosis: Pathophysiology and Clinical Management*. Springer, 2009. 635 s. ISBN 9781934115190.
- [38] GROPPER, S.S. a kol. *Advanced nutrition and human metabolism*. Cengage Learning, 2008. 629 s. ISBN 9780495116578.
- [39] MEDEIROS, R.E.C., Wildman, P.D. *Advanced Human Nutrition*. Jones & Bartlett Publishers, 2011. 409 s. ISBN 9780763780395.
- [40] STARR, C., McMillan, B. *Human biology*. Cengage Learning, 2006. 601 s. ISBN 9780495015963.
- [41] SYKES, A. G. *Advances in Inorganic Chemistry*. Academic Press, 1998. 570 s. ISBN 9780120236466.
- [42] PERMYAKOV, E., KRETSINGER, R.H. *Calcium Binding Proteins*. John Wiley and Sons, 2011. 600 s. ISBN 9780470525845.
- [43] UVERSKY, V.N. - PERMIKOV, E.A. *Protein structures: methods in protein structure and stability analysis*. Nova Publishers, 2007. 382 s. ISBN 9781600214042.
- [44] DENNIS, E.A., BRADSHAW, R.A. *Intercellular Signaling in Development and Disease: Cell Signaling Collection*. Academic Press, 2011. 550 s. ISBN 9780123822154.

- [45] FELDMAN, D. a kol. *Vitamin D*. Academic Press, 2011. 2191 s. ISBN 9780123819789.
- [46] ŠMÍD, J. a kol. *Měniče iontů, jejich vlastnosti a použití*, SNTL, Praha, 1954. 630 s.
- [47] RICHTER, M. *Chemie a technologie sloučenin fosforu*. Ústí n.L, 2007. [cit. 2011-12-01], Studijní text dostupný z WWW: <[http://fzp.ujep.cz/ktv/uc\\_texty/pt1/Chemie\\_a\\_techologie\\_sloucenin\\_fosforu.pdf](http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/pt1/Chemie_a_techologie_sloucenin_fosforu.pdf)>
- [48] JURŠÍK, F. *Anorganická chemie nekovů*. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, 2001. ISBN 80-7080-417-3.
- [49] PATNAIK, P. *Handbook of inorganic chemicals*. McGraw-Hill, 2003. 1112 s. ISBN 9780070494398.
- [50] MOLINS, R., *Phosphates in Food*, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, CRC Press, Inc. 1991, ISBN 0-8493-4588-X.
- [51] *FOSFOREČNAN TRISODNÝ DODEKAHYDRÁT - bezpečnostní list* [online]. Dostupné z: <[http://www.pentachemicals.eu/bezp\\_listy/f/bezplist\\_218.pdf](http://www.pentachemicals.eu/bezp_listy/f/bezplist_218.pdf)> [cit. 2012-04-23].
- [52] *HYDROGENFOSFOREČNAN DISODNÝ DIHYDRÁT - bezpečnostní list* [online]. Dostupné z: <[http://www.pentachemicals.eu/bezp\\_listy/h/bezplist\\_497.pdf](http://www.pentachemicals.eu/bezp_listy/h/bezplist_497.pdf)> [cit. 2012-04-23].
- [53] *Material Safety Data Sheet, Sodium phosphate, dibasic dodecahydrate* [online]. Dostupné z: <<http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9925027>> [cit. 2012-04-23].
- [54] Potassium phosphate, *chemBlink - Online Database of Chemicals from Around the World* [online]. Dostupné z: <<http://www.chemblink.com/products/7778-53-2.htm>> [cit. 2012-04-23].
- [55] 109828 Hydrogenfosforečnan draselný, *Merck KGaA, Darmstadt, Germany, chemie(at)merck.cz, 2012* [online]. Dostupné z: <[http://www.merckmillipore.com/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/Merck-CZ-Site/cs\\_CZ/-/EUR/ViewPDF-Print.pdf;sid=x-gS2792-u0A2\\_Dj5JV\\_jBe2QGsAK9XR\\_8YMjQzbFlezBTH46whxcblI0LOfZrtOz4QCx7yvOtA73Da\\_ZWx2wIaM5hwLn3Om9HKq-gdvwtYlWdXR\\_8beC4zs?](http://www.merckmillipore.com/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/Merck-CZ-Site/cs_CZ/-/EUR/ViewPDF-Print.pdf;sid=x-gS2792-u0A2_Dj5JV_jBe2QGsAK9XR_8YMjQzbFlezBTH46whxcblI0LOfZrtOz4QCx7yvOtA73Da_ZWx2wIaM5hwLn3Om9HKq-gdvwtYlWdXR_8beC4zs?)>

- RenderPageType=ProductDetail&CatalogCategoryID=IMqb.s1LNo8AAAEWIEE  
fVhTl&ProductUUID=f9ib.s1OhgsAAAEYax1.Rla2&PortalCatalogUUID=t02b.s  
1LX0MAAAEWc9UfVhTl> [cit. 2012-04-23].
- [56] *DIHYDROGENFOSFOREČNAN DRASELNÝ - bezpečnostní list* [online].  
Dostupné z: <[http://www.pentachemicals.eu/bezp\\_listy/d/bezplist\\_466.pdf](http://www.pentachemicals.eu/bezp_listy/d/bezplist_466.pdf)> [cit.  
2012-04-23].
- [57] LITHIUM PHOSPHATE, *FMC Corporation* [online]. Dostupné z:  
<<http://www.fmclithium.com/Portals/FMCLithium/content/docs/DataSheet/QSPDS-1038%20r0.pdf>> [cit. 2012-04-23].
- [58] MOUGIOS, V. *Exercise biochemistry*. Human Kinetics, 2006. 362 s. ISBN  
9780736056380.
- [59] KEYNES, R.D. a kol. *Nerve and Muscle*. Cambridge University Press, 2011. 195  
s. ISBN 9780521737425.
- [60] KRATZ, R.F., Siegfried, D. R. *Biology For Dummies*. John Wiley & Sons, 2010.  
386 s. ISBN 9780470598757.
- [61] MALESTER, B. T. *Novel roles for ATP-sensitive potassium channels*. ProQuest,  
New York University, 2007. 255 s. ISBN 9780549431244.
- [62] LORENCOVÁ, E. Vliv fosforečnanů na růst vybraných potravinářsky  
významných bakterií, Diplomová práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta  
technologická, 2010.
- [63] CUNHA, C.R., Viotto, W.H. Casein peptization, functional properties, and  
sensory acceptance of processed cheese spreads made with different emulsifying  
salts. *Journal of Dairy Science*, 2010, č. 75, s. 113-120. doi: 10.1111/j.1750-  
3841.2009.01444.x
- [64] *Preservation and Physical Property Roles of Sodium in Foods - Strategies to  
Reduce Sodium Intake in the United States - NCBI Bookshelf* [online]. Dostupné  
z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK50952/>> [cit. 2012-03-15].
- [65] GUINEE, T.P., Fox, P.F. *Salt in Cheese: Physical, Chemical and Biological  
Aspects*. Cheese Chemistry, Physics and Microbiology. Academic Press, 2004.  
ISBN 1874-558X. Salt in Cheese: Physical, Chemical and Biological Aspects., s.  
207–259. doi: 10.1016/S1874-558X(04)80069-1.

- [66] EL-BAKRY, M. a kol. Effect of cation, sodium or potassium, on casein hydration and fat emulsification during imitation cheese manufacture and post-manufacture functionality. *LWT - Food Science and Technology*. 2011, roč. 44, č. 10, s. 2012–2018. doi: 10.1016/j.lwt.2011.07.007.
- [67] HOFFMANN, W. a kol. Effect of emulsifying salts containing potassium on the quality of block-type processed cheese. *International Dairy Journal* [online]. In Press. č. 0, [cit. 2012-03-15]. doi: 10.1016/j.idairyj.2011.11.010 Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958694611002950>>.
- [68] MAYER, H.K. Bitterness in processed cheese caused by an overdose of a specific emulsifying agent? *International Dairy Journal*. 2001, roč. 11, č. 4–7, s. 533–542. doi: 10.1016/S0958-6946(01)00068-1.
- [69] SÁDLÍKOVÁ, I. a kol.. The effect of selected phosphate emulsifying salts on viscoelastic properties of processed cheese. *LWT - Food Science and Technology*, 2010, 43, 1220-1225. doi: 10.1016/j.lwt.2010.04.012
- [70] KAPOOR, R. a kol. Effect of Natural Cheese Characteristics on Process Cheese Properties. *Journal of Dairy Science*. 2007, roč. 90, č. 4, s. 1625–1634. doi: 10.3168/jds.2006-746.
- [71] BACHMANN, H.P.: Cheese analogues: a review. *International Dairy Journal*, 2001, 11, 505-515. doi: 10.1016/S0958-6946(01)00073-5
- [72] SHIRASHOJI, N., Jageggi, J.J., Lucey, J.A. Effect of sodium hexametaphosphate concentration and cooking time on the physicochemical properties of pasteurized process cheese. *Journal of Dairy Science*, 2010. č. 93, s. 2827-2837. doi: 10.3168/jds.2009-2960
- [73] MIZUNO, R., Lucey, J.A. Properties of Milk Protein Gels Formed by Phosphates. *Journal of Dairy Science*. 2007, roč. 90, č. 10, s. 4524–4531. doi: 10.3168/jds.2007-0229.
- [74] EL-BAKRY, M. a kol. Casein hydration and fat emulsification during manufacture of imitation cheese, and effects of emulsifying salts reduction. *Journal of Food Engineering*. 2011, roč. 103, č. 2, s. 179–187. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.10.014.
- [75] EL-BAKRY, M. a kol. Effect of chelating salt type on casein hydration and fat emulsification during manufacture and post-manufacture functionality of

- imitation cheese. *Journal of Food Engineering*. 2011, roč. 102, č. 2, s. 145–153. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.08.012.
- [76] SLAVÍKOVÁ, Š. Ternární směsi vybraných fosforečnanů a jejich vliv na texturní vlastnosti tavených sýrů, Bakalářská práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2011.
- [77] BUŇKA, F., Hrabě, J., Vospěl, B. Senzorická analýza potravin I., ISBN 978 – 80 – 7318- 628-9, strana 114.
- [78] CHEN, J. Food oral processing - A review. *Food Hydrocolloids*. 2009, roč. 23, č. 1, s. 1–25. doi: 10.1016/j.foodhyd.2007.11.013
- [79] ČSAV, Encyklopedický institut. *Příruční slovník naučný*. Československé akademie věd, 1967. 1008 s.
- [80] ROSENTHAL, A.J. *Food texture: measurement and perception*. Springer, 1999. 344 s. ISBN 9780834212381.
- [81] ZNAMENÁČEK, M. a kol. *Naučný slovník zemědělský*. Vydal Ústav vědeckotechnických informací MZLH ve Státním zemědělském nakl., 1966. 1308 s.
- [82] BOHÁČ, V. *Výroba tavených sýrů*. Státní nakl. technické literatury, 1964. 208 s.
- [83] FAGAN, C.C. a kol. Prediction of processed cheese instrumental texture and meltability by mid-infrared spectroscopy coupled with chemometric tools. *Journal of Food Engineering*. 2007, roč. 80, č. 4, s. 1068–1077. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.04.068.
- [84] KALIAPPAN, S., LUCEY, J.A. Influence of mixtures of calcium-chelating salts on the physicochemical properties of casein micelles. *Journal of Dairy Science*. 2011, roč. 94, č. 9, s. 4255–4263. doi: 10.3168/jds.2010-3343.
- [85] LAILA, B. a kol. Chemical properties of processed ras cheese spreads as affected by emulsifying salt mixtures. *Journal of Food Processing Preservation*, 2000. č. 24, s. 191-208. doi: 10.1111/j.1745-4549.2000.tb00413.x
- [86] AWAD, R.A. a kol. Texture and microstructure of block type processed cheese with formulated emulsifying salt mixtures. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 2002, č.35, s. 54-61. doi: 10.1006/fstl.2001.0828
- [87] LU, Y. a kol. Effects of pH on the textural properties and meltability of pasteurized process cheese made with different types of emulsifying salts. *Journal*



- of Food Science*. 2008, roč. 73, č. 8, s. E363–369. doi: 10.1111/j.1750-3841.2008.00914.x.
- [88] MIZUNO, R., Lucey, J.A. Effects of Emulsifying Salts on the Turbidity and Calcium-Phosphate-Protein Interactions in Casein Micelles. *Journal of Dairy Science*. 2005, roč. 88, č. 9, s. 3070–3078. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72988-X.
- [89] AWAD, R.A. a kol. Physical and Sensory Properties of Block Processed Cheese with Formulated Emulsifying Salt Mixtures. *International Journal of Food Properties*. 2004, roč. 7, č. 3, s. 429–448. doi: 10.1081/JFP-200032934.
- [90] BRICKLEY, C.A. a kol. Influence of Emulsifying Salts on the Textural Properties of Nonfat Process Cheese Made from Direct Acid Cheese Bases. *Journal of Dairy Science*. 2008, roč. 91, č. 1, s. 39–48. doi: 10.3168/jds.2007-0393.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

WHO	Světová zdravotnické organizace.
DSP	hydrogenfosforečnan sodný ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ )
TSP	difosforečnan sodný ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ )
POLY	polyfosforečnan sodný ( $\text{NaPO}_3$ ) <sub>n</sub>

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 – Schematické znázornění submicely kaseinu (převzato z Buňka a kol. [12]) .....	16
Obr. 2 - Schematické znázornění výměny sodných kationtů za vápenaté kationty při tavení přírodních sýrů (A-anion tavicí soli, SER-serinové zbytky) (převzato a upraveno podle Buňka a kol. [12]) .....	22
Obr. 3 – Struktura P <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (převzato a upraveno podle Klikorka a kol. [33]) .....	25
Obr. 4 – Schéma disociace kyseliny trihydrogenfosforečné (převzato a upraveno podle Richter a Jursík [47,48]) .....	25
Obr. 5 – Schéma polymerace kyseliny trihydrogenfosforečné (převzato a upraveno podle Jursík [48]) .....	26
Obr. 6 – Schematické znázornění zátěžové křivky získané texturní profilovou analýzou (převzato a upraveno podle Chen [78]) .....	33
Obr. 7 - pH taveného sýra s obsahem 0% polyfosforečnanu .....	44
Obr. 8 - pH taveného sýra s obsahem 10% polyfosforečnan .....	45
Obr. 9 - pH taveného sýra s obsahem 20% polyfosforečnanu .....	46
Obr. 10 - pH taveného sýra s obsahem 30% polyfosforečnanu .....	47
Obr. 11 - pH taveného sýra s obsahem 40-50% polyfosforečnanu .....	48
Obr. 12 - pH taveného sýra s obsahem 60-100% polyfosforečnanu .....	49
Obr. 13 - Tvrdost taveného sýra s obsahem 0% polyfosforečnanu .....	51
Obr. 14 - Tvrdost taveného sýra s obsahem 10% polyfosforečnanu .....	52
Obr. 15 - Tvrdost taveného sýra s obsahem 20% polyfosforečnanu .....	53
Obr. 16 - Tvrdost taveného sýra s obsahem 30% polyfosforečnanu .....	54
Obr. 17 - Tvrdost taveného sýra s obsahem 40-50% polyfosforečnanu .....	55
Obr. 18 - Tvrdost taveného sýra s obsahem 60-100% polyfosforečnanu .....	56
Obr. 19 - Soudržnost taveného sýra s obsahem 0% polyfosforečnanu .....	58
Obr. 20 - Soudržnost taveného sýra s obsahem 10% polyfosforečnanu .....	59
Obr. 21 - Soudržnost taveného sýra s obsahem 20% polyfosforečnanu .....	60

---

Obr. 22 - Soudržnost taveného sýra s obsahem 30% polyfosforečnanu .....	61
Obr. 23 - Soudržnost taveného sýra s obsahem 40-50% polyfosforečnanu .....	62
Obr. 24 - Soudržnost taveného sýra s obsahem 60-100% polyfosforečnanu .....	63
Obr. 25 - Relativní lepivost taveného sýra s obsahem 0% polyfosforečnanu .....	65
Obr. 26 - Relativní lepivost taveného sýra s obsahem 10% polyfosforečnanu .....	66
Obr. 27 - Relativní lepivost taveného sýra s obsahem 20% polyfosforečnanu .....	67
Obr. 28 - Relativní lepivost taveného sýra s obsahem 30% polyfosforečnanu .....	68
Obr. 29 - Relativní lepivost taveného sýra s obsahem 40-50% polyfosforečnanu .....	69
Obr. 30 - Relativní lepivost taveného sýra s obsahem 60-100% polyfosforečnanu .....	70

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 – Rozpustnost fosforečnanů.....	27
Tab. 2 – Značení fosforečnanových tavicích solí a jejich pH.....	29