

# **Chemicko-technologické vlastnosti fosforečnanů využívaných při výrobě masných výrobků**

Jakub Martinek

---

Bakalářská práce  
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub Martinek**

Osobní číslo: **T14200**

Studijní program: **B2901 Chemie a technologie potravin**

Studijní obor: **Chemie a technologie potravin**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Chemicko-technologické vlastnosti fosforečnanů využívaných při výrobě masných výrobků**

Zásady pro vypracování:

### I. Teoretická část

1. Charakteristika a vlastnosti fosforečnanů.
2. Technologický význam fosforečnanů v masných výrobcích.
3. Vliv fosforečnanů na lidský organismus.
4. Možnosti náhrad fosforečnanů v masných výrobcích.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] GREENWOOD, N, František JURŠÍK a Alan EARNSHAW. Chemie prvků. 1. vyd. Praha: Informatorium, 1993, 793 s. ISBN 80-85427-38-9.

[2] MURRAY, Robert K. Harperova Biochemie. 23. vyd., (4. české vyd.), v H & H 3. Jinočany: H & H, 2002, ix, 872 s. Lange medical book. ISBN 80-7319-013-3.

[3] MOLINS, R. A. Phosphates in Food. Boca Raton: CRC Press, Inc. 1991.

[4] KAPLAN, Lawrence A. a Amadeo J. PESCE, KAZMIERCZAK, Steven C. (ed.). Clinical chemistry: theory, analysis, and correlation. 3rd ed. St. Louis: Mosby, 1996. ISBN 0-8151-5243-4.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Robert Gál, Ph.D.**

Ústav technologie potravin

Datum zadání bakalářské práce:

**3. února 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**5. května 2017**

Ve Zlíně dne 3. února 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.

*děkan*



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.

*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním 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 bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk 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 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 – 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 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 bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 5. 5. 2017

  
.....

---

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

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

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

<sup>2)</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>3)</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). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

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

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce shrnuje dosavadní poznatky o fosforečnanech z pohledu jejich chemického složení a vlastností, v kombinaci s biochemickým a biologickým významem. Kromě způsobů průmyslové výroby, s důrazem na jejich potravinářské použití, je velký prostor kladen na přehled technologických vlastností fosforečnanů důležitých pro masný průmysl. Vyústěním práce je přehled možností látek se stejnými technologickými vlastnostmi, kterými lze nahradit fosforečnany, ale s menšími zdravotními riziky jejich konzumace.

Klíčová slova: fosforečnany, masné výrobky, náhrady

## **ABSTRACT**

Bachelor thesis summarizes current data on phosphates in terms of their chemical composition and properties, in combination with biochemical and biological significance. In addition to the methods of industrial production, with emphasis on their use in food, a large space of the survey is given to the technological properties of phosphates important for the meat industry. The work results in the overview of compensation of phosphates with the similar properties, but with reduced consumption health risks.

Keywords: phosphates, meat products, substitutes

Chci poděkovat panu Ing. Robertovi Gálovi, Ph.D. za cenné a přínosné rady a povzbudivá slova při psaní bakalářské práce. Velké díky patří mé rodině a přátelům za podporu během celého studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 CHARAKTERISTIKA FOSFOREČNANŮ</b> .....	<b>10</b>
1.1 CHEMICKÉ A FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI.....	10
1.2 VÝZNAM PRO ŽIVÉ ORGANISMY .....	11
1.3 PRŮMYSLOVÁ VÝROBA .....	13
1.3.1 Termická výroba kyseliny fosforečné.....	14
1.3.2 Výroba kyseliny fosforečné extrakční metodou.....	15
1.3.3 Výroba fosforečnanů .....	16
<b>2 VÝZNAM FOSFOREČNANŮ V MASNÝCH VÝROBCÍCH</b> .....	<b>17</b>
2.1 TECHNOLOGICKÉ VLASTNOSTI FOSFOREČNANŮ .....	17
2.2 PŘEHLED POUŽÍVANÝCH FOSFOREČNANŮ.....	19
2.2.1 Kyselina trihydrogenfosforečná .....	19
2.2.2 Fosforečnany sodné.....	19
2.2.3 Fosforečnany draselné.....	21
2.2.4 Difosforečnany, trifosforečnany, polyfosforečnany .....	22
2.2.5 Minoritně využívané fosforečnany.....	24
2.3 VADY MASNÝCH VÝROBKŮ ZPŮSOBENÉ FOSFOREČNANY .....	25
<b>3 VLIV FOSFOREČNANŮ V POTRAVINÁCH NA LIDSKÝ ORGANISMUS</b> .....	<b>27</b>
3.1 METABOLISMUS FOSFOREČNANŮ .....	27
3.2 PORUCHY METABOLISMU FOSFORU .....	30
3.2.1 Hyperfosfatemie .....	30
3.2.2 Hypofosfatemie .....	31
3.2.3 Hyperkalcemie .....	31
3.2.4 Hypokalcemie .....	31
<b>4 MOŽNOSTI NÁHRADY FOSFOREČNANŮ V MASE A MASNÝCH VÝROBCÍCH</b> .....	<b>32</b>
4.1 HYDROKOLOIDY.....	32
4.2 ŠKROBY A OLIGOSACHARIDY .....	34
4.3 ZÁZVOR.....	35
4.4 PROTEINY A ENZYMY .....	36
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>37</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>39</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>44</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>45</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>46</b>



## ÚVOD

Odjakživa se člověk snažil obelstít přírodní zákony, aby si ulehčil práci, zdokonalil průběh svého života a ani potraviny nebyly v tomto směru výjimkou. Ať už si to neuvědomoval úplně od počátku, vždy jej vedla snaha, aby jídlo, které si opatřil, vydrželo co nejdéle, aby si zachovalo co nejvíce ze své chuti, vůně, výživových hodnot. Maso, které nebylo určeno k okamžité spotřebě, se sušilo, aby vydrželo co nejdéle pro případ, že by se nepodařilo opatřit čerstvou kořist. Když ale nestačila tepelná úprava nebo sušení, přišla na řadu aditiva. Maso se začalo nasolovat, a i když tehdy netušili proč, nasolené maso vydrželo déle požitelné, nekazilo se.

Když počínaje průmyslovou revolucí začínal svět masivně směřovat od extenzivní výroby komodit k intenzivní, bylo nutné přemýšlet nad tím, jak zajistit, aby se masné výrobky, které si nyní nevyrobí každý sám, dostaly ke spotřebitelům v požadovaném množství a kvalitě. Zároveň bylo také potřeba navýšit produkci výrobků pro stále se zvyšující populaci a samozřejmě také i zisk s co nejnižšími náklady.

Od tohoto momentu přicházejí na řadu aditiva, tak jak je známe dnes. V případě masa se nejednalo pouze sůl, ale například dusitanové solící směsi nebo fosforečnany. A přestože si to velká část veřejnosti neuvědomuje, právě díky těmto látkám jsou salámy tak dlouho čerstvé, tak šťavnaté, zachovávají si lákavou barvu a vůni mnohem delší dobu, než dříve.

Tato práce si vytyčila za cíl osvětlit základní vlastnosti fosforečnanů, které jsou důležité v technologii výroby masných produktů. Ovšem pro pochopení těchto principů je nutné se podívat na samotné vlastnosti z pohledu chemického, neméně důležitý je i aspekt průmyslové výroby fosforečnanů a tím pádem i to, v jaké formě se vlastně fosforečnany na planetě Zemi vyskytují.

V posledních letech probíhají výzkumy látek, které by mohly fosforečnany v masných výrobcích nahradit. Proto se tato práce snaží ve světle zjištěných předností fosforečnanů ve výrobě masných produktů objektivně poukázat na možná zdravotní rizika jejich zvýšené konzumace pro spotřebitele a vyhledat, nabídnout a upozornit na alternativy k tradičním aditivům v podobě fosforečnanů.

## 1 CHARAKTERISTIKA FOSFOREČNANŮ

Fosforečnany jsou soli kyseliny fosforečné, jež je známá i pod názvem kyselina trihydrogenfosforečná či orthofosforečná.

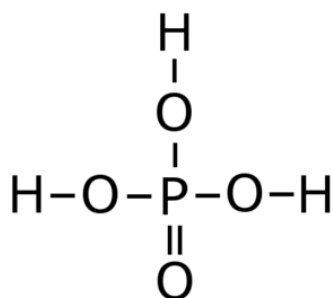
Kromě této skupiny anorganických látek se sloučeniny odvozené od kyseliny fosforečné podílejí velmi významným způsobem na tvorbě organických struktur.

### 1.1 Chemické a fyzikální vlastnosti

Fosforečnany se na Zemi vyskytují ve dvou formách: organické i anorganické. Organická podoba je nezbytná pro existenci živých organismů a větší pozornost je jí věnována v dalších částech práce.

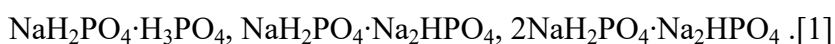
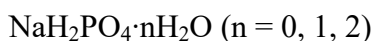
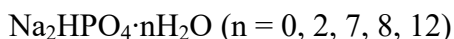
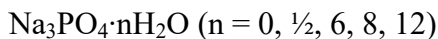
Anorganická neboli minerální forma fosforečnanů je zastoupena především v podobě apatitu. Jedná se o směsnou sůl fosforečnanu a dalšího aniontu, buď prvku nebo skupiny prvků, které společně fosforečnanovými anionty krystalizují. Tímto způsobem vzniká například hydroxyapatit ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ), chlorapatit ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ ), fluorapatit ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ ). To jsou nejznámější a nejrozšířenější minerály na bázi fosforečnanové skupiny [1,2,3,4].

Jak už jeden z výše uvedených názvů (a obrázek strukturního vzorce kyseliny níže) napovídá, sloučenina obsahuje ve své molekule celkem tři atomy vodíku, z nichž může být libovolný počet nahrazen nějakým atomem kovu či skupinou atomů, např. amonným kationtem. Tato variabilita propůjčuje fosforečnanům různé fyzikální a chemické vlastnosti. Navíc jsou ještě schopny krystalizovat s molekulami jiných sloučenin, třeba s vodou tvoří tzv. hydráty [1,2,3,4].



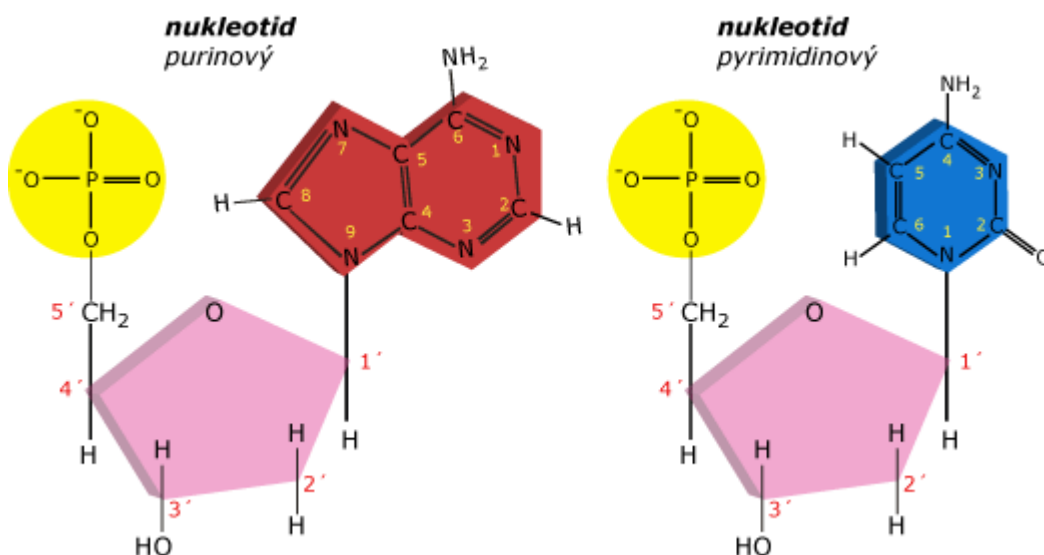
Obr. 1. Strukturní vzorec kyseliny trihydrogenfosforečné [5]

Jako názorná ukázka různých variací, kterých jsou schopny fosforečnany dosáhnout, je uveden následující výčet sodných solí. Právě na tomto příkladu je možné přehledně ukázat nejruznější kombinace sloučenin s fosforečnanovým skeletem.



## 1.2 Význam pro živé organismy

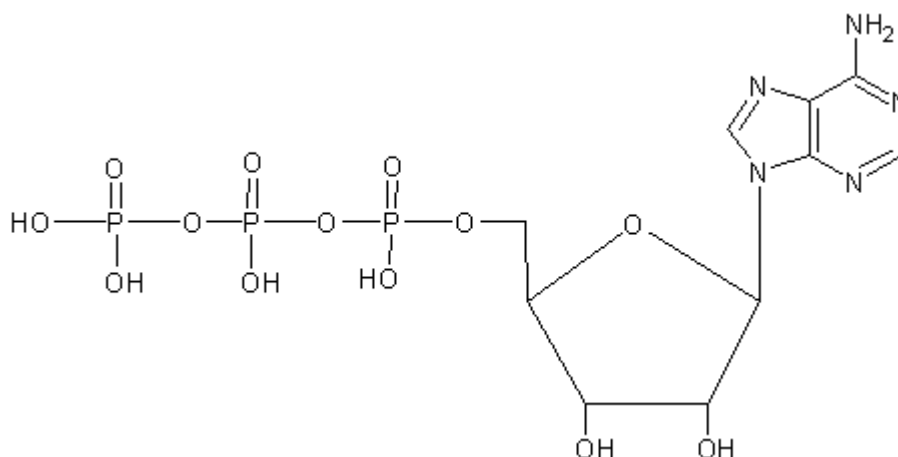
Fosforečnany jsou v živých organismech obsaženy ve formě esterů a anorganických solí. Jedná se o velmi důležitou složku veškerých forem života na Zemi. Bez jejich účasti se neobejde syntéza bílkovin, genetické kódování, fotosyntéza a další procesy metabolismu. Samotný fosforečnanový zbytek tvoří spolu s D-ribózou nebo 2-deoxy-D-ribózou základní kostru nukleových kyselin. Na tato vlákna, v případě DNA dvojvlákna, se napojují purinové a pyrimidinové báze (adenin, guanin, thymin, cytosin a uracyl). Základním blokem molekuly nukleových kyselin je tzv. nukleotid. Ten je tvořen fosforečnanem, pentózou a bází.



Obr. 2. Nukleotid s částí kyseliny fosforečné [6]

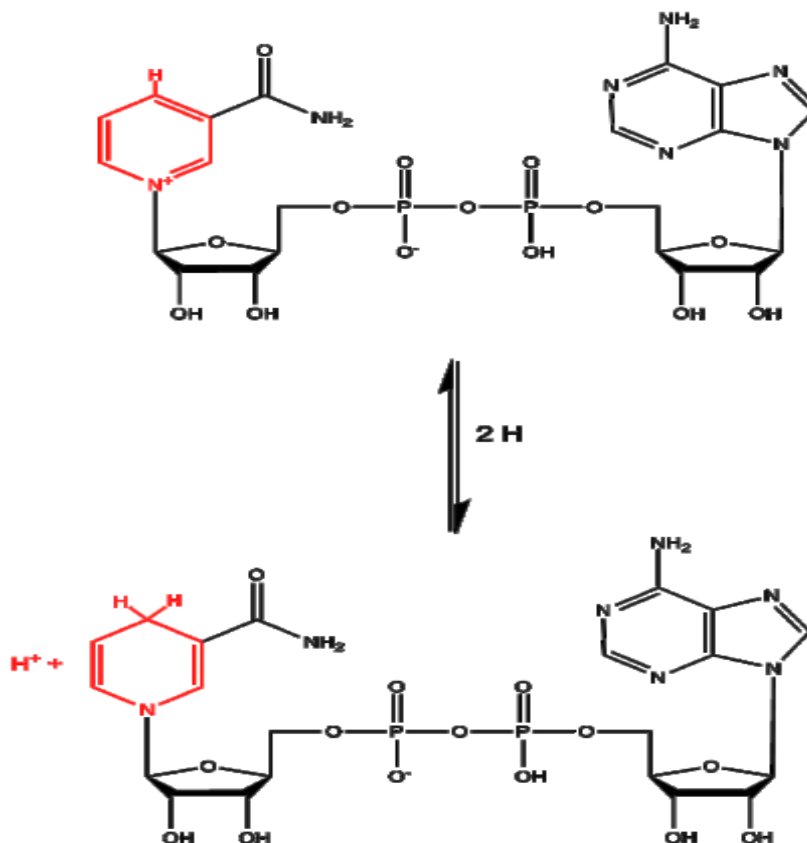
Kromě toho fosforečnanů slouží i k uchování a přenosu energie v živých organismech. Jedná se o makroenergetické vazby mezi jednotlivými fosforečnanovými skupinami v molekule sloučenin adenosindifosfátu (ADP), ten má jednu makroenergetickou vazbu, a především také adenosin trifosfátu (ATP), který takové vazby obsahuje dvě, viz obrázek č. 2. Odštěpením fosforečnanové skupiny z ADP, nebo ATP se uvolní energie, naopak k navázání fosforečnanového zbytku je nutné zase energii vynaložit [1,2].

Obecně lze říci, že tam, kde se energie spotřebovává, tedy u anabolické reakce, dochází k rozpadu molekuly ATP, odštěpují se fosforečnanové skupiny za současného uvolnění tolik důležité energie z makroenergetické vazby. Naopak u katabolických, rozkladných, reakcí metabolismu energie vzniká. Tato se pak uchovává v makroergních sloučeninách, např. právě ATP [7].



Obr. 3. Adenosin trifosfát [8]

Bez fosforečnanů by v organismech nemohly probíhat základní a velmi důležité metabolické dráhy jako je glykolýza, při níž se mimo jiné právě díky fosforečnanu zpracovává glukóza až na pyruvát. Dráha je společná jak pro aerobní, tak i pro anaerobní organismy. Fosforečnanů dále najdeme i v Krebsově cyklu a dýchacím řetězci, kde se ve velké míře uplatňují koenzymy oxidoreduktáz, nikotinamidadenindinukleotid, nikotinamidadenindinukleotidfosfát (NAD, NADP), flavinadenindinukleotid a flavinadenindinukleotidfosfát (FAD, FADP) a řady jiných reakcí [7].



Obr. 4. Oxidovaná a redukována forma NAD [9]

Tvrdé oblasti kostí a zubů se skládají z kolagenu, což je bílkovina, která obsahuje polymer fosforečnanu vápenatého (hydroxyapatitu), jenž jim dodává pevnost [7].

### 1.3 Průmyslová výroba

Anorganické fosforečnany se v čisté podobě v přírodě takřka nevyskytují, nejčastěji je najdeme v minerálu apatit, který kromě samotných fosforečnanů obsahuje i další atomy či skupiny atomů jiných prvků. Z toho vyplývá, že fosforečnany pro potravinářské účely nezískáme těžbou samotné horniny [1,2].

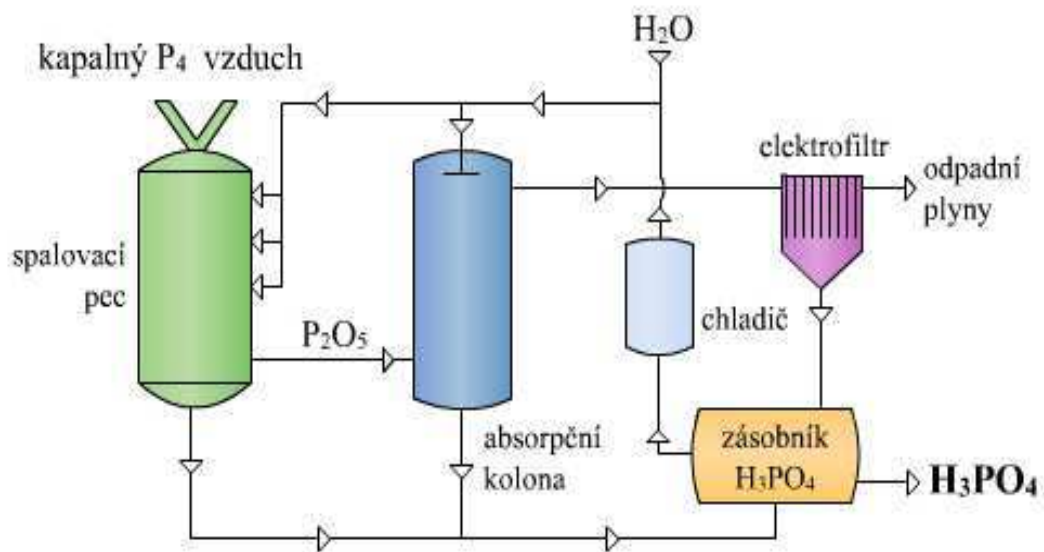


*Obr. 5. Krystal apatitu [10]*

Průmyslově jsou ve významných množstvích vyráběny sodné, draselné, amonné a vápenaté fosforečnany. U všech níže uvedených postupů je výchozí surovinou kyselina fosforečná, a protože se tato látka v přírodě jako taková nevyskytuje, je nutné ji nejprve vyrobit. Rozlišujeme dva způsoby přípravy kyseliny fosforečné, a to jednak výrobu termickou, a dále extrakční, která je také nazývána výrobou na mokré cestě [1,2,3,4].

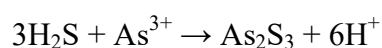
### **1.3.1 Termická výroba kyseliny fosforečné**

Termická výroba vychází z elementárního fosforu a produkuje koncentrovanou a velmi čistou kyselinu. Nejprve je tedy zapotřebí získat samotný fosfor. K tomu, abychom z horniny izolovali tento prvek, musíme použít velmi silného redukčního činidla, což je třeba uhlík. Jako jeho zdroj nám poslouží koks, tedy téměř 100% uhlík bez ostatních cizích příměsí, které bychom jinak v obyčejném černém uhlí našli. Vyrobený fosfor dále vstupuje jako výchozí surovina pro syntézu kyseliny fosforečné [1,2,3,4].



Obr. 6. Výroba kyseliny fosforečné - termický způsob [11]

Kyselina získaná termickou cestou je velmi čistá a obsahuje jen stopová množství prvků přítomných ve spalovaném fosforu. Výjimku představuje arzen, který vždy doprovází fosfor. Jeho koncentrace se v termické kyselině fosforečné pohybuje v rozmezí 5 až 30 ppm. Pro použití kyseliny v potravinářství je třeba arzen odstranit, tj. kyselinu dearzenizovat. Vychází se z toho, že arzen tvoří se sulfidovými ionty špatně rozpustnou sraženinu sulfidu arzenitého  $\text{As}_2\text{S}_3$ . Do roztoku kyseliny fosforečné se tedy dává ve vodě dobře rozpustný sulfid sodný  $\text{Na}_2\text{S}$ , vzniká sulfan, který s arzenem reaguje pomocí následujícího schématu.



Na podobném principu se lze zbavit i olova nebo antimonu. Směs sraženiny a kyseliny odtéká do spodní části flotační nádrže, kde postupně dochází k vyflotování kalu na hladině, kal je odfiltrován na náplavových filtrech. Čistá kyselina je zbavována zbytků nezreagovaného sulfanu v části provzdušňovací kolony procházejícím vzduchem. Vytěsněné zbytky sulfanu jsou absorbovány v roztoku hydroxidu sodného, roztok je zpět použit v technologickém procesu. Čistá kyselina je vedena do provozního zásobníku, odkud je čerpána do skladovacích zásobníků [12].

### 1.3.2 Výroba kyseliny fosforečné extrakční metodou

Extrakční výroba  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , která je založená na rozkladu přírodního fosforečnanu minerální kyselinou, nejčastěji  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , poskytuje zředěnou a znečištěnou kyselinou. Z ekonomických

důvodů se ovšem velká většina (95 % veškerého množství) kyseliny fosforečné vyrábí na mokré cestě [1,2,3,4].

### 1.3.3 Výroba fosforečnanů

Všechny tři sodné fosforečnany, tedy  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  a  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , se vyrábí neutralizací  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , sodou nebo louhem sodným. K přípravě  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  je třeba použít  $\text{NaOH}$ , aby bylo dosaženo požadované pH. Ochlazením zneutralizovaného roztoku vykristaluje příslušný fosforečnan jako hydrát, který se dále separuje na odstředivce. K získání bezvodé soli je třeba odstranit krystalovou vodu z hydrátu kalcinací v rotační peci. Další možností je zvolit postup založený na uvádění roztoku fosforečnanu přímo do rozprašovací sušárny.

Draselné fosforečnany jsou s výjimkou  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  více rozpustné ve vodě než jejich sodné ekvivalenty. Vyrábí se neutralizací kyseliny fosforečné hydroxidem draselným a následnou ochlazovací krystalizací nebo vysušením roztoku.

Fosforečnany amonné se vyrábí neutralizací kyseliny fosforečné amoniakem a následnou krystalizací nebo odpařením roztoku [1,2,3,4].

Z fosforečnanů vápenatých se vyrábí  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  jako bezvodá sůl nebo jako monohydrát. Kyselina fosforečná se v míchaném reaktoru neutralizuje vodnou suspenzí, směsí  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaCO}_3$  nebo  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Výsledná hustá suspenze je potom vysušena a rozemleta, případně sušena na rozprašovací sušárně. Hydrogenfosforečnan vápenatý tvořící dihydrát  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  a bezvodou sůl  $\text{CaHPO}_4$  je vyráběn v množství přesahující 2 miliony tun ročně. Opět se vyrábí neutralizací kyseliny fosforečné. Pokud je teplota během neutralizace udržována pod  $40\text{ }^\circ\text{C}$ , dostaneme suspenzi dihydrátu, jestliže je ale teplota reakce nad  $40\text{ }^\circ\text{C}$ , vzniká bezvodá sůl. Pokud jde ovšem o jeho krmnou variantu, tak ta se připravuje z kyseliny fosforečné vyrobené na mokré cestě vyčištěné částečnou neutralizací  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , kdy se fluor vyloučí ve formě  $\text{CaF}_2$  a železo s hliníkem jako nerozpustné fosforečnany, eventuálně se přítomný hexafluorokřemičitan vysráží přidávkem rozpustné sodné či draselné soli. Takto vyčištěná kyselina se smísí se odpovídajícím množstvím  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  nebo  $\text{CaCO}_3$  a vzniklý hydrogenfosforečnan vápenatý se vysuší a rozemele [1,2,3,4].



## 2 VÝZNAM FOSFOREČNANŮ V MASNÝCH VÝROBCÍCH

Fosforečnany zastávají v mase a produktů z něj vyrobených několik důležitých funkcí. Především se jedná o úpravu pH a vaznosti masa, odštěpování některých kovových kationtů, změnu polaritu prostředí a mírný antibakteriální účinek. Protože fosforečnany svým významem dalece přesahují masný průmysl, jsou u jednotlivých skupin uvedeny příklady jejich užití při zpracování jiných potravin.

### 2.1 Technologické vlastnosti fosforečnanů

Fosforečnany, které se používají jako aditiva do masných výrobků, jsou z podstaty svého složení výhradně zásadité povahy. Ať už mluvíme o sodných nebo draselných solích, jde vždy o látku vzniklou z velmi silné báze (hydroxidu, zásady) a z hlediska protolytických vlastností (pH) nesrovnatelně slabší kyseliny. Taková látka se pak v oblasti pH neprojevuje neutrálním pH, právě naopak, silnější zásaditá složka převažuje nad slabší kyselou částí. Vpravíme-li takový fosforečnan do mírně kyselého prostředí, které panuje v mase, vede to k nárůstu pH ve vnitřním prostředí masných výrobků. Proto jsou bílkoviny schopny vázat větší množství molekul vody. Zvýšením pH totiž dochází k posunu od izoelektrického bodu a k nárůstu elektrostatických sil. V důsledku působení těchto sil se vytváří větší prostor mezi aktinovými a myozinovými vlákny a v tomto prostoru může být následně vázáno větší množství vody [13,14,15,16].

Na zvýšení vaznosti masa jsou nejvíce využívány směsi monofosforečnanů, méně je vhodné použití kondenzovaných fosforečnanů, nejlépe difosforečnanů, protože fosforečnany s vyšším počtem fosforečnanových skupin vaznost vody v mase ovlivňují naprosto minimálně, přesněji řečeno prakticky vůbec. Aplikace fosforečnanů je technologicky velmi důležitá pro udržení dobré kvality masa po delší dobu. Tím, že pomáhají vázat vodu, se daří udržovat v masných výrobcích stabilní pH a barvu masa po porážce [14,17].

Dalším důležitým faktorem využití fosforečnanů při výrobě masných výrobků je jejich schopnost snížit vliv  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$  iontů na strukturu masa. Uvedené kovové kationty vytvářejí s fosforečnany komplexní sloučeniny. To je velmi důležité, jelikož vazba s vápenatými a hořečnatými kationty přispívá k oddělení aktinu a myozinu, dojde k vytvoření můstku mezi vlákny v aktinu a myozinu po fázi posmrtné ztuhlosti. Právě toto odštěpení a následné navázání kovových kationtů fosforečnany opět žádoucím způsobem

ovlivňuje zvýšení vaznosti masa a masových výrobků, přispívá k udržení měkké konzistence výrobku a dlouhodobého udržení stálé barvy produktu [14,17,18,19,20].

Kromě fosforečnanů se do masových výrobků přidávají i jiné, další soli. Tyto látky mají za úkol razantně zlepšit schopnost proteinů navýšit svůj objem v důsledku navázání molekul vody. Samotné fosforečnany sice k aktivování proteinů přispívají minimálně, ale význam tkví v tom, že odstraňují vazby mezi aktinem a myozinem, a tím zvyšují jejich rozpustnost. Z uvedeného vyplývá, že aplikací fosforečnanů a solí současně jsou proteiny v mase aktivovány a stávají se rozpustnými. Fosforečnany ani další soli sice tedy bílkoviny nerozpouštějí, ale jejich vhodnou kombinací a správným použitím se proteiny stávají rozpustnými. Na takové bílkoviny se dobře váže voda. Mimo rozpustnost bílkovin působí směs fosforečnanů a dalších solí příznivě na lepší rozptýlení, mísení tuků s kapalinami polárního charakteru, například s vodou (emulgace). Fosforečnany zpomalují růst některých grampozitivních bakterií [14,17,18,21,22,23,24,25].

Vzhledem ke svým vlastnostem jsou nejvíce využívány difosforečnany, především sodné. Mají vysokou hodnotu pH, jsou velmi účinné při výše popsané aktivaci bílkovin a jejich rozpustnosti. Nevýhodou difosforečnanů je jejich velmi špatná rozpustnost, proto se při zpracování masných výrobků míchají s polyfosforečnany, které nedostatek v míře rozpustnosti kompenzují. Zároveň ale směs neztrácí nic z vlastností difosforečnanů v oblasti zpracování masa, pro které jsou tolik ceněné [13,17,22].



Obr. 7. Šunka standardní, příklad aplikace fosforečnanů [26]

## 2.2 Přehled používaných fosforečnanů

V potravinářství se významně uplatňují kromě samotné kyseliny fosforečné  $H_3PO_4$  především její draselné a sodné soli. Jedná se o soli přímo této látky, případně o produkty jejich kondenzovaných forem, kyseliny difosforečné, trifosforečné [1,2,17,27].

### 2.2.1 Kyselina trihydrogenfosforečná

Tato látka má v potravinářství vysoký podíl zastoupení. Množství použité  $H_3PO_4$  představuje 25 % množství všech použitých kyselin, což je způsobeno jejími dobrými vlastnostmi na poli okyselování a také relativně nízkou pořizovací cenou. Jedná se tedy o surovinu, která je nejenom levná, ale i žádaná pro své vlastnosti. Kyselina jako taková, především její koncentrovaná forma, je nežádoucí, zdraví škodlivá látka, protože dráždí pokožku a další sliznice. Nicméně v malých dávkách zdraví člověka neohrožuje. Své uplatnění našla při výrobě mléčných výrobků (sýrů), ztužených tuků, nápojů (Coca-Cola) a dalších. Jako kyselina stabilizuje potraviny tím, že znemožňuje reakce kovů s jinými látkami a navíc má schopnost posilovat antioxidační účinky jiných látek například v rostlinných tucích, uplatňuje se jako zdroj fosforu pro lidské tělo a pomáhá udržovat kyselé prostředí, což je důležité pro výrobu droždí [27].



Obr. 8. Kyselina trihydrogenfosforečná [28]

### 2.2.2 Fosforečnany sodné

- dihydrogenfosforečnan sodný  $NaH_2PO_4$
- hydrogenfosforečnan sodný  $Na_2HPO_4$

- fosforečnan sodný  $\text{Na}_3\text{PO}_4$

Dnes se v masném průmyslu používají takřka výhradně sodné fosforečnany, případně jejich draselné varianty. Nicméně celkově napříč celým oborem potravinářství mají široké uplatnění. Hojně se využívají jako stabilizátory a tavicí soli, a to ať již jde o fosforečnany, difosforečnany nebo i polyfosforečnany. Okyselují prostředí a zabraňují reakcím kovů v potravinách, zvyšují vaznost u masných výrobků. Kromě toho, že se používají v masných výrobcích a tavených sýrech, je dokonce najdeme jako náhražku mléka do kávy, součást kypřicích směsí, v práškových nápojích a dalších výrobcích [17,27].

Dihydrogenfosforečnan sodný má význam jako stabilizátor v mlékárenství. V tomto odvětví se cení i jeho pufrční schopnost. Jako konzervační prostředek se využívá v masném průmyslu. Účinně stabilizuje mikrobiální procesy a kyselost i v nápojích nebo zubních pastách [17,29].

Dihydrát hydrogenfosforečnanu sodného i jeho nehydratovaná forma nachází uplatnění jako emulgátor při výrobě sýra. Přidává se i k těstovinám, protože způsobuje zkrácení doby jejich vaření. Kromě toho se také přimíchává k odpařenému mléku a to z toho důvodu, aby zůstal zachovaný správný poměr iontů  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{PO}_4^{3-}$ . Tím se zabrání želatinaci mléčného prášku na kaši. Hydrogenfosforečnan mimo jiné také významným způsobem modifikuje škrob, stimuluje jeho schopnost tvořit stálý gel ve studené vodě, což je důležité u instantních pudinkových směsí.

Nicméně pro výše popsané vlastnosti je jeho hlavní využití při zpracování masa. Běžně se přidává k solance při nakládání šunky. Během vaření masa se méně uvolňují šťávy z masa a výrobek je pak jemnější a šťavnatější. Také se používají při výrobě fermentovaných masných výrobků, protože mají vysokou schopnost udržet hodnotu pH na stejné úrovni. Při výrobě fermentovaných masných výrobků není důležité vyvázání vody, ale důležitá je barva výrobku (zabránění šednutí) a loupateľnost salámů.

Fosforečnan sodný je opět dobrým emulgačním a pufrčním prostředkem, především se používá při výrobě tavených sýrů, masných výrobků a zpracování plodů moře [1,17,29].



*Obr. 9. Fosforečnan sodný [30]*

### **2.2.3 Fosforečnany draselné**

- dihydrogenfosforečnan draselný  $\text{KH}_2\text{PO}_4$
- hydrogenfosforečnan draselný  $\text{K}_2\text{HPO}_4$
- fosforečnan draselný  $\text{K}_3\text{PO}_4$

Draselné soli mají velmi podobné vlastnosti jako výše popsané sodné soli. Z toho pramení i způsob jejich aplikace a využití, jež je úplně totožné s uplatněním předchozí skupiny fosforečnanů. To znamená, že se používají opět na úpravu kyselosti, brání nežádoucím reakcím kovů, které, ač jsou v potravinách (maso nevyjímaje) přítomné ve stopových množstvích, negativně ovlivňují kvalitu výsledného výrobku. Kromě toho při výrobě masných výrobků zachycují v produktu jinak vytékající šťávy a dále mají výrazné uplatnění jako emulgátory a stabilizátory [17,27].

Nejčastěji se tedy s draselnými fosforečnany můžeme setkat v provozech na výrobu sýrů, masných výrobků a sypkých nápojů. Fosforečnany draselné dodávají tělu draslík a záměrně se využívají k obohacování potravin tímto prvkem [17,27,29].



Obr. 10. Fosforečnan draselný [31]

#### 2.2.4 Difosforečnany, trifosforečnany, polyfosforečnany

- dihydrogendifosforečnan sodný  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ , dihydrogendifosforečnan draselný  $\text{K}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$
- hydrogendifosforečnan sodný  $\text{Na}_3\text{HP}_2\text{O}_7$
- difosforečnan sodný  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ , difosforečnan draselný  $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$
- trifosforečnan pentasodný, trifosforečnan pentadraselný
- polyfosforečnan sodný, polyfosforečnan draselný

Různé difosforečnany mají dost podobné ne-li shodné vlastnosti. Proto je využití těchto sloučenin velmi podobné. Hojně se používají do masných výrobků, kde zvyšují vaznost šťáv, jež by jinak při zpracování masa vytekly, upravují pH a rovněž brání nežádoucím reakcím přítomných kovů. Do některých masných výrobků se přidávají, poněvadž působí jako emulgátory. Pro vyrobení taveného sýra jsou zapotřebí, protože zajišťují funkci stabilizátorů a také jako tavicích solí. A konečně najdeme difosforečnany i v kypřicích prášcích do pečiva a perníku.

Dihydrogendifosforečnan sodný najdeme v kypřicích prášcích do pečiva, jelikož napomáhá vylučování oxidu uhličitého, který následně nakypří těsto. Využívá se jako tavicí sůl sýrů a při průmyslové výrobě bramborových lupínek. Difosforečnan sodný se kromě masa a ryb používá jako emulgační a pufrační činidlo v sýrařství. Kromě toho usnadňuje želatinaci, toho se využívá v instantních přípravcích, např. v pudincích. Stejně jako ostatní fosfosforečnany, tak i trifosforečnany zabraňují nežádoucím reakcím přítomných kovů. Využívají

se ale i kvůli své schopnosti vázat a zadržovat vodu v masných výrobcích, kam se také nejčastěji přidávají. Polyfosforečnany se přidávají do masných výrobků pro svou schopnost vázat a zadržovat vodu a také jako tavicí soli do tavených sýrů. Trifosforečnan sodný je opět v masném průmyslu použit jako emulgátor a pufr. Současně slouží i pro úpravu krmiv hospodářských zvířat. Draselná varianta má totožné vlastnosti a tím pádem i stejné uplatnění [17,27].

Nejčastěji se difosforečnany, trifosforečnany a polyfosforečnany míchají do předem připravených směsí tak, aby se maximálně vyzdvihly nejlepší vlastnosti jedné skupiny, naopak negativa jsou kompenzována přidávkem jiného typu fosforečnanů. Takové směsi lze poté použít při nízkých teplotách jako nástřikové soli jakostních šunek. Samotný trifosforečnan sodný je celkem špatně rozpustný, ale v kombinaci s difosforečnany se rozpustnost zvyšuje. Pro nástřik mražené drůbeže se nejvíce osvědčila směs trifosforečnanů a polyfosforečnů. Kromě nástřiku lze směsi přidat i do rozmělněných masných výrobků jako tzv. kutrovací soli. Podle typu masa, jeho zpracování, manipulace a skladování se volí ideální varianta složení soli. U ryb a plodů moře se směsi solí aplikují, aby se zabránilo vysychání masa, kvůli inhibici sensorických změn, které by se jinak mohly projevit a negativně ovlivnit kvalitu výrobku [17,29].

Tab. č. 1: Porovnání vlastností u fosforečnanů [17,27,29]

sledovaná vlastnost	rozpustnost ve vodě	stabilita pH	vaznost vody	vaznost iontů
typ				
monofosforečnany	nízká	velmi dobrý pufr	nízká	nízká
difosforečnany	nízká	dobry pufr	vysoká	nízká
trifosforečnany	dobrá	slabý pufr	nízká, vysoké ztráty při vaření	vysoké
polyfosforečnany	vysoká	slabý pufr	nízká	velmi vysoká

### 2.2.5 Minoritně využívané fosforečnany

Dihydrogenfosforečnan vápenatý  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , hydrogenfosforečnan vápenatý  $\text{CaHPO}_4$  a fosforečnan vápenatý  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  se používají k úpravě vlastností těsta, upravují pH a zabráňují nežádoucím reakcím kovů v potravinách. Navíc působí i jako stabilizátory, kypřicí a protispékavé látky a v koření nebo dalších sypkých směsích, se s nimi setkáme ve formě protihrudkujících látek. Jako zpevňujících látek se jich využívá v ovocných a zeleninových konzervách a dále jsou přítomny v pekařských výrobcích, cereálních výrobcích, zavařeninách, dezertech, soli, koření, živočišných tucích a v žele. Fosforečnany vápenaté jsou dobrým zdrojem vápníku, proto se také za tímto účelem do potravin přidávají.

Dihydrogenfosforečnan amonný  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , hydrogenfosforečnan amonný  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  a fosforečnan amonný  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$  zlepšují vlastnosti těsta a účinkují jako kypřicí látky a látky, které jsou schopny regulovat pH. Používají se v pekařských výrobcích, alkoholických nápojích, dezertech, kypřicím prášku a v margarínech. Nicméně ve výrobcích určených pro český trh bychom se s nimi setkat neměli, jelikož v České republice nepatří amonné fosforečnany na seznam povolených přídatných látek. Ale například ve Spojených státech amerických jejich používání zakázáno není.

Dihydrogenfosforečnan hořečnatý  $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , hydrogenfosforečnan hořečnatý  $\text{MgHPO}_4$  fosforečnan hořečnatý  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  upravují pH a účinkují jako stabilizátory. Fosforečnan hořečnatý působí jako zdroj magnézia. V České republice se fosforečnany hořečnaté nesmějí používat jako přídatné látky v potravinách. V EU se v současné době zvažuje jejich přidání na seznam povolených přídatných látek a v USA je jejich použití v potravinách povoleno.

Podobně jako ostatní fosforečnany se i sodnohlinitá sloučenina využívá pro schopnost regulovat pH výrobku. Dále nachází uplatnění jako kypřidlo, protispékavá látka a emulgátor například v sypkých směsích pro výrobu sladkých těst.

Přítomný hliník je neurotoxický prvek, který je často spojován s Alzheimerovou chorobou. Český spotřebitel by se ale s touto látkou neměl na zdejším trhu setkat, jelikož je její přidávání v České republice zakázáno, naopak v USA se používat smí.

Glycerofosforečnan vápenatý se používá jako stabilizátor a součást prášku do pečiva. Tato sloučenina slouží jako zdroj vápníku, obohacují se jím tedy potraviny za účelem zvýšení obsahu vápníku. V České republice se nesmí používat jako aditivum, ale v USA je jeho použití v potravinách schváleno [27].



Fosfát škrobu vzniká vzájemnou reakcí škrobu s kyselinou fosforečnou nebo samotnými fosforečnany. Používá se jako zahušťovací látka a stabilizátor a jelikož na rozdíl od běžných škrobů mu nevádí neustále zmrazování a rozmrazování, tak jej najdeme především ve zmražených pokrmech. Fosfát škrobu se v těle rozkládá zpět na fosforečnan a škrob, tedy na produkty původní reakce, které se tráví stejným způsobem jako normální škrob. Vyšší dávky takto modifikovaného škrobu by mohly vychýlit rovnováhu mezi vápníkem a fosforem v lidském těle.

Dalším zástupcem skupiny je zesíťovaný fosfát škrobu. Ten je po nabobtnání, v podstatě zhoustnutí, stabilnější než standardní škroby. Využívá se jako zahušťovadlo a stabilizátor například v salátových zálivkách či dětských výživách. Nespornou výhodou proč sáhnout po tomto aditivu je, že je schopno udržet složky pokrmu ve směsi po uvaření. Navíc je odolné vůči zmrazení a následnému rozmrazení a během tepelné sterilizace výrobku.

Fosfát zesíťovaného fosfátu škrobu se používá jako stabilizátor a zahušťující látka. Během trávení látky se do organismu uvolňuje malé množství fosforečnanů. I zde je možné narazit na problém společný pro všechny látky obsahující fosforečnany, tedy že při vyšší konzumaci výrobků, které je obsahují a nevyvážené stravě, může negativně ovlivňovat poměr obsahu fosforu a vápníku.

Acetát zesíťovaného fosfátu škrobu má totožné uplatnění jako fosfát zesíťovaného fosfátu škrobu. Mluvíme o něm opět jako o stabilizátoru a zahušťující látce. Setkáme se s ním například v pekařských a cukrářských výrobcích.

Hydroxypropylether zesíťovaného fosfátu škrobu nejčastěji najdeme v mražených výrobcích, protože je stabilní za nízkých teplot. I tato forma fosfátu plní funkci stabilizátoru a zahušťovadla [27].

### 2.3 Vady masných výrobků způsobené fosforečnany

Fosforečnany jsou ze své podstaty krystalické látky, což mimo jiné znamená, že pokud se k tomu naskytne vhodné podmínky, vyloučí se do okolního prostředí ve formě bílých, případně našedlých krystalků. Čím větší je v masných výrobcích přídavek fosforečnanů, tím se zvyšuje pravděpodobnost jejich vykrystalování na povrchu. Fosforečnany se na povrchu objeví tehdy, když dojde k přesycení těmito látkami ve výrobku. Samozřejmě hodně závisí na koncentraci fosforečnanů, tedy jaké množství fosforečnanů bylo při výrobě použito, dále také na teplotě a i na vlhkosti, a to nejen ve výrobku, ale stejně tak i v jeho okolí.

Závislost na koncentraci je poměrně jasná, čím je fosforečnanu více, tím je pravděpodobnější, že vykrystalizuje i na povrchu. Teplota ovlivňuje rozpustnost fosforečnanů následně. Když klesá teplota, klesá i hmotnost rozpuštěného aditiva a naopak. Současně je důležité vzít v úvahu i vliv dalších, jiných přidaných látek, například soli. Sodné ionty totiž usnadňují krystalizaci fosforečnanů. Tvorba fosforečnanových krystalů také vytváří písčitou texturu výrobků. Pokud kolísá mikroklima (teplota, relativní vlhkost vzduchu) kolem masných výrobků, dochází ke změnám na jejich povrchu. Například pokud je zchlazený výrobek přenesen z chlazeného prostoru do prostředí s vyšší teplotou, kdy dojde ke kondenzaci vody na povrchu. V této vodě se rozpouští soli z masného výrobku, a to jak chloridy, tak hlavně fosforečnany. Následným odpařením vody a ochlazením se překročí rozpustnost zejména fosforečnanů, které pak vykrystalizují v podobě bílého povlaku. K tomuto efektu dochází nejen na trvanlivých salámech, ale může se objevit i na tepelně opracovaných výrobcích jako jsou špekáčky nebo párky [32, 33].



*Obr. 11. Výkvět fosforečnanů [34]*

### 3 VLIV FOSFOREČNANŮ V POTRAVINÁCH NA LIDSKÝ ORGANISMUS

V této práci bylo už v dřívější kapitole uvedeno, že fosfor je důležitou strukturální součástí buněk (nukleové kyseliny, fosfolipidy) a kostní tkáně (hydroxyapatit), významně se uplatňuje při uchovávání energie ve formě makroergních sloučenin (ATP), plní funkci při regulaci enzymové aktivity (fosforylace, defosforylace enzymů) a v krvi a moči se uplatňuje jako pufr [35,36,37].

#### 3.1 Metabolismus fosforečnanů

Metabolismus fosforu, nebo přesněji fosforečnanů, protože v organismu se tento prvek nevyskytuje samostatně ale právě ve formě skupiny s atomy kyslíku, je velmi úzce spjatý s metabolismem vápenatých iontů. Ne náhodou se tento mechanismus nazývá společným jménem kalciofosfátový metabolismus [35,36,37].

Fosforečnany jako takové nejsou pro tělo škodlivé, ale jejich zvýšená konzumace má svá úskalí. Většina lidské populace přijímá dostatek fosforu každý den ve své stravě, nicméně při zvýšené konzumaci potravin bohatých na fosfor hrozí přebytek tohoto prvku v těle, což je velmi nebezpečné. Typickým příkladem potravin bohatých na fosfor jsou nápoje okyselené kyselinou fosforečnou, např. Coca-Cola, Pepsi Cola aj. Jejich častá konzumace má za následek mimo jiné právě zvýšení obsahu fosforečnanů nad žádoucí množství. Takový fosfor je pro tělo škodlivý a je potřeba, aby se jej organismus zbavil. To je realizováno tak, že lidé vylučují fosfor ve formě fosforečnanu vápenatého. Úskalí je ovšem v tom, že to má za následek úbytek kostní hmoty a měknutí kostí, poněvadž vápenaté ionty jsou vyplavovány právě z kostní tkáně.

Dalším zajímavým faktem, především pro vegetariány a vegany, je i to, že fosforečnany snižují schopnost vstřebat železo z rostlinných zdrojů. Lidé, kteří jedí maso a další produkty ze zvířat, přijímají železo z této stravy, ale pro ty, kteří ze svého jídelníčku vyřadili maso a ostatní živočišné produkty, by mohl zvýšený příjem fosforu představovat problém i z tohoto hlediska. Toto je obecný princip, který lze přiřadit každému fosforečnanu nehledě na počet fosforečnanových aniontů, nebo na druh kovového prvku, jehož kation je ve sloučenině vázán [17,27].

Fosfor je nepostradatelnou součástí buněk, protože v podobě strukturální složky podílí na stavbě DNA, RNA, fosfolipidové vrstvy a také jej ve formě hydroxyapatitu najdeme

v kostní tkáni. Fosforečnany jsou schopny vytvářet makroergní sloučeniny, například adenosintrifosfát. Schopnost estericky vázaných fosforečnanů vytvářet makroenergetické vazby se významně uplatňuje v metabolismu živých organismů. Kromě toho plní i funkci při regulaci enzymové aktivity, u enzymů tak dochází k jejich fosforylaci a naopak k defosforylaci. V neposlední řadě se v krvi a v moči ve formě hydrogenfosforečnanů a dihydrogenfosforečnanů uplatňuje fosfor jako pufr. Pufr obecně je látka, která pomáhá v daném prostředí udržovat stále acidobazické prostředí (pH) a vyrovnává jeho nenadálé výkyvy.

Člověk denně ve stravě přijme zhruba 1000 mg fosforu. V tenkém střevě se vstřebá mezi 70 a 80 %. Množství absorbovaného fosforu je poměrné k jeho obsahu v potravě a částečně je vstřebávání také regulované hormonem kalcitriolem. I přestože je největší podíl fosforu vylučován prostřednictvím ledvin, k odvádění fosforu z těla ven slouží částečně i tenké střevo, které odstraní okolo 100 mg denně. Množství fosforu vyloučeného ledvinami je pod kontrolou parathormonu, který reguluje homeostázu, stálost vnitřního prostředí, fosforu. V těle člověka dělíme fosfor na intracelulární a extracelulární. Celkový obsah fosforu v těle je přibližně 700 g. Většina je vázaná anorganicky (extracelulárně), jde přibližně o 80 % z celkového množství. Myslí se tím kostní a zubní hmota, kde je fosfor vázaný ve formě hydroxyapatitu. Ve svalech a viscerálních orgánech jeho množství kolísá mezi 10 a 20 %, v extracelulární tekutině je zastoupen okolo 1,0 %.

Intracelulární fosfor je převážně ve formě organických esterů kyseliny fosforečné. Fosforečnany jsou nejhojněji zastoupenými intracelulárními anionty. Mezi extracelulárním a intracelulárním prostorem probíhá neustálá výměna fosforečnanů, která může ovlivňovat jejich koncentraci. Do intracelulárního prostoru se fosforečnany přesouvají zejména při jejich zapojení do metabolismu glukózy.

Hospodaření těla s vápenatými a fosforečnanovými ionty regulují tři hormony. Jde o parathormon, kalcitriol a kalcitonin. Parathormon je produkován v příštítných tělískách. Jeho vylučování do krevního řečiště je zahájeno tehdy, když je v krevním séru nízká hladina fosforečnanových aniontů [35,36,37].

Kalcitriol je v podstatě nadvakrát oxidovaný vitamin D. Ve své aktivované (oxidované) formě vitamin D řídí ukládání vápníku a fosforu do kostí v podobě hydroxyapatitu. Z rostlinné stravy člověk přijímá vitamin D<sub>2</sub>, ergokalciferol. Naopak vitamin D<sub>3</sub>, cholekalciferol, je živočišného původu, do těla se tedy dostává buďto se stravou, nebo vzniká z 7-

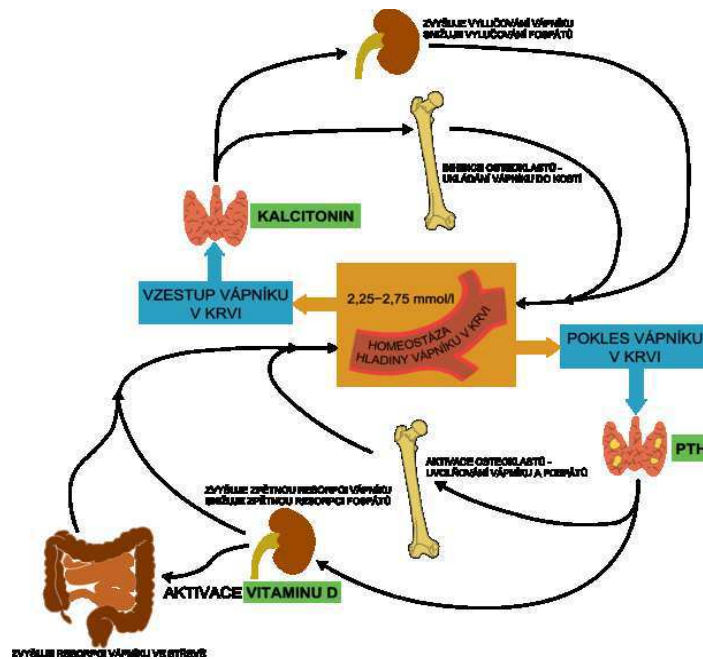
dehydrocholesterolu, který je uložen v kůži, ale až poté co na něj dopadne UV záření. Oba vitaminy poté procházejí dvojnásobnou oxidací, nejprve na kalcidiol a pak kalcitriol. Vitamin D je rozpustný v tucích, to znamená, že může snadněji dojít k jeho nadměrnému hromadění, protože na rozdíl od vitaminů rozpustných ve vodě se nevyklučuje tak snadno. Při hypervitaminóze může opět dojít k demineralizaci kostí.

Kalcitonin je hormon produkováný buňkami štítné žlázy. Jedná se, stejně jako v případě kalcitriolu, o antagonistu parathormonu. Snižuje hladinu fosforu a vápníku v krevním séru a ukládá je do kostní tkáně, případně zvyšuje jejich množství vyloučeného ledvinami z lidského těla ven.

Vápenaté soli kyseliny fosforečné jsou hůře rozpustné ve vodě, dojde-li k překročení hodnoty součinu jejich rozpustnosti, začnou se z roztoku vylučovat jejich krystaly. Toho se využívá při ukládání v kostech, nicméně tato vlastnost může mít i negativní stránku. Tyto krystaly se na místo v kostech mohou shromažďovat v měkkých tkáních, například v ledvinách [35,36,37].

Tab. č. 2: Vliv hormonů na koloběh fosforu a vápníku [35,36,37].

orgán	střevo	ledviny	kosti	krev
hormon				
Parathormon	zvyšuje vstřebávání vápníku a fosforu	zvyšuje vstřebávání vápníku a tlumí resorpci fosforu	demineralizace, vyplavování iontů do krve	zvýšení $\text{Ca}^{2+}$ a $\text{PO}_4^{3-}$ v séru
Kalcitriol	zvyšuje vstřebávání vápníku a fosforu	zvyšuje vstřebávání vápníku a fosforu	mineralizace tkáně, demineralizace při vyšší koncentraci	snížení $\text{Ca}^{2+}$ a $\text{PO}_4^{3-}$ v séru
Kalcitonin	neovlivňuje	sníží vstřebávání vápníku a fosforu	mineralizace tkáně	snížení $\text{Ca}^{2+}$ a $\text{PO}_4^{3-}$ v séru



Obr. 12. Kalciofosfátový metabolismus [38]

## 3.2 Poruchy metabolismu fosforu

Hovoříme-li o nesprávném fungování zpracování fosforu lidským tělem, popisují se pak dva krajní stavy. Fosfor se v organismu hromadí a nevylučuje se, nastala tzv. hyperfosfatemie. Opačná situace, tedy hypofosfatemie, se odehrává tehdy, když je z těla fosfor vylučován ve větším množství, než je žádoucí.

### 3.2.1 Hyperfosfatemie

Za vznikem hyperfosfatemie nejčastěji stojí hypokalcémie, alkoholismus, hypoparatyreóza (nedostatečná tvorba parathormonu) a renální insuficience, což je selhávání ledvin, které tím pádem plnohodnotně neplní svoji funkci ve fosfátovém metabolismu.

O hyperfosfatemii hovoříme tehdy, přesáhnou-li hodnoty sérového fosforu, obsahu v krevním vzorku, hranici 1,37 mmol/l. Pro zdravého jedince je obvyklé, že je v jeho krvi obvyčně 0,9 až 1,3 mmol/l. Samotný nadbytek fosforu v krvi může být způsoben několika příčinami. Může například dojít ke zvýšené reabsorpci fosforu v ledvinách v důsledku dříve zmíněné hypoparatyreózy. Ohroženou skupinou jsou onkologicky nemocní pacienti, jelikož vlivem chemoterapie může docházet k nadměrnému vylučování tohoto prvku z buněk do extracelulární tekutiny. Jedinec se také může fosforem předávkovat, nicméně většinou se tento problém dotýká skupiny nemocných s neschopností fosfor ledvinami vy-

loučit. Léčba hyperfosfatemie spočívá především ve sníženém příjmu fosforu přímo ve stravě [35,36,39].

### 3.2.2 Hypofosfatemie

Hypofosfatemie nastává naopak, když hodnota v krevním séru klesne pod limit 0,7 mmol/l. Mezi příčiny vzniku této poruchy opět můžeme řadit špatnou funkci ledvin, dále hyperparatyreozeu. Stejně tak může potíže nastat v tom, že je samotný příjem fosforu ve stravě nedostatečný, případně zhoršení zpětného vstřebávání fosforu ve střevech, kde příčinou může být malabsorpční syndrom nebo nedostatek aktivní formy vitamínu D.

Velmi specifickou příčinou hypofosfatemie může být zvýšený přesun fosforu z extracelulární tekutiny do intracelulární, k čemuž může docházet u pacientů s popáleninami nebo rychle rostoucím nádorem [35,36,39].

### 3.2.3 Hyperkalcemie

U hyperkalcemie je hladina vápenatých látek v séru vyšší než 2,8 mmol/l. Za tímto stavem může stát nízký příjem fosforečnanů, nádorové onemocnění, nadprodukce parathormonu, případně hypervitaminóza vitamínu D. Nadbytek vápníku se projevuje bolestmi hlavy, vysokým krevním tlakem nebo kalcifikací měkkých tkání [35,36,39].

### 3.2.4 Hypokalcemie

O nedostatku vápenatých iontů hovoříme tehdy, pokud je koncentrace těchto iontů v krevním séru nižší než 2,14 mmol/l. Příčinou může být nadměrný příjem potravin bohatých na sloučeniny fosforu. Jelikož jsou oba prvky vylučovány současně, tak se zvýšené množství fosforu kompenzuje vylučováním fosforečnanu vápenatého. Kromě toho může mít vliv i dlouhodobá hypovitaminóza vitamínu D. Nižší množství prekurzoru kalcitriolu může být způsobena nízkým příjmem z potravy. Nutriční faktor ale nemusí být jediný, stejně tak se může jednat o poruchu při vstřebávání vitamínu. Další příčiny dysbalance vápníku mohou být způsobeny nemocí jater, ledvin, poruchou endokrinního systému. V posledním zmíněném případě nedostatečné produkce parathormonu se jedná o minoritní příčinu [35,36,39].

## 4 MOŽNOSTI NÁHRADY FOSFOREČNANŮ V MASE A MASNÝCH VÝROBCÍCH

Samotné fosforečnany se začaly používat ve snaze omezit přísun kuchyňské soli - NaCl. Masné výrobky jsou konzumovány velkou částí lidské populace. Právě jejich konzumace byla jednou z příčin zvyšování množství sodíku v organismu, což může vést k růstu krevního tlaku. Zavedením fosforečnanů se tedy snížila potřeba použití NaCl v masných výrobcích. Poněvadž se ale ani přidávání fosforečnanů do potravin neobejde u části lidské populace bez negativních vlivů na zdraví, tak se v oblasti výzkumu neustále zkoumají nové látky, které by mohly zastoupit fosforečnany v potravinách. Z předchozí kapitoly vyplývá, že hlavní riziko vysokého příjmu fosforečnanů spočívá ve snižování hladiny vápníku v krvi, který je tím pádem nutné pro udržení homeostázy vyplavit z kostí a zubů [13,36,40].

### 4.1 Hydrokoloidy

Jde o látky, které mají povahu vlákniny, tedy sacharidy (oligosacharidy, nebo polysacharidy), které lidské tělo nedokáže v tenkém střevě rozštěpit na jednoduché cukry, jež by byly sliznicí tenkého střeva vstřebány a dále metabolizovány. Z hlediska technologie je zajímavý ten fakt, že tyto látky mají podobně jako fosforečnany schopnost zadržet vodu i tuk. Hydrokoloidy, jako například guarová guma nebo karagenan, se již využívají při výrobě mléčných výrobků či mražených krémů.

Guma guar se získává ze semen rostliny *Cyamopsis tetragonolobus*. Nejvýznamější pěstitele najdeme na americkém kontinentu (konkrétně jde o Spojené státy americké) a v Asii, například Pákistán a Indie. Z hlediska výživy člověka řadíme gumu guar do rozpustné vlákniny, lidské tělo ji není schopné rozložit na jednoduché, stravitelné látky a odchází z těla se stolicí. S vodou guma vytváří roztoky vysoké hustoty a z toho pramení její další uplatnění. V potravinářském průmyslu se používá jako emulgátor, stabilizátor disperzí a zahušťovadlo v mražených výrobcích, v pečivu a smetanových krémech [27].





*Obr. 13. Guma guar jako náhrada fosforečnanů [41]*

Karagenan se získává z několika druhů mořských řas. Řasa *Chondrus crispus* (Irský mech) tvoří malé tmavě červené keříky a roste podél skalnatých pobřeží Irska, Anglie, Francie, Španělska a kanadského Ostrova Prince Edwarda. Řasy rodu *Euchema* rostou na korálových útesech Tichého oceánu. U břehů Chile rostou pak řasy rodu *Gigantina*, které dosahují výšky až pěti metrů. Karagenan účinkuje jako zahušťovadlo, želírující látka, emulgátor a stabilizátor. Stabilizuje mléčné výrobky, například brání oddělení čokolády v mléce. Zvyšuje objem pečiva a snižuje vstřebávání oleje ve smažených výrobcích. Stejně jako guma guar se používá v mražených krémech [27].

Hlavními ukazateli toho, že je možné v masných výrobcích použít  $\kappa$ -karagenan či guarovou gumu, jsou pH, schopnost vázat vodu, vliv na mikrobiologickou aktivitu, velikost ztráty při vaření a v neposlední řadě i výsledky senzorických zkoušek.

Ohledně pH ukázaly výsledky u vzorků s testovanými náhradami signifikantní rozdíl oproti vzorkům masného výrobku s fosforečnany, kdy došlo k poklesu pH o 0,1 až 0,2 stupně. Obecně platí, že pokud v mase převládá zásaditější prostředí, bílkovina naváže a udrží více vody. I přestože je velikost pH významným faktorem, jenž ovlivňuje schopnost proteinu vázat vodu, tak s nižší velikostí pH při použití zkoumaných náhražek fosforečnanů nedošlo k významnému poklesu množství vázané vody v masných výrobcích. Navíc vzorky, v nichž byla použita guarová guma, vykazovaly nejvyšší míru vaznosti vody a současně nejmenší ztrátu po tepelné úpravě. A to nejen v porovnání s  $\kappa$ -karagenanem, ale i se vzorky

obsahující fosforečnany. Nicméně i vzorky s obsahem  $\kappa$ -karagenanu ve výši 0,5 % dosahovaly podobných hodnot v míře vaznosti vody a ztrátě při vaření jako při použití guarové gumy.

Oblastí, v níž zkoumané náhrady fosforečnanů zaostávají, je textura výrobku. Jde o nižší pevnost a tuhost výrobku, dále horší hodnoty vykazovaly i soudržnost a žvýkatelnost potravin. Nicméně pružnost výrobku náhradou fosforečnanů nijak ovlivněna nebyla. Nejnižších hodnot, co do texturních vlastností, vykazovala guarová guma. To ovšem jde ruku v ruce s právě již výše zmíněnou schopností vázat mnohem větší množství vody. Už nyní je v potravinářství hojně využívaná, nejen protože se velmi dobře rozpouští při širokém rozpětí teplot, ale protože je i stabilní při různých velikostech pH. Což není zcela vhodné pro želatinaci. Pokud jde tedy o využití v masných produktech, nabízí se jako nejvhodnější výrobek vepřové párky, kde je důležitá vaznost vody na úkor nižších parametrů texturních vlastností [42].

## 4.2 Škroby a oligosacharidy

Jako možné náhrady fosforečnanů byly zkoumány škroby izolované z kukuřice, rýže a hrachu. Hrachový a kukuřičný škrob byly porovnány současně s referenčním vzorkem masného výrobku, který byl bez přidaného škrobu. Princip testu spočíval v tom, že se postupně vytvořily sady vzorků na základě pravidla, že na každých 100 g masa se přidaly 3 g škrobu. K jednotlivým vzorkům masa se škrobem (hrachovým nebo kukuřičným) a k referenčnímu vzorku přidávala voda o stanoveném objemu. Na každých 100 g masa ve vzorku se buďto nepřidávala žádná další voda, nebo 20 či 40 g vody. Takto připravené vzorky se dále porovnávaly. Ať už se jednalo o škrob původem z hrachu nebo kukuřice, vykazovaly vzorky s přidaným škrobem i při největším přídávku vody dobrou vaznost. Nicméně u této sady bylo přece jen patrné vyšší uvolňování vody než u vzorků s menším přídávku vody. To se projevilo v nižší pevnosti, ale ostatní sensorické parametry (barva nebo vůně) ovlivněny nebyly [43].

Možnosti použití rýžového škrobu jako náhrady nejen fosforečnanů, nebo alespoň snížení jejich množství probíhaly ve vzájemném porovnávání a kombinování účinků samotného škrobu, dextrózy, frukto-oligosacharidů a polyfosforečnanů. Parametry použitých substancí vztažené k hmotnosti vzorku masa byly následující: přídavek polyfosforečnanů mohl být pouze v intervalu od 0 do 0,3 %, pro rýžový škrob platilo rozpětí od 0 do 1,2 %, dextróza se směla přidávat do 0,2 % a pro frukto-oligosacharidy byl limit do 3,0 %. Celkový přída-

vek škrobu s polyfosforečnany musel být alespoň 0,3 % nebo vyšší, pokud šlo o dvojici dextróza s oligosacharidy, byl stanoven minimální o přídavek ve výši 0,2 %. Dalším důležitým parametrem byla horní hranice pro sumu všech čtyř látek dohromady, v úhrnu nesměly překročit 3,3 %.

Výsledky poukázaly na možnost buďto částečné nebo úplně náhrady polyfosforečnanů a dextrózy směsí frukto-oligovacharidů a škrobu izolovaného z rýže. V případě senzoric- kých zkoušek je potřeba vzít v potaz horší hodnocení v oblasti vzhledu šunky, která obsa- hovala rýžový škrob a polysacharidy. Na druhou stranu mohou spotřebitelé ocenit snahu nahrazení fosforečnanů látkami zdravějšími i za cenu mírně odlišného vzhledu finálního výrobku [44,45].



Obr. 14. Rýžový škrob, možný nástupce fosforečnanů [46]

### 4.3 Zázvor

Snížení množství použitých fosforečnanů se testovalo s extraktem ze zázvoru. Maso bylo marinované ve výtažku z kořene zázvoru. Marináda byla připravena v různých koncentracích (1, 3, 5, 7 %) spolu s vitamínem C, 2 % chloridu sodného a 0,5 % polyfosforečnanů. Po ukončeném marinování, které probíhalo v různé délce od jednoho dne až po týden při chladírenské teplotě od 4 °C do -1 °C, se posuzovala vaznost vody. Nehledě na koncentraci zázvorového extraktu a délce marinování bylo maso jemnější (v důsledku lépe rozpuštěného kolagenu a maso obsahovalo více naštěpených bílkovin). Senzorické hodnocení poukázalo na šťavnatost, chuť, jemnost i barvu [47].

#### 4.4 Proteiny a enzymy

Mezi zkoumanými náhradami fosforečnanů se z této skupiny podařilo nalézt výzkum vepřové krevní plazmy, hydrolyzovaného hovězího proteinu nebo enzymu transglutaminázy.

Pro ověření, zda je vhodné použít do mělněných masných výrobků krevní plazmu z poražených prasat, se využilo možnosti porovnat vzorky masného výrobku s touto přidávanou substancí a klasicky připraveného výrobku, tedy s polyfosforečnany a případně i s kaseináty. Jediným hůře hodnoceným bodem sensorických zkoušek byla chuť a vůně. Vzorky s plazmou totiž podle hodnotitelů vykazovaly mírnou zvířecí pachut' a vůni, nicméně celkové výsledky hodnocení byly velmi dobré. V případě empirického zkoumání, například u vaznosti vody nebo následných ztrát při vaření, měly vzorky s plazmou srovnatelné hodnoty v porovnání se vzorky klasické receptury [48].

Další možnost náhrady fosforečnanů je v podobě hydrolyzovaného hovězího proteinu. Porovnávaly se vzorky, které obsahovaly 4,5 % fosforečnanu sodného s 3,6 % chloridu sodného v podobě referenčního vzorku, se vzorky které obsahovaly 5 % hydrolyzovaného proteinu a stejné hmotnostní zastoupení chloridu sodného jako u referenčního vzorku. Kromě sensorického zkoumání se sledovala především ztráta vody při skladování. V krátkém čase bylo u vzorků s hydrolyzovaným hovězím proteinem pozorováno menší množství vyloučené vody. Následně při delším skladování byly úbytky obou sad vzorků shodné, nicméně celkově byly ztráty vody u vzorků s hydrolyzátem nižší než s fosforečnanem. U sensorických zkoušek byla sice červená barva masa opatřeného hydrolyzátem hodnocena jako méně intenzivní, ale nejednalo se o nijak signifikantní rozdíl [49].

Při zkoumání transglutaminázy se porovnávaly a hodnotily tři vzorky, referenční vzorek pouze s NaCl (obsah 2 %), vzorek se stejným množstvím soli a 0,5 % polyfosforečnanů a poslední vzorek měl co do obsahu soli opět dvě procenta a tentokrát i 1,5% obsah enzymu transglutaminázy. Kromě sensorických zkoušek byly sestavy podrobeny také empirickému zkoumání. Stanovovala se míra vaznosti vody, vlhkost, nebo ztráty po tepelné úpravě smažením. Transglutamináza vyšla z testu se srovnatelnými výsledky jako polyfosforečnany, navíc ze sensorického posouzení vyšla ještě lépe. Vzorky s enzymem vykazovaly lepší vzhled a chuť [50].

## ZÁVĚR

Fosforečnany jsou látky, které se vyskytují v anorganické podobě ve formě různých variací minerálu apatit. Organické fosforečnany se podílejí na stavbě nukleových kyselin a buněk. Kromě toho jsou zapojeny v metabolických dějích, ať už mluvíme o uchovávání a přenosu energie nebo o samotných reakcích, ve kterých jsou fosforečnany například součástí koenzymů.

Anorganické fosforečnany mají vzhledem ke svému jedinečným technologickým vlastnostem v kombinaci s relativně snadnou a levnou dostupností velmi silnou pozici v oblasti aditiv nejen v masné výrobě, ale v potravinářském průmyslu jako takovém. Jejich výroba spočívá nejprve ve vytvoření kyseliny orthofosforečné a z ní pak následně příslušné soli. Z výroby obsahuje kyselina fosforečná řadu příměsí, například arzen. Ten je pro člověka toxický, proto je nezbytné jej z kyseliny určené pro potravinářské použití odstranit.

V masném průmyslu se fosforečnany používají pro dobrou schopnost vázat v mase více vody. Zvýšení vaznosti vody je důležité jak po stránce technologické, zlepšuje se tím totiž údržnost masa, tak i po stránce ekonomické. Zvýšení obsahu vody v mase fosforečnany ovlivňují více způsoby. Jedním z nich je, že vlivem přídavku fosforečnanů dochází k posunu hodnoty pH masa spíše do zásaditého spektra. Současně se ionty kovových prvků, například vápník, hořčík a železo, vyvazují pomocí fosforečnanů z myofibrilárních komplexů aktinu a myozinu. Do takto uvolněných struktur lze navázat další vodu. Kromě vaznosti masa fosforečnany ovlivňují mikroflóru masného výrobku, protože vykazují mikrobistatické účinky. A v neposlední řadě se fosforečnany v masných produktech používají jako emulgátory tuků, protože pomáhají zajistit rovnoměrné rozmístění tuku ve výrobku.

Úskalí fosforečnanů spočívá v jejich zvýšeném příjmu v potravě. Fosfor je bohatě zastoupen v ostatních potravinách, kde se vyskytuje přirozeně. Nadměrná konzumace fosforečnanů tak může vést k měknutí kostí, protože nadbytečné fosforečnany se z těla vylučují ve formě fosforečnanu vápenatého. Ionty vápníku pak chybí v kostní hmotě. Proto se hledají takové náhrady fosforečnanů v masných výrobcích, které by měly stejné technologické vlastnosti, ovšem s nižší zátěží kladenou na organismus. Výzkum probíhá v oblasti proteinů, škrobů, balastních látek, hydrokoloidů a enzymů. Na druhou stranu je potřeba přihlídnout i k faktu, že spotřebitelé jsou svým způsobem zvyklí na určité vlastnosti masných výrobků, které jim právě fosforečnany dodávají, a i když se jim testované náhrady velmi blíží, tak na drobné nuance konzumenti reagují konzervativně, s despektem.

Základem správného životního stylu je pestrá a vyvážená strava. V takovém případě se spotřebitel nemusí obávat řídnutí kostí, případně jiných, ať už slabších nebo silnějších projevů, vyššího přísunu fosforečnanů. Na druhou stranu u ne zcela zdravých jedinců nebo u lidí, kteří přijímají fosfor i z jiných zdrojů než jsou masné výrobky (např. kolové nápoje) může zvýšená konzumace fosforečnanů přinášet značná zdravotní úskalí. Minimálně už jen kvůli tomu je potřeba hledat možné náhrady fosforečnanů, ideálně s co nejpodobnějšími vlastnostmi v porovnání s fosforečnany. Současně je neméně důležitá finanční stránka, protože jen komerčně dostupné alternativy mohou mít dostatečnou sílu konkurovat aditivům dneška.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] GREENWOOD, N. N. a A. EARNSHAW. *Chemie prvků*. Praha: Informatorium, 1993. ISBN 80-85427-38-9.
- [2] REMY, H. *Anorganická chemie*. I. díl. 2. české vyd. Praha: SNTL - nakladatelství technické literatury, 1971.
- [3] KLIKORKA, J, B. HÁJEK a J. VOTINSKÝ. *Obecná a anorganická chemie*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985, 591 s.
- [4] KAMENÍČEK, J. *Anorganická chemie*. 4. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 316 s. ISBN 978-80-244-2387-6.
- [5] JIRKŮ, J. Kyselina trihydrogenfosforečná. In: Wikiskripta [online]. Česká republika: MEFANET, 2010 [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: [http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:Kyselina\\_trihydrogenfosfore%C4%8Dn%C3%A11.png](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:Kyselina_trihydrogenfosfore%C4%8Dn%C3%A11.png)
- [6] VSG2 - DNA a geny - model. Kiwi.mendelu.cz [online]. Brno: TGU, 2005 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://user.mendelu.cz/urban/vsg2/dna2/model.htm#>
- [7] MURRAY, R K. *Harperova Biochemie*. 23. vyd., (4. české vyd.), v H & H 3. Jinočany: H & H, 2002, ix, 872 s. Lange medical book. ISBN 80-7319-013-3.
- [8] Biochemie: Energetika biochemických dějů. Moje chemie [online]. 2016 [cit. 2016-02-03]. Dostupné z: <http://www.mojechemie.cz/Soubor:Atp.gif>
- [9] Nikotinamidadenin dinukleotid. Wikiskripta [online]. MEFANET, 2015 [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: [http://www.wikiskripta.eu/index.php/Nikotinamidadenin\\_dinukleotid](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Nikotinamidadenin_dinukleotid)
- [10] STAAB, R. Apatit Apatite Mineral Durango. In: Renes-Mineralienwelt [online]. 2016 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: [http://renes-mineralienwelt.de/Mineralien/Apatit\\_2314.html](http://renes-mineralienwelt.de/Mineralien/Apatit_2314.html)
- [11] Pred08\_KysFos.pdf. In: Vysoká škola chemicko-technologická [online]. 2015 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: [http://uchi.vscht.cz/uploads/pedagogika/ChTPI/Pred08\\_KysFosf.pdf](http://uchi.vscht.cz/uploads/pedagogika/ChTPI/Pred08_KysFosf.pdf)
- [12] DVOŘÁK, F. Významné strukturální změny ve vybraných oborech chemického průmyslu na území ČR: Od osmdesátých let až po současnost. Praha: VŠCHT, 2011.

- [13] ANJANEYULU, A.S.R., N. SHARMA a N. KONDAIAH. Evaluation of salt, polyphosphates and their blends at different levels on physicochemical properties of buffalo meat and patties. *Meat Science* [online]. 1989, 25(4), 293-306 [cit. 2016-01-17]. DOI: 10.1016/0309-1740(89)90047-8. ISSN 03091740. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0309174089900478>
- [14] LAMPILA, L. E. a J. P. GODBER. Food Phosphates. In A. L. Branen, P. M. Davidson, S. Salminen & J. H. T. III (Eds.), *Food Additives - 2nd edition*. New York: Marcel Dekker, Inc. 2002, s 809-896
- [15] PUOLANNE, E. J., M. H. RUUSUNEN a J. I. VAINIONPÄÄ. Combined effect of NaCl and raw meat pH on water-holding in cooked sausage with and without added phosphate. *Meat Science*. 2001, 58(1), s. 1-7.
- [16] YOUNG, O. A., S. X. ZHANG, M. M. FAROUK a C. PODMORE. Effect of pH adjustment with phosphates on attributes and functionalities of normal and high pH beef. *Meat Science*. 2005, 70(1), s. 133-139.
- [17] MOLINS, R. A. *Phosphates in Food*. Boca Raton: CRC Press, Inc. 1991
- [18] FEINER, G. *Meat products handbook practical science and technology*. Repr. Cambridge: Woodhead Publishing, 2006. ISBN 18-456-9050-8.
- [19] FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J., E. SAYAS-BARBERÁ, J. A. PÉREZ-ALVAREZ a V. ARANDA-CATALÁ. Effect of sodium chloride, sodium tripolyphosphate and pH on color properties of pork meat. *Color Research & Application* [online]. 2004, 29(1), 67-74 [cit. 2016-01-17]. DOI: 10.1002/col.10215. ISSN 03612317. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/col.10215>
- [20] INKLAAR, P. A. Interaction Between Polyphosphates and Meat. *Journal of Food Science* [online]. 1967, 32(5), 525-526 [cit. 2016-01-17]. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1967.tb00823.x. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2621.1967.tb00823.x>
- [21] KNIGHT, P. a N. PARSONS. Action of NaCl and polyphosphates in meat processing: Responses of myofibrils to concentrated salt solutions. *Meat Science* [online]. 1988, 24(4), 275-300 [cit. 2016-01-18]. DOI: 10.1016/0309-1740(88)90040-X. ISSN 03091740. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/030917408890040X>



- [22] OFFER, G. a J. TRINICK. On the mechanism of water holding in meat: The swelling and shrinking of myofibrils. *Meat Science* [online]. 1983, 8(4), 245-281 [cit. 2016-01-17]. DOI: 10.1016/0309-1740(83)90013-X. ISSN 03091740. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/030917408390013X>
- [23] XU, S. Q., G. H. ZHOU, Z. Q. PENG, i Y. ZHAO a R. YAO. The influence of polyphosphate marination on simmental beef shear value and ultrastructure. *Journal of Muscle Foods* [online]. 2009, 20(1), 101-116 [cit. 2016-01-17]. DOI: 10.1111/j.1745-4573.2008.00136.x. ISSN 10460756. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1745-4573.2008.00136.x>
- [24] SIEGEL, D. G. a G. R. SCHMIDT. Ionic, ph, and temperature effects on the binding ability of myosin. *Journal of Food Science* [online]. 1979, 44(6), 1686-1689 [cit. 2016-01-17]. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1979.tb09116.x. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2621.1979.tb09116.x>
- [25] TROUT, G. R. a G. R. SCHMIDT. Effect of Phosphates on the Functional Properties of Restructured Beef Rolls: The Role of pH, Ionic Strength, and Phosphate Type. *Journal of Food Science* [online]. 1986, 51(6), 1416-1423 [cit. 2016-01-17]. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1986.tb13824.x. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2621.1986.tb13824.x>
- [26] Apolo, Maso Jičín, s.r.o. In: Maso Jičín, s.r.o. [online]. Jičín: Unimedia, 2015 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://masojicin.cz/shop/sunky/apolo/>
- [27] VRBOVÁ, T. Víme, co jíme?: aneb: průvodce "Éčky" v potravinách. EcoHouse, 2001, 268 s. ISBN 80-238-7504-3.
- [28] KYSELINA FOSFOREČNÁ - JTWT008 - TIANJIN BINHAIJUNTAI INTERNATIONAL CO., LTD. Exportpages[online]. Exportpages - The Online Export Show, 2016 [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: <https://exportpages.cz/cs/produkt/kyselina-fosforecna/144321/>
- [29] Potravinářské aplikace. In: Fosfa, a.s. [online]. Hraniční 268/120, Poštorná, 691 41 Břeclav, Czech Republic [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://web.fosfa.cz/cs/produkty/potravinarske-aplikace>
- [30] Trisodium\_phosphate\_hydrate. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-02-04]. Dostupné z:

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Fosfore%C4%8Dnan\\_sodn%C3%BD#/media/File:Trisodium\\_phosphate\\_hydrate.jpg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Fosfore%C4%8Dnan_sodn%C3%BD#/media/File:Trisodium_phosphate_hydrate.jpg)

- [31] Fosforečnan draselný, potassium phosphate. Likochem [online]. [cit. 2016-02-04]. Dostupné z: <http://www.likochem.cz/cz-detail-902024079-fosforecnan-draselny-100-g.html>
- [32] PIPEK, P. *Technologie masa*. Praha: Karmelitánské nakladatelství, 1998. ISBN 80-7192-283-8.
- [33] Povlaky na povrchu masných výrobků. Krajské informační středisko pro rozvoj zemědělství a venkova Královéhradeckého kraje [online]. Hradec Králové: Krajské informační středisko pro rozvoj zemědělství a venkova Královéhradeckého kraje, 2007 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.apickhk.cz/service.asp?act=email&val=63804>
- [34] Vady výrobků. Český svaz zpracovatelů masa [online]. Beroun: ČSZM, 2013 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: [http://www.cszm.cz/download/Beroun\\_2013-11\\_P.Pipek2.pdf](http://www.cszm.cz/download/Beroun_2013-11_P.Pipek2.pdf)
- [35] SILBERNAGL, S. a A. DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vyd., zcela přeprac. a rozš., Vyd. 3. české. Praha: Grada, 2004, xiii, 435 s. ISBN 80-247-0630-x.
- [36] KAPLAN, L. A. a A. J. PESCE, KAZMIERCZAK, Steven C. (ed.). *Clinical chemistry: theory, analysis, and correlation*. 3rd ed. St. Louis: Mosby, 1996. ISBN 0-8151-5243-4.
- [37] VOET, D. a J. G. VOET. *Biochemie*. 1. vyd. Praha: Victoria Publishing, 1995, xiv, 1325, xxiii s. ISBN 80-85605-44-9.
- [38] MARTINKRAL90. Kalciofosfatovy metabolismus.png. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-02-09]. Dostupné z: [http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:Kalciofosfatovy\\_metabolismus.png](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:Kalciofosfatovy_metabolismus.png)
- [39] BROULÍK, P.. *Poruchy kalciofosfátového metabolismu*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003, 192 s. Malá monografie (Grada). ISBN 80-247-0245-2.
- [40] KLESCHT, V., I. HRNČIŘÍKOVÁ a L. MANDELOVÁ. *Éčka v potravinách*. Brno: Computer Press, 2006. Zdraví pro každého (Computer Press). ISBN 80-251-1292-6.

- [41] GUMA GUAR. Glutenex [online]. GOMEN Media [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: [http://sklep.glutenex.com.pl/index.php?route=product/product&product\\_id=205](http://sklep.glutenex.com.pl/index.php?route=product/product&product_id=205)
- [42] KI-SOO, P., et al. Effect of  $\kappa$ -Carrageenan and Guar Gum as a Substitute for Inorganic Polyphosphate on Pork Sausages. *Food Science and Biotechnology*. 2008, 17(4), 794-798.
- [43] PIETRASIK, Z., D. L. PIERCE a J. A. M. JANZ. The Effects of Selected Starches on Hydration, Textural and Sensory Characteristics of Restructured Beef Products. *Journal of Food Quality*. 2012, 35(6), s. 411 – 418.
- [44] RESCONI, V. C., et al. Response surface methodology analysis of rice starch and fructooligosaccharides as substitutes for phosphate and dextrose in whole muscle cooked hams. *LWT - Food Science and Technology*. 2015, 2015(64), 946-958.
- [45] RESCONI, V. C., et al. Rice starch and fructo-oligosaccharides as substitutes for phosphate and dextrose in whole muscle cooked hams: Sensory analysis and consumer preferences. *LWT - Food Science and Technology*. 2015, 2016(66), 284-292.
- [46] Rýžový škrob VINH THUAN 400 g. Právě vietnamské produkty [online]. Presta-Shop, 2014 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <https://son-vnprodukty.cz/cs/r%C3%BD%C5%BEov%C3%A9-mouky/418-r%C3%BD%C5%BEov%C3%BD-%C5%A1krob-vinh-thuan-400-g-8934734022033.html>
- [47] PAWAR, V. D., B. D. MULE a G. M. MACHEWAD. Effect of marination with ginger rhizome extract on properties of raw and cooked chevon. *Journal of Muscle Foods*. 2007, 18(4), s. 349 – 369.
- [48] HURTADO, S. et al. Porcine plasma as polyphosphate and caseinate replacer in frankfurters. *Meat Science*. 2012, 90, s. 624 – 628.
- [49] LOWDER, A. C. et al. Evaluation of a dehydrated beef protein to replace sodium – based phosphates in injected beef strip loins. *Meat Science*. 2011, 89(4), s. 491 – 499.
- [50] FERREIRA, M. D. et al. Comparison of physicochemical and sensorial characteristics of beef hamburgers elaborated with sodium chloride, polyphosphate and transglutaminase. *Revista Brasileira de Medicina Veterinaria*. 2012, 34(1), s. 52 – 60.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

DNA	Deoxyribonukleová kyselina
ADP	Adenosindifosfát
ATP	Adenosintrifosfát
NAD	nikotinamidadenindinukleotid
NADP	nikotinamidadenindinukleotidfosfát
FAD	flavinadenindinukleotid
FADP	flavinadenindinukleotidfosfát

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

- Obr. 1. Strukturní vzorec kyseliny trihydrogenfosforečné
- Obr. 2. Nukleotid s částí kyseliny fosforečné
- Obr. 3. Adenosintrifosfát
- Obr. 4. Oxidovaná a redukována forma NAD
- Obr. 5. Krystal apatitu
- Obr. 6. Výroba kyseliny fosforečné - termický způsob
- Obr. 7. Šunka standardní, příklad aplikace fosforečnanů
- Obr. 8. Kyselina trihydrogenfosforečná
- Obr. 9. Fosforečnan sodný
- Obr. 10. Fosforečnan draselný
- Obr. 11. Výkvět fosforečnanů
- Obr. 12. Kalciofosfátový metabolismus
- Obr. 13. Guma guar jako náhrada fosforečnanů
- Obr. 14. Rýžový škrob, možný nástupce fosforečnanů

## SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1: Porovnání vlastností u fosforečnanů

Tab. č. 2: Vliv hormonů na koloběh fosforu a vápníku