

# **Vliv aplikace fosforečnanů na texturní parametry vybraných typů šunek**

MVDr. Zdeněk Polášek, Ph.D.

Teze disertační práce



**Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**  
**Fakulta technologická**

Teze disertační práce

**Vliv aplikace fosforečnanů na texturní  
parametry vybraných typů šunek**

**Effect of phosphate application on texture parameters of  
selected types of hams**

Autor: **MVDr. Zdeněk Polášek, Ph.D.**

Studijní program: **Chemie a technologie potravin P2901**  
Studijní obor: **Technologie potravin 2901V013**

Školitel: **prof. Ing. František Buňka, Ph.D.**

Konzultant: **Ing. Robert Gál, Ph.D.**

Oponenti: **prof. Ing. Stanislav Kráčmar, DrSc.**  
**prof. Ing. Juraj Čuboň, CSc.**  
**prof. Ing. Jan Šubrt, CSc.**

Zlín, září, 2022

© Zdeněk Polášek

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **Doctoral Thesis Summary**.  
Publikace byla vydána v roce 2022

*Klíčová slova: fosforečnany, sodné fosforečnany, draselné fosforečnany, šunka, gely, texturní vlastnosti, reologické vlastnosti*

*Key words: phosphates, sodium phosphates, potassium phosphates, ham, textural properties, rheological properties*

Plná verze disertační práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

ISBN 978-80-7678-098-9

## **Abstrakt**

Cílem této disertační práce bylo zhodnotit vliv hydratace svalové tkáně a možnosti ovlivnění tohoto procesu přidáním NaCl a solí na bázi fosfátů. Na základě reologických měření pregelových formací a jejich tepelně indukovaných změn byly predikovány vlastnosti vzniklého gelu, jejichž výsledná kvalita byla vyjádřena tvrdostí, soudržností, elasticitou, žvýkavostí a gumovitostí, které mají rozhodující vliv na kvalitu šunky a ekonomiku výroby. Velmi důležitou součástí práce bylo sledování viskoelastických změn v průběhu teplotních změn, které umožňovala originální technika přípravy vzorku produktu pro použití reometru. Byl prokázán vliv zvyšující se koncentrace používaných fosforečnanů na sledované parametry. Vliv zvyšujícího se počtu fosforových iontů v molekule fosforečnanu na sledované vlastnosti vzorku se však jednoznačně nepotvrdil. Získané výsledky potvrdily předchozí studie a závěry a obohatily informace o vlivu některých fosforečnanů na pozorované vlastnosti tepelně indukovaných gelů svalové tkáně.

## **Abstract**

The aim of the current dissertation thesis was to evaluate the influence of hydration of muscle tissue and the possibilities of influencing the latter process with NaCl and phosphate-based salts addition. Based on rheological measurements of pre-gel formations and their thermally induced changes, we tried to predict the properties of the formed gel, the resulting quality of which was expressed in terms of hardness, cohesiveness, elasticity, chewiness and guminess which have a decisive influence on ham quality and production economy. A very important part of our work was the monitoring of viscoelastic changes during heat treatment, which was enabled by the original technique of product sample preparation for the use of a rheometer. The influence of increasing concentration of utilized phosphates on the monitored parameters was also proved. However, the influence of the increasing number of phosphorus ions in the phosphate molecule on the monitored properties of the sample was not unambiguously confirmed. The obtained results confirmed previous studies and conclusions, enriching the information about the influence of some phosphates on the observed properties of heat-induced muscular tissue gels.

# Obsah

1	Současný stav řešené problematiky .....	5
1.1	Změny svalové tkáně vedoucí její přeměně na maso .....	8
1.2	Faktory ovlivňující tvorbu myofibrilárního proteinového gelu .....	9
1.3	Technologie výroby šunky .....	13
2	Cíle dizertační práce.....	14
3	Metodika práce.....	15
3.1	Experiment I.....	16
3.2	Experiment II.....	17
3.3	Stanovení obsahu vody a hodnoty pH.....	18
3.4	Metoda sledování viskoelastických vlastností .....	18
3.5	Metoda texturní profilové analýzy .....	19
3.6	Statistické metody .....	20
4	Výsledky práce.....	21
4.1	Stanovení obsahu vlhkosti a pH .....	21
4.2	Viskoelastické vlastnosti .....	21
4.3	Texturní profilová analýza .....	32
5	Diskuze.....	38
6	Přínos práce pro vědu a praxi.....	44
7	Závěr .....	46
8	Seznam použité literatury.....	47
9	Seznam obrázků .....	52
10	Seznam tabulek .....	54
11	Seznam použitých symbolů a zkratek.....	55
12	Publikační aktivity autora .....	56
13	Odborný životopis autora.....	57

# 1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Maso je vzhledem ke svému složení, organoleptickým a technologickým vlastnostem přinejmenším v evropském měřítku nejvíce konzumovanou potravinou živočišného původu. Spotřeba masa a masných výrobků v České republice roste přibližně stejným tempem jako v jiných rozvinutých státech světa cca 0,1 % ročně. (Kameník et al., 2019) Producenti masných výrobků jsou však neustále konfrontováni s vyššími nároky spotřebitelů jak z pohledu pestrosti nabízeného sortimentu, bezpečnosti produktu, komfortního balení, doby spotřeby, či trvanlivosti a samozřejmě požadavkem na snižování obecně všech přídatných látek v potravinách. Těmto výzvám, i když se často jedná o požadavky naprosto protichůdné, musí producent naslouchat a pokud možno úspěšně čelit. Příkladem takto komplikovaného požadavku může být kupříkladu používání solí kyseliny fosforečné při výrobě masných výrobků obecně však zejména při přípravě celosvalových výrobků typu šunek. Kosterní svalovina vykazuje širokou rozmanitost tvarů, velikostí, anatomických umístění a fyziologických funkcí. Ve smyslu hmotnostního zastoupení v syrovém mase dominuje voda, jejíž obsah kolísá mezi 65-80% a je ovlivněn stářím zvířete, jeho plemenou příslušností, věkem a také anatomickou částí „jatečně upraveného těla“ (dále jen JUT). Vaznost neboli schopnost čerstvého masa zadržovat vodu je bezpochyby jednou z nejzásadnějších kvalitativních charakteristik suroviny. V odborné literatuře je uváděna jako water – holding capacity, dále WHC, je důležitou vlastností čerstvého masa, protože ovlivňuje jak výtěžnost, tak kvalitu konečného produktu. Je však nutno zdůraznit, že pokud hovoříme o vodě, nejedná se v chemickém smyslu o vodu, nýbrž o velmi složitou směs pravých nebo koloidních roztoků a polydisperzních soustav. Tyto roztoky neustále mění své složení a koncentrace v souvislosti s probíhajícími postmortálními změnami a biochemickými procesy, které je doprovází. Uvedené ztráty tudíž ovlivňují nejen hmotnost produktu, ale i jeho nutriční hodnotu, protože ačkoli se hovoří o ztrátě vody, jedná se o roztok obsahující významné množství ve vodě rozpustných sarkoplasmatických bílkovin včetně myoglobinu způsobujícího červené zbarvení (Savage et al., 1990). V neposlední řadě obsahuje tento roztok také glykolytické a proteolytické enzymy, peptidy, aminokyseliny a vitaminy rozpustné ve vodě a je tudíž také velmi vhodným substrátem pro rozvoj mikroorganismů. Je tedy možno konstatovat, že slabá vaznost masa může vést k rychlejší mikrobiologické degradaci suroviny, a tudíž snížení doby skladovatelnosti a snížení bezpečnosti spotřebitele (Offer et

al., 1989, Savage et al., 1990). Svalová tkáň obsahuje cca 75 % vody, přičemž většina vody je vázána ve struktuře svalu. Jakmile je zvíře usmrceno, jatečně opracováno a uskladněno, začíná probíhat řada postmortálních změn, v jejichž průběhu dochází ke změnám obsahu vody ve výše uvedených prostorech. Část této vody je přitahována nabitými sloučeninami, v případě svalové tkáně především proteiny, je definována jako voda vázaná má velmi nízkou pohyblivost tj. nesnadno se přesouvá do jiných kompartmentů a je velmi odolná proti zamrznutí a vypuzení konvenčním ohřevem (Fennema, 1985, Tornberg, 2013). Skutečně vázaná voda zahrnuje pouze velmi malý zlomek obsahu celkové vody ve svalových buňkách. Mnoha autory je tato skupina nazývána primární vodou svalové tkáně. Další část vody, kterou lze specifikovat ve svalové tkáni je voda zachycená (někdy označovaná jako imobilizovaná) (Fennema, 1985). Molekuly vody v této frakci, která je nazývána sekundární, mohou být drženy buď sterickými (prostorovými) účinky, nebo přitažlivostí k vodě vázané. Tato voda se drží ve struktuře svalu, ale není sama o sobě vázána na protein. V období časně posmrtné tkáně tato voda volně nevytéká, přesto ji lze odstranit sušením a snadno se mění na led v průběhu mrazení. Zachycená neboli imobilizovaná voda je nejvíce ovlivňována procesem rigor mortis. V průběhu změn struktury svalových buněk snížením pH může tato voda případně uniknout jako ztráta úkapem (Offer & Knight, 1988). Volná voda je část, která je vázána pouze slabými povrchovými silami. V mase před nástupem rigor mortis není její přítomnost znatelná a její vývoj je závislý na jeho průběhu. Za zdroj volné vody je považována sekundární voda, která byla vlivem slabých vazeb vytěsněna ze sarkomer v průběhu smrštění myofibril a zmenšení prostoru. Další příčinou je snížení elektronegativity v důsledku poklesu pH vyvolaného hromaděním laktátu ve svalové tkáni (Hamm, 1975, Fennema 1990). Nejvýznamnější složkou masa z hlediska jak výživy, tak i zpracování jsou proteiny. Z pohledu výživové hodnoty obsahují všechny esenciální proteogenní aminokyseliny v poměru pro lidskou výživu téměř ideálním. Maso patří mezi suroviny s vysokým obsahem proteinů, které lze charakterizovat jako přirozeně se vyskytující komplexní dusíkaté sloučeniny s velmi vysokou molekulovou hmotností sestávající z uhlíku, vodíku, kyslíku a především dusíku, z nichž některé mají ve svých strukturách také ionty fosforu a síry. Obecně však platí, že průměrná hodnota bílkovin v mase je přibližně 20 % (Listrat et al., 2016). Kosterní svaly se skládají z vícejaderných svalových vláken tvořených svazky prodloužených myofibril v paralelní konfiguraci. V závislosti na živočišném druhu, velikosti svalů a anatomickém umístění se svalová vlákna liší délkou (několik milimetrů až 30 cm), průměrem (10 nm až 100 nm) a orientací (paralelně nebo v určitém úhlu k délce) (Strasburg

et al., 2008). Typy svalových vláken jsou charakterizovány na základě rychlosti jejich kontrakce (pomalé nebo rychlé záškuby) a preferované metabolické cesty pro degradaci glykogenu (glykolytická nebo oxidativní). Vlákná typu I jsou pomalá, červená, s oxidačním metabolismem; vlákná typu IIA jsou rychlá, červená, se středním (oxidačně glykolytickým) metabolismem, zatímco vlákná typu IIB a IIX jsou rychlá, bílá, s glykolytickým metabolismem (Lefevre et al., 1999). Bez ohledu na živočišný druh se myofibrily ve svalových vláknech skládají z podélných myofilament obsahujících silné a tenké filameny (Tortora & Derrickson, 2013). Silná vlákná jsou tvořena molekulami myosinu a několika cytoskeletálními proteiny jako titin, zatímco tenká vlákná se skládají z aktinu, tropomyosinu a troponinu. Proteiny kosterního svalstva lze rozdělit na myofibrilární (50–60 %), sarkoplazmatické (30 %) a stromatické (10–20 %) na základě jejich rozpustnosti v různě koncentrovaných, slaných roztocích (Strasburg et al., 2008). Myofibrilární proteiny se skládají z kontraktálních, strukturálních a regulačních proteinů. Kontraktální proteiny jsou myosin a aktin, které tvoří tenká a silná vlákná, umožňující kontrakci a relaxaci kosterního svalstva. Mezi regulační proteiny patří troponin a tropomyosin. Strukturální proteiny zahrnují především titin, nebulin, a-aktinin, b-aktinin, tropomodulin, desmin, filamin, C-protein, H-protein a myomesin (Hopkins, 2014). Oblast  $\alpha$ -helixu tvoří jak lehké myozinové řetězce, tak regulační řetězce myosinu (Boland et al., 2019). Stromatické proteiny tvoří pojivovou tkáň, která poskytuje mechanickou podporu a ochranu svalů ve formě šlachy, epimysia, perimysia a endomysia (Gault, 1992.) Pojivová tkáň se skládá převážně z kolagenu (90 %) a dalších vláknitých proteinů elastinu, lamininu, fibronektinu a proteoglykanů (Chagnot et al., 2012). Kolagen a elastin jsou vázány na amorfní základní látku tvořenou proteoglykany a glykoproteiny pro posílení sítě pojivové tkáně. Kolagen se skládá ze tří polypeptidových alfa řetězců s opakujícími se jednotkami -Gly-X-Y-, kde X je běžně prolin a Y může být jakákoli aminokyselina (kromě tryptofanu), ale často je to hydroxyprolin, které se svínají do struktury trojitě šroubovice a tvoří tropokolagen (Strasburg et al., 2008). Molekuly tropokolagenu polymerují na kolagenní vlákná prostřednictvím kovalentních intermolekulárních příčných vazeb, které dávají kolagenovým vláknům značnou pevnost v tahu. Elastin tvoří menší složku pojivové tkáně, která nabízí elasticitu krevním cévám a vazům ve svalech (Debelle, 1999). Elastin je nerozpustný, hydrofobní, tepelně stabilní a zesíťované proteinové vlákno, které v přítomnosti vody vykazuje vysokou elasticitu. Sarkoplazmatické proteiny se vyskytují v sarkoplazmě obklopující myofibrily (Pearson & Knight, 1989). Jsou zapojeny do různých metabolických funkcí, jako metabolismus bílkovin, oxidace mastných kyselin,



transport elektronů, glykolýza, glykogeneze a glykogenolýza (Strasburg et al, 2008). Mezi sarkoplazmatické proteiny patří hemové pigmenty (myoglobin), glykolytické enzymy (glyceraldehyd fosfát dehydrogenáza), mitochondriální oxidační enzymy (sukcinátdehydrogenáza, cytochrom), lysozomální enzymy (zejména katepsin), nukleoproteiny a další. Proteolytické enzymy se podílejí na procesu posmrtného křehnutí svalů a myoglobin vytváří barvu masa. Tuková tkáň, tvořená převážně depotními lipidy, vykazuje největší variabilitu obsahu (1–10 %) mezi různými anatomickými částmi jatečně upravených těl hospodářských zvířat. (Listrat et al., 2016). Mezi lipidy masa vysoce převažují tuky (triacylglyceroly) a to podílem přibližně 99 %. V malé míře jsou zastoupeny heterolipidy (zejména fosfolipidy) a pozornost zaujímá i cholesterol, což je sterol doprovázející tuky (Ingr, 2004). Intramuskulární a intramyocelulární zásoby tuku představují jeho primárními zdroj a většinu extrahovatelných lipidů kosterního svalstva (Burnett et al., 2020).

## **1.1 Změny svalové tkáně vedoucí její přeměně na maso**

Maso vzniká změnami kosterního svalstva po usmrcení hospodářského zvířete. Po vykrvení přežívají svalové buňky krátkou dobu regenerací ATP (nezbytná pro udržení iontových a potenciálních membránových gradientů) prostřednictvím anaerobních metabolických drah. Syntéza ATP je většinou založena na degradaci fosfokreatinu a anaerobní glykolýze. V souvislosti s vyčerpáním fosfokreatinu a poklesem buněčné koncentrace ATP dochází ve svalových buňkách ke zvyšování koncentrace molekul laktátu a tím k poklesu pH (Bendall et al., 1973). Když hladina ATP klesne na polovinu klidového svalového obsahu, molekuly aktinu a myosinu se vážou za vzniku rigidního aktomyosinového komplexu zvaného rigor mortis. Po vyčerpání glykogenu a vymizení enzymového kofaktoru AMP se pH stabilizuje na hodnotě obvykle blízko 5,7. Okyselení svalu snižuje elektronegativitu myofibrilárních proteinů a dostává je do blízkosti jejich izoelektrického bodu. Podmínky po porážce a během chlazení poražených zvířat podporují degradaci intracelulárních svalových proteinů proteolytickými systémy, kde primární roli při zjemňování svalové tkáně patrně zaujímají kalpainy, zejména  $\mu$ -kalpain. Deteriorace hlavních cytoskeletálních proteinů způsobuje změnu postavení myofibril vůči sobě navzájem, oddělení sarkolemy a rupturu myofibril podél Z-disků (Huff Lonergan et al., 2010). Aktin a myosin resp. jejich pevná vzájemná vazba jsou výše

uvedenými proteolytickými procesy ovlivněny pouze nepatrně (Koochmaraie & Geesink, 2006). V průběhu posmrtných změn svalové tkáně dochází také k oxidačním změnám, které mohou vést k výrazným změnám barvy masa (Faustman et al., 2010). Degradace a oxidace bílkovin jsou identifikovány jako procesy, které modifikují bílkoviny a také vlastnosti masa. Navzdory uvedeným skutečnostem a složitosti zmíněných reakcí bylo vyvinuto mnoho technik, které uvedené procesy zkracují a umožňují dosáhnout zpracovatelské kvality masa podstatně rychleji, než by k nim došlo přirozeným vývojem.

Mezi nejúčinnější metody tohoto typu patří kombinace mechanické tenderizace (prořezávání, nebo nařezávání) kusů masa ostrými čepeli různých tvarů a velikostí a jejich následném masírování (převalování) (Pietrasik & Shand, 2005). Oba procesy se běžně používají k narušení svalové struktury, dezintegraci vnějších povrchů kusů masa a k uvolnění myofibrilárních proteinů. Větší narušení tkáně řezy a převalování, zahrnující energii tření (svaloviny o sebe, o stěny bubnu a lopatky) a energii rázů (volně padající maso naráží na dno bubnu) umožňuje zvýšenou extrahovatelnost proteinů, což má za následek větší solubilizaci svalových proteinů, a tak může vést ke zvýšení výtěžnosti tepelně opracovaných produktů (Motycka et al., 1983). Tyto operace však již probíhají v souvislosti s marinováním (nastříkování marinád do masa jehlami pod tlakem) a urychlují průnik přídatných látek obsažených v marinádě až na myofibrilární úroveň. Jak tenderizace, tak i nastříkování soustavami mnoha jehel výrazně narušuje strukturu a zvyšuje aktivní povrch masa a dochází tak k rychlejšímu a rovnoměrnému průniku složek marinád do svalových struktur (Pietrasik & Shand, 2003). Tyto procesy již vedou k solubilizaci myofibrilárního proteinového komplexu, zejména aktino- myozinového, jeho extrakci a ke změnám vlastností proteinů (Alvarado & McKee, 2007).

## **1.2 Faktory ovlivňující tvorbu myofibrilárního proteinového gelu**

Hydratace a solubilizace je první a pravděpodobně nejdůležitější krok k uplatnění vlastností proteinů svalové tkáně při výrobě většiny výrobků z masa. Povaha protein-voda a protein-protein interakcí je kriticky důležitá při určování, zda bude protein v potravíně vytvářet koloidní disperze, gel nebo nerozpustnou sraženinu. Funkční vlastnosti jako bobtnání, rozpustnost a tvorba gelu přímo závisí na způsobu interakce proteinu s vodou, čili na místech, kde se na molekule

proteinu voda váže. Myofibrilární proteiny (dále MP), které mohou být extrahovány pufrý o střední až vysoké iontové síle, tvoří pregelové formace tvořené částečně, nebo zcela solubilizovanými proteiny, peptidy a aminokyselinami, které zásadně ovlivňují vlastnosti tepelně indukovaných gelů, jejich reologické chování a tím texturní vlastnosti celosvalových, tepelně opracovaných masných výrobků (Asghar et al., 2009). Nejvýznamnější roli při tvorbě zmíněných formací hrají myofibrilární proteiny, dále označovány jako proteiny rozpustné v soli (salt soluble proteins, dále SSP), které tvoří 55–60 % celkových svalových bílkovin nebo 10 % hmotnosti kosterního svalstva (Asghar et al., 1985). Na sledovaných vlastnostech vznikajících pregelových strukturách se nejvíce podílí myosin, tvořící 43–45 % hmotnosti MP savců, ptáků a ryb, který má schopnost v solubilizovaném stavu tvořit 3- rozměrné síťové struktury ve kterých je imobilizována voda, jejíž množství ovlivňuje následné reologické vlastnosti gelu a jeho chování v průběhu tepelných změn. Jeho molekula je charakterizována dvouhlavou globulární oblastí a šroubovitou ocasní částí (Khalid et al., 2022). Dalším významným proteinem podílejícím se na vlastnostech tepelně indukovaných proteinových gelů je aktin. Obvykle je přítomen v polymerní formě jako F-aktin a v roztocích o nízké iontové síle je přítomen v globulární formě jako G-aktin. Aktin se na tvorbě trojrozměrných pregelových struktur podílí pouze částečně, v některých případech se dokonce na formování gelu nepodílí, přičemž ovšem několik autorů potvrdilo jeho katalytické schopnosti během formování gelů dané poměrem aktin/myosin (Brewer et al., 2005). Na vlastnostech tepelně indukovaných gelů má významný vliv obsah přítomného vaziva svalové tkáně, tvořeného zejména kolagenem. Průběh tepelného záhřevu solubilizuje pouze přibližně 10–15% přítomného kolagenu, což ovlivňuje schopnost vázat vodu jen mírně, ale způsobuje významný nárůst pevnosti výsledné formace. Během zahřívání podléhají ať již solubilizované, nebo nativní proteiny ireverzibilním denaturačním změnám, zatímco kolagen vytváří termoreverzibilní gely již při nižších teplotách (Brewer et al., 2005). Zatímco při teplotě 40 °C začínají myofibrilární gely tvořit slabé gely, hydratovaná pojivová tkáň tvoří středně silné gely. Naopak při dosažení teploty kolem 70 °C se myofibrilární proteiny podélně smršťují a tepelně indukovaný gel dosahuje nejvyšší hodnoty, kolagen ztrácí svou helicitu a začíná se rozpouštět. V konečném výsledku je možno zaznamenat vliv kolagenu na parametry vzniklého gelu, přičemž míra tohoto ovlivnění je závislá na poměru myofibrilární protein/kolagen (Barbut & Mittal, 1990). Zdá se, že v tomto případě se jedná o vytvoření interpenetrující struktury, která není vazebně spojena s myofibrilárními proteiny, ale je do proteinových systémů vetkána, přičemž tyto interakce nemusí probíhat

při stejné teplotě a ve stejných podmínkách prostředí (Ziegler & Foegeding, 1990). V průběhu výzkumů bylo zjištěno, že různé směsi MP, sarkoplazmatických proteinů a pojivové tkáně produkují gely, jejichž vlastnosti se ne vždy shodují s vlastnostmi gelů produkovaných proteiny přirozené svalové tkáně. Bylo také prokázáno, že gely vytvořené svalovinou tvořenou převážně červenými vlákny typu I a IIA tvoří méně tuhé gely než vlákna bílá typu IIB a IIX vykazující lepší gelotvornou schopnost. Rozdíly jsou zde přičítány především polymorfismu myosinu a jeho izoformách závislých na typu vláken (Liu & Xiong, 1996). V případě MP se pohybuje kritická koncentrace proteinu kolem 0,5 % (Sun & Holley, 2011). Tato unikátní schopnost tvořit souvislou 3-rozměrnou síť v tak nízké koncentraci je přisuzována dlouhé, vláknité molekule myosinu o hmotnosti blízké 500 kDa obsahující přibližně 4500 aminokyselin (Clark et al., 2002). K důležitým faktorům ovlivňujícím gelotvorné schopnosti MP patří pH prostředí, v němž se formování gelu odehrává (Lesiów & Xiong, 2003). Řadou výzkumných prací bylo prokázáno, že optimální pH pro tvorbu gelů bez ohledu na koncentraci NaCl, nebo KCl se pohybuje kolem 6 (Paredi et al., 1999). Mezi další důležité faktory ovlivňující tvorbu a vlastnosti tepelně indukovaných myofibrilárních gelů patří také iontová síla roztoků, v nichž se tyto procesy odehrávají. Iontová síla je součtem původní koncentrace solí a kapaliny v mase a koncentrace solí a kapaliny do masa technologicky přidaných v průběhu marinace. Některé z výzkumů se zabývaly tvorbou gelu pouze v původní iontové síle masa, jednalo se však většinou o práci s čistými proteinovými maticemi, izolovanými proteiny či syntetizovanými filamenty (Yamamoto & Yasui, 2014). Z výsledků publikovaných mnoha pracovišti vyplývá, že dostatečná solubilizace myosinu probíhá při střední koncentraci soli 0,3–0,4 M a pH mezi 5,7–6,0. Samotná sůl však sice způsobuje depolymerizaci silných vláken na molekuly myosinu, avšak příčné můstky spojující myosin s aktinem nedepolymerují (Offer & Trinick, 1983). Pokud se jedná o obsah soli, je v tomto případě míněn zejména obsah chloridu sodného, který svým působením nejen zvyšuje iontovou sílu roztoku, čímž podporuje solubilizaci MP, ale uděluje produktu příjemnou chuť a podporuje rozvoj aromatu (Yim et al., 2020). Za funkční roli chloridu sodného je považována schopnost ovlivnit solubilizaci a aktivaci zejména myofibrilárních bílkovin a tím zvýšení hydratace a vaznosti masa (Ruusunen & Puolanne, 2005), zvýšení viskozity sol formací před tepelným opracováním tepelně opracovaných masných výrobků (TOMV) a tím snížení ztrát kapaliny v průběhu tepelného opracování a v neposlední řadě zlepšení krájitelnosti (Aaslyng et al., 2014).

Aktin a myosin, přestože jsou klasifikovány jako proteiny rozpustné ve slaných roztocích, mají rozdílné charakteristiky rozpustnosti. Při iontové síle roztoku chloridu sodného nad 0,25 M začínají silná vlákna myosinu disociovat na molekuly, čímž zvyšují viskozitu intracelulární vody, zatímco vlákna aktinu nedepolymerizují (Offer & Knight, 1988).

Mezi významné přídatné látky zvyšující mimo jiné i iontovou sílu marinád patří soli kyseliny trihydrogenfosforečné, které vznikají neutralizací kyseliny vhodnými zásadami. Produktem této reakce jsou ortofosfáty, jejichž kondenzací jsou syntetizovány soli o vyšším počtu fosfátových jednotek (Lampila, 2013) Fosforečnany jsou definovány a odlišeny od jiných molekul obsahujících fosfor jako ty, ve kterých je centrální atom fosforu obklopen čtyřmi atomy kyslíku v prostorovém uspořádání tvořícím čtyřstěn s atomy kyslíku v rozích. V přírodě se vyskytují v mnoha minerálech i živých soustavách. V biologických systémech se fosforečnany přirozeně nacházejí v iontové formě, která vzniká disociací fosforečnanů, jejichž obsah je však díky pochodům, které v mase probíhají post mortem téměř vyčerpán (Molins, 1991). Z technologických důvodů je zapotřebí obsah fosforečných aniontů v surovině doplnit. Využívá se také jejich pufrčních vlastností, tj. schopnosti některých fosforečnanů udržet stabilní pH v úzkém rozmezí bez ohledu na měnící se vnější vlivy. Téměř všechny fosforečnany používané při zpracování masa mají zásaditý charakter a jejich přidání zvyšuje pH zpracovávané suroviny. Vzdálení pH od oblasti izoelektrického bodu má za následek zvýšení elektrostatického odpuzování obzvláště mezi aktinem a myosinem, a tudíž ve výsledku zvýšení vaznosti (Young et al., 2005). Chelatace je schopnost tvorby komplexů s kovovými mono-či polyvalentními kationty (nejčastěji se sodíkem, draslíkem, vápníkem nebo hořčíkem). Tvorba komplexů je podporována zvýšenou teplotou, rostoucím pH, koncentrací fosforečnanů a jejich kondenzačním stupněm. Tyto přídatné látky působí na hodnoty pH a tím na iontové síly v roztocích bílkovin, ale mají schopnost reagovat s kationty vápníku či nabitými skupinami v polypeptidech za tvorby komplexů, čímž dochází k velmi rychlému a výraznému uvolnění aktinomyosinové vazby a dokonalejší hydrataci bílkovin masa. Existuje a používá se řada fosforečnanů jak sodných, tak draselných s různým počtem atomů fosforu v molekule, jsou používány v různých směsích a poměrech a jejich působení je nadále zkoumáno zvláště v kombinaci s hydrokoloidy a dalšími přídatnými látkami.

### 1.3 Technologie výroby šunky

Výroba šunky v obecné rovině zahrnuje: bourání a úprava masa, operace před masírováním, vlastní masírování díla, následně jeho balení, tepelné opracování a chlazení. K výrobě vepřové šunky je povoleno použít maso z vepřové kýty. K výrobě šunky drůbeží jsou nejčastěji využívány prsní svaly a v některých případech také svalovina stehen. Bourání masa pro výrobu šunek vyšší jakosti je třeba provádět v podmínkách nízké teploty takovou rychlostí, aby teplota nepřesáhla v průběhu operace 4 °C. Důležité je odstranění vazivové tkáně a viditelné tukové tkáně.

Velmi důležitým technologickým krokem v průběhu výroby je nastříkování masa solným lákem. Rozhodující podíl výroby je založen na systému nastříkování láku pomocí zařízení s větším množstvím vstřikovacích jehel přímo do kusů masa (Alvarado et al., 2007). Technologický požadavek je rovnoměrná, rychlá a případně šetrná distribuce požadovaného množství láku a jeho rozptýlení tak, aby struktura svaloviny zůstala více méně zachována. Samotné množství kapaliny je propočítáno tak, aby obsah ČSB ve výsledném výrobku odpovídal požadavkům komoditní vyhlášky č. 69/2016 Sb. (Zák. 110/1997).

Proces masírování je naprosto rozhodující pro kvalitativní vlastnosti budoucího výrobku. Nahrazuje dřívější zdlouhavé procesy marinace (lákování masa) a umožňuje v relativně krátkém čase rychlou difuzi v láku obsažených funkčních látek do suroviny. Pomocí pokročilé konstrukce a programového vybavení může být dosaženo exsudace dostatečného množství hydratovaných proteinových komplexů na povrch masa, což má zásadní vliv na chování díla při následném tepelném opracování, zejména pokud se týká ztrát varem.

V dnešní době jsou šunky všech hmotnostních kategorií baleny převážně do plastových obalů. Plastové materiály k balení šunek mohou být technologicky velmi různorodé (nekonečný klipsovateľný rukáv o různém průměru, sáčky o různém objemu, systém tvarovací a krycí folie). Téměř výhradně se jedná o biaxiálně orientované, koextrudované, tvarovatelné, vícevrstevné aktivní plastové materiály, mající po barierové stránce vlastnosti plechu. Cílem tepelného opracování šunky je finalizace organoleptických vlastností výrobku (barva, chuť, konzistence), mikrobiologická destrukce a enzymatická inaktivace ve hmotě výrobku. Tepelné opracování šunek spočívá většinou v jejich zahřívání na teplotu 70 °C v jádře výrobku s výdrží 10 min. Poslední výrobní operací při výrobě šunky je chlazení, kdy teplota mezi 40 a 15 °C je považována za kritický úsek a měla by být překonána za méně než 4 hod (Desmond & Kenny, 2005)

## 2 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Základním cílem disertační práce je studium vlivu fosforečnanových solí na texturní a viskoelastické vlastnosti vybraných celosvalových masných produktů vyrobených z různých druhů mas. Dizertační práci byly stanoveny následující dílčí cíle:

- Vyrobit modelové masné vzorky typu šunky se zaměřením na kuřecí a vepřové maso.
- Do jednotlivých modelových vzorků aplikovat sodné a draselné soli fosforečnanů a polyfosforečnanů v různých koncentracích a studovat viskoelastické a texturní vlastnosti masných výrobků.
- U modelových vzorků sledovat:
  - změny hodnot pH,
  - hmotnostní ztráty vývarem.
- Statisticky vyhodnotit výsledky a formulovat přínosy a doporučení v teoretické i praktické rovině. Výsledky budou určovat další směřování výzkumu, případně vyhlášení témat diplomových prací na ÚTP v oblasti živočišné technologie – zpracování masa. Dále mohou z výsledků vycházet případná doporučení pro výrobní praxi.

### 3 METODIKA PRÁCE

V experimentech bylo pro základní srovnání použito maso drůbeží – prsní sval (*musculi pectoralis thoracica*) a maso vepřové – vepřová kýta (*musculus semimembranosus*) v celkovém objemu 100 kg (každý). Maso bylo dodáno v úpravě bez kosti, bez kůže a viditelných částí vaziva a tukové tkáně. Surovina byla v co nejkratším čase zpracována, aby nedošlo ke kvalitativním změnám. Postup získání a uchování suroviny lze popsat následujícími kroky:

1. Byla zajištěna surovina z jedné porážky a jednoho chovu.
2. Surovina byla rozemleta (deska s otvory o průměru 5 mm). Homogenní dílo bylo naváženo po 500g polyetylenových sáčků a hluboce zmrazeno na teplotu  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  pro zabránění tvorbě velkých krystalů poškozujících strukturu masa.
3. Zmrazená surovina byla bezprostředně před výrobou modelového vzorku šetrně rozmrazována po dobu 8 h v chladírně. Ke každému vzorku byla přidána odpovídající hmotnost pitné vody z vodovodního řadu, dusitanové solící směsi a fosforečnanové soli a poté byl vzorek po dobu 8 hod masírován.
4. Z vymasírované hmoty byl homogenizován vzorek pro reometrické měření, kdy bylo dílo nařezáno na části o průměru  $< 0,5\text{ mm}$  a v jejímž průběhu se teplota homogenizovaného vzorku nezvýšila o více než  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Po homogenizaci byl vzorek pomocí velmi nízkého tlaku zbaven vzduchových bublinek.
5. Reometrické měření bylo provedeno ve teplotním gradientu odpovídajícímu postupu při výrobě celosvalových šunkových produktů.
6. Zbývající materiál byl rozvážen po 180 g na tři vzorky určené k tepelnému opracování.
7. Tepelný záhřev vzorků byl proveden z výchozí teploty  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a byl ukončen při  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  v jádře s výdrží 10 min. Tepelný spád mezi jádrem výrobku a médiem nepřekročil  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , přičemž nejvyšší teplota media nepřesáhla  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Chlazení vzorků bylo provedeno v ledové vodě a chladírně na teplotu  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  v jádře.

Formálně je metodická část rozdělena na Experiment I (zahrnující sodné soli fosforečnanů) a Experiment II (zahrnující draselné soli fosforečnanů). Ve výsledkové a diskuzní části jsou však sodné i draselné soli prezentovány společně, a to pro lepší přehlednost a srovnatelnost.



### 3.1 Experiment I

Jako výchozí materiál bylo v tomto experimentu použito maso drůbeží a vepřové. Celkový nástřík představoval 50 % ve vztahu ke hmotnosti suroviny, tzn., každé míchání vyprodukovalo 750 g vymasírovaného díla. U každého míchání byl přídavek dusitanové solící směsi vztažen k této hmotnosti ve výši 2 %, tj. při udávaném procentuálním množství 0,6 % dusitanu sodného ve směsi, byl jeho standardní obsah ve všech vzorcích 90 mg/750 g (120 mg/1 kg). Aplikované množství přidaných fosforečnanových solí vychází z nejvyššího povoleného množství stanoveného Nařízením evropského parlamentu a rady (ES) č. 1333/2008., kterou se stanoví druhy a podmínky použití přídatných látek a extrakčních rozpouštědel při výrobě potravin, ve které je nejvyšší povolené množství pro použití kyseliny fosforečné a jejích solí stanoveno na 5000 mg/kg hotového výrobku, přepočteno na P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Použité sodné fosforečné soli byly přidávány v koncentracích 25 % a 50 % nejvyššího povoleného množství. V pravidelných intervalech byl zařazen do měření kontrolní vzorek bez fosforečnanů, pouze s přídavkem dusitanové solící směsi. Pro tento experiment byly zvoleny následující fosforečné soli:

- NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> – dihydrogenfosforečnan sodný
- Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – hydrogenfosforečnan sodný
- Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> – fosforečnan sodný
- Na<sub>2</sub>H<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> – dihydrogendifosforečnan sodný
- Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> – difosforečnan sodný
- Na<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub> – trifosforečnan sodný
- sodná sůl polyfosforečnanu se střední délkou řetězce n ≈ 20 (HEXA 68)
- sodná sůl polyfosforečnanu se střední délkou řetězce n ≈ 5 (HEXA 62)

**Tab. 1** Složení vzorků [g] pro koncentraci 25 % (m/m) NPM P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Fosforečnan	Svalovina	Dusitanová solící směs	Fosforečná sůl	Pitná voda	Hmotnost vzorku
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	500	15	1,58	233,42	750
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	500	15	1,88	233,12	750
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	500	15	2,15	232,85	750
Na <sub>2</sub> H <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	500	15	1,76	233,24	750
Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	500	15	1,46	233,54	750
Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	500	15	1,61	233,39	750
(NaPO <sub>3</sub> ) <sub>n</sub>	500	15	1,35	233,65	750

**Tab. 2** Složení vzorků [g] pro koncentraci 50 % (m/m) NPM P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Fosforečnan	Svalovina	Dusitanová solící směs	Fosforečná sůl	Pitná voda	Hmotnost vzorku
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	500	15	3,15	231,85	750
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	500	15	3,75	231,25	750
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	500	15	4,31	230,69	750
Na <sub>2</sub> H <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	500	15	3,53	231,47	750
Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	500	15	2,93	232,07	750
Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	500	15	3,22	231,78	750
(NaPO <sub>3</sub> ) <sub>n</sub>	500	15	2,70	232,30	750

U směsí byl srovnáván vliv přidavku fosforečných solí na pH, vliv měnícího se pH na dílo, vliv délky řetězce fosforečnanu na vlastnosti díla a vlastnosti finálního výrobku. Změny pH a ztráty vývarem vypovídají o technologickém vlivu jednotlivých fosforečných solí v nejširším smyslu. Změny viskoelastických vlastností v průběhu působení zvyšující se teploty a v průběhu chlazení umožní posoudit vliv použitých solí a výše zmíněné procesy sledovat detailněji. Vlastnosti finálního produktu ve vztahu k výrobním procesům a použitým aditivům byly hodnoceny pomocí texturní profilové analýzy.

### 3.2 Experiment II

Surovina byla shodná s materiálem Experimentu I, včetně koncentrace přidané dusitanové solící směsi. Na rozdíl od předchozího experimentu zde byly použity draselné fosforečné soli:

- KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> – dihydrogenfosforečnan draselný
- K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – hydrogenfosforečnan draselný
- K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> – fosforečnan draselný
- K<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> – difosforečnan draselný
- K<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub> – trifosforečnan draselný

**Tab. 3** Složení vzorků [g] pro koncentraci 25 % (m/m) NPM P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Fosforečnan	Svalovina	Dusitanová solící směs	Fosforečná sůl	Pitná voda	Hmotnost vzorku
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	500	15	1,80	233,20	750
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	500	15	2,31	232,69	750
K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	500	15	2,81	232,19	750
K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	500	15	2,18	232,82	750
K <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	500	15	1,97	233,03	750

**Tab. 4** Složení vzorků [g] pro koncentraci 50 % (m/m) NPM P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Fosforečnan	Svalovina	Dusitanová solící směs	Fosforečná sůl	Pitná voda	Hmotnost vzorku
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	500	15	3,600	231,400	750
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	500	15	4,610	230,390	750
K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	500	15	5,630	229,370	750
K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	500	15	4,350	230,650	750
K <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	500	15	3,937	231,063	750

Schéma Experimentu I. bylo zachováno a poté byl analyzován a srovnáván vliv sodných a draselných iontů ve všech parametrech s Experimentem II.

### 3.3 Stanovení obsahu vody a hodnoty pH

Stanovení obsahu vody je obsahem ČSN 576021 – Metody zkoušení výrobků z masa a sterilovaných pokrmů v konzervách – Stanovení obsahu vody (Referenční metoda). Obsah vody v mase byl stanoven sušením s mořským pískem při teplotě 105 °C do konstantního úbytku hmotnosti.

pH bylo měřeno vpichovým pH-metrem Spear se skleněnou elektrodou (Eutech Instruments, Oakton, Malaysia) z důvodu předpokládaného výrazného snížení pH.

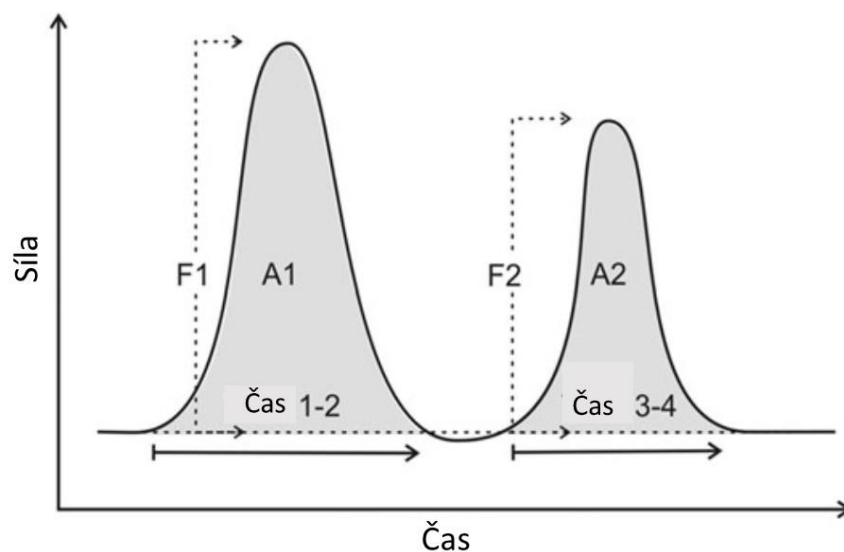
### 3.4 Metoda sledování viskoelastických vlastností

Důležitým kritériem prováděné práce byly charakterizace změn vybraných fyzikálních vlastností emulze svalových bílkovin a přídatných látek ve vodném prostředí, využité v této práci jako laboratorní modelový příklad chování šunkového díla v průběhu průmyslového zpracování. Pomocí dynamické oscilační reologie je možno určit změny ve fyzikální struktuře látek na základě reakcí na působící rotační sílu. Reologické experimenty jsou zejména efektivní při testování fyzikálních interakcí, ke kterým dochází za kontrolovaných podmínek. Během tepelné denaturace myofibrilárních proteinů mohou být strukturální změny zaznamenány pomocí měření elastického modulu ( $G'$ ; Pa), viskózního modulu ( $G''$ ; Pa) a úhlu fázového posunu ( $\delta$ ) spočteného jako

arcustangenta podílu hodnot  $G''/G'$ . Pozorované přechody ve fyzikální struktuře proteinového gelu mohou být vysvětleny teplotami indukujícími denaturace myofibrilárních proteinů, zejména myosinu. Cílem této studie bylo vyhodnotit, jak ovlivňují výše zmíněné procesy různé typy a koncentrace fosforečnanů v kuřecím a vepřovém mase. Za tímto účelem byly sledovány změny viskoelastických vlastností vybraných modelových emulzí v souvislosti s jejich tepelným zpracováním, přičemž byly hodnoceny malé deformace v oblasti stanovené lineární viskoelastivity. Pro charakterizaci teplotních závislostí sledovaných vlastností pomocí rotačního reometru HAAKE Rheo Stress 1 (Thermo Electron GmbH, Germany) bylo využito experimentálních měření v oscilačním módu pomocí geometrie deska-deska. Po vložení vzorku byly jeho okraje seříznuty špachtlí a potřeny silikonovým olejem z důvodu zamezení úniku vodních par během zahřívání. Pro sledování tepelně indukované agregace a denaturace bílkovin jako podstaty tvorby proteinových gelů bylo zvoleno měření v rozsahu smykového napětí 25 Pa při konstantní frekvenci 1 Hz. Model změn teplotního režimu, který byl měřen metodou dynamické oscilační reometrie od 5 °C do 70 °C (rychlost 2 °C/min) s prodlevou 10 min na této teplotě s následným chlazením na původní teplotu 5 °C (rychlost 2 °C/min), je přizpůsoben podmínkám simulujícím charakteristiky průmyslového zpracování. Rychlost ohřevu, chlazení a teplotní rozsah nastavení byla určena na základě výzkumu zkoumajícího gelovatění svalových proteinů (Westphalen et al., 2005).

### **3.5 Metoda texturní profilové analýzy**

Texturní analýza byla provedena pomocí texturního analyzátoru TA-XT plus (Stable Micro Systems, Ltd.). K měření texturních vlastností byla použita metoda bicyklického kompresního testu (TPA analýza) a kruhová sonda 100 mm Platen. Rychlost pohybu sondy při měření byla 2 mm·s<sup>-1</sup>. Výsledky byly poté zpracovány pomocí programu Exponent Lite. Z texturních vlastností byly hodnoceny tyto parametry: tvrdost, soudržnost, pružnost, žvýkatelnost a gumovitost.



**Obr. 1** Texturní profilová analýza (křivka TPA) (upraveno podle Brever, 2005).

Tvrдост =  $F1$ , hodnota tvrdosti je maximální síla, ke které dochází během prvního stlačení nutná k dosažení první deformace. Tvrдост nemusí nastat v bodě nejhlubšího stlačení, i když u většiny produktů k tomu obvykle dochází.

Soudržnost =  $A2/A1$ , vyjadřuje schopnost produktu odolávat druhé deformaci ve vztahu k jeho odporu při deformaci předchozí a vyjadřuje sílu vnitřní vazby těla vzorku.

Žvýkatelnost =  $F1 \times (A2/A1) \times \text{čas } 3 - 4 / \text{čas } 1 - 2$ , energie potřebná ke žvýkání pevného vzorku do ustáleného stavu pro polykání.

Gumovitost =  $F1 \times (A2/A1)$ .

### 3.6 Statistické metody

Výsledky byly vyhodnoceny regresní analýzou s využitím metody nejmenších čtverců, dále pomocí neparametrických testů – Kruskal-Wallisova testu (neparametrická analýza rozptylu) a Wilcoxonova testu, případně parametrickou analýzou rozptylu (ANOVA) (Neubauer et al., 2021).

## 4 VÝSLEDKY PRÁCE

### 4.1 Stanovení obsahu vlhkosti a pH

Stanovení vlhkosti bylo provedeno před přidáním marinovacího roztoku ke vzorku a po 72 hod. skladování v chladničce při teplotě 4 °C. U všech vzorků došlo v průběhu experimentu ke zvýšení obsahu vlhkosti.

Stanovením pH suroviny a vymasírovaného díla (kontrolní vzorek) a srovnáním jejich hodnot s dalšími vzorky byl sledován vliv přidaného fosforečnanu na vývoj tohoto parametru. Z údajů lze posuzovat vliv daného fosforečnanu na hodnotu pH vymasírovaného díla a na to, zda se pohybuje v obvyklých hodnotách pro tento typ výrobku. Tyto účinky jsou zvláště patrné v případech, kdy přídavek fosforečných solí ovlivní nižší hodnoty pH, které se vepřové surovině obecně přisuzují. Z uvedených hodnot je patrné, že mezi solemi které vykazují jeden z nejvyšších účinků je hydrogenfosforečnan sodný, přestože pH di a trifosforečnanů je vyšší. Neutrální pH roztoků fosforečnanů s dlouhým řetězcem se takté nijak neprojevílo na výsledném pH vzorku. Výsledky potvrdily předpokládaný vývoj pH jak ve smyslu jednotlivých solí, tak i jejich koncentrací.

### 4.2 Viskoelastické vlastnosti

Reologické chování vlivu fosforečnanů na vlastnosti tepelně indukovaných gelů vyrobených z kuřecího anebo vepřového masa bylo popsáno pomocí teplotní závislosti elastického a ztrátového modulu a úhlu fázového posunu  $\delta$ . Všechna měření probíhala v následujícím režimu: řízený ohřev z 10 °C na teplotu 70 °C, výdrž a následné řízené ochlazení na výchozí teplotu 10 °C. Přínos jednotlivých sledovaných solí byl pak porovnáván pomocí komplexní viskozity, a to při teplotách 10 °C, 70 °C a 10 °C (počáteční, maximální a koncová teplota).

Technologicky nejdůležitější fází výroby tepelně opracovaných výrobků typu šunka je období záhřevu, kdy může z mnoha důvodů dojít k uvolnění vody ze zpracovávaného materiálu a tudíž ke znehodnocení finálního výrobku. Sledováním měnících se reologických vlastností vzorku, jehož složení je shodné s „šunkovým dílem“ jsme schopni popsat chování systému v jednotlivých fázích zpracování z pohledu změny teplot a také hodnotit vliv jednotlivých fosforečnanů a jejich koncentrace na sledované vlastnosti. O výsledných vlastnostech výrobku na nichž se významně podílí obsah vody rozhoduje především dostatečná

solubilizace proteinových struktur a jejich rozptýlení v disperzním systému, k čemuž přispívají fosforečnany mající vliv na vzrůst pH prostředí a tím na zvýšení elektronegativity v proteinových molekulách a zároveň prokazující i dobrou sekvestrační schopnost (vyvázání bivalentních iontů – především vápenatých a hořečnatých). Pevnost vzniklého tepelně indukovaného gelu lze predikovat z hodnot elastického modulu v okamžiku ukončení měření průběhu chlazení vzorku při teplotě 10 °C. Vliv působení tohoto typu fosforečnanů lze sledovat na (Obr. 7, 4), kdy v průběhu zvyšující se teploty dochází ke snižování hodnoty ztrátového modulu, z čehož lze vyvozovat tendenci ke zvyšování obsahu volné vody v disperzní soustavě a řidnutí matrice, ale elastický modul buď neustále stoupá, až do dosažení cílové teploty 70 °C, nebo lze v kritické teplotě 45–55 °C zaznamenat mírné zpomalení růstu hodnot, následované jejich opětným růstem. Celkově probíhá přechod ze stavu sol do formace gelu za vzrůstající dominance elastického modulu a lze z něj vyvodit velmi dobré texturní vlastnosti výsledné formace s vysokým obsahem vody. Odlišný průběh lze pozorovat na vývoji reogramů (Obr. 2), kdy nedošlo k dostatečné solubilizaci proteinů a jejich rozptýlení v disperzním prostředí z důvodu sníženého pH, které následně díky snížené elektronegativitě v molekulách proteinů a zmenšení molekulárního prostoru neumožní dostatečnou penetraci roztoku NaCl a fosforečnanu k vazbám aktin–myosin, které zůstávají ve značné míře neporušeny díky nedostatečným sekvestračním schopnostem daného fosforečnanu, případně dalších faktorů (například již zmíněná hodnota pH). Průběh těchto reogramů provází prudký pokles hodnot jak elastického, tak i ztrátového modulu v kritické, tranzitní teplotě 45–55 °C, kdy je v některých případech možno zaznamenat tak vysoký pokles hodnot elastického modulu oproti ztrátovému, že dochází k jejich vzájemnému překřížení a až do teploty závěrečného formování gelu dominuje v materiálu modul ztrátový. Z obou popsaných průběhů lze predikovat silné zřidnutí celé soustavy vlivem vody vypuzené při agregaci a částečné denaturaci nedostatečně vzdálených, hydrofobních částí proteinových molekul, případně nerozrušenými pevnými sulfhydrylovými vazbami. V závěrečné fázi zvyšování teploty sice dochází k vytváření gelu reakcí koncových částí molekul myosinu, ale zbývající disperze má z důvodu předchozích agregací a denurací tak vysoký obsah vody, že překračuje jejich kapacitní možnosti a část této vody tudíž uniká mimo gelovou strukturu a přestává být součástí vzorku.

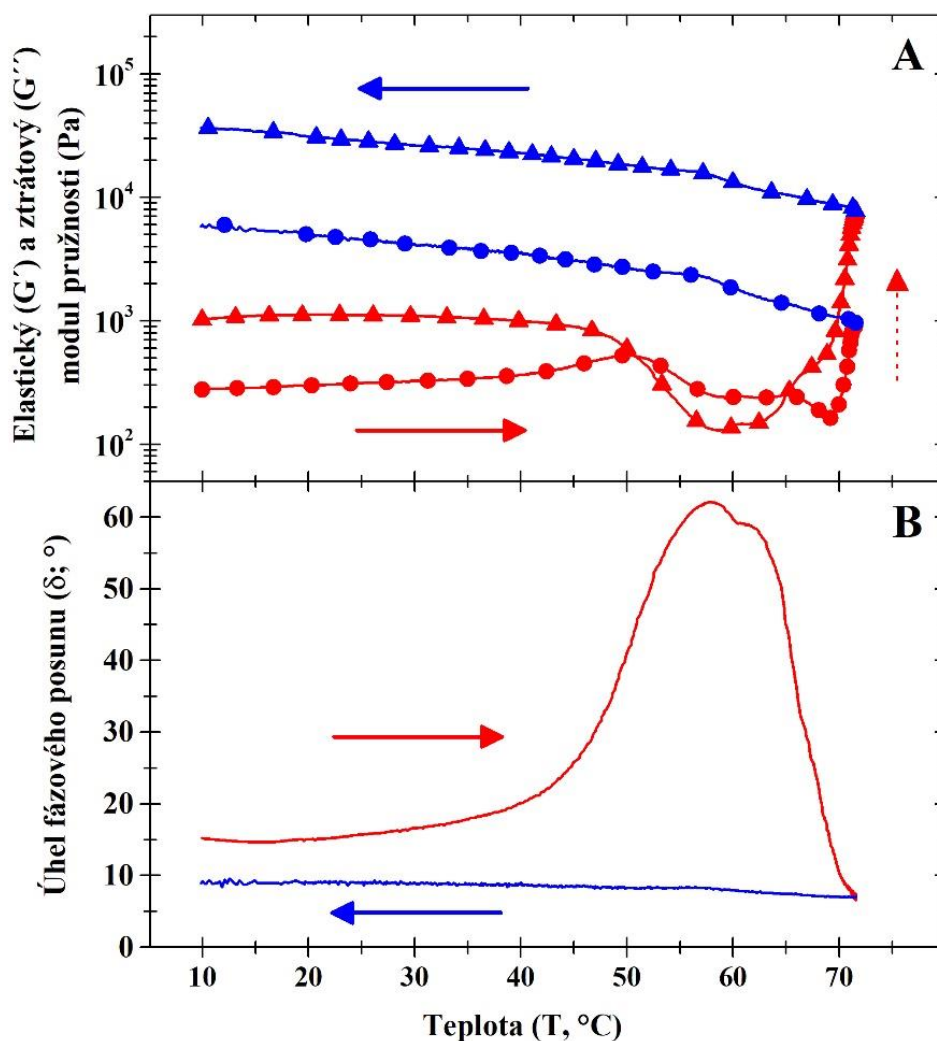
Jak je patrné z následujících reogramů, reologické chování všech sledovaných vzorků je výrazně ovlivněno teplotou, avšak u jednotlivých vzorků se tento průběh více či méně liší. Pro základní představení průběhu vývoje změn

viskoelastických vlastností modelových vzorků kuřecí šunky obsahujících různé typy a koncentrace fosforečnanů byl použit reogram teplotní závislosti elastického a ztrátového modulu kontrolního vzorku (Obr. 2). Jak je patrné, oba sledované moduly nejevily žádnou teplotní závislost do teploty přibližně 40 °C. Nad touto teplotou se chování vzorku začínalo postupně měnit, kdy docházelo k poklesu elastického modulu, a naopak nárůstu ztrátového modulu. Při teplotě 50 °C docházelo k jejich vzájemnému překřížení, z čehož lze usuzovat, že doposud spíše elastický vzorek přecházel do spíše plastického stavu. Další výrazná změna nastala při teplotě okolo 65 °C, kdy se pokles elastického modulu zastavil a naopak začal, se stále se zvyšující teplotou, strmě narůstat až do dosažení maximální teploty 70 °C. V této teplotě současně docházelo k opětovnému poklesu ztrátového modulu vedoucímu k jejich opětovnému překřížení, a tedy přechodem zpět do spíše elastického stavu. V průběhu chlazení na konečnou teplotu 10 °C již nedocházelo k žádným zásadním změnám. Vlivem poklesu teploty se hodnoty obou modulů pouze postupně zvyšovaly, přičemž elastický modul silně dominoval nad ztrátovým a vzorek tak se choval více a elasticky. To ostatně dokazoval i průběh fázového úhlu. Velmi podobný průběh jako vzorek kontrolní vykazovaly také vybrané vzorky kuřecího masa s obsahem solí, jmenovitě  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$  (v obou koncentracích),  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  (v obou koncentracích), HEXA62 i HEXA68 (v obou koncentracích),  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  (koncentrace 25 %),  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (v obou koncentracích). Tyto vzorky taktéž vykázaly nejnižší hodnoty nárůstu komplexní viskozity, což svědčí o jejich nejslabších schopnostech tuhnutí. Koncentrace fosforečnanů způsobila účinek úměrný jejímu zvýšení.

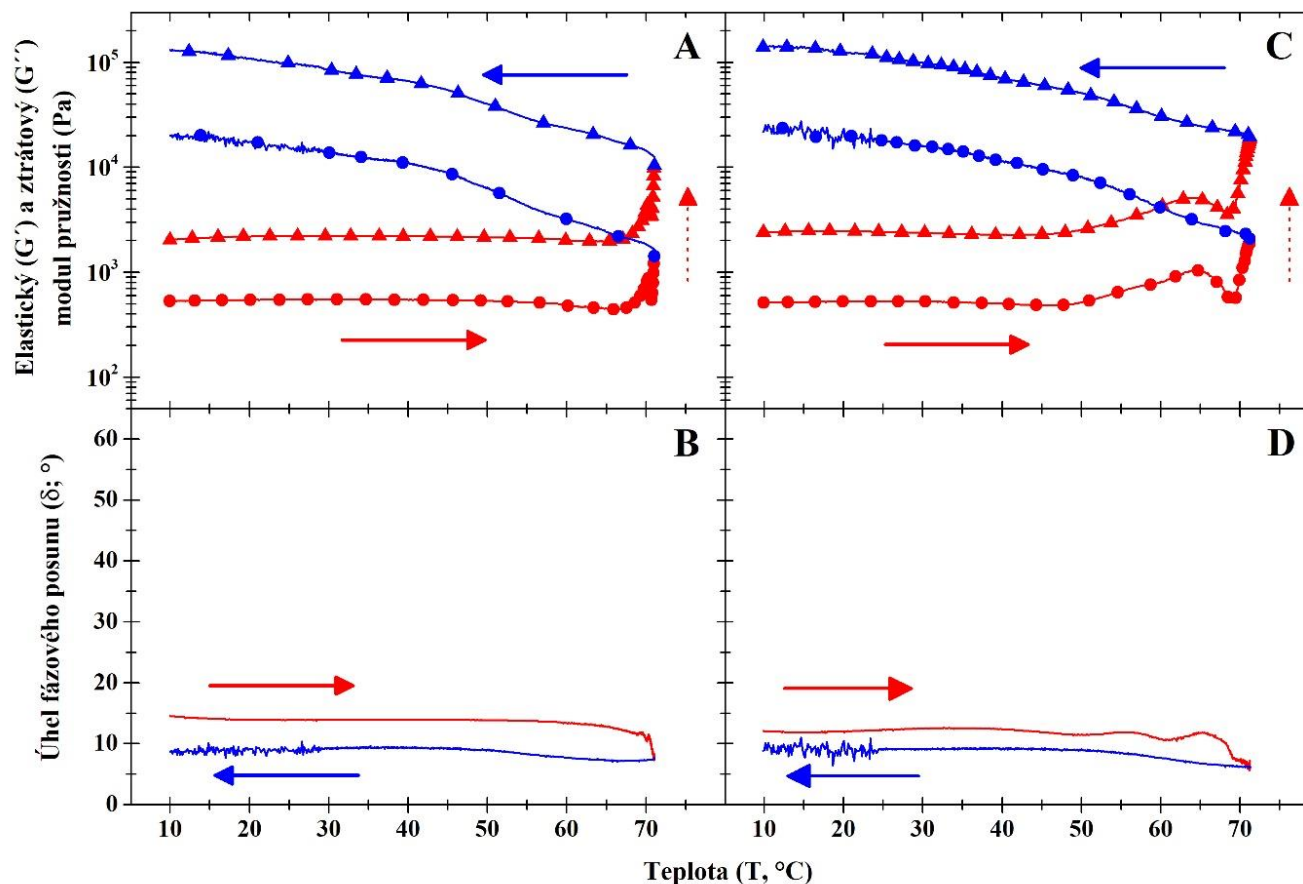
Mírně odlišný průběh chování sledovaných modulů je znázorněn na (Obr. 4) pro vzorky  $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$  (koncentrace 25 %),  $\text{K}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  (koncentrace 25 %),  $\text{K}_3\text{PO}_4$  (koncentrace 50 %),  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  (koncentrace 50 %). U těchto vzorků byly oba sledované moduly tepelně nezávislé až do teploty přibližně 50 °C, kdy opět došlo k významnému poklesu hodnot elastického a vzestupu ztrátového modulu. Dočasný pokles elasticity opět potvrzoval nárůst úhlu fázového posunu. Podobně jako u kontrolního a výše zmíněných vzorků, po překročení teploty 65 °C došlo k obratu a opětovnému růstu obou modulů, přičemž elastický modul převážil nad ztrátovým, před dosažením maximální teploty 70 °C. V režimu chlazení oba moduly shodně narůstaly za dominance elastického modulu, tedy postupným posilování elasticity vzorků, až do 10 °C. Tato skupina vzorků vykazovala vyšší míru komplexní viskozity v průběhu teplotních změn a koncentrace těchto solí se projeví na vzestupu jejich hodnot.



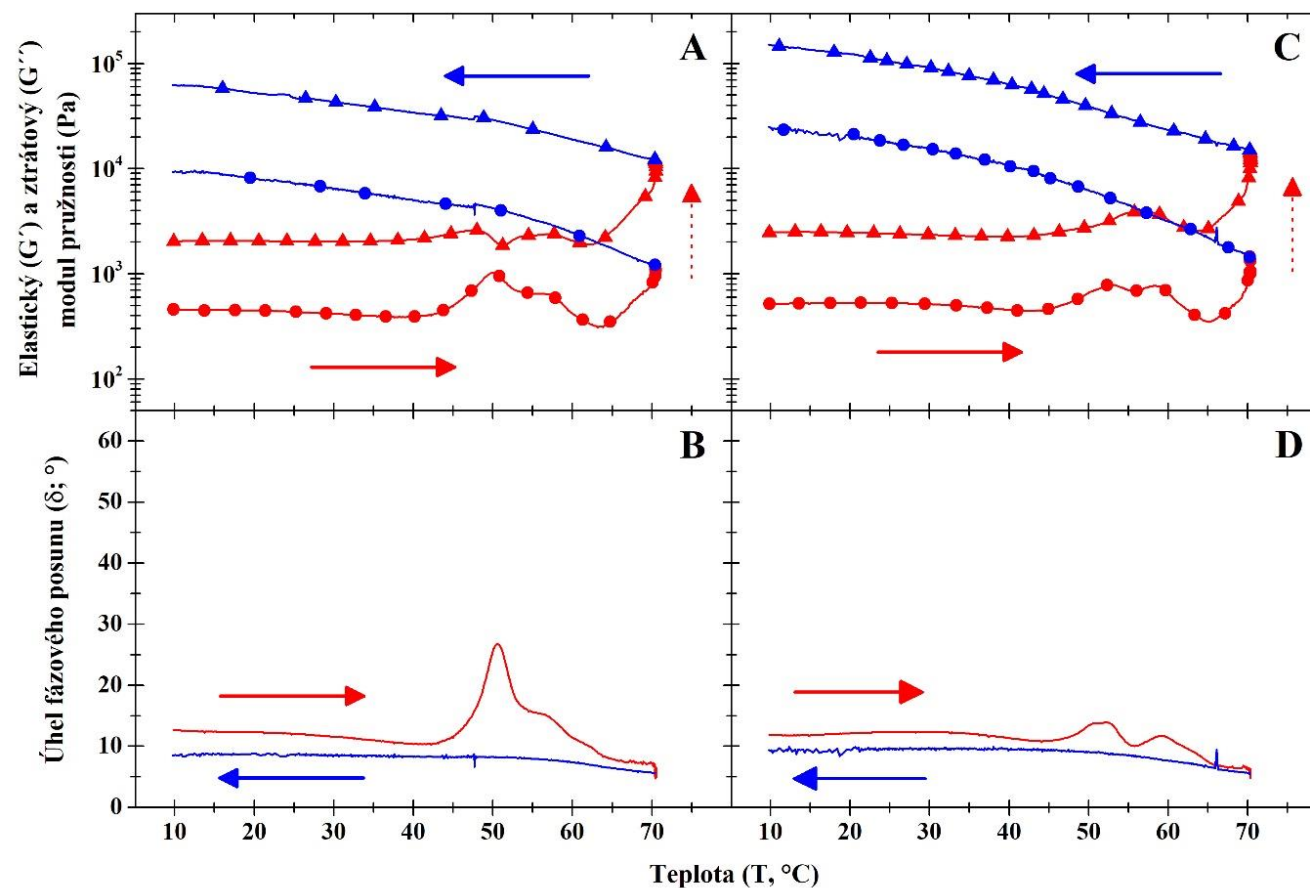
Podobné chování, lišící se pouze mírou poklesu obou modulů při teplotě 50 °C jevila skupina vzorků  $K_3PO_4$  (koncentrace 25 %),  $Na_3PO_4$  (v obou koncentracích),  $K_2HPO_4$  (koncentrace 50 %),  $K_4P_2O_7$  (koncentrace 50 %), kterou charakterizuje shodný průběh obou modulů v průběhu nárůstu teploty společným poklesem při teplotě okolo 50 °C s následným postupným zvyšováním hodnot až do konce měření za dominance elastického modulu. Poslední skupinu představují pak vzorky označené jako  $Na_2HPO_4$  (v obou koncentracích),  $K_4P_2O_7$  (koncentrace 50 %),  $Na_4P_2O_7$  (v obou koncentracích),  $Na_5P_3O_{10}$  (koncentrace 50 %),  $K_5P_3O_{10}$  (koncentrace 50 %) (Obr. 3). Jak je patrné zejména z hodnot úhlů fázového posunu, u těchto vzorků nedošlo v průběhu zvyšování teploty ke změnám ve smyslu významné změny elasticity matrice. U všech vzorků byl zaznamenán mírný nárůst hodnot obou modulů v teplotní oblasti kolem 60 °C následovaný jejich krátkodobým a spíše mírným poklesem. Od tohoto výkyvu však oba moduly rostly ve vzájemné shodě až do konce měření. V celém průběhu převažoval elastický modul, což potvrzovala i teplotní závislost ztrátového úhlu. Z pohledu působení fosforečnanů na vývoj komplexní viskozity je patrné, že jejich přídavek na ni má pozitivní vliv a tyto vzorky tudíž v průběhu tepelného opracování jevíly nejvyšší schopnost tuhnutí.



**Obr. 2** Závislost elastického ( $G'$ ; Pa; ▲, ▲) a ztrátového ( $G''$ ; Pa; ●, ●) modulu pružnosti – část A – a úhlu fázového posunu ( $\delta$ ; °; bez symbolu) – část B – vymasírovaného meziprojektu (díla) kuřecí šunky bez přídavku fosforečnanu na aktuální teplotě ( $T$ ; °C). Průběh záhřevu je vyznačen červenou čarou a zvýrazněn červenou šipkou, výdrž díla při cílové teplotě je zvýrazněna červenou čerchovanou šipkou a chlazení díla je vyznačeno modrou čarou a zvýrazněno modrou šipkou. ( $n = 3$ )



**Obr. 3** Závislost elastického ( $G'$ ; Pa; ▲, ▲) a ztrátového ( $G''$ ; Pa; ●, ●) modulu pružnosti – části A, C – a úhlu fázového posunu ( $\delta$ ; °; bez symbolu) – části B, D – vymasírovaného meziprojektu (díla) kuřecí šunky s přidavkem difosforečnanu tetrasodného ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) na aktuální teplotě ( $T$ ; °C). Průběh záhřevu je vyznačen červenou čarou a zvýrazněn červenou šipkou, výdrž díla při cílové teplotě je zvýrazněna červenou čerchovanou šipkou a chlazení díla je vyznačeno modrou čarou a zvýrazněno modrou šipkou. V částech A a B jsou zobrazeny výsledky 25% přidavku maximálního množství vyjádřeného jako  $\text{P}_2\text{O}_5$  a v částech C a D jsou uvedeny výsledky 50% přidavku maximálního množství vyjádřeného jako  $\text{P}_2\text{O}_5$ . ( $n = 3$ ).



**Obr. 4** Závislost elastickeho ( $G'$ ; Pa; ▲, ▲) a ztrátového ( $G''$ ; Pa; ●, ●) modulu pružnosti – části A, C – a úhlu fázového posunu ( $\delta$ ; °; bez symbolu) – části B, D – vymasírovaného meziprojektu (díla) kuřecí šunky s přidavkem difosforečnanu tetradraselného ( $K_4P_2O_7$ ) na aktuální teplotě ( $T$ ; °C). Průběh záhřevu je vyznačen červenou čarou a zvýrazněn červenou šipkou, výdrž díla při cílové teplotě je zvýrazněna červenou čerchovanou šipkou a chlazení díla je vyznačeno modrou čarou a zvýrazněno modrou šipkou. V částech A a B jsou zobrazeny výsledky 25% přidavku maximálního množství vyjádřeného jako  $P_2O_5$  a v částech C a D jsou uvedeny výsledky 50% přidavku maximálního množství vyjádřeného jako  $P_2O_5$ . ( $n = 3$ ).

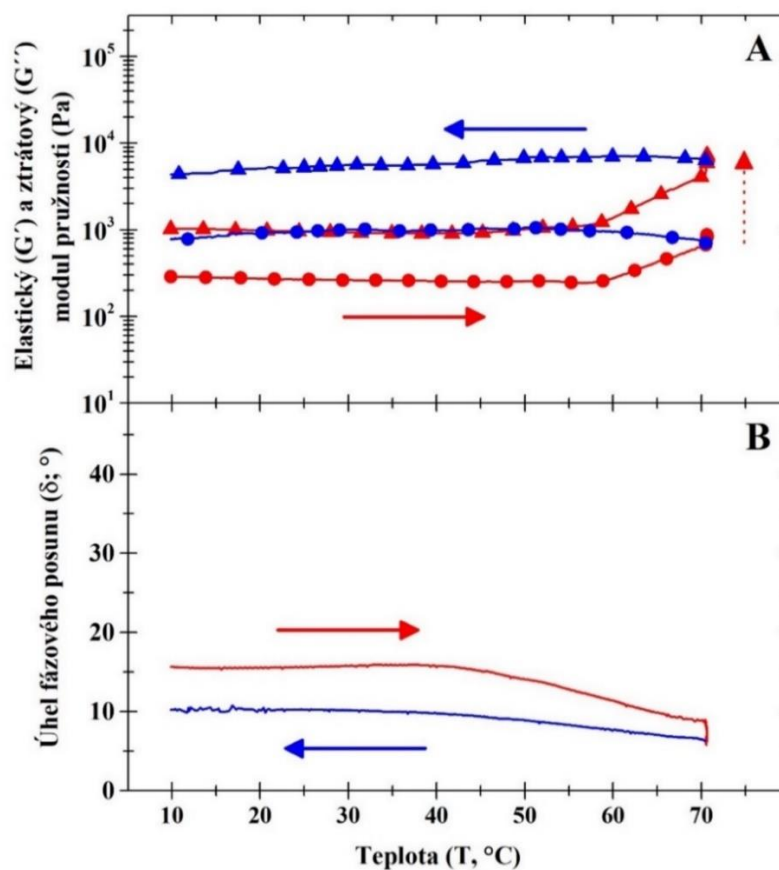
Při sledování vývoje viskoelastického chování vzorků z vepřového masa v průběhu změny teplot a jejich srovnání se vzorky masa kuřecího lze konstatovat, že oba materiály se poměrně zásadně liší. Z průběhu reogramu kontrolního vzorku vepřového masa (Obr. 5) vyplývá, že až do teploty 60 °C byly hodnoty modulů teplotně nezávislé, od této teploty jejich hodnoty narůstaly ve shodě až do cílové teploty, po jejímž dosažení se však hodnoty modulů v průběhu chlazení vzorku do 10 °C nezvyšovaly.

Podobné výsledky vykazoval vzorek s obsahem  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  a  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$  v obou koncentracích. Rozdílné chování oproti kontrolnímu vzorku spočívalo v mírně stoupajících hodnotách elastického i ztrátového modulu v průběhu chlazení a vyšší komplexní viskozita naznačuje intenzivnější tuhnutí gelové formace.

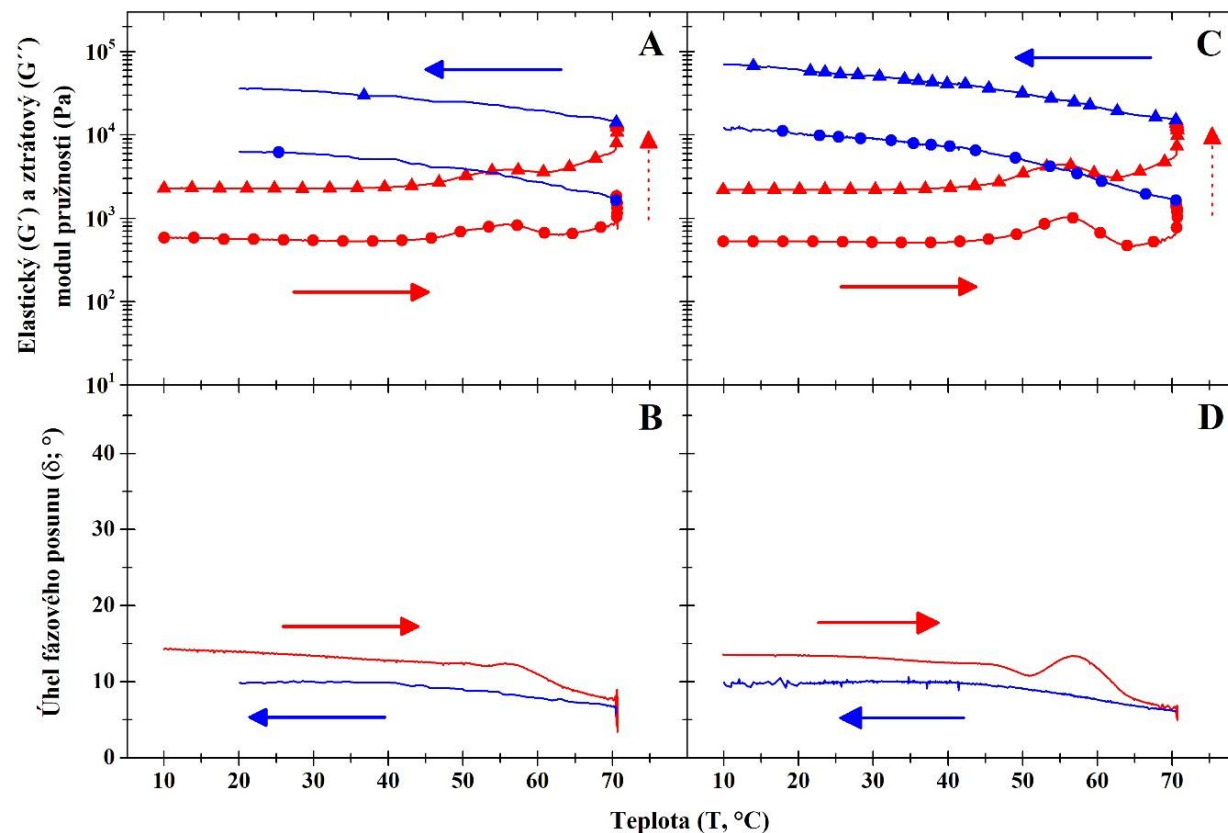
Vzorky, pro jejichž chování je typický průběh znázorněný na (Obr. 6) s obsahem  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{K}_3\text{PO}_4$  a  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  v obou koncentracích, vykazovaly v průběhu teplotních změn podobné chování jako některé vzorky kuřecího masa. V průběhu zahřívání se jevil jak elastický, tak i ztrátový modul do 50 °C jako teplotně nezávislý, při dosažení této teploty došlo k mírnému, shodnému nárůstu obou modulů doprovázeném zvýšením elasticity a následně při 60 °C k jejich shodnému poklesu doprovázenému snížením elasticity, což je zřetelné na vývoji fázového posunu. Od teploty 65 °C se hodnoty obou modulů shodně intenzivně zvyšovaly až do dosažení cílové teploty včetně doby výdrže. V průběhu chlazení se průběžně zvyšovala hodnota obou modulů s dominancí elastického a podle hodnot komplexní viskozity dosahovaly gely lepší průběh tuhnutí než předchozí skupina vzorků.

Vzorky, pro jejichž chování je charakteristický průběh na (Obr. 7) s obsahem  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ,  $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ,  $\text{K}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  a  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  v obou koncentracích, vykazovaly shodný mírný nárůst obou modulů již od 20 °C a při teplotě 50 °C nastal pokles ztrátového modulu, přičemž modul elastický dále stoupal až do dosažení cílové teploty. V tomto intervalu se začala projevovat výrazná dominance elastického modulu vrcholící vzestupem hodnot ztrátového modulu v oblasti 55 °C a pokračováním této tendence až do dosažení cílové teploty 70°C. Vývoj viskoelasticity byl shodný pro obě koncentrace fosforečnanů s rozdílem v konečné tuhosti gelu, který se projevil vyšší hodnotou komplexní viskozity ve vyšší koncentraci soli. Podobné vlastnosti vykazoval vzorek Hexa 62, hodnoty v průběhu však vykazovaly podstatně menší účinek této soli na sledované vlastnosti vzorku. Změnu vlastností měřené matrice je možno sledovat na změně komplexní viskozity v průběhu teplotních změn. V našem případě byly zvoleny

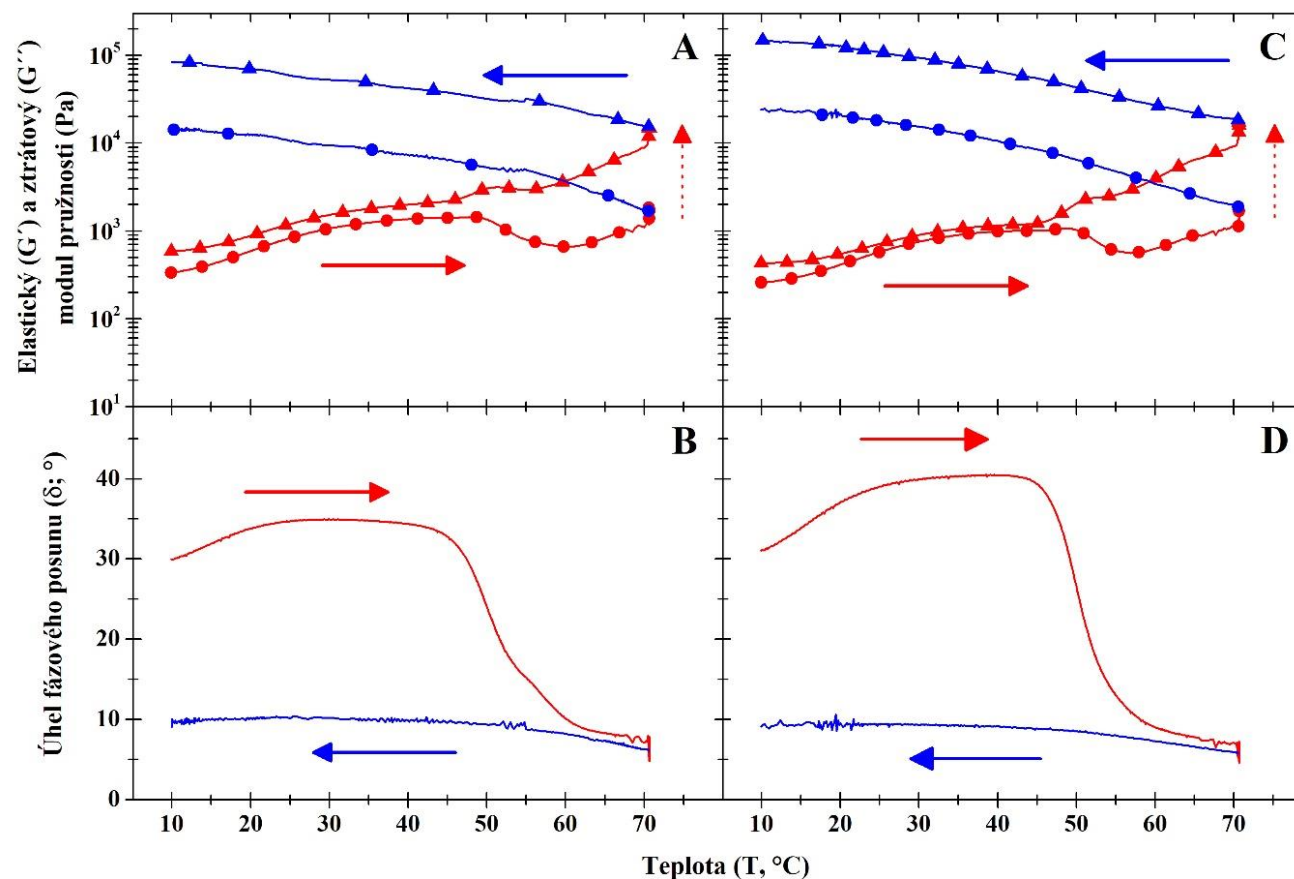
teploty 10 °C;70 °C a 10 °C v průběhu záhřevu a následného chlazení. Ukázalo se, že přidavek fosforečnanu měl na počáteční viskozitu gel formací u některých vzorků z kuřecího masa vliv ve smyslu poklesu oproti hodnotám kontrolního vzorku a u části vzorků naopak viskozita mírně vzrostla. Toto chování nejevilo závislost na zvolených koncentracích fosforečnanů. Naopak při dosažení cílové teploty 70 °C se oproti kontrolnímu vzorku komplexní viskozita u všech vzorků zvýšila s mírnou dominancí vzorku s vyšší koncentrací. Ve fázi chlazení ze 70 °C do 10 °C, kdy probíhá stabilizace tepelně indukovaných gelů provázené finálním tuhnutím vzorku, jsou změny komplexní viskozity nejvíce patrné a lze pozorovat nárůst hodnot mezi koncentracemi. Velmi podobné chování jevíly z pohledu vývoje komplexní viskozity vzorky z vepřového masa. Z uvedených údajů lze usuzovat, že z počáteční viskozity vzorku po masírování nelze spolehlivě predikovat vlastnosti budoucího gelu.



**Obr. 5** Závislost elastického ( $G'$ ; Pa; ▲, ▲) a ztrátového ( $G''$ ; Pa; ●, ●) modulu pružnosti – část A – a úhlu fázového posunu ( $\delta$ ; °; bez symbolu) – část B – vymasírovaného meziproductu (díla) vepřové šunky bez přidavku fosforečnanu na aktuální teplotě ( $T$ ; °C). Průběh záhřevu je vyznačené červenou čárou a zvýrazněn červenou šipkou, výdrž díla při cílové teplotě je zvýrazněna červenou čerchovanou šipkou a chlazení díla je vyznačeno modrou čárou a zvýrazněno modrou šipkou. ( $n = 3$ ).



**Obr. 6** Závislost elastického ( $G'$ ; Pa; ▲, ▲) a ztrátového ( $G''$ ; Pa; ●, ●) modulu pružnosti – části A, C – a úhlu fázového posunu ( $\delta$ ; °; bez symbolu) – části B, D – vymasírovaného meziproductu (díla) veprové šunky s přidavkem hydrogenfosforečnanu sodného ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) na aktuální teplotě ( $T$ ; °C). Průběh záhřevu je vyznačen červenou čarou a zvýrazněn červenou šipkou, výdrž díla při cílové teplotě je zvýrazněna červenou čerchovanou šipkou a chlazení díla je vyznačeno modrou čarou a zvýrazněno modrou šipkou. V částech A a B jsou zobrazeny výsledky 25% přidavku maximálního množství vyjádřeného jako  $\text{P}_2\text{O}_5$  a v částech C a D jsou uvedeny výsledky 50% přidavku maximálního množství vyjádřeného jako  $\text{P}_2\text{O}_5$ . ( $n = 3$ ).



**Obr. 7** Závislost elastického ( $G'$ ; Pa; ▲, ▲) a ztrátového ( $G''$ ; Pa; ●, ●) modulu pružnosti – části A, C – a úhlu fázového posunu ( $\delta$ ; °; bez symbolu) – části B, D – vymasírovaného meziproductu (díla) vepřové šunky s přidavkem difosforečnanu tetradraselného ( $K_4P_2O_7$ ) na aktuální teplotě ( $T$ ; °C). Průběh záhřevu je vyznačen červenou čarou a zvýrazněn červenou šipkou, výdrž díla při cílové teplotě je zvýrazněna červenou čerchovanou šipkou a chlazení díla je vyznačeno modrou čarou a zvýrazněno modrou šipkou. V částech A a B jsou zobrazeny výsledky 25% přidavku maximálního množství vyjádřeného jako  $P_2O_5$  a v částech C a D jsou uvedeny výsledky 50% přidavku maximálního množství vyjádřeného jako  $P_2O_5$ . ( $n = 3$ ).



### 4.3 Texturní profilová analýza

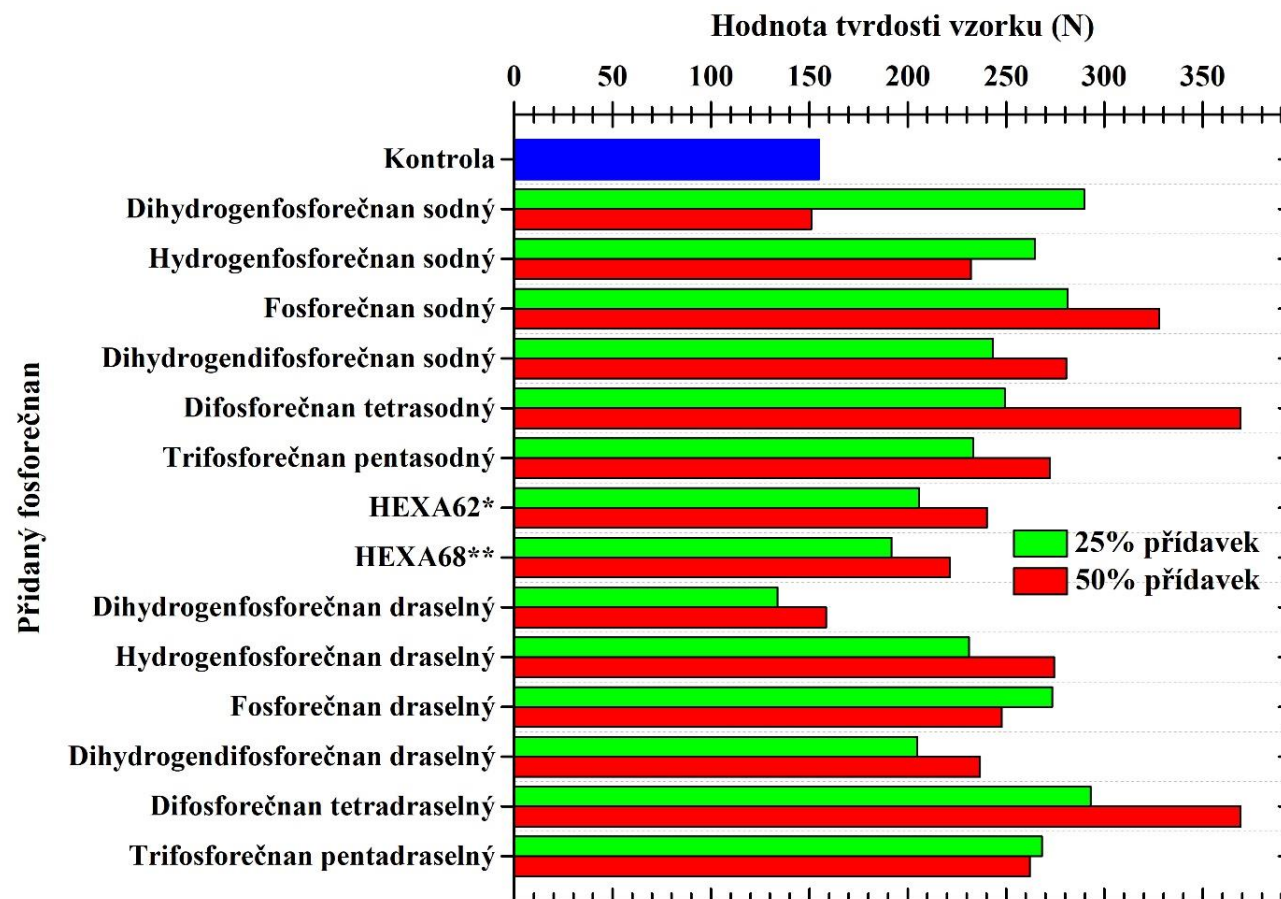
Z výsledků texturní profilové analýzy vyplývá, že prioritní vlastnosti analyzovaných vzorků, za něž lze z hlediska pevnosti vytvořeného gelu považovat tvrdost, soudržnost a gumovitost vzorku, byly ovlivněny jak vlivem vstupní suroviny, tak i použitým fosforečnanem a jeho koncentrací. Za rozhodující měřenou vlastnost lze považovat hodnotu tvrdosti vzorku, ze které jsou víceméně odvislé další sledované texturní parametry. Jestliže vztáhneme dosažené parametry v této oblasti k hodnotám kontrolního vzorku, lze konstatovat, že hodnoty kontrolního vzorku kuřecího masa ve smyslu tvrdosti byly vlivem působení fosforečnanů zvýšeny s výjimkou některých vzorků obsahujících soli se zvýšeným počtem vodíkových iontů a to v rozdílných koncentracích (dihydrogenfosforečnan sodný, dihydrogenfosforečnan draselný). U těchto vzorků pravděpodobně došlo vlivem působení dané soli a její koncentrace k vytvoření gelu jak o nízkém obsahu vody, tak i nízké pevnosti, což vedlo ke snížení hodnoty tvrdosti. Naopak v případě dalších solí, které negativně ovlivňují hodnotu pH vzorku před tepelným opracováním a tím i množství vody v gelu vázané (dihydrogendifosforečnan sodný, dihydrogenfosforečnan draselný), došlo k vytvoření gelu se sice nízkým obsahem vody, ale s poměrně velkou tvrdostí, což potvrzují některé studie popisující vliv podmínek pH na strukturu a uspořádání tepelně indukovaných gelových trojrozměrných matic (Tornberg, 2005). Podobné chování se projevilo též u vzorků se střední délkou řetězce 5 a 20 lineárně vázaných jednotek fosforu v molekule (Hexa62, Hexa68), které sice hodnotu pH zásadně neovlivňují, ale z důvodu jejich pomalé disociace iniciují tvorbu gelů o nízkém obsahu vázané vody. Tyto gely ale vykazují ve srovnání s kontrolním vzorkem vyšší tvrdost, a to i ve smyslu zvyšující se koncentrace. Nejvyšší tvrdost se projevila očekávaně u vzorků obsahujících difosforečnan sodný a difosforečnan draselný. Naopak překvapivé byly výsledky (hydrogenfosforečnan sodný a draselný, fosforečnan sodný a draselný) ve srovnání s (trifosforečnan pentasodný a pentadraselný), kdy se jeví působení monofosforečnanů jako srovnatelné, či vyznívá mírně v jejich prospěch.

V případě srovnání získaných hodnot soudržnosti, což je měření schopnosti daného vzorku zachovat strukturální integritu v průběhu namáhání tlakem, lze konstatovat, že srovnání plně koreluje s výsledky měřené tvrdosti, stejně jako u výsledků gumovitosti a žvýkatelnosti.

Při hodnocení vzorků z vepřového masa je nutno uvědomit si, že naměřená hodnota tvrdosti tohoto kontrolního vzorku je téměř dvojnásobná oproti masu kuřecímu. Ve smyslu relativního působení jednotlivých solí kyseliny fosforečné na hodnoty tvrdosti však lze oba typy masa srovnat, odhlédneme-li od absolutních hodnot jako důsledku jejich působení. V případě použití difosforečnanů a trifosforečnanů jak sodných, tak draselných lze konstatovat, že jejich působení na tvrdost vzorku je v případě vepřového masa na rozdíl od masa kuřecího téměř prakticky shodné. Při srovnání kontrolního vzorku vepřového masa ve smyslu soudržnosti lze konstatovat, že vepřové maso tvoří velmi soudržné a pevné tepelně indukované gelové formace pouze působením slaného roztoku, kdy vznikají působením teploty na materiál pevné formace s nízkým obsahem vody, ale s organizovanou strukturou mající vysokou soudržnost. Gelové formace vytvořené díky působení fosforečnanů a obsahující vyšší procento vody než vzorek kontrolní, jeví mimo difosforečnanu tetrasodného v koncentraci 50 % shodné, nebo mírně nižší hodnoty soudržnosti ve srovnání s kontrolním vzorkem. U vzorků mimo (dihydrogendifosforečnan draselný a sodný, difosforečnan tetrasodný, trifosforečnan pentasodný) se také projevila nižší koncentrace použité fosforečné soli vyšší hodnotou sledované soudržnosti vzorku, z čehož lze vyvozovat, že zvyšující se koncentrace takovýchto fosforečnanů v případě vepřového masa snižuje soudržnost výrobku. Při srovnání vzorků z kuřecího a vepřového masa lze konstatovat, že použitím fosforečnanů s výjimkou solí s více atomy vodíku a delším řetězcem více lineárně vázaných jednotek fosforu v molekule, se parametry tvrdosti, soudržnosti a gumovitosti kuřecích vzorků razantně zvýšily, v některých případech až na úroveň vzorků vepřových. Použité fosforečné soli zvýšily v případě kuřecího masa také žvýkatelnost. Téměř ve všech případech došlo také ke zvýšení sledovaných parametrů zvýšením jejich koncentrace. Výjimku tvořily jen vzorky s obsahem solí s více atomy vodíku, kdy zvýšení koncentrace fosforečnanu vyvolalo další pokles pH ve vzorku. Při srovnání výsledných hodnot soudržnosti vzorků lze opět konstatovat, že vliv použitých fosforečnanů až na výše uvedené výjimky téměř srovnal parametry vepřových a kuřecích vzorků. Lze také konstatovat, že hodnoty tvrdosti, soudržnosti, gumovitosti a žvýkatelnosti korelují s vývojem a hodnocením viskoelastických měření ve smyslu naměřené finální elasticity vzorků. Rozdíly v hodnotách tvrdosti, soudržnosti a gumovitosti kontrolních vzorků vepřového a kuřecího masa a rozdíly ve vlivu použitých fosforečnanů na jejich vývoj lze vysvětlit odlišným uspořádáním a složením obou svalových tkání. Oba typy svaloviny vykazují poměrně shodný obsah vody, proteinů a tuků. Vepřová svalovina obsahuje nevýznamně vyšší procento stromatických bílkovin

zastoupených převážně kolagenem (Kameník et al., 2018). Významný rozdíl spočívá v tloušťce svalových vláken, kdy kuřecí svalová vlákna mají menší průměr než vepřová (Kang et al., 2010), a ve struktuře kolagenu svaloviny. Kuřecí endomysium, perimysium, sarkolema a další fasciální složky libové svaloviny jsou tvořeny z hlediska věku porážených zvířat částečně vývojovými stadii kolagenu, která jsou charakterizována přítomností termolabilních příčných vazeb v jeho strukturách (Light et al., 1985), na rozdíl od svaloviny vepřové, jejíž kolagen je zastoupen vyvinutým kolagenem, jehož mezimolekulární spojení jsou tvořena vyžralými termostabilními vazbami, které denaturují až při teplotách nad 70 °C. Na základě těchto skutečností je možno vystavět hypotézu vysvětlující rozdíly vedoucí ke změnám tvrdosti, soudržnosti a gumovitosti vzorků kuřecího a vepřového masa. Při zpracování kontrolního vzorku kuřecího masa působí na svalovinu roztok chloridu sodného, který v průběhu masírování solubilizuje část myosinu a dalších rozpustných proteinů. V průběhu následného zahřívání probíhají reakce spojené s tepelně indukovanou denaturací a agregací proteinů, přičemž ve finální fázi záhřevu v průběhu formování trojrozměrné gelové sítě dochází k tepelné denaturaci termolabilního kolagenu, který způsobí prudké snížení viskozity matrice, a zároveň dochází vlivem denaturace kolagenu k významnému oslabení kolagenních struktur tvořících povrch svalových vláken. Struktura svalových vláken je významně narušena a většinu vzniklého gelu tvoří matrice mimo svalová vlákna. Vzniklý tepelně indukovaný gel obsahuje příliš velké množství denaturovaného kolagenu, jehož část zůstává mimo jeho soustavu, což lze označit za jednu z příčin snížení výsledné tvrdosti a soudržnosti (Brewer et al., 2005). V případě výrobku z kuřecího masa je v důsledku tepelné destrukce měřená tvrdost vlastností převážně gelu vzniklého mimo fibrilární prostor. V průběhu zpracování kontrolního vzorku z vepřového masa dochází během masírování k podobné situaci, avšak vzhledem k vysoké stabilitě vepřového kolagenu, který umožňuje snadnou penetraci marinády o nízké viskozitě směrem do svalového vlákna, ale roztoku o vyšší viskozitě, který vznikl solubilizací části myosinu v marinovacím nálevu, migraci opačným směrem již umožní pouze částečně. V průběhu zvyšování teploty se tvoří tepelně indukované gelové formace jak v prostoru hydratovaných svalových buněk, tak i mimofibrilárních prostorech, tj. mezi jednotlivými kousky svaloviny. Pevný termolabilní kolagen téměř nedenaturuje, čímž neoslabuje struktury vytvořeného volného gelu, který spojuje jednotlivé kousky svaloviny a naopak, gel vytvořený uvnitř myofibril je po tepelné stabilizaci obklopen pevnou, pružnou strukturou kolagenu, která zvyšuje jeho schopnost odolávat tlaku. Pevnost matrice je charakterizována především tvrdostí gelu formovaného uvnitř kousků svaloviny, a protože volný

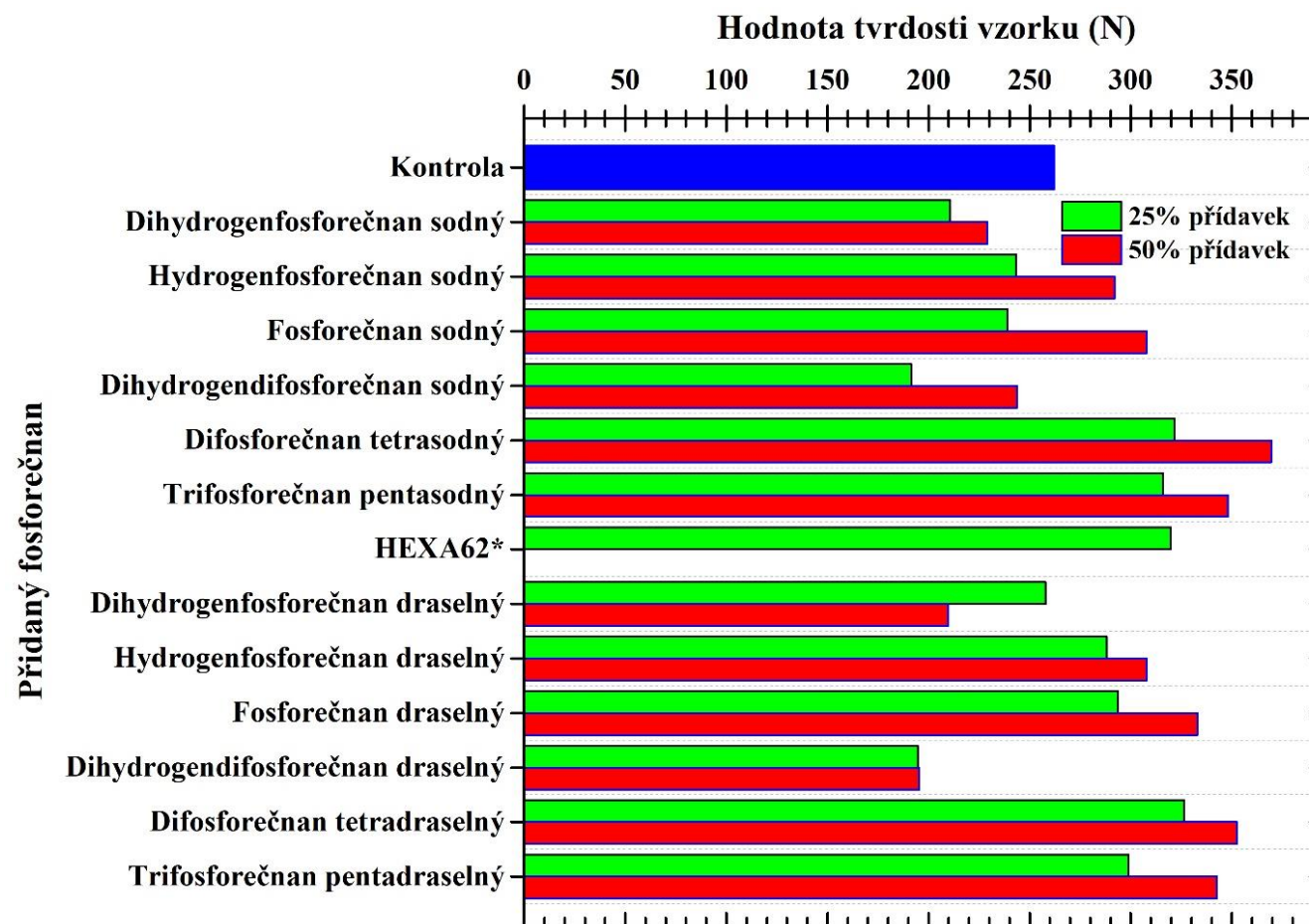
gel, který tyto kousky pojí do celku, tvoří pouze malý podíl ve vzorku, tvrdost a soudržnost vzorku tedy charakterizuje především pevnost částí svaloviny vyplněných vzniklým gelem. Pokud je působení marinády posíleno přítomností vhodné soli kyseliny fosforečné, dochází pravděpodobně k intenzivnější migraci roztoku obsahujícího především vyšší procento solubilizovaného myosinu mimo myofibrilární prostor, čímž se po následné tepelné úpravě změní poměr ve prospěch volného gelu mezi jednotlivými kousky svaloviny. V případě posuzování tvrdosti a soudržnosti tohoto vzorku již tuto vlastnost pravděpodobně charakterizuje spíše gel mimo kousky svaloviny, obsahující poměrně velké množství vody, který není obklopen kolagenním pružným a zpevňujícím povrchem a tudíž vykazuje menší tvrdost, soudržnost a gumovitost než kontrolní vzorek. Při obdobném působení roztoku fosforečnanů na kuřecí svalovinu dochází v průběhu masírování k podobným reakcím jako v případě masa vepřového, tj. k účinnější solubilizaci myofibrilárních proteinů vlivem sekvestračního působení fosforečnanů a destrukci vazeb mezi aktinem a myosinem. Výsledná sol matrice obsahuje podstatně vyšší podíl solubilizovaného myosinu než v případě kontrolního vzorku. V průběhu zvyšování teploty a denaturace kolagenu již dochází vlivem dostatečné koncentrace myosinu k jeho zachycení a inkorporaci do vznikající gelové formace. Po stabilizaci poté dochází ke zvýšení hodnot tvrdosti, soudržnosti a gumovitosti oproti hodnotám kontrolního vzorku. Platnost výše zmíněné hypotézy však bude muset být ověřena v dalších pracích.



\* HEXA62 = polyfosforečnan sodného se střední délkou řetězce 5 lineárně vázaných jednotek fosforu v molekule.

\*\* HEXA68 = polyfosforečnan sodného se střední délkou řetězce 20 lineárně vázaných jednotek fosforu v molekule.

**Obr. 8** Závislost tvrdosti vzorku kuřecí šunky po tepelném opracování na konkrétním individuálně přidaném fosforečnanu. Přídavky fosforečnanů byly realizovány v množství 25 % maximálního množství vyjádřeného jako  $P_2O_5$  (zelené sloupce) a 50 % maximálního množství vyjádřeného jako  $P_2O_5$  (červené sloupce). Zobrazeny jsou také výsledky kontrolního vzorku bez přídavku fosforečnanů, a to modrým sloupcem. ( $n = 6$ ).



\* HEXA62 = polyfosforečnan sodného se střední délkou řetězce 5 lineárně vázaných jednotek fosforu v molekule.

**Obr. 9** Závislost tvrdosti vzorku vepřové šunky po tepelném opracování na konkrétním individuálně přidaném fosforečnanu. Přidávky fosforečnanů byly realizovány v množství 25 % maximálního množství vyjádřeného jako  $P_2O_5$  (zelené sloupce) a 50 % maximálního množství vyjádřeného jako  $P_2O_5$  (červené sloupce). Zobrazeny jsou také výsledky kontrolního vzorku bez přídavku fosforečnanů, a to modrým sloupcem. ( $n = 6$ ).

## 5 DISKUZE

V rámci měření malých deformací byly sledovány reakce úzce související s intramolekulárními chemickými silami, konformací proteinů, distribucí a migrací vody včetně viskoelastického chování v průběhu teplotních změn (Ahmed & Ramaswamy, 2007). Pomocí reologického měření lze také určit teplotu fázového přechodu (tranzitní teplotu) ze sol na gel formaci a trend dynamických reologických vlastností určujících vlastnosti vznikajícího gelu. Myofibrily jsou primárním místem, kde může být zadržena voda v mase a disociován myosin. Z těchto důvodů byly publikovány studie, které zkoumaly interakce fosforečnan-myofibrila (Offer & Trinick, 1983) publikovali některé z raných prací, které zkoumaly účinek pyrofosfátu na hydrataci myofibril v kombinaci s roztoky NaCl v různých koncentracích. V těchto pracích byl většinou posuzován vliv difosforečnanů na bobtnání myofibril. Pozorování byla potvrzena několika následnými studii (Xiong & Kupski, 1999). Informace o účincích jiných typů běžných fosforečnanů na hydrataci a zadržování vody ve výrobku, což jsou zásadní atributy masových výrobků ve vztahu k textuře a šťavnatosti, jsou však omezené. V naší práci jsme se snažili postihnout reologické vlastnosti vzorků s obsahem všech běžně dostupných potravinářsky přijatelných fosforečnanů. Mnoho prací se zabývalo působením soli a fosforečnanů na izolovaný myosin (Hayakawa, 2012), izolovaný myofibrilární protein (Westphalen et al., 2005) a izolované myofibrily (Ishioroshi et al., 2014). Na rozdíl od těchto experimentů jsme se zabývali sledováním vlivu různých typů fosforečnanů na změnu vlastností komplexního vzorku svalové tkáně, kdy je kinetický proces a konečná distribuce těchto sloučenin ovlivněna také přítomností dalších složek masa. Koncentrace NaCl velmi zásadně ovlivňuje iontovou sílu prostředí, jak bylo prokázáno mnoha studii, kdy byl zkoumán vliv soli na solubilizaci proteinů a zvyšování WHC. V těchto pracích byl zkoumán vliv chloridu sodného v širokém rozpětí koncentrací (od 0,1M do 12M); (Wu et al., 2016). Koncentrace NaCl byla v našem případě upravena na 0,41M (2 %) v celém vzorku, což odpovídá běžnému solení masných výrobků. O výsledku působení samotného NaCl na sledované vlastnosti vypovídají hodnoty kontrolních vzorků, (Obrázek 2, 5), kdy lze z vývoje ztrátového modulu konstatovat, že k zahájení tvorby gelu začalo docházet kolem 40 °C, což koresponduje s výsledky podobných experimentů (Wang et al., 2022). Zvýšení viskozity je způsobeno teplotní iniciací denaturace proteinů disociovaných v průběhu marinace a zejména

agregací hlav myosinu, která začíná probíhat již při nižších teplotách. Dalším zahříváním dochází k pevnému spojení hydrofobních částí myosinu a vytlačení vody mimo molekulu, což způsobí pokles jak elastického, tak i ztrátového modulu. Tento pokles pokračuje do teploty 55 °C, která bývá označována jako tranzitní, jejímž dalším zvyšováním dochází k přechodu sol na gel formaci a vztah mezi elastickým a ztrátovým modulem v tento moment určuje vlastnosti tvořícího se gelu. Vliv zvyšující se teploty má destruktivní vliv na molekuly myosinu, z nichž se oddělují koncové, spirálně formované části, které se postupně rozvinují, při teplotě cca 65 °C začínají mezi sebou reagovat a vytvářejí náhodně uspořádané síťovité formace tvořící gel (Samejima et al., 1981). I když se reakce odehrává v podmínkách vhodných z pohledu pH i dostatečné iontové síly chloridu sodného, vzniklý gel nedosahuje odpovídající pevnosti a elasticity. Příčinou je pravděpodobně nedostatečná disociace aktinomyozinového komplexu vlivem samotného NaCl, kdy jeho působení neumožní depolymerizaci příčných vazeb mezi aktinem a myosinem. Velmi podobný průběh vývoje elastického a ztrátového modulu mají vzorky obsahující  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$  a  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Z důvodu vysokého obsahu vodíkových iontů mají vodné roztoky nízké pH, čímž je následně sníženo pH zpracovávaného vzorku.

V prostředí o nízkém pH je zásadním způsobem snížena elektronegativita což zamezuje penetraci roztoku do myofibrilárního prostoru a disociaci proteinových struktur. Naopak snížením objemu proteinových molekul dochází k vytlačení části vázané vody mimo molekuly a kritické agregaci jejich hydrofobních částí (Westphalen et al., 2005). Zároveň se začíná měnit sekundární struktura myosinu  $\alpha$ -helix ve prospěch  $\beta$ -listů, takže část proteinů částečně denaturuje již před zahájením tepelného záhřevu (Sun & Holley, 2011). V průběhu zahřívání pak dochází kolem 40 °C k mírnému zvýšení viskozity a elasticity z důvodu vytvoření pevných vazeb mezi hlavovými částmi molekul myosinu pomocí disulfidických vazeb, které je však doprovázeno vypuzením zbytku vody, což je jednou z příčin následujícího poklesu obou modulů v rozmezí 45–55 °C. Za další důvod zmíněného poklesu je považována teplotou indukovaná destrukce zbytku myozinové molekuly, kdy dochází k oddělení koncových helikálních tyčí. Následně, v důsledku dalšího zvyšování teploty mezi sebou tyto zbytky náhodně reagují, v důsledku čehož dochází k nárůstu jak elastického, tak i ztrátového modulu za vzniku hrubého, náhodně uspořádaného gelu, obsahujícího poměrně malé množství nepříliš pevně integrované vody. (Samejima et al., 1981). Velmi podobný vývoj viskoelastických vlastností lze pozorovat u vzorků, k jejichž úpravě byly použity fosforečnany s dlouhým



řetězcem HEXA 62 a HEXA 68. Zde lze za příčinu tohoto chování vzorku označit velikost molekuly fosforečnanu, resp. její délku. Disociace fosforečnanů s dlouhým řetězcem je obecně velmi dlouho trvající reakce, což v tomto případě zásadním způsobem snižuje iontovou sílu roztoku a tím pozitivní účinek NaCl na bobtnání myofibril a následnou disociaci myozinových molekul. Vlivem pomalé disociace je také k dispozici menší množství fosfátových iontů, takže není dostatečně využito obecně uznávané sekvestrační schopnosti fosforečnanů (Lampila, 2002). Vlivem výsledné nízké koncentrace solubilizovaného myosinu je tvořena sol formace s nízkou viskozitou. V průběhu tepelného záhřevu lze pozorovat počáteční růst viskozity a elasticity provázející agregaci jako v případě kontrolního vzorku, podobně jako následný pokles hodnot vyvolaný dezintegrací myosinu. Při dosažení tranzitní teploty 55 °C dosahovaly hodnoty elastického modulu nižších hodnot, než modul ztrátový, čímž vzorek vykazoval převládající viskózní charakter. Tyto vlastnosti signalizují nízkou elasticitu a pevnost utvářené formace (de Faria et al., 2013). Tato situace se následně promítla do vývoje komplexní viskozity ve smyslu slabšího tuhnutí matrice. Značný vliv koncentrace fosforečnanů byl na základě výsledků měření prokázán u  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ,  $\text{K}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ , kdy se zvýšení koncentrace z 25 % na 50 % projevilo na změně průběhu modulů jak z pohledu zvýšení viskozity, tak i v pevnosti výsledného gelu charakterizované konečnou hodnotou elastického modulu. V případě mono a difosforečnanů, lze vysvětlit zlepšení funkčních vlastností nejspíše zesílením pufrací schopnosti roztoku související se zvýšením elektronegativity ve strukturách proteinů. Fosforečnany s delším řetězcem však nejsou považovány za příliš dobré pufrы bez ohledu na jejich pH v roztoku z důvodu konstantního počtu titrovatelných protonů v řetězci. Zvýšení počtu fosfátových jednotek s následným zvýšením iontové síly roztoku může mít také vliv na intenzitu sekvestrace vápených iontů z vazby aktin-myosin (Lampila, 2013), jejímž uvolněním dochází k intenzivnějšímu přechodu myosinu do disperzní soustavy a jeho následné solubilizaci, což se v průběhu teplotních změn projeví na hodnotách elastického modulu zvýšením pevnosti vzniklého gelu. Na výše popisované reakce má nepochybně vliv také počet fosfátových jednotek v molekule fosforečnanu. Regenstain (1984) demonstroval vliv fosforečnanů pouze způsobem:  $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7 > \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ , a v současnosti jsou zmiňovány z důvodu snižování obsahu sodíku ve výživě zejména  $\text{K}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  a  $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ . Z výsledků naší práce ale vyplývá, že poměrně výrazný vliv na sledované parametry kromě již zmíněných tri- a difosforečnanů, ať již sodných, nebo draselných, mají také některé sodné i draselné monofosforečnany. Příčinou je pravděpodobně nejúčinnější působení ve smyslu zvyšování a udržení pH a s tím spojené účinky na elektronegativitu, výrazné

působení na zvýšení iontové síly a v neposlední řadě i velikost molekuly usnadňující penetraci do proteinových struktur (Trout & Schmidt, 1983). Monofosforečnany mají minimální sekvestrační schopnost z důvodu absence dvou přípojních míst na molekule, ale s ionty kovů reagují precipitací, takže jsou schopny destruovat vazby aktin-myosin podobně jako difosforečnany. Je také známo, že pokud je k ošetření masa použit trifosforečnan, je následně štěpen na monofosforečnan a zbytek tvoří difosforečnan (Lampila, 2013). Patrně z tohoto důvodu bylo jejich působení v koncentraci 25 % nedostatečné a deklarovaného účinku dosahovaly až při zvýšení koncentrace. Vliv na sledované parametry tepelně indukovaných proteinových gelů kuřecího a vepřového masa dle reologických měření lze vyhodnotit dle Tab. 5 a 6.

Kuřecí a vepřové vzorky vykázaly poměrně shodné reologické trendy z pohledu vlivu jednotlivých fosforečnanů na sledované parametry průběhu formování tepelně indukovaných gelů. Rozdíly byly však zaznamenány v účinnosti koncentrací fosforečnanů. Obě varianty použitých svalových partií (*musculus semimebranosus*, *musculus pectoralis*) mají velmi podobné chemické složení (Kameník et al., 2018). Kuřecí prsní sval se však skládá výhradně z rychlých, glykolytických vláken typu II B, (Dransfield & Sosnicki, 1999), zatímco vepřový *semimembranosus* obsahuje mimo rychlých vláken typu II B kolem 10% pomalých vláken typu I s oxidačním metabolismem a 4% rychlých vláken typu II A s metabolismem kombinovaným.

**Tab. 5** Srovnání účinnosti jednotlivých fosforečnanů v kuřecích šunkách podle viskoelastických vlastností vzorků. Fosforečnany v jednotlivých sloupcích mají obdobnou účinnost. Fosforečnany v různých sloupcích disponují rozdílnou účinností, pokud je mezi nimi znak (ve směru nerovnosti).

Fosforečnan a koncentrace *		Fosforečnan a koncentrace *		Fosforečnan a koncentrace *		Fosforečnan a koncentrace *
Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> – 25 i 50 %	>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> – 25 i 50 %	>	K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> – 25 %	>	Na <sub>2</sub> H <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> – 25 i 50 %
K <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> – 50 %		K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> – 25 i 50 %		Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> – 25 i 50 %		KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> – 25 i 50 %
Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> – 50 %		K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> – 50 %		K <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> – 25 %		NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> – 25 i 50 %
K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> – 50 %				Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> – 25 %		Hexa 62 – 25 i 50 %
				K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> – 25 %		Hexa 68 – 25 i 50 %

\* koncentrace (25 % anebo 50 %) je vztaheno k maximálnímu množství vyjádřenému jako P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, které je možné dle Nařízení Evropského parlamentu a Rady ES 1333/2008 (v platném a účinném znění) do tepelně opracovaných masných výrobků použít.

**Tab. 6** Srovnání účinnosti jednotlivých fosforečnanů ve vepřových šunkách podle viskoelastických vlastností vzorků. Fosforečnany v jednotlivých sloupcích mají obdobnou účinnost. Fosforečnany v různých sloupcích disponují rozdílnou účinností, pokud je mezi nimi znak (ve směru nerovnosti).

Fosforečnan a koncentrace *		Fosforečnan a koncentrace *		Fosforečnan a koncentrace *		Fosforečnan a koncentrace *
Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> – 50 %	>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> – 25 %	>	Hexa 62 – 25 i 50 %	>	Hexa 68 – 25 i 50 %
K <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> – 50 %		K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> – 25 %		Na <sub>2</sub> H <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> – 25 %		KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> – 25 i 50 %
K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> – 25 i 50 %		Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> – 25 %				
Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> – 25 i 50 %		K <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> – 25 %				
K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> – 50 %		Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> – 25 i 50 %				
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> – 50 %		K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> – 25 i 50 %				
		NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> – 25 i 50 %				
		Na <sub>2</sub> H <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> – 50 %				

\* koncentrace (25 % anebo 50 %) je vztaženo k maximálnímu množství vyjádřenému jako P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, které je možné dle Nařízení Evropského parlamentu a Rady ES 1333/2008 (v platném a účinném znění) do tepelně opracovaných masných výrobků použít.

Vepřová rychlá vlákna tedy z tohoto důvodu obsahují několik různých izoform myosinu, jejichž reakce se solí a fosforečnany má rozdílný průběh a kinetiku. U ptáků typu kuřecí brojler je z důvodu jejich velmi krátkého životního cyklu obtížné určit počet a typ izoform myosinu, protože jejich část představují vývojová stadia myozinu (Listrat et al., 2016). Za další z důvodů je lze také považovat významný rozdíl v tloušťce svalových vláken (Kang et al., 2010). Svalová vlákna kuřecích prsou mají podstatně menší průměr než vepřová, což by mohlo vést u vepřového masa ke zpomalení penetrace disperze do myofibrilární oblasti. Na rozdíl od vzorků vyrobených z vepřového masa lze u vzorků obsahujících kuřecí surovinu pozorovat snížení viskozity v teplotní oblasti intenzivní denaturace proteinů těsně před dosažením cílové teploty 70 °C doprovázené u vepřových vzorků naopak konstantním zvyšováním hodnot obou modulů. Tento projev lze patrně přičíst denaturaci kolagenu obsaženého ve svalovině. Denaturační teplota kolagenu obecně nastává při teplotách vyšších než 70 °C, kdy je solubilizováno 10–15 % celkového obsahu kolagenu (Brewer et al., 2005). Pokud kolagenní vlákna působením teploty ztrácejí svou helikální strukturu díky destrukci mezimolekulárních spojení a dispergují se, mohou snižovat vzrůstající hodnoty viskozity vznikajícího myofibrilárního gelu. Intenzita denaturace kolagenu je závislá na termostabilitě příčných vazeb v molekule kolagenu, která vzrůstá s věkem zvířete (Light et al., 1985). Vzhledem k tomu, že kuřata jsou porážena v podstatně nižším věku než prasata, lze předpokládat, že kuřecí kolagen obsahuje z proteomického hlediska podstatně více termolabilního kolagenu podléhajícího denaturaci při teplotách nižších než 70 °C, který je příčinou sledovaného úkazu. Tuto teorii podporují také výsledky

TPA, kdy kontrolní vzorky vyrobené z vepřového masa vykazovaly podstatně vyšší hodnoty parametrů tvrdosti, soudržnosti, gumovitosti a žvýkatelnosti oproti vzorkům z kuřecího masa. Obsah nedenaturovaného a částečně denaturovaného kolagenu ovlivňuje v tomto směru vlastnosti finálního výrobku, protože se žádným způsobem nepodílí na tvorbě tepelně indukovaného gelu a zachovává si své původní vlastnosti. Naopak, jak je uvedeno výše, denaturace termolabilního, rozpustného kolagenu, která způsobuje snížení viskozity v závěrečné fázi tepelného formování gelu, snižuje následně jeho tvrdost (Brewer et al., 2005) a tím následně další parametry TPA (Obr. 8, 9), které se z tvrdosti odvozují. Tato tvrzení také mohou být vysvětlující pro zvýšení soudržnosti kuřecích vzorků, protože Calhoun et al. (1996) prokázal pozitivní vliv obsahu kolagenu na soudržnost masných výrobků. Horita et al. (2011) ve své práci potvrzuje, že hodnoty tvrdosti mají souvislost s obsahem vody v produktu ve smyslu nižší obsah vody – nižší hodnota tvrdosti (Obr. 8, 9). Pokud bychom přijali tuto teorii, pak bychom fosforečnany považovali za funkční především pro kuřecí maso, kde se hodnota tvrdosti bez ohledu na předchozí srovnání téměř vždy zvýšila. Výsledky srovnání hodnot obsahu vlhkosti však nevykazují významné rozdíly mezi kuřecí a vepřovou svalovinou jak v případě surovin, tak i ve vzorcích po tepelném ošetření. Vysvětlení rozdílu výsledků především texturní a profilové analýzy mezi kuřecími a vepřovými vzorky spočívá nejspíše ve výše zmiňovaných rozdílech mezi svalovinou kuřat a vepřů. Vepřové maso na rozdíl od kuřecího obsahuje vzhledem k věku porážených zvířat jak na buněčné, tak i intramuskulární úrovni vysoký obsah v ontogenetickém smyslu zcela vyvinutých bílkovin pojivových tkání, zejména nesolubilizovatelného stabilního kolagenu. Svalová vlákna vepřového masa mají také významně větší průměr, jak je uvedeno výše. Z uvedeného můžeme vyvozovat, že viskózní roztoky, které se vytvoří během marinace působením NaCl a fosforečnanů na proteiny svalové tkáně mají, díky kolagenním bariérám na úrovni jak perimysia, tak i epimysia sníženou migrační schopnost. Větší část tepelně indukovaných procesů tvorby gelů vepřového masa se odehrává na úrovni myofibril a částí sarkomer na rozdíl od kuřecí svaloviny, kdy solubilizace pouze částečně vyvinutého, rozpustného kolagenu umožní snadnou migraci viskózních roztoků oběma směry. Výsledkem je rozdíl obsahu vytvořeného gelu mezi jednotlivými částmi svaloviny. Při stlačování kuřecí šunky pak působíme převážně na gel spojující jednotlivé části, na rozdíl od vepřového produktu, kdy stlačujeme nejen kompozici vytvořenou mezi jednotlivými částmi svaloviny, ale i větší podíl gelu, který během formování zůstal součástí svalových struktur a tím podstatně nezvýšil jejich schopnost odolávat tlaku.

## 6 PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI

Konzistence šunek patří k organoleptickým vlastnostem výrobku, kterých si spotřebitel všimá velmi brzy po zakoupení výrobku. Prevence výpotku tekutiny podstatně diskvalifikuje masné výrobky, nejen šunky, v hodnocení konzumentů. K prevenci samovolného uvolňování vody slouží kromě správné výrobní praxe i vhodná kombinace potravinářských přídatných látek, kam zvláště u šunek patří sodné a draselné soli fosforečnanů. Bohužel se v literatuře nenachází dostatek relevantních informací o vhodných kombinacích fosforečných solí zabraňujících samovolnému uvolňování vody, a pokud se vyskytují, pak se jedná především o modelové systémy izolovaných bílkovin masa, jejichž výsledky jsou obtížně přímo přenositelné do praxe. K zaplnění této mezery v literárních zdrojích mají sloužit i výsledky této doktorské práce.

Jednotlivé přínosy pro vědní obor a praxi lze formulovat takto:

- popis svalové tkáně a jejich vlastností jako suroviny pro výrobu šunek a její interakce s vodou s využitím aktuálních literárních údajů, včetně atributů vhodnosti svalové tkáně v průběhu zrání masa, a to na molekulární a anatomické úrovni,
- srovnání výše uvedených skutečností u vepřového a kuřecího masa,
- detailní a recentní popis faktorů ovlivňujících tvorbu proteinového gelu jakožto základu struktury šunek,
- charakteristika role chloridu sodného, případně chloridu draselného, při utváření proteinového gelu myofibrilárních bílkovin,
- popis jednotlivých fosforečnanů teoreticky využitelných pro výrobu šunek a jejich možné interakce s bílkovinami svalové tkáně,
- provádění experimentů s reálnými vzorky vepřových a kuřecích šunek,
- testování celkem 8 sodných solí fosforečnanů, di-, tri- a polyfosforečnanů a 5 draselných solí fosforečnanů, di- a trifosforečnanů ve dvou koncentracích navázaných na 25 % a 50 % maximálního množství povoleného Nařízením Evropského parlamentu a Rady ES č. 1333/2008 (v platném a účinném znění),
- vývoj nové *in-situ* metody sledování tvorby gelu reálných vepřových a kuřecích šunek s využitím dynamické oscilační reometrie s geometrií strukturovaná („pilovitá“) deska-deska při teplotním gradientu zahřívání,

předepsané tepelné výdrže a řízeného chlazení. Tento přínos lze považovat i za příspěvek vědnímu oboru,

- doplnění reologických měření testováním pomocí texturní profilové analýzy, jejíž podmínky se více blíží reálným pocitům spotřebitelů při konzumaci vepřových a kuřecích šunek,
- vyvození závěrů o vhodnosti jednotlivých testových fosforečnanů a jejich koncentrací pro vepřové a kuřecí šunky a doporučení optimálních kombinací (typu fosforečnanu a jeho koncentrace).

## 7 ZÁVĚR

Bylo provedeno srovnání vzorků typu celosvalových masných výrobků z vepřového a kuřecího masa vyrobených za působení řady sodných a draselných solí kyseliny fosforečné v různých koncentracích. V průběhu přípravy, tepelného opracování a chlazení byly pozorovány a zaznamenány změny jejich vlastností, ovlivněné působením fosforečnanů. Využití dynamické oscilační reologie se ukázalo jako efektivní k měření malých deformací v průběhu tepelně indukovaného přechodu formací sol do formace gel. Výsledky potvrdily významný vliv fosforečnanů s obsahem více vodíkových iontů na snížení pH analyzovaných vzorků, které negativně ovlivnilo průběh formování gelu jak z reologického hlediska v průběhu teplotních změn, tak i vlastnosti finálního produktu z pohledu TPA. Byl prokázán vliv zvyšující se koncentrace použitých fosforečnanů na sledované parametry. Vliv zvyšujícího se počtu fosforečných iontů v molekule fosforečnanů na sledované vlastnosti vzorku nebyl jednoznačně potvrzen. Získané výsledky na jedné straně potvrzují předchozí studie a závěry, na druhé straně byl prokázán dosud nepublikovaný vliv některých fosforečnanů na sledované vlastnosti tepelně indukovaných gelů svalové tkáně. Budoucí práce by měla být zaměřena na zevrubnější prozkoumání účinků těchto přídatných látek v různých koncentracích použitých marinovacích roztoků, účinky jejich binárních a ternárních směsí, případně ve směsích s vybranými hydrokoloidy. Další perspektiva spočívá v možnosti zabývat se minimálními účinnými koncentracemi fosforečnanů schopnými ovlivnit sledované parametry ve vztahu k obecnému trendu snižování obsahu přídatných látek v potravinách. Metoda přípravy vzorku a měření použitá v experimentu byla již úspěšně využita v praxi v projektu zadaném a financovaném Adalbert-Raps-Stiftung, Spolková Republika Německo. Cílem tohoto projektu bylo posouzení vlivu komerčních fosforečnanů a jejich směsí od nejvýznamnějších světových výrobců na vlastnosti vepřové šunky. Výsledky byly využity ke zvýšení účinnosti stávajících receptur pro výrobu šunek, jejichž výrobou se firma Raps, patřící k největším producentům potravinářských přídatných látek v Evropě, zabývá.

## 8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Ahmed, J., & Ramaswamy, H. S. (2007). Dynamic rheology and thermal transitions in meat-based strained baby foods. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1274-1284.

Aaslyng, M. D., Vestergaard, C., & Koch, A. G. (2014). The effect of salt reduction on sensory quality and microbial growth in hotdog sausages, bacon, ham and salami. *Meat Science*, 96(1), 47-55. Alvarado, C., & McKee, S. (2007). Marination to Improve Functional Properties and Safety of Poultry Meat. *Journal of Applied Poultry Research*, 16(1), 113-120.

Alvarado, C., & McKee, S. (2007). Marination to Improve Functional Properties and Safety of Poultry Meat. *Journal of Applied Poultry Research*, 16(1), 113-120.

Asghar, A., Samejima, K., Yasui, T., & Henrickson, R. L. (2009). Functionality of muscle proteins in gelation mechanisms of structured meat products. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 22(1), 27-106.

Asghar, A., Morita, J. -I., Samejima, M., & Yasui, T. (1984). Biochemical and Functional Characteristics of Myosin from Red and White Muscles of Chicken as Influenced by Nutritional Stress. *Agricultural and Biological Chemistry*, 48(9), 2217-2224.

Barbut, S., & Mittal, G. S. (1990). Effect of Heating Rate on Meat Batter Stability, Texture and Gelation. *Journal of Food Science*, 55(2), 334-337.

Bendall, J. R., Hallund, O., & Wismer-Pedersen, J. (1963). Post-Mortem Changes in the Muscles of Landrace Pigs. *Journal of Food Science*, 28(2), 156-162.

Boland, M., Kaur, L., Chian, F. M., & Astruc, T. (2019). Muscle Proteins. *Encyclopedia of Food Chemistry*, 164-179.

Brewer, M. S., Peterson, W. J., Carr, T. C., Mccusker, R., & Novakofskij, J. (2005). Thermal gelation properties of myofibrillar protein and gelatin combinations. *Journal of Muscle Foods*, 16(2), 126-140.

Burnett, D. D., Legako, J. F., Phelps, K. J., & Gonzalez, J. M. (2020). Biology, strategies, and fresh meat consequences of manipulating the fatty acid composition of meat. *Journal of Animal Science*, 98(2).

Calhoun, C. M., Eilert, S. J., & Mandigo, R. W. (1996). Connective Tissue/Acidic Phosphate Preblend Effects on Reduced Fat Frankfurters. *Journal of Food Science*, 61(2), 459-464.



Clark, K. A., McElhinny, A. S., Beckerle, M. C., & Gregorio, C. C. Striated Muscle Cytoarchitecture: An Intricate Web of Form and Function, 637-706.

de Faria, J. T., Minim, V. P. R., & Minim, L. A. (2013). Evaluating the effect of protein composition on gelation and viscoelastic characteristics of acid-induced whey protein gels. *Food Hydrocolloids*, 32(1), 64-71.

Debelle, L. (1999). The structures of elastins and their function. *Biochimie*, 81(10), 98-994.

Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R., & Suman, S. P. (2010). Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Science*, 86(1), 86-94.

Fennema, O. (1996 b). *Food Chemistry* (3rd ed.). Marcel Dekker.

Hamm, R. (1975). Water-holding capacity of meat. *Meat*, 321-338.

Hermansson, A. -M., Harbitz, O., & Langton, M. (1986). Formation of two types of gels from bovine myosin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 37(1), 69-84.

Hopkins, D. L. (2018). Tenderizing Mechanisms: Mechanical. *Reference Module in Food Science*.

Horita, C. N., Morgano, M. A., Celeghini, R. M. S., & Pollonio, M. A. R. (2011). Physico-chemical and sensory properties of reduced-fat mortadella prepared with blends of calcium, magnesium and potassium chloride as partial substitutes for sodium chloride. *Meat Science*, 89(4), 426-433.

Huff Lonergan, E., Zhang, W., & Lonergan, S. M. (2010). Biochemistry of postmortem muscle — Lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Science*, 86(1), 184-195.

Huff-Lonergan, E. (2009). Fresh meat water-holding capacity. *Improving the Sensory and Nutritional Quality of Fresh Meat*, 147-160.

Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71(1), 194-204.

Chagnot, C., Listrat, A., Astruc, T., & Desvaux, M. (2012). Bacterial adhesion to animal tissues: protein determinants for recognition of extracellular matrix components. *Cellular Microbiology*, 14(11), 1687-1696

Cheng, Q., & Sun, D. -W. (2008). Factors Affecting the Water Holding Capacity of Red Meat Products: A Review of Recent Research Advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(2), 137-159.

Ingr, I. (2003). *Produkce a zpracování masa*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita.

Ishioroshi, M., Samejima, K., & Yasui, T. (2014). Heat-induced Gelation of Myosin Filaments at a Low Salt Concentration. *Agricultural and Biological Chemistry*, 47(12), 2809-2816.

Kameník, J., Saláková, A., & Kašpar, L. (2018). Characteristics of selected pork muscles 45 min and 24 h post mortem. *Acta Veterinaria Brno*, 87(2), 173-180.

Kang, G. Eun-Ho., PARK, Gu-Boo., JOO, Seon-Tea., LEE, Mooha., & LEE, Sung-Ki. (2010). Effect of muscle fiber types on gel property of surimi-like materials from chicken, pork and beef. *Journal of Muscle Foods*, 21(3), 570-584.

Khalid, W., Arshad, M. S., Aslam, N., Majid Noor, M., Siddeeg, A., Abdul Rahim, M., Zubair Khalid, M., Ali, A., & Maqbool, Z. (2022). Meat myofibril: Chemical composition, sources and its potential for cardiac layers and strong skeleton muscle. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 375-390.

Koohmaraie, M., & Geesink, G. H. (2006). Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Science*, 74(1), 34-43.

Lampila, L. (2002). *Food Additives* (second). Marcel Dekker.

Lampila, L. E. (2013). Applications and functions of food-grade phosphates. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1301(1), 37-44.

Lefèvre, F., Culioli, J., Joandel-Monier, S., & Ouali, A. (1999). Muscle Polymorphism and Gelling Properties of Myofibrillar Proteins from Poultry, Mammals, and Fish. *Quality Attributes of Muscle Foods*, 365-391.

Lesiów, T., & Xiong, Y. L. (2003). Chicken muscle homogenate gelation properties: effect of pH and muscle fiber type. *Meat Science*, 64(4), 399-403.

Light, N., Champion, A. E., Voyle, C., & Bailey, A. J. (1985). The rôle of epimysial, perimysial and endomysial collagen in determining texture in six bovine muscles. *Meat Science*, 13(3), 137-149.

Listrat, A., Lebret, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L., Picard, B., & Bugeon, J. (2016). How Muscle Structure and Composition Influence Meat and Flesh Quality. *The Scientific World Journal*, 2016, 1-14.

Liu, G., & Xiong, Y. L. Contribution of Lipid and Protein Oxidation to Rheological Differences between Chicken White and Red Muscle Myofibrillar Proteins, 779-784.

Molins, R. A. (1991). *Phosphates in food* (1st ed.). CRC Press.

Motycka, Robert R., & Bechtel, Peter J. (1983). Influence of Pre-Rigor Processing, Mechanical Tenderization, Tumbling Method and Processing Time on the Quality and Yield of Ham. *Journal of Food Science*, 48(5), 1532-1536.

Neubauer, J., Sedlačík, M., & Kříž, O. (2021). *Základy statistiky: aplikace v technických a ekonomických oborech* (3., rozšířené vydání). Grada Publishing.

Nishimura, T. (2010). The role of intramuscular connective tissue in meat texture. *Animal Science Journal*, 81(1), 21-27.

Offer, G., & Trinick, J. (1983). On the mechanism of water holding in meat: The swelling and shrinking of myofibrils. *Meat Science*, 8(4), 245-281.

Offer, G., Knight, P., Jeacocke, R., Almond, R., Cousins, T., & Elsey, J., et al. (1989). The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat-products. *Food Microstructure*, 1989(8), 151–170.

O'Neill, E., Morrissey, P. A., & Mulvihill, D. M. (1993). Heat-induced gelation of actomyosin. *Meat Science*, 33(1), 61-74.

Paredi, M. E., Davidovich, L. A., & Crupkin, M. (1999). Thermally Induced Gelation of Squid ( *Illex argentinus* ) Actomyosin. Influence of Sexual Maturation Stage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(9), 3592-3595.

Pietrasik, Z., & Shand, P. J. (2005). Effects of mechanical treatments and moisture enhancement on the processing characteristics and tenderness of beef semimembranosus roasts. *Meat Science*, 71(3), 498-505.

Pietrasik, Z., & Shand, P. J. (2003). The effect of quantity and timing of brine addition on water binding and textural characteristics of cooked beef rolls. *Meat Science*, 65(2), 771-778.

Quali, A. (1992). Proteolytic and physicochemical mechanisms involved in meat texture development. *Biochimie*, 74(3), 251-265.

Regenstein J. M., (1984) 37 Reciprocal Meat Conference Proceedings.

Regini, J. W., & Elliott, G. F. (2001). The effect of temperature on the Donnan potentials in biological polyelectrolyte gels: cornea and striated muscle. *International Journal of Biological Macromolecules*, 28(3), 245-254.

Ruusunen, M., & Puolanne, E. (2005). Reducing sodium intake from meat products. *Meat Science*, 70(3), 531-541.

Savage, A. W. J., Warriss, P. D., & Jolley, P. D. (1990) The Amount and Composition of the Proteins in Drip from Stored Pig Meat. *Meat Science*, 1990(27), 289-303.

Strasburg, G., Xiong, Y. L., & Chiang, W. (2008). Physiology and chemistry of edible muscle tissues. In S. Damodaran, K. L. Parkin, O. R. Fennema, & (Eds.), *Fennema's Food Chemistry* (fourth ed., pp. pp. 923–973.). CRC Press.

Sun, X. D., & Holley, R. A. (2011). Factors Influencing Gel Formation by Myofibrillar Proteins in Muscle Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10(1), 33-51.

Tornberg, E. (2005). Effects of heat on meat proteins – Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70(3), 493-508.

Tornberg, E. (2013). Engineering processes in meat products and how they influence their biophysical properties. *Meat Science*, 95(4), 871-878.

Tortora, G. J., & Derrickson, B. H. (2013). Principles of Anatomy and Physiology. In (fourteenth ed). Wiley Global Education.

Trout, G. R.; Schmidt, G. R. Utilization of phosphates in meat products. *Meat Processing*. 1983; September:48-50,60-61,65,67.

Wang, H., Yang, Z., Yang, H., Xue, J., Li, Y., Wang, S., Ge, L., Shen, Q., & Zhang, M. (2022). Comparative study on the rheological properties of myofibrillar proteins from different kinds of meat. *LWT*, 153.

Westphalen, A. D., Briggs, J. L., & Lonergan, S. M. (2005). Influence of pH on rheological properties of porcine myofibrillar protein during heat induced gelation. *Meat Science*, 70(2), 293-299.

Wu, L., Wu, T., Wu, J., Chang, R., Lan, X., Wei, K., & Jia, X. (2016). Effects of cations on the “salt in” of myofibrillar proteins. *Food Hydrocolloids*, 58, 179-183.

Xiong, Y. L., & Kupski, D. R. (1999). Time-dependent marinade absorption and retention, cooking yield, and palatability of chicken filets marinated in various phosphate solutions. *Poultry Science*, 78(7), 1053-1059.

Yamamoto, K., Samejima, K., & Yasui, T. (2014). The Structure of Myosin Filaments and the Properties of Heat-induced Gel in the Presence and Absence of C-Protein. *Agricultural and Biological Chemistry*, 51(1), 197-203.

Yim, D. -G., Shin, D. -J., Jo, C., & Nam, K. -C. (2020). Effect of Sodium-Alternative Curing Salts on Physicochemical Properties during Salami Manufacture. *Food Science of Animal Resources*, 40(6), 946-956.

Young, O. A., Zhang, S. X., Farouk, M. M., & Podmore, C. (2005). Effects of pH adjustment with phosphates on attributes and functionalities of normal and high pH beef. *Meat Science*, 70(1), 133-139.

Zákon č. 110/1997 Sb. Zákon o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů.

Ziegler, G. R., & Foegeding, E. A. (1990). The Gelation Of Proteins, 203-298.

## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1 *Texturní profilová analýza (křivka TPA) (upraveno podle Brever, 2005).....20*
- Obr. 2 *Závislost elastického ( $G'$ ; Pa; ▲, ▲) a ztrátového ( $G''$ ; Pa; ●, ●) modulu pružnosti – část A – a úhlu fázového posunu ( $\delta$ ; °; bez symbolu) – část B – vymasírovaného meziprojektu (dila) kuřecí šunky bez přídavku fosforečnanu na aktuální teplotě ( $T$ ; °C). Průběh záhřevu je vyznačen červenou čarou a zvýrazněn červenou šipkou, výdrž dila při cílové teplotě je zvýrazněna červenou čerchovanou šipkou a chlazení dila je vyznačeno modrou čarou a zvýrazněno modrou šipkou. ( $n = 3$ ).....25*
- Obr. 3 *Závislost elastického ( $G'$ ; Pa; ▲, ▲) a ztrátového ( $G''$ ; Pa; ●, ●) modulu pružnosti – části A, C – a úhlu fázového posunu ( $\delta$ ; °; bez symbolu) – části B, D – vymasírovaného meziprojektu (dila) kuřecí šunky s přídavkem difosforečnanu tetrasodného ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) na aktuální teplotě ( $T$ ; °C). Průběh záhřevu je vyznačen červenou čarou a zvýrazněn červenou šipkou, výdrž dila při cílové teplotě je zvýrazněna červenou čerchovanou šipkou a chlazení dila je vyznačeno modrou čarou a zvýrazněno modrou šipkou. V částech A a B jsou zobrazeny výsledky 25% přídavku maximálního množství vyjádřeného jako  $\text{P}_2\text{O}_5$  a v částech C a D jsou uvedeny výsledky 50% přídavku maximálního množství vyjádřeného jako  $\text{P}_2\text{O}_5$ . ( $n = 3$ ).....26*
- Obr. 4 *Závislost elastického ( $G'$ ; Pa; ▲, ▲) a ztrátového ( $G''$ ; Pa; ●, ●) modulu pružnosti – části A, C – a úhlu fázového posunu ( $\delta$ ; °; bez symbolu) – části B, D – vymasírovaného meziprojektu (dila) kuřecí šunky s přídavkem difosforečnanu tetradraselného ( $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) na aktuální teplotě ( $T$ ; °C). Průběh záhřevu je vyznačen červenou čarou a zvýrazněn červenou šipkou, výdrž dila při cílové teplotě je zvýrazněna červenou čerchovanou šipkou a chlazení dila je vyznačeno modrou čarou a zvýrazněno modrou šipkou. V částech A a B jsou zobrazeny výsledky 25% přídavku maximálního množství vyjádřeného jako  $\text{P}_2\text{O}_5$  a v částech C a D jsou uvedeny výsledky 50% přídavku maximálního množství vyjádřeného jako  $\text{P}_2\text{O}_5$ . ( $n = 3$ ).....27*
- Obr. 5 *Závislost elastického ( $G'$ ; Pa; ▲, ▲) a ztrátového ( $G''$ ; Pa; ●, ●) modulu pružnosti – část A – a úhlu fázového posunu ( $\delta$ ; °; bez symbolu) – část B – vymasírovaného meziprojektu (dila) vepřové šunky bez přídavku fosforečnanu na aktuální teplotě ( $T$ ; °C). Průběh záhřevu je vyznačen červenou čarou a zvýrazněn červenou šipkou, výdrž dila při cílové teplotě je zvýrazněna červenou čerchovanou šipkou a chlazení dila je vyznačeno modrou čarou a zvýrazněno modrou šipkou. ( $n = 3$ ).....29*

- Obr. 6 Závislost elastického ( $G'$ ; Pa; ▲, ▲) a ztrátového ( $G''$ ; Pa; ●, ●) modulu pružnosti – části A, C – a úhlu fázového posunu ( $\delta$ ; °; bez symbolu) – části B, D – vymasírovaného meziproductu (díla) vepřové šunky s přidavkem hydrogenfosforečnanu sodného ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) na aktuální teplotě ( $T$ ; °C). Průběh záhřevu je vyznačen červenou čarou a zvýrazněn červenou šipkou, výdrž díla při cílové teplotě je zvýrazněna červenou čerchovanou šipkou a chlazení díla je vyznačeno modrou čarou a zvýrazněno modrou šipkou. V částech A a B jsou zobrazeny výsledky 25% přidavku maximálního množství vyjádřeného jako  $\text{P}_2\text{O}_5$  a v částech C a D jsou uvedeny výsledky 50% přidavku maximálního množství vyjádřeného jako  $\text{P}_2\text{O}_5$ . ( $n = 3$ ). ..... 30
- Obr. 7 Závislost elastického ( $G'$ ; Pa; ▲, ▲) a ztrátového ( $G''$ ; Pa; ●, ●) modulu pružnosti – části A, C – a úhlu fázového posunu ( $\delta$ ; °; bez symbolu) – části B, D – vymasírovaného meziproductu (díla) vepřové šunky s přidavkem difosforečnanu tetradraselného ( $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) na aktuální teplotě ( $T$ ; °C). Průběh záhřevu je vyznačen červenou čarou a zvýrazněn červenou šipkou, výdrž díla při cílové teplotě je zvýrazněna červenou čerchovanou šipkou a chlazení díla je vyznačeno modrou čarou a zvýrazněno modrou šipkou. V částech A a B jsou zobrazeny výsledky 25% přidavku maximálního množství vyjádřeného jako  $\text{P}_2\text{O}_5$  a v částech C a D jsou uvedeny výsledky 50% přidavku maximálního množství vyjádřeného jako  $\text{P}_2\text{O}_5$ . ( $n = 3$ ). ..... 31
- Obr. 8 Závislost tvrdosti vzorku kuřecí šunky po tepelném opracování na konkrétním individuálně přidaném fosforečnanu. Přidávky fosforečnanů byly realizovány v množství 25 % maximálního množství vyjádřeného jako  $\text{P}_2\text{O}_5$  (zelené sloupce) a 50 % maximálního množství vyjádřeného jako  $\text{P}_2\text{O}_5$  (červené sloupce). Zobrazeny jsou také výsledky kontrolního vzorku bez přidavku fosforečnanů, a to modrým sloupcem. ( $n = 6$ ). ..... 36
- Obr. 9 Závislost tvrdosti vzorku vepřové šunky po tepelném opracování na konkrétním individuálně přidaném fosforečnanu. Přidávky fosforečnanů byly realizovány v množství 25 % maximálního množství vyjádřeného jako  $\text{P}_2\text{O}_5$  (zelené sloupce) a 50 % maximálního množství vyjádřeného jako  $\text{P}_2\text{O}_5$  (červené sloupce). Zobrazeny jsou také výsledky kontrolního vzorku bez přidavku fosforečnanů, a to modrým sloupcem. ( $n = 6$ ). ..... 37

## 10 SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Složení vzorků [g] pro koncentraci 25 % (m/m) NPM P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . .....	16
Tab. 2	Složení vzorků [g] pro koncentraci 50 % (m/m) NPM P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . .....	17
Tab. 3	Složení vzorků [g] pro koncentraci 25 % (m/m) NPM P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . .....	17
Tab. 4	Složení vzorků [g] pro koncentraci 50 % (m/m) NPM P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . .....	18
Tab. 5	Srovnání účinnosti jednotlivých fosforečnanů v kuřecích šunkách podle viskoelastických vlastností vzorků. Fosforečnany v jednotlivých sloupcích mají obdobnou účinnost. Fosforečnany v různých sloupcích disponují rozdílnou účinností, pokud je mezi nimi znak (ve směru nerovnosti). .....	41
Tab. 6	Srovnání účinnosti jednotlivých fosforečnanů ve vepřových šunkách podle viskoelastických vlastností vzorků. Fosforečnany v jednotlivých sloupcích mají obdobnou účinnost. Fosforečnany v různých sloupcích disponují rozdílnou účinností, pokud je mezi nimi znak (ve směru nerovnosti). .....	42

## 11 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČSB	čistá svalová bílkovina
WHC	water holding capacity
ATP	adenosin trifosfát
ADP	adenosin difosfát
AMP	adenosin monofosfát
MH	molekulová hmotnost
LMM	lehký meromyosin
HMM	těžký meromyosin
HPP	high pressure processing
ES	elektrická stimulace
ELVES	extra nízkonapěťová stimulace
LVES	nízkonapěťová stimulace
HVES	vysokonapěťová stimulace
MVES	středněnapěťová stimulace
MP	myofibrilární protein
TOMV	tepelně opracované masné výrobky
TPA	texturní a profilová analýza



## 12 PUBLIKAČNÍ AKTIVITY AUTORA

### Články s Jimp

**Polášek, Z.**, Salek, R. N., Vašina, M., Lyčková, A., Gál, R., Pachlová, V., & Buňka, F. (2021). The effect of furcellaran or  $\kappa$ -carrageenan addition on the textural, rheological and mechanical vibration damping properties of restructured chicken breast ham. *LWT*, 138.

Antonkiewicz, J., Antonkiewicz, J., Lošák, T., Ševčík, M., Plchova, R., Álvarez, E., Elbl, J., Buňka, F., **Polášek, Z.**, Vollmann, J., Hlušek, J., & Varga, L. (2018). Nitrogen and sulphur fertilisation affecting soybean seed spermidine content . *Journal of Elementology*, (2/2018).

Polaskova, M., Cermak, R., **Polasek, Z.**, Commereuc, S., Verney, V., Costa Gomes, M. F., & Padua, A. A. H. (2018). Influence of Ionic Liquids on the Morphology of Corn Flour/Polyester Mixtures. *Starch - Stärke*, 70(11-12).

Černíková, M., Gál, R., **Polášek, Z.**, Janíček, M., Pachlová, V., & Buňka, F. (2015). Comparison of the nutrient composition, biogenic amines and selected functional parameters of meat from different parts of Nile crocodile (*Crocodylus niloticus*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 43, 82-87.

Gál R., Kameník J., Salek N. R., **Polášek Z.**, Macharáčková B., Valenta T., Haruščiaková D., Vinter Š. (2022). Research Note: Impact of applied thermal treatment on textural, and sensory properties and cooking loss of selected chicken and turkey cuts as affected by cooking technique. *Poultry Science*, 101923

## 13 ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA

### Osobní informace

Jméno a příjmení: MVDr. Zdeněk Polášek

Bydliště: Kudlov-Rybníčky 127, 760 01, Zlín, Česká republika

E-mail: [zpolasek@utb.cz](mailto:zpolasek@utb.cz)

Telefon: 606712039

### Vzdělání

1972-1976 SZTŠ – Staré město u Uh. Hradiště

1988-1995 Vysoká škola veterinární – Brno

### Praxe

1976 -1978 dělnická profese v zemědělství

1980 -1991 technickohospodářský pracovník v živočišné výrobě

1991-1995 ředitel masozpracovatelského podniku

1995-2012 ředitel a spolumajitel masozpracovatelského podniku

2012- dosud akademický pracovník Fakulty technologické, UTB ve Zlíně

### Garant předmětu

Cvičení z technologie potravin - (vede cvičení)

Exkurze - (vede exkurze)

Legislativa v potravinářství I (přednášející, vede seminář)

Produkce potravinářských surovin (přednášející, vede seminář)

### Účast na výuce

Oborový seminář II (vede seminář)

Potravinářské technologie a biotechnologie II (cvičící)

Technologie potravin V (cvičící)

Technologie potravin VI (vede seminář, cvičící)

Technologie výroby potravin živočišného původu II (vede seminář, cvičící)

### Účast na projektech

2014 Aplikace fosforečnanů a hydrokoloidů do vybraných potravin

**IGA/FT/2014/001** spoluřešitel

2015 Studium funkce vybraných přídatných a biologicky aktivních látek

v potravinách, **IGA/FT/2015/004**, spoluřešitel

2018 Vliv komerčních směsí fosforečnanů na tvorbu gelu a vlastnosti vepřové šunky, Adalbert - Raps - Stiftung, Kulmbach, Deutschland, řešitel

2019 Hmotnostní ztráty masa po tepelné úpravě: vliv vlastností čerstvého masa, použitého zařízení a parametrů kulinární úpravy, **QK1920190**, spoluřešitel

MVDr. Zdeněk Polášek

# **Vliv aplikace fosforečnanů na texturní parametry vybraných typů šunek**

**Effect of phosphate application on texture parameters of  
selected types of hams**

Teze disertační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín.

Náklad: vyšlo elektronicky

Sazba: MVDr. Zdeněk Polášek, Ph.D.

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Rok vydání 2022

Pořadí vydání: první

ISBN 978-80-7678-098-9

