

# **Vliv přídavku mléčných bílkovin na reologické vlastnosti suspenze bezlepkové mouky a těsta**

Bc. Adéla Psotová

---

Diplomová práce  
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Adéla Psotová**  
Osobní číslo: **T12393**  
Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Technologie, hygiena a ekonomika výroby potravin**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vliv přídavku mléčných bílkovin na reologické vlastnosti suspenze bezlepkové mouky a těsta**

Zásady pro vypracování:

### I. Teoretická část

1. Charakteristika bezlepkových surovin, srovnání s běžně používanými surovinami
2. Empirické metody měření reologických vlastností těsta
3. Fundamentální metody měření reologických vlastností těsta
4. Hydrokoloidy používané při výrobě pečiva, zejména bezlepkového

### II. Praktická část

1. Charakteristika jednotlivých použitých druhů mouky
2. Popis užitých metod měření
3. Popis a komentář získaných výsledků
4. Srovnání výsledků s publikovanými daty
5. Závěr – shrnutí nově získaných poznatků

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] BELLO, Fabio, Dal a Elke K. Arendt. **Gluten-free cereal products and beverages**. 1st ed. Amsterdam: Elsevier/Academic Press, 2008, s. 85 – 86, s. 91 – 93, 106, 107, 119 – 120, 125 – 126, 150 – 153, 157 – 159, 161. ISBN 9780080557762.

[2] BENTON, Peter, S. a John R. N. TAYLOR. **Pseudocereals and less common cereals: grain properties and utilization potential**. Berlin: Springer, 2010, s. 100, 109, 130 – 135, 226 – 234. ISBN 9783642076916.

[3] NORTON, Ian, T., Fotios SPYROPOULOS a Philip COX. **Practical food rheology: an interpretive approach**. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2011, s. 17 – 19. **Functional food science and technology series**. ISBN 1405199784.

[4] WILLIAMS, P., A. a G. O. PHILLIPS. **Handbook of hydrocolloids / edited by G.O. Phillips and P.A. Williams**. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2009, s. 186, 198, 298, 302, 319. ISBN 9781439808207.

[5] LINDEN, G. a Denis LORIENT. **New ingredients in food processing: Biochemistry and agriculture**. Boca Raton, FL: CRC Press, c1999, s. 184, 185, 188, 191 – 193, 195, 196. ISBN 0849306310.

Vedoucí diplomové práce:

**Mgr. Iva Burešová, Ph.D.**

Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce:

**10. ledna 2014**

Termín odevzdání diplomové práce:

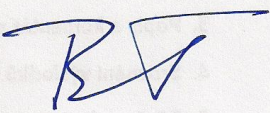
**25. dubna 2014**

Ve Zlíně dne 3. února 2014

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

*děkan*



  
doc. Ing. František Buňka, Ph.D.

*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: PSOTOVA' ADELA

Obor: CHTP - THEVP

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 22. 4. 2014

Psotova' Adela

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

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

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

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

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3.

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

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Teoretická část diplomové práce se zabývá chemickým složením vybraných druhů bezlepkových mouk s důrazem na bílkoviny a škroby. Dále pak empirickými metodami ke zjišťování důležitých pekařských vlastností pšeničného těsta a reologických vlastností bezlepkových těst. Jedna z kapitol je zaměřena i na vlastnosti hydrokoloidů, z nichž většina je použita v experimentální části práce. Praktická část je zaměřena na stanovení různých parametrů viskoelastických vlastností bezlepkových těst a jejich změny způsobené přidáním mléčných bílkovin nebo sušené syrovátky.

Klíčová slova: bezlepkové mouky, pšeničná mouka, kaseinát sodný, dynamická (oscilační) reologie

## **ABSTRACT**

Theoretical part is focused on chemical composition of selected gluten-free flours with emphasis on proteins and starches. Next chapters are devoted to the empirical methods important for testing baking properties of wheat dough and rheological properties of gluten-free doughs. One of the chapters is focused on the properties of hydrocolloids used in experimental work. The practical part is focused on the determination of viscoelastic properties of gluten-free doughs and the effect of milk proteins and dry whey addition on gluten-free dough quality.

Keywords: gluten-free flours, wheat flour, sodium caseinate, dynamic (oscillatory) rheology

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucí diplomové práce Mgr. Ivě Burešové, Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté rady, připomínky, trpělivost i čas, který mi věnovala.

Dále bych chtěla poděkovat i své rodině za podporu během studia.

*„Když všichni mluví o nemožnostech, hledej možnosti“.*

*Tomáš Baťa*

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

# OBSAH

ÚVOD .....	11
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>12</b>
<b>1 CHEMICKÁ CHARAKTERISTIKA BÍLKOVIN A ŠKROBU VYBRANÝCH BEZLEPKOVÝCH PLODIN, PŠENICE A ŽITA.....</b>	<b>13</b>
1.1 AMARANT.....	13
1.1.1 Obecné informace .....	13
1.1.2 Charakteristika bílkovin a škrobu .....	13
1.2 CÍZRNA.....	14
1.2.1 Obecné informace .....	14
1.2.2 Charakteristika bílkovin a škrobu .....	14
1.3 QUINOA (MERLÍK CHILSKÝ).....	15
1.3.1 Obecné informace .....	15
1.3.2 Charakteristika bílkovin a škrobu .....	15
1.4 KUKUŘICE .....	16
1.4.1 Obecné informace .....	16
1.4.2 Charakteristika bílkovin a škrobu .....	16
1.5 POHANKA .....	16
1.5.1 Obecné informace .....	16
1.5.2 Charakteristika bílkovin a škrobu .....	17
1.5.3 Pohanková mouka.....	17
1.6 PROSO .....	18
1.6.1 Obecná charakteristika.....	18
1.6.2 Charakteristika bílkovin a škrobu .....	18
1.7 RÝŽE .....	18
1.7.1 Obecné informace .....	18
1.7.2 Charakteristika bílkovin a škrobu .....	18
1.7.3 Rýžová mouka.....	19
1.8 ŽITO .....	19
1.8.1 Obecná charakteristika.....	19
1.8.2 Charakteristika bílkovin a škrobu .....	19
1.9 PŠENICE.....	20
1.9.1 Obecná charakteristika.....	20
1.9.2 Charakteristika bílkovin a škrobu .....	20
1.9.3 Lepek .....	20
<b>2 CHEMICKÁ CHARAKTERISTIKA A NUTRIČNÍ VÝZNAM OSTATNÍCH SLOŽEK BEZLEPKOVÝCH PLODIN.....</b>	<b>22</b>



2.1	LIPIDY .....	22
2.2	LÁTKY S ANTIOXIDAČNÍ AKTIVITOU .....	22
2.3	VITAMINY .....	23
2.4	MINERÁLNÍ LÁTKY .....	23
2.5	ANTINUTRIČNÍ LÁTKY .....	23
2.5.1	Kyselina fytová .....	23
2.5.2	Inhibitory proteáz .....	24
2.5.3	Saponiny .....	24
<b>3</b>	<b>EMPIRICKÉ METODY MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ PŠENIČNÉHO TĚSTA .....</b>	<b>25</b>
3.1	FARINOGRAF .....	25
3.2	ALVEOGRAF/KONSISTOGRAF .....	25
3.3	EXTENSOGRAF .....	25
3.4	MIXOGRAF .....	26
<b>4</b>	<b>REOLOGICKÉ VLASTNOSTI BEZLEPKOVÉHO TĚSTA .....</b>	<b>27</b>
4.1	VISKOELASTICKÝ MATERIÁL .....	27
4.2	DYNAMICKÁ (OSCILAČNÍ) REOLOGIE .....	27
4.2.1	Princip fungování dynamické (oscilační) reologie .....	28
<b>5</b>	<b>HYDROKOLOIDY PŘIDÁVANÉ DO BEZLEPKOVÝCH TĚST .....</b>	<b>31</b>
5.1	KASEINÁTY .....	31
5.1.1	Kaseinát vápenatý .....	31
5.1.2	Kaseinát sodný .....	32
5.2	SYROVÁTKA .....	32
5.2.1	Syrovátkové bílkoviny .....	32
5.2.1.1	Gelovatění .....	33
5.2.1.2	Pekárenské použití .....	33
5.3	GUAROVÁ GUMA .....	34
5.4	XANTHANOVÁ GUMA .....	34
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>METODIKA .....</b>	<b>37</b>

7.1	POUŽITÉ CHEMIKÁLIE .....	37
7.2	ANALYZOVANÉ VZORKY .....	37
7.3	STANOVENÍ OBLASTI LINEÁRNÍ VISKOELASTICITY ZKOUMANÝCH VZORKŮ MOUK .....	38
7.4	VISKOELASTICKÉ VLASTNOSTI BEZLEPKOVÝCH TĚST V POROVNÁNÍ S PŠENIČNÝM A ŽITNÝM TĚSTEM V OBLASTI LINEÁRNÍ VISKOELASTICITY A PŘI KONSTANTNÍ TEPLOTĚ .....	39
7.5	VLIV PŘÍDAVKU MLÉČNÝCH BÍLKOVIN DO BEZLEPKOVÝCH TĚST A JEJICH VISKOELASTICKÉ VLASTNOSTI V GRADIENTU TEPLOT V OBLASTI LINEÁRNÍ VISKOELASTICITY .....	39
<b>8</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>	<b>41</b>
8.1	STANOVENÍ OBLASTI LINEÁRNÍ VISKOELASTICITY ZKOUMANÝCH VZORKŮ MOUK .....	41
8.2	VISKOELASTICKÉ VLASTNOSTI BEZLEPKOVÝCH TĚST .....	42
8.3	VLIV PŘÍDAVKU MLÉČNÝCH BÍLKOVIN A SUŠENÉ SYROVÁTKY NA VLASTNOSTI BEZLEPKOVÝCH TĚST .....	49
8.3.1	Vliv přídatku kaseinátu sodného, kaseinátu vápenatého a sušené syrovátky v množství 1 % (w/w) na mouku .....	52
8.3.2	Vliv přídatku kaseinátu sodného v množství 5 % (w/w) na mouku .....	61
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>87</b>

## ÚVOD

Především u skupiny obyvatel s onemocněním celiakie, ale taktéž u spotřebitelů zajímavících se o racionální stravování získávají, v dnešní době, na oblibě bezlepkové produkty. Jednou z těchto komodit je i chléb a pečivo. Z pekárenského hlediska se pro jejich výrobu používají mouky, které jsou mnohdy obtížně zpracovatelné, protože nevytváří, na rozdíl od pšeničné mouky, po smíchání s vodou pružnou síť (lepek). Tento nedostatek pak vede k nadměrné lepivosti mouk, omezené schopnosti zadržet plyn v těstě, malému objemu bochníku, nadměrné drobivosti střídy či rychlému stárnutí výrobku. V oblasti vědeckého zkoumání, ale i v průmyslové praxi se hledá vhodný prostředek ke zlepšení mechanických vlastností těsta pomocí různých hydrokoloidů, enzymů aj. Díky tomu jsou na trhu dostupné nejen samotné hotové výrobky, ale i směsi na přípravu domácích chlebů, pečiva či cukrářských výrobků. Nicméně lepkovou strukturu známou z pšeničného těsta se stále nepodařilo plnohodnotně nahradit.

Cílem teoretické části práce bylo popsat chemické složení nejznámějších druhů bezlepkových mouk s důrazem na jejich bílkoviny a škroby. Dále popsat empirické metody ke zjišťování pekařské kvality pšeničného těsta a metodu ke zjišťování reologických vlastností především bezlepkových těst. Poslední kapitola byla věnována především popisu vlastností hydrokoloidů, které byly předmětem zkoumání této práce.

Praktická část této práce se zabývala vlivem vybraných mléčných bílkovin a sušené syrovátky na různé parametry viskoelastických vlastností zkoumaných bezlepkových těst a pšeničného těsta.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 CHEMICKÁ CHARAKTERISTIKA BÍLKOVIN A ŠKROBU VYBRANÝCH BEZLEPKOVÝCH PLODIN, PŠENICE A ŽITA

## 1.1 Amarant

### 1.1.1 Obecné informace

Amarant byl pěstován už 4000 př. nl. Rozšířen byl mezi indiánskými kmeny v Americe. Prvními pěstiteli byly pravděpodobně Mayové, i když byl rozšířen i mezi Aztéky a Inky. Tato rostlina patří do čeledi Amaranthaceae, rodu *Amaranthus* [1]. Podle Matze [1] existuje 50 druhů tohoto rodu, ovšem Arendt [2] uvádí, že existuje více než 60 druhů. Roste ve střední a jižní Americe, Africe, Indii a Číně [2]. Kromě semen se zpracovávají i listy, které se upravují jako listová zelenina či špenát [3].

### 1.1.2 Charakteristika bílkovin a škrobu

Amarant obsahuje podle druhu 11,7 až 18,4 % bílkovin, což je více než v pšenici. 65 % bílkovin je uloženo v osemeni a v klíčku, zbylých 35 % se nachází v perispermu bohatého na škrob. Po vymletí však v mouce zůstává jen 7,7 % bílkovin. Bílkoviny se skládají ze 40 % albuminů, okolo 20 % globulinů, 2–3 % prolaminů a 25–30 % glutelinů. Globuliny jsou zásobními proteiny [4; 5]. Prolaminy jsou podobné prolaminům ostatních dvouděložných rostlin a luštěnin a nemají vztah k prolaminům z obilovin [4].

Údaje o množství aminokyselin se u různých autorů liší. Na základě chemického skóre (CS) je limitující aminokyselinou (podle různých autorů) leucin [4; 5], dle PER (Protein efficiency ratio) je limitující aminokyselinou threonin [4]. Naopak amarant je bohatý na obsah lysinu, jehož množství je srovnatelné s obsahem lysinu v sóji. Zajímavý především pro malé děti je obsah argininu a histidinu (semiesenciálních aminokyselin) [5]. Biologická hodnota bílkovin amarantu se blíží mléčné bílkovině kaseinu [4; 5].

Mono- a disacharidy jsou přítomny pouze v malém množství (3–5 %) [5]. Obsah škrobu v amarantu se pohybuje kolem 55,1 %, což je méně než v pšenici [4]. Škrob je tvořen velmi malými granulemi uloženými v perispermu [5; 6]. Údaj o velikosti škrobových zrn se mírně liší u různých autorů. Mason [6] uvádí velikost menší než 1  $\mu\text{m}$ , Matz [1] udává interval 1 až 2  $\mu\text{m}$  a Schoenlechner [4] píše o 1 až 3  $\mu\text{m}$ . Schoenlechner [4] též dále uvádí, že jednotlivé granule tvoří v perispermu agregáty o průměru 50 až 90  $\mu\text{m}$ . Taktéž poměr amyulózy a

amylopektinu se pro různé odrůdy liší. Platí však, že obsah amylozy je mnohem nižší než u obilovin (asi v rozsahu 0,1–10 % [5], Schoenlechner [4] uvádí až 11,1 %) [5]. Škrob izolovaný ze dvou druhů amarantu (*Amaranthus hypochondriacus* a *A. cruentus*) vykazoval přibližný poměr: 90 % amylopektinu a 10 % amylozy [5]. *A. hypochondriacus* reaguje více na zesíťování, což je zřejmé ze snížené bobtnací schopnosti při teplotě 85 °C a vzrůstu rozsahu teploty gelovatění než *A. cruentus* [6]. Projevuje se také odlišné chování při gelovatění a odlišná viskozita vzhledem k obilovinám [5]. Studie publikovaná Lorenzem v roce 1981 říká, že škrob z *Amaranthus hypochondriacus* má vyšší schopnost vázat vodu než pšeničný škrob, taktéž má vyšší rozpustnost, ale ve srovnání s pšeničným škrobem má nižší bobtnací sílu. Příčinou těchto rozdílů jsou pravděpodobně rozdíly ve velikosti škrobových zrn amarantu a pšenice [2]. Chování amarantového škrobu se blíží kukuřičnému škrobu. Nízký obsah amylozy souvisí s vysokou vazností vody, bobtnací silou, dobře se zmrazuje i rozmrazuje, je stabilní vůči retrogradaci, ale citlivý vůči enzymům [5].

## 1.2 Cizrna

### 1.2.1 Obecné informace

Cizrna (*Cicer arietinum*) patří mezi chladnomilné luštěniny a je pěstována na 9 milionech ha v 33 zemích světa, přičemž největším producentem je Indie. Existují 2 společné typy cizrny: *microcarpum* (malá žlutá, zelená, světle hnědá nebo černá semena, známá jako typ *desi*) a *macrocarpum* (větší kulatější béžová semena tvarově připomínající mozek, bez přítomnosti taninů v osemeni, známá jako typ *kabuli*). Typ *kabuli* je méně rozšířen než typ *desi*, je též náchylnější k chladu, ale je pěstován, mimo jiné, i v jižní Evropě [7].

### 1.2.2 Charakteristika bílkovin a škrobu

Cizrna obsahuje kolem 61 % sacharidů, z čehož 40–50 % tvoří škrob. 20–30 % škrobu je tvořeno amylozou, zbytek amylopektinem [7; 8]. Škrob chladnomilných luštěnin vykazuje vyšší stabilitu vůči mechanickému namáhání než škrob obilovin, protože není po nabobtnání tak křehký a lehce nepraská. Teplota mazovatění cizrnového škrobu je okolo 72 °C. Cizrnová mouka má rovněž významné emulgační vlastnosti, které jsou 2–3x vyšší než u pšeničné mouky [8].

Obsah hrubých bílkovin je v rozsahu 12,6–30,5 %. V nejvyšším množství se nachází globuliny, které však obsahují malé množství sirných aminokyselin, dále albuminy, gluteliny a prolaminy [7]. Cizrna obsahuje nejvyšší množství volného tryptofanu ze všech luštěnin a druhé nejvyšší množství vázaného tryptofanu v bílkovinách luštěnin [9].

### 1.3 Quinoa (merlík chilský)

#### 1.3.1 Obecné informace

Quinoa neboli merlík chilský (*Chenopodium quinoa* Willd.) byl základní plodinou Inků a Aztéků. Hlavními producenty dnes jsou Bolívie, Peru a Ekvádor. Quinoa je jednoletá, dvouděložná rostlina, z níž se kromě semen získávají i listy, které se zpracovávají na saláty [3].

#### 1.3.2 Charakteristika bílkovin a škrobu

Nejvyšší koncentrace bílkovin se nachází v klíčku, nicméně bílkoviny jsou uloženy v celém objemu zrna. Nejvíce zastoupenými frakcemi jsou albuminy a globuliny. Quinoa obsahuje 11 S globulin, který je svým složením podobný bílkovinám luštěnin a 2 S globulin bohatý na cystein, arginin a histidin. Na rozdíl od běžných obilovin není limitující aminokyselinou lysin, ale methionin podobně jako u luštěnin [10]. Některé studie poukazují na to, že výživová kvalita bílkovin v merlíku je srovnatelná s kaseinem [3; 10].

Úroveň obsahu jednoduchých sacharidů a oligosacharidů je v merlíku velmi nízká [10]. Obsah škrobu je asi 67,35 % [4]. Škrob se nachází hlavně v perispermu, i když menší množství je lokalizováno v klíčku a osemeni. Škrob v perispermu se vyskytuje jako individuální granule polygonálního tvaru nebo granule agregované do globulárních či podlouhlých komplexů [4; 10] obklopených bílkovinami [4]. Schoenlechner [4] uvádí velikost individuální škrobové granule 0,63–1,8  $\mu\text{m}$  a velikost agregátu až o délce 80  $\mu\text{m}$ , Taylor [10] píše o intervalu průměru individuální částice 1,0–2,5  $\mu\text{m}$  a velikosti agregátu 6,4–32  $\mu\text{m}$ . Škrob je tedy směsí těchto dvou frakcí [10]. Obsah amylozy se značně liší, pohybuje se v rozmezí 3 až 22 %. Amylopektin se svou distribucí délky řetězců podobá voskovému (waxy) amylopektinu [4]. Quinoa obsahuje větší množství amylopektinu a mazovatí při nižší teplotě podobné pšenici či ječmenu (asi 57–71 °C). Viskozita merlíku je vyšší než pšenice či amarantu. Na rozdíl od kukuřice vykazuje merlíkový škrob jednostupňové bobtnání v rozsahu teplot 65–95 °C a nižší viskozitu než kukuřice, což je nejspíš způsobeno velmi

65–95 °C a nižší viskozitu než kukuřice, což je nejspíš způsobeno velmi malou velikostí škrobových granulí [10]. Nízký obsah amylozy, pak může za to, že škrob z merlíku má vyšší schopnost vazby vody, vyšší bobtnací sílu a citlivost k enzymům, excelentní vlastnosti v oblasti zmrazování/rozmrazování a stabilitu vůči retrogradaci [4].

## 1.4 Kukuřice

### 1.4.1 Obecné informace

Kukuřice má původ ve střední Americe (zahrnuje jižní Mexiko) a ve výše položených místech v Peru [2]. Podle jiného zdroje pochází kukuřice z Jižní Ameriky. Patří do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*) a jedná se o jednoletou, jednoděložnou a cizosprašnou rostlinu [3].

### 1.4.2 Charakteristika bílkovin a škrobu

Bílkoviny mohou být rozděleny do 6 rozpustných frakcí, které zahrnují: albuminy, globuliny, zein, G<sub>1</sub> - glutelin, G<sub>2</sub> - glutelin a G<sub>3</sub> - glutelin. V alkoholu rozpustná bílkovina zein je charakterizována vysokým obsahem glutaminu, leucinu a prolinu a prakticky chybějícím lysinem (1,8 %) a tryptofanem (0,35 %) [2]. Dominantní frakcí bílkovin jsou prolaminy, které se v případě kukuřice nazývají zeiny [11]. Zeiny, jako zásobní bílkoviny kukuřice, tvoří 60 % bílkovin [2]. Izolovaný zein je schopný podílet se na viskoelastických vlastnostech těsta, pokud je mícháno za vysokých teplot. V několika studiích bylo doloženo, že obsah a složení bílkovin má vliv na tvrdost zrna [11].

Kukuřičné zrno obsahuje kulaté i hranaté škrobové granule [12]. Oba typy mají velikost v rozmezí 2–30 µm (i když Shober [11] uvádí jako dolní hranici velikost 5 µm), přičemž průměr je 10 µm [12]. Kukuřice voskového typu (*waxy*) obsahuje 50 až 80 % amylopektinu. Kukuřičný škrob má vyšší schopnost vazby vody a rozpustnost než škrob čiroku [11].

## 1.5 Pohanka

### 1.5.1 Obecné informace

Pohanka obecná, střelovitá či setá (*Fagopyrum Esculentum* Moench) je dvouděložná rostlina patřící do čeledi rdesnovitých (*Polygonaceae*) [3; 13]. Oproti obilovinám má výhodu v krátkém období růstu (70–90 dní) a méně zdlouhavém ošetřování během kultivace. Lze ji



taktéž bez rizika skladovat delší dobu neboť má oproti obilovinám vysoký obsah sloučenin s antioxidačními vlastnostmi [13]. Daří se jí v chladu, vlhku, mírných oblastech a na dobře odvodněných půdách. Rychle roste a zraje v chladných oblastech severní Evropy a severní Asie [Matz]. Široce se pěstuje v severní Americe [13], ale největšími producenty jsou Čína a Rusko [3]. Hlavními konzumenty jsou státy střední Evropy, USA, Kanada a Asijské země [13].

### 1.5.2 Charakteristika bílkovin a škrobu

Pohanka obsahuje 11–15 % bílkovin [2; 14], z nichž 55 % je uloženo v klíčku a jen 35 % je uloženo v endospermu [2]. Bílkoviny pohanky se vyznačují vysokou biologickou hodnotou. Důvodem je aminokyselinové složení, které je vyváženější než v případě obilovin. Pohanka je velmi bohatým zdrojem lysinu (5,5–6,1 %), obsahuje více kyseliny asparagové a argininu a méně kyseliny glutamové a prolinu ve srovnání s obilovinami [14; 15]. Limitujícími aminokyselinami jsou threonin a methionin [2]. Stravitelnost bílkovin pohanky je ovšem nižší díky vyššímu obsahu vlákniny (17,8 %). Vláknina pohanky neobsahuje kyselinu fytovou a je částečně rozpustná [14].

Pohanka se skládá z 55,8 % škrobu uloženého v endospermu [2]. V celém zrně se obsah škrobu pohybuje mezi 59 až 70 % v sušině [14]. Arendt [2] uvádí, že amyulóza představuje asi 24 % a amylopektin 76 % škrobu, což se blíží poměrům v běžných obilovinách. Campbell [14] uvádí interval výskytu amylózy mezi 15–52 %. Granule škrobu mají nepravidelný tvar, jsou zhutnělé s nápadně zploštělými místy [2; 14]. Jejich velikost se pohybuje v rozsahu 2 až 6  $\mu\text{m}$  [2] (dle Biacs [15] je horní mez až 7  $\mu\text{m}$ ), ovšem Campbell [14] uvádí 7–11  $\mu\text{m}$  a Matz [1] interval 4–15  $\mu\text{m}$ . Škrob z pohanky má též větší schopnost nabobtnat než pšeničný škrob, což může být následkem slabší vazebných sil v škrobových zrnech. Škrobové granule začínají při 50 °C nabobtnávat, ale stále si drží svůj původní tvar. Při 70 °C jsou granule velmi nabobtnalé a z jejich vnitřních částí začíná unikat amyulóza [15].

### 1.5.3 Pohanková mouka

Pohanka se zpracovává na mouku podobně jako pšenice. Zrno se očistí, suší na 12 až 15 % vlhkosti, brousí a v aspirátoru se odstraní nečistoty. Pohanka pak putuje na mlecí válce, přičemž otruby (slupky) jsou pomocí sít odděleny. Nažky jsou posléze drceny na menší částice a odděleny na sítěch. Výtěžek mouky je okolo 60 % až 80 %. K získání krup se částice

střední velikosti získané prosetím očištěných a obroušených nažek protlačí mezi dva mlecí kameny, tak aby došlo k odstranění povrchových vrstev bez mletí vnitřní části [1]. Obsah škrobu v pohankové mouce je 70–91 % (w/w) v závislosti na typu mouky, obsahuje 25 % amylózy a 75 % amylopektinu. Část škrobu je rezistentní během vaření či pečení krup a mouky. Glykemický index chleba upečeného z pohankové mouky je nižší než chleba upečeného z pšeničné mouky. Obsah bílkovin v mouce je 10–20 % (w/w) [13].

## 1.6 Proso

### 1.6.1 Obecná charakteristika

Proso zahrnuje několik botanických rodů a druhů s podobnými vlastnosti, z nichž nejznámější je proso seté (*Panicum miliaceum* L.), které se pěstuje především v Rusku, Číně a v USA. Zpracováním prosa se získávají jáhly [3].

### 1.6.2 Charakteristika bílkovin a škrobu

Obsah škrobu se pohybuje mezi 62-68 %, z toho amylóza tvoří okolo 17 % v sušině. Stupeň hydrolyzy škrobu je podobný kukuřici. Škrobová zrna jsou spíše kulovitá, s průměrem 1,3-8,0  $\mu\text{m}$ . Proteiny v endospermu jsou globulární s průměrem 2,5  $\mu\text{m}$ . Prolaminy tvoří až 80 % celkových bílkovin. Ze zrn prosa setého se vymele asi 79 % mouky (bez otrub) [16].

## 1.7 Rýže

### 1.7.1 Obecné informace

Rýže (*Oryza sativa*) je nejrozšířenější plodinou, pěstovanou pro přímou konzumaci. Pochází z tropické a subtropické jihovýchodní Asie a patří mezi nejstarší kulturní plodiny [3].

### 1.7.2 Charakteristika bílkovin a škrobu

Rýže se dělí podle velikosti a podle obsahu amylózy [17]. Obsah amylózy v rýžové mouce je rozdělen následovně: 1-2 % - vosková (waxy); 7-20 % - nízký; 20-25 % - střední; více než 25 % - vysoký obsah (zpravidla není obsah amylózy vyšší než 40 %). Obsah amylózy má významný vliv na texturu těsta [6]. Zejména pak na teplotu gelovatění, obecně „pastovitě“ a viskoelastické chování [17]. Waxy typ je lepkavý, negelující a lze jej použít jako ná-

hradu tuků v potravinách. Typ intermediate (střední) tvoří suché, pevné gely [6]. Granule rýžového škrobu mají v průměru 3-10  $\mu\text{m}$  (i když se horní a dolní hranice u některých autorů liší o 1  $\mu\text{m}$ ) [6; 12; 18]. Škrobové granule agregují do větších komplexů až o průměru 39  $\mu\text{m}$  [6]. Kent [12] dále uvádí, že granule jsou hranaté a v jeden větší komplex jich může být agregovaných až 150.

### 1.7.3 Rýžová mouka

Rýžová mouka se kvůli finančním nákladům nejčastěji získává z mechanicky poškozených zrn (zlomených či jinak zdeformovaných během mlýnského zpracování) [17]. Ovšem je třeba sledovat i způsob mletí mouky, neboť z mouky se silně poškozeným škrobem se obtížně tvoří bochníky chleba [18]. Výrobky z rýžové mouky jsou vhodné pro konzumaci lidmi trpícími celiakií, neboť tato mouka obsahuje lehce stravitelné sacharidy, málo sodíku a malé množství bílkovin (především pak prolaminů). Rýžové bílkoviny jsou, ale technologickým problémem. Především jsou nerozpustné a neschopné vytvořit viskoelastické těsto potřebné pro udržení oxidu uhličitého produkovaného během fermentace. Kvůli nízkému obsahu prolaminů se během míchání mouky s vodou nevytváří bílkovinná síť, takže následkem je únik oxidu uhličitého a velmi malý specifický objem výrobku spolu s kompaktní střídou. Tento nedostatek lze řešit pomocí hydrokoloidů i přidávkem enzymů (použití enzymů se však neobejde bez aspoň malého přídatku hydrokoloidů) [17].

## 1.8 Žito

### 1.8.1 Obecná charakteristika

Žito seté (*Secale cereale* L.) se v ČR pěstuje pouze v ozimé formě. Pěstuje se obvykle v oblastech s chladným, drsným klimatem a v zemích s tradicí žitného a žitnopšeničného chleba a pečiva (ČR, Německo, Rakousko, Skandinávské země, Polsko, Rusko a Ukrajina) [3].

### 1.8.2 Charakteristika bílkovin a škrobu

Celé zrno obsahuje v sušině: 56–70 % škrobu a 8–13 % bílkovin. Mezi žitné bílkoviny patří i sekaliny, což jsou prolaminy s různou molekulovou vahou, zahrnující i vysokomolekulární sekaliny (až 75 kDa). Škrob se nachází výhradně v endospermu a má nižší teplotu gelovatě-

ní než pšeničný škrob. Žitný škrob obsahuje, stejně jako pšeničný, krystalický škrob typu A (do průměru 62,5  $\mu\text{m}$ ; 85–90 %), jehož množství je vyšší než v pšenici a menší množství škrobu typu B (9,3  $\mu\text{m}$  a menší průměr; 10–15 %). Žitné škrobové granule jsou větší než pšeničné [19].

## 1.9 Pšenice

### 1.9.1 Obecná charakteristika

Komerčně nejdůležitější je *Triticum aestivum* (pšenice setá) subspecies vulgare a pšenice tvrdá (*Triticum durum*), která slouží téměř výhradně k výrobě těstovin. Pšenice setá má jarní a ozimou formu, přičemž ozimá v ČR převažuje (cca 94 % ploch). Největšími producenty pšenice jsou USA, Čína a Rusko [3].

### 1.9.2 Charakteristika bílkovin a škrobu

Škrobové granule jsou bimodální, co se týká distribuce částic. Větší částice mají čočkovitý tvar a průměr kolem 25  $\mu\text{m}$ , menší částice mají kulovitý tvar a průměr menší než 10  $\mu\text{m}$ . Reologické vlastnosti pasty z pšeničného škrobu jsou obdobné vlastnostem pasty z kukuřičného škrobu, ačkoliv viskozita a pevnost gelu je nižší. Pšeničný škrob s vysokým poměrem poškozeného škrobu může být použitý k výrobě bezlepkového chleba, párků či masových závitků [6].

### 1.9.3 Lepek

Lepek je velmi důležitý vzhledem k celkové kvalitě a struktuře pšeničného chleba. Lepek se skládá ze dvou frakcí pšeničných bílkovin, a to prolaminu (gliadinu) a glutelinu (gluteninu) a tvoří se až při smíchání těchto bílkovin s vodou. Lepkové bílkoviny jsou zásobními bílkoviny pšenice. Gliadiny jsou málo odolné k dloužení (tahu) a jsou zodpovědné za soudržnost těsta. Dělí se do frakcí na  $\alpha$ -,  $\gamma$ - a  $\omega$ - gliadiny s molekulovou hmotností 30 000 až 74 000 a obsahují podobné opakující se peptidové sekvence bohaté na glutamin a prolin, které jsou pravděpodobně zodpovědné za „toxicitu“ lepku u celiaků. Gluteniny jsou heterogenní směsí polymerů o přibližné molekulové hmotnosti 80 000 až milion, složené do podjednotek zesíťovaných disulfidovými vazbami. Díky své velikosti jsou gluteliny hlavně zodpovědné za elasticitu a soudržnost těsta, zatímco gliadiny fungují jako změkčovadla, a proto přispívají

k viskozitě, plasticitě a roztažnosti. Lepková matrix je stabilizována intermolekulárně disulfidovými vazbami a hydrofobními interakcemi, v menší míře hydrofilními a iontovými interakcemi. Lepek tedy přispívá k tvorbě textury a struktury střídy upečeného produktu [20].

## 2 CHEMICKÁ CHARAKTERISTIKA A NUTRIČNÍ VÝZNAM OSTATNÍCH SLOŽEK BEZLEPKOVÝCH PLODIN

### 2.1 Lipidy

Obsah lipidů v amarantu je vyšší než v obilovinách. Přes 75 % lipidů je nenasycených. Bohatě zastoupená je kyselina linolová (50 %), dále kyselina olejová (20 %), palmitová (okolo 20 %). Amarant obsahuje nižší množství fosfolipidů, tokoferolů a tokotrienolů a nachází se zde taktéž určité množství skvalenu<sup>1</sup> [5].

Merlík obsahuje 5,6 % tuku uloženého v klíčku, z čehož 19 % tvoří volné mastné kyseliny. Je bohatý na kyselinu olejovou (23 %), linolovou (55 %) a linolenovou (7 %) [21].

Obsah lipidů v semenech pohanky je 1,5–3,7 %. Nejvíce zastoupenými mastnými kyselinami jsou palmitová, olejová, linolová, stearová a linolenová. Dále jsou zastoupeny i arachidonová, behenová a lignocerová, přičemž se tyto mastné kyseliny nachází v 8 % a v obilovinách se téměř vůbec nevyskytují [14].

Z mastných kyselin prosa setého převažuje kyselina linolová (60 %), následována olejovou (14 %) [16]. Cizrna obsahuje větší množství esenciálních mastných kyselin, především linolovou a linolenovou [7].

Kukuřičný olej obsahuje vysoké množství kyseliny linolové (62 %), dále obsahuje olejovou (23 %) a palmitovou kyselinu (10 %) [22].

### 2.2 Látky s antioxidační aktivitou

Na tyto látky je velmi bohatá pohanka, která je přirozeným zdrojem antioxidantů zahrnujících tokoferoly, fenolovou kyselinu a flavonoidy. Do skupiny flavonoidů patří rutin, orientin, vitexin, quercetin, isoorientin a isovitexin. Obalové vrstvy obsahují všech šest flavonoidů, klíček pouze rutin a isovitexin. Rutin snižuje lomivost kapilár u krvácivých onemocnění při vysokém tlaku u mužů. Obsah rutinu v pohance se dle jednotlivých studií značně liší v rozmezí pár jednotek až několik desítek  $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$  [15].

---

<sup>1</sup> (vysoce nenasycený triterpen)

## 2.3 Vitaminy

Merlík je bohatý na vitamin E, kyselinu listovou, thiamin a obsahuje též vitamin C [21]. Amarant je dobrým zdrojem riboflavinu, pohanka je zase dobrým zdrojem tiaminu, riboflavinu a pyridoxinu, obojí jsou i dobrými zdroji vitaminu E [23]. Bílá rýže je na vitaminy celkem chudá, větší množství se nachází v rýžových otrubách [24]. Proso obsahuje větší množství tiaminu, niacinu a kyseliny pantotenové [25]. Cizrna je velmi dobrým zdrojem niacinu (je vázán s bílkovinami, na které je cizrna bohatá) a kyseliny listové (obsah folátu je 150–557 µg/g). Naopak, ale obsahuje pouze malé množství tiaminu (ničí se rafinací) a riboflavinu (aktivuje se až po konverzi po absorpci v tenkém střevě). Cizrna také obsahuje malé množství vitaminu C, který je ovšem snadno ničen během vaření a dlouhého skladování [26].

## 2.4 Minerální látky

Merlík je bohatý na vápník, fosfor, železo, zinek a hořčík [21]. Výborným zdrojem vápníku, hořčíku, železa i zinku je amarant. Pohanka je také velmi dobrým zdrojem těchto minerálií. Všechny tři výše jmenované pseudocereálie jsou lepším zdrojem vápníku, hořčíku i železa než pšenice [23]. Bílá rýže je poměrně chudá na obsah minerálií. Obsahuje pouze vyšší množství fosforu a vápníku. Na minerálie jsou bohaté především rýžové otruby [24]. Proso obsahuje větší množství fosforu, draslíku, hořčíku a železa a naopak je chudé na sodík a především vápník [25]. Cizrna je velmi bohatá na obsah manganu a mědi, nachází se zde i větší množství fosforu, hořčíku, zinku a železa. Spíše minoritní zastoupení má vápník, draslík a selen [26].

## 2.5 Antinutriční látky

V této podkapitole budou zmíněny tyto antinutriční látky: kyselina fytová, inhibitory proteáz a saponiny.

### 2.5.1 Kyselina fytová

Kyselina fytová může vytvářet komplexy s bazickými bílkovinnými zbytky, významně inhibuje enzymové trávicí reakce a ruší adsorpci minerálií, konkrétně zinku [4].

### 2.5.2 Inhibitory proteáz

Inhibitory proteáz se nachází v každé rostlině. Amarant jich obsahuje méně než běžné obiloviny. Jedná se např. o inhibitory trypsinu či chymotrypsinu. Tyto látky kompetitivně inhibují aktivitu proteolytických enzymů, čímž zhoršují stravitelnost bílkovin. Tělo na jejich přítomnost reaguje zvýšenou syntézou proteolytických enzymů. Inhibitory proteáz však mají i pozitivní efekt: protirakovinotvorné, antioxidantní, regulují množství glukózy v krvi, jsou protizánětlivé [5].

### 2.5.3 Saponiny

Saponiny jsou glykosidy nacházející se v rostlinách a některých mořských organizmech. Hlavním typem je triterpenoid saponin skládající se z aglykonu sapogeninu, ke kterému jsou připojeny jeden až tři oligosacharidové řetězce [27]. Saponiny jsou hořce chutnající povrchově aktivní látky (surfaktanty), které vykazují intenzivní pěnotvornou aktivitu ve vodných roztocích. Mohou tvořit komplexy se zinkem a železem a snižovat jejich využitelnost [4; 5; 10]. Saponiny jako surfaktanty reagují s membránovými lipidy střevních buněk, které takto poškozují a zvyšují permeabilitu buňky. Může tudíž docházet k vzrůstu absorpce nežádoucích látek jako alergenní bílkoviny či přirozeně se vyskytující toxiny [5; 10; 27]. Jejich absorbované množství je však malé a účinek se omezuje pouze na střevní trakt [4]. Pozitivní stránkou saponinů je to, že snižují hladinu cholesterolu v krvi (tvorbou komplexu s proteiny a lipidy) [10; 27].

Amarant obsahuje kolem 0,1 % saponinů, takže není pro konzumenty toxický [4; 5]. Saponiny způsobují nahořklou chuť merlíku už od koncentrace  $0,9 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ , naopak při koncentraci  $0,11 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$  a nižší je odrůda považována za sladkou. Saponiny se z merlíku odstraňují buď pomocí tekoucí vody (spíše v menší míře) nebo fyzikálně abrazí [10].



### 3 EMPIRICKÉ METODY MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ PŠENIČNÉHO TĚSTA

K zjišťování reologických vlastností potravin s nehomogenní strukturou (např. pšeničné těsto), kde nelze použít základní prostředky, se používají empirické metody. K testování těsta se používají následující přístroje [28]: farinograf, alveograf, konsistograf, extensograf a mixograf.

#### 3.1 Farinograf

Jeden ze základních přístrojů k laboratornímu zjišťování pekařské kvality, množství vody, které je mouka schopna vázat (vaznost mouky) a zpracovatelské kvality chlebového těsta. Přístroj funguje tak, že se smíchá pšeničná mouka, voda a někdy i jiné suroviny v míse se dvěma míchadly ve tvaru Z, která se otáčejí horizontálně kolem své osy. Točivým momentem se vyhněte těsto, přičemž kvantitativní měření reologických vlastností dobře odpovídá (koreluje) způsobu zpracování těsta v pekárnách. Metoda je vysoce empirická a vyžaduje přísnou kontrolu podmínek měření [29].

#### 3.2 Alveograf/Konsistograf

Před tímto testem se nejprve stanoví množství vody, která se přidá ke zkoušené mouce. Po vymíchání je těsto vytlačováno a vytvarováno. Po určité době odpočinku je těsto připevněno přes kovový kruh a nafukováno tlakem vzduchu. Zaznamenává se odolnost těsta k expanzi a také bod prasknutí. Plocha pod získanou křivkou souvisí se silou mouky. Nedostatkem alveografu je pevně stanovené množství vody v těstě. Toto se nově nahrazuje optimalizovaným přídatkem vody v konsistografu, ale princip měření je u obou přístrojů stejný [30].

#### 3.3 Extensograf

Tento přístroj lze použít ve spojení s farinografem k laboratornímu vyhodnocení reologických vlastností těsta [29]. Nejprve se smíchá mouka, voda a sůl ve farinografu. Vzniklé těsto se svine do tvaru rohlíku a nechá v předepsaných podmínkách odpočinout. Poté se

těsto napne na dvě sady „kolíků<sup>2</sup>“ a je protahováno pohyblivým hákem. Měří se tažnost a celková tažnost až bodu přetržení. Těsto se znovu vytvaruje, ponechá se odpočinout a opětovně se proměřuje [30].

### 3.4 Mixograf

Tento přístroj zaznamenává průběh míchání těsta, přičemž má v podstatě stejnou funkci jako farinograf, ovšem s použitím malého vzorku mouky (30 g). Na dně měřicí komory jsou upevněny tři hroty a čtyři protisměrné hroty jsou v míchací hlavě, která hněte těsto. Při hnětení se čtyři hroty v hnětací hlavě otáčejí kolem tří stacionárních hrotů v misce s těstem, přičemž se vytváří točivý moment úměrný smykové pevnosti a elasticitě těsta [29].

---

<sup>2</sup> rohlík je po stranách propíchnut těmito kolíky, aby se během experimentů nesmekl

## 4 REOLOGICKÉ VLASTNOSTI BEZLEPKOVÉHO TĚSTA

### 4.1 Viskoelastický materiál

Viskoelastický materiál je takový, který v sobě spojuje elastickou i viskózní složku [31]. Tento materiál podléhá okamžité deformaci ihned poté, co na něj začne působit deformační síla. Jakmile je deformační síla odstraněna, dochází v materiálu k částečné relaxaci, což se projeví částečným navrácením do původního tvaru (elastická složka), ale k úplné relaxaci materiálu již nedojde (viskózní složka) [29]. Děje se tak proto, že část vložené energie je disipováno ve formě tepelné ztráty (viskózní složka), čímž dochází k redukci napětí v materiálu. K tomuto jevu dochází proto, neboť molekuly v tomto materiálu nejsou pevně vázány a mohou se, díky dodané energii, přeskupovat a pohybovat relativně jedná k druhé. Na základě těchto údajů lze definovat  $\tau$  (relaxační čas) jako poměr viskozity ( $\eta$ ) a elasticity ( $G$ ) [31]:

$$\tau = \frac{\eta}{G} \quad (1)$$

Poměr  $\tau$  je specifický pro různé materiály, a proto pro posouzení, zda se jedná o elastický, viskózní či viskoelastický materiál je důležitá doba pozorování  $t$ . Poměr  $\tau$  a  $t$  udává Debořino číslo ( $De$ ):

$$De = \frac{\tau}{t} \quad (2)$$

Materiály, jejichž  $De \ll 1$  se chovají jako kapaliny, materiály jejich  $De \sim 1$  projevují viskoelastické chování a materiály s  $De \gg 1$  se projevují jako pevné látky [31].

### 4.2 Dynamická (oscilační) reologie

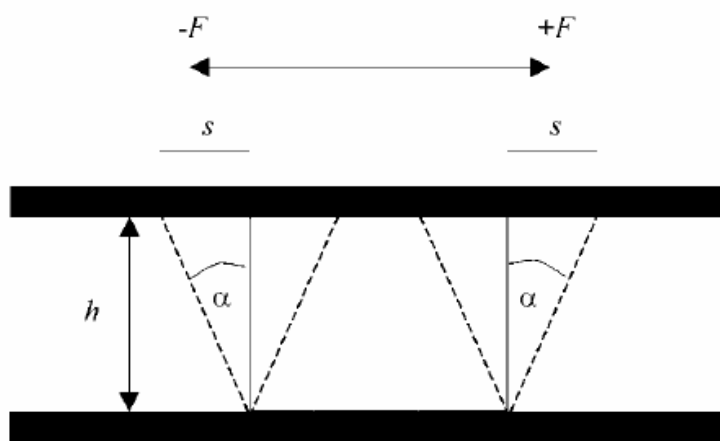
Jedná se o druh reologie, která k měření používá stejné geometrie jako rotační reologie (tj. soustředné válce, systém kužel–deska či dvě paralelní desky). Vzorek je zde podroben malému proměnnému zatížení sinusového průběhu, při kterém je řízeno buď smykové napětí  $\tau$  nebo deformace  $\gamma$ . Rozsah těchto zatížení je vybrán tak, aby nedocházelo k poškození struktury materiálu. Za těchto podmínek jsou patrné viskoelastické vlastnosti materiálu [32].

Kritickým bodem oscilační reologie je nalezení oblasti lineární viskoelastivity [33]. V této oblasti jsou materiálové funkce závislé na čase [29], avšak nezávislé na velikosti napětí, intenzitě deformace nebo rychlosti smykové deformace. Tedy, pokud se pracuje v lineární oblasti, tak aplikované napětí vyvolá deformaci přímo úměrnou tomuto napětí [33; 34]. Lineární oblast se stanoví experimentálně, ovšem při samotném testování je třeba dát pozor, aby vzorek nebyl podroben nadměrné deformaci (obvykle více než 1 %) či vysoké rychlosti deformace, aby nedošlo k přechodu do nelineární oblasti [33].

Přístroj, který se k tomuto typu měření používá, se nazývá reometr. Nejčastěji používanými měřicími geometriemi jsou geometrie typu kužel–deska či paralelní deska–deska. Mezi tyto geometrie se vkládá vzorek zkoušeného materiálu. Spodní geometrie je statická a vrchní geometrie se otáčí kolem středu určitou úhlovou rychlostí (sinusoida) s nízkým rozkmitem (amplitudou), zatímco se měří smykové napětí nebo deformace [29].

#### 4.2.1 Princip fungování dynamické (oscilační) reologie

K vysvětlení principu dynamické reologie používá řada autorů publikací jednoduchého modelu dvou vodorovných obdélníkových desek, z nichž spodní je nepohyblivá a vrchní osciluje horizontálně s určitou úhlovou rychlostí  $\omega$  [rad.s<sup>-1</sup>]. Dále také záleží na tom, zda je řízeno napětí či deformace [28; 32; 33].



Obr. 1: Schéma oscilačního testu mezi deskovými geometriemi [28]

Pokud je řízena deformace, pak deformační křivka, jako funkce času, je dána vztahem:

$$\gamma = \gamma_0 \sin \omega t \quad (3)$$

kde  $\gamma$  je deformace,  $\gamma_0$  amplituda deformace [33] rovna  $L/h$  ( $L$  je okamžitá výchylka vrchní desky a  $h$  je vzdálenost mezi deskami) [28; 32]. S použitím nízké amplitudy deformace (v rozsahu oblasti lineární viskoelastivity), je odpověď na vloženu deformaci smykové napětí  $\tau$ <sup>3</sup>[Pa]:

$$\tau = \tau_0 \sin(\omega t + \delta) \quad (4)$$

kde  $\tau_0$  je amplituda smykového napětí a  $\delta$  je fázové zpoždění (charakteristické pro viskoelastické materiály) [33].

Pokud je řízeno napětí, pak křivka smykového napětí, jako funkce času se vypočítá podle rovnice (5) a výsledná deformační křivka je charakterizována rovnicí (6) [28; 32]:

$$\tau = \tau_0 \sin \omega t \quad (5)$$

$$\gamma = \gamma_0 \sin(\omega t + \delta) \quad (6)$$

Pro pevné elastické materiály je smykové napětí ve fázi s deformací, pro Newtonské kapaliny je smykové napětí o  $90^\circ$  mimo fázi s deformací [29; 33]. Pro viskoelastické materiály nabývá fázové zpoždění hodnot  $0^\circ < \delta < 90^\circ$  [28; 32]. Ze získaných křivek lze zjistit jednotlivé složky i výsledný komplexní smykový modul  $G^*$  [28; 32; 33]. Modul  $G'$  je soufázový modul neboli elastický modul a  $G''$  je ztrátový modul nebo také mechanická disipace, která je spojována se ztrátou energie a zahříváním, v důsledku tření mezi molekulami [34].  $G'$  je definován jako poměr maximálního napětí k maximální deformaci složek ve fázi a  $G''$  je poměr maximálního napětí k maximální deformaci pro složky mimo fázi [31] Oba moduly jsou tedy charakterizovány následujícími rovnicemi [28; 32; 33]:

$$G' = \left( \frac{\tau_0}{\gamma_0} \right) \cos \delta \quad (7)$$

$$G'' = \left( \frac{\tau_0}{\gamma_0} \right) \sin \delta \quad (8)$$

Komplexní modul je definován rovnicí (9) a vyjadřuje celkovou tuhost vzorku [33]:

---

<sup>3</sup> V různých literárních pramenech je smykové napětí označováno autory, buď  $\sigma$  nebo  $\tau$ . Pro potřeby této práce se v dalším textu bude smykové napětí označovat  $\tau$ .

$$G^* = \sqrt{G''^2 + G'^2} \quad (9)$$

Dále je definován tangens fázového posunu (ztrátový úhel), který je funkcí frekvence [33]:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{G''}{G'} \quad (10)$$

Pro specifický materiál jsou velikosti modulů  $G'$  a  $G''$  ovlivněny frekvencí, teplotou a aplikovanou deformací, zatímco pro deformační hodnoty v rozsahu lineární deformace jsou moduly nezávislé na aplikovaném napětí [34].

## 5 HYDROKOLOIDY PŘIDÁVANÉ DO BEZLEPKOVÝCH TĚST

Mléčné bílkoviny přidávané do různých potravin zde mají zlepšující účinky na texturu a reologické vlastnosti potraviny. Tyto bílkoviny se přidávají jako obohacující přísady díky své vysoké nutriční hodnotě, dále k vazbě a emulgaci tuků, vazbě vody a vazbě a stabilizaci vzduchu [35].

Tato kapitola se bude zabývat nejen mléčnými bílkovinami, ale i guarovou a xanthanovou gumou, které se do bezlepkového pečiva používají nejčastěji.

### 5.1 Kaseináty

Kyselý i sladký kasein, které se získávají kyselým resp. enzymovým srážením mléka, jsou ve vodě nerozpustné [36]. Funkčnost kyselého kaseinu je limitována jeho malou rehydratací a vlastní nerozpustností. Zlepšení funkčnosti lze dosáhnout neutralizací za přídavku zásady, nejčastěji hydroxidu sodného, vápenatého či amonného anebo uhličitanem vápenatým [37]. Vzniklé kaseináty se liší protiiontem a vykazují dobrou rozpustnost v roztocích s neutrálním pH [36].

#### 5.1.1 Kaseinát vápenatý

Tento druh kaseinátu má mezi ostatními výjimečné postavení, díky tomu, že vápenaté ionty částečně interagují s fosfoserinovými zbytky kaseinu, což se v mléce projevuje tvorbou kaseinových micel [36]. Pokud se ke kyselému kaseinu přidá  $\text{Ca(OH)}_2$  (hydroxid vápenatý), vzniká kaseinát vápenatý, který tvoří ve vodě bílou disperzi. Toto je způsobeno tím, že vápenatý iont je divalentní, takže spojuje různé negativně nabitě řetězce kaseinu, čímž dochází k zesíťování a výsledkem jsou malé kaseinové agregáty stabilní vůči sedimentaci [37]. Kaseinát vápenatý je též jedinou mléčnou bílkovinou, o které bylo zjištěno, že vykazuje reverzibilní termální gelatinaci. V koncentraci více než 15 % a při zahřátí na 50–60 °C se formuje gel, který však při chlazení postupně kapalní, ale při opětovném zahřátí se znovu formuje. Teplota gelovatění vzrůstá v rozsahu koncentrací 15–20 % kaseinátu vápenatého a při pH 5,2–6,0 [35]. Kaseinát vápenatý je méně rozpustný než kaseinát sodný [38].

### 5.1.2 Kaseinát sodný

Pokud se upraví pH kyselého kaseinu pomocí NaOH (hydroxid sodný), získá kaseinát negativní náboj, v důsledku disociace  $H^+$  z  $-COOH$  postranních řetězců aminokyselin, a interaguje se sodným kationtem. Tato reakce rozbije agregáty kyselého kaseinu a vytvoří se disperze ve formě průsvitného roztoku [37]. Kaseinát sodný, stejně jako draselný a amonný tvoří ve vodě téměř čiré roztoky, i když v mnoha případech je pozorována nepatrná opalescence, díky asociaci kaseinů [36]. Tyto kaseináty však nejsou rozpustné v pH izoelektrického bodu (pH 4,0–pH 5,0), ale pod hodnotou pH 3,5 jsou již znovu rozpustné [38].

Tabulka 1: Srovnání funkčních vlastností kaseinátu sodného a vápenatého [38]

	Kaseinát sodný	Kaseinát vápenatý
Rozpustnost	xxx	x
Emulgace	xxx	x
Pěnotvorná schopnost	xxx	x
Vazba vody	xxx	x
Viskozita	xxx	x
Schopnost gelovatění	-	-
Tepelná stabilita	xxx	x
Stabilita v kyselém prostředí	x	x
Stabilita zmrazování/rozmrazování	xxx	x

Legenda: x – slabá; xx – dobrá; xxx - výborná

## 5.2 Syrovátka

Syrovátka je vedlejší produkt sladkého nebo kyselého srážení mléka. Skládá se z laktózy, bílkovin (mezi nimi je i malé množství kaseinů), minerálních látek, vitamínů skupiny B, enzymů a malého množství tuků. Minerální látky i laktóza se mohou ze syrovátky částečně nebo úplně odstranit (minerální látky např. elektrodialýzou, laktóza – membránovou filtrací) [39].

### 5.2.1 Syrovátkové bílkoviny

Tyto bílkoviny jsou labilní a jejich funkční vlastnosti mohou být modifikovány použitím různých způsobů úpravy syrovátky. Hlavními bílkovinami jsou  $\beta$ -laktoglobulin (50 %) a  $\alpha$ -laktalbumin (22 %). Obě frakce tvoří kompaktní globulární molekuly, jejichž primární struktura je rovnoměrně rozdělena mezi polární a hydrofobní zbytky [39]. Monomer  $\beta$ -laktoglobulinu obsahuje 5 cysteinových zbytků, z nichž čtyři tvoří vodíkové vazby a jeden je



volnou SH skupinou. Monomer  $\alpha$ -laktalbuminu je vápenatý metaloprotein, který obsahuje čtyři intramolekulární disulfidové vazby a stejně jako  $\beta$ -laktoglobulin se nachází v několika genetických variantách. Syrovátkové bílkoviny jsou více citlivé k teplotě, ale méně citlivé ke změně iontové síly a pH než kaseiny [35].

Mezi hlavní funkce syrovátkových bílkovin patří: rozpustnost (často spojována s jinými vlastnostmi, jako viskozita, gelovatění, emulgační a pěnotvorná kapacita), absorpce vody–bobtnání (zlepší se tepelnou denaturací), koagulace–gelovatění, emulgační kapacita (nejnižší v pH izoelektrického bodu), pěnotvorná kapacita (zlepší se tepelnou denaturací; vynikající u přečištěných bílkovin při pH blízkému neutrálnímu prostředí) [39].

#### **5.2.1.1 Gelovatění**

Gelovatění syrovátkových bílkovin lze provést změnou pH či tepelným zahřátím. Pokud se zvolí tepelný záhřev, tak je nutné dosáhnout alespoň nejnižší denaturační teploty bílkovin k tvorbě gelu. Pevnost syrovátkového gelu je ovlivněna množstvím a čistotou syrovátkových bílkovin. Pevnost gelu dále roste i se vzrůstající teplotou záhřevu a s časem. Také rychlost záhřevu má vliv na gelovatění bílkovin (pomalejší záhřev dává bílkovinám více času, aby se mohly rozvinout a agregovat, čímž vzniká silnější gel). Soli mají také velký vliv na vlastnosti syrovátkových gelů (zpevňují je), hlavně při pH dále od izoelektrického bodu, když bílkoviny nesou velký celkový náboj. Vápenaté ionty tvoří můstky mezi bílkovinami a obvykle mají větší vliv na vlastnosti gelu než jednomocné sodné či draselné ionty [38].

#### **5.2.1.2 Pekárenské použití**

Syrovátkové bílkoviny se používají v pekárenství k dodání bílkovin, k zadržování vody, tvorbě textury, dále k tmavnutí chleba, zlepšení chuti a nutriční hodnoty, avšak tyto bílkoviny snižují objem těsta. Syrovátkové bílkoviny ve formě koncentráту či izolátu jsou z technologického hlediska lepší než samotná syrovátka, nicméně se jedná o dražší produkt. Je možno začlenit až 20 % sušené sladké syrovátky či bílkovinných koncentrátů do rýžové, kukuřičné, pšeničné nebo celozrnné mouky aniž by se změnila expanzní schopnost výrobku, jeho konzistence či barva [39].

### 5.3 Guarová guma

Guarová guma se získává z rostliny *Cyamopsis tetragonoloba* L. Guarová semena jsou uložena v luscích. Tato semena tvoří 20–22 hm.% slupek, 44–46 hm.% klíčku a 32–36 hm.% endospermu v absolutní sušině [40]. Jedná se o neutrální polysacharid, jehož páteř tvoří lineární mannan, mannózové jednotky jsou dohromady propojeny  $\beta$ –(1,4) glykozidovými vazbami. Jednotlivé galaktózové jednotky se k mannanu připojují jako vedlejší řetězce  $\alpha$ –(1,6) glykozidovými vazbami. Guarová guma obsahuje typicky mezi 33 % až 40 % galaktózy. Galaktóza však není zastoupena v guarové gumě rovnoměrně, vznikají zde totiž úseky bohaté na galaktózu a naopak úseky chudé na tento monosacharid. Právě distribuce a počet galaktózových jednotek ovlivňuje interakci guarové gumy např. s xanthanovou gumou (čím více oblastí chudých na galaktózu v guarové gumě, tím vyšší synergie s xanthanovou gumou) [41]. Tyto polysacharidy jsou velmi hydrofilní, což umožňuje vazbu většího množství vody, která chrání klíček před suchem před i během klíčení [40].

### 5.4 Xanthanová guma

Xanthanová guma je extracelulární polysacharid produkovaný bakterií *Xanthomonas campestris* [42]. Chemicky se jedná o celulózuovou kostru (složenou z jednotek D-glukóz spojených  $\beta$ –(1,4) glykozidovou vazbou), kde jsou alternativní glukózové zbytky substituované trisacharidovým postranním řetězcem (skládá se ze dvou mannozových jednotek oddělených glukuronovou kyselinou). Přibližně polovina koncových mannóz je spojena s pyruvátovou skupinou a nekoncové zbytky obvykle nesou acetylovou skupinu. Karboxylová skupina na postranním řetězci propůjčuje molekule charakter aniontu. Z reologického hlediska má xanthanová guma výjimečné vlastnosti, a to vysokou viskozitu při velmi malé rychlosti smykové deformace (což se odráží ve výborných stabilizačních vlastnostech), zatímco při vyšších rychlostech smykové deformace vykazuje vysoce pseudoplastické chování (což se projevuje dobrým pocitem v ústech a tokovými kvalitami) [41].

Xanthanová guma zlepšuje objem, texturu a zadržuje plyn v chlazeném těstě, v pečivu se sníženým obsahem kalorií a bezlepkových chlebech [42]. Napomáhá taktéž prodlužovat trvanlivost a jemnou texturu pekařských výrobků díky zvýšené vazbě vody, dále řídit rekrystalizaci amyulózy a tímto zpomalovat stárnutí. Xanthanový produkt (s částicemi 75  $\mu$ m) může být promíchán nejprve s moukou k zajištění lepší disperze a velmi rychlé hydratace [41].

## II. PRAKTICKÁ ČÁST

## 6 CÍLE PRÁCE

Stanovení viskoelastických vlastností (elastický modul  $G'$  a ztrátový modul  $G''$ ; tangens ztrátového úhlu  $\delta$  ( $\tan \delta$ ) a komplexní viskozity  $\eta^*$ ) bezlepkových těst vybraných bezlepkových mouk, jejich vzájemné srovnání a srovnání s pšeničným a žitným těstem při konstantní teplotě 30 °C.

Porovnání změn viskoelastických vlastností (elastický modul  $G'$ ; tangens ztrátového úhlu  $\delta$  ( $\tan \delta$ ) a komplexní viskozity  $\eta^*$ ) různých bezlepkových těst s přidavkem a bez přidavku kaseinátu sodného, kaseinátu vápenatého a sušené syrovátky v různých koncentracích a při změně teploty v intervalu 30–90–30 °C.

## 7 METODIKA

### 7.1 Použité chemikálie

Kaseinát sodný (výrobce: Melkerei MEGGLE Wasserburg; Německo)

Kaseinát vápenatý

Sušená syrovátka (min. 69,8 % laktózy)

Sacharóza p.a. (lach-ner s.r.o.; Neratovice; Česká republika; M = 342,30 g/mol)

Chlorid sodný p.a. (lach-ner s.r.o.; Neratovice; Česká republika; M = 58,44 g/mol)

Destilovaná voda

### 7.2 Analyzované vzorky

Pro tuto práci byly použity následující bezlepkové mouky: amarantová, cizrnová, jáhlová, kukuřičná, merlíková, pohanková a rýžová. Jako standardy byly použity hladká pšeničná a žitná mouka. Ve vzorcích mouk byl stanoven obsah dusíkatých látek v sušině a obsah škrobu v sušině. Obsah dusíkatých látek byl stanoven Kjeldahlovou metodou podle ČSN EN ISO 20483 [55]. Obsah škrobu byl určen polarimetrickou metodou podle ČSN EN ISO 10520 [56]. Každé stanovení bylo provedeno dvakrát, pokud se výsledky nelišily víc než povolují normy. Z výsledků byl vypočten aritmetický průměr (tabulka 2).

Tabulka 2: Obsah dusíkatých látek a škrobu v sušině mouk

Mouka	NL (%)	Škrob (%)
Amarantová	15,3	67,6
Cizrnová	17,8	61,8
Jáhlová	11,9	78,8
Kukuřičná	8,8	84,8
Merlíková	16,0	69,0
Pohanková	11,0	78,5
Rýžová	6,9	80,5
Pšeničná	11,9	78,3
Žitná	7,2	66,7

Legenda: NL: obsah dusíkatých látek v sušině; Škrob: obsah škrobu v sušině

### 7.3 Stanovení oblasti lineární viskoelastivity zkoumaných vzorků mouk

#### Postup:

K odváženému vzorku bezlepkové mouky (10,0 g) bylo přidáno takové množství destilované vody, které odpovídá její optimální konzistenci 500 FU. Jedinými výjimkami byly kukuřičná a jáhlová mouka, které ani po přidavku optimálního množství vody nevytvořily těsto požadované konzistence, které by bylo proměřitelné v reometru. Požadované množství vody bylo u těchto mouk zjišťováno empiricky.

Mouka s vodou byla následně 0,5 minuty hnětena, poté byla z těsta vytvořena kulička, která se ponechala v misce přiklopené další miskou 5 minut zrelaxovat. Poté byla kulička opatrně vložena mezi desky geometrie (35 mm) reometru (HAAKE Rheostress 1, Thermo SCIENTIFIC). Posunem geometriemi na vzdálenost 1,500 mm bylo vytlačeno přebytečné množství těsta, které bylo odstraněno. Obnažené okraje těsta byly potřeny silikonovým olejem zabraňujícím odpařování vody. Těsto následně relaxovalo mezi geometriemi 6 minut. Po této době se spustilo vlastní měření. Konstantní teplota  $30 \pm 0,1$  °C měření byla udržována vodní lázní (HAAKE SC 100 (Thermo SCIENTIFIC)). Po každém měření se odstranily zbytky těsta a geometrie byly umyty pitnou vodou a osušeny.

Z každého těsta byly připraveny 3 bochníky a každý z nich se měřil dvakrát. Z výsledků byl vypočten aritmetický průměr, který byl zanesen do grafu (obr. 2).

#### Podmínky měření v reometru:

- Teplota:  $t = 30$  °C ( $\pm 0,1$  °C)
- Frekvence kmitání horní geometrie:  $f = 1$  Hz
- $\tau = 1 - 5\ 000$  Pa

#### Zjišťované parametry:

Během probíhajícího měření reometr zaznamenával odezvu vzorku na aplikované smykové napětí a frekvenci kmitání horní geometrie reometru. Software reometru poté vyhodnotil následující parametry: Modul elasticity  $G'$  a ztrátový modul  $G''$ . Oba moduly mají v oblasti lineární viskoelastivity stále stejnou odezvu na aplikované smykové napětí  $\tau$ , tzv. aplikované napětí vyvolá deformaci přímo úměrnou tomuto napětí [33; 34].

#### **7.4 Viskoelastické vlastnosti bezlepkových těst v porovnání s pšeničným a žitným těstem v oblasti lineární viskoelastivity a při konstantní teplotě**

##### Postup:

viz kapitola 7.3

Z každého těsta byly připraveny 3 bochníky a každý z nich se měřil dvakrát. Z výsledků byl vypočten aritmetický průměr, který byl zanesen do grafů (obr. 3-6).

##### Podmínky měření v reometru:

- Teplota:  $t = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} (\pm 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C})$
- Frekvence kmitání horní geometrie:  $f = 0,01\text{-}10 \text{ Hz}$
- $\tau = 20 \text{ Pa}$

##### Zjišťované parametry:

Během probíhajícího měření reometr zaznamenával odezvu vzorku na aplikované smykové napětí a frekvenci kmitání horní geometrie reometru. Software reometru poté vyhodnotil následující parametry: modul elasticity  $G'$ , ztrátový modul  $G''$ , tangens ztrátového úhlu  $\delta$  ( $\text{tg } \delta$ ) a komplexní viskozitu  $\eta^*$ .

#### **7.5 Vliv přídavku mléčných bílkovin do bezlepkových těst a jejich viskoelastické vlastnosti v gradientu teplot v oblasti lineární viskoelastivity**

Ke každému odváženému vzorku bezlepkové mouky (5,000 g) bylo přidáno 0,093 g sacharózy a 0,078 g NaCl. K vybraným vzorkům se dále přidaly buď kaseinát sodný, kaseinát vápenatý nebo sušená syrovátka v množství 1 nebo 5 % (w/w) na mouku a dále takové množství destilované vody, které zajistilo optimální konzistenci těsta. Další postup viz kapitola 7.3. Každý vzorek byl proměřen v gradientu teplot tak, že byl nejprve zahříván ze 30 °C k 90 °C, přičemž doba záhřevu byla cca 900 s. Poté byla udržována konstantní teplota okolo 90 °C po dobu 300 s. Po době výdrže opět následovalo chlazení až k teplotě 30 °C, přičemž tato fáze trvala okolo 6000 s.

Z každého těsta byly připraveny 3 bochníky a každý z nich se měřil dvakrát. Z výsledků byl vypočten aritmetický průměr, který byl zanesen do grafů (obr. 7-24).

Podmínky měření v reometru:

- Gradient teploty:  $t = 30-90-30 \text{ } ^\circ\text{C}$  ( $\pm 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ )
- Frekvence kmitání horní geometrie:  $f = 1 \text{ Hz}$
- $\tau = 150 \text{ Pa}$

Zjišťované parametry:

Srovnání modulu elasticity  $G'$  (v oblasti lineární viskoelasticity) zkoumaných těst bez přídavku i s přídavkem mléčných bílkovin či sušené syrovátky v celém teplotním rozsahu i v závěrečném dochlazování na teplotu  $30 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Porovnání komplexní viskozity  $\eta^*$  a tangens ztrátového úhlu ( $\text{tg } \delta$ ) zkoumaných těst bez přídavku i s přídavkem mléčných bílkovin či sušené syrovátky v celém teplotním rozsahu při záhřevu i v závěrečném dochlazování na teplotu  $30 \text{ } ^\circ\text{C}$ .  $\text{Tg } \delta$  (tangens ztrátového úhlu) je poměr mezi ztrátovým modulem a elastickým modulem (viz rovnice 10) [33].

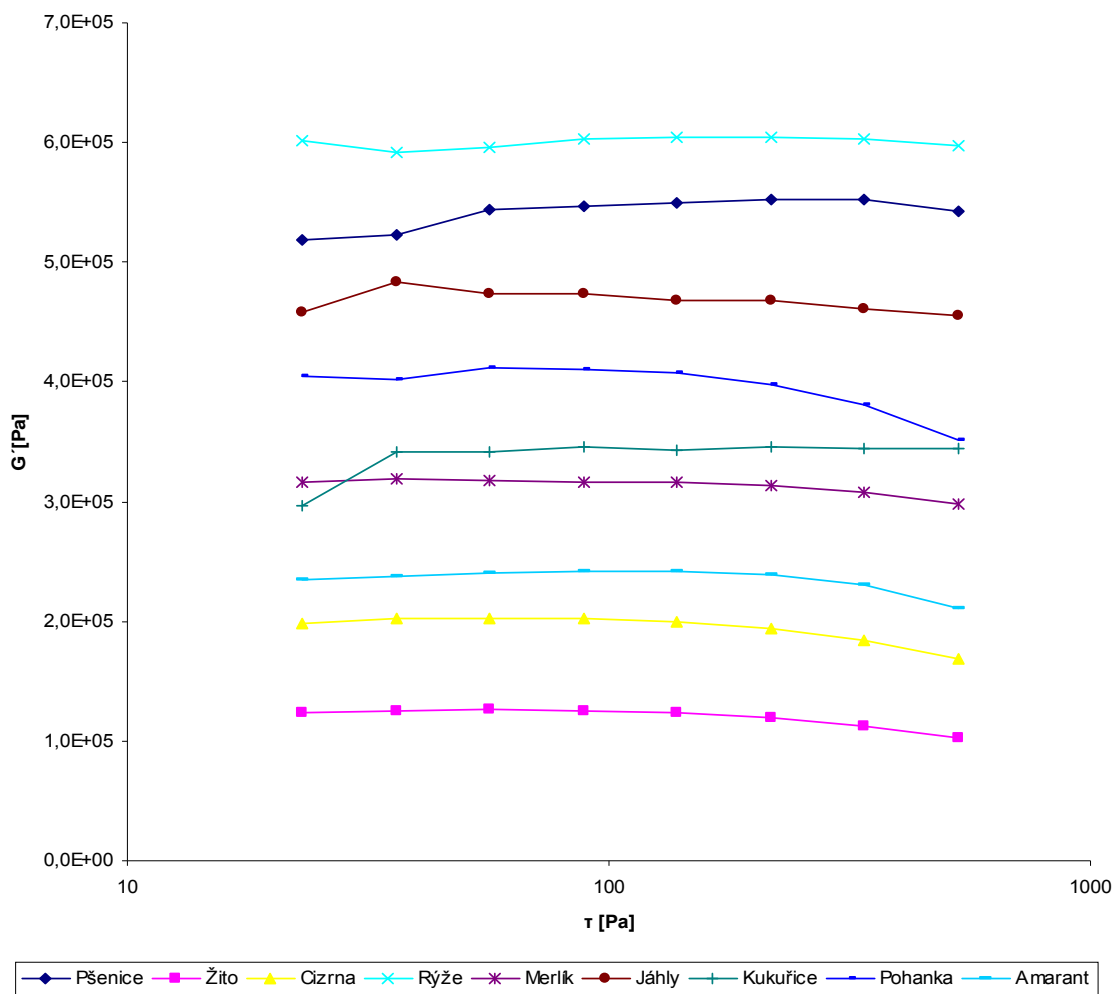


## 8 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 8.1 Stanovení oblasti lineární viskoelastivity zkoumaných vzorků mouk

Stanovení oblasti lineární viskoelastivity zkoumaných těst je důležité, protože v této oblasti aplikace určitého napětí na vzorek vyvolá deformaci vzorku, která je přímo úměrná aplikovanému napětí. Tato oblast je charakterizována velmi malými deformacemi a napětím, protože nesmí dojít k porušení vnitřní struktury zkoumaného materiálu. Lazaridou a spol. (2007) [43] uvádí oblast lineární viskoelastivity do 0,1 % deformace, poté nastává mírný pokles modulu  $G'$  až k 1 % deformaci, odkud už je pokles strmější a poukazuje na rozbíjení vnitřní struktury bezlepkového těsta. Miñarro a spol. (2012) [44] vyseletoval jako nejvhodnější k měření deformaci 0,05 %, která leží v oblasti lineární viskoelastivity.

V provedeném experimentu bylo použito smykové napětí  $\tau$  v rozsahu od 1 Pa do 5 000 Pa, přičemž byla použita konstantní frekvence kmitání horní geometrie reometru 1 Hz. Z důvodu větší přehlednosti je však v obr. 2 zachycena pouze oblast lineární viskoelastivity těst v rozmezí 23 Pa až 531 Pa. Pod hodnotami 10 Pa se projevilo nelineární chování u všech zkoumaných těst, zejména však u jáhlového, pšeničného a nejvíce u kukuřičného těsta. Nad hodnotami 531 Pa se již začalo u všech těst projevovat nelineární chování, tzn. s vyšším aplikovaným napětím  $\tau$ , klesala hodnota elastického modulu  $G'$  (dále „elastický modul“), takže docházelo k vyšším deformacím těsta (podle rovnice (7)), než by odpovídalo lineární odezvě na dané smykové napětí  $\tau$ , což může ukazovat na porušení vnitřní struktury těsta.



Obr. 2: Závislost elastického modulu na smykovém napětí  $\tau$  pro oblast lineární viskoelastickosti

## 8.2 Viscoelastické vlastnosti bezlepkových těst

Všechna zkoumaná těsta měla vyšší modul elasticity než ztrátový modul  $G''$  (dále „ztrátový modul“), což znamená, že vykazovala chování viskoelastických látek a měla strukturu podobnou gelu, což koresponduje s výsledky Lamacchia a spol. (2010) [45]. Zároveň byl  $\tan \delta$  (dále „tangens ztrátového úhlu“) ve všech případech všech zkoumaných těst větší než 0,1, což odpovídá chování měkkého gelu podle Korus a spol. (2008) [46]. Oba moduly byly u všech zkoumaných těst závislé na použité frekvenci kmitání horní desky geometrie.

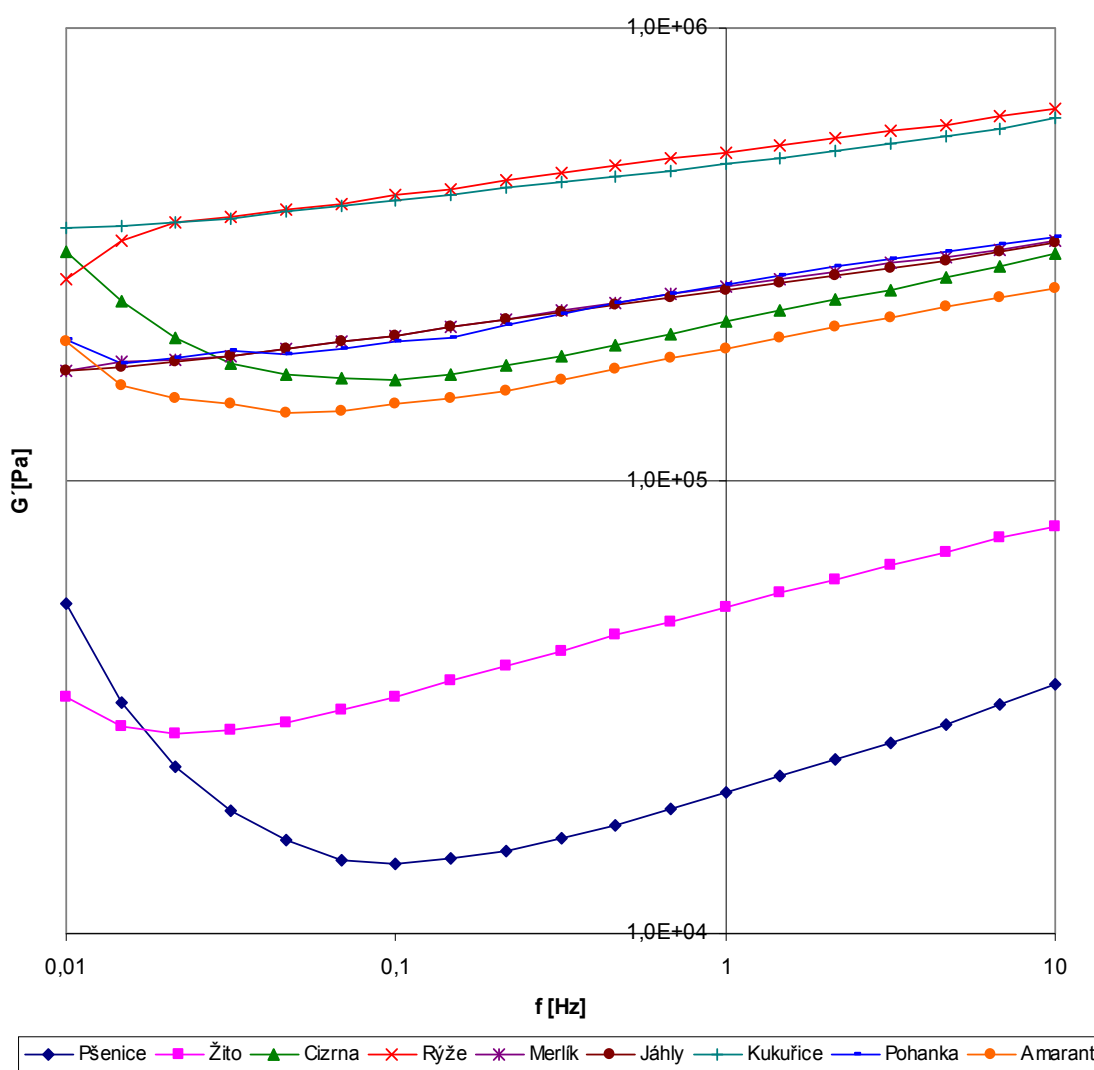
Obr. 3 ilustruje závislost elastického modulu použitých těst na aplikované frekvenci 0,01-10 Hz kmitání horní geometrie reometru. Z tohoto obrázku je patrné, že pšeničné a žitné těsto

byly méně elastické při použitých nízkých frekvencích než bezlepková těsta, přičemž rozdíl byl jeden řád. Při frekvenci 1 Hz byl průměrný elastický modul pšeničného těsta  $2,06 \cdot 10^4$  Pa, žitného těsta  $5,27 \cdot 10^4$  Pa. Při stejné frekvenci bylo nejelastičtější kukuřičné ( $5,01 \cdot 10^5$  Pa) a rýžové těsto ( $5,30 \cdot 10^5$  Pa). Při frekvencích 0,01-0,10 Hz však byl u rýžového těsta, sledován strmější pokles elasticity až do té míry, že při nejnižší frekvenci (blíží se 0,01 Hz) bylo elastičtější cizrnové těsto. U kukuřičného těsta nebyl tento průběh zaznamenán. Výsledky jsou v souladu se studií Sivaramakrishnan a spol. (2004) [47], který zjistil, že v rozsahu frekvencí 0,1-20 Hz mělo vyšší modul elasticity rýžové těsto oproti pšeničnému těstu. Elastický modul pšeničného těsta rostl, s rostoucí frekvencí, strměji než elastický modul rýžového těsta, který narůstal jen velmi pozvolna, což je také v souladu s obr. 3. Sivaramakrishnan a spol. (2004) [47] zároveň dodává, že škrobová zrna v pšeničném těstě působila jako plnidlo a posilovala lepkovou síť což mělo přímý vliv na velikost elastického modulu. Toto, ale nebyl případ rýžového těsta, které i přes vysoký elastický modul, nevytvořilo systém s definovanou strukturou kvůli absenci pojiva. Důsledkem absence pojiva pak byl, podle Sivaramakrishnan a spol. (2004) [47] nedostatek absorbované vody a odpudivé síly mezi škrobovými granulemi.

Pohankové, jáhlové a merlíkové těsto vykazovalo prakticky stejný elastický modul v průběhu celého intervalu použitých frekvencí. Při frekvenci 1 Hz byl průměrný elastický modul pohankového těsta v hodnotě  $2,71 \cdot 10^5$  Pa, jáhlového těsta  $2,63 \cdot 10^5$  Pa a merlíkového těsta  $2,69 \cdot 10^5$  Pa. Z obr. 3 je patrné, že křivky těchto těst byly níže než křivky kukuřičného a rýžového těsta, a tudíž měly za daných podmínek nižší elasticitu. Elastický modul merlíkového a jáhlového těsta se zvyšoval se zvyšující se frekvencí v celém průběhu zkoumaných frekvencí. Při frekvenci 1 Hz dosahoval elastický modul amarantového těsta průměrné hodnoty  $1,96 \cdot 10^5$  Pa. Amarantové těsto bylo méně elastické než merlíkové, což je však v rozporu s výsledky Lamacchia a spol. (2010) [45], který uvádí elastický modul vyšší v případě amarantového těsta. Tento autor však dodává, že výsledky elastických modulů obou těst si byly velmi podobné. Cizrnové těsto mělo při frekvenci 1 Hz průměrnou hodnotu elastického modulu  $2,25 \cdot 10^5$  Pa.

Velmi zajímavý byl průběh křivek elasticity amarantového a cizrnového těsta. Tato těsta měla sice vyšší elasticitu než pšeničné a žitné těsto za daných podmínek nicméně průběhy jejich křivek se svým tvarem blížily tvaru křivek pšeničného respektive žitného těsta. Amarantové těsto bylo svým průběhem elasticity při různých frekvencích velmi podobné žitnému

těstu, protože jeho elasticita nejprve klesala v rozsahu frekvencí 0,01 Hz až 0,10 Hz, ale od hodnoty 0,1 Hz k 10,0 Hz již vykazovala mírný nárůst. Cizrnové těsto se zase svým průběhem elastického modulu, při různých frekvencích, podobalo pšeničnému těstu. Nejprve byl pozorován pokles elastického modulu při zvyšování frekvence z 0,01 Hz až k hodnotě 0,10 Hz, od této hodnoty až k frekvenci 10,0 Hz byl patrný strmý růst elastického modulu obou těst. I když elastický modul cizrnového těsta rostl rychleji při nejnižších frekvencích, než elastický modul žitného či bezlepkových těst, tak oproti pšeničnému těstu byl jeho nárůst přece jen pozvolnější.



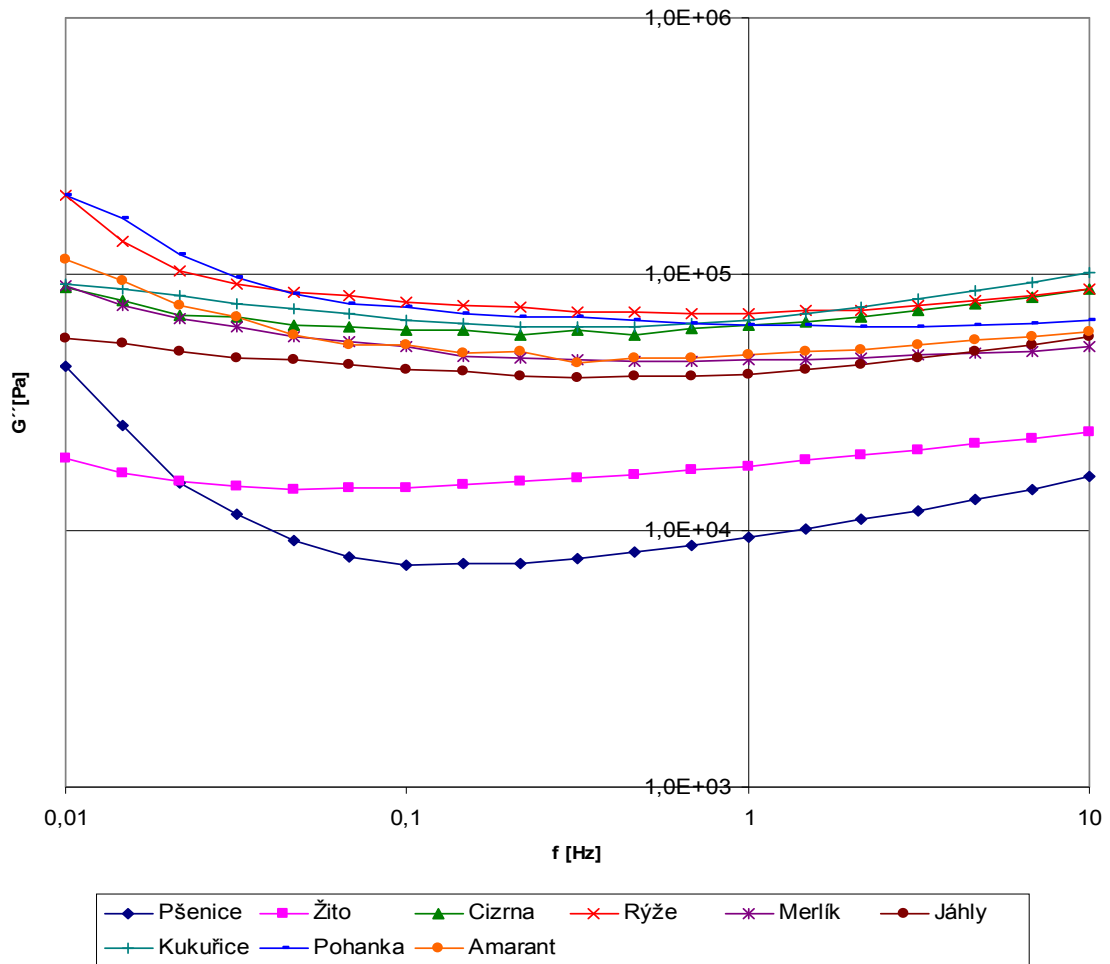
Obr. 3: Závislost elastického modulu na frekvenci  $f$  kmitání horní geometrie reometru

Z obr. 4 lze pozorovat, že pšeničné a žitné těsto mělo nižší ztrátové moduly, v rozsahu použitých frekvencí než bezlepková těsta. Porovnáním ztrátového modulu pšeničného a žitného těsta lze konstatovat, že ztrátový modul pšeničného těsta byl nižší při vyšších frekvencích a vyšší při nejnižších frekvencích vzhledem k žitnému těstu. Pšeničné těsto bylo též unikátní tím, že průběh tvaru křivky ztrátového modulu byl téměř totožný s průběhem křivky elastického modulu, ale lišily se velikostně. Při frekvenci 0,01 Hz měl elastický modul průměrnou hodnotu  $5,36 \cdot 10^4$  Pa a ztrátový modul měl průměrnou hodnotu  $4,36 \cdot 10^4$  Pa. Při frekvenci 1 Hz měl elastický modul průměrnou hodnotu  $2,06 \cdot 10^4$  Pa a ztrátový modul  $9,42 \cdot 10^3$  Pa. Při frekvenci 10 Hz pak měl elastický modul průměrnou hodnotu  $3,55 \cdot 10^4$  Pa ztrátový modul  $1,63 \cdot 10^4$  Pa. Tento vysoký rozdíl byl způsoben tím, že hodnota elastického modulu během měření rostla prudčeji než hodnota ztrátového modulu, nicméně tvary křivek byly podobné (viz obr. 3 a 4).

Co se týká bezlepkových těst, tak nejnižší ztrátový modul, při frekvenci 1 Hz, vykazovalo jáhlové těsto (průměrně  $4,08 \cdot 10^4$  Pa). Nejvyšší ztrátový modul vykazovala různá bezlepková těsta v závislosti na použité frekvenci. Mezi frekvencemi 0,01 až 0,1 Hz byl pozorovatelný strmější růst ztrátového modulu rýžového a pohankového těsta. Mezi 0,1 až 1 Hz měli nejvyšší ztrátový modul kromě výše jmenovaných těst i pohankové těsto. Mezi 1 až 10 Hz mělo nejvyšší ztrátový modul kukuřičné, rýžové a cizrnové těsto. Při frekvenci 1 Hz byl nejvyšší ztrátový modul zaznamenaná u rýžového těsta (průměrně  $6,97 \cdot 10^4$  Pa). Kukuřičné těsto mělo, při frekvenci 1 Hz, ztrátový modul průměrně  $6,65 \cdot 10^4$  Pa; pohankové těsto  $6,35 \cdot 10^4$  Pa; amarantové těsto  $4,87 \cdot 10^4$  Pa; merlíkové těsto  $4,63 \cdot 10^4$  Pa; žitné těsto  $1,79 \cdot 10^4$  Pa a pšeničné těsto  $9,42 \cdot 10^3$  Pa.

Jak je z obr. 4 patrné, průběhy všech ztrátových modulů bezlepkových těst si byly hodnotově velmi blízké. Velmi podobné, téměř totožné, si byly ztrátové moduly mezi amarantovým a merlíkovým těstem, což však odporuje výsledkům získaným Lamacchiem a spol. (2010) [45], který zaznamenal, že hodnoty ztrátových modulů se výrazněji lišily. Ztrátový modul pšeničného těsta byl v celém rozsahu frekvencí 0,01-10 Hz nižší než ztrátové moduly bezlepkových těst. Toto je v souladu s Sivaramakrishnan a spol. (2004) [47], který potvrdil, že rýžové těsto vyrobené z kulatozrné rýže mělo při použitých frekvencích 0,1-20 Hz vyšší ztrátový modul než pšeničné těsto, i když rozdíly mezi těmito moduly byly menší než v této diplomové práci. V případě těsta vyrobeného z dlouhozrné rýže však byl ztrátový modul

menší kolem frekvence 10 Hz a více než ztrátový modul pšeničného těsta [47], což už je v rozporu s diplomovou prací.

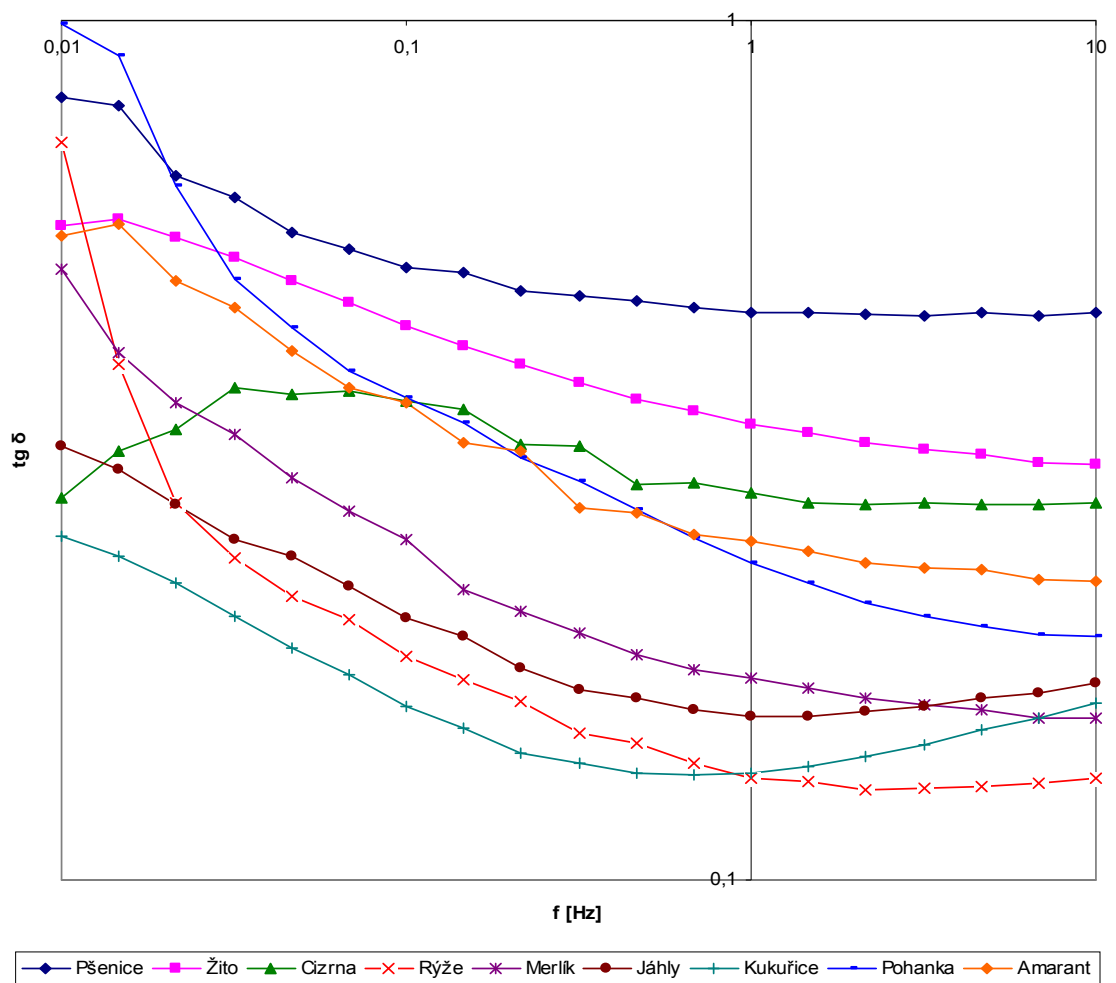


Obr. 4: Závislost ztrátového modulu na frekvenci  $f$  kmitání horní geometrie reometru

Tangens ztrátového úhlu  $\delta$  reprezentuje poměr mezi ztrátovým modulem a elastickým modulem [33]. Z obr. 5 je patrné, že tangens ztrátového úhlu  $\delta$  je závislý na použité frekvenci namáhání vzorku a zároveň, že tento úhel se pohybuje v rozpětí zhruba 0,1 až téměř 1. Největší rozmezí tangens ztrátového úhlu  $\delta$  ve zkoumaném rozpětí frekvence vykazovalo pohankové a rýžové těsto. Při nejnižší frekvenci 0,01 Hz se jejich tangens ztrátového úhlu  $\delta$  blížil 1, takže velikost jejich elastických a ztrátových modulů si byla velmi blízká a elasticita těsta byla malá. Se zvyšující se frekvencí prudce klesal tangens ztrátového úhlu  $\delta$  pohankového i rýžového těsta, což znamenalo, že elastický modul rostl rychleji než ztrátový modul a těsta tak vykazovala spíše elastičtější chování. Podobný průběh vykazovalo i merlíkové a amarantové těsto. Při frekvenci 1 Hz byla průměrná hodnota tangens ztrátového úhlu  $\delta$  po-

hankového těsta 0,234; rýžového těsta 0,131; merlíkového těsta 0,172 a amarantového těsta 0,248. Kukuřičné těsto projevilo nárůst elasticity v rozmezí frekvencí 0,01 až 1 Hz, poté docházelo k mírné ztrátě elasticity do frekvence 10 Hz, podobný průběh byl pozorován u jáhlového těsta. Při frekvenci 1 Hz byla průměrná hodnota tangens ztrátového úhlu  $\delta$  kukuřičného těsta 0,133 a jáhlového těsta 0,155. Specifický průběh, rozdílný od ostatních zkoumaných těst, byl pozorován u cizrnového těsta. Nejprve v rozmezí frekvencí 0,01 Hz až 0,1 Hz narůstala hodnota tangens ztrátového úhlu  $\delta$ , poté v rozmezí frekvencí 0,1 Hz až 10 Hz hodnota klesala a těsto se stávalo více elastičtější. Při frekvenci 1 Hz byla průměrná hodnota tangens ztrátového úhlu  $\delta$  cizrnového těsta 0,282. Pšeničné a žitné těsto vykazovalo jedny z nejvyšších tangens ztrátového úhlu  $\delta$  (s výjimkou nejnižších použitých frekvencí okolo 0,01 Hz), což znamená, že měly při použitých frekvencích jen o málo vyšší elastický modul oproti ztrátovému modulu. Při frekvenci 1 Hz byla průměrná hodnota tangens ztrátového úhlu pšeničného těsta 0,458 a žitného těsta 0,339.

Lamacchia a spol. (2010) [45] zjistil, že tangens ztrátového úhlu  $\delta$  amarantového a merlíkového těsta se zvyšuje se zvyšující se frekvencí od 1 do 10 Hz. Toto je v rozporu s výsledky na obr. 5, kde tangens ztrátového úhlu  $\delta$  amarantového a merlíkového těsta klesá se stoupající frekvencí. Lamacchia a spol. (2010) [45] a Lazaridou a spol. (2007) [43] dále uvádí, že těsta s nízkým tangens ztrátového úhlu  $\delta$  jsou tužší a pevnější, než těsta s vyšším tangens ztrátového úhlu  $\delta$ , která jsou vlhká a mají „krátkou“ texturu.

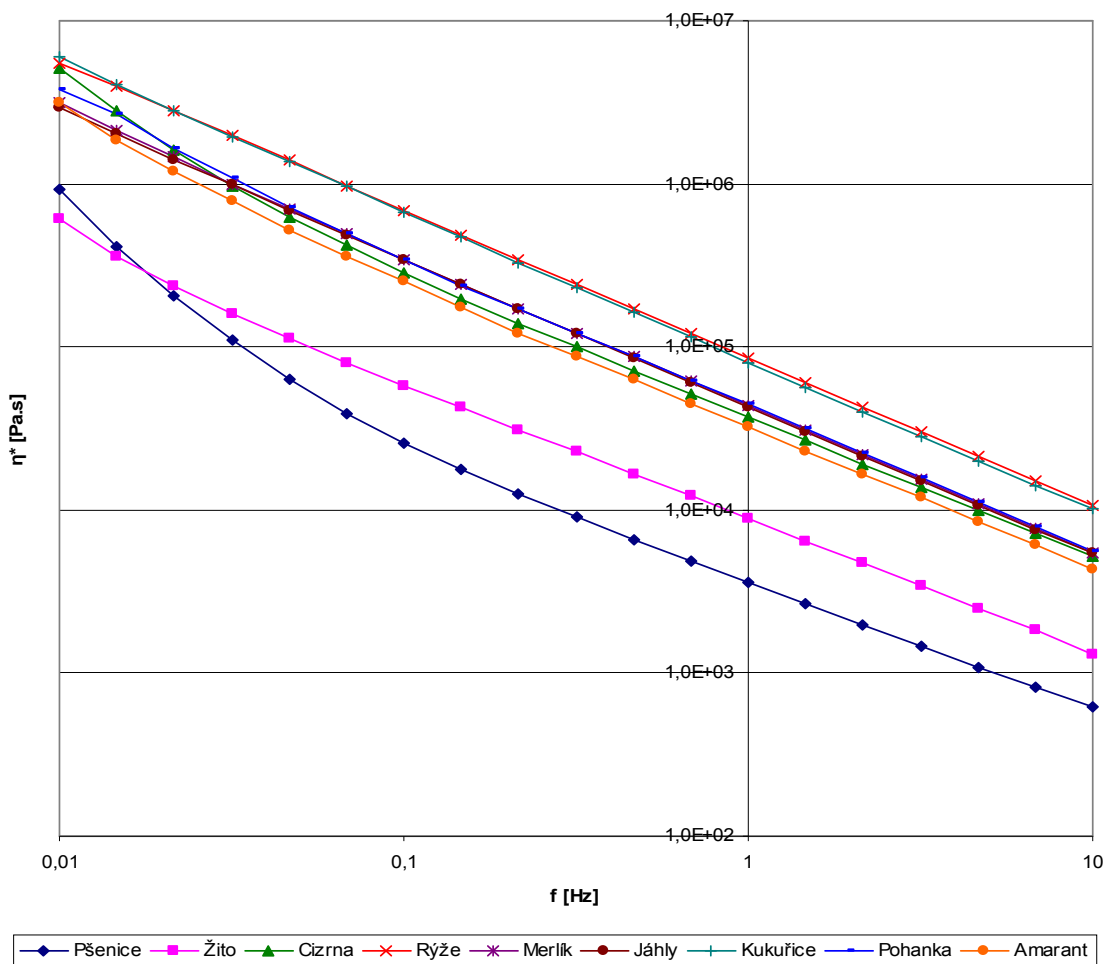


Obr. 5: Závislost tangens ztrátového úhlu  $\delta$  na frekvenci kmitání  $f$  vrchní geometrie reometru

Z obr. 6 lze vyčíst, že komplexní viskozita  $\eta^*$  pšeničného a žitného těsta, ale i bezlepkových těst klesala s narůstající frekvencí kmitání. Tokové křivky pšeničného a žitného těsta měly nižší hodnotu než v případě bezlepkových těst, přičemž při frekvenci 1 Hz, mělo pšeničné těsto nižší komplexní viskozitu  $\eta^*$  ( $3,60 \cdot 10^3$  Pa) než žitné těsto ( $8,86 \cdot 10^3$  Pa). Prakticky stejnou komplexní viskozitu  $\eta^*$ , a zároveň nejvyšší ze všech testovaných vzorků, vykazovalo, při frekvenci 1 Hz, rýžové ( $8,51 \cdot 10^4$  Pa) a kukuřičné těsto ( $8,04 \cdot 10^4$  Pa). Cizrnové těsto mělo komplexní viskozitu  $\eta^*$  při frekvenci 1 Hz  $3,72 \cdot 10^4$  Pa. Podobnost byla také mezi komplexní viskozitou  $\eta^*$  jáhlového ( $4,24 \cdot 10^4$  Pa) a pohankového těsta ( $4,43 \cdot 10^4$  Pa). Nejnižší komplexní viskozita  $\eta^*$  z bezlepkových těst byla naměřena v amarantovém těstu ( $3,22 \cdot 10^4$  Pa). Podobně jako v případě průběhu elastického modulu pšeničného a cizrnové-



ho těsta (viz obr. 3), tak i v případě komplexní viskozity  $\eta^*$  měly křivky těchto dvou těst tvarově podobný průběh.

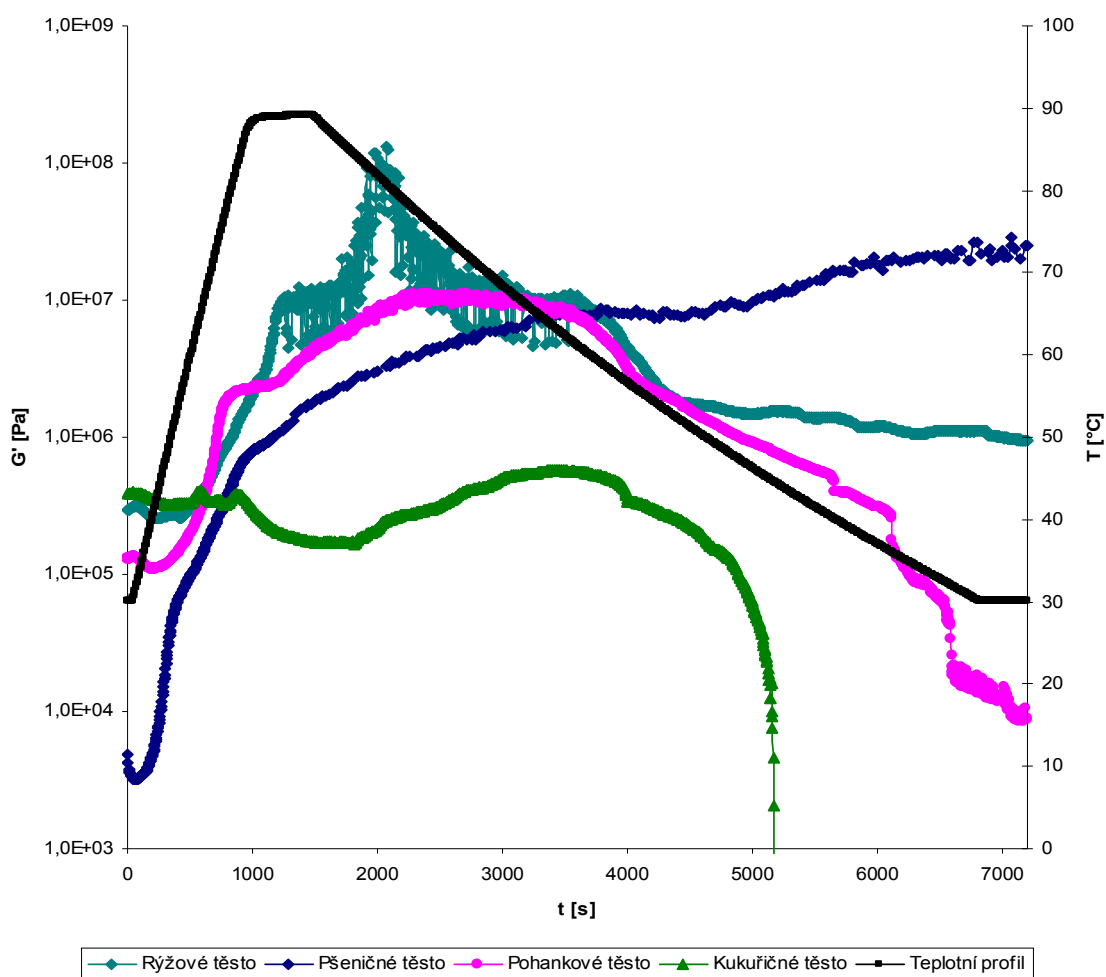


Obr. 6: Závislost komplexní viskozity  $\eta^*$  na frekvenci  $f$  kmitání vrchní geometrie reometru

### 8.3 Vliv přídavku mléčných bílkovin a sušené syrovátky na vlastnosti bezlepkových těst

Jak je z obr. 7 patrné, samotné rýžové a pohankové těsto vykazovaly vyšší elastický modul než pšeničné těsto při záhřevu, výdrži až asi do poloviny chlazení. Při dalším ochlazování již jejich elasticita klesala na rozdíl od pšeničného těsta, jehož elasticita se s dalším ochlazováním zvyšovala. Elastický modul kukuřičného těsta byl po celou dobu měření v teplotním gradientu nižší než elastický modul pšeničného těsta. Kromě toho se kukuřičné těsto nepodařilo proměřit v celém gradientu teplot, neboť během zahřívání, výdrže a následného chla-

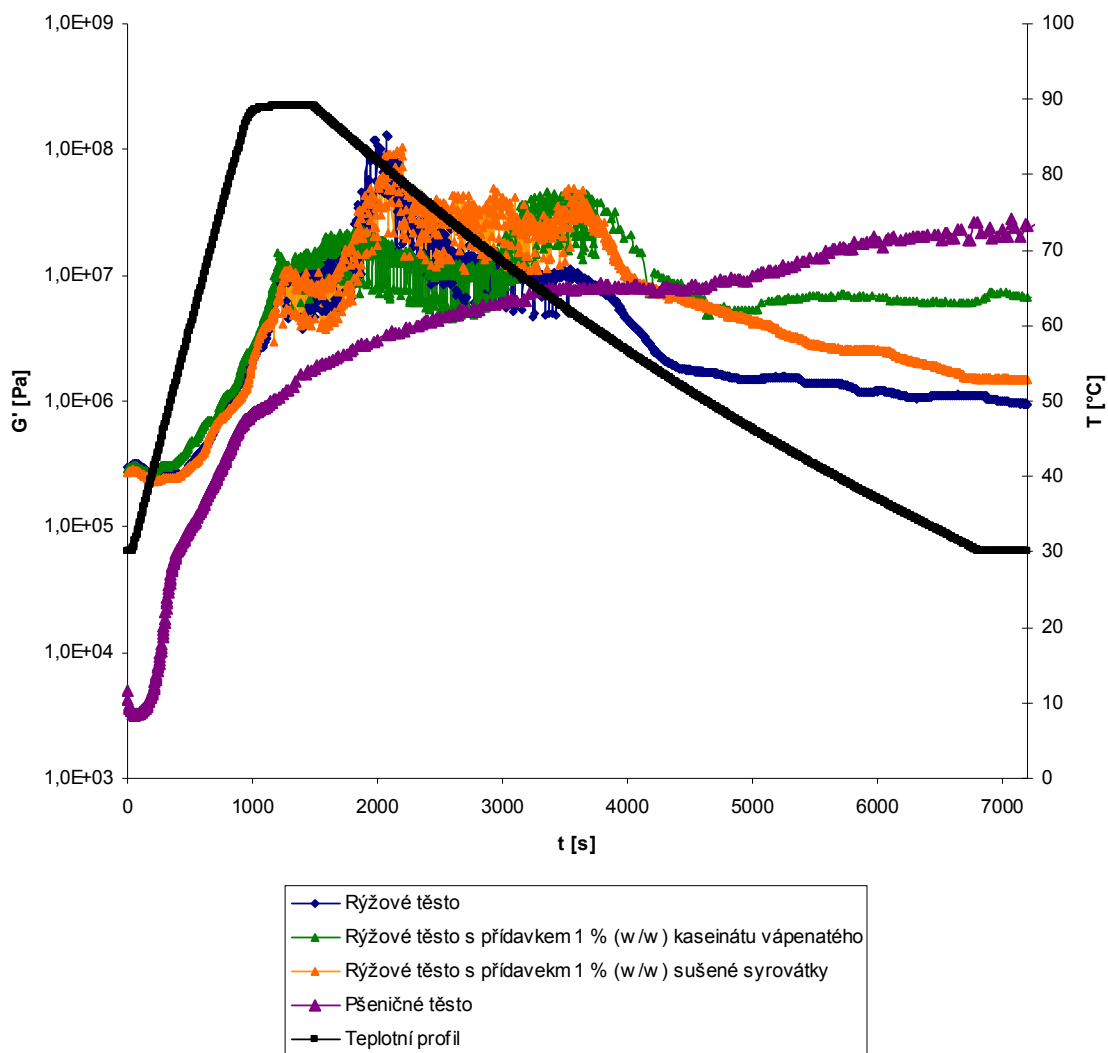
zení docházelo k významnému odparu vody z těsta a tudíž k jeho vysychání. Tento jev byl pravděpodobně příčinou velmi náhlého a prudkého poklesu elastického modulu a zároveň strmého nárůstu tangens ztrátového úhlu  $\delta$  ještě před úplným dochlazením těsta. Kett a spol. (2013) [48] uvádí, že na pastovité chování škrobu mají hlavní vliv 2 faktory: obsah amylózy ve škrobu a omezení bobtnání škrobu kvůli vrstvě lipidů a bílkovin na povrchu škrobových granulí. Liu a spol. (2009) [49] uvádí, že teplota, dostupnost vody a smykové namáhání jsou faktory ovlivňující mazovatění škrobu. Pokud je v systému nedostatek vlhkosti, tak mazovatění škrobu neproběhne v obvyklém teplotním rozmezí (typickém pro suspenze škrobu ve vodě) a proces je definován spíše jako „tání“ škrobu. Toto tvrzení je v souladu s obr. 7, kdy je patrné, že k mazovatění škrobu dochází až při vyšších teplotách.



Obr. 7: Závislost elastického modulu různých těst na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C

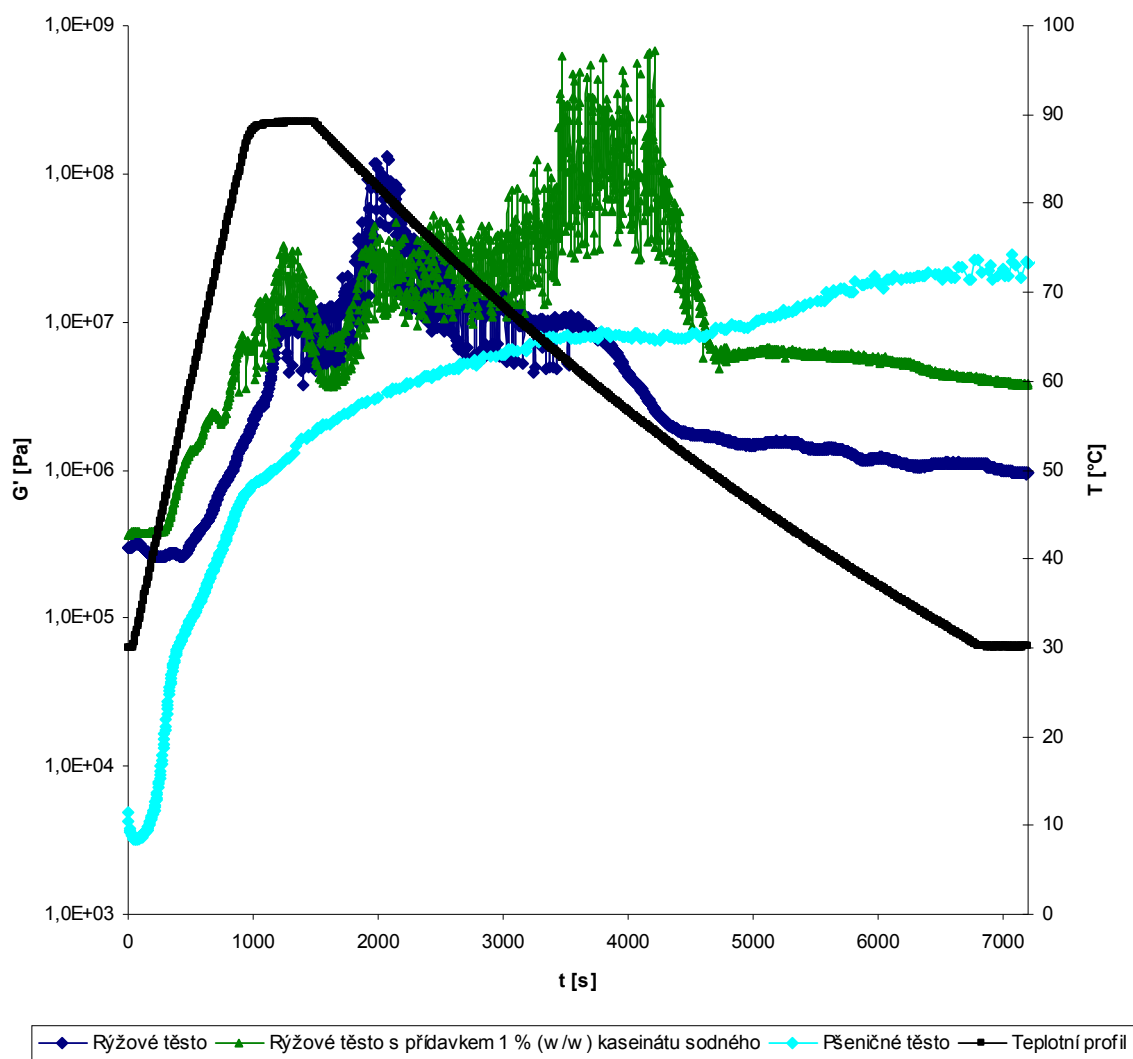
Z obr. 7 lze dále vypořádat, prudký nárůst elastického modulu pšeničného těsta během záhřevu a pozvolný růst elastického modulu během výdrže a chlazení, jehož hodnota v průběhu měření neustále rostla na rozdíl od bezlepkových těst, jejichž elastický modul nejprve prudce vzrostl a poté se jeho hodnota, při chlazení, začala propadat. Tyto výsledky jsou pravděpodobně dány rozdílnými vlastnostmi škrobů použitých mouk. Toto podporuje studie Kett a spol. (2013) [48], který rozeznává dva druhy škrobu: rychle bobtnající a pomalu bobtnající. Rychle bobtnající škroby bobtnají již při nižších teplotách a dosahují vyšších viskozit než pomalu bobtnající škroby, ale při pokračující vysoké teplotě a smykovém namáhání jim prudčeji klesá viskozita, což je pravděpodobně způsobeno menší odolností k roztříštění granulí. Rozdíl mezi těmito škroby by měl být v množství bílkovin a lipidů na povrchu škrobových granulí a obsahem amylózy, která během chlazení formuje trojrozměrnou síť.

### 8.3.1 Vliv přidavku kaseinátu sodného, kaseinátu vápenatého a sušené syrovátky v množství 1 % (w/w) na mouku



Obr. 8: Závislost elastického modulu pšeničného těsta a rýžového těsta bez a s přidavkem 1 % (w/w) kaseinátu vápenatého nebo 1 % (w/w) sušené syrovátky na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C

Kaseinát vápenatý, kaseinát sodný i sušená syrovátka v množství 1 % (w/w) zlepšovaly viskoelastické vlastnosti rýžového těsta. Elastický modul rýžového těsta byl při záhřevu, výdrži a určitou dobu během chlazení vyšší než v případě pšeničného těsta, jak dokládají obrázky 8 a 9.

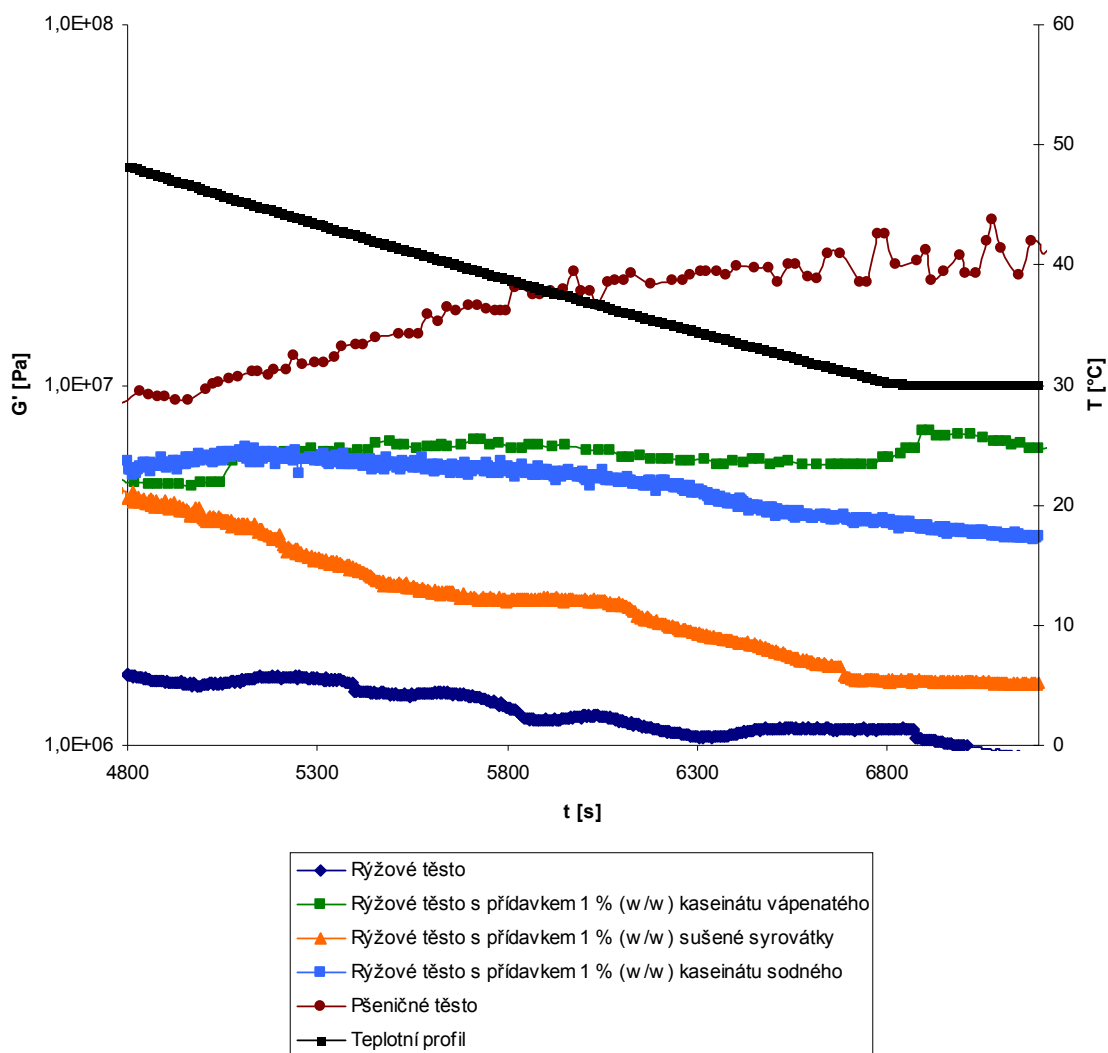


Obr. 9: Závislost elastického modulu pšeničného těsta a rýžového těsta bez a s přidavkem 1 % (w/w) kaseinátu sodného na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C

Velmi podobný průběh elastického modulu v gradientu teplot mělo i rýžové těsto s přidavkem 1 % (w/w) sušené syrovátky. Z obr. 8 je patrné, že sušená syrovátka nejvíce zlepšila elastický modul v rozmezí teplot 79,0–58,6 °C při chlazení. Naopak nejslabší vliv na elastický modul rýžového těsta měla v závěrečném chlazení, jak je patrné z obr. 10.

Rýžové těsto s kaseinátém vápenatým vykazovalo nejvýraznější zlepšení elastického modulu oproti rýžovému těstu mezi teplotami 68,0–56,2 °C při chlazení. V závěrečném chlazení těst byl elastický modul tohoto těsta nejvyšší z těch uvedených na obr. 10.

Kaseinát sodný zlepšoval elastický modul rýžového těsta lépe než sušená syrovátka, ale hůře než kaseinát vápenatý ve stejném množství. Z obr. 9 je patrné, že v rozmezí teplot 62,8-53,6 °C se projeví skokové zvýšení elastického modulu.

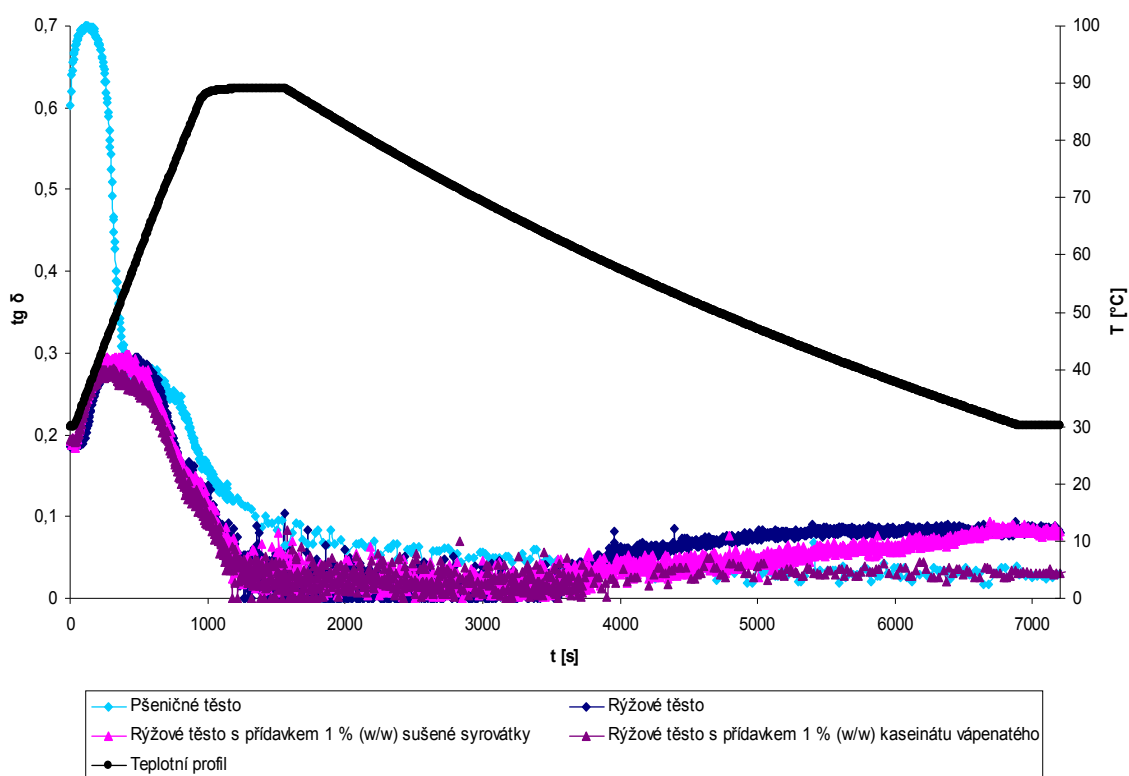


Obr. 10: Závislost elastického modulu pšeničného těsta a rýžového těsta bez a s přidavkem 1 % (w/w) různých hydrokoloidů na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C

Rýžové těsto mělo průměrnou hodnotu elastického modulu při dochlazení na 30 °C okolo  $9,97 \cdot 10^5$  Pa, v případě rýžového těsta obohaceného o 1 % (w/w) kaseinátu sodného byl, při teplotě kolem 30 °C, průměrný elastický modul cca  $3,87 \cdot 10^6$  Pa, rýžové těsto obohacené o 1 % (w/w) kaseinátu vápenatého mělo, při teplotě kolem 30 °C, průměrný elastický modul cca  $6,82 \cdot 10^6$  Pa a rýžové těsto obohacené o 1 % (w/w) sušené syrovátky mělo, při stejné teplotě při dochlazení, průměrný elastický modul cca  $1,49 \cdot 10^6$  Pa. Pšeničné těsto mělo prů-

měrnou hodnotu elastického modulu při dochlazení na 30 °C okolo  $2,46 \cdot 10^7$  Pa, což bylo ze zkoumaných těst nejvíce. Při porovnání údajů v obr. 10; 11 a 15 je zřejmé, že přídavek sušené syrovátky v množství 1 % (w/w) na mouku měl jen omezenou schopnost zlepšit viskoelastické vlastnosti rýžového těsta. Tento výsledek byl pravděpodobně způsoben nízkým množstvím syrovátkových bílkovin v syrovátce, která byla z převážné části tvořena laktózou a taktéž dávkováním malého množství syrovátky. Přitom syrovátkové bílkoviny by mohly být vhodnou alternativou náhrady lepku v bezlepkových těstech. Možnou podporu této teorie lze najít v práci van Riemsdijka a spol. (2011) [50], který dokázal, že syrovátkové bílkoviny upravené metodou studené gelatinace s přídavkem lokusové gumy a glukuno- $\delta$ -laktone, zlepšují, mimo jiné, elasticitu, schopnost těsta zadržet plyn, odolnost k deformaci, napětí při roztržení aj. v těstě z pšeničného škrobu, vody a soli. Podle autora [50] se tak dělo proto, že syrovátkové bílkoviny mají podobně jako lepkové bílkoviny, větší množství thiolových skupin a jsou schopny tvořit disulfidové vazby. Množství disulfidových vazeb přitom ovlivňuje pružnost a pevnost lepku a tím i mechanické vlastnosti těsta [50].

Příčinou proč lepších výsledků lze dosáhnout s pomocí kaseinátů než s pomocí syrovátky může být i to, že kaseináty byly použity jako téměř čisté soli vápenaté či sodné, ale sušená syrovátka je směsí monosacharidů (především laktózy), bílkovin, minerálních látek atd. [39], přičemž množství bílkovin v sušené syrovátce se pohybuje kolem 13 g/100 g směsi. Noisuwan a spol. (2008) [51] zjistil, že zlepšení vlastností suspenze rýžového škrobu ve vodě záleží na typu použité mléčné bílkoviny i její koncentraci a také na přítomnosti a koncentraci laktózy či minerálních látek. Considine a spol. (2011) [52] tvrdí, že přídavek laktózy zvětšil elastický modul waxy kukuřičného škrobu tím, že laktóza zvýšila tuhost škrobových granulí. Z obr. 8 je patrné, že rýžové těsto s přídavkem sušené syrovátky vykazovalo během pečení, ale hlavně chlazení, vyšší elastický modul než samotné rýžové těsto. Jakým dílem se na tomto zlepšení podílely syrovátkové bílkoviny a jakým laktóza však není jednoznačné.

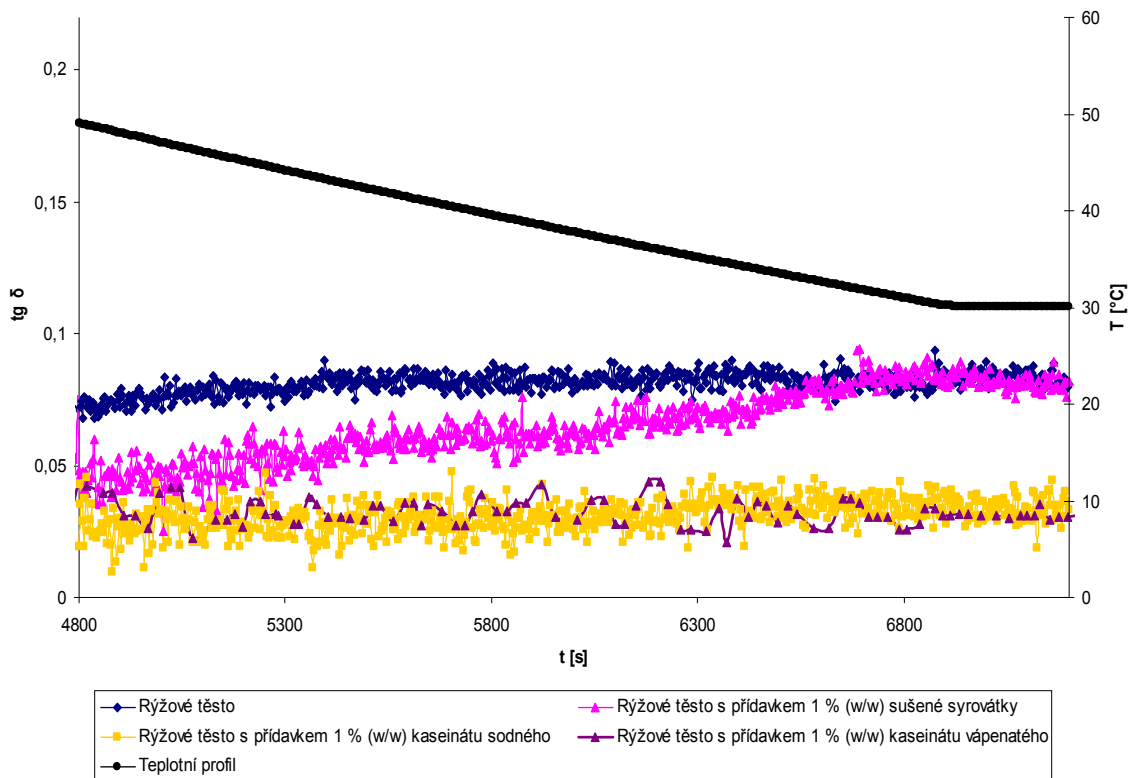


Obr. 11: Porovnání tangens ztrátového úhlu  $\delta$  rýžového těsta a rýžového těsta s přidavkem různých mléčných bílkovin a sušené syrovátky v gradientu teploty 30–90–30 °C a při konst. frekvenci 1 Hz

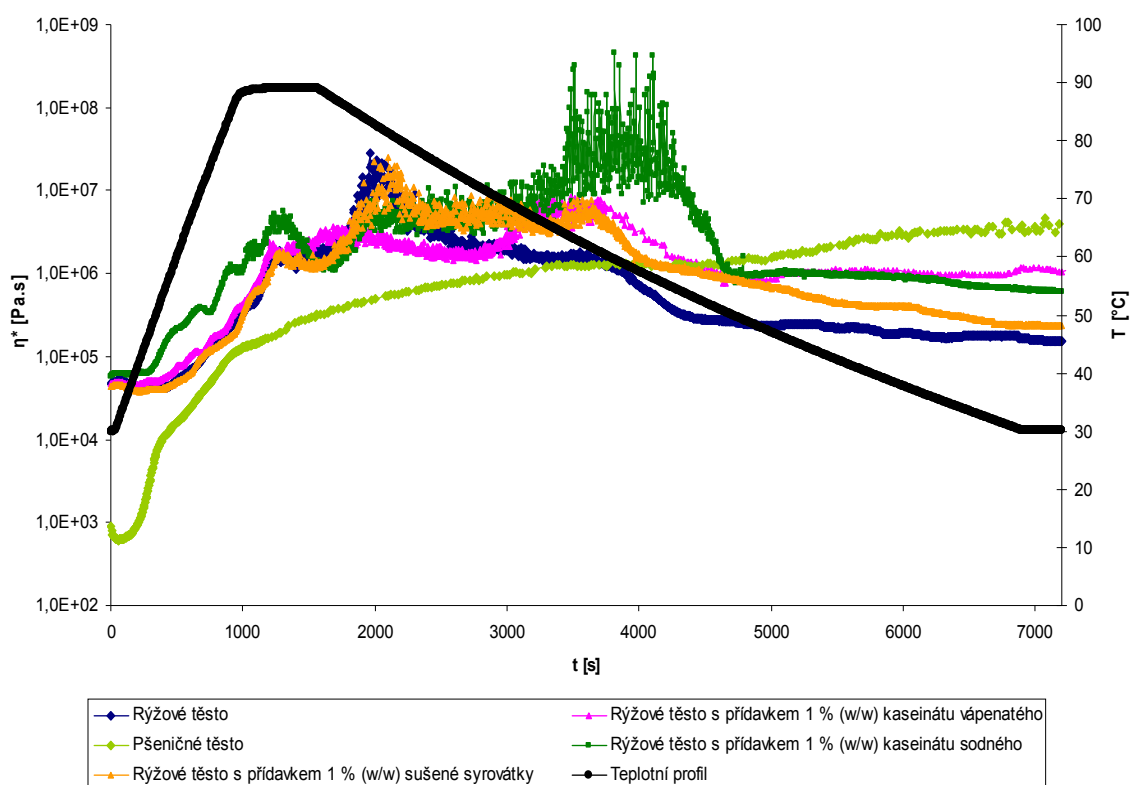
Tangens ztrátového úhlu  $\delta$  byl v gradientu teplot velmi podobný jak u samotného rýžového těsta, tak u rýžových těst obohacených o 1 % (w/w) kaseinátu vápenatého, kaseinátu sodného či sušené syrovátky, jak je patrné z obr. 11. Při počátečním záhřevu byl u všech výše jmenovaných těst pozorován menší nárůst tangens ztrátového úhlu  $\delta$  což by odpovídalo rychlejšímu růstu ztrátového modulu oproti elastickému modulu. Po dosažení vrcholu došlo nejprve k pozvolnému poklesu tangens ztrátového úhlu  $\delta$ , který však ke konci výdrže a při následném chlazení začal velmi prudce klesat, přičemž svými hodnotami se přibližoval tangens ztrátového úhlu  $\delta$  pšeničného těsta. Ke konci chlazení (viz obr. 12) se tangens ztrátového úhlu  $\delta$  zkoumaných těst začaly opět pozvolna zvyšovat, přičemž tangens ztrátového úhlu  $\delta$  samotného rýžového těsta (0,084) a rýžového těsta obohaceného o 1 % (w/w) sušené syrovátky (0,082) stouply nejvíce a také si byly, při teplotě kolem 30 °C, nejbližší. Naopak kaseinát vápenatý a kaseinát sodný v rýžovém těstě vytvořily velmi podobné tangens ztrátového úhlu  $\delta$  (0,031; resp. 0,034). Získané výsledky tedy pravděpodobně naznačují, že



kaseinát sodný i kaseinát vápenatý v množství 1 % (w/w) na mouku se mohly velmi výrazně podílet na zlepšení viskoelastických vlastností rýžového těsta, přičemž jejich tangens ztrátového úhlu  $\delta$  byly, ze všech testovaných vzorků, nejbližší tangens ztrátového úhlu  $\delta$  pšeničného těsta. Z obr. 12 je tedy patrné, že u všech zkoumaných těst byl tangens ztrátového úhlu  $\delta$  po dochlazení nižší než 0,1, což naznačuje, že těsta vytvořila celkem pevný gel.



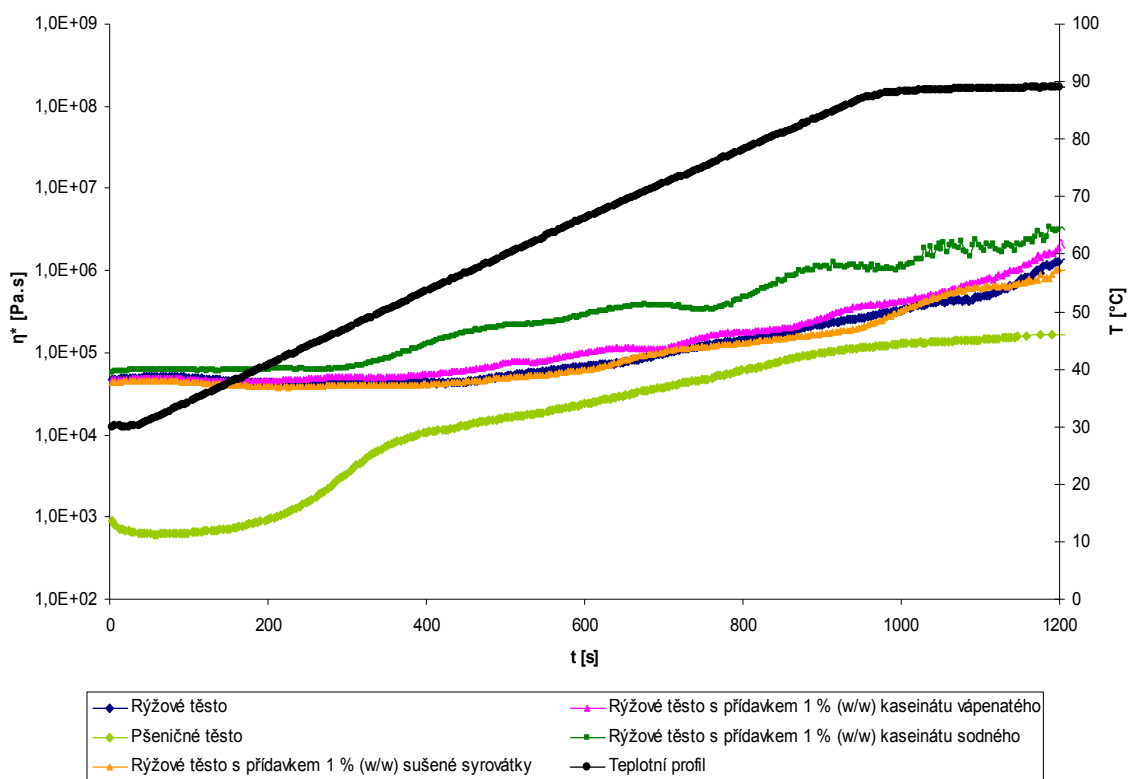
Obr. 12: Porovnání tangens ztrátového úhlu  $\delta$  rýžového těsta a rýžového těsta s přidavkem různých mléčných bílkovin a sušené syrovátky v závěrečném chlazení těst a při konst. frekvenci 1 Hz



Obr. 13: Závislost komplexní viskozity  $\eta^*$  pšeničného těsta a rýžového těsta bez a s přidavkem 1 % (w/w) kaseinátu sodného, kaseinátu vápenatého nebo sušené syrovátky na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C

U bezlepkových těst s i bez přidavku kaseinátu vápenatého, kaseinátu sodného či sušené syrovátky v různých koncentracích měla komplexní viskozita  $\eta^*$  v gradientu teplot podobný trend průběhu (viz. obr. 13 a 22). Při záhřevu se komplexní viskozita  $\eta^*$  nejprve rychle zvyšovala, přičemž zpravidla za polovinou výdrže či ze začátku chlazení rostla pomaleji. Z obr. 14 je patrné, že komplexní viskozita  $\eta^*$  rýžového těsta obohacené o 1 % (w/w) kaseinátu sodného rostla rychleji a prudčeji než u ostatních těst uvedených na témže obrázku. Rozdíl počátku nárůstu byl patrný i v teplotě. Zatímco rýžové těsto s kaseinátem sodným mělo počátek nárůstu komplexní viskozity  $\eta^*$  okolo 50 °C, rýžové těsto s přidavkem 1 % (w/w) kaseinátu vápenatého mělo tento počátek až okolo 59 °C a rýžové těsto a rýžové těsto s přidavkem 1 % (w/w) sušené syrovátky při teplotě kolem 65 °C. Z obr. 14 lze vyčíst, že během záhřevu a podstatnou část výdrže mělo rýžové těsto obohacené o kaseinát sodný nejvyšší komplexní viskozitu  $\eta^*$ . Na tomto vzorku lze i dobře pozorovat, že po dosáhnutí

nejvyšší komplexní viskozity došlo i k jejímu prudkému poklesu. Tento trend průběhu odpovídá průběhu mazovatění škrobu jako ve studii Noisuwan a spol. (2008) [51].

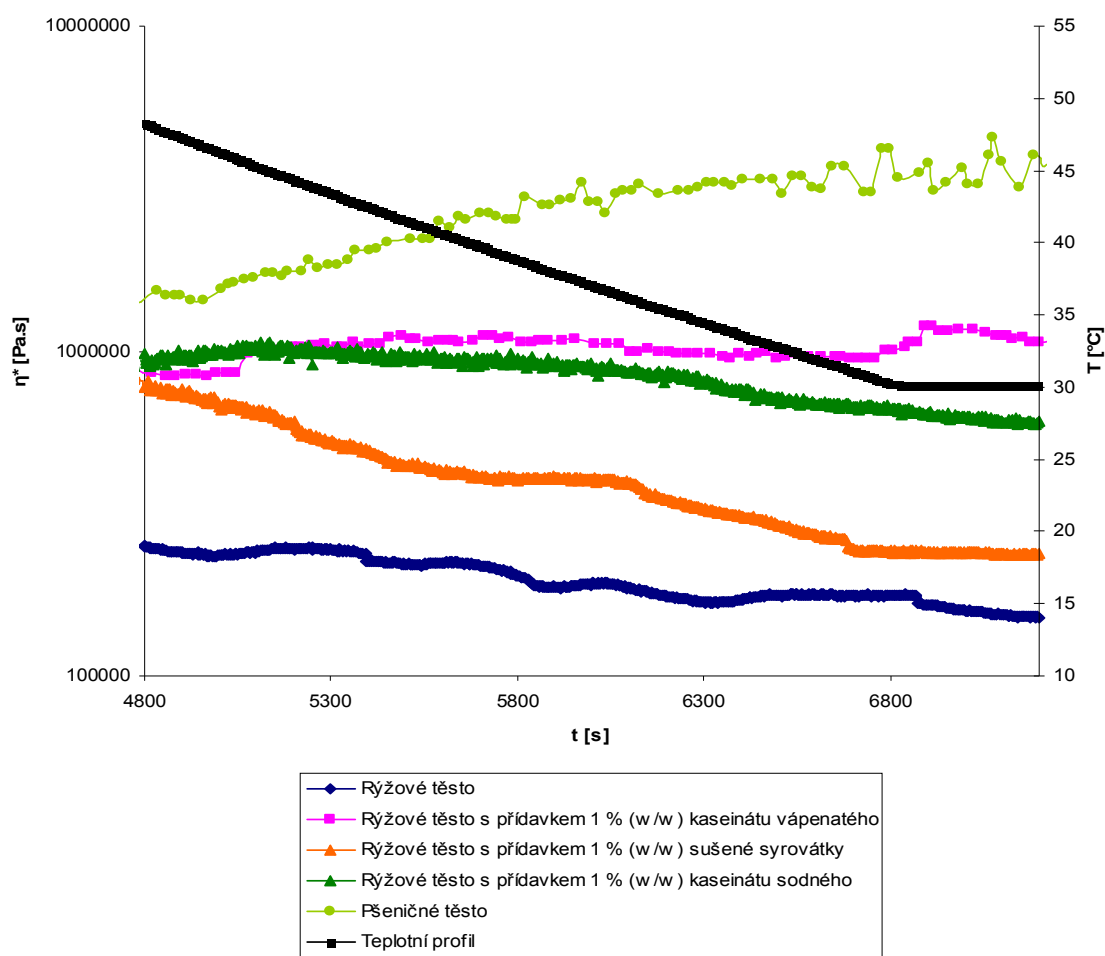


Obr. 14: Závislost komplexní viskozity  $\eta^*$  rýžového těsta bez a s přidavkem 1 % (w/w) kaseinátu sodného, kaseinátu vápenatého či sušené syrovátky a pšeničného těsta na čase při záhřevu a výdrži těst

Během chlazení docházelo střídavě k mírným nárůstům i poklesům komplexní viskozity  $\eta^*$ . V závěrečném chlazení pak komplexní viskozita všech bezlepkových těst klesala až k úplnému dochlazení (viz obr. 13 a 15). Z obr. 15 tedy vyplývá, že nejmenší komplexní viskozitu  $\eta^*$ , z testovaných těst, mělo samotné rýžové těsto, nejvyšší naopak rýžové těsto obohacené o 1 % (w/w) kaseinátu vápenatého (okolo 30 °C průměrně  $1,10 \cdot 10^6$  Pa). U rýžového těsta obohaceného o sušenou syrovátku byl vyzorován pokles komplexní viskozity  $\eta^*$  během chlazení. Okolo 30 °C, byl průměr komplexní viskozity  $\eta^*$   $2,38 \cdot 10^5$  Pa. Tato hodnota se blížila až téměř k úrovni komplexní viskozity  $\eta^*$  samotného rýžového těsta při teplotě 30 °C (průměrně  $1,59 \cdot 10^5$  Pa). Přídavek kaseinátu sodného udržoval komplexní viskozitu rýžového těsta na konci chlazení, okolo 30 °C, průměrně na hodnotě  $6,17 \cdot 10^5$  Pa, což bylo mezi komplexními viskozitami  $\eta^*$  rýžových těst obohacených o kaseinát vápenatý

nebo o sušenou syrovátku. Pro srovnání, komplexní viskozita  $\eta^*$  pšeničného těsta, na konci chlazení při 30 °C, byla průměrně  $3,91 \cdot 10^6$  Pa, což je asi o 1 řád vyšší hodnota než komplexní viskozita  $\eta^*$  samotného rýžového těsta za stejných podmínek. Trend průběhu komplexní viskozity  $\eta^*$  rýžových těst vlastně kopíroval trend průběhu elastického modulu těchto těst, ale s nižšími hodnotami komplexní viskozity  $\eta^*$ .

Ve studii Noisuwan a spol. (2008) [51] se uvádí, že přidavek ultrafiltrátu laktózy a minerálních látek a nebo samotné laktózy do suspenze normálního rýžového škrobu ovlivnil pastovité chování škrobu během záhřevu. Autor se, na základě vlastních výsledků a v porovnání s jinými literárními zdroji, domnívá, že laktóza neovlivnila mechanismus gelovatění škrobu, ale zvýšila teplotu gelovatění a viskozitu suspenze během záhřevu. Considine a spol. (2011) [52] pak uvádí, že zvýšení teploty gelovatění a viskozity suspenze se dělo díky tomu, že laktóza zpevnila škrobové granule. I když v této diplomové práci byla použita sušená syrovátka s vysokým obsahem laktózy (min. 69,8 %), tak její vliv na zvýšení viskozity během záhřevu (obr. 14) a na teplotu gelovatění (obr. 13 a 14) nebyl téměř patrný. Dle obr. 13 a 15 lze předpokládat, že za zlepšení komplexní viskozity mohou především syrovátkové bílkoviny, neboť Noisuwan a spol. (2008) [51] dokázal, že koncentrát syrovátkových bílkovin zvyšuje viskozitu suspenze normálního rýžového škrobu během záhřevu, pravděpodobně díky tvorbě bílkovinné sítě, což uvádí i Considine a spol. (2011) [52]. Dále prokázal, že zlepšení viskozity suspenze normálního rýžového škrobu záleží na typu použité mléčné bílkoviny a její koncentraci, a také, že viskozita waxy rýžového škrobu byla zlepšena mléčnými bílkovinami méně. Considine a spol. (2011) [52] uvádí, že při vysoké teplotě (asi 80-95 °C) docházelo k fázové separaci mezi škrobovými granulemi a mléčnými bílkovinami a také k oddělování amylozy a amylopektinu. Během chlazení byly bílkovinné agregáty chyceny do škrobové matrice. Toto možná byl důvod, proč elastický modul, komplexní viskozita  $\eta^*$  i tangens ztrátového úhlu  $\delta$  rýžových těst s kaseinátem sodným a kaseinátem vápenatým vykazovaly lepší výsledky než se sušenou syrovátkou či samotným rýžovým těstem v této diplomové práci.



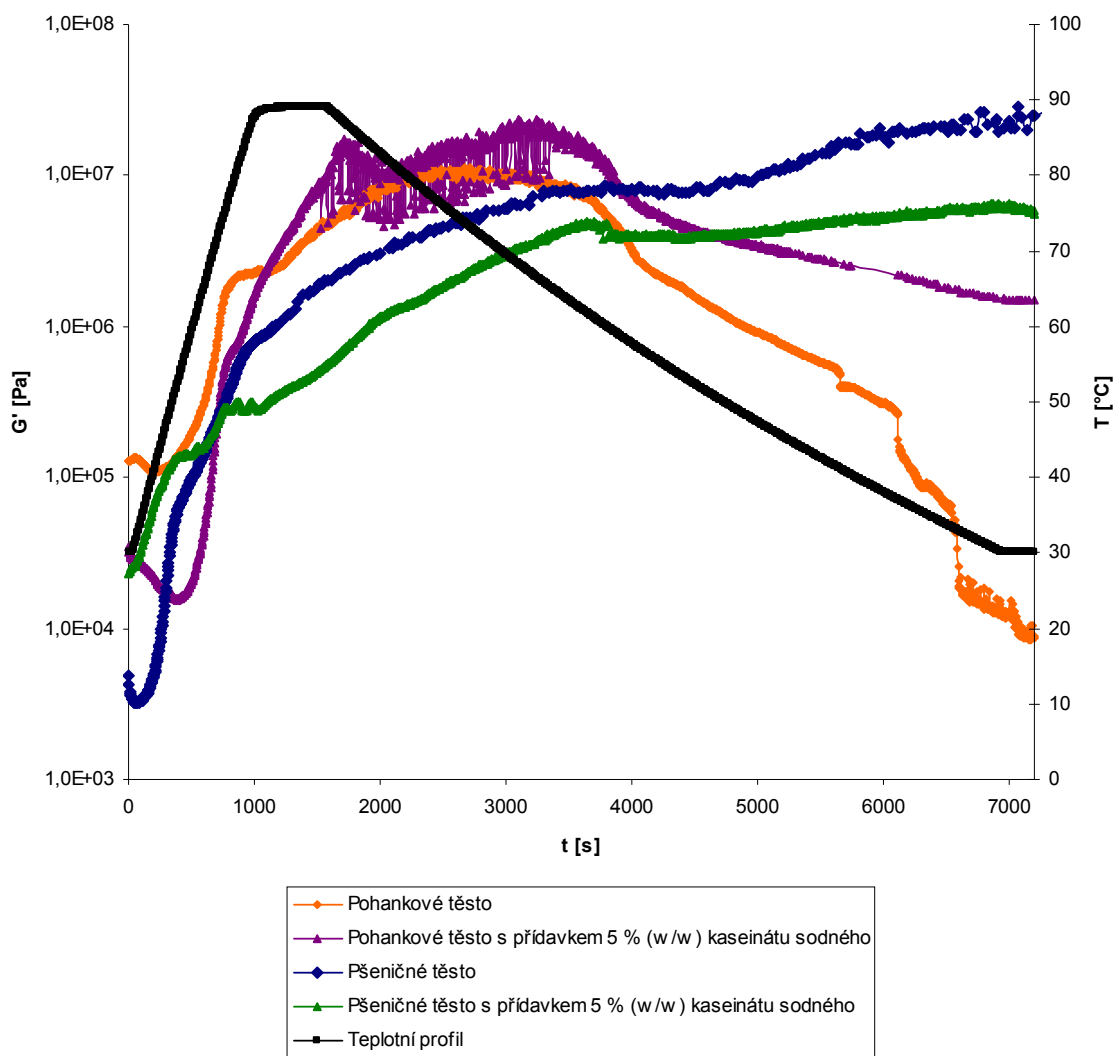
Obr. 15: Závislost komplexní viskozity  $\eta^*$  rýžového těsta bez a s přidavkem 1 % (w/w) kaseinátu sodného, kaseinátu vápenatého či sušené syrovátky a pšeničného těsta na čase v závěrečném chlazení těst

### 8.3.2 Vliv přidavku kaseinátu sodného v množství 5 % (w/w) na mouku

Během záhřevu, výdrže i chlazení byl elastický modul pohankového těsta s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného vyšší než elastický modul pohankového těsta (viz obr. 16). Přídavek kaseinátu sodného tedy zvýšil elasticitu pohankového těsta. Na obr. 16 si lze navíc povšimnout, že pohankové těsto dosáhlo rychleji vyššího elastického modulu v průběhu záhřevu, výdrže i určitou dobu chlazení než pšeničné těsto. Toto by souhlasilo s tvrzením Bentona [15], že pohankový škrob nabobtná rychleji než pšeničný z důvodu slabší vazebných sil uvnitř škrobových granulí pohanky.

Jak je z obr. 16 patrné pohankové těsto dosahovalo velmi nízkého elastického modulu, hodnotově kolem  $1,03 \cdot 10^4$  Pa při dochlazení k 30 °C. Pohankové těsto s přidavkem 5 % (w/w)

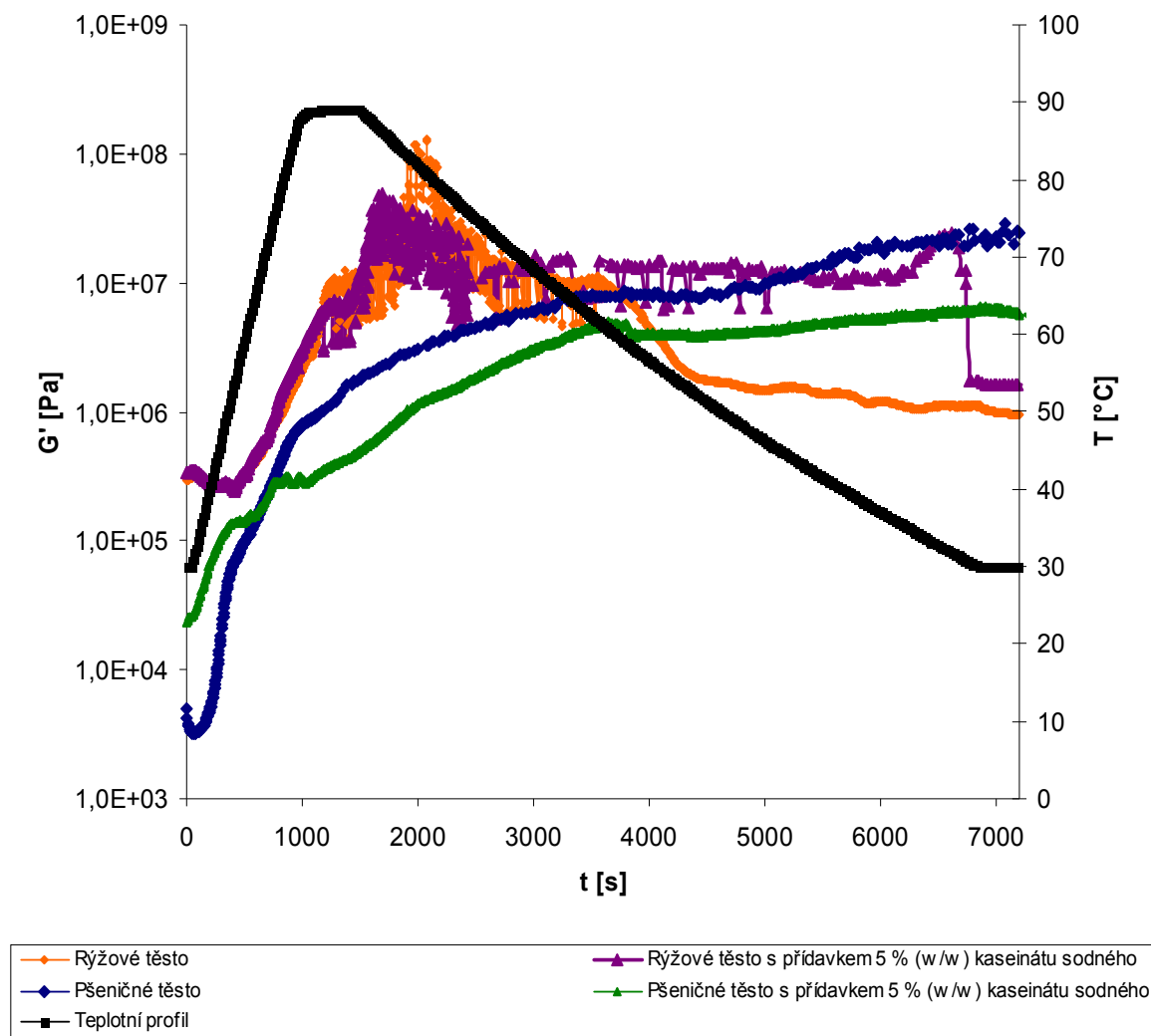
(w/w) kaseinátu sodného pak mělo, při stejné teplotě, elastický modul přibližně kolem hodnoty  $1,50 \cdot 10^6$  Pa což bylo zlepšení o 2 řády.



Obr. 16: Závislost elastického modulu pšeničného a pohankového těsta bez a s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C

Během záhřevu zlepšil kaseinát sodný elasticitu rýžového těsta. Nejvíce však bylo toto zlepšení patrné až při chlazení v rozmezí teplot 67,8–31,7 °C (viz obr. 17). Rýžové těsto mělo průměrnou hodnotu elastického modulu při dochlazení na 30 °C okolo  $9,97 \cdot 10^5$  Pa. Rýžové těsto obohacené o 5 % (w/w) kaseinátu sodného dosáhlo při stejné teplotě hodnoty elastického modulu cca  $1,61 \cdot 10^6$  Pa.

Na základě získaných výsledků je možno předpokládat, že 5 % (w/w) kaseinátu sodného zlepšil elasticitu těsta během pečení, ale po úplném dochlazení vzorku měl pouze malý vliv na zlepšení elasticity rýžového těsta.



Obr. 17: Závislost elastického modulu pšeničného a rýžového těsta bez a s přísávkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C

Kukuřičná mouka měla mezi testovanými moukami zvláštní postavení, neboť jako jediná, potřebovala k vytvoření optimální konzistence těsta více vody, než byla samotná hmotnost mouky. Toto množství vody však mouka neudržela po celou dobu experimentu a poměrně brzy začalo toto těsto při vyšších teplotách vysychat a okolo teploty 59 °C při chlazení začal elastický modul prudce klesat (viz obr. 18). Proměření kukuřičného těsta tedy bylo obtížné

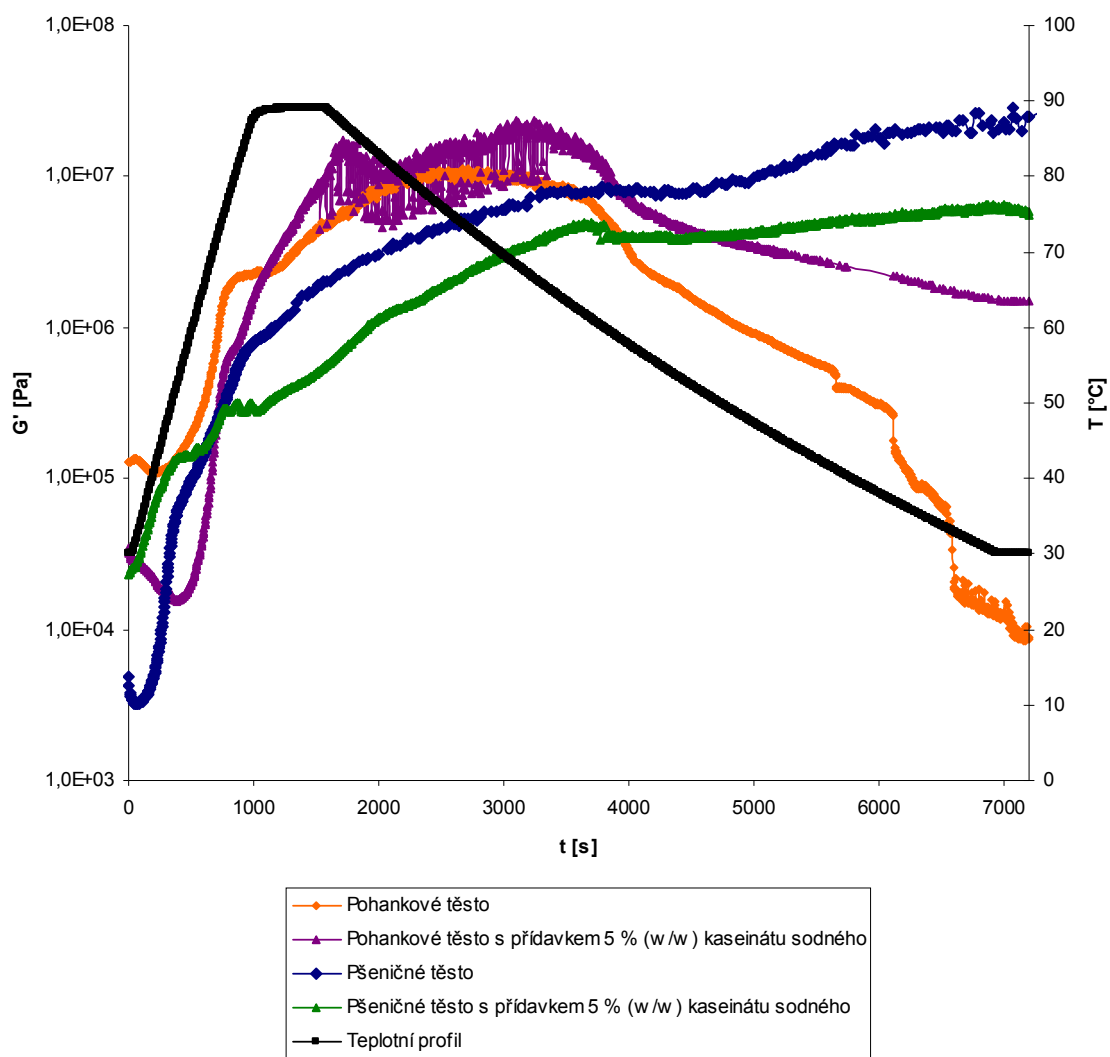
a experiment musel být zastaven dříve, než došlo k ochlazení ke 30 °C, z důvodu téměř kompletního vyschnutí vzorku. Z obr. 18 je patrné, že hodnota elastického modulu kukuřičného těsta bez přídavku hydrokoloidů byla velmi nízká. Ovšem kukuřičné těsto obohacené o kaseinát sodný v množství 5 % (w/w) na mouku bylo proměřeno v celém teplotním intervalu. Z obr. 18 je patrné, že elastický modul tohoto těsta byl v průběhu výdrže i delší dobu během chlazení nad hodnotami  $5,40 \cdot 10^6$  Pa. Kaseinát sodný tedy zlepšil elasticitu kukuřičného těsta v průběhu výdrže i určitou dobu chlazení. Ke konci chlazení se elastický modul tohoto těsta výrazněji zmenšil, přesto zůstal ještě poměrně vysoký v hodnotě cca  $0,92 \cdot 10^6$  Pa, což byla hodnota velice blízká hodnotě rýžového těsta  $9,97 \cdot 10^5$  Pa.

Porovnáním proměřených elastických modulů kukuřičného, pohankového a rýžového těsta obohaceného o 5 % (w/w) kaseinátu sodného byly nalezeny vždy dva výrazné vrcholy elastického modulu mezi nimiž byl výraznější pokles tohoto modulu. U kukuřičného těsta s přídavkem kaseinátu sodného byl první vrchol pozorován okolo teploty 88,5 °C a druhý vrchol okolo teplot 77-74 °C (obr. 18). Pohankové těsto s přídavkem kaseinátu sodného mělo první vrchol při teplotě 86,5 °C a druhý v rozmezí teplot 70,5-64,5 °C (obr. 16). Rýžové těsto dosáhlo prvního vrcholu při 86,2 °C a druhého vrcholu okolo teploty 31,7 °C (obr. 17).

U pohankového těsta obohaceného o kaseinát sodný (obr. 16) a rýžového těsta obohaceného o kaseinát sodný (obr. 17) následoval po druhém vrcholu elastického modulu strmý pokles tohoto modulu. U rýžového těsta obohaceného o kaseinát sodný to byl pokles z  $2,40 \cdot 10^7$  Pa na  $1,66 \cdot 10^6$  Pa a poté pozvolný pokles až na hodnotu  $1,61 \cdot 10^6$  Pa. V případě pohankového těsta obohaceného o kaseinát sodný se jednalo o pokles z hodnoty  $2,37 \cdot 10^7$  Pa na hodnotu  $5,72 \cdot 10^6$  Pa a poté pozvolný pokles až na průměrnou hodnotu  $1,50 \cdot 10^6$  Pa při dochlazení.

U kukuřičného těsta (obr. 18) byl tento pokles z hodnoty  $7,88 \cdot 10^6$  Pa na hodnotu  $5,96 \cdot 10^6$  Pa na určitou dobu zastaven a elastický modul byl stabilizován až do okamžiku dalšího poklesu na hodnotu  $2,18 \cdot 10^6$  Pa, následovanou plynulým poklesem až na konečnou hodnotu  $0,92 \cdot 10^6$  Pa při 30 °C.



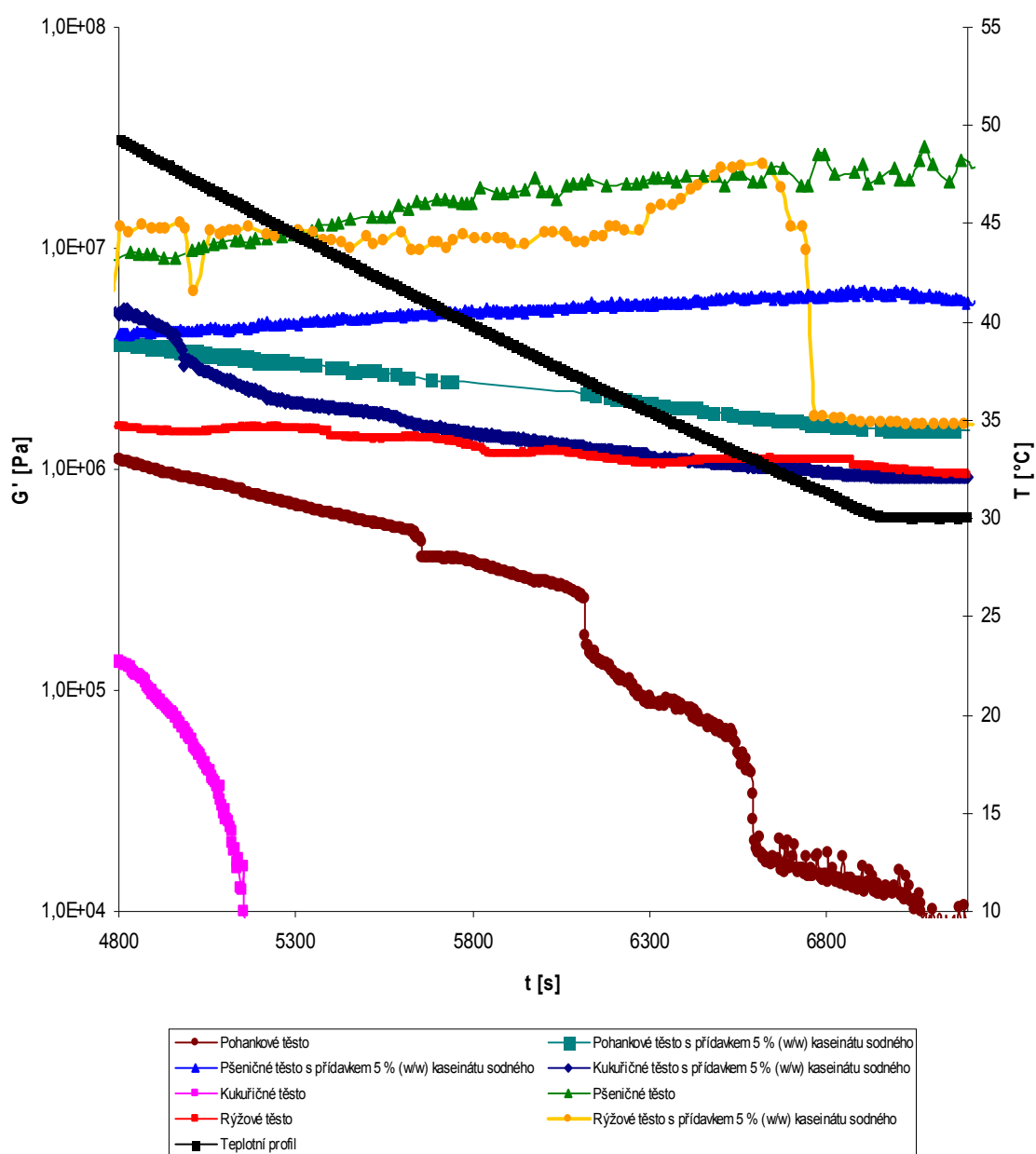


Obr. 18: Závislost elastického modulu pšeničného a kukuřičného těsta bez a s přísávkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C

Na základě získaných výsledků a z porovnání testovaných bezlepkových těst s a bez přísávkem kaseinátu sodného, lze předpokládat, že kaseinát sodný v množství 5 % (w/w) pozitivně ovlivnil viskoelastické vlastnosti zkoumaných bezlepkových těst, což by mohlo souviset s některými vlastnostmi, které uvádí Corredig [38]. Jedná se především o výbornou rozpustnost, tepelnou stabilitu a vaznost vody (viz tabulka 1). Patrně nejvýrazněji se tento účinek projevil na kukuřičném těstu. Z obr. 18 lze vyčíst, že elastický modul tohoto těsta obohaceného o kaseinát sodný byl mnohem vyšší než u samotného kukuřičného těsta. Na základě proměřených dat je možno předpokládat, že přísávek 5 % (w/w) kaseinátu sodného významně zlepšil mechanické vlastnosti kukuřičného těsta za podmínek metody. Taktéž

těsto z pohankové mouky obohacené o kaseinát sodný vykazalo významně lepší elastické vlastnosti než samotné pohankové těsto.

Kaseinát sodný v množství 5 % (w/w) na mouku měl zlepšující účinky na pohankové, kukuřičné i rýžové těsto. Všechna tato těsta měla během záhřevu, výdrže i určitou dobu ochlazení vyšší elastický modul (obr. 16; 17 a 18), komplexní viskozitu  $\eta^*$  (obr. 20) a nižší tangens ztrátového úhlu  $\delta$  (obr. 22 a 23) než samotné pšeničné těsto. Tyto parametry se ale u pohankového, kukuřičného i rýžového těsta obohaceného o kaseinát sodný zhoršily v závěrečném úseku ochlazení jak dokládá obr. 19; 21 a 24. Příčina těchto změn byla pravděpodobně v interakci kaseinátu sodného se škrobem mouk, ale též i kvalitou těchto škrobů. Kett a spol. (2013) [48] zjistil, že přídavek  $\alpha$ -kaseinu a  $\beta$ -kaseinu k suspenzi waxy kukuřičného škrobu ve vodě zvýšil pevnost škrobových zrn čímž omezil jejich bobtnání a oddálil gelovatění škrobu. Dále zjistil, že mechanismus tohoto jevu spočíval v adsorpci  $\beta$ -kaseinu na povrch škrobových granulí a v absorpci  $\alpha$ -kaseinu do škrobových granulí. Podobný experiment s podobnými výsledky se suspenzí rýžového škrobu provedl i Noisuwan a spol. (2011) [53]. Na druhou stranu kaseiny zvýšily viskozitu suspenze během mazovatění škrobu, což je v souladu s výsledky uvedenými v této diplomové práci. Podobných výsledků dosáhl i Noisuwan a spol. (2008) [51].



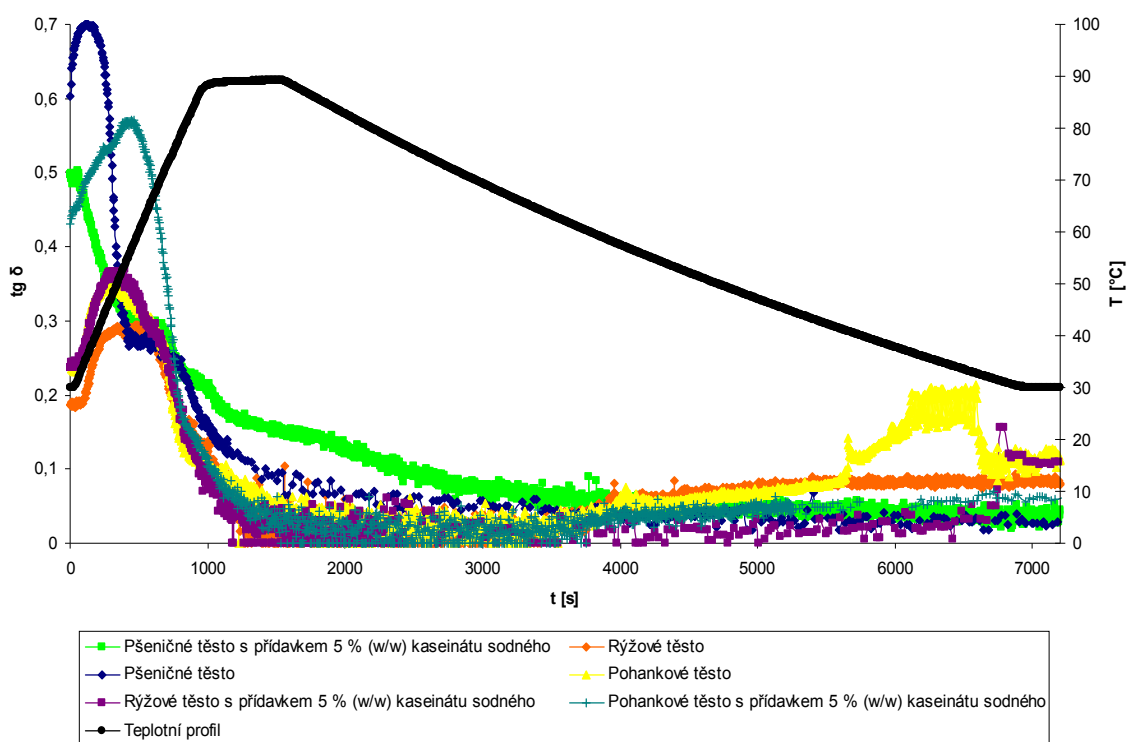
Obr. 19: Závislost elastického modulu pšeničného, pohankového a kukuřičného těsta bez a s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného na čase v závěrečném chlazení těst

Celkem zajímavým se ukázal jev, kdy přidavek 5 % (w/w) kaseinátu sodného na mouku zhoršil viskoelastické vlastnosti pšeničného těsta. Zejména z obr. 16; 17 a 18 je patrné, že elastický modul pšeničného těsta obohaceného o kaseinát sodný byl menší oproti elastickému modulu pšeničného těsta a s klesající teplotou při chlazení se tento rozdíl stával výraznějším. V případě pšeničného těsta se elastický modul při dochlazení k 30 °C pohyboval průměrně kolem  $2,46 \cdot 10^7$  Pa, přidavek kaseinátu sodného v 5 % (w/w) způsobil zhoršení

převážně elastického modulu pšeničného těsta na cca  $5,56 \cdot 10^6$  Pa. Stejně markantní rozdíl byl pozorován i v komplexních viskozitách těchto těst (průměrně  $3,91 \cdot 10^6$  Pa·s pšeničné těsto a průměrně  $0,89 \cdot 10^6$  Pa·s pšeničné těsto s přísadkou kaseinátu sodného). Naopak v tangens ztrátového úhlu  $\delta$  se obě těsta lišila, na konci ochlazování, jen velmi málo.

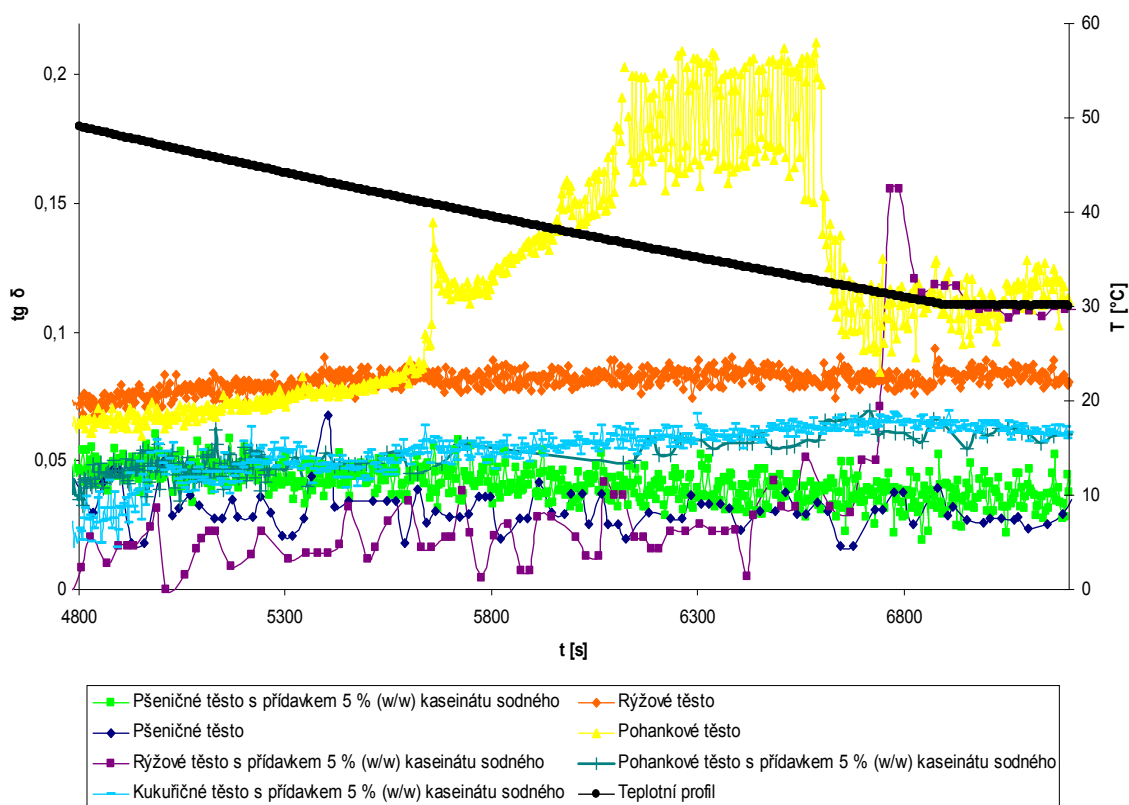
Na základě výsledků lze předpokládat, že kaseinát sodný v přísadce 5 % (w/w) ovlivňuje viskoelastické vlastnosti pšeničného těsta spíše negativně. Ve shodě se získanými výsledky by mohlo být pravděpodobné, že se kaseinát sodný adsorboval nebo absorboval do škrobových granulí, a tím omezil průnik vody do těchto granulí a jejich následné bobtnání. Tomuto by odpovídal i hodnotově nižší průběh elastického modulu (viz obr. 16) a komplexní viskozity  $\eta^*$  (viz obr. 21) pšeničného těsta s 5 % (w/w) kaseinátu sodného ve srovnání s pšeničným těstem. Zde by mohla být souvislost se studií Noisuwan a spol. (2011) [53], který prokázal, že kaseinát sodný se adsorbuje na škrobové granule v suspenzi rýžového škrobu ve vodě, čímž nepřímo naznačil možný mechanismus vlivu kaseinátu sodného na změny chování škrobu během bobtnání, mazovatění či gelovatění škrobu. K podobným výsledkům došel i Kett a spol. (2013) [48] při studiu adsorpce a absorpce  $\beta$ -kaseinu a  $\alpha$ -kaseinu na waxy kukuřičný škrob v suspenzi s vodou. Pozvolný nárůst elastického modulu i komplexní viskozity  $\eta^*$  pšeničného těsta obohaceného o kaseinát sodný, oproti prudkému nárůstu pšeničného těsta, ve fázi záhřevu, by pravděpodobně naznačoval, že se pšeničný škrob adsorboval nebo absorboval kaseinát sodný, který zpomalil jeho bobtnání (viz obr. 16).

Kett a spol. (2013) [48] uvádí, že pomalu bobtnající škroby obsahují větší množství bílkovin a lipidů na povrchu škrobových granulí, přičemž Noisuwan a spol. (2011) [53] prokázal, že se na takové škroby lépe a ve větší míře adsorbují mléčné bílkoviny, které výrazněji omezují průnik vody do škrobových zrn, a tím zpomalují proces gelovatění škrobu.



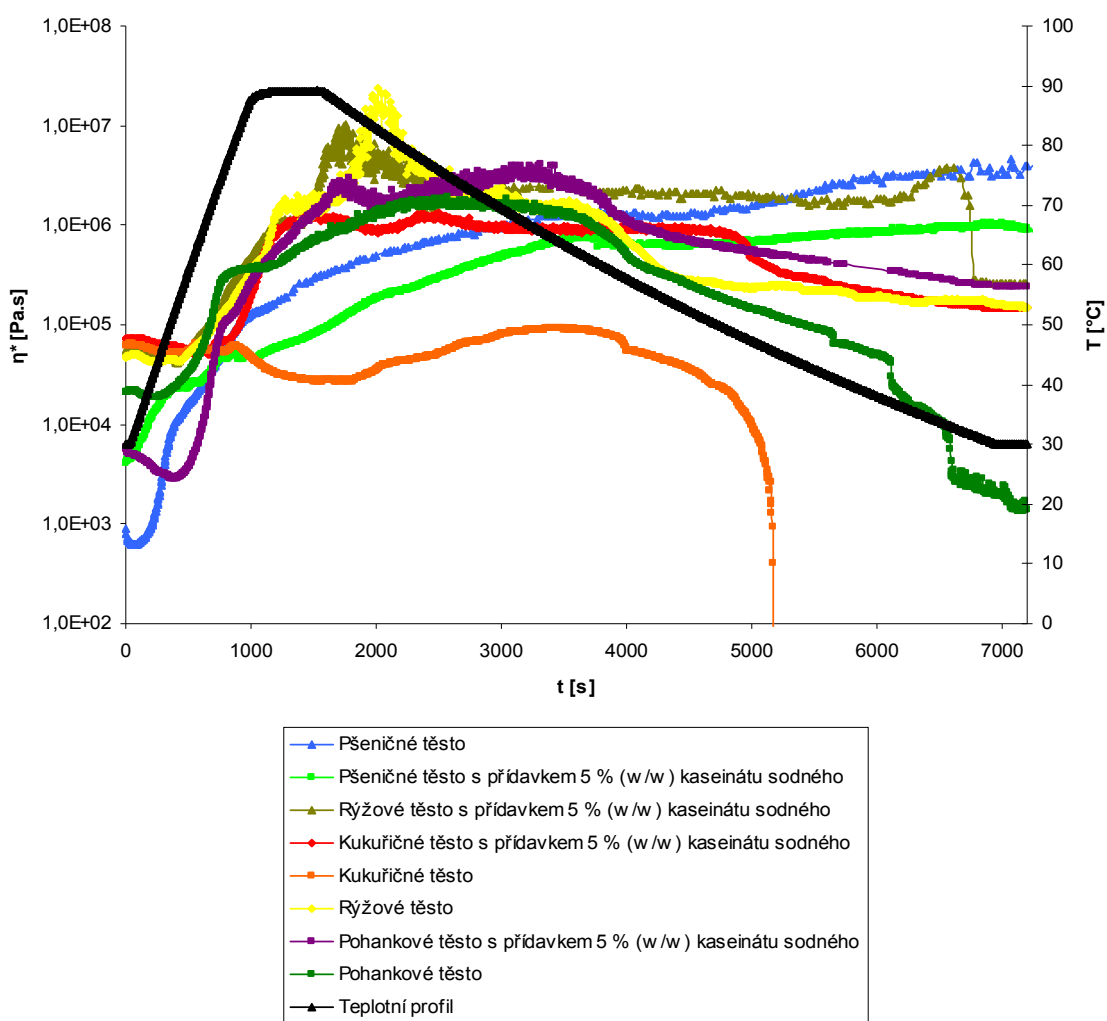
Obr. 20: Porovnání tangens ztrátových úhlů  $\delta$  rýžového, pohankového, kukuřičného a pšeničného těsta a těchto těst s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného v gradientu teploty 30–90–30 °C a při konst. frekvenci 1 Hz

Tangens ztrátového úhlu  $\delta$  pšeničného těsta a pšeničného těsta s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného byl při dochlazení, velmi nízký, což znamená, že v těchto těstech převládá mnohem více elastický modul nad ztrátovým modulem. U těst s přidavkem mléčných bílkovin a syrovátky, stejně jako u těst bez těchto recepturních složek byl pozorován podobný trend průběhu tangens ztrátového úhlu  $\delta$  v závislosti na teplotě a čase, jak je patrné z obr. 20. Tento trend byl následující: u těst byl pozorován nejprve nárůst tangens ztrátového úhlu  $\delta$  na začátku měření, což znamenalo, že rychleji rostl ztrátový modul oproti elastickému modulu. U všech těst následně došlo k prudkému poklesu tangens ztrátového úhlu  $\delta$  v průběhu výdrže, takže naopak výrazněji rostl elastický modul. S výjimkou kukuřičného těsta se tangens ztrátového úhlu  $\delta$  ostatních těst při chlazení nadále pomalu snižoval, případně určitou dobu stagnoval.



Obr. 21: Porovnání tangens ztrátového úhlu  $\delta$  rýžového, pohankového, kukuřičného a pšeničného těsta a těchto těst s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného v závěrečném chlazení těst a při konst. frekvenci 1 Hz

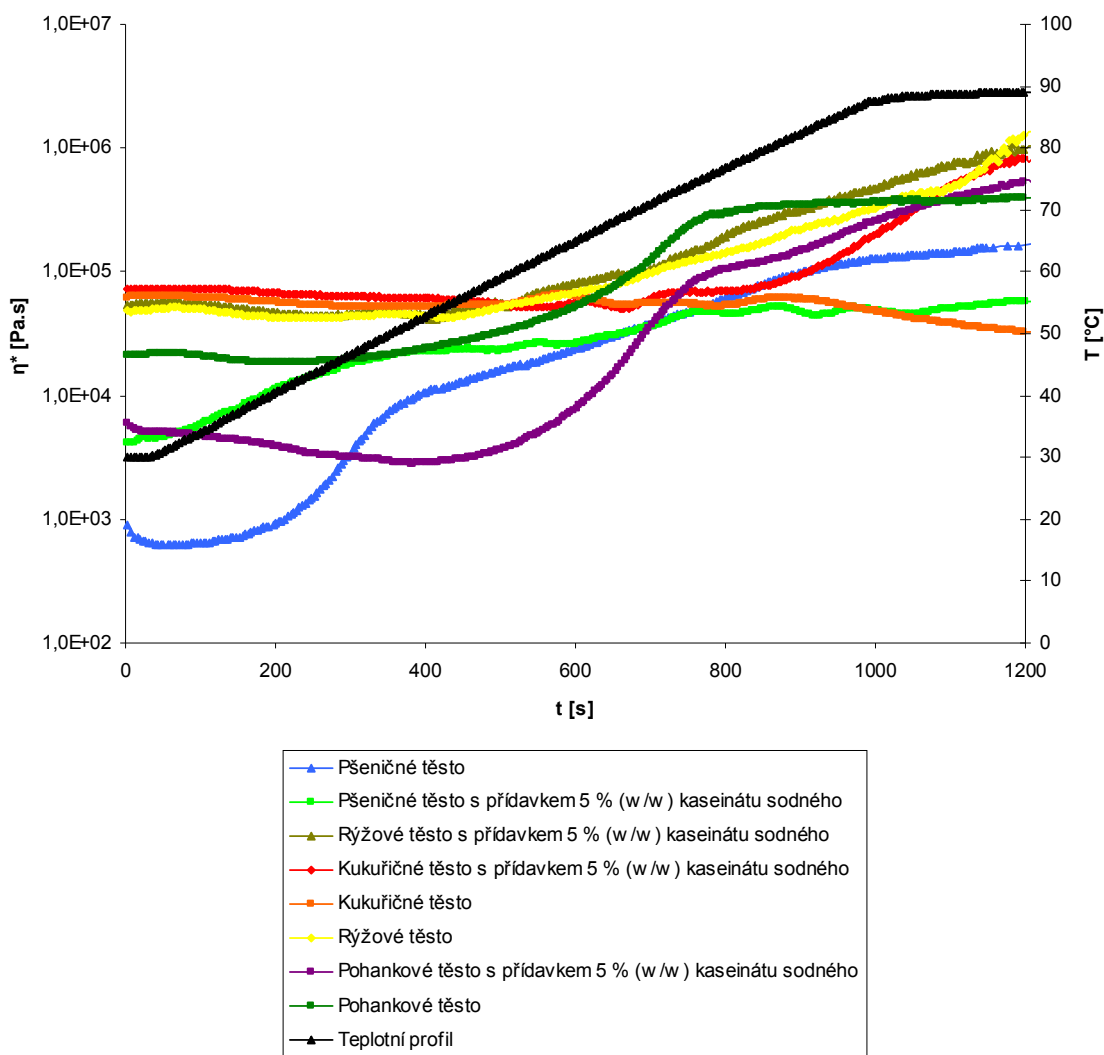
V případě bezlepkových těst se tangens ztrátového úhlu  $\delta$  v určité fázi ochlazování těst začal opět zvyšovat, což ilustruje obr. 21. Při ochlazování ke 30 °C byly zjištěny tyto průměrné hodnoty tangens ztrátového úhlu  $\delta$ : pšeničné těsto 0,029; pšeničné těsto s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného 0,041; pohankové těsto 0,115; pohankové těsto s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného 0,061; rýžové těsto 0,084; rýžové těsto s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného 0,111; kukuřičné těsto s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného 0,063. Poněkud výjimečný průběh tangens ztrátového úhlu  $\delta$  byl pozorován u samotného kukuřičného těsta, protože při chlazení tento parametr neustále rostl, což bylo důsledkem velmi rychlého vysychání těsta. Čím nižší hodnota tangens ztrátového úhlu  $\delta$ , tím elastičtější těsto, proto z výše uvedených výsledků plyne, že nejelastičtějším těstem bylo pšeničné, nejméně elastickým pohankové těsto.



Obr. 22: Závislost komplexní viskozity  $\eta^*$  pšeničného, pohankového, kukuřičného a rýžového těsta bez a s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C

Průběh komplexní viskozity  $\eta^*$  všech zkoumaných těst se tvarem křivky velmi podobal průběhu elastických modulů těchto těst, ale hodnotově se značně lišil. U pšeničného těsta s i bez přidavku 5 % (w/w) kaseinátu sodného se komplexní viskozita  $\eta^*$  postupně zvyšovala s časem během záhřevu, výdrže i po celou dobu chlazení, jedinou výjimkou bylo rozmezí 60–50 °C při chlazení kdy komplexní viskozita  $\eta^*$  pšeničného těsta stagnovala. Coupeland a spol. (2009) [54] uvádí, že u suspenze typického rýžového škrobu nejprve došlo k prudkému nárůstu viskozity při určité teplotě, po dosažení maxima viskozita poklesla do určitého minima a během chlazení dorůstala až do konečné hodnoty při dochlazení. První dvě fáze (nárůst a pokles viskozity) jsou podobné získaným výsledkům, jak je patrné z obr.

13 a 22. Ve třetí fázi se, ale studie [54] s diplomovou prací rozchází, neboť viskozita zkoumaných těst (s výjimkou pšeničného) v konečné fázi klesala. Tento rozpor mohl být způsobený povahou vzorku mouky, kdy těsto obsahovalo mimo škrob ještě nezanedbatelné množství bílkovin, popř. jiných chemických sloučenin, či volbou jiného druhu přístroje. Roli mohlo hrát též omezené množství vody v těstě na rozdíl od suspenze, což uvádí i Liu a spol. (2009) [49].

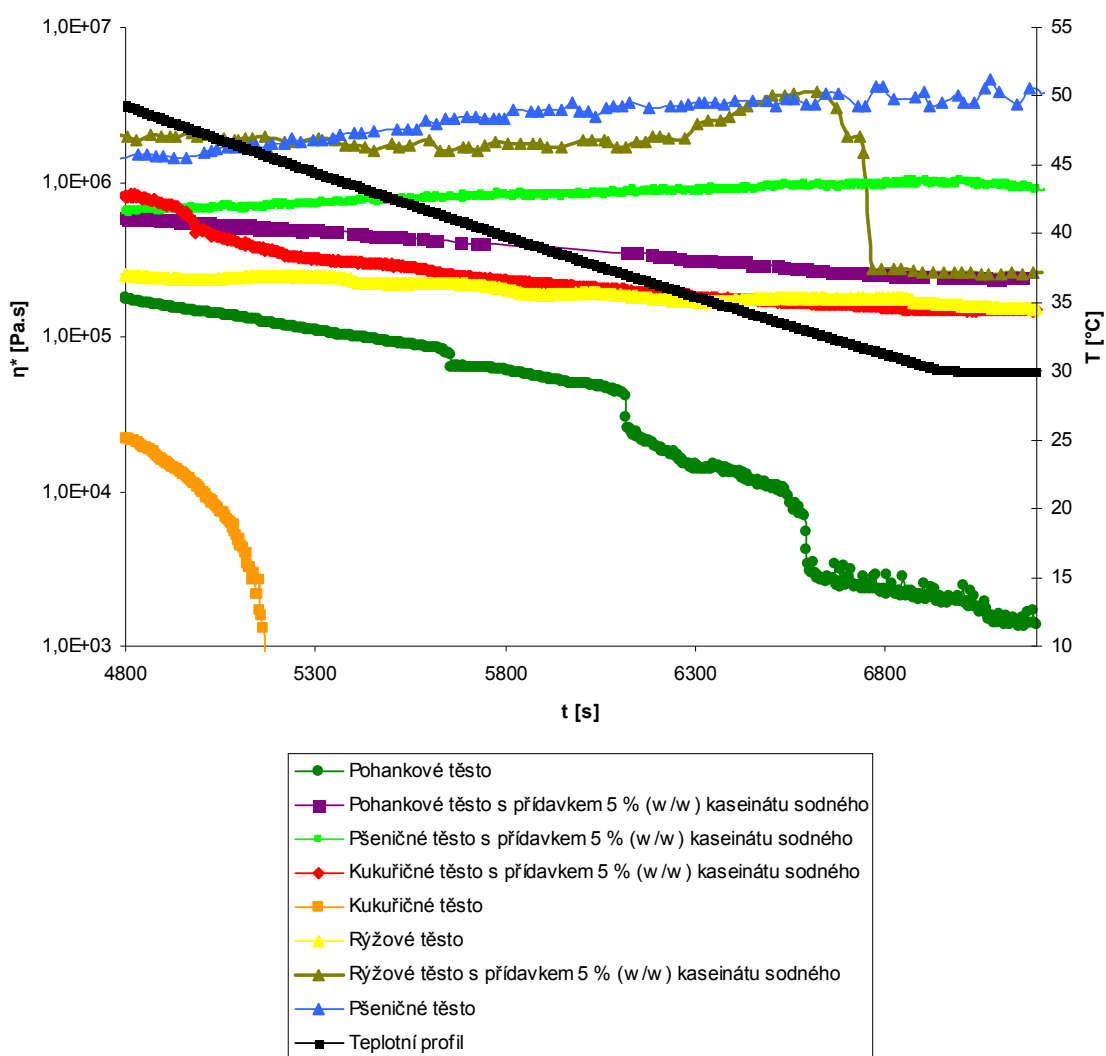


Obr. 23: Závislost komplexní viskozity  $\eta^*$  pšeničného, pohankového, kukuřičného a rýžového těsta bez a s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného na čase při záhřevu a výdrži těst

Teplota, ve které se začala zvyšovat komplexní viskozita  $\eta^*$  těst, se mezi jednotlivými těsty lišila. V případě pšeničného těsta a pšeničného těsta obohaceného o 5 % (w/w) kaseinátu sodného se jednalo o teplotu kolem 60 °C. U pohankového těsta se jednalo o teplotu kolem



54 °C, ovšem v případě, že bylo do pohankového těsta přidáno 5 % (w/w) kaseinátu sodného, tak se tato teplota zvýšila na 62 °C. V případě rýžového těsta i rýžového těsta obohaceného o 5 % (w/w) kaseinátu sodného se jednalo o teplotu kolem 58 °C. U kukuřičného těsta s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného nastalo zvyšování komplexní viskozity  $\eta^*$  až okolo 83 °C, ale u kukuřičného těsta se komplexní viskozita  $\eta^*$  začala kolem teploty 83 °C naopak snižovat. Za zvýšením komplexní viskozity  $\eta^*$  těst při určitých teplotách lze pravděpodobně najít větší poškození struktury škrobových zrn předchozím bobtnáním, které v důsledku začaly absorbovat větší množství vody a tím rychleji zvětšovat svůj objem. Toto je v souladu s Coupeland a spol. (2009) [54], který uvádí, že při určité teplotě došlo ve škrobových granulích k rozbití amorfni a posléze krystalické struktury, což umožnilo rychlejší průnik vody do zrna a tím i bobtnání. V této fázi docházelo, podle autora, i k vyplavování amylozy ze zrna a prudkému nárůstu viskozity, což koresponduje s výsledky zachycenými na obr. 14 a 23. Vzhledem k tomu, že se vzorky těst neskládají pouze ze škrobu, ale i jiných složek, tak pravděpodobně tyto složky, zejména bílkoviny a jejich denaturační teplota, pravděpodobně ovlivnily průběh komplexní viskozity  $\eta^*$  i ostatních viskoelastických vlastností. Noisuwan a spol. (2008) [51] zjistil, že přidavek kaseinátu sodného k suspenzi normálního rýžového škrobu zvýšil teplotu mazovatění, při které došlo k prudkému snížení viskozity v důsledku praskání silně nabobtnalých škrobových zrn a masivnímu uvolňování amylozy. Zatímco viskozita do bodu mazovatění rýžového škrobu obohaceného o různé koncentrace kaseinátu sodného byla, podle této studie, vždy nižší než viskozita samotného rýžového škrobu, tak u konečné viskozity, při 95 °C, to bylo naopak. Toto se neshoduje s výsledky prezentovanými v této diplomové práci. Z obr. 14 je patrné, že komplexní viskozita  $\eta^*$  rýžového těsta byla nižší než komplexní viskozita  $\eta^*$  rýžového těsta s přidavkem 1 % (w/w) kaseinátu sodného. Z obr. 23 vyplývá, že komplexní viskozita  $\eta^*$  rýžového těsta byla do určité teploty prakticky shodná s rýžovým těstem obohaceným o 5 % (w/w) kaseinátu sodného. Naopak ve shodě se studií [51] došlo k poklesu komplexní viskozity  $\eta^*$  rýžového těsta obohaceného o 1 % (w/w) kaseinátu sodného při výdrži při 90 °C a ke stagnaci komplexní viskozity  $\eta^*$  rýžového těsta a rýžového těsta obohaceného o 5 % (w/w) kaseinátu sodného při stejné teplotě.



Obr. 24: Závislost komplexní viskozity  $\eta^*$  pšeničného, pohankového, kukuřičného a rýžového těsta bez a s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného na čase v závěrečném chlazení těst

Nejvyšší komplexní viskozitu  $\eta^*$  při dochlazení ke 30 °C mělo pšeničné těsto ( $3,91 \cdot 10^6$  Pa). Nejnižší komplexní viskozita  $\eta^*$  byla zjištěna u kukuřičného těsta. Pohankové těsto mělo při dochlazení na 30 °C komplexní viskozitu v hodnotě průměrně  $0,17 \cdot 10^4$  Pa, rýžové těsto v hodnotě  $1,59 \cdot 10^5$  Pa. Přídavek 5 % (w/w) kaseinátu sodného významně zvětšil komplexní viskozitu  $\eta^*$ , při dochlazení na 30 °C, kukuřičného ( $1,48 \cdot 10^5$  Pa) a pohankového těsta ( $2,39 \cdot 10^5$  Pa). K mírnému zlepšení došlo i u rýžového těsta ( $2,63 \cdot 10^5$  Pa). Naopak u pšeničného těsta pravděpodobně vyvolala přítomnost kaseinátu sodného zhoršení viskoelastických

vlastností, v tomto případě snížení komplexní viskozity  $\eta^*$  při dochlazení na 30 °C ( $2,20 \cdot 10^5$  Pa).

Zlepšení komplexní viskozity  $\eta^*$  bezlepkových těst při dochlazení mělo pravděpodobně původ už při záhřevu těst. Podle Considine a spol. (2011) [52] při určité teplotě záhřevu docházelo k praskání škrobových zrn a oddělováním amylozy od amylopektinu, což spouštělo fázovou separaci škrobu a mléčných bílkovin mechanismem flokulace. Při chlazení byly agregáty mléčných bílkovin zachyceny v škrobové matici.

## ZÁVĚR

Pšeničné a žitné těsto mělo při teplotě  $30 \pm 0,1$  °C nižší modul elasticity než zkoumaná bezlepková těsta. Taktéž ztrátový modul byl pro pšeničné a žitné těsto nižší než pro bezlepková těsta, i když si byla hodnotově bližší než v případě elastického modulu. Tangens ztrátového úhlu  $\delta$  všech testovaných těst se pohyboval v rozmezí 0,1 až 1, což odpovídalo chování měkkého gelu. Se snižující se frekvencí významně rostla komplexní viskozita  $\eta^*$  všech zkoumaných těst.

Během záhřevu a chlazení zlepšily kaseinát sodný, kaseinát vápenatý i sušená syrovátka viskoelastické vlastnosti rýžového těsta. Celkově nejlepší vliv na zlepšení viskoelastických vlastností, zejména elasticitu a také pevnost gelu rýžového těsta při dochlazení, měl kaseinát vápenatý v množství 1 % (w/w) na mouku. Pozitivní vliv na viskoelastické vlastnosti rýžového těsta, při dochlazení, se projevil i při přidavku 1 % (w/w) kaseinátu sodného. Nejmenší zlepšení bylo pozorováno u přidavek 1 % (w/w) sušené syrovátky do rýžového těsta. Jednotlivé mléčné bílkoviny se na zlepšení zkoumaných těst podílely různými mechanismy.

Kaseinát sodný v množství 5 % (w/w) na mouku významně zlepšil viskoelastické vlastnosti kukuřičného, pohankového a rýžového těsta během záhřevu, výdrže i určitou dobu chlazení. Během ochlazení bylo toto zlepšení nejvýraznější u kukuřičného a pohankového těsta, což se promítlo zejména na elasticitě, viskozitě a také pevnosti gelu. Určité zlepšení bylo pozorováno i v případě rýžového těsta, nicméně nebylo tak výrazné, jako v případě dvou výše jmenovaných mouk. Opačný efekt měl kaseinát sodný na pšeničné těsto, jehož viskoelastické vlastnosti (především pak elastický modul a komplexní viskozitu  $\eta^*$ ) významně zhoršil během záhřevu, výdrže i chlazení.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MATZ, Samuel A. *The chemistry and technology of cereals as food and feed*. 2nd ed. McAllen, TX, USA: Pan-Tech International [distributor], c1991. Chap. 9, Important non-cereal grains. ISBN 0442308302.
- [2] ARENDT, E., K. and M. M. MOORE. Gluten-Free Cereal-Based Products. In: HUI, Y., H., Harold CORKE, Ingrid De LEYN, Wai-Kit NIP and Nanna A. CROSS. *Bakery Products: Science and Technology*. Hoboken: John Wiley, 2008, s. 474, 477, 478. ISBN 9780470276327.
- [3] KOPÁČOVÁ, Olga. Cereálie používané pro lidskou výživu. In: KOPÁČOVÁ, Olga. *Trendy ve zpracování cereálií s přihlédnutím zejména k celozrnným výrobkům*. [online]. Praha: ÚZPI, 2007. [cit. 2013-11-02]. ISBN 978-80-7271-184-0. Dostupné také z: [http://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/File/Kopov\\_Cerealie%20web.pdf](http://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/File/Kopov_Cerealie%20web.pdf)
- [4] SCHOENLECHNER, Regine, Susanne SIEBENHANDL and Emmerich BERGHOFER. Pseudocereals. In: BELLO, Fabio, Dal and Elke K. ARENDT. *Gluten-free cereal products and beverages*. Amsterdam: Elsevier/Academic Press, 2011, s. 150 - 153, 157 - 159, 161. ISBN 9780080557762.
- [5] BERGHOFER, Emerich and Regine SCHOENLECHNER. Grain Amaranth. In: BENTON, Peter, S. and John R. N. TAYLOR. *Pseudocereals and less common cereals: grain properties and utilization potential*. Berlin: Springer, 2010, s. 226 - 234. ISBN 9783642076916.
- [6] MASON, William, R. Starch Use in Foods. V. Starch Sources. In: BEMILLER, James, N. (Ed.). *Starch chemistry and technology*. 3rd ed. London: Academic, 2009, s. 771, 773. ISBN 9780080926551.
- [7] BEWLEY, J, Michael BLACK and Peter HALMER (Ed.). *The encyclopedia of seeds: science, technology and uses*. Cambridge, MA: CABI, c2006. Chickpea. ISBN 9780851997230.
- [8] SINGH, U., P. C. WILLIAMS and D. S. PETERSON. Processing and grain quality to meet market demands. In: KNIGHT, R. *Linking research and marketing opportunities for pulses in the 21st century: proceedings of the Third Internatio-*

- nal Food Legumes Research Conference*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000, s. 162, 163. Current plant science and biotechnology in agriculture, 34. ISBN 0792355652.
- [9] COMAI, Stefano, Antonella BERTAZZO, Carlo V.L. COSTA, and Graziella ALLEGRI. Quinoa: Protein and Nonprotein Tryptophan in Comparison with Other Cereal and Legume Flours and Bread. In: PREEDY, Victor R. and Ronald Ross WATSON (Ed.). *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention*. Burlington: Elsevier Science, 2011, s. 120. ISBN 9780123808875.
- [10] TAYLOR, John, R., N. and Mary L. PARKER. Quinoa. In: BENTON, Peter, S. and John R. N. TAYLOR. *Pseudocereals and less common cereals: grain properties and utilization potential*. Berlin: Springer, 2010, s. 100-109. ISBN 9783642076916.
- [11] SHOBER, T., J. and S.R. BEAN. Sorghum and maize. In: BELLO, Fabio, Dal and Elke K. ARENDT. *Gluten-free cereal products and beverages*. Amsterdam: Elsevier/Academic Press, 2011, s. 106, 107. ISBN 9780080557762.
- [12] KENT, N. a A. EVERS. *Technology of cereals: an introduction for students of food science and agriculture*. 4th ed. New York: Pergamon, c1994, s. 57, 62. Chap. 3, Chemical Components. ISBN 0080408346x.
- [13] TAKAHAMA, Umeo, Mariko TANAKA, and Sachiko HIROTA. Buckwheat Flour and Bread. In: PREEDY, Victor R. and Ronald Ross WATSON (Ed.). *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention*. Burlington: Elsevier Science, 2011, s. 141 -143. ISBN 9780123808875.
- [14] CAMPBELL, Clayton G. *Buckwheat, Fagopyrum esculentum Moench*. Rome, Italy: IPGRI. Chap. 4, Properties of species. ISBN 9789290433453.
- [15] BIACS, Péter, Erzsébet AUBRECHT, Irén LÉDER and József LAJOS. Buckwheat. In: BENTON, Peter, S. and John R. N. TAYLOR. *Pseudocereals and less common cereals: grain properties and utilization potential*. Berlin: Springer, 2010, s. 130-135. ISBN 9783642076916.

- [16] TAYLOR, John, R., N., and M. Naushad EMMAMBUX. Gluten-free foods and beverages from millets. In: BELLO, Fabio, Dal and Elke K. ARENDT. *Gluten-free cereal products and beverages*. Amsterdam: Elsevier/Academic Press, 2011, s. 119, 120, 125, 126. ISBN 9780080557762.
- [17] ROSELL, Cristina, M. and Cristina MARCO. Rice. In: BELLO, Fabio, Dal and Elke K. ARENDT. *Gluten-free cereal products and beverages*. Amsterdam: Elsevier/Academic Press, 2011, s. 85, 86, 91–93. ISBN 9780080557762.
- [18] MATZ, Samuel A. *The chemistry and technology of cereals as food and feed*. 2nd ed. McAllen, TX, USA: Pan-Tech International [distributor], c1991, s. 543. ISBN 0442308302.
- [19] KAMAL-ELDIN, A., P. AMAN, J.-X. ZHANG, K.-E. BACH KNUDSEN and K. POUTANEN. Rye bread and other rye products. In: HAMAKER, Bruce, R. (Ed.). *Technology of functional cereal products*. Boca Raton: CRC, 2007, s. 236. ISBN 9781420066739.
- [20] YILDIZ, Fatih. Amino Acids Oligopeptides Polypeptides and Proteins. In: YILDIZ, Fatih (Ed.). *Advances in food biochemistry*. Boca Raton: CRC Press, 2010, s. 66, 68-72. ISBN 9781420007695.
- [21] TAYLOR, J., R., N. and N. M. EMMAMBUX. Products containing other speciality grains: sorghum, the millets and pseudocereals. In: HAMAKER, Bruce, R (Ed.). *Technology of functional cereal products*. Boca Raton: CRC, 2007, s. 297. ISBN 9781420066739.
- [22] LAWTON, John, W. Nonfood Uses of Cereals. In: KULP, Karel and Joseph G. PONTE Jr. (Ed.). *Handbook of cereal science and technology*. 2. ed., rev. and expanded. New York, NY [u.a.]: Dekker, 2000, s. 737. ISBN 9780824782948.
- [23] ALVAREZ-JUBETE, L., E. K. ARENDT a E. GALLAGHER. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science*. 2010, vol. 21, issue 2, s. 106-113. DOI: 10.1016/j.tifs.2009.10.014.
- [24] BAO, Jinsong. Nutraceutical properties and health benefits of rice. In: YU, Liangli, Rong CAO and Fereidoon SHAHIDI. *Cereals and pulses: nutraceutical proper-*

- ties and health benefits*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2012, s. 39. ISBN 9780813818399.
- [25] McDONOUGH, Cassandra, M., Lloyd W. Rooney and Sergio Othón SERNASALDIVAR. The Millets. In: KULP, Karel and Joseph G. PONTE Jr. (Ed.). *Handbook of cereal science and technology*. 2. ed., rev. and expanded. New York, NY [u.a.]: Dekker, 2000, s. 186. ISBN 9780824782948.
- [26] WOOD, J., A. and M. A. GRUSAK. Nutritional Value of Chickpea. In: YADAV, S., S., R. REDDEN, W. CHEN and B. SHARMA (Ed.). *Chickpea breeding and management*. Cambridge, MA: CABI, c2007, s. 113, 115. ISBN 1845932137.
- [27] MELLON, Fred, Ron SELF a James R. STARTIN. *Mass spectrometry of natural substances in food*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, c2000. Chap. 4, Bioactive Non-nutrients in Foods. ISBN 0854045716.
- [28] MCKENNA, B., M. and J. G. LYNG. Rheological measurements of foods. Rotary viscometers. In: KRESS-ROGERS, Erika a Christopher J. B. BRIMELOW. *Instrumentation and sensors for the food industry*. 2nd ed. Cambridge: Woodhead, 2001, s. 444 - 446. ISBN 084931223x.
- [29] BOURNE, Malcolm C. *Food texture and viscosity: concept and measurement*. 2nd ed. San Diego: Academic Press, c2002. Chap. 3, Physics and Texture. Viscoelasticity. ISBN 0121190625.
- [30] CAUVAIN, Stanley P. a Linda S. YOUNG. *Baking problems solved*. Cambridge, England: Woodhead Pub., 2001, s. 21. ISBN 1855735644.
- [31] HUGHES, Roy. Practical Rheology. In: COSGROVE, Terence (Ed.). *Colloid science: principles, methods and applications*. Ames, Iowa: Blackwell Pub., 2005, s. 212, 213. ISBN 9781405126731.
- [32] MCKENNA, B., M. and J. G. LYNG. Introduction to food rheology and its measurement. Rotary viscometers. In: MCKENNA, Brian, M. (Ed.). *Texture in food*. Boca Raton: CRC Press, 2003, s. 152 - 154. ISBN 0849317606.
- [33] TAGHI, Miri. Viscosity and Oscillatory Rheology In: NORTON, Ian T, Fotios SPYROPOULOS a Philip COX. *Practical food rheology: an interpretive appro-*



- ach. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2011, s. 17 – 19. Functional food science and technology series. ISBN 1405199784.
- [34] MARFIL, Paulo, Henrique, M., Javier TELIS-ROMERO and Vânia Regina NICOLETTI-TELIS. Rheological Behaviour of Biopolymer Suspensions. In: NICOLETTI-TELIS, Vânia Regina (Ed.). *Biopolymer engineering in food processing*. Boca Raton, FL: CRC Press, c2012, s. 87, 88. ISBN 9781439844946-.
- [35] REGAN, J., O., M. P. ENNIS and M. D. MULVIHILL. Milk proteins. In: WILLIAMS, P., A. and G. O. Philips (Ed.). *Handbook of hydrocolloids*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2009, s. 302, 319. ISBN 9781439808207.
- [36] ROLLEMA, H., S. and D. D. MUIR. Casein and Related Products. In: TAMIME, A., Y. (Ed.). *Dairy powders and concentrated products*. Chichester, U.K.: Wiley-Blackwell, 2009, s. 243, 244. ISBN 140515764x.
- [37] O'KENNEDY, B., T. Caseins. Manufacture of casein-based ingredients. In: PHILLIPS, Glyn O. a Peter A. WILLIAMS (Ed.). *Handbook of food proteins*. Philadelphia: Woodhead Publishing, 2011, s. 15, 16. Woodhead Publishing in food science, technology, and nutrition, no. 222. ISBN 0857093630.
- [38] SINGH, H. Protein interactions and functionality of milk protein products. Milk protein powders. In: CORREDIG, Milena (Ed.). *Dairy-derived ingredients: food and nutraceutical uses*. 1st print. Boca Raton: CRC Press, 2009, s. 665, 666, 669. ISBN 9781439820704.
- [39] LINDEN, G. a Denis LORIENT. *New ingredients in food processing: Biochemistry and agriculture*. Boca Raton, FL: CRC Press, c1999. Chap. 9, The exploitation of by-products. 9.1 Whey. ISBN 0849306310.
- [40] WIELINGA, W., C. Galactomannans. In: WILLIAMS, P., A. and G. O. PHILIPS (Ed.). *Handbook of hydrocolloids*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2009, s. 229. ISBN 9781439808207.
- [41] IMESON, A. *Food stabilisers, thickeners and gelling agents*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell Pub., 2010, s. 326, 330, 335, 339. ISBN 1405132671.

- [42] SWORN, G. Xanthan gum. In: WILLIAMS, P., A. and G. O. Philips (Ed.). *Handbook of hydrocolloids*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2009, s. 186, 198. ISBN 9781439808207.
- [43] LAZARIDOU, A., D. DUTA, M. PAPAGEORGIOU, N. BELC a C.G. BILIADERIS. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*. 2007, vol. 79, issue 3, s. 1033-1047. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032.
- [44] MIÑARRO, B., E. ALBANELL, N. AGUILAR, B. GUAMIS a M. CAPELLAS. Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread. *Journal of Cereal Science*. 2012, vol. 56, issue 2, s. 476-481. DOI: 10.1016/j.jcs.2012.04.012.
- [45] LAMACCHIA, C., S. CHILLO, S. LAMPARELLI, N. SURIANO, E. LANOTTE a M.A. DEL NOBILE. Amaranth, quinoa and oat doughs: Mechanical and rheological behaviour, polymeric protein size distribution and extractability. *Journal of Food Engineering*. 2010, vol. 96, issue 1, s. 97-106. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2009.07.001.
- [46] KORUS, Jarosław, Mariusz WITCZAK, Rafał ZIOBRO a Lesław JUSZCZAK. The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread. *Food Hydrocolloids*. 2009, vol. 23, issue 3, s. 988-995. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2008.07.010
- [47] SIVARAMAKRISHNAN, Hema P., B. SENGE a P.K. CHATTOPADHYAY. Rheological properties of rice dough for making rice bread. *Journal of Food Engineering*. 2004, vol. 62, issue 1, s. 37-45. DOI: 10.1016/S0260-8774(03)00169-
- [48] KETT, Anthony P., Valérie CHAURIN, Sinead M. FITZSIMONS, Edwin R. MORRIS, James A. O'MAHONY a Mark A. FENELON. Influence of milk proteins on the pasting behaviour and microstructural characteristics of waxy maize starch. *Food Hydrocolloids*. 2013, vol. 30, issue 2, s. 661-671. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2012.08.002.
- [49] LIU, Hongsheng, Fengwei XIE, Long YU, Ling CHEN a Lin LI. Thermal processing of starch-based polymers. *Progress in Polymer Science*. 2009, vol. 34, issue 12, s. 1348-1368. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2009.07.001.

- [50] VAN RIEMSDIJK, Lieke E., Atze J. VAN DER GOOT a Rob J. HAMER. The use of whey protein particles in gluten-free bread production, the effect of particle stability. *Food Hydrocolloids*. 2011, vol. 25, issue 7, s. 1744-1750. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.03.017.
- [51] NOISUWAN, Angkana, John BRONLUND, Brian WILKINSON a Yacine HEMAR. Effect of milk protein products on the rheological and thermal (DSC) properties of normal rice starch and waxy rice starch. *Food Hydrocolloids*. 2008, vol. 22, issue 1, s. 174-183. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2007.01.009.
- [52] CONSIDINE, Thérèse, Angkana NOISUWAN, Yacine HEMAR, Brian WILKINSON a Stefan KASAPIS. Rheological investigations of the interactions between starch and milk proteins in model dairy systems: A review. *Food Hydrocolloids*. 2011, vol. 25, issue 8, s. 2008-2017. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2010.09.023.
- [53] NOISUWAN, A., Y. HEMAR, B. WILKINSON a J.E. BRONLUND. Adsorption of milk proteins onto rice starch granules. *Carbohydrate Polymers*. 2011, vol. 84, issue 1, s. 247-254. DOI: 10.1016/j.carbpol.2010.11.029.
- [54] COPELAND, Les, Jaroslav BLAZEK, Hayfa SALMAN a Mary Chiming TANG. Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*. 2009, vol. 23, issue 6, s. 1527-1534. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2008.09.016.
- [55] ČSN EN ISO 20483. *Obiloviny a luštěniny - Stanovení obsahu dusíku a výpočet obsahu dusíkatých látek - Kjeldahlova metoda*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 24 s. Třídící znak 461401.
- [56] ČSN EN ISO 10520. *Přírodní škrob - Stanovení obsahu škrobu - Ewersova polarimetrická metoda*. Praha: Český normalizační institut, 1999. Třídící znak 566120.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$G^*$	Komplexní smykový modul [Pa]
$G'$	Souřázový (elastický) modul [Pa]
$G''$	Ztrátový modul neboli mechanická disipace [Pa]
$\text{tg } \delta$	Tangens ztrátového úhlu
$\eta^*$	Komplexní (zdánlivá) viskozita [Pa.s]
$\tau$	Smykové napětí [Pa]
$\gamma$	deformace
$\omega$	Úhlová rychlost [ $\text{rad.s}^{-1}$ ]
$t$	Čas [s]
$f$	Frekvence [Hz]
Pa	Pascal
Hz	Hertz
s	sekunda
Rad	Radián
PER	Protein efficiency ratio

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1: Schéma oscilačního testu mezi deskovými geometriemi [28] .....	28
Obr. 2: Závislost elastického modulu na smykovém napětí $\tau$ pro oblast lineární viskoelastivity .....	42
Obr. 3: Závislost elastického modulu na frekvenci $f$ kmitání horní geometrie reometru .....	44
Obr. 4: Závislost ztrátového modulu na frekvenci $f$ kmitání horní geometrie reometru .....	46
Obr. 5: Závislost tangens ztrátového úhlu $\delta$ na frekvenci kmitání $f$ vrchní geometrie reometru .....	48
Obr. 6: Závislost komplexní viskozity $\eta^*$ na frekvenci $f$ kmitání vrchní geometrie reometru .....	49
Obr. 7: Závislost elastického modulu různých těst na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C .....	50
Obr. 8: Závislost elastického modulu pšeničného těsta a rýžového těsta bez a s přídavkem 1 % (w/w) kaseinátu vápenatého nebo 1 % (w/w) sušené syrovátky na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C .....	52
Obr. 9: Závislost elastického modulu pšeničného těsta a rýžového těsta bez a s přídavkem 1 % (w/w) kaseinátu sodného na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C .....	53
Obr. 10: Závislost elastického modulu pšeničného těsta a rýžového těsta bez a s přídavkem 1 % (w/w) různých hydrokoloidů na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C .....	54
Obr. 11: Porovnání tangens ztrátového úhlu $\delta$ rýžového těsta a rýžového těsta s přídavkem různých mléčných bílkovin a sušené syrovátky v gradientu teploty 30–90–30 °C a při konst. frekvenci 1 Hz .....	56
Obr. 12: Porovnání tangens ztrátového úhlu $\delta$ rýžového těsta a rýžového těsta s přídavkem různých mléčných bílkovin a sušené syrovátky v závěrečném chlazení těst a při konst. frekvenci 1 Hz .....	57
Obr. 13: Závislost komplexní viskozity $\eta^*$ pšeničného těsta a rýžového těsta bez a s přídavkem 1 % (w/w) kaseinátu sodného, kaseinátu vápenatého nebo sušené syrovátky na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C .....	58

Obr. 14: Závislost komplexní viskozity $\eta^*$ rýžového těsta bez a s přidavkem 1 % (w/w) kaseinátu sodného, kaseinátu vápenatého či sušené syrovátky a pšeničného těsta na čase při záhřevu a výdrži těst.....	59
Obr. 15: Závislost komplexní viskozity $\eta^*$ rýžového těsta bez a s přidavkem 1 % (w/w) kaseinátu sodného, kaseinátu vápenatého či sušené syrovátky a pšeničného těsta na čase v závěrečném chlazení těst.....	61
Obr. 16: Závislost elastického modulu pšeničného a pohankového těsta bez a s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C.....	62
Obr. 17: Závislost elastického modulu pšeničného a rýžového těsta bez a s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C.....	63
Obr. 18: Závislost elastického modulu pšeničného a kukuřičného těsta bez a s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C.....	65
Obr. 19: Závislost elastického modulu pšeničného, pohankového a kukuřičného těsta bez a s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného na čase v závěrečném chlazení těst .....	67
Obr. 20: Porovnání tangens ztrátových úhlů $\delta$ rýžového, pohankového, kukuřičného a pšeničného těsta a těchto těst s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného v gradientu teploty 30–90–30 °C a při konst. frekvenci 1 Hz.....	69
Obr. 21: Porovnání tangens ztrátového úhlu $\delta$ rýžového, pohankového, kukuřičného a pšeničného těsta a těchto těst s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného v závěrečném chlazení těst a při konst. frekvenci 1 Hz .....	70
Obr. 22: Závislost komplexní viskozity $\eta^*$ pšeničného, pohankového, kukuřičného a rýžového těsta bez a s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného na čase v gradientu teploty 30–90–30 °C .....	71
Obr. 23: Závislost komplexní viskozity $\eta^*$ pšeničného, pohankového, kukuřičného a rýžového těsta bez a s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného na čase při záhřevu a výdrži těst .....	72
Obr. 24: Závislost komplexní viskozity $\eta^*$ pšeničného, pohankového, kukuřičného a rýžového těsta bez a s přidavkem 5 % (w/w) kaseinátu sodného na čase v závěrečném chlazení těst .....	74

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: Srovnání funkčních vlastností kaseinátu sodného a vápenatého [38].....	32
Tabulka 2: Obsah dusíkatých látek a škrobu v sušině mouk.....	37





