

Vliv přídavku vody na texturní vlastnosti bezlepkového pečiva

Ing. Pavel Křupka

Diplomová práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ing. Pavel Křupka**

Osobní číslo: **T14410**

Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**

Studijní obor: **Technologie potravin**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Vliv přídavku vody na texturní vlastnosti bezlepkového pečiva**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Význam vody v pečivu.
2. Mechanismus zadržování vody v pečivu.
3. Faktory ovlivňující obsah a distribuci vody v pečivu.
4. Způsoby měření obsahu vody zadržené v pečivu.

II. Praktická část

1. Přehled bezlepkových mouk.
2. Metodika přípravy pečiva s různým přídavkem vody.
3. Porovnání vlivu obsahu vody v různém bezlepkovém pečivu.
4. Diskuse výsledků s publikovanými údaji.
5. Formulace závěrů práce.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

- [1] MANCEBO, C. M., MIGUEL, M. Á. S., MARTÍNEZ, M. M. a GÓMEZ, M. Optimisation of rheological properties of gluten-free doughs with HPMC, psyllium and different levels of water. *Journal of Cereal Science*. 2015, 61, s. 8-15. ISSN:0733-5210.
- [2] DE LA HERA, E, ROSELL, C. M. a GOMEZ, M. Effect of Water Content and Flour Particle Size on Gluten-free Bread Quality and Digestibility. *Food Chemistry*. 2014, 151, s. 526-531. ISSN:0308-8146.
- [3] DA HUERTA, K. M., DOS ALVES, J. S., DA SILVA, A. F. C., KUBOTA, E. H. a DA ROSA, C. S. Sensory response and physical characteristics of gluten-free and gum-free bread with chia flour. *Food Science and Technology*. 2016, 36, s. 15-18. ISSN 0101-2061.
- [4] FURLÁN, L. T. R., PADILLA, A. P. a CAMPDERRÓS, M. E. Improvement of gluten-free bread properties by the incorporation of bovine plasma proteins and different saccharides into the matrix. *Food Chemistry*. 2015, 170, s. 257-264. ISSN 0308-8146.
- [5] NAGHIPOUR, F., SAHRAIYAN, B., SOLEIMANI, M. a SEDAGHAT, N. Effect of temperature, relative humidity and packaging film on maintaining the quality and increasing the shelf-life of sorghum gluten-free bread. *Nutrition Sciences & Food Technology*. 2015, 10(1), s. 61-70. ISSN 1735-7756.
- [6] CURIC, D., NOVOTNI, D., TUŠAK, D., BAUMAN, I. a GABRIC, D. Gluten-free bread production by the corn meal and soybean flour extruded blend usage. ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER. 2007, 72(3), s. 227-232.

Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Iva Burešová, Ph.D.**

Ústav technologie potravin

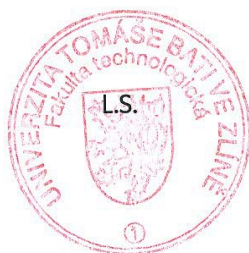
Datum zadání diplomové práce: **3. února 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **28. dubna 2017**

Ve Zlíně dne 3. února 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno: Křupka Pavel


Obor: Technologie potravin

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ 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 dne 28. dubna 2017



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

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

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení 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.

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá vlivem různých přísad vody na texturní vlastnosti bezlepkového pečiva. Teoretická část popisuje základní rozdíly mezi pečivem obsahujícím lepek a bezlepkových pečivem, definuje využití bezlepkových mouk, popisuje technologii výroby bezlepkového pečiva a také měření texturních vlastností v závislosti na přísadách vody do těsta. Praktická část obsahuje popis experimentu, ve kterém jsou specifikovány jednotlivé vzorky. Vzorky byly vyrobeny z rýžové mouky od dvou různých výrobců. V navazující kapitole jsou prezentovány výsledky s diskuzí. Z výsledků vyplynulo, že jako optimální přísada vody se jeví 120 a 130% přísady vody. Při těchto přísadách vody vykazovaly vzorky nejlepší texturní vlastnosti, kterými byly v případě této diplomové práce tvrdost, pružnost, elasticita, kohezivnost a žvýkatelnost.

Klíčová slova: bezlepkové pečivo, rýžová mouka, voda, texturní profilová analýza

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the influence of various water additions on the textural properties of gluten-free bread. The theoretical part describes the basic differences between bread containing gluten and gluten-free bread, defines the use of gluten-free flour, describes the technology of gluten-free bread production, and also the measurement of textural properties related to the water added to the dough. The practical part contains a description of an experiment in which individual samples are specified. Samples were made from rice flour from two different manufacturers. The following chapter presents the results with a discussion. The results show that 120% and 130% water additions appear as the optimum water addition. With these water additions, the samples showed the best textural properties, which in this diploma thesis were hardness, flexibility, elasticity, cohesiveness and chewability.

Keywords: gluten-free, rice flour, water, texture profile analysis

Rád bych věnoval velké poděkování paní **doc. RNDr. Ivě Burešové, Ph.D.** za cenné rady, věcné připomínky, odborné vedení a vstřícnost při konzultacích. Dále bych rád poděkoval paní **Ing. Michaele Zacharové** za pomoc při práci v laboratoři.

Poděkování také patří firmám **Extrudo Bečice, s. r. o.**, Týn nad Vltavou; **ADVENI MEDICAL, spol. s r. o.**, Brno; **Brenntag CR, s. r. o.**, Praha a **PLASTIKA, a. s.**, Kroměříž za zdarma poskytnutý materiál, který posloužil pro získání výsledků této diplomové práce.

V neposlední řadě bych také rád poděkoval svému zaměstnavateli Státní zemědělské a potravinářské inspekci za umožnění časového prostoru při studiu a také rodině za pevné nervy a psychickou podporu při studiu.

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

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	13
1 PEKAŘSKÉ VÝROBKY.....	14
1.1 PEČIVO OBSAHUJÍCÍ LEPEK	14
1.2 BEZLEPKOVÉ PEČIVO.....	14
2 CELIAKIE	17
3 SUROVINY PRO VÝROBU BEZLEPKOVÉHO PEČIVA.....	19
3.1 MOUKA	19
3.1.1 Rýžová mouka.....	19
3.1.2 Kukuřičná mouka	21
3.1.3 Jahelná mouka	22
3.1.4 Čiroková mouka	23
3.1.5 Mouka z tefu	24
3.1.6 Amarantová mouka	25
3.1.7 Pohanková mouka	25
3.1.8 Mouka z quinoi	26
3.2 VODA	27
3.3 DROŽDÍ	28
3.3.1 Lisované droždí	29
3.3.2 Granulované droždí	29
3.3.3 Instantní sušené droždí	30
3.3.4 Aktivní sušené droždí.....	30
3.4 CUKR.....	30
3.5 SŮL	30
3.6 HYDROKOLOIDY.....	30
3.6.1 Algináty.....	31
3.6.2 Kapa-karagenan.....	31
3.6.3 Guarová guma	32
3.6.4 Lokustová guma	33
3.6.5 Xantan	33
3.6.6 Hydroxypropylmethylcelulóza.....	34
3.6.7 Karboksymethylcelulóza	34
3.7 DALŠÍ SUROVINY	35
3.7.1 Mléko	35
3.7.2 Tuhy a oleje.....	35
3.7.3 Vejce	35
3.7.4 Emulgátory	35
4 TECHNOLOGIE VÝROBY BEZLEPKOVÉHO PEČIVA	36

4.1	HNĚTENÍ.....	36
4.2	DĚLENÍ A TVAROVÁNÍ	37
4.3	KYNU TÍ	37
4.4	PEČENÍ	37
4.5	CHLAZENÍ	38
4.6	STÁRNUTÍ PEČIVA.....	39
5	MĚŘENÍ TEXTURNÍCH VLASTNOSTÍ V ZÁVISLOSTI NA PŘÍDAVCÍCH VODY DO TĚSTA.....	40
5.1	TVRDOST.....	41
5.2	PRUŽNOST	41
5.3	ELASTICITA	41
5.4	KOHEZIVNOST	41
5.5	ŽVÝKATELNOST	41
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	42
6	CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	43
7	MATERIÁL A METODIKA	44
7.1	POUŽITÉ SUROVINY	44
7.2	POUŽITÉ PŘÍSTROJE A ZAŘÍZENÍ.....	45
7.3	VÝROBA BEZLEPKOVÉHO PEČIVA	45
7.4	HODNOCENÍ BEZLEPKOVÉHO PEČIVA	47
7.4.1	Ztráta hmotnosti	47
7.4.2	Specifický objem.....	47
7.4.3	Texturní profilová analýza	47
7.4.4	Pórovitost	48
7.5	STATISTICKÁ ANALÝZA ZÍSKANÝCH DAT.....	48
8	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	49
8.1	VÝSLEDKY	49
8.1.1	Vliv přídavku vody na ztrátu hmotnosti pečením.....	49
8.1.2	Vliv přídavku vody na specifický objem	50
8.1.3	Vliv přídavku vody na tvrdost.....	51
8.1.4	Vliv přídavku vody na pružnost.....	52
8.1.5	Vliv přídavku vody na elasticitu	53
8.1.6	Vliv přídavku vody na kohezivnost	54
8.1.7	Vliv přídavku vody na žvýkatelnost	55
8.1.8	Vliv přídavku vody na pórovitost střídky	56
8.2	DISKUZE.....	59
8.2.1	Ztráta hmotnosti pečením.....	59
8.2.2	Specifický objem.....	59
8.2.3	Tvrdost	60
8.2.4	Pružnost.....	61

8.2.5	Elasticita.....	61
8.2.6	Kohezivnost.....	62
8.2.7	Žvýkatelnost.....	62
8.2.8	Pórovitost	63
ZÁVĚR		65
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		66
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		79
SEZNAM OBRÁZKŮ		80
SEZNAM TABULEK.....		81

ÚVOD

Pekařské výrobky zaujímají na trhu podstatnou část potravinářského sortimentu. Spotřebiteli jsou pekařské výrobky nabízeny v mnoha formách a různém provedení i zpracování. Spotřebitel se může v obchodních sítích běžně setkat se samoobslužnou formou prodeje. V případě menších prodejen existuje i obslužný způsob prodeje. Pekařské výrobky jsou uváděny na trh jako nebalené, balené bez přítomnosti spotřebitele nebo balené. Pekařské výrobky lze v tržních sítích zakoupit v bílém nebo tmavém provedení a je možné se setkat s polotovary určenými pro rozpek nebo dopek.

Pro mnohé pekařské výrobky je charakteristický lepek, který je zodpovědný za tvorbu trojrozměrné struktury pečiva. Tato trojrozměrná struktura umožňuje pekařským výrobkům zvětšit svůj objem vzhledem ke schopnosti trojrozměrné struktury zachytávat kypřící plyn. Lepek, umožňující dosahování optimálních texturních charakteristik bezlepkového pečiva, je tvořen gliadinovými a gluteninovými frakcemi. Gliadinové frakce ale vyvolávají u některých osob citlivost na lepek nebo dokonce celiakii.

Vzhledem k osobám trpícím citlivostí na lepek nebo celiakii je možné se na trhu setkat s bezlepkovými výrobky. Vyrábí se z přirozeně bezlepkových mouk. V důsledku absence lepku nedochází u bezlepkového pečiva k vývinu trojrozměrné struktury při zpracování těsta. Bezlepkové pečivo tak postrádá kvalitativní znaky pečiva, které lepek obsahuje. To se projevuje především zhoršenými texturními charakteristikami bezlepkového pečiva a jeho rychlejším stárnutím. Bezlepkové pečivo je vědecky doposud nepříliš probádaná sféra a je předmětem mnoha studií zaměřených na zlepšování vlastností bezlepkového pečiva s cílem se co nejvíce přiblížit vlastnostem pečiva obsahující lepek.

V teoretické části této diplomové práce je definována obecná charakteristika bezlepkového pečiva s jeho odlišením od pečiva obsahující lepek. Diplomová práce dále obsahuje stručnou charakteristiku celiakie. Následuje kapitola zabývající se surovinami pro výrobu bezlepkového pečiva. Součástí této kapitoly je popis přirozeně bezlepkových mouk a dalších surovin, jako je voda, droždí, cukr, sůl, hydrokoloidy a další suroviny, které lze při výrobě bezlepkového pečiva uplatňovat (vejce, tuky a oleje, mléko, emulgátory). Po surovinách je popsána samotná technologie výroby bezlepkového pečiva od smísení jednotlivých surovin, přes hnětení, pečení, dělení a tvarování až po chladnutí pečiva. Součástí kapitoly zabývající se výrobou bezlepkového pečiva je i popis jeho stárnutí.

V poslední kapitole teoretické části je popsáno měření texturních charakteristik prostřednictvím textuometru TA.XT plus Texture Analyser.

Praktická část diplomové práce obsahuje popis experimentu, ve kterém je uveden použitý materiál a metodika experimentu. V navazující kapitole jsou popsány výsledky jednotlivých experimentů. Diskuze pojednává o výsledcích této diplomové práce v konfrontaci s výsledky dosud publikovanými a jejich odůvodnění.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PEKAŘSKÉ VÝROBKY

Pekařskými výrobky se zabývá prováděcí vyhláška Ministerstva zemědělství č. 333/1997 Sb. Pečivem se rozumí výrobky získané tepelnou úpravou těst nebo hmot, u kterých je sušina v převažujícím podílu tvořena mlýnskými obilnými výrobky s výjimkou šlehaných hmot a sněhového pečiva. Vyhláška dále stanovuje minimální požadavky na chléb, běžné pečivo, jemné pečivo, trvanlivé pečivo, pšeničný chléb nebo pečivo, žitný chléb nebo pečivo, pšenično-žitný nebo žitno-pšeničný chléb, celozrnný chléb nebo pečivo, vícezrnný chléb nebo pečivo, speciální druh chleba nebo pečiva, sušenky, trvanlivé pečivo ze šlehaných hmot, oplatky, perník, suchary, preclíky a trvanlivé tyčinky, crackerové pečivo [1].

1.1 Pečivo obsahující lepek

Při výrobě pečiva ze surovin obsahujících lepek dochází ke vzniku silné proteinové sítě, která je nutná pro zadržení plynu v těstě vznikajícího při fermentaci s cílem dosažení požadovaného objemu a struktury pečiva [2]. Lepek je společný název pro směs ve vodě nerozpustných proteinů obsažených v semenech pšenice, žita, ječmene a jiných příbuzných rostlin [3] a představuje celkem 80 % proteinů v obilných zrnech [4]. Tyto proteiny se dělí na prolaminy (gliadiny v pšenici, sekaliny v žitu, hordeiny v ječmeni), které jsou v alkoholu rozpustné a gluteliny (gluteniny v pšenici), které jsou v alkoholu nerozpustné [3]. Nejčastěji bývá lepek definován jako gliadinová a gluteninová frakce.

Existuje ovšem celé spektrum poruch souvisejících s obsahem lepku v potravinách, nejčastěji se však jedná o celiakii¹ a citlivost na lepek² [5]. Citlivost na tyto proteiny postihuje téměř 1 % lidské populace z Evropy a Severní Ameriky [3]. V případě celiakie postihuje toto onemocnění 0,5 % lidské populace [13].

1.2 Bezlepkové pečivo

Na trhu se v posledních letech vyskytuje stále více bezlepkových výrobků [7]. V tržní síti je možné setkat se s potravinami, které ve svém složení obsahují jednu nebo více složek

¹ **Celiakie** je způsobena protilátkami jako jsou imunoglobuliny typu A a má celoživotní charakter. Postihuje osoby jakékoliv věkové kategorie.

² **Citlivost na lepek** je způsobena protilátkami, jako jsou imunoglobuliny typu E a není celoživotního charakteru. Vyskytuje se především u osob nízkého věku (nejčastěji v útlém dětství) [6].

získaných z pšenice, žita, ječmene, ovsa nebo jejich kříženců. Speciálním zpracováním v nich byl snížen obsah lepku tak, aby tyto potraviny neobsahovaly více jak 100 mg.kg^{-1} lepku ve stavu, v němž jsou prodávány konečnému spotřebiteli. Výraz „bez lepku“ je možné použít jen tehdy, pokud obsah lepku v potravine nepřevyšuje 20 mg.kg^{-1} [8].

Bezlepkové potraviny se v současnosti označují mezinárodním logem v podobě přeškrtnutého klasu. Toto logo přeškrtnutého klasu bylo původně registrováno společností Coeliac UK, a to jako národní ochranná známka Spojeného království Velké Británie a Severního Irska, posléze jako Ochranná známka Společenství. V roce 1988 vznikla Evropská asociace celiaků (dále jen „AOECS“). Sdružení celiaků ČR do AOECS přistoupilo v roce 1990. Na kongresech v letech 1990 až 1996 bylo na členské organizace apelováno, aby si každý stát registroval symbol přeškrtnutého klasu v zemi svého působení a hlídal kvalitu bezlepkových potravin v domovských státech. Známky měly být odlišeny kódem země v pravém dolním segmentu. V roce 1998 Sdružení celiaků ČR zaregistrovalo českou národní ochrannou známku tvořenou symbolem přeškrtnutého klasu doplněným písmeny CZ [9].



Obr. 1: Česká národní ochranná známka pro bezlepkové výrobky [9]

Použití tohoto loga na bezlepkových výrobcích je ale dobrovolné. Pokud se výrobce rozhodne tuto registrovanou ochrannou známku na svých výrobcích nevyobrazovat, stačí, aby dle platné legislativy výrobek označil slovy „bez lepku“ v případě, že výrobek obsahuje do 20 mg.kg^{-1} lepku, případně může výrobek označit slovy „s velmi nízkým obsahem lepku“, obsahuje-li výrobek do 100 mg.kg^{-1} lepku [8, 9].

S neustále se zvyšujícím počtem celiaků zájem o bezlepkové výrobky trvale roste [2]. Vědecké studie se více a více zaměřují na tyto produkty. Ovšem vzhledem k tomu, že bezlepkové pečivo stále není pro své kvalitativní vlastnosti plně akceptováno ze strany

spotřebitelů, zabývá se řada studií vlivem různých přísad na kvalitu bezlepkového pečiva [7]. Cílem vědeckých studií je zlepšit strukturu bezlepkového pečiva, jeho chuť, přijatelnost a celkovou trvanlivost těchto výrobků [10].

V bezlepkovém pečivu bývá chybějící lepek obvykle kompenzován různými přípravky, jako jsou škroby a hydrokoloidy za účelem zlepšení viskoelastických vlastností bezlepkového těsta. Nicméně u bezlepkového pečiva se stále nedosahuje takových kvalit, jakých lze dosáhnout u pšeničného pečiva [11].

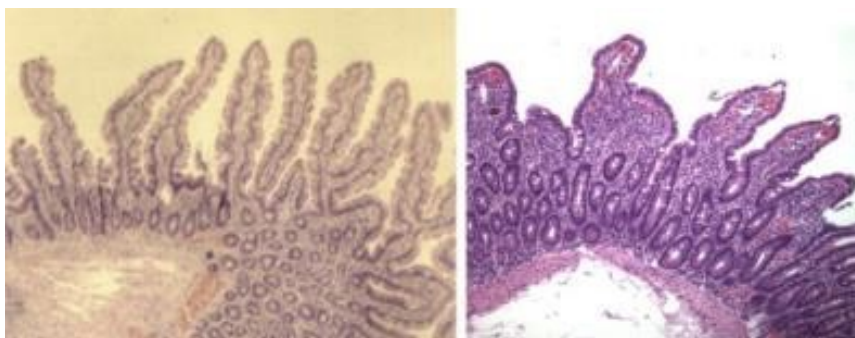
Výsledkem absence lepku v důsledku chybějící proteinové matrice jsou slabá těsta s vysokou propustností pro oxid uhličitý. To přináší velké problémy při dosahování požadované struktury. Dochází tak ke snížení objemu bezlepkových výrobků. Lepek totiž dodává těstu pevnost a s tím spojenou schopnost rozšiřovat a přitom zadržovat vznikající plyn během kynutí. Nepřítomnost lepku také zhoršuje zadržování vody v bezlepkových těstech, které vykazují drobtovitou strukturu a následné rychlé vysychání. Kromě toho v důsledku použití škrobů v přípravcích a velmi krátké době kynutí jsou bezlepkové výrobky světlé a vyznačují se špatnou vůní a chutí. Komerční bezlepkové výrobky jsou zejména na bázi škrobu, a proto postrádají vlákninu, vitaminy a živiny. Výsledkem je nutričně nevyvážená strava pro osoby trpících celiakií [11]. Jako náhrada za pšenici za účelem zvýšení nutriční hodnoty bezlepkových potravin může posloužit sója nebo fazole s vysokým obsahem bílkovin [10].

2 CELIAKIE

Citlivost na lepek byla původně popsána v roce 1980, přičemž v poslední době bylo u osob trpících celiakií zjištěno, že střevní a mimo-střevní symptomy souvisejí s požitím potravin obsahujících lepek u osob, které nejsou ovlivněny alergií na pšenici. Nicméně klinický obraz epidemiologie a patofyziologie citlivosti na lepek přináší mnoho aspektů v léčbě, která je stále nejasná [12].

Celiakie je autoimunitní³ porucha tenkého střeva, vyskytující se u geneticky predisponovaných osob všech věkových kategorií. Jediným možným řešením, jak se zdravotním komplikacím vyhnout, je celoživotní bezlepková dieta. To je ovšem velmi obtížné vzhledem k tomu, že mnohé potraviny obsahují lepek [13].

Nesnášenlivost lepku je způsobena reakcí na určité proteiny, nazývané jako prolaminy, které způsobují atrofii⁴ střevních klků a snižují tak vstřebávání živin [15]. Lepek je komplex proteinů, které jsou lokalizované v povrchové vrstvě obilných zrn. Aminokyseliny tvořící lepek jsou zastoupeny vysokým podílem glutaminu (až 35 %) a prolinu (15 – 20 %) [18]. Tyto proteiny jsou obsaženy v zrnech pšenice, ovsa, ječmene a žita. Pro celiaky toxické frakce vlastní různé názvy v závislosti na druhu obiloviny: gliadiny v pšenici, avidiny v ovsu, secaliny v žitu a hordeiny v ječmeni [15].



Obr. 2: Histologie střevních klků – střevní klky (vlevo) a klky s atrofií (vpravo) [16]

³ **Autoimunita** je systém imunitních reakcí organismu proti vlastním zdravým buňkám a tkáním. Autoimunitní onemocnění je jakékoliv onemocnění, které je výsledkem aberantní imunitní reakce. Autoimunitní onemocnění jsou často léčeni steroidy [14].

⁴ **Atrofie** je stav částečné nebo úplné ztráty části orgánu nebo tkáně v těle. Při atrofii dochází k úbytku živé tkáně. Příčinou atrofie jsou nejčastěji mutace a nedostatečná výživa. Atrofie vede ke zvýšení relativního podílu vaziva a orgán postižený atrofií se tak jeví jako tužší, než v případě orgánů nepostižených atrofií [17].

Za posledních 50 let došlo k výraznému nárůstu celiakie a v posledních 10 letech se zvýšila míra diagnostiky celiakie. Celiakie se může projevit mnoha symptomy. Nejčastějšími projevy celiakie jsou gastrointestinální symptomy (průjem, hubnutí, nadýmání, břišní bolesti) nebo také negastrointestinální symptomy (abnormální jaterní testy, chudokrevnost v důsledku sníženého vstřebávání železa, kostní onemocnění spojené s řidnutím kostí, kožní poruchy). Mnoho osob s celiakií nemusí mít žádné projevy. Celiakie je obvykle detekována na základě sérologického vyšetření na přítomnost specifických protilátek [19].

Vzhledem k tomu, že je lepek hlavním etiologickým faktorem celiakie, zůstává bezlepková dieta jako taková jedinou možností terapie, která spočívá ve vyloučení surovin, potravin a nápojů obsahujících lepek. Ve studii na 978 českých celiacích bylo prokázáno, že 46 % zúčastněných celiaků se nedokázalo smířit s bezlepkovou dietou do 1 roku od doby, kdy byla celiakie lidem diagnostikována. Celoživotní závazek k bezlepkové dietě je tedy základem. Diagnóza celiakie, a následné zavedené bezlepkové diety, poskytuje pacientovi mnohem lepší kvalitu života a umožňuje předcházet většině komplikací. Mezi potraviny nahrazující lepek se nejčastěji zařazuje rýže, brambory, sója, kukuřice, proso, pohanka, amarant a quinoa. Strava může mít nízký obsah vlákniny, železa, kyseliny listové, vápníku, hořčíku, zinku, B-komplex vitaminů (thiamin, riboflavin, niacin, a vitamin B12), jakož i vitamin D. U alternativních plodin je předpoklad výrazně vyššího nutričního profilu [18].

3 SUROVINY PRO VÝROBU BEZLEPKOVÉHO PEČIVA

Výroba bezlepkového pečiva je založena na použití bezlepkových mouk, škrobu nebo hydrokoloidů. Lze použít i živočišné a rostlinné proteinové doplňky. Následující kapitola pojednává o hlavních složkách používaných při výrobě bezlepkového pečiva včetně těch, které se používají při výrobě běžných pekařských výrobků jako je sůl a droždí [20].

3.1 Mouka

K výrobě bezlepkových mouk se využívají tzv. alternativní plodiny. Alternativní plodiny lze definovat jako rostliny pěstující se na nižších osevních plochách. Tyto plodiny se dělí na dvě základní skupiny: minoritně zastoupené obiloviny a pseudocereálie [21].

Mezi plodiny vhodné pro zpracování bezlepkových mouk patří: rýže, kukuřice, proso, čirok, tef, amarant, pohanka, quinoa. Tyto plodiny jsou považovány za vhodné pro celiaky [20]. Proso, čirok a tef spadá pod minoritně zastoupené obiloviny. Pod pseudocereálie patří amarant, pohanka a quinoa. Rýže ani kukuřice pod výše uvedené skupiny nespádají, neboť se jedná společně s pšenicí o celosvětově nejvíce pěstované plodiny [21].

3.1.1 Rýžová mouka

Rýže (*Oryza sativa* L.) byla po celou historii jednou z nejdůležitějších potravin v lidské stravě. V zemích jako je Čína nebo Indie tvoří dvoutřetinovou produkci celosvětové populace. Z celkové produkce obilovin činí rýže 28 %. Význam rýže v potravinářství je o něco menší, než je u pšenice. Pěstování rýže se soustřeďuje především v rozvojových zemích. Podle velikosti zrna se rýže dělí na dlouhozrnnou (zrna delší než 6,6 mm), střednězrnnou (5,5 až 6,6 mm) a krátkozrnnou (zrna kratší než 5,5 mm) [22].



Obr. 3: Plodina *Oryza sativa* L (vlevo) a technologicky upravené rýžové zrno (vpravo) [23]

Po sklizni se získává tzv. surová rýže, kdy je rýžové zrno stále obklopeno pluchami a obalovými vrstvami. Neloupaná rýže se zpočátku čistí pomocí třídičů od hrubých nečistot, které jsou větší než samotná rýžová zrna (kameny a cizí předměty). Stejný postup se opakuje s použitím síta k odstranění jemných nečistot, tedy nečistot, které jsou menší než rýžová zrna (písek, semena plevelných rostlin). Po kroku čištění následuje loupání, kdy se odstraňují plevy a vnější obalové vrstvy pomocí dvou protisměrně se pohybujících gumových válců při různých rychlostech. Na loupání navazuje tření, kdy dochází k obrušování zrna, aby došlo k odstranění klíčku. Při obrušování může docházet k rozpadu endospermu, který může činit od 4 do 40 % v závislosti na příchozích zrnech. S obrušováním se provádí vlhčení. Lze provádět i suché obrušování. Alternativním způsobem obrušování je obrušování zmrazeného zrna. Mokrý obrušování přináší menší průměrnou velikost částic a nižší procento poškozeného škrobu než přináší suché způsoby obrušování [22]. Jakmile má rýžové zrno odstraněny pluchy, vnější obalové vrstvy a klíček, dochází k tzv. leštění krup, při kterém dochází k odstranění vnitřní obalové vrstvy spolu s aleuronovou vrstvou, čímž dochází k prodloužení doby trvanlivosti. Po prosévání a třídění se získává loupaná rýže, která je hlavním produktem mlýnského zpracování rýžového zrna. Rýžová mouka je minoritním produktem a získává se semíláním zlomků zrna, které vznikly při opakovaném třídění a obrušování zrna a leštění krup [21].

Sacharidy jsou nejhojnější složkou rýže s obsahem škrobu přibližně 80 %. Rýžový škrob stejně jako v ostatních obilovinách tvoří polymer glukózy složený z amylózy a amylopektinu v různých poměrech v závislosti na odrůdě rýže. Obsah škrobu v rýžovém zrnu se zvyšuje od povrchu směrem k jádru. Bílkoviny jsou druhou nejhojnější složkou rýžové mouky. Koncentrace bílkovin se naopak od povrchu do středu jádra snižuje. Rýže má především vyšší obsah lyzinu⁵ než u jiných obilovin [22]. Podstatně méně obsahují rýžová zrna lipidy, nicméně významně přispívají k sensorickým a nutričním vlastnostem. Mezi ostatní složky patří vláknina a minerální látky, ačkoliv jejich obsah v mouce značně závisí na stupni obrušování zrna. Z minerálních látek je nejvíce zastoupeno železo, fosfor, draslík a hořčík [25].

Rýžová mouka je velmi cenná surovina, neboť, kromě toho, že postrádá lepek, obsahuje nízké hladiny sodíku a vysoký obsah lehce stravitelných sacharidů, což je velmi žádoucí

⁵ **Lyzin** patří mezi esenciální aminokyseliny, které si lidské tělo nedokáže sám syntetizovat. Z toho důvodu je lidské tělo musí přijímat potravou. Lyzin obsahuje 2 aminoskupiny vázané na α - a ϵ -uhlíku [24].

pro osoby trpící celiakií [26]. Dále se rýžová mouka vyznačuje jemnou chutí. To vše činí z rýžové mouky velmi cennou složku při výrobě bezpečných potravin [27].



Obr. 4: Rýžová mouka [43]

3.1.2 Kukuřičná mouka

Kukuřice (*Zea mays*) je obilnina pěstovaná v různých zemích, kde tvoří základní potravinu pro mnoho lidí [28]. Kukuřice je domestikovaná plodina, která má svůj původ v dnešním Mexiku. Ukázalo se, že je jednou z nejvíce adaptabilních plodin. Kukuřici lze pěstovat od tropů po zóny mírného podnebného pásu, od nulové nadmořské výšky až po nadmořskou výšku 3 500 m. Nejvíce kukuřice se v současnosti vyprodukuje ve Spojených státech amerických, Mexiku, Argentíně, Brazílii, Indii, Indonésii, Francii a Itálii [29]. Zpracováním kukuřice lze vyrábět širokou škálu výrobků, jako jsou kukuřičné mouky a různé pokrmy z kukuřice. Kukuřice se rovněž používá jako krmivo pro hospodářská zvířata. Kromě toho nalézá uplatnění v řadě průmyslových odvětví (zemědělsko-potravinářský, textilní, farmaceutický průmysl) [28].

Obilka kukuřice se skládá ze čtyř primárních struktur. Jedná se o endosperm (83 %), zárodek (11 %), perikarp (5 %) a víčko obilky (1 %). Endosperm je tvořen škrobem, který je buďto tvrdý (sklovitý) nebo měkký (moučný). Zárodek obilky kukuřice je bohatý na obsah tuku (až 33,3 %). Zárodek také obsahuje vitaminy skupiny B a antioxidanty. Kukuřičný olej získaný z klíčků je bohatý zvláště na obsah polynenasycených mastných kyselin (54,7 %), které ale podléhají oxidačnímu působení a žluknutí. Perikarp má vysoký obsah vlákniny (8,8 %). Víčko obilky je struktura uzavírající živiny uvnitř obilky, které tímto místem procházejí průběhu vývoje obilky [29].

Produkt mletí je kukuřičná krupice. Před mletím se odstraňují příměsi a nečistoty. Poté dochází k vlhčení na 20% vlhkost a odstranění klíčku. Klíček se odstraňuje z důvodu, aby

tak nedocházelo ke snižování výtěžnosti krupice, a aby vysoký obsah oleje uvnitř klíčku nezkracoval celkovou dobu trvanlivosti. Klíček se odstraňuje pomocí rotujícího kovového kužele s výstupky. Zrna naráží na tyto výstupky, čímž dochází k odstranění klíčku a rozpadnutí endospermu. Velké částice endospermu zůstávají zachycené na sítu, zatímco menší částice v podobě klíčku a obalových vrstev sítem propadávají. Následuje sušení teplým vzduchem na vlhkost 15-15,5 % a poté chlazení studeným vzduchem. Vysušený produkt se třídí, případně drtí na rýhovaných mletých válcích. Získaná krupice a mouka je poté sušena na 12-14% vlhkost [21].

Kukuřičná mouka může být použita k výrobě pečiva a dalších druhů pečiva jako jsou oplatky, mazance, koblihy, koláče, pudinky či sušenky, nebo jako zahušťovadlo různých omáček, polévek, sirupů nebo cukrářských krémů [28].



Obr. 5: Kukuřičné zrno a kukuřičná mouka [44]

3.1.3 Jahelná mouka

Proso bylo po dlouhá staletí důležitou obilovinou polosuchých oblastí Asie a Afriky. V současné době je i nadále hlavní plodinou využívanou pro potravinářské účely v zemích, jako je Nigérie nebo Súdán [30]. Proso je schopné růst v nepříznivých klimatických podmínkách, jako je celoroční nízký úhrn srážek nebo půda chudá na živiny, proto je tato plodina často pěstována v lokalitách jinak nepříznivých pro pěstování zemědělských plodin [31]. Perličkové proso (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) je nejvíce pěstovaný druh prosa. Perličkové proso má určitý potenciál pro průmyslové použití. Jiné druhy mají omezený potenciál z důvodu malé velikosti zrna [30].

Proso se zpracovává několika způsoby pro přípravu různých potravinářských výrobků. Mezi hlavní procesy zpracování patří loupání a mletí za účelem výroby mouky, krupice a vyluštěných celých zrn [32]. Mletí prosného zrna je založeno na odstraňování obalových vrstev. Nejdříve je zrno zvlhčeno na 20% vlhkost. Následuje obrušování obalových vrstev.

Získává se kroupa, která se navlhčí a leští. Tím se ale snižuje obsah vlákniny v mouce. Pomocí vertikálního rotoru dochází k odstraňování klíčku, čímž dojde k prodloužení trvanlivosti vlivem absence oleje obsaženého v klíčku [21]. Jahelná mouka se velmi často využívá ve směsi s pšeničnou moukou, např. při výrobě sušenek nebo dortů. Výzkumné studie potvrdily, že optimální přídavek pšeničné mouky je 40 % ve směsi s jahelnou moukou [31].



Obr. 6: Zrna perličkového prosa a jahelná mouka [45]

3.1.4 Čiroková mouka

Čirok (*Sorghum bicolor*) je obilovina s původem v subsaharské Africe a dobře roste v mírných i tropických oblastech světa, kde se ostatním druhům ze základních obilovin, jako je kukuřice, pšenice a rýže, nemůže dařit v růstu. Čirok se nejčastěji pěstuje v Africe a v Asii, kde se používá na výrobu kaší, sladu a destilátů. Celosvětově se používá na výrobu sirupů a etanolu nebo jako krmivo pro hospodářská zvířata [33].

Škroby spolu s cukry obsažené v čiroku se uvolňují mnohem pomaleji než je tomu v jiných obilovinách a mohly by být prospěšné pro diabetické pacienty [34]. Stejně jako u ostatní obiloviny se zrno čiroku skládá ze třech hlavních anatomických částí, a to oplodí, klíčku a endospermu. Oplodí je vnější ochranná vrstva, která tvoří 5-6 % celkové hmotnosti zrna. Je bohatým zdrojem vlákniny, minerálů a vitaminů. Endosperm tvoří největší část zrna a je bohatým zdrojem škrobu a bílkovin. Relativní podíl bílkovin a škrobu v endospermu je nejdůležitějším faktorem, který ovlivňuje tvrdost zrna a jeho hustotu. Čirok je bohatým zdrojem na třísloviny, fenolové kyseliny, antokyany a fytosteroly. Fyzikálně-chemické vlastnosti čirokové mouky jsou podobné vlastnostem pšeničné mouky. Nicméně čirok má nízkou stravitelnost škrobu, což má za následek vyšší ztráty energie u lidí [33].

Technologie mletí zrna na čirokovou mouku není natolik vyvinutá, jak je tomu v případě mletí pšenice. Obecně platí, že prvním krokem mletí je loupání, což je proces, jehož cílem

je odstranění otrubové vrstvy (oplodí a klíčku), čímž dochází ke snížení tříslovin a minerálních látek. K loupání se obvykle využívají zařízení využívající principu suchého oděru. Tato technologie není příliš účinná a kvalita mouky tak může být variabilní. To má za následek nízký výnos a vysoké ztráty bílkovin v důsledku měkkosti endospermu, který je charakteristickým rysem čiroku. Po loupání následuje zmenšování velikosti částic prostřednictvím jednoduchých mlecích válců. Bez ohledu na velký potenciál čiroku zůstávají některé technologické problémy dosud nevyřešeny [34].



Obr. 7: Zrna čiroku a čiroková mouka [43]

3.1.5 Mouka z tefu

Tef (*Eragrostis tef*) je plodina z čeledi lipnicovitých (Gramineae). Hlavním producentem tefu je Etiopie s roční produkcí okolo jednoho milionu tun, což tvoří 20 % místního výnosu obilovin [35]. Pod českým názvem je tef označován jako milička habešská. Obilka ve svém složení připomíná proso, nicméně obilka tefu je bohatší na minerální látky a esenciální aminokyseliny, včetně lyzinu. V tradičních oblastech pěstování této plodiny se obilka drtí na mouku, zejm. enjera. Používá se ve směsi s čirokem a jáhlami. Vzhledem k vysokému obsahu minerálních látek se ve směsi se sójou, cizrnou a dalšími obilovinami používá při výrobě dětské výživy [21].



Obr. 8: Mouka z tefu [43]

3.1.6 Amarantová mouka

Amarant je rostlina, která se snadno pěstuje [36]. Pochází z Mexika a oblastí Jižní Ameriky. Rod *Amaranthus* zahrnuje asi 60 druhů, nicméně v potravinářství má největší význam *A. hypochondriacus* L. [37]. Jedná se o velmi nutričně významnou plodinu s příjemnou chutí a vysokým obsahem bílkovin, což představuje vynikající alternativu v rámci výživy pro osoby s celiakií. Nutriční charakteristiky amarantového zrna jsou poměrně pozitivní vzhledem k obsahu bílkovin 12-17 %, což představuje vyvážený profil aminokyselin a vysokou úroveň lyzinu [36]. Výsledkem je vysoká stravitelnost bílkovin [38]. Tuk je však hůře stravitelný vzhledem k výskytu antitripsinu. Amarant je poměrně bohatý na obsah vitamínu C, který v běžných obilovinách obsažen není [21].

Zrna amarantu jsou čočkovitého tvaru a ve srovnání s jinými obilnými zrny jsou velmi malá (přibližně o průměru 1 mm) a lehká [38]. Zrna musí být bílé nebo žlutobílé barvy. Semena amarantu se praží, vaří nebo drtí na amarantovou mouku [21].



Obr. 9: Amarantová mouka [43]

3.1.7 Pohanková mouka

Pohanka (*Fagopyrum*) je jednoletá plodina. Mezi nejpěstovanější plodiny patří pohanka jedlá (*F. esculentum*) a pohanka tatarská (*F. tartaricum*) [39]. Hlavními producenty pohanky jsou Čína, Rusko, Ukrajina a Kazachstán. Pěstování pohanky bylo po mnoho let na poklesu, nicméně v poslední době se produkce pohanky začala zvyšovat vzhledem k zdraví prospěšným vlastnostem pohankových zrn. Tato zrna jsou bohatá na vitamíny skupiny B. Skladba aminokyselin proteinů pohanky je dobře vyvážená a má vysokou biologickou hodnotou. Stravitelnost proteinů je však relativně nízká. Významný je obsah rutinu, katechinů a polyfenolů [40].

Hlavním účelem pěstování pohanky je získání zrn pro lidskou výživu. Odstraněním povrchových vrstev ze zrna se získávají kroupy. Mletím krup se získává pohanková mouka [39]. Pohanková mouka se vyrábí zejména z pohanky jedlé, neboť není nositelem nežádoucí hořké chuti jako pohanka tatarská [40]. V Evropě a Severní Americe se pohanková mouka používá ve směsi s pšeničnou moukou při výrobě různých pekařských a cukrářských výrobků [39].



Obr. 10: Zrna pohanky a pohanková mouka [43]

3.1.8 Mouka z quinoi

Quinoa (*Chenopodium quinoa*) byla důležitou surovinou pro pokrmy minulých civilizací. Quinoa spadá pod pseudocereálie. Plodina má svůj původ v Jižní Americe. V dnešní době quinoa zaujímá velkou pozornost, neboť je propagována pro své vlastnosti jako potravina jednadvacátého století [41].

Během zpracovávání zrna na mouku se zpočátku odstraňují obalové vrstvy, které zaujímají přibližně 10 % hmotnosti semene a obsahují většinu škodlivých saponinů. Nejvhodnější jsou tzv. suché postupy, jako je loupání a leštění, které se používají především u odrůd s nižším obsahem saponinů. Lze použít i tzv. mokré postupy, jako je namáčení a praní s následným sušením. Promýváním ve studené vodě dojde k odstranění hořké chuti. Poté následuje vaření nebo sušení na slunci. Mouka se vyznačuje velmi dobrou stravitelností s příjemnou chutí [42].



Obr. 11: Zrna quinoi a mouka z quinoi [43]

3.2 Voda

Voda je polární sloučenina, která velmi snadno interaguje s přísadami taktéž polárního charakteru. Interakcemi mezi molekulami vznikají vodíkové vazby [46]. Voda, stejně jako jakékoliv jiné běžné složky pekařských výrobků, musí být stejnorodá za účelem získání jednotných produktů, zejména v parametrech, jako je tvrdost a hodnota pH. V případě rozdílných vlastností vody při výrobě stejných pekařských výrobků je zapotřebí vodu upravit⁶ [47].

Voda je jednou z hlavních složek bezlepkového těsta. Způsobuje rozpouštění přidávaných složek, umožňuje proces rehydratace a vzájemné interakce složek [48]. Tím se získává finální textura výrobku a dochází k ovlivnění sensorických vlastností výrobků [46]. Voda má velký vliv na fyzikální, např. expanze zabudovaného vzduchu, a chemické změny, např. mazovatění škrobu, které probíhají během pečení pečiva. Obsah vody a její distribuce má tak značný vliv na texturní vlastnosti, jako je měkkost střídy, křehkost kůrky a celková doba skladovatelnosti [48].

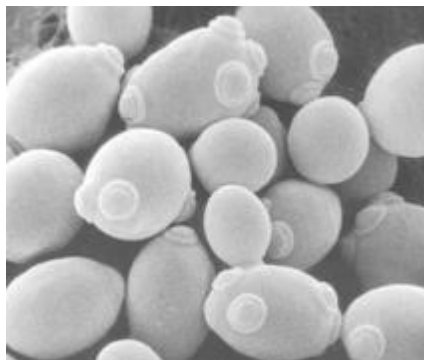
Vodíkové vazby se snadno napojují na hydroxylové skupiny škrobu. Z toho důvodu je škrob hydrofilní, nicméně vaznost vody škrobem je do značné míry ovlivněna velikostí škrobových granulí. Zatímco malé škrobové granule jsou ve vodě snadno rozpustné, nepoškozené škrobové granule vlivem své velikosti v důsledku delšího pronikání vody do škrobových granulí vykazují horší rozpustnost. Voda je prostřednictvím vodíkových vazeb rovněž vázána na bílkoviny, což jsou polymery aminokyselin mající taktéž hydrofilní skupiny. Některé skupiny ale mohou obsahovat i hydrofobní segmenty. Vysokou vaznost vody vykazují také pentozany [46].

Středně tvrdá voda nemá vliv na produkci plynu, ani samotné zadržování plynu není problematické. Tato voda se nejlépe hodí pro výrobu chleba. V případě, že je voda středně tvrdá, je možné použít kyselinu mléčnou nebo pyrofosforečnan vápenatý. Je-li voda měkká, pak je možné jako korekční činidlo použít enzymové doplňky [47].

⁶ Voda může být rozdělena do čtyř skupin sestávající z měkké vody, tvrdé vody, alkalické vody a kyselé vody. Měkká voda má nízký obsah rozpuštěných minerálních látek, zatímco tvrdá voda obsahuje rozpuštěné minerální látky ve značném množství. Jsou-li v půdě přítomny kovy alkalických zemin, voda má tendenci stát se alkalickou. Kyselá voda se často vyskytuje v oblastech, kde jsou doly nebo rozvinutý průmysl [47].

3.3 Droždí

Droždí je tvořeno kvasinkami, což jsou eukaryotické chemoheterotrofní mikroorganismy. Systematicky se řadí mezi houby a vzhledem k jejich velikosti mezi mikromycety (mikroskopické houby) spolu s plísněmi. Kvasinky jsou většinou jednobuněčné organismy rozmnožující se pučením nebo dělením [49].



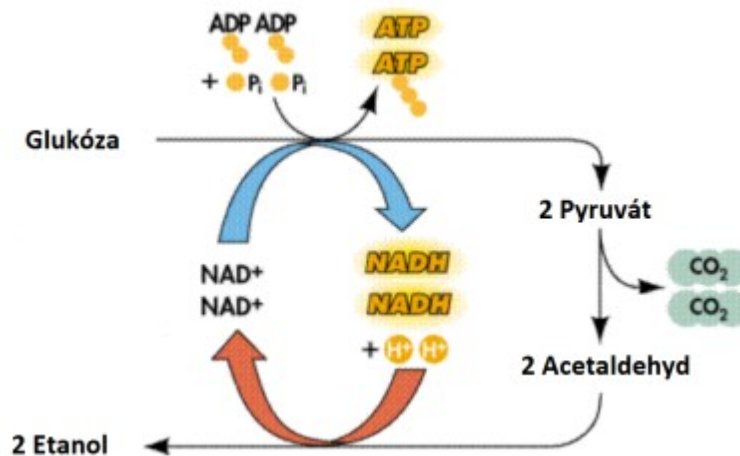
Obr. 12: Kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* [50]

Kvasinky vyžadují pro svůj růst kyslík, nicméně mají schopnost změnit metabolismus za anaerobních podmínek na fermentační. Rostou v širokém rozmezí pH (3 až 11) teplot (0 až 45 °C). Některé druhy jsou osmotolerantní. Většina kvasinek má nízkou odolnost vůči vyšším teplotám, kdy při 56 °C dochází k jejich usmrcení již po 2 až 5 minutách [49].

Komerční druhy pekařského droždí jsou definovány jako domestikované kmeny *Saccharomyces cerevisiae* [51], které byly modifikovány z divokých kmenů kvasinek vyskytující na povrchu ovoce nebo slupkách bobulí révy vinné [52], aby se dosáhlo rychlého růstu a vysoké tvorby biomasy a s tím spojeného vysokého výnosu [51].

Droždí je podstatnou složkou mnohých pekařských výrobků. Hlavním úkolem droždí je tvorba oxidu uhličitého, který vzniká při alkoholovém kvašení cukrů. Tvorbou oxidu uhličitého dochází k vývinu struktury střídy a poskytuje tak požadovaný objem výrobku. Kvasinky také přispívají k charakteristické chuti biologicky kypřeného pečiva [51].

V přítomnosti kyslíku probíhá u kvasinek aerobní dýchání, při kterém vzniká z glukózy oxid uhličitý a voda. Zisk energie v podobě ATP je vysoký. Ovšem když kyslík není přítomen, u kvasinek dochází k přeměně aerobního dýchání na anaerobní, při kterém dochází k částečnému rozkladu cukrů na oxid uhličitý a etanol. Zisk energie v podobě ATP je podstatně nižší [50].



Obr. 13: Přepracované schéma etanolové kvašení [50]

Celý proces kvašení zahrnuje dvě hlavní fáze. V první fázi dochází k rozštěpení molekuly glukózy ($C_6H_{12}O_6$) na dvě molekuly pyruvátu ($C_3H_4O_3$), též známý jako kyselina pyrohroznová. Děje se tak prostřednictvím NAD^+ (dochází k redukcí glukózy na pyruvát). Zároveň vznikají dvě molekuly ATP, na základě čehož se NAD^+ mění na NADH. Z dvou molekul pyruvátu vznikají po dekarboxylaci dvě molekuly acetaldehydu. Následuje druhá fáze, při které se dvě molekuly acetaldehydu redukují prostřednictvím NADH na dvě molekuly etanolu, přičemž NADH se recykluje zpět na NAD^+ a celý proces se může znovu opakovat. Sled enzymově katalyzovaných reakcí, kdy dochází k přeměně glukózy a pyruvát, se nazývá glykolýza [52].

3.3.1 Lisované droždí

Lisované droždí se při výrobě pečiva využívá nejčastěji. V tržní síti jsou k nalezení ve formě hranolu o hmotnosti 500 až 1000 g. Lisované droždí uváděné na trh v České republice je typické svou bílou barvou a drobnou strukturou, zatímco v jiných státech může být tmavší a plastičtější. Lisované droždí se skladuje při teplotě od 4 do 6 °C [21].

3.3.2 Granulované droždí

Postupujícím vývojem výroby pekařských výrobků nabylo na významu také granulované droždí. Použití granulovaného droždí ve větších pekárnách přináší řadu výhod jako jednoduchá manipulace nebo dosahování vyššího výtěžku vodné suspenze po rozpuštění granulovaného droždí. Komerční přípravky granulovaného droždí mají velmi variabilní granulaci. Částičky granulovaného droždí mohou být >3 mm nebo také <1 mm [54].

Nejčastěji se do tržní sítě dodává v pytlích o hmotnosti 25 kg. Stejně jako u lisovaného droždí je nutné dodržet teplotní podmínky při skladování [21].

3.3.3 Instantní sušené droždí

Instantní sušené droždí lze aplikovat do mouky bez rehydratace. Používá se stejným způsobem jako lisované droždí. Dávkování tvoří přibližně jednu třetinu ve srovnání s lisovaným droždím [21].

3.3.4 Aktivní sušené droždí

Velkou výhodou aktivního sušeného droždí je jeho vysoká trvanlivost s minimální ztrátou aktivity. Je odolné vůči zátěži, která je spojena s dehydratací a následnou rehydratací. Další výhodou je jeho snadná přeprava a možnost přidavku do komplexních směsí společně s moukou. Při výrobě tohoto droždí dochází ke snižování obsahu dusíku na 6 až 7 %. V opačném případě dochází ke ztrátě fermentační aktivity a snížení stability během skladování [55].

3.4 Cukr

Cukr dodává pečivu požadovanou chuť a také poskytuje startér pro kvašení [56] v dávce 1 až 2 % [21]. Přídavek cukru rovněž podporuje karamelizaci cukrů a Maillardovy reakce, které vedou k požadovanému hnědému zbarvení kůrky na povrchu pečiva [56].

3.5 Sůl

Pro přípravu těsta se používá jemně mletá sůl. Přídavkem soli dojde k prodloužení doby vývinu těsta, snížení aktivity kvasinek a snížení vaznosti vody. Obvykle postačuje 0,1% přídavek soli vztaheného na hmotnost mouky. Běžně se ale používají dávky 1 až 2 % [21]. Sůl napomáhá získat snadno zpracovatelná těsta. Přídavek soli dále podporuje celkový vývin chuti finálního výrobku a barvy kůrky [11].

3.6 Hydrokoloidy

Absence lepku v těstech bývá důvodem nežádoucí struktury těsta a následně i pečiva. Aby se dosáhlo požadovaných viskoelastických vlastností těst, je nutné použít přídavek různých

hydrokoloidů nahrazujících lepek. Ačkoliv jsou hydrokoloidy vhodnou alternativou náhrady lepku, umožňují zadržení plynu a dosažení podobných reologických vlastností jako u pšeničného těsta, je stále obtížné dosáhnout takových kvalit jak je tomu u pšeničného těsta, protože trojrozměrná struktura vytvořená prostřednictvím hydrokoloidů je slabší ve srovnání s lepkem. Hydrokoloidy umožňují také mazovatění škrobu a prodloužení celkové kvality bezlepkových výrobků v delším období [57].

V pekařském průmyslu se k celkovému vylepšení textury finálního výrobku nejčastěji využívá alginát sodný, κ -karagenan, guarová a lokustová guma, xantan, hydroxypropylmethylcelulóza (HPMC) [58] a karboxymethylcelulóza (CMC) [59]. Přídavkem těchto hydrokoloidů do těsta dochází ke zlepšení kvalitativních parametrů a viskoelastických vlastností, zvýšení absorpce vody a specifického objemu pečiva [58]. Hydrokoloidy mohou být také použity v kombinaci pro uskutečnění synergického vlivu, např. směs xantanu a guarové gumy má za následek posílení vlivu hydrokoloidů na texturu výsledného pečiva než by bylo u samostatných složek hydrokoloidů [59].

3.6.1 Algináty

Algináty pochází z mořských hnědých řas patřících do čeledi Phaeophyceae. Mezi komerčně využívané algináty patří soli kyseliny alginové [60] jako je alginát sodný, alginát draselný, alginát amonný a alginát vápenatý [61]. Jedná se kyselinu alginovou v kombinaci s minerály. Algináty mají výrazný vliv na vlastnosti těsta, což vede k jeho posílení [60].

Vzhledem k jeho nízké ceně, stabilním vlastnostem a unikátní citlivosti k hodnotě pH jsou algináty obvykle používány v potravinách jako zahušťovadla, emulgátory, stabilizátory. Aplikací alginátu dochází ke zvýšení stability v systému potraviny (zabránění oddělování tekutiny) a získání specifických strukturních charakteristik [62]. Algináty z mořských řas se hojně využívají jako přísada při výrobě chleba [60]. Jeho přídavek může zvýšit retenci vlhkosti a výrazně tak modifikovat vlastnosti finálních výrobků [62].

3.6.2 Kapa-karagenan

Karagenan patří mezi polysacharidy červených mořských řas. Jedná se především o rody *Kappaphycus*, *Euchema*, *Chondrus* a *Gigartina*. Každá z těchto mořských řas produkuje různé karagenany s různou chemickou strukturou [63]. Kappa-karagenany se získávají

izolací z mořských řas rodu *Kappaphycus* a *Euchema*. Existují také ι-karagenany a λ-karagenany, které se izolují z rodů *Gigartina* a také *Chondrus* [64].

Kappa-karagenan tvoří silný gel v přítomnosti draselných iontů [65]. Kappa-karagenan se rozpouští v horké vodě, sodná sůl iota karagenanu i ve studené vodě [66]. Přídavek κ-karagenanu výrazně zlepšuje reologické charakteristiky pečiva. Ve směsi s lecitinem zlepšuje objem a strukturu pečiva. V důsledku interakce s kaseinem je využití κ-karagenanu orientováno zejména na oblast mléčných výrobků v koncentracích 0,01 až 0,1 % [65].

Tab. 1: Porovnání vlastností karagenanů [67]

Typ karagenanu	Gel	Viskozita
Kappa	křehký	nízká
Iota	elastický	střední až vysoká, tixotropní ⁷
Lambda	netvoří	střední až vysoká

3.6.3 Guarová guma

Guarová guma je galaktomannan získaný ze semen rostliny *Cyamopsis tetragonoloba*. Guarová guma vytváří vysoce viskózní roztoky již při nízké koncentraci a vykazuje vysokou efektivitu při zahušťování a stabilizaci. V pekařských výrobcích prodlužuje trvanlivost výrobků zadržováním vlhkosti v pečivu, pravděpodobně z důvodu možné inhibice retrogradace amylopektinu. Další předností guarové gumy je zabránění možné synergeze v mražených potravinách a koláčích s náplní. Vliv tohoto hydrokoloidu v případě mraženého těsta je široce diskutován [68]. Guarová guma v případě mražených těst poskytuje produkty s nežádoucími vlastnostmi, neboť snižuje specifický objem a pórovitost pečiva s malou tloušťkou kůrky [69].

Široké větvení molekuly guaru má za následek poměrně snadnou hydrataci a rovněž vykazuje stabilitu v roztocích s pH 4 až 10. Guarová guma je často používána s xantanovou gumou pro účely synergického efektu. Guarová guma má pestrou škálu použití. Běžně se používá v koncentracích 0,1 až 0,5 %. Přídavek guarové gumy dodává

⁷ **Tixotropní** látky se v případě smykového namáhání vyznačují zpočátku vysokou zdánlivou viskozitou, ale s časem tato vysoká zdánlivá viskozita klesá. Z toho důvodu bývají tixotropní látky označovány jako látky řidnoucí. V případě zastavení smykového namáhání se začíná zdánlivá viskozita vracet ke své původní hodnotě [21].

těstu během jeho hnětení vyšší pružnost, snižuje tvrdost kůrky pečiva po upečení, zvyšuje specifický objem pečiva, zlepšuje texturu a zpomaluje stárnutí pečiva. Používá se jako stabilizátor ve zmrzlinách, dále jako náhrada za pšenici v bezlepkových pekařských výrobcích, zvýšení objemu a zpomalení stárnutí pekařských výrobků [65].

3.6.4 Lokustová guma

Lokustová guma (též karubin nebo guma ze svatojánského chleba) se získává ze semen rostliny *Ceratonia siliqua* L. [68] rostoucí v oblasti Středozemního moře. Stejně jako guarová guma se po chemické stránce jedná o galaktomannan [65].

Lokustová guma sama o sobě gel netvoří, ale zvyšuje pružnost a pevnost agarových gelů a gelů z karagenanů [70]. Gel je vytvořen pouze ve směsi s xantanem, který také samostatně gel nevytváří, v poměru 0,25:0,75 ve sledu xantan a lokustová guma. Lokustová guma se používá za účelem zvýšení objemu a zpomalení stárnutí pekařských výrobků, stabilizace a zahuštění ovocných náplní a mražených polotovarů. Používá se v koncentraci 0,1 až 0,5 %. Ve srovnání s guarovou gumou vykazuje horší rozpustnost [65]. V pekárnách má své uplatnění díky vysokým výtěžkům pečených produktů vzhledem k lepší struktuře finálních výrobků a požadované viskozitě zpracovávaného těsta. Navíc se zdá být účinný při snižování hladiny tuků v lidském těle a uplatnění nachází i v léčbě diabetiků [68].

3.6.5 Xantan

Xanthanová guma je extracelulární polysacharid vylučovaný prostřednictvím bakterie *Xanthomonas campestris*. Tento hydrokoloid při výrobě pečiva nabývá na významu zejména z důvodu většího specifického objemu a zadržené vlhkosti uvnitř výrobku a s tím související vyšší pevnost střídy s minimální rozpadavostí a větší odolností při případných deformacích při přepravě. Při nízkých koncentracích zajišťuje stabilitu při skladování a vazebnou kapacitou vody. Jeho pseudoplastické⁸ chování je důležité v průběhu přípravy těsta při čerpání, hnětení a tvarování pekařských výrobků. To zabraňuje tvorbě případných hrudek při hnětení a zlepšuje homogenitu těsta. Xantan také zlepšuje soudržnost

⁸ Pseudoplastické chování je typické pro kapaliny, jejichž viskozita s rostoucím rychlostním gradientem (deformační silou) klesá [21].

škrobových granulí, čímž zajišťuje vhodnou strukturu pekařských výrobků. Toho se cíleně využívá pro zvýšení vazby vody během pečení a následného skladování. Tím dochází i k prodloužení trvanlivost pečiva a chlazeného těsta [68].

Žádoucích charakteristik výsledného pečiva jako je vyšší specifický objem, vysoká pórovitost a měkčí kůrka se dosáhne pouze při nízkých koncentracích xantanu (0,16 % na použitou mouku) [71]. Nejčastěji se používá v koncentraci 0,1 až 0,25 % [65]. Vyšší koncentrace xantanu mají za následek naopak snížení specifického objemu ve srovnání se standardním pečivem [71]. Xantan je rozpustný ve studené vodě, poskytuje roztoky s vysokou a stabilní viskozitou nezávislou na hodnotě pH. Tento hydrokoloid je také odolný vůči enzymatické degradaci. Xantánová guma tvoří gely. Ve směsi s guarovou, lokustovou a konjakovou gumou na základě synergického efektu gely vytváří [72]. Xantan se běžně používá při výrobě bezlepkového pečiva jako určitá alternativa za lepek, dále se využívá při výrobě dezertů a mléčných výrobků, ke stabilizaci emulze (většinou oleje ve vodě) a ke zlepšení stability zmrazených těst [65].

3.6.6 Hydroxypropylmethylcelulóza

Hydroxypropylmethylcelulóza (HPMC) je ve vodě rozpustný derivát celulózy, který se v potravinách používá již několik desetiletí za účelem efektivnějšího výrobního procesu a lepších vlastností výrobků [73]. Tato látka se získává přidáním metylových a hydroxypropylových skupin do řetězce celulózy. HPMC napomáhá těstu udržet jeho jednotnost a umožňuje těstu zachování stability emulze v průběhu výroby pekařských výrobků. Bylo rovněž prokázáno, že použití HPMC v pečivu napomáhá zvyšovat objem, obsah vlhkosti a optimalizovat texturní a sensorické vlastnosti. Kromě toho je tento hydrokoloid dobrý proti stárnutí pečiva. Tento účinek HPMC je možné přičíst retenci vody v pečivu a možné inhibice retrogradace amylopektinu [68]. Nejčastěji se používá v koncentraci 0,1 % [65].

3.6.7 Karboxymethylcelulóza

Karboxymethylcelulóza (CMC) je derivát celulózy s karboxymetylovými skupinami vázanými na hydroxylové skupiny přítomných v glukopyranózových monomerech, které tvoří hlavní řetězec celulózy. CMC se používá v pekařských výrobcích většinou za účelem udržení vlhkosti, zlepšení výsledného objemu a rovnoměrnosti pekařských výrobků a ke zvýšení trvanlivosti výrobků [68]. Nejčastěji se používá v koncentraci 0,1 až 0,2 % [65].

3.7 Další suroviny

Do výroby bezlepkového pečiva je možné zařadit i další suroviny jako je mléko, tuky, vejce a emulgátory.

3.7.1 Mléko

Přídavkem mléka do bezlepkového těsta se zvýší nutriční hodnota výsledného pečiva vlivem mléčných bílkovin obsažených v mléce. Kromě nutriční hodnoty dochází ke zlepšení texturních a sensorických vlastností. Bezlepkové pečivo obsahující ve svém složení mléčnou složku není vhodné pro osoby trpící nesnášenlivostí na laktózu [74].

3.7.2 Tuky a oleje

Tuky významně ovlivňují chutnost finálních pekařských výrobků. Nejčastěji se v pekárnách využívají margaríny a rostlinné oleje. Tuky hrají důležitou roli ve stabilizaci vzduchových pórů uvnitř bezlepkového pečiva. Během pečení dochází ke ztekucení tukových krystalků, což zapříčiní vznik mezifázového rozhraní tuk-kapalina, který umožňuje tvorbu bublin s následnou expanzí a zabraňuje jejich zhroucení [11].

3.7.3 Vejce

Vejce jsou jedinečným zdrojem živin. Zvláště účinný je ovalbumin nebo fosfolipidy z vaječného žloutku působící jako emulgátory. Přídavkem vaječné hmoty do těsta dochází ke zlepšení vizkoelastických vlastností. Nevýhodou této ingredience je její alergenita [11].

3.7.4 Emulgátory

Emulgátory jsou látky, které mají lipofilní a hydrofilní část. Snižují povrchové napětí mezi dvěma obvykle nemísitelnými fázemi. Výsledkem je schopnost tvořit emulze. V případě bezlepkového pečiva dojde k tvorbě filmu kolem vzduchových bublin, čímž dojde k jejich stabilizaci a chrání je před koalescencí a zhroucením [11]. Nejčastěji se v roli emulgátorů uplatňuje mono- a diglyceridy mastných kyselin, lecitin, stearyl-2-laktylát sodný [68].

4 TECHNOLOGIE VÝROBY BEZLEPKOVÉHO PEČIVA

Technologie výroby bezlepkového pečiva sestává z následujících kroků jako je hnětení, dělení těsta, kynutí, pečení s následným chlazením. S bezlepkovým pečivem souvisí i jeho rychlé stárnutí způsobené vysycháním.

4.1 Hnětení

První etapou zpracování těsta je hnětení těsta, kterému zpravidla předchází směšování surovin. Směšování je nejdůležitější fáze celého výrobního procesu pekařských výrobků. V případě nesprávného provedení nelze zajistit pozdější nápravy. Všechny ingredience musí být přesně zváženy. K reaktivaci kvasinek se použije vlažná voda [75] s následným přidavkem cukru. Následuje regenerace po dobu 10 až 15 minut, při které dochází k aktivaci kvasinek [76]. Kvasinky nesmí přijít do přímého kontaktu se solí. Sůl by měla za následek vysychání kvasinek a jejich následnou deaktivaci. Samotný proces hnětení má za cíl jednotně začlenit všechny použité ingredience do struktury těsta, hydratovat mouku a další suché suroviny a v neposlední řadě rozvinout trojrozměrnou síť těsta. Důležitým parametrem v rámci hnětení je jeho délka. Případné nedohnětení nebo přehnětení těsta bude mít vliv na jeho vlastnosti při manipulaci a výsledné texturní charakteristiky finálního pečiva [75]. Doporučuje se pomalejší a delší hnětení, než hnětení rychlé a krátké. V opačném případě bude těsto tužší konzistence [76].

Těsto musí být pružné, aby bylo možné zachytit plyn vytvořený kvasinkami, který bude v těstě expandovat a dodávat tak těstu potřebný objem. Bez této pružnosti nebude mít těsto požadovanou strukturu. Výsledkem by bylo velmi tuhé pečivo. Hnětení bezlepkových těst zlepšuje strukturu střídky. Pouze je zapotřebí optimální doba hnětení, která těstu zajistí správnou konzistenci [77].



Obr. 14: Hnětení bezlepkového těsta [77]

Nejjednodušší způsob, jak hnětení těsta provést, je prostřednictvím hnětače, vybaveného ocelovým hákem a podstavcem pro hnětací mísu. Hnětení zajišťuje správnou distribuci vody a zpracování přísad. Hnětení se provádí do okamžiku, kdy těsto začne vykazovat lesklé, hladké, pružné a elastické znaky. Ve srovnání s pečivem obsahujícím lepek je celková doba hnětení o více jak polovinu kratší, obvykle jen několik minut [77].

4.2 Dělení a tvarování

Těsto se dělí na kousky o stejné hmotnosti, případně objemu, těsta na tzv. klonky. Velikost takového klonku je určena velikostí finálního výrobku. Nejčastěji se těsto dělí objemově. Cílem tvarování je dát kousku těsta požadovaný tvar výrobku. Tvarování může být ruční, častěji se ale používají různá zařízení [21].

4.3 Kynutí

V důsledku dělení a tvarování došlo k vypuzení části kypřícího plynu. Pro obnovení textury těsta se proto provádí kynutí. Vytvarované kousky těsta se nechávají kynout v zařízeních zvaných kynárnách s řízenou teplotou (min. 26-28 °C) a vlhkostí (min. 70 %). Doba kynutí se liší podle druhu vyráběného pečiva [21].

4.4 Pečení

Pečení pekařských výrobků lze definovat jako proces, při kterém dochází k transformaci těsta vyrobeného z mouky, vody a jiných přísad na konkrétní pekařské výrobky s jedinečnými senzoryckými vlastnostmi. Vzhled a barva povrchu pečiva jsou zpravidla prvním parametrem kvality, který je pro spotřebitele rozhodující a mnohdy rozhoduje o koupi výrobku zákazníkem [78].

V současné době se používají pece s nepřímým vytápěním [21]. Pece lze rozdělit podle způsobu ohřevu na pece horkovzdušné a etážové. U horkovzdušné pece dochází k rychlejšímu a rovnoměrnějšímu pečení, neboť pekařské výrobky jsou obtékány proudícím horkým vzduchem ze všech stran. U etážové pece je hlavní výhodou úspora prostoru vzhledem k tomu, že plochy sloužící pro uložení pekařských výrobků při pečení jsou umístěny v několika patrech nad sebou [79]. Během pečení vlivem rostoucí teploty dochází ke čtyřem zásadním změnám jako je expanze vzduchových pórů, mazovatění škrobu v závislosti na přítomnosti vody a koagulaci proteinů, transformace počáteční

struktury s uzavřenými vzduchovými póry do porézní struktury s propojenými póry se současnou tvorbou hnědých produktů v důsledku Maillardových reakcí a migrace vody v závislosti na tloušťce pečiva a podmínkách pečení. Zároveň dochází k podpoře enzymových aktivit [80].

Při samotném vkládání těsta do pece je těsto tříšložkovou disperzí. Spojitý podíl disperze tvoří gel nabobtnalých bílkovin. Nespojitý podíl disperze tvoří částečně nabobtnalé, nicméně nezmazovatělé škrobové granule. Třetí složku disperze tvoří plynové póry. Prostup tepla těstem je velmi pomalý, což způsobuje velmi rozdílné teploty na povrchu a uprostřed výrobku. Vzhledem k velkému rozdílu mezi teplotou těsta a teplotou vnitřního prostoru pece dochází v momentě vložení těsta do pece ke kondenzaci vody na povrchu těsta. Tím je usnadněn prostup tepla do vrchní vrstvy těsta, což zásadně urychlí mazovatění škrobu na povrchu a dává tak základ pro vytváření kůrky. Postupným prohříváním dochází k migraci vody uvnitř těsta ve směru teplotního spádu. Po pár minutách započetí pečení se ve středové části těsta začne zvyšovat vlhkost. Maximální vlhkosti těsta se dosáhne po 5 minutách pečení. V důsledku rostoucí teploty a vysoké vlhkosti uvnitř těsta dochází k podpoření činnosti amyláz a produkci kypřicího plynu. Po překročení teplotní hranice 50 °C dochází k usmrcení kvasinek. Teplota ovšem směrem do středových částí klesá, kde je vlivem stále pokračující činnosti kvasinek produkován kypřicí plyn. Těsto tak nadále zvětšuje svůj objem, byť v povrchových a podpovrchových vrstvách již došlo k odumření kvasinek. Při teplotách kolem 60 °C začínají nepoškozené škrobové granule absorbovat vodu uvolněnou z denaturovaných bílkovin. Škrobové granule začínají prskat a škrob mazovatět. Škrobový maz je štěpen amylázami na produkty štěpení, které jsou kvasinkami metabolizovány na CO₂ a etanol. Etanol vlivem pečení z výrobku zcela vytéká. Aktivita amyláz musí být optimální. Při příliš nízké aktivitě objem výrobku malý, zatímco při příliš vysoké aktivitě může dojít ke zborcení struktury výrobku [21].

4.5 Chlazení

Výroba upečením nekončí. Vzhledem ke hmotnosti výrobku je velmi důležité jeho vychladnutí a následné uskladnění. Výrobky se nechávají volně chladnout na vozících, dokud i střed výrobku dostatečně vychladne [81]. Chladnutím čerstvě upečeného pečiva se vytváří gradient vlhkosti. Přesun vlhkosti ze střídky do kůrky způsobují rozdíly mezi parciálními tlaky par v kůrce a uvnitř pečiva. Obsah vlhkosti uvnitř pečiva se snižuje,

zatímco ve vnějších částech pečiva narůstá. Existuje předpoklad, že rozsah stárnutí pečiva úzce souvisí s obsahem vlhkosti, přičemž pomalejší stárnutí pečiva bylo zjištěno u pečiva s vyšším obsahem vlhkosti [82].

Poté se výrobky mohou balit. Některé výrobky se před balením a expedicí krájí na plátky na strunových nebo nožových rezačkách. Manipulace s výrobky po upečení podléhá zvýšenému hygienickému dozoru [81].

4.6 Stárnutí pečiva

Stárnutím pečiva se z měkké, lehkostlačitelné a nedrobivé střídky stává tvrdá, těžkostlačitelná a drobivá. Kůrka, která je po upečení křupavá, tvrdá a lesklá se stává měkkou a zvrásněnou. Dochází ke ztrátě charakteristické příjemné vůně čerstvého pečiva. Stárnutí pečiva lze definovat i jako proces, při kterém během skladování, další manipulace a uvádění na trh probíhají změny v kvalitě střídky a kůrky v důsledku retrogradace škrobu a migrace vlhkosti ze střídky do kůrky. Migrace vlhkosti zapříčiňuje zejména vysychání střídky související s vyrovnáváním vlhkosti mezi střídkou a kůrkou. Rychlost retrogradace závisí na teplotě prostředí, vlhkosti a druhu škrobu. Přítomnost cukru a soli stupeň retrogradace snižuje. Retrogradace je potlačována i v přítomnosti tuků. Existují ovšem zlepšující přípravky a potravinářská aditiva (použití enzymových preparátů, hydrokoloidů a emulgátorů) pro účely prodloužení trvanlivosti pekařských výrobků [82].



Obr. 15: Retrogradace škrobu [83]

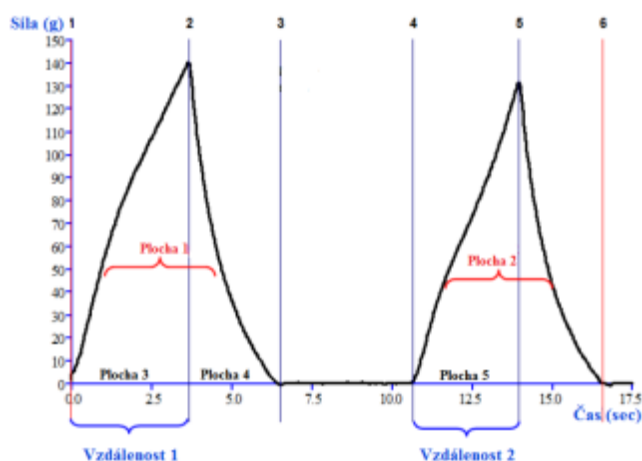
5 MĚŘENÍ TEXTURNÍCH VLASTNOSTÍ V ZÁVISLOSTI NA PŘÍDAVCÍCH VODY DO TĚSTA

K měření texturních vlastností slouží texturní profilová analýza (TPA), která se v potravinářském průmyslu úspěšně prosadila. V potravinářství nachází využití v oblasti texturních charakteristik potravin [84].



Obr. 16: Texturní analyzátor TA.XT plus [84]

Jedná se o objektivní metodu měření, která vyhodnocuje sílu potřebnou ke stlačení vzorku vloženého pod zatěžovací sondou v průběhu dvou deformačních cyklů. Tato analýza simuluje podmínky napodobující dutinu ústní. Vzorek je stlačován konstantní rychlostí. Výstupem tohoto měření je křivka, která podává informaci o závislosti síly potřebné na vyvolání deformace vzorku [85].



Obr. 17: Záznam texturního analyzátoru podle Texture Technologies Corp. [87]

Podmínkou měření je, aby zatěžovací sonda měla větší průměr, než který má samotný testovaný vzorek. Další nezbytnou podmínkou je, aby testovaný vzorek měl rovný řez při

kontakty s plochou zatěžovací sondy. Vzorky vyhodnocované na texturním analyzátoru se zpravidla před vlastním měřením upravují výkrojem ve tvaru válce o definované tloušťce (rozhodující je výška výrobku). Z výsledné křivky se vyhodnocují následující charakteristiky texturní profilové analýzy jako je tvrdost, pružnost, elasticita, kohezivnost, žvýkatelnost [85].

5.1 Tvrdost

Tvrdost (hardness) bývá nejčastěji definována jako mechanická texturní vlastnost, která vyjadřuje sílu potřebnou k vyvolání deformace nebo penetrace analyzovaného vzorku [86].

5.2 Pružnost

Pružnost (resilience), podobně jako tvrdost, je mechanická texturní vlastnost určující rychlost obnovení tvaru po odstranění síly, která vzorek deformuje. Pružnost bývá nejčastěji definována jako poměr energie vynaložené na stlačení vzorku k energii nutné na vrácení vzorku do původního stavu v rámci prvního stlačování (deformace) vzorku [87]. Vzorek vykazující vysokou pružnost je po odlehčení navrácen do původního stavu [86].

5.3 Elasticita

Elasticita (springiness) se vyjadřuje jako poměr původní výšky měřeného vzorku před jeho stlačením k poměru výšky po jeho stlačení. Elasticita bývá vyhodnocena podle vzdálenosti detekované výšky v průběhu druhého stlačení ke vzdálenosti původní výšky [87].

5.4 Kohezivnost

Kohezivností (cohesiveness) se též rozumí soudržnost, která vyjadřuje míru možné deformace vzorku, než dojde k samotné deformaci. Kohezivnost zahrnuje i lámavost a rozpadavost vzorku [86].

5.5 Žvýkatelnost

Žvýkatelnost (chewiness) propojuje všechny výše uvedené texturní vlastnosti jako je tvrdost, pružnost, elasticita a kohezivnost. Žvýkatelnost souvisí s energií potřebnou na vynaložení úsilí, aby sousto potravin bylo vhodné k polknutí [86].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce bylo stanovení vlivů různých přísad vody u bezlepkových pekařských výrobků se zaměřením na jejich texturní vlastnosti s určením optimálního přísady vody v závislosti na vybrané bezlepkové mouce.

7 MATERIÁL A METODIKA

Tato kapitola pojednává o surovinách, které byly použity pro výrobu bezlepkového pečiva. Kapitola dále uvádí použité zařízení a přístroje, pomocí kterých bylo možné dosáhnout výsledků této diplomové práce. Metodika experimentální části diplomové práce popisuje jednotlivé postupy, na základě kterých probíhala výroba bezlepkového pečiva s následnou analýzou prostřednictvím texturního analyzátoru. Kapitola je zakončena statistickou analýzou získaných dat.

7.1 Použité suroviny

Pro výrobu bezlepkových výrobků byla použita rýžová mouka výběrová nativní, kterou zdarma poskytla firma Extrudo Bečice, s. r. o., Týn nad Vltavou, a rýžová mouka hladká, kterou zdarma poskytla firma ADVENI MEDICAL, spol. s r. o., Brno. Specifikaci výživových údajů rýžových mouk uvádí tabulka 2:

Tab. 2: Specifikace výživových údajů použitých rýžových mouk

Výživové údaje na 100 g	Extrudo Bečice, s. r. o.	ADVENI MEDICAL, spol. s r. o.
Energetická hodnota	1464 kJ / 350 kcal	1484 kJ / 349 kcal
Tuky	0,4 g	0,6 g
z toho nasycené mastné kyseliny	0 g	0,3 g
Sacharidy	74,3 g	79 g
z toho cukry	0 g	0 g
Bílkoviny	8,8 g	7,0 g
Vláknina	1,3 g	neuveдено
Sůl	0 g	0,03 g

Bezlepkové výrobky rýžových mouk jsou uvedeny pod označením prostřednictvím písmen z důvodu zachování anonymity výsledků mouk konkrétních výrobců.

K přípravě bezlepkových výrobků byly dále použity následující suroviny:

- pitná voda,
- sušené pekařské droždí (Dr. Oetker s. r. o., Kladno),
- cukr (Cukrovar Vrbátky a. s., Vrbátky),
- sůl (K+S Czech Republic a. s., Olomouc),
- hydrokoloid – guarová guma (poskytla zdarma společnost Brenntag CR s. r. o., Praha).

7.2 Použité přístroje a zařízení

K přípravě těst byly použity:

- váha pro stanovení vlhkosti mouky (KERN DLB, Česká republika),
- laboratorní váhy pro navážky surovin (KERN DLB, Česká republika),
- termostat pro aktivaci droždí,
- hnětač (Eta, a. s., Česká republika),
- kombinovaná pec s kynárnou MIWE cube (Pekass, s. r. o., Česká republika).

K hodnocení bezpečkových výrobků a měření texturních charakteristik byly použity:

- laboratorní váhy pro stanovení hmotnosti výrobku před pečením a po pečení (KERN DLB, Česká republika),
- plastový granulát poskytnutý zdarma společností PLASTIKA a. s., Kroměříž s kalibrovaným odměrným válcem o objemu 250 ml a odměrným válcem o objemu 90 ml pro stanovení specifického objemu,
- krájecí stroj,
- texturní analyzátor TA.XT plus (Stable Micro Systems Ltd., Velká Británie) s použitou 50mm válcovou sondou (P/50),
- software Exponent Lite.

7.3 Výroba bezpečkového pečiva

Výroba bezpečkových výrobků probíhala ve třech vzorcích:

- vzorek „A“ z rýžové mouky od výrobce „X“,
- vzorek „B“ z rýžové mouky od výrobce „Y“,
- vzorek „C“ z rýžové mouky od výrobce „Y“ s 1% přídavkem guarové gumy.

Před započítáním vlastní výroby bezpečkových výrobků se nejdříve na váze pro stanovení vlhkosti stanovila vlhkost mouky. Do předem vysušené misky při 130 °C se navážily 4 g vzorku konkrétní mouky. Následovalo rozprostření vzorku po celé ploše misky do stejnoměrné vrstvy, vlastní sušení při 130 °C a stanovení výsledné vlhkosti rýžové mouky. Výsledná vlhkost (u rýžové mouky pro vzorek „A“ 8,85 %, pro vzorek „B“ 9,48 % a pro vzorek „C“ 8,92 %) se následně přepočítala na celkovou sušinu. Na základě tohoto zjištění se stanovil k procentuálním přídavkům vody přídavek vody v gramech. Následující tabulka 3 sumarizuje přídavky vody u jednotlivých typů vzorků při přípravě těsta:

Tab. 3: Přídavek vody při přípravě těsta

Vzorek	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %	110 %	120 %	130 %	140 %
	Přídavek vody [g]								
„A“	102,30	122,30	142,30	162,30	182,30	202,30	222,30	242,30	NP
„B“	101,04	121,04	141,04	161,04	181,04	201,04	221,04	241,04	261,04
„C“	NP	NP	142,16	162,16	182,16	202,16	222,16	242,16	262,16

NP – nebylo provedeno

Samotná příprava těsta pro výrobu bezlepkových výrobků začínala navážením jednotlivých surovin s přesností na dvě desetinná místa. Následující tabulka 4 zpřehledňuje navážky použitých surovin (mimo vodu):

Tab. 4: Přídavky dalších surovin

Vzorek	Přídavek surovin [g]				
	mouka	cukr	sušené droždí	sůl	guarová guma
„A“	200 ± 5	3,7 ± 0,5	3,6 ± 0,5	3 ± 0,5	NP
„B“					NP
„C“					2 ± 0,5

NP – nebylo provedeno

Nejdříve se nechalo sušené pekařské droždí reaktivovat v cukerném roztoku po dobu 10 ± 1 minuta při teplotě 35 ± 1 °C. K reaktivaci byl použit termostat s regulovanou teplotou. Po reaktivaci droždí byly veškeré suroviny podle druhu vyráběného výrobku smíseny a následně ihned hněteny po dobu 6 minut. Vyrobené těsto bylo zváženo. Po zvážení vyrobeného těsta bylo těsto rozděleno na 4 stejné klonky do forem. Po rozdělení byla zaznamenána hmotnost každého klonku. Po rozdělení jednotlivých klonků proběhl proces kynutí. Kynutí probíhalo v kynárně po dobu 20 ± 2 minuty při teplotě 30 ± 1 °C a 85% relativní vlhkosti. Teprve až po procesu kynutí následoval proces pečení v zapařovací peci po dobu 20 ± 2 minuty při teplotě 180 °C. Po procesu pečení docházelo k chladnutí při pokojové teplotě po dobu min. 2 hodin. Hodnocení bezlepkových výrobků probíhalo až po procesu chladnutí.

Každý vzorek výrobku „A“ až „C“ měl 4 dílčí vzorky pro konkrétní přídavek vody. U všech 4 dílčích vzorků bylo provedeno hodnocení ztráty hmotnosti v důsledku pečení, specifického objemu, texturní profilové analýzy a pro účely hodnocení pórovitosti byly pořízeny fotografie výrobků celkového tvaru a střídky při průřezu.

7.4 Hodnocení bezlepkového pečiva

U bezlepkových výrobků se hodnotila ztráta hmotnosti v důsledku pečení a specifický objem výrobků. Dále byla hodnocena texturní profilová analýza prostřednictvím texturního analyzátoru.

7.4.1 Ztráta hmotnosti

Výrobky vzorků byly po 2 hodinách chlazení zváženy na laboratorní váze. Výsledná hmotnost upečeného vzorku byla následně odečtena od hmotnosti vzorku před procesem kynutí a pečení. Výsledkem tohoto hodnocení je ztráta hmotnosti [%] podle následujícího vzorce:

$$ZP = \left(\frac{m_T - m_B}{m_T} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

kde ZP ztráta pečením [%],
m_T hmotnost těsta před upečením [g],
m_B hmotnost bochníku po upečení [g].

7.4.2 Specifický objem

Po vychladnutí vzorků a jejich zvážení se hodnotil specifický objem. K tomuto hodnocení se použil kalibrovaný 250ml odměrný válec, který byl po okraj naplněný plastovým granulátem. Po umístění vzorku do tohoto odměrného válce došlo k částečnému vytlačení plastového granulátu z odměrného válce. Vytlačený plastový granulát byl následně přesypán do 90ml odměrného válce. Z risky 90ml odměrného válce byla zaznamenána hodnota odsypaného objemu plastového granulátu, která byla následně použita pro výpočet specifického objemu [ml.g⁻¹].

7.4.3 Texturní profilová analýza

Pro texturní profilovou analýzu (TPA) byly 3 dílčí vzorky ze 4 dílčích vzorků rozkrájeny prostřednictvím kráječe s nastavitelnou šířkou řezů na 14mm plátky. Ze střídky plátku byl posléze kruhovým výkrojem vyřezán kroužek střídky o průměru 3 cm. Takto upravený vzorek byl poté podrobován TPA prostřednictvím texturního analyzátoru TA.XT plus. Ke kompresi byla použita kruhová 50mm sonda. Záznamy z měření byly vyhodnoceny pomocí softwaru Exponent Lite. Texturní profilovou

analýzou byly vyhodnoceny parametry jako je tvrdost, pružnost, elasticita, kohezivnost a žvýkatelnost.

Vzorky byly testovány celkem v 6 opakováních. Z každého vzorku byly získány 2 plátky střídky, ze které byl získán kruhový výřez. Výjimkou byl vzorek „B“ se 70% přídavkem vody, jehož struktura vykazovala po upečení vysokou rozpadavost, proto byla pro TPA u tohoto vzorku testována střídka pouze ve 3 opakováních (z každého dílčího vzorku se podařilo získat pouze 1 plátek s velmi nesouměrným kruhovým výřezem). V případě 60% přídavku vody téhož vzorku byla struktura vzorku natolik rozpadavá, že TPA nebylo možné stanovit.

7.4.4 Pórovitost

U vzorků byla dále hodnocena pórovitost střídky. U vzorků byl zhodnocen nejdříve celkový tvar a následně střídka při průřezu. Dle vizuálního posouzení se hodnotila velikost pórů, jejich množství a distribuce ve střídce.

7.5 Statistická analýza získaných dat

Získané hodnoty experimentální části byly statisticky zpracovány pomocí metody analýzy variance ANOVA. Průkaznosti rozdílů mezi vzorky byly následně vyhodnoceny pomocí Fisherova LSD testu na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Ke statistickému zpracování naměřených dat byl použit program Statistica CZ 12 software (StatSoft ČR s. r. o.).

8 VÝSLEDKY A DISKUZE

Kapitola je rozdělená na dvě podkapitoly. První podkapitola pojednává o naměřených a statisticky zpracovaných výsledcích. Druhá kapitola shrnuje naměřené výsledky a konfrontuje je s výsledky příbuzných studií.

8.1 Výsledky

V rámci experimentální části diplomové práce, a v souvislosti s metodikou uvedenou v předcházející kapitole, byly vyrobeny tři vzorky. Vzorek „A“ byl vyroben z rýžové mouky od jednoho výrobce. Vzorek „B“ a „C“ byl vyroben ze stejné rýžové mouky odlišné od rýžové mouky vzorku „A“. Vzorek „C“ na rozdíl od vzorku „B“ obsahoval přídavek hydrokoloidu v podobě 1% guarové gummy. Přídavek vody začínal na hodnotě 60 % a po 10 % se tento přídavek vody zvyšoval až do 140 %. Pouze u vzorku „A“ nebyl 140% přídavek vody testován v důsledku již zaznamenaného zlomu. U vzorku „C“ nebyly testovány 60 a 70% přídavky vody s ohledem na nevyhovující výsledky vzorku „B“ s nízkými přídavky vody.

8.1.1 Vliv přídavku vody na ztrátu hmotnosti pečením

V souvislosti s rozdílnými přídavky vody byla nejdříve testována hmotnostní ztráta vzniklá důsledkem pečení v podobě odparu vody.

Tab. 5: Ztráta hmotnosti výrobků [%]

Přídavek vody [%]	Vzorek „A“	Vzorek „B“	Vzorek „C“
60	15,9 ± 0,3 ^{bc}	18,7 ± 1,5 ^{gh}	NV
70	17,0 ± 0,3 ^e	17,5 ± 0,2 ^{ef}	NV
80	16,9 ± 0,3 ^{de}	16,1 ± 0,3 ^{cd}	14,7 ± 0,3 ^a
90	16,9 ± 0,5 ^{de}	16,9 ± 0,2 ^{de}	15,1 ± 0,1 ^{ab}
100	17,9 ± 0,4 ^{fg}	17,1 ± 0,2 ^{ef}	17,3 ± 0,3 ^{ef}
110	22,0 ± 0,9 ^{kl}	19,1 ± 0,2 ^{hi}	17,5 ± 0,5 ^{ef}
120	32,3 ± 1,0 ⁿ	20,1 ± 0,5 ^j	18,5 ± 0,3 ^{gh}
130	27,1 ± 1,3 ^m	22,5 ± 0,4 ^l	18,6 ± 0,2 ^{gh}
140	NV	21,3 ± 1,0 ^k	19,6 ± 0,2 ^{ij}

Hodnoty označené různými písmeny se průkazně liší na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

NV – nebylo vyrobeno

Zvyšující se přídavek vody zvyšoval ztrátu pečením (tab. 5). Hmotnostní ztráty způsobené odparem vody se zvyšovaly do bodového zlomu. Tento zlom inicioval optimální přídavek vody. V případě vzorku „A“ docházelo k největší hmotnostní ztrátě se **32,3 %** při 120% přídavku vody. Tato hodnota hmotnostní ztráty se statisticky významně lišila od ostatních hmotnostních ztrát přídavků vody vzorku „A“. U vzorku „B“ byla největší hmotnostní ztráta se **22,5 %** zaznamenaná u 130% přídavku vody. Tato hodnota hmotnostní ztráty se statisticky významně lišila od ostatních hmotnostních ztrát přídavků vody vzorku „B“. Vzorek „C“ vykazoval maximální ztrátu hmotnosti u 140% přídavku vody s hmotnostní ztrátou **19,6 %**. Tato hodnota hmotnostní ztráty se statisticky významně lišila od ostatních hmotnostních ztrát přídavků vody vzorku „C“. Maximální ztráta hmotnosti se mezi vzorkem „A“ až „C“ taktéž statisticky významně lišila, přičemž u vzorku „C“ docházelo k nejnižším hmotnostním ztrátám ve srovnání se vzorky „A“ a „B“.

8.1.2 Vliv přídavku vody na specifický objem

Rozdílné přídavky vody mají zásadní vliv na specifický objem bezlepkových výrobků.

Tab. 6: Specifický objem výrobků [$\text{ml}\cdot\text{g}^{-1}$]

Přídavek vody [%]	Vzorek „A“	Vzorek „B“	Vzorek „C“
60	$1,22 \pm 0,08^a$	$1,17 \pm 0,04^a$	NV
70	$1,36 \pm 0,07^{bc}$	$1,17 \pm 0,03^a$	NV
80	$1,43 \pm 0,04^{cde}$	$1,22 \pm 0,03^a$	$1,18 \pm 0,04^a$
90	$1,47 \pm 0,04^{def}$	$1,48 \pm 0,04^{def}$	$1,32 \pm 0,04^b$
100	$1,60 \pm 0,04^g$	$1,60 \pm 0,03^g$	$1,41 \pm 0,06^{cd}$
110	$1,71 \pm 0,03^h$	$1,75 \pm 0,04^h$	$1,49 \pm 0,07^{ef}$
120	$1,96 \pm 0,04^k$	$1,84 \pm 0,05^{ij}$	$1,73 \pm 0,07^h$
130	$1,87 \pm 0,06^j$	$1,84 \pm 0,05^{ij}$	$1,91 \pm 0,08^{jk}$
140	NV	$1,51 \pm 0,07^f$	$1,78 \pm 0,06^{hi}$

Hodnoty označené různými písmeny se průkazně liší na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

NV – nebylo vyrobeno

Zvyšující se přídavek vody zvyšoval specifický objem pečiva (tab. 6). Nárůst specifického objemu se zvyšoval do bodového zlomu. Tento zlom inicioval optimální přídavek vody. V případě vzorku „A“ docházelo k nejvyššímu nárůstu specifického objemu při 120% přídavku vody s hodnotou **1,96 $\text{ml}\cdot\text{g}^{-1}$** . Tato hodnota specifického objemu se statisticky významně lišila od ostatních vzorků „A“ s jinými přídavky vody. U vzorku „B“ byl největší nárůst specifického objemu shodně u 120 a 130% přídavku vody se stejnou

hodnotou $1,84 \text{ ml.g}^{-1}$. Tato hodnota specifického objemu se statisticky významně lišila od ostatních vzorků „B“ s různými přídávky vody. Vzorek „C“ vykazoval největší nárůst specifického objemu u 130% přídávky vody s hodnotou $1,91 \text{ ml.g}^{-1}$. Tato hodnota specifického objemu se opět statisticky významně lišila od ostatních vzorků „C“ s jinými přídávky vody. Nárůst specifického objemu v hodnotě optimálního přídávku vody byl u všech vzorků téměř vyrovnaný. Vzorek „C“ se v maximálním nárůstu specifického objemu významně nelišil od vzorku „A“ a „B“, nicméně mezi vzorkem „A“ a „B“ byl zaznamenán statisticky významný rozdíl.

8.1.3 Vliv přídávku vody na tvrdost

Tvrdost je jedním z měřených parametrů texturní profilové analýzy. Tvrdost byla hodnocena pomocí texturního analyzátoru TA.XT plus.

Tab. 7: Tvrdost výrobků [N]

Přídavek vody [%]	Vzorek „A“	Vzorek „B“	Vzorek „C“
60	113 ± 58^j	NS	NV
70	78 ± 11^{hi}	75 ± 15^{ghi}	NV
80	63 ± 4^{fgh}	85 ± 10^i	104 ± 11^j
90	35 ± 6^e	52 ± 4^f	58 ± 8^{fg}
100	21 ± 4^{bcde}	30 ± 3^{de}	36 ± 6^e
110	13 ± 1^{abc}	13 ± 4^{abc}	25 ± 2^{cde}
120	4 ± 1^a	8 ± 2^{ab}	16 ± 1^{abcd}
130	7 ± 2^{ab}	6 ± 1^{ab}	11 ± 1^{abc}
140	NV	11 ± 2^{abc}	12 ± 2^{abc}

Hodnoty označené různými písmeny se průkazně liší na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

NV – nebylo vyrobeno

NS – nelze stanovit

Zvyšující se přídavek vody snižoval tvrdost střídky bezlepkových výrobků (tab. 7). Nejnižší tvrdost vykazovala střídkka vzorku „A“ se $4 \pm 1 \text{ N}$, kdy přídavek vody činil 120 %. Vzorek „A“ s tímto přídávkem vody se statisticky významně nelišil od 110 a 130% přídávky vody. Statisticky významný rozdíl existoval až od 100% a nižšího přídávku vody. U vzorku „B“ byla nejnižší tvrdost střídkky s hodnotou $6 \pm 1 \text{ N}$ se 130% přídávkem vody. Tvrdost střídkky tohoto přídávku vody se statisticky významně nelišila od nižších přídávků vody se 110 a 120 % a vyššího přídávku vody se 140 % vody. Stejně jako u vzorku „A“ statisticky významný rozdíl existoval až od 100% a nižšího přídávku vody. Střídkka vzorku

„C“ měla nejnižší tvrdost u 130% přídavku vody s hodnotou 11 ± 1 N. Tvrdost střídky se 130% přídavkem vody se statisticky významně nelišila od 120 a 140% přídavku vody. U vzorku „C“ statisticky významný rozdíl existoval až od 110% a nižšího přídavku vody. V případě nízkých přídavků vody se 60 až 80 % vykazovala střídky vzorků velmi vysokou tvrdost. V případě vzorku „B“ se 60% přídavkem vody byla tvrdost natolik vysoká, že nebylo možné střídku mechanicky upravit tak, aby bylo možné stanovení tvrdosti prostřednictvím texturního analyzátoru.

8.1.4 Vliv přídavku vody na pružnost

Pružnost je jednou z dalších měřených hodnot texturní profilové analýzy.

Tab. 8: Pružnost výrobků [%]

Přídavek vody [%]	Vzorek „A“	Vzorek „B“	Vzorek „C“
60	36 ± 14^{cdef}	NS	NV
70	32 ± 3^b	25 ± 4^a	NV
80	35 ± 2^{bcde}	34 ± 2^{bcd}	36 ± 3^{cde}
90	35 ± 2^{bcde}	34 ± 2^{bc}	35 ± 2^{bcde}
100	35 ± 2^{bcde}	35 ± 1^{bcde}	37 ± 2^{cdef}
110	40 ± 2^{fghi}	38 ± 2^{defg}	39 ± 1^{efgh}
120	41 ± 1^{ghi}	42 ± 2^{hi}	38 ± 2^{defg}
130	44 ± 1^i	43 ± 1^i	42 ± 2^{hi}
140	NV	42 ± 2^{hi}	41 ± 2^{ghi}

Hodnoty označené různými písmeny se průkazně liší na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

NV – nebylo vyrobeno

NS – nelze stanovit

Zvyšující se přídavek vody zvyšoval pružnost střídky bezlepkových výrobků (tab. 8). Nejvyšší pružnost vykazovala střídky vzorků, která se vyznačovala 130% přídavkem vody. V případě 130% přídavku vody bylo dosaženo maximální pružnosti u všech vzorků „A“ až „C“. V případě vzorku „A“ 44 ± 1 %, „B“ 43 ± 1 % a „C“ 42 ± 2 %. Parametr pružnosti v hodnotě optimálního přídavku vody byl u všech vzorků téměř vyrovnaný a nebyl mezi nimi zaznamenán statisticky významný rozdíl. U vzorku „A“ se od hodnoty s nejvyšší pružností střídky statisticky odlišovaly až hodnoty od 100% a nižšího přídavku vody. U vzorku „B“ se jednalo o hodnoty 110% a nižšího přídavku vody a v případě vzorku „C“ se od hodnoty s nejvyšší pružností střídky statisticky odlišovaly už hodnoty 120% a nižšího přídavku vody.

8.1.5 Vliv přídavku vody na elasticitu

Elasticita je jednou z dalších měřených hodnot texturní profilové analýzy.

Tab. 9: Elasticita výrobků [%]

Přídavek vody [%]	Vzorek „A“	Vzorek „B“	Vzorek „C“
60	58 ± 14 ^a	NS	NV
70	64 ± 2 ^b	52 ± 6 ^a	NV
80	67 ± 2 ^{bc}	65 ± 1 ^b	69 ± 2 ^{bcd}
90	70 ± 2 ^{cdefg}	67 ± 2 ^{bc}	70 ± 2 ^{cdef}
100	70 ± 3 ^{cde}	73 ± 2 ^{defg}	75 ± 4 ^{gh}
110	75 ± 6 ^{efg}	75 ± 4 ^{fg}	82 ± 2 ^{ij}
120	90 ± 4 ^{kl}	80 ± 5 ^{hi}	86 ± 5 ^{jk}
130	88 ± 1 ^{kl}	89 ± 4 ^{kl}	90 ± 2 ^{kl}
140	NV	92 ± 2 ^l	91 ± 3 ^{kl}

Hodnoty označené různými písmeny se průkazně liší na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

NV – nebylo vyrobeno

NS – nelze stanovit

Zvyšující se přídavek vody zvyšoval elasticitu střídky bezlepkových výrobků (tab. 9). Nejvyšší elasticitu vykazovala střídkka vzorků, která se vyznačovala 120% přídavkem vody s hodnotou 90 ± 4 % v případě vzorku „A“. Tato hodnota se statisticky nelišila od 130% přídavku vody téhož vzorku, nicméně 110% a nižší přídavky vody se statisticky významně lišily od přídavků vody, které měly za následek nejvyšší elasticitu střídky vzorku „A“. U vzorku „B“ byla nejvyšší elasticita zaznamenaná u 140% přídavku vody s hodnotou 92 ± 2 %. Tato hodnota se statisticky nelišila od 130% přídavku vody téhož vzorku, nicméně 120% a nižší přídavky vody se statisticky významně lišily od přídavků vody, které měly za následek nejvyšší elasticitu střídky vzorku „B“. U vzorku „C“ došlo k nejvyšší elasticitě rovněž u 140% přídavku vody s hodnotou 91 ± 3 %. Tato hodnota byla téměř shodná s hodnotou 130% přídavku vody téhož vzorku, nicméně 120% a nižší přídavky vody se statisticky významně lišily od přídavků vody, které měly za následek nejvyšší elasticitu střídky vzorku „C“. Hodnoty maximální elasticity napříč vzorky „A“ až „C“ se významně nelišily.

8.1.6 Vliv přídavku vody na kohezivnost

Kohezivnost představuje soudržnost střídky texturní profilové analýzy.

Tab. 10: Kohezivnost výrobků [%]

Přídavek vody [%]	Vzorek „A“	Vzorek „B“	Vzorek „C“
60	64 ± 16^b	NS	NV
70	64 ± 3^b	49 ± 5^a	NV
80	68 ± 2^{bcde}	67 ± 2^{bcd}	70 ± 3^{cdef}
90	68 ± 2^{bcd}	66 ± 3^{bc}	71 ± 1^{defg}
100	68 ± 3^{bcd}	68 ± 1^{bcde}	72 ± 2^{efghi}
110	71 ± 2^{defgh}	71 ± 2^{defg}	73 ± 1^{fghijk}
120	78 ± 1^{kl}	75 ± 1^{ghijkl}	73 ± 1^{fghij}
130	79 ± 2^l	77 ± 2^{jkl}	76 ± 2^{jkl}
140	NV	76 ± 3^{hijkl}	76 ± 3^{hijkl}

Hodnoty označené různými písmeny se průkazně liší na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

NV – nebylo vyrobeno

NS – nelze stanovit

Zvyšující se přídavek vody zvyšoval soudržnost střídky bezlepkových výrobků (tab. 10). Nejvyšší soudržnost vykazovala střídkka vzorků, která se vyznačovala 130% přídavkem vody s hodnotou $79 \pm 2 \%$ v případě vzorku „A“. Tato hodnota se statisticky nelišila od 120% přídavku vody téhož vzorku, nicméně 110% a nižší přídavky vody se statisticky významně lišily od přídavků vody, které se vyznačovaly vysokou soudržností střídky vzorku „A“. U vzorku „B“ byla nejvyšší soudržnost taktéž u 130% přídavku vody, a to s hodnotou $77 \pm 2 \%$. Tato hodnota se statisticky nelišila od 120 a 140% přídavku vody téhož vzorku, nicméně 110% a nižší přídavky vody se statisticky významně lišily od přídavků vody, které měly za následek nejvyšší soudržnost střídky vzorku „B“. U vzorku „C“ byla zaznamenána nejvyšší soudržnost u 130 a 140% přídavku vody s hodnotou $76 \pm 2 \%$. Vzorek „C“ se vyznačoval celkově vyšší soudržností střídky i u nižších přídavků vody ve srovnání se vzorky „A“ a „B“. Naopak v případě nižších přídavků vody u vzorku „B“ byla soudržnost velmi slabá. U 60% přídavku vody nebylo možné texturní profilovou analýzu ani provést vlivem vysoké rozpadavosti upečeného vzorku. U 70% přídavku vody texturní profilová analýza provedena byla, nicméně vzorek stále vykazoval vysokou rozpadavost.

8.1.7 Vliv přídavku vody na žvýkatelnost

Pod termínem žvýkatelnosti se skrývá energie nutná pro rozžvýkání potraviny před jejím polknutím. Žvýkatelnost je jedním z dalších parametrů texturní profilové analýzy.

Tab. 11: Žvýkatelnost výrobků

Přídavek vody [%]	Vzorek „A“	Vzorek „B“	Vzorek „C“
60	4000 ± 3000 ^j	NS	NV
70	3000 ± 300 ^{hi}	2000 ± 700 ^{ef}	NV
80	3000 ± 100 ^{gh}	4000 ± 400 ^{ij}	5000 ± 600 ^k
90	2000 ± 300 ^{def}	2000 ± 200 ^{fg}	3000 ± 500 ^{gh}
100	1000 ± 200 ^{abcd}	1000 ± 200 ^{cde}	2000 ± 300 ^{ef}
110	700 ± 100 ^a	700 ± 200 ^a	1000 ± 80 ^{bcd}
120	300 ± 100 ^a	500 ± 100 ^a	1000 ± 100 ^{abcd}
130	500 ± 100 ^a	400 ± 70 ^a	800 ± 100 ^a
140	NV	800 ± 100 ^{ab}	800 ± 100 ^{abc}

Hodnoty označené různými písmeny se průkazně liší na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

NV – nebylo vyrobeno

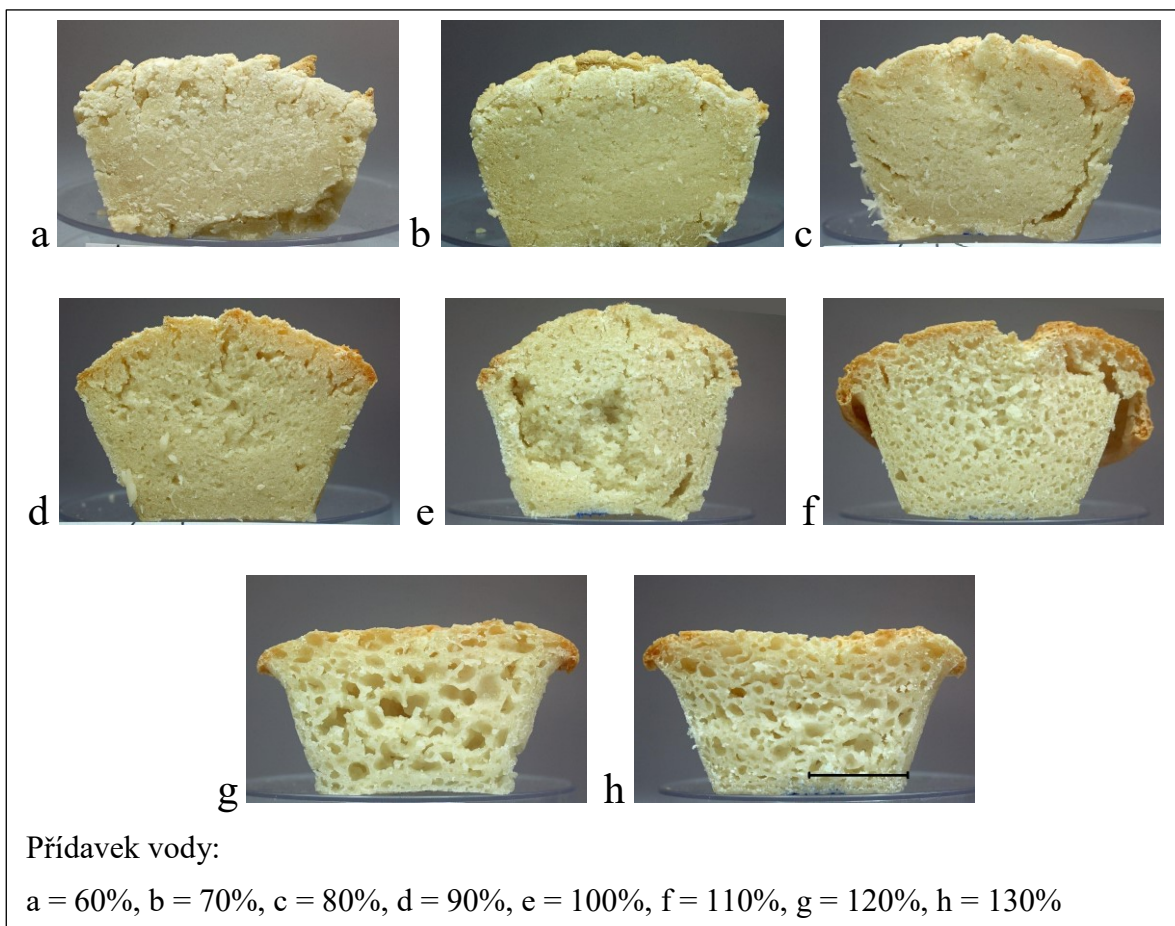
NS – nelze stanovit

Zvyšující se přídavek vody snižoval žvýkatelnost střídky bezlepkových výrobků (tab. 11). Nejnížší žvýkatelnost vykazovala střídkka vzorků, která se vyznačovala 120% přídavkem vody s hodnotou **300 ± 100** v případě vzorku „A“. Tato hodnota se statisticky nelišila od ostatních přídavků vody, které byly vyšší jak 90 %. U 60% přídavku vody byla vysoká hodnota směrodatné odchylky způsobená nesouměrností kruhového výřezu střídky. U vzorku „B“ byla nejnížší žvýkatelnost u 130% přídavku vody s hodnotou **400 ± 70**. Tato hodnota se statisticky nelišila od ostatních přídavků vody, které byly vyšší jak 100 %. U vzorku „C“ byla nejnížší žvýkatelnost u 130% přídavku vody s hodnotou **800 ± 100**. Tato hodnota se statisticky nelišila od ostatních přídavků vody, které byly vyšší jak 110 %. U vzorku „C“ byla zjištěna také nízká hodnota žvýkatelnosti u 140% přídavku vody srovnatelná se 130% přídavkem vody, přičemž od této se již 110% přídavek statisticky nelišil. Od 140% přídavku vody se odlišovaly hodnoty až se 100% a nižším přídavkem vody. Celkově byly rozdíly hodnot nejnížší žvýkatelnosti u výrobků „A“ až „C“ statisticky nevýznamné.

8.1.8 Vliv přídavku vody na pórovitost střídky

U vzorků po jejich upečení a vychladnutí se vizuálním posouzením hodnotila velikost pórů, jejich množství a distribuce ve střídce.

- Hodnocení pórovitosti u vzorku „A“

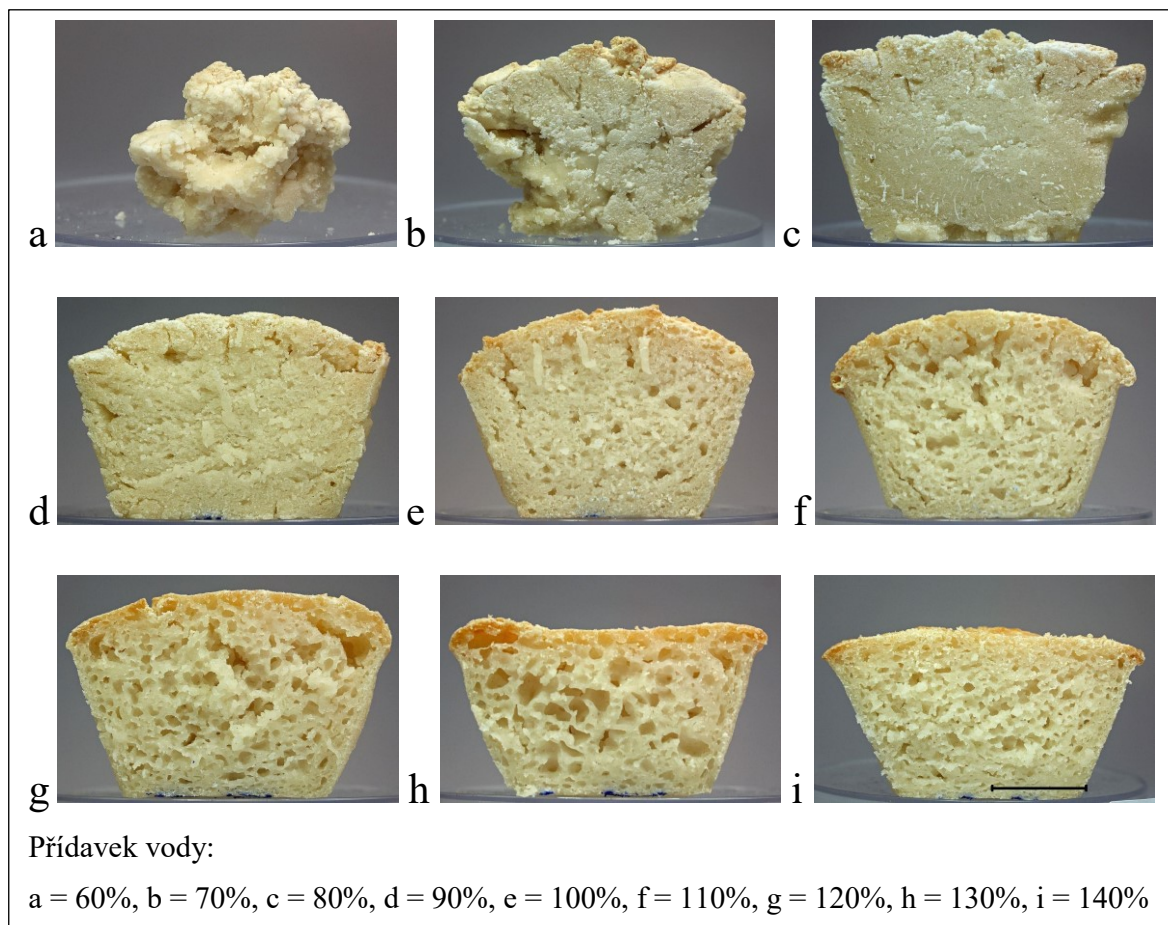


Obr. 18: Pórovitost střídky vzorku „A“ s různým přídavkem vody

Se zvyšujícím se přídavkem vody docházelo k postupnému zvětšování pórů do koncentrace optimálního přídavku vody (obr. 18). Po překročení optimálního přídavku vody docházelo ke zmenšování vytvořených pórů. V případě 60 a 70% přídavku vody nedocházelo k žádné tvorbě pórů. K tvorbě pórů docházelo až při 80% přídavku vody, avšak jejich četnost a velikost byla zanedbatelná. U 90 a 100% přídavku vody docházelo k tvorbě malých pórů, ovšem jejich distribuce ve střídce byla nerovnoměrná (především v centrální části vzorku). U výrobku se 100% přídavkem vody došlo při krájení k mírnému vytržení střídky. Rovnoměrná distribuce větších pórů byla zjištěna až u výrobku se 110% přídavkem vody. Velké póry s rovnoměrnou distribucí byly zjištěny u výrobku se 120% přídavkem vody. U 130% přídavku vody docházelo k opětovnému

zmenšování porozity střídky, avšak rovnoměrná distribuce pórů v celém objemu výrobku zůstala zachována.

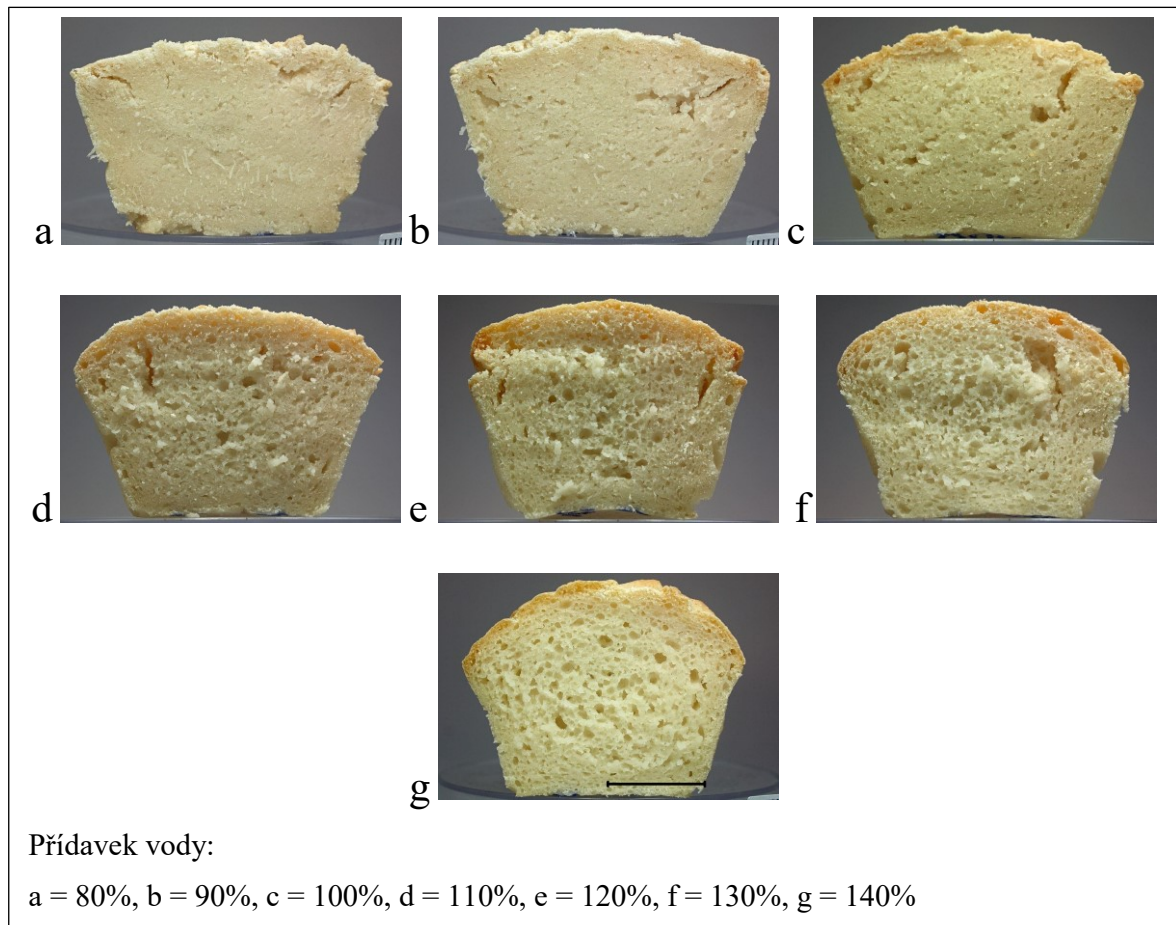
- Hodnocení pórovitosti u vzorku „B“



Obr. 19: Pórovitost střídky vzorku „B“ s různým přídatkem vody

Se zvyšujícím se přídatkem vody docházelo k postupnému zvětšování pórů do koncentrace optimálního přídatku vody (obr. 19). Po překročení optimálního přídatku vody docházelo ke zmenšování vytvořených pórů. U 60% přídatku vody byla struktura výrobku velmi rozpadavá, a proto u něj nebyla ani provedena TPA. U 70 a 80% přídatku vody nedošlo k žádné tvorbě pórů. K tvorbě pórů docházelo až při 90% přídatku vody, avšak jejich četnost a velikost byla zanedbatelná. U 100% přídatku vody docházelo k tvorbě malých pórů a jejich rovnoměrnější distribuci. Výrobek se 110 a 120% přídatkem vody vykazoval tvorbu větších pórů s rovnoměrnou distribucí. Rovnoměrná distribuce velkých pórů byla zaznamenána u 130% přídatku vody. U 140% přídatku vody docházelo k opětovnému zmenšování velikosti pórů ve střídce. Distribuce pórů v celém objemu výrobku byla stále rovnoměrná.

- Hodnocení pórovitosti u vzorku „C“



Obr. 20: Pórovitost střídky vzorku „C“ s různým přídavkem vody

Se zvyšujícím se přídavkem vody docházelo k postupnému zvětšování pórů do koncentrace optimálního přídavku vody (obr. 20). U 80% přídavku vody nedocházelo k žádné tvorbě pórů. U 90% přídavku vody byly zaznamenány pory ve střídce velmi malé. Menší pórovitost střídky byla u 100% přídavku vody, ovšem s nerovnoměrnou distribucí. K významnější pórovitosti s rovnoměrnou distribucí docházelo až při 110 a 120% přídavku vody. U 130 a 140% přídavku vody bylo distribuční rozložení pórů ve střídce ještě vyrovnanější. Nedocházelo však k tvorbě tak velkých pórů v optimálním přídavku vody, jak tomu bylo v případě vzorku „A“ a „B“. Zároveň nebyl zaznamenán zlom charakterizující opětovné zmenšování pórů ve střídce. Předpokládá se, že k možnému zlomu inklinujícímu k postupnému zmenšování velikostí pórů by došlo v případě 150% přídavku vody, který testován v této diplomové práci nebyl.

8.2 Diskuze

8.2.1 Ztráta hmotnosti pečením

V průběhu pečení se se zvyšujícími přídávky vody zvyšoval odpar a s tím související hmotnostní ztráta. Po dosažení optimálního přídávku vody se hmotnostní ztráty začaly snižovat. V případě vzorku „B“ byl vyšší odpar vody u 60% přídávku v důsledku velmi tuhého a obtížně zpracovatelného těsta. To mělo za následek rychlejší prostup tepla s rychlejším odparem vody. Podle studie DE LA HERA *et al.* [88] s rostoucím obsahem vody rostly i hmotnostní ztráty vlivem pečení. Podle KHATER a BAHNASAWY [89] při nižší teplotě pečení 180 ° C je úbytek hmotnosti vztažený na celkovou hmotnost 22,4 %. Tato hmotnostní ztráta odpovídá hmotnostní ztrátě u vzorku „B“ v optimálním přídávku vody.

U vzorku „C“ byla nejnižší ztráta vody. Tento vzorek obsahoval přírůstek 1% hydrokoloidu v podobě guarové gumy. KOHAJDOVÁ a KAROVICOVÁ [90] zjistily, že přírůstek hydrokoloidů zvyšuje absorpci vody vzhledem k hydroxylovým skupinám ve struktuře hydrokoloidů, které umožňují interakci vody přes vodíkovou vazbu. Přírůstek hydrokoloidů jednoznačně ovlivňuje stabilitu těsta. Tímto lze zdůvodnit zjištění, proč u vzorku „C“ byly nejnižší hmotnostní ztráty způsobené pečením.

8.2.2 Specifický objem

Během pečení narůstal specifický objem se zvyšujícími se přídávky vody. Velmi nízké přídávky vody byly důsledkem nedostatečné hydratace škrobových granulí, které tak v průběhu pečení neměly ideální podmínky pro mazování s následným zvětšováním specifického objemu. Ideální podmínky pro nárůst specifického objemu korespondovaly s optimálním přídávkem vody. Po překročení tohoto optima docházelo k poklesu specifického objemu. MARTÍNEZ a GÓMEZ [91] uvedli, že specifický objem negativně koreluje s tvrdostí střídky. Tento vztah byl přičítán nižší odolnosti proti deformaci těsta s vyšším procentem obsahu vzduchu.

Podle studie DE LA HERA *et al.* [88] je pravděpodobné, že malé částice mouky vytvářejí slabou strukturu těsta, což je spojeno s nižší retencí uvolněného plynu při fermentaci, čímž se získávají nižší objemy. DE LA HERA *et al.* [92] dodávají, že nebyl nalezen žádný významný vztah mezi velikostí částic mouky a úrovní poškozeného škrobu.

Z toho důvodu k různým frakcím mouky nemohou být přičítány možné rozdíly v úrovni poškozeného škrobu. DE LA HERA *et al.* [88] ale zdůrazňují, že malé částice zvětšují povrch škrobových granulí při kontaktu s vodou, což má za následek nutnost většího množství vody nutné k hydrataci suroviny a později k bobtnání škrobových granulí. Tahle skutečnost by mohla být vysvětlením velmi nízkého specifického objemu dosaženého u vzorků s nízkými obsahy vody (70%). HAN *et al.* [93] ve své studii uvádějí, že vyšší přídavek vody způsobil velký nárůst těsta během pečení, což vedlo k velkému specifickému objemu. Nicméně příliš mnoho vody vedlo k velkému nárůstu porozity, což mělo za následek postupné zmenšování specifického objemu a zborcení nadýchané struktury pečiva. DE LA HERA *et al.* [88] uvádějí, že optimální přídavek vody je 90 až 110 %. Výsledky této práce poukazují na optimální přídavky vody se 120 a 130 %. Tuto rozdílnost je možné zdůvodnit rozdílností surovinové skladby a také rozdílnými podmínkami při samotné výrobě bezlepkového pečiva.

8.2.3 Tvrдость

Se zvyšujícími se přídavky vody docházelo k postupnému poklesu tvrdosti střídky. Po dosažení optimálního přídavku vody docházelo k opětovnému zvyšování tvrdosti střídky. GAMBUS *et al.* [94] provedli texturní profilovou analýzu tvrdosti u bezlepkových výrobků z kukuřičné mouky, kde se mimo jiné testoval vliv přídavku hydrokoloidů xantanové a guarové gummy. Hodnotila se tvrdost u výrobků v den pečení a následně 1. až 3. den skladování. Autoři zjistili, že nejnižší tvrdosti střídky bylo dosaženo v den upečení u vzorku, který obsahoval právě nejnižší přídavek guarové gummy, a který byl přibližně ve stejném poměru s xantanovou gumou, zatímco vzorek, který obsahoval ze všech vzorků nejvyšší přídavek guarové gummy, a xantanovou gumu přitom neobsahoval, vykazoval ze všech hodnocených vzorků nejvyšší tvrdost. Během následného skladování docházelo k postupnému narůstání tvrdosti, přičemž k největšímu nárůstu došlo mezi 2. a 3. dnem skladování právě u vzorku, který obsahoval vyšší přídavek guarové gummy bez gummy xantanové. Z výsledků tedy vyplynul synergický efekt, což koresponduje s poznatky MIKUŠ *et al.* [65] a AROCAS *et al.* [72]. MIKUŠ *et al.* [65] uvedli, že se guarová guma běžně používá v koncentracích 0,1 až 0,5 %. Pro účely výroby vzorku „C“ byla použita guarová guma v koncentraci 1 %. Těmito poznatky lze vysvětlit vyšší tvrdost střídky právě u vzorku „C“, který obsahoval přídavek guarové gummy ve vyšších koncentracích. K nejnižší tvrdosti střídky tedy docházelo u vzorků, které žádný přídavek hydrokoloidů

neobsahovaly. MCCARTHY *et al.* [95] popsali vztah tvrdosti a specifického objemu v důsledku různých přísad vody. Zjistili, že vlhkostní parametry výrazně ovlivňují strukturu střídky a kůrky bezlepkového pečiva. Specifický objem se výrazně zvyšoval se snižující se tvrdostí střídky. Nicméně při velmi vysokých přísadách byl pozorován opačný trend.

Vhodná alternativa pro snížení tvrdosti může pramenit z použité suroviny, konkrétně z mléčné složky. OZOLA *et al.* [96] se ve svém výzkumu zaměřovali na muffiny z kukuřičné mouky. Muffiny byly vyhotoveny ve třech vzorcích, přičemž jeden vzorek obsahoval ve svém složení mimo ostatní důležité ingredience pouze mléko, druhý vzorek obsahoval z části vodu a z části sušené mléko a třetí vzorek obsahoval pouze vodu. Z výsledků vyplynulo, že muffiny z mléka jsou o 1,9 % měkčí než muffiny z vody a sušeného mléka. V případě porovnání s muffiny vyrobených z vody a dalších ingrediencí bez jakékoliv mléčné složky byla střídka muffinů vyrobených z mléka až o 5,2 % měkčí. Tvrdost souvisí se strukturou pórů. Je-li ve složení mléčná složka, bude docházet k tvorbě větších pórů než u muffinů obsahujících namísto mléka vodu.

8.2.4 Pružnost

Nejvyšší pružnost vykazovala střídky vyrobených vzorků, která se vyznačovala 130% přísadkou vody. Modul pružnosti podle PALABIYIK *et al.* [97] ukazuje, do jaké míry vzorek přejde zpět do svého původního stavu poté, co síly během první komprese jsou odlehčeny. Hodnota ukazuje, jak dobře je schopen vzorek získat zpět svou původní polohu. Podle MATOS a ROSELL [98] je nižší pružnost charakterizována ztrátou elasticity. Podle PALABIYIK *et al.* [97] představují alternativu v pečení bezlepkových chlebů pohankové mouky, neboť poskytují texturu s pružnější střídkou.

8.2.5 Elasticita

Nejvyšší elasticity bylo dosaženo u střídky vzorku „B“ u 140% přísadkou vody. Následoval vzorek „C“ také se 140% přísadkou vody. V případě vzorku „A“ bylo nejvyšší elasticity dosaženo u 120% přísadkou vody. Podle MATOS a ROSELL [98] je elasticita spojena s čerstvostí a pružností střídky předurčující vysoce kvalitní pečivo. MARCO a ROSELL [99] zjistili, že hodnoty elasticity od 77 do 94 % u bezlepkových výrobků z rýžové mouky obohacené proteiny odpovídají požadovaným texturním vlastnostem pečiva. Nižší elasticita svědčila o křehkosti, což se odráželo v tendenci pečiva rozpadat se

při krájení. To lze potvrdit s výsledky naměřenými prostřednictvím této diplomové práce. Při mechanické úpravě střídky v podobě plátkových řezů, ze kterých byla následně kruhovým výřezem získána střídka pro hodnocení TPA, nebylo možné při 80% přídavcích vody získat rovné plátky. Při 70 a 60% přídavcích vody dokonce docházelo při nářezech vzorků k trhání střídky.

8.2.6 Kohezivnost

Se zvyšujícími se přídavky vody docházelo k postupnému nárůstu soudržnosti střídky. Z výsledků této diplomové práce je patrné, že střídka v optimálních přídavcích vody vykazovala téměř vyrovnané výsledky nezávisle na druhu vzorku. GAMBUS *et al.* [94] prováděli texturní profilovou analýzu soudržnosti u bezlepkových výrobků z kukuřičné mouky, kde se mimo jiné testoval vliv přídavku hydrokoloidu xantanové a guarové gummy. Nejnižší soudržnosti střídky se dosáhlo právě u vzorku, který obsahoval nejvyšší přídavek guarové gummy bez xantanové gummy. Se snižujícím se přídavkem guarové gummy a zvyšujícím se přídavkem xantanové gummy do přibližného poměru 1:1 se střídka stávala více soudržná. Následující den po skladování ale docházelo k prudkému poklesu soudržnosti střídky. Dle DAS *et al.* [100] přídavek hydrokoloidů posiluje soudržnost střídky. Bylo zjištěno, že přidáním hydrokoloidů se výrazně zlepšila kvalita střídky s jednotnou texturou vzhledem ke zvýšené pórovitosti. Tímto zjištěním lze vysvětlit, proč střídka vykazovala vyšší soudržnost i v případě nižších přídavků vody než v případě vzorků „A“ a „B“, které byly prosté přídavku hydrokoloidů.

8.2.7 Žvýkatelnost

Žvýkatelnost střídky bezlepkových výrobků se se zvyšujícími přídavky vody snižovala. BOUREKOUA *et al.* [101] pozorovali rozdílnost žvýkatelnosti střídky v souvislosti s obsahem vody. Se zvýšeným obsahem vody zaznamenali hluboký pokles žvýkatelnosti střídky, přičemž u vzorku vyrobeného ze směsi rýžové a kukuřičné mouky při stejném obsahu vody byla žvýkatelnost ještě nižší, ovšem tento pokles už nebyl tak významný. Obecně lze říci, že snižující se žvýkatelnost přímo souvisí se snižující se tvrdostí střídky. Nižší pokles žvýkatelnosti v případě hydrokoloidní složky může souviset s pevnější strukturou bezlepkového pečiva. Tímto může být vysvětlena i vyšší tvrdost vzorku „C“ v optimálním přídavku vody než v případě bezlepkového pečiva, které hydrokoloid neobsahuje. Dle MAGALA *et al.* [82] lze přídavkem hydrokoloidů prodloužit trvanlivost

bezlepkových výrobků, které jsou náchylné k předčasnému stárnutí vlivem vysychání. Přídavek hydrokoloidu umožní vytvoření struktury podobné bílkovinné síti lepku, díky které vlhkost střídky je v této struktuře lépe zachycená a dochází tak k menším vlhkostním ztrátám ve srovnání s bezlepkovým pečivem, které hydrokoloidy neobsahuje.

8.2.8 Pórovitost

Různé přísady vody měly zásadní vliv na tvorbu pórovitosti a jejich distribuci ve střídce. Zatímco při nižších přídavicích vody nedocházelo prakticky k žádné tvorbě pórů, se zvyšujícími se přísady vody narůstala velikost pórů a jejich distribuce byla rovnoměrnější. Po překonání optimálního přídávku vody začalo docházet k postupnému zmenšování velikostí pórů. Absenci pórů u vzorků s nízkými přísady vody lze přisoudit tomu, že při nízkém obsahu vody se vytvářela tuhá a velmi obtížně zpracovatelná těsta. Vlivem vysoké tuhosti těsta kypřící plyn při zpracování unikl a nedošlo tak k vytvoření žádných pórů. TSATSARAGKOU *et al.* [102] ve své studii uvedli, že celková pórovitost je ovlivněna jak množstvím přidávané vody, tak i přísadkou hydrokoloidu – lokustové gummy. Zjistili, že pórovitost se s nárůstem vody zvyšuje, ale zároveň se zvyšujícími se přísadkami hydrokoloidů dochází ke snížení pórovitosti střídky. COLLAR *et al.* [103] obhájili snižování pórovitosti vlivem přísadkou hydrokoloidů tím, že mohlo dojít k narušení bílkovinné sítě s následným snížením specifického objemu pečiva. Tímto zjištěním může být vysvětleno, proč u vzorku „C“ v případě 1% přísadkou guarové gummy, která je po chemické stránce stejně jako lokustová guma galaktomannanem, dochází k tvorbě menších pórů i v optimálních přídavicích vody, než jak tomu bylo u vzorků „A“ a „B“, které guarovou gummy neobsahovaly. Autoři TSATSARAGKOU *et al.* [102] ale uvedli, že vliv přísadkou vody je výraznější, než vliv přísadkou hydrokoloidu.

Závěrem lze k této diskuzní části diplomové práce jednoznačně konstatovat, že přísadkou vody má zásadní vliv na všechny fyzikální charakteristiky bezlepkových výrobků, které byly touto prací hodnoceny. Z toho plyne doporučení, že voda musí být přidána na optimální úroveň. Optimální úroveň ale pro každý konkrétní druh vyráběného výrobku závisí na více faktorech. Jedná se především o vlhkost mouky, dále obsah proteinů v bezlepkové mouce a úroveň poškozených škrobových granulí. Vyšší hladina vody v těstě vede k tvorbě snadněji zpracovatelného těsta. Podle MASTROMATTEO *et al.* [104] v případě příliš nízkého přísadkou vody nedochází ke kompletní hydrataci všech složek těsta, což má za následek výslednou kvalitu výrobků, ať už se jedná o vysokou tvrdost,

nedostatečný specifický objem nebo žádnou či minimální pórovitost. Tuhá a hůře zpracovatelná těsta vlivem nízkých přídavek vody negativně ovlivňují tvorbu pórů vzhledem k omezené expanzi kypřícího plynu. Naopak příliš vysoký přídavek vody má za následek měkké a lepkavé těsto, což se projeví poklesem kvalitativních parametrů bezlepkových výrobků. Zásadní vliv na texturní vlastnosti bezlepkového pečiva mají i samotné recepturní složky.

ZÁVĚR

Bezlepkové pečivo postupem času nabývá na trhu stále většího významu. Vzhledem ke zvyšujícímu se počtu celiaků se zájem o bezlepkové pečivo zvyšuje. Bezlepkové pečivo ovšem postrádá takovou kvalitu, které se běžně dosahuje u pečiva obsahujícího lepek. Rozdílnost v kvalitě bezlepkových výrobků s ohledem na pečivo obsahující lepek lze vidět především v texturních vlastnostech. Texturními vlastnostmi bezlepkového pečiva se právě tato práce se zaměřením na různé přísady vody zabývala.

Touto prací bylo zjištěno, že různé přísady vody mohou mít velmi zásadní vliv na výsledný výrobek bezlepkového pečiva a s tím související kvalitu. Z výsledků vyplynulo, že optimální přísada vody není snadno určitelná. Výsledky se mohou různit i v rámci jednoho druhu bezlepkové mouky od různých výrobců. Vliv mají i použité suroviny mimo mouku, např. hydrokoloidy, které dokážou v bezlepkovém pečivu alespoň částečně nahradit trojrozměrnou strukturu pečiva, které lepek obsahuje. Z výsledků lze obecně konstatovat, že mezi nejvhodnější přísady vody zařadit lze 120 a 130% přísady vody. Při vyšší přísadě vody již docházelo k poklesu kvalitativních parametrů bezlepkového pečiva. Hlavním kvalitativním ukazatelem různé přísady vody byl specifický objem, který se do optimálního přísady vody zvyšoval. Po překročení optimálního přísady vody docházelo k postupnému zmenšování specifického objemu. Podobný trend lze pozorovat i v samotné pórovitosti a texturní profilové analýze, prostřednictvím které se hodnotila tvrdost, pružnost, elasticita, kohezivnost a žvýkatelnost. Zatímco specifický objem s pórovitostí narůstaly, tvrdost klesala, pružnost, elasticita a kohezivnost se zvyšovala a žvýkatelnost se snižovala. U bezlepkového pečiva je žádoucí, aby textura odpovídala právě těmto parametrům. V opačném případě je textura bezlepkového pečiva příliš tvrdá, snadno se rozpadá a drobí. Takových texturních vlastností dosahovalo bezlepkové pečivo právě v 60 a 70% přísadách vody. Při 140% přísadách vody naopak začalo bezlepkové pečivo vykazovat zvýšenou adhezi.

Závěrem lze jednoznačně doporučit další výzkum zabývající se vlivem různých přísad vody i u jiných druhů bezlepkových mouk. Vhodným řešením za účelem zlepšení kvalitativních parametrů by mohlo být zařazení mléčné složky do použitých ingrediencí při výrobě bezlepkového pečiva. Spotřebitelům by dále mohla být prospěšná studie zabývající se možnostmi prodloužení trvanlivosti bezlepkového pečiva s cílem zamezení jeho předčasného vysychání.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí § 18 odst. 1 písm. a), b), g) a h) zákona č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů, pro mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta. In: Sbirka zákonů České republiky. 1997, částka 111.*
- [2] RODRIGUEZ FURLÁN, L. T., PÉREZ PADILLA, A., CAMPDERRÓS, M. E. Improvement of gluten-free bread properties by the incorporation of bovine plasma proteins and different saccharides into the matrix. *Food Chemistry*. 2015, **170**, s. 257-264. ISSN 0308-8146. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.08.033.
- [3] ALLRED, L. K., PARK, E. S. EZ Gluten for the Qualitative Detection of Gluten in Foods, Beverages, and Environmental Surfaces. *Journal of AOAC International*. 2012, **95**(4), s. 1106-1117. ISSN 1060-3271. DOI: 10.5740/jaoacint.11-396.
- [4] ROSELL, C. M., BARRO, F., SOUSA, C., MENA, M. C. Cereals for developing gluten-free products and analytical tools for gluten detection. *Journal of Cereal Science*. 2014, **59**(3), s. 354-364. ISSN 0733-5210. DOI: 10.1016/j.jcs.2013.10.001.
- [5] GAESSER, G. A., ANGADI, S. S. Gluten-Free Diet: Imprudent Dietary Advice for the General Population? *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2012, **112**(9), s. 1330-1333. ISSN 2212-2672. DOI: 10.1016/j.jand.2012.06.009.
- [6] ALLEN, P. J. Gluten-Related Disorders: Celiac Disease, Gluten Allergy, Non-Celiac Gluten Sensitivity. *Pediatric Nursing*. 2015, 41, s. 3146. ISSN 0097-9805.
- [7] RÓŻYŁO, R., DZIKI, D., GAWLIK-DZIKI, U., CACAK-PIETRZAK, G., MIŚ, A., RUDY, S. Physical properties of gluten-free bread caused by water addition. *International Agrophysics*. 2015, **29**(3). ISSN 2300-8725. DOI: 10.1515/intag-2015-0042.

- [8] EVROPSKÁ UNIE. Nařízení Komise (ES) č. 41/2009 ze dne 20. ledna 2009, o složení a označování potravin vhodných pro osoby s nesnášenlivostí lepku. In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2009.
- [9] Logo přeškrtnutého klasu. *Sdružení celiaků České republiky* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.celiac.cz/default.aspx?article=236>
- [10] SCHAMNE, C., DUTCOSKY, S. D., DEMIATE, I. M. Obtention and characterization of gluten-free baked products. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2010, **30**(3), s. 741-750. ISSN 0101-2061. DOI: 10.1590/S0101-20612010000300027.
- [11] VIVAS, M. B. *Development of gluten-free bread formulations*. 1. vyd. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. 2013, 164 s. ISBN 978-84-4903-639-2.
- [12] CATASSI, C., BAI, J. C., BONAZ, B., BOUMA, G., CALABRÒ, A., CARROCCIO, A., CASTILLEJO, G., CIACCI, C., CRISTOFORI, F., DOLINSEK, J., FRANCAVILLA, R., ELLI, L., GREEN, P., HOLTMEIER, W., KOEHLER, P., KOLETZKO, S., MEINHOLD, CH., SANDERS, D., SCHUMANN, M., SCHUPPAN, D., ULLRICH, R., VÉCSEI, A., VOLTA, U., ZEVALLOS, V., SAPONE, A., FASANO, A. Non-Celiac Gluten Sensitivity: The New Frontier of Gluten Related Disorders. *Nutrients*. 2013, **5**(10), s. 3839-3853. DOI: 10.3390/nu5103839.
- [13] ALVARENGA, N. B., LIDON, F. C., BELGA, E., MOTRENA, P., GUERREIRO, S., CARVALHO, M. J., CANADA, J. Characterization of Gluten-free Bread Prepared From Maize, Rice and Tapioca Flours using the Hydrocolloid Seaweed Agar-Agar. *Recent Research in Science and Technology*. 2011, **3**(8), s. 64-68. ISSN 2076-5061.
- [14] BANDGAR, T., LILA, A., SHAH, N., PATT, H. Management issues with exogenous steroid therapy. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*. 2013, **17**(9), s. 612-617. ISSN 2230-8210. DOI: 10.4103/2230-8210.123548.
- [15] OSELLA, C., TORRE, M. L., SÁNCHEZ, H. Safe Foods for Celiac People. *Food and Nutrition Sciences*. 2014, **5**(9), s. 787-800. ISSN 2157-944x. DOI: 10.4236/fns.2014.59089.

- [16] GREEN, P. H. R., LEBWOHL, B., GREYWOODE, R. Celiac disease. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2015, **135**(5), s. 1099-1106. ISSN 00916749. DOI: 10.1016/j.jaci.2015.01.044.
- [17] STECYK, J. A. W. Myonuclei are not lost during muscle atrophy. *Journal of Experimental Biology*. 2008, **118**, s. 1450-1457. ISSN 0022-0949. DOI: 10.1242/jeb.010991.
- [18] FRIC, P., GABROVSKA, D., NEVORAL, J. Celiac disease, gluten-free diet, and oats. *Nutrition Reviews*. 2011, **69**(2), s. 107-115. ISSN 0029-6643. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2010.00368.x.
- [19] RUBIO-TAPIA, A., HILL, I., KELLY, C., CALDERWOOD, A., MURRAY, J. ACG Clinical Guidelines: Diagnosis and Management of Celiac Disease. *The American Journal of Gastroenterology*. 2013, **108**(5), s. 656-676. ISSN 0002-9270. DOI: 10.1038/ajg.2013.79.
- [20] VINNING, G. S., MCMAHON, G. *Gluten-free Grains. A Demand-and-supply Analysis of Prospects for the Australian Health Grains Industry. A Report for the Rural Industries Research and Development Corporation*. Rural Industries and Development Corporation. 2006, 83 s. ISBN 978-1-741-51110-9.
- [21] BUREŠOVÁ, I., LORENCOVÁ, E. *Výroba potravin rostlinného původu: zpracování obilovin*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 2013, 304 s. ISBN 978-80-7454-278-7.
- [22] ROSELL, C. M., GÓMEZ, M. Rice. In: ZHOU, W., HUI, Y. H., DE-LEYN, I., PAGANI, M. A., ROSELL, C. M., SELMAN, J. D., THERDTHAI, N. *Bakery products science and technology*. 2. vyd. John Wiley & Sons, Ltd. 2014, 769 s. ISBN 978-1-119-96715-6.
- [23] *Indian Delegation Seeks Rice Deals in Iran*. Financial Tribune. Iranian English Economic Daily [online]. 2014 [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: <https://financialtribune.com/articles/economy-domestic-economy/58880/indian-delegation-seeks-rice-deals-in-iran>
- [24] MATOUŠ, B. *Základy lékařské chemie a biochemie*. 1. vyd. Praha: Galén. 2010, 540 s. ISBN 978-80-7262-702-8.

- [25] XU, J., ZHANG, H., GUO, X., QIAN, H. The impact of germination on the characteristics of brown rice flour and starch. *Science of Food and Agriculture*. 2012, **92**(2), s. 380-387. DOI: 10.1002/jsfa.4588.
- [26] SANCHEZ, H. D., OSELLA, C. A., TORRE, M. A. Optimization of Gluten-Free Bread Prepared from Cornstarch, Rice Flour, and Cassava Starch. *Journal of Food Science*. 2002, **67**(1), s. 416-419. ISSN 0022-1147. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb11420.x.
- [27] ILOWEFAH, M., CHINMA, CH., BAKAR, J., GHAZALI, H. M., MUHAMMAD, K., MAKERI, M. Fermented Brown Rice Flour as Functional Food Ingredient. *Foods*. 2014, **3**, s. 149-159. ISSN 2304-8158. DOI: 10.3390/foods3010149.
- [28] ESCALANTE-TEN HOOPEN, M., MAÏGA, A. *Maize Production and Processing*. Cameroun: The Technical Centre for Agricultural and Rural Co-operation (CTA). 2012, 32 s. ISBN: 978-92-9081-511-2.
- [29] GWIRTZ, J. A., GARCIA-CASAL, M. N. Processing maize flour and corn meal food products. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2014, **1312**(1), s. 66-75. ISSN 0077-8923. DOI: 10.1111/nyas.12299.
- [30] ALI, M. A. M., EL TINAY, A. H., ELKHALIFA, A. E., MALLASY, L., BABIKER, E. Effect of Different Supplementation Levels of Soybean Flour on Pearl Millet Functional Properties. *Food and Nutrition Sciences*. 2012, **3**(1), s. 1-6. ISSN 2157-944x. DOI: 10.4236/fns.2012.31001.
- [31] RATHORE, S. Millet Grain Processing, Utilization and Its Role in Health Promotion: A Review. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*. 2016, **5**(5), s. 318-329. ISSN 2327-2694. DOI: 10.11648/j.ijnfs.20160505.12.
- [32] OCHEME, O. B. Effect of Storage of Millet Flour on the Quality and Acceptability of Millet Flour Porridge (Enyiokwolla). *Journal of Food Technology*. [online]. 2007, **5**(3), s. 215-219 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/jftech/2007/215-219.pdf>

- [33] OCHEME, O. B., ADEDEJI, O. E., LAWAL, G., ZAKARI, U. M. Effect of Germination on Functional Properties and Degree of Starch Gelatinization of Sorghum Flour. *Journal of Food Research*. 2014, **4**(2), s. 159-165. ISSN 1927-0895. DOI: 10.5539/jfr.v4n2p159.
- [34] DAHIR, M., ZHU, K.-X., GUO, X.-N., ABOSHORA, W., PENG, W. Possibility to Utilize Sorghum Flour in a Modern Bread Making Industry. *Journal of Academia and Industrial Research*. 2015, **4**(4), s. 128-135. ISSN 2278-5213.
- [35] HRUŠKOVÁ, M., ŠVEC, I., JURINOVÁ, I. Composite Flours-Characteristics of Wheat/Hemp and Wheat/Teff Models. *Food and Nutrition Sciences*. 2012, **3**(11), s. 1484-1490. ISSN 2157-944x. DOI: 10.4236/fns.2012.311193.
- [36] ROSA, C. S., PRESTES, R. C., TESSELE, K., CRAUSS, M. Influence of the different addition levels of amaranth flour and rice flour on pasta buckwheat flour. *International Food Research Journal*. 2015, **22**(2), s. 691-698. ISSN 1985-4668.
- [37] MILÁN-CARRILLO, J., MONTOYA-RODRÍGUEZ, A., GUTIÉRREZ-DORADO, R., PERALES-SÁNCHEZ, X., REYES-MORENO, C. Optimization of Extrusion Process for Producing High Antioxidant Instant Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) Flour Using Response Surface Methodology. *Applied Mathematics*. 2012, **3**(10), s. 1516-1525. ISSN 2152-7385. DOI: 10.4236/am.2012.330211.
- [38] DURGADEVI, R., NAZNI, P. Comparative Study of Processed Amaranth Grains on Glycemic Indices in NIDDM Subjects. *International Journal of Pharma Medicine and Biological Sciences*. 2012, **1**(2), s. 194-205. ISSN: 2278 – 5221.
- [39] DANIHELOVÁ, M., ŠTURDÍK, E. Nutritional and Health Benefits of Buckwheat. *Potravinárstvo*. 2012, **6**(3), s. 1-9. ISSN 1337-0960. DOI: 10.5219/206.
- [40] CHRISTA, K., SORAL-ŠMIETANA, M. Buckwheat Grains and Buckwheat Products – Nutritional and Prophylactic Value of their Components – a Review. *Czech Journal of Food Sciences*. 2008, **26**(3), s. 153-162.

- [41] DEMIR, M. K. Use of Quinoa Flour in The Production of Gluten-Free Tarhana. *Food Science and Technology Research*. 2014, **20**(5), s. 1087-1092. ISSN 1344-6606. DOI: 10.3136/fstr.20.1087.
- [42] BIGASOVÁ, V. *Příprava těstovin s různým podílem merlíkové mouky a jejich kvalitativní hodnocení*. České Budějovice, 2014. 65 s. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Zemědělská fakulta. Vedoucí práce Vladislav ČURN.
- [43] *Guide to Gluten - Free Flours*. Fork and Beans - Making allergen friendly food fun for the family [online]. 2013 [cit. 2017-10-16]. Dostupné z: <http://www.forkandbeans.com/2013/12/30/guide-gluten-free-flours/>
- [44] *Does corn contain gluten? Got to go gluten free? I can help!* [online]. 2012 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.the-gluten-freechef.com/contain-gluten.html>
- [45] *Pearl Millet Flour (1 kg.)*. Timbaktu Organic – Food for the Soul [online]. [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://timbaktuorganic.org/index.php/product/pearl-millet-flour/>
- [46] CHIEH, P. CH. Baking Ingredients: Water. In: ZHOU, W., HUI, Y. H., DE-LEYN, I., PAGANI, M. A., ROSELL, C. M., SELMAN, J. D., THERDTHAI, N. *Bakery products science and technology*. 2. vyd. John Wiley & Sons, Ltd. 2014, 769 s. ISBN 978-1-119-96715-6.
- [47] LAKSHMI, J. *Bakery and Confectionary Products*. ACHARYA N.G.RANGA Agricultural University [online]. 2013, 127 s. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.angrau.ac.in/media/10844/fdst216bakeryconfectioneryproducts.pdf>
- [48] WAGNER, M. J., LUCAS, T., LE RAY, D., TRYSTRAM, G. Water transport in bread during baking. *Journal of Food Engineering*. 2007, **78**(4), s. 1167-1173. ISSN 0260-8774. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.12.029.
- [49] KALHOTKA, L., TESAŘOVÁ, M. *Potravinářská mikrobiologie pro Zahradnickou fakultu*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. 2014, 164 s. ISBN 978-80-7509-016-4.

- [50] GUNTHER, C., RUSILAS, K. *Fermentation of Sucrose in S. cerevisiae*. Massachusetts Institute of Technology (MIT) [online]. 2014, 7 s. [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://docplayer.net/31015443-Fermentation-of-sucrose-in-s-cerevisiae.html>
- [51] RÁNDEZ-GIL, F., BALLESTER-TOMÁS, L., PRIETO, J. A. Baking Ingredients: Yeast. In: ZHOU, W., HUI, Y. H., DE-LEYN, I., PAGANI, M. A., ROSELL, C. M., SELMAN, J. D., THERDTHAI, N. *Bakery products science and technology*. 2. vyd. John Wiley & Sons, Ltd. 2014, 769 s. ISBN 978-1-119-96715-6.
- [52] SICARD, D., LEGRAS, J.-L. Bread, beer and wine: Yeast domestication in the *Saccharomyces sensu stricto* complex. *Comptes Rendus Biologies*. 2011, **334**(3), s. 229-236. ISSN 1631-0691. DOI: 10.1016/j.crvi.2010.12.016.
- [53] WALKER, G. M., STEWART, G. G. *Saccharomyces cerevisiae* in the Production of Fermented Beverages. *Beverages*. 2016, **2**(4), 30 s. ISSN 2306-5710. DOI:10.3390/beverages2040030.
- [54] FISCHER, G., VÖLKER, L. Granulated yeast. *Ingredients* [online]. 2008, **6**, s. 40-43 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: http://www.bakingbiscuit.com/content-of-issues/bakingbiscuit-international-062008.html?file=files/f2mmedia/pdf/archiv/baking%20and%20biscuit/issue%202008-06/40_Granulated_yeast.pdf
- [55] PELIKÁN, M., MÍŠA, D., DUDÁŠ, F. *Technologie kvasného průmyslu*. 2. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. 2002, 129 s. ISBN 80-7157-578-x.
- [56] MARIOTTI, M., LUCISANO, M. Baking Ingredients: Sugar and Sweeteners. In: ZHOU, W., HUI, Y. H., DE-LEYN, I., PAGANI, M. A., ROSELL, C. M., SELMAN, J. D., THERDTHAI, N. *Bakery products science and technology*. 2. vyd. John Wiley & Sons, Ltd. 2014, 769 s. ISBN 978-1-119-96715-6.
- [57] RODRIGUEZ FURLÁN, L. T., PÉREZ PADILLA, A., CAMPDERRÓS, M. E. Improvement of gluten-free bread properties by the incorporation of bovine plasma proteins and different saccharides into the matrix. *Food Chemistry*. 2015, **170**, s. 257-264. ISSN 03088146. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.08.033.

- [58] KOHAJDOVÁ Z., KAROVICOVÁ J. Influence of hydrocolloids on quality of baked goods. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment* [online]. 2008, 7(2), s. 43-49. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: http://www.food.actapol.net/pub/4_2_2008.pdf
- [59] DAS, L., RAYCHAUDHURI, U., CHAKRABORTY, R. Effects of hydrocolloids as texture improver in coriander bread. *Journal of Food Science and Technology*. 2015, 52(6), s. 3671–3680. ISSN 0022-1155. DOI: 10.1007/s13197-014-1296-8.
- [60] TABARA, A., MIYAJIMA, Ch., MOKI, N., KASAHARA, F., SEGUCHI, M. Improvement of Bread Making Properties by the Addition of Alginates. *Food Science and Technology Research*. 2016, 22(1), s. 145-151. ISSN 1344-6606. DOI: 10.3136/fstr.22.145.
- [61] VELÍŠEK, J., HAJŠLOVÁ, J. *Chemie potravin I*. 3. vyd. Tábor: OSSIS. 2009, 602 s. ISBN 978-80-86659-17-6.
- [62] SHANG, M. S., CHEN, H. H., WANG, Y. S., LI, K. J. Effects of single and dual heat-moisture treatment combined with sodium alginate on the physicochemical properties of normal cornstarch. *LWT - Food Science and Technology*. 2017, 78, s. 311-316. ISSN 00236438. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.12.053.
- [63] MCHUGH, D. J. *A guide to the seaweed industry: chemistry, physical properties, and applications*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2003, 418 s. ISBN 92-510-4958-0.
- [64] IMESON, A. *Food stabilisers, thickeners and gelling agents*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell Pub. 2010, 352 s. ISBN 14-051-3267-1.
- [65] MIKUŠ, L., VALÍK, L., DODOK, L. Usage of hydrocolloids in cereal technology. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae Mendelianae Brunensis* [online]. 2011, 59(5), s. 325-334 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: https://acta.mendelu.cz/media/pdf/actaun_2011059050325.pdf
- [66] GOSWAMI, S., NAIK, S. Natural gums and its pharmaceutical application. *Journal of Scientific and Innovative Research*. 2014, 3(1), s. 112-121. ISSN 2320-4818.

- [67] ROWE, R. C., SHESKEY, P. J., OWEN, S. C. *Handbook of Pharmaceutical Excipients*. 6. vyd. Chicago: APhA/Pharmaceutical Press. 2009, 888 s. ISBN 9781582121352.
- [68] KOHAJDOVÁ, Z., KAROVIČOVÁ, J., SCHMIDT, Š. Significance of Emulsifiers and Hydrocolloids in Bakery Industry. *Acta Chimica Slovaca*. 2009, **2**(1), s. 46-61. ISSN 1337-978X.
- [69] MANDALA, I. G., Physical properties of fresh and frozen stored, microwave-reheated breads, containing hydrocolloids. *Journal of Food Engineering*. 2005, **66**(3), s. 291-300. ISSN 0260-8774. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2004.03.020.
- [70] GONÇALVES, S., ROMANO, A. Locust bean gum (LBG) as a gelling agent for plant tissue culture media. *Scientia Horticulturae*. 2005, **106**(1), s. 129-134. ISSN 0304-4238. DOI: 10.1016/j.scienta.2005.03.003.
- [71] MANDALA, I. G., BAYAS, E. Xanthan effect on swelling, solubility and viscosity of wheat starch dispersions. *Food Hydrocolloids*. 2004, **18**(2), s. 191-201. ISSN 0268005x. DOI: 10.1016/S0268-005X(03)00064-X.
- [72] AROCAS, A., SANZ, T., FISZMAN, S. M. Improving effect of xanthan and locust bean gums on the freeze-thaw stability of white sauces made with different native starches. *Food Hydrocolloids*. 2009, **23**(8), s. 2478-2484. ISSN 0268-005x. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2009.08.001.
- [73] TUROWSKI, M., DESHMUKH, B., HARFMANN, R., CONKLIN, J., LYNCH, S. A method for determination of soluble dietary fiber in methylcellulose and hydroxypropyl methylcellulose food gums. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2007, **20**(5), s. 420-429. ISSN 0889-1575. DOI: 10.1016/j.jfca.2006.09.006.
- [74] GALLAGHER, E., GORMLEY, T. R., ARENDT, E. K. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*. 2004, **15**(3-4), s. 143-152. ISSN 0924-2244. DOI: 10.1016/j.tifs.2003.09.012.
- [75] HAEGENS, N. Baking Science and Technology: Mixing, Dough Making, and Dough Make-up. In: ZHOU, W., HUI, Y. H., DE-LEYN, I., PAGANI, M. A., ROSELL, C. M., SELMAN, J. D., THERDTHAI, N. *Bakery products*

- science and technology*. 2. vyd. John Wiley & Sons, Ltd. 2014, 769 s. ISBN 978-1-119-96715-6.
- [76] GRAUER-STOJANOVIC, S. *Gluten-free yeast dough – get it right with these tips*. Copyright © Stiftung ECARF [online]. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.ecarf.org/en/column/gluten-free-yeast-dough-get-it-right-with-these-tips/>
- [77] MEIKLEJOHN, S. *Mixing and Kneading Gluten Free Bread*. The World of Gluten-Free Bread [online]. 2013 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://theworldofglutenfreebread.blogspot.cz/2013/08/mixing-and-kneading-gluten-free-bread.html>
- [78] PURLIS, E. Browning development in bakery products – A review. *Journal of Food Engineering*. 2010, **99**(3), s. 239-249. ISSN 0260-8774. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.03.008.
- [79] SUCHÁNKOVÁ, I. *Využití netradičních surovin při výrobě chleba a běžného pečiva*. Brno, 2016. 62 s. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Agronomická fakulta. Vedoucí práce Viera ŠOTTNÍKOVÁ.
- [80] LUCAS, T. Baking Science and Technology: Baking. In: ZHOU, W., HUI, Y. H., DE-LEYN, I., PAGANI, M. A., ROSELL, C. M., SELMAN, J. D., THERDTHAI, N. *Bakery products science and technology*. 2. vyd. John Wiley & Sons, Ltd. 2014, 769 s. ISBN 978-1-119-96715-6.
- [81] TAUFEROVÁ, A., OŠŤÁDALOVÁ, M., JAVŮRKOVÁ, Z., PETRÁŠOVÁ, M., ČÁSLAVKOVÁ, P. *Technologie a hygiena potravin rostlinného původu I., II.* 1. vyd. Veterinární a farmaceutická univerzita Brno. 2014, 168 s. ISBN 978-80-7305-693-3.
- [82] MAGALA, M., KOHAJDOVÁ, Z., KAROVIČOVÁ, J. Staling of Bakery Products. *Potravinářstvo*. 2011, **5**(2), s. 49-54. ISSN 1337-0960. DOI: 10.5219/124.
- [83] XU, J., FAN, X., NING, Y., WANG, P., JIN, Z., LV, H., XU, B., XU, X. Effect of spring dextrin on retrogradation of wheat and corn starch gels. *Food Hydrocolloids*. 2013, **33**(2), s. 361-367. ISSN 0268-005x. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.03.013.

- [84] MCMULLEN, R. L., GORCEA, M., CHEN, S. Emulsions and their characterization by texture profile analysis. In: DAYAN, N. *Handbook of formulating dermal applications: a definitive practical guide*. John Wiley & Sons, Ltd. 2016, 704 s. ISBN 978-1-119-36362-0.
- [85] PARK, Y. W. Rheological characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*. 2007, **68**(1-2), s. 73-87. ISSN 0921-4488. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2006.09.015.
- [86] SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*. 2002, **13**(4), s. 215-225. ISSN 0950-3293 DOI: 10.1016/S0950-3293(01)00039-8.
- [87] *Texture Technologies Corp. Texture Profile Analysis*. Texture Technologies: Texture Analysis Instruments for Foods, Pharmaceuticals, Adhesives, Cosmetics and more [online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis>
- [88] DE LA HERA, E., ROSELL, C. M., GOMEZ, M. Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility. *Food Chemistry*. 2014, **151**, s. 526-531. ISSN 0308-8146. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.11.115.
- [89] KHATER, E. G., BAHNASAWY, A. H. Heat and Mass Balance for Baking Process. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*. 2014, **4**(7), s. 1-6. ISSN 2155-9821. DOI: 10.4172/2155-9821.1000190.
- [90] KOHAJDOVÁ, Z., KAROVICOVÁ, J. Influence of Hydrocolloids on Quality of Baked Goods. *Acta scientiarum Polonorum, Technologia alimentaria* [online]. 2008, **7**(2), s. 43-49 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: http://www.food.actapol.net/pub/4_2_2008.pdf
- [91] MARTÍNEZ, M. M., GÓMEZ, M. Rheological and microstructural evolution of the most common gluten-free flours and starches during bread fermentation and baking. *Journal of Food Engineering*. 2017, **197**, s. 78-86. ISSN 0260-8774. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.11.008.
- [92] DE LA HERA, E., MARTINEZ, E., GÓMEZ, M. Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread. *LWT - Food Science and Technology*. 2013, **54**(1), s. 199-206. ISSN 0023-6438. DOI: 10.1016/j.lwt.2013.04.019.

- [93] HAN, H. M., CHO, J. H., KANG, H. W., KOH, B. K. Rice varieties in relation to rice bread quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2012, **92**(7), s. 1462–1467. DOI: 10.1002/jsfa.4727.
- [94] GAMBUS, H., SIKORA, M., ZIOBRO, R. The Effect of Composition of Hydrocolloids on Properties of Gluten-Free Bread. *Acta scientiarum Polonorum, Technologia alimentaria* [online]. 2007, **6**(3), s. 61-74 [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: http://www.food.actapol.net/pub/6_3_2007.pdf
- [95] MCCARTHY, D. F., GALLAGHER, E., GORMLEY, T. R., SCHOBER, T. J., ARENDT, E. K. Application of Response Surface Methodology in the Development of Gluten-Free Bread. *Cereal Chemistry Journal*. 2005, **82**(5), s. 609-615. ISSN 0009-0352. DOI: 10.1094/CC-82-0609.
- [96] OZOLA, L., STRAUMITE, E., GALOBURDA, R. Effect of liquid type on the quality of gluten-free muffins. *Chemical Technology*. 2012, **61**(3), s. 27-31. ISSN 1392-1231. DOI: 10.5755/j01.ct.61.3.2716.
- [97] PALABIYIK, I., YILDIZ, O., TOKER, O. S., CAVUS, M., CEYLAN, M. M., YURT, B. Investigating the addition of enzymes in gluten-free flours – The effect on pasting and textural properties. *LWT - Food Science and Technology*. 2016, **69**, s. 633-641. ISSN 0023-6438. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.01.019.
- [98] MATOS, M. E., ROSELL, M. C. Relationship between instrumental parameters and sensory characteristics in gluten-free breads. *European Food Research and Technology*. 2012, **235**(1), s. 107-117. ISSN 1438-2377. DOI: 10.1007/s00217-012-1736-5.
- [99] MARCO, C., ROSELL, M. C. Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours. *Journal of Food Engineering*. 2008, **88**(1), s. 94-103. ISSN 0260-8774. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.01.018.
- [100] DAS, L., RAYCHAUDHURI, U., CHAKRABORTY, R. Role of hydrocolloids in improving the physical and textural characteristics of fennel bread. *International Food Research Journal* [online]. 2013, **20**(5), s. 2253-2259 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: [http://www.ifrj.upm.edu.my/20%20\(05\)%202013/28%20IFRJ%2020%20\(05\)%202013%20Das%20458.pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/20%20(05)%202013/28%20IFRJ%2020%20(05)%202013%20Das%20458.pdf)

- [101] BOUREKOUA, H., BENATALLAH, L., ZIDOUNE, M. N., ROSELL, C. M. Developing gluten free bakery improvers by hydrothermal treatment of rice and corn flours. *LWT - Food Science and Technology*. 2016, **73**, s. 342-350. ISSN 0023-6438. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.06.032.
- [102] TSATSARAGKOU, K., YIANNOPOULOS, S., KONTOGIORGI, A., POULLI, E., KROKIDA, M., MANDALA, I. Mathematical approach of structural and textural properties of gluten free bread enriched with carob flour. *Journal of Cereal Science*. 2012, **56**(3), s. 603-609. ISSN 0733-5210. DOI: 10.1016/j.jcs.2012.07.007.
- [103] COLLAR, C., SANTOS, E., ROSELL, C. M. Assessment of the rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. *Journal of Food Engineering*. 2007, **78**(3), s. 820-826. ISSN 0260-8774. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.11.026.
- [104] MASTROMATTEO, M., GUIDA, M., DANZA, A., LAVERSE, J., FRISULLO, P., LAMPIGNANO, V., DEL NOBILE, M. A. Rheological, microstructural and sensorial properties of durum wheat bread as affected by dough water content. *Food Research International*. 2013, **51**(2), s. 458-466. ISSN 0963-9969. DOI: 10.1016/j.foodres.2013.01.004.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ADP	adenosindifosfát
ATP	adenosintrifosfát
NAD ⁺	oxidovaná forma nikotinamidadeninukleotidu
NADH	redukovaná forma nikotinamidadeninukleotidu
κ	kappa
ι	iota
λ	lambda
HPMC	hydroxypropylmethylcelulóza
CMC	karboxymethylcelulóza
TPA	texturní profilová analýza

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Česká národní ochranná známka pro bezpečkové výrobky	15
Obr. 2: Histologie střevních klků.....	17
Obr. 3: Plodina <i>Oryza sativa</i> L	19
Obr. 4: Rýžová mouka	21
Obr. 5: Kukuřičné zrno a kukuřičná mouka	22
Obr. 6: Zrna perličkového prosa a jahelná mouka.....	23
Obr. 7: Zrna čiroku a čiroková mouka.....	24
Obr. 8: Mouka z tefu.....	24
Obr. 9: Amarantová mouka	25
Obr. 10: Zrna pohanky a pohanková mouka.....	26
Obr. 11: Zrna quinoi a mouka z quinoi.....	26
Obr. 12: Kvasinky <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	28
Obr. 13: Přepřacované schéma etanolové kvašení.....	29
Obr. 14: Hnětení bezpečkového těsta.....	36
Obr. 15: Retrogradace škrobu.....	39
Obr. 16: Texturní analyzátor TA.XT plus	40
Obr. 17: Záznam texturního analyzátoru podle Texture Technologies Corp.	40
Obr. 18: Pórovitost střídky vzorku „A“ s různým přídávkem vody	56
Obr. 19: Pórovitost střídky vzorku „B“ s různým přídávkem vody	57
Obr. 20: Pórovitost střídky vzorku „C“ s různým přídávkem vody	58

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Porovnání vlastností karagenanů	32
Tab. 2: Specifikace výživových údajů použitých rýžových mouk	44
Tab. 3: Přídavek vody při přípravě těsta	46
Tab. 4: Přidávky dalších surovin	46
Tab. 5: Ztráta hmotnosti výrobků [%]	49
Tab. 6: Specifický objem výrobků [$\text{ml}\cdot\text{g}^{-1}$].....	50
Tab. 7: Tvrdost výrobků [N].....	51
Tab. 8: Pružnost výrobků [%].....	52
Tab. 9: Elasticita výrobků [%].....	53
Tab. 10: Kohezivnost výrobků [%].....	54
Tab. 11: Žvýkatelnost výrobků.....	55