

Srovnání produkce kypřicího plynu v bezlepkových těstech

Bc. Klára Čurečková

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav analýzy a chemie potravin
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Klára Čurečková**
Osobní číslo: **T14767**
Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor: **Technologie potravin**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Srovnání produkce kypřicího plynu v bezlepkových těstech**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Význam kypřicího plynu v těstě.
2. Mechanismus zadržování kypřicího plynu v těstě.
3. Faktory ovlivňující tvorbu kypřicího plynu.
4. Způsoby měření tvorby a objemu kypřicího plynu zadrženého v těstě.

II. Praktická část

1. Přehled bezlepkových mouk.
2. Metodika měření množství vyprodukovaného kypřicího plynu.
3. Srovnání množství kypřicího plynu v různých těstech.
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] BUREŠOVÁ, I., KRÁČMAR, S., DVOŘÁKOVÁ, P. a STŘEDA, T. The relationship between rheological characteristics of gluten-free dough and the quality of biologically leavened bread. *Journal of Cereal Science*. 2014, 60, s. 271-275. ISSN 0733-5210.
- [2] GALLAGHER, E., GORMLEY, T. R. a ARENDT, E. K. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science and Technology*. 2004, 15, s. 143-152. ISSN 0924-2244.
- [3] DE CINDIO, B. a CORRERA, S. Mathematical Modelling of Leavened Cereal Goods. *Journal of Food Engineering*. 1995, 24, s. 379-403. ISSN 0260-8774.
- [4] MONDAL, A. a DATTA, A. K. Bread baking – A review. *Journal of Food Engineering*. 2008, 86, s. 465-474. ISSN 0260-8774.
- [5] ROMANO, A., TORALDO, G., CAVELLA, S. a MASI, P. Description of leavening of bread dough with mathematical modelling. *Journal of Food Engineering*. 2007, 83, s. 142-148. ISSN 0260-8774.

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

Datum zadání diplomové práce: **20. ledna 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **29. dubna 2016**

Ve Zlíně dne 20. ledna 2016



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



Ing. Jiří Mlček, Ph.D.
ředitel ústavu

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 6. 4. 2016


.....

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 nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

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

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

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

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku 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 srovnáním množství vyprodukovaného a zadržovaného kypřicího plynu v bezlepkových těstech v závislosti na přídavku vody. Teoretická část obsahuje charakteristiku bezlepkových plodin a využití bezlepkových mouk z nich vyrobených. Dále je v práci popsána tvorba biologicky kypřeného pečiva a vlastnosti bezlepkového těsta. V praktické části práce jsou uvedeny jednotlivé vzorky bezlepkových mouk, které byly použity při výrobě těsta, dále je popsána metodika práce a získané výsledky. Tvorba kypřicího plynu byla sledována u různých druhů rýžových, jáhlových, pohankových, amarantových, merlíkových a cizrnových těst. Z výsledků vyplývá, že nejvhodnějšími těsty pro přípravu bezlepkového pečiva jsou těsta pohanková a cizrnová.

Klíčová slova: bezlepkové těsto, biologicky kypřené pečivo, kypřicí plyn, celiakie

ABSTRACT

The thesis compares the amount of the produced and retained leavening gas in gluten-free doughs depending on the addition of water. The theoretical part contains the characteristics of the crops producing gluten-free grains and the use of flours made from them. Further the author describes the production of the biologically leavened baked goods and properties of the gluten-free dough. The samples of gluten-free flours that were used for the dough production, the methodology of work and the results obtained are described in the practical part of the thesis. Production of the leavening gas was investigated for various kinds of rice, millet, buckwheat, amaranth, quinoa and chickpea doughs. The results show that the best doughs for preparing gluten-free baked goods are the ones made from buckwheat and chickpeas.

Keywords: gluten-free dough, biologically leavened baked goods, leavening gas, coeliac disease

Ráda bych na tomto místě poděkovala doc. RNDr. Ivě Burešové, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce, za cenné rady a připomínky k jejímu textu, za poskytování materiálových podkladů a za ochotu a vstřícný přístup. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Lucii Masaříkové a Ing. Soně Kulhanové za pomoc při práci v laboratoři a za rady při vyhodnocování výsledků. Poděkování patří také mému manželovi a synovi za trpělivost, pochopení a podporu při psaní práce.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 BEZLEPKOVÉ PLODINY	12
1.1 OBILOVINY.....	12
1.1.1 Rýže.....	13
1.1.2 Proso.....	15
1.2 PSEUDOBILOVINY.....	16
1.2.1 Pohanka.....	17
1.2.2 Amarant.....	21
1.2.3 Quinoa.....	22
1.3 LUŠTĚNINY.....	23
1.3.1 Cizrna.....	24
2 VYUŽITÍ BEZLEPKOVÝCH MOUK.....	26
2.1 RÝŽOVÁ MOUKA	26
2.2 JÁHLOVÁ MOUKA	26
2.3 POHANKOVÁ MOUKA.....	26
2.4 AMARANTOVÁ MOUKA.....	26
2.5 MOUKA Z QUINOI	27
2.6 CIZRNOVÁ MOUKA	27
3 BIOLOGICKÉ KYPŘENÍ PEČIVA.....	28
3.1 PEKAŘSKÉ KVASINKY	28
3.2 ANAEROBNÍ ODBOURÁVÁNÍ SACHARIDŮ	30
3.3 AEROBNÍ ODBOURÁVÁNÍ SACHARIDŮ.....	32
4 PODSTATA TVORBY BIOLOGICKY KYPŘENÉHO PEČIVA	33
4.1 SUROVINY PRO VÝROBU BIOLOGICKY KYPŘENÉHO PEČIVA	33
4.2 TECHNOLOGIE VÝROBY BIOLOGICKY KYPŘENÉHO PEČIVA	34
5 CHARAKTERISTIKA BEZLEPKOVÉHO TĚSTA A PEČIVA.....	36
6 CELIAKIE	38
7 MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ KYPŘICÍHO PLYNU	40
II PRAKTICKÁ ČÁST	41
8 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	42
9 MATERIÁL A METODIKA	43
9.1 PŘEHLED BEZLEPKOVÝCH MOUK.....	43
9.2 OSTATNÍ SUROVINY.....	43
9.3 POUŽITÉ PŘÍSTROJE	44
9.4 PŘÍPRAVA BEZLEPKOVÉHO TĚSTA	44
9.5 MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ VYPRODUKOVANÉHO KYPŘICÍHO PLYNU	44
9.6 HODNOCENÍ MNOŽSTVÍ VYPRODUKOVANÉHO KYPŘICÍHO PLYNU	45
9.7 STATISTICKÁ ANALÝZA DAT.....	45
10 VÝSLEDKY A DISKUZE	46

10.1	VÝSLEDKY MĚŘENÍ PRODUKCE KYPŘÍČÍHO PLYNU V BEZLEPKOVÝCH TĚSTECH	46
10.1.1	Rýžové těsto	48
10.1.2	Jáhlové těsto	50
10.1.3	Pohankové těsto	51
10.1.4	Amarantové těsto	52
10.1.5	Merlíkové těsto.....	53
10.1.6	Cizrnové těsto.....	54
10.1.7	Srovnání bezlepkových těst s 65% přídavkem vody.....	56
10.1.8	Srovnání bezlepkových těst s 70% přídavkem vody.....	58
10.1.9	Srovnání bezlepkových těst s 75% přídavkem vody.....	60
10.2	DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ	62
	ZÁVĚR	66
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	67
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	75
	SEZNAM OBRÁZKŮ	76
	SEZNAM TABULEK.....	77

ÚVOD

Lepek je souhrnným označením pro bílkoviny, které jsou obsaženy v obilných zrnech pšenice, žita, ječmene, ovsa a jejich kříženců. U osob trpících nesnášenlivostí lepku způsobují zmíněné bílkoviny onemocnění zvané celiakie. Lepkové bílkoviny v pšenici se nazývají gliadiny, v žitu se vyskytují sekaliny, ječmen obsahuje hordeiny a lepkové bílkoviny ovsa nesou název aveniny. V současné době je jedinou terapií při celiakii bezlepková dieta, kdy je nutné z potravy vyloučit všechny pokrmy připravené z výše uvedených obilovin. Pro výrobu pečiva a dalších potravin je pak nutné použití přirozeně bezlepkových surovin.

Lepkové bílkoviny vytváří během tvorby těsta síť s unikátními viskoelastickými vlastnostmi. Pomocí lepkové sítě je v těstě zadržován kypřicí plyn, těsto je pružné a vzniklé pečivo má typickou nadýchanou strukturu. Bezlepkové těsto však lepkovou síť neobsahuje. Z toho důvodu nedokáže zadržovat tolik kypřicího plynu a bezlepkové pečivo se proto vyznačuje malými vzduchovými póry, menším objemem a tvrdou texturou.

Teoretická část diplomové práce je zahájena charakteristikou bezlepkových plodin. Vlastnosti, chemické složení a využití bylo popsáno u vybraných obilovin (rýže a proso), dále u pseudoobilovin (pohanka, amarant a quinoa) a u luštěnin (cizrna). Další část je věnována bezlepkovým moukám, jež byly vyrobeny ze zmíněných plodin, a jejich využití v potravinářství. Dále práce seznamuje s biologickým kypřením pečiva, ke kterému dochází díky oxidu uhličitému, jenž vzniká jako produkt při přeměně sacharidů kvasinkami dodávanými do těsta ve formě droždí. Následně jsou popsány suroviny a technologie při výrobě biologicky kypřeného pečiva. O vlastnostech bezlepkového těsta a pečiva pojednává další kapitola. Teoretická část rovněž obsahuje popis onemocnění celiakie, které je způsobeno nesnášenlivostí lepku. V poslední části je popsán způsob měření množství vyprodukovaného kypřicího plynu pomocí texturometru TA.XT plus Texture Analyser.

V praktické části je popsán použitý materiál a metodika práce. Při přípravě bezlepkových těst byly použity bezlepkové mouky z vybraných bezlepkových plodin a od různých výrobců. Následně jsou uvedena výsledná množství vyprodukovaného kypřicího plynu a rychlost tvorby kypřicího plynu u jednotlivých bezlepkových těst (rýžové, jáhlové, pohankové, amarantové, merlíkové a cizrnové). Nechybí ani srovnání výsledků pro těsta s 65%, 70% a 75% přídavkem vody. Poslední částí je diskuze získaných výsledků.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 BEZLEPKOVÉ PLODINY

Lepek je podle Nařízení Komise (ES) č. 41/2009 ze dne 20. ledna 2009 o složení a označování potravin vhodných pro osoby s nesnášenlivostí lepku definován jako bílkovinná frakce z pšenice, žita, ječmene, ovsa nebo jejich kříženců a derivátů, na kterou mají některé osoby nesnášenlivost a která je nerozpustná ve vodě a 0,5 M roztoku chloridu sodného [1].

Nesnášenlivost lepku (celiakie) není způsobena jen pšeničnými lepkovými bílkovinami (pšeničnými prolaminami označovanými jako gliadiny), ale také žitnými, ječnými a ovesnými prolaminami (v žitu označované jako sekaliny, v ječmeni hordeiny a v ovsu aveniny) [2,3].

Jako potraviny s velmi nízkým obsahem lepku jsou označovány potraviny pro osoby s nesnášenlivostí lepku, které jsou vyrobeny z pšenice, žita, ječmene, ovsa nebo jejich kříženců, jež byly speciálně vyrobeny tak, aby v nich byl snížen obsah lepku. Takové potraviny nesmí obsahovat více než 100 mg/kg lepku ve stavu, v němž jsou prodávány konečnému spotřebiteli. Potraviny, v nichž obsah lepku ve stavu, ve kterém jsou prodávány konečnému spotřebiteli, činí nejvýše 20 mg/kg, lze označit jako potraviny bez lepku [1].

Mezi přirozeně bezlepkové plodiny, které jsou vhodné pro osoby s nesnášenlivostí lepku, patří některé obiloviny (rýže a proso), pseudoobiloviny (pohanka, amarant a quinoa) a luštěniny (cizrna) [3].

1.1 Obiloviny

Obiloviny neboli cereálie lze považovat za nejstarší zdroj potravy, kterou lidská společnost získala svou uvědomělou činností z přírody. Archeologické výzkumy dokládají, že člověk začal obiloviny pěstovat již v dobách neolitu. Do Evropy se dostaly ze Středomoří a z oblastí jihozápadní Asie. V současné době se pěstují téměř po celém světě v oblastech s příznivými podmínkami [4,5].

Obilovinami se rozumí plody obilnin, což jsou jednoděložné rostliny, které patří do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*). Z důvodu společného botanického původu obilovin lze očekávat značnou podobnost jak ve struktuře a tvorbě zrna, tak v jeho chemickém složení. Příkladem může být uspořádání obalových a podobalových vrstev zrna, obdobné zastoupení jednotlivých aminokyselin v obilné bílkovině či zastoupení mastných kyselin v tukových složkách. Během staletí šlechtění a pěstování se však vlivem různých klimatických podmínek vytvořily odlišnosti jak mezi jednotlivými botanickými rody a druhy obilovin, tak i mezi jednotlivými odrůdami téhož druhu. Rozdíly mohou být znatelné ve složení a obsahu slizovitých

látek, v obsahu tuku nebo v kvalitě bílkovin. Postupem doby se zjistilo, že pro různá zpracování jsou vhodné různé obiloviny [6].

V současné době je na světě nejvíce produkována pšenice a rýže, která se však jen málo zpracovává na mouku a podíl jejího využití pro pekařské výrobky je mizivý [6].

Vhodně upravené obiloviny jsou významným zdrojem energie, která je v nich uložena ve formě sacharidů [4].

Chemické složení obilného zrna kolísá na základě oblasti pěstování, odrůdy, hnojení, doby setí, agrotechniky, klimatických podmínek a celé řady dalších činitelů. Důležitou složkou obilného zrna je voda, která umožňuje biochemické a fyziologické procesy probíhající během růstu, dozrávání a skladování. Největší podíl obilného zrna tvoří sacharidy, z nichž velkou část tvoří škrob. Dalšími složkami jsou bílkoviny, lipidy, minerální látky, vitaminy, barviva a složky, které mají růstové regulační a genetické funkce [4].

Obiloviny slouží především pro lidskou výživu, jsou hlavní surovinou pro výrobu nejrůznějších potravin, ale uplatnění nachází také jako krmivo hospodářských zvířat a malé množství je technicky zpracováváno na škrob a líh [5].

1.1.1 Rýže

Nejrozšířenější obilovinou pěstovanou pro přímou konzumaci je rýže. Pochází z tropické a subtropické jihovýchodní Asie a je považována za jednu z nejstarších kulturních rostlin světa. Z hlediska výživy člověka patří k nejdůležitějším obilovinám [7].

Nejpěstovanějším druhem je rýže setá (*Oryza sativa*). Je pěstována převážně v asijských a afrických zemích, ale také v Americe. Původně byly známy dvě hlavní odrůdy rýže seté, rýže japonská (*Oryza sativa var. japonica*) a rýže indická (*Oryza sativa var. indica*), které se lišily tvarem zrna. Japonská rýže měla zrno tvaru tyčinky, bylo dlouhé a štíhlejší, zatímco indická rýže měla zrno oválného tvaru, které bylo krátké a kulatější [6,8].

Největšími producenty surové rýže jsou Čína a Indie [7].

Zrna rýže jsou pluchatá a mají tuhé obaly, které jsou tvořeny z největší části celulórou. Proto je rýže konzumována především ve formě obroušených a oleštěných zrn [6].

Rýže patří k nejhodnotnějším potravinám, přes 85 % tvoří komplexní cukry. Je vhodná pro různé typy diet, protože je lehce stravitelná. Obsahuje pouze stopové množství tuku a nenajdeme v ní žádný cholesterol. Neobsahuje lepek, je proto vhodná pro osoby trpící celiakií. Hnědá rýže navíc obsahuje vysoké množství vlákniny [7].

Na základě platné vyhlášky Ministerstva zemědělství ČR č. 333/1997 Sb. lze rozlišit druhy rýže podle omletí zrna:

- rýže neloupaná - neloupané obilky rýže s celistvou vrchní slupkou,
- rýže pololoupaná (natural) - zrna rýže zbavená vrchní slupky (pluchy),
- rýže loupaná - zrna rýže zbavená všech částí oplodí a osemení a částečně i klíčků

a podle tvaru zrna:

- dlouhozrná rýže - zrno je průměrně 6 mm dlouhé a poměr jeho délky a šířky je zpravidla více než 3,
- střednězrná rýže - průměrná délka zrna je mezi 5,2 mm a 6,0 mm a poměr délky a šířky zrna je zpravidla nižší než 3,
- kulatozrná rýže - průměrná délka zrna je menší než 5,2 mm a poměr délky a šířky zrna je méně než 2 [6,9].

Dnes velmi oblíbeným typem rýže je rýže parboiled, která se upravuje patentovaným technologickým postupem, vyvinutým v USA. Tento postup spočívá ve čtyřfázové hydrotermické úpravě zrna, kdy se nejdříve namáčí neloupaná rýže a následně jsou dovnitř zrna vtlačeny působením vysokotlaké páry rozpuštěné vitaminy a minerální látky z povrchových vrstev. Zrno se pak loupe a leští, ovšem vitaminy a minerální látky v zrnu zůstávají, na rozdíl od rýže bílé, ze které jsou odstraněny všechny obaly. Z výživového hlediska je rýže parboiled hodnotnější. Obsahuje dvojnásobné množství vitaminů skupiny B, včetně niacinu a kyseliny listové, v porovnání s běžně loupanou rýží [7].

Rýže je nejvíce používána jako přílohová obilovina k masům a zelenině, uplatnění nachází též při přípravě nejrůznějších typů kaší. Rýžová mouka se vyrábí v menším množství a používá se jen pro speciální výrobky [6,8].



Obr. 1. Rýže setá [36]

1.1.2 Proso

Proso je prastarou kulturní obilovinou. První písemný záznam o jeho pěstování pochází z Číny kolem roku 2800 př. n. l. Na základě archeologických nálezů bylo zjištěno, že proso konzumovali již Sumerové, Etruskové a Římané [10,11].

Slované považovali proso za jednu z nejdůležitějších obilovin, připravovali z něj placky a kaše. Jeho pěstování však bylo postupem času omezeno. Důvodem byl nástup výnosnějších obilovin a také dovoz jiných plodin, např. brambor a rýže. Proto se proso řadí do skupiny méně častých obilovin [11].

Nejznámějším druhem je proso seté (*Panicum miliaceum*), pěstované především v Rusku, Číně a v USA [7].

Mezi hlavní producenty prosa patří Indie, Nigerie a Čína. V ČR není jeho produkce příliš vysoká, dohromady s pohankou, čirokem a dalšími minoritními obilovinami činí přibližně 10 000 tun ročně [6].

Zrna prosa jsou malá pluchatá a pro další využití se obrousují a leští. Tato leštěná zrna žlutavé barvy, zbavená pluch a plušek, se nazývají jáhly [6,10].

Jáhly jsou velmi chutné, výživné a dobře stravitelné, proto jsou doporučovány i pro dětskou výživu. Mají příznivý poměr živin, který se blíží doporučenému poměru sacharidů, bílkovin a tuků. Obsahují 70 - 73 % sacharidů (z toho 9 - 11 % vlákniny a 62 - 66 % škrobu), 10 - 11 % bílkovin a 3,7 - 4,6 % tuků. Tuky se skládají z 85 % neutrálních lipidů, z 12 % fosfolipidů a 3 % glykolipidů. Neutrální lipidy zahrnují především triacylglyceroly, malá množství diacylglycerolů a monoacylglycerolů, sterolů a volných mastných kyselin. Kvalita tuku v semenech prosa je výjimečná, avšak jeho větší množství ve srovnání s pšenicí a rýží je příčinou kratší trvanlivosti prosočných výrobků [7,11,12].

Ve srovnání s ostatními obilovinami obsahuje proso vyšší obsah vitaminů, zvláště A, B₁ a B₂, a minerálních prvků, především železa. Patří mezi obiloviny s nejvyšším obsahem karotenoidů. Význam prosa v poslední době narůstá, protože neobsahuje lepek, a tudíž nevyvolává nežádoucí reakce u konzumentů s lepkovou intolerancí [11].

Jáhly lze použít při přípravě nejrůznějších pokrmů - polévek, kaší, nákypů a koláčů. Proso má uplatnění i jako náhražka sladu, je základem krmných směsí exotického ptactva nebo se používá jako krmivo pro drůbež, prasata a ryby. V neposlední řadě se proso uplatňuje při výrobě alkoholických nápojů. V Albánii, Bulharsku a Rumunsku se z prosa vyrábí kvašený slabě alkoholický nápoj (boza nebo také braga). Na Kavkaze se proso využívá při výrobě kořalky (urau). V Africe je proso surovinou používanou při výrobě piva (bantu neboli kaffir) [6,10,11].



Obr. 2. *Proso seté* [37]

1.2 Pseudoobiloviny

Pseudoobiloviny neboli pseudocereálie se pěstují a využívají obdobně jako obiloviny. Botanicky však nepatří do čeledi lipnicovitých, proto tvoří samostatnou skupinu. Jedná se o plody dvouděložných rostlin, na rozdíl od obilovin, které jsou jednoděložné. Mezi neznámější pseudoobiloviny patří pohanka (z čeledi rdesnovitých), amarant (z čeledi laskavcovitých) a quinoa (z čeledi merlíkovitých) [13,14].

Semena pseudoobilovin jsou velmi drobná a mají lehkou oříškovou chuť [14].

Z hlediska chemického složení obsahují pseudoobiloviny více kvalitních bílkovin než obiloviny, a to díky vyššímu obsahu esenciálních aminokyselin lyzinu, argininu a histidinu. Jsou též důležitým zdrojem nenasycených mastných kyselin. Z minerálních látek převažuje vápník, hořčík, železo, sodík a zinek. Pseudoobiloviny jsou bohaté na vitaminy B₂, C, E a kyselinu listovou (vitamin B₉). Podobně jako obiloviny obsahují fenolické látky, které se

používají pro medicínské účely. Příkladem je rutin v pohance a saponiny, které vykazují antikarcinogenní, protizánětlivé, cholesterol snižující a imunomodulační účinky [14,15].

Oproti běžným obilovinám se pseudoobiloviny vyznačují vyšší nutriční hodnotou, protože obsahují více bílkovin, vlákniny a esenciálních mastných kyselin, jak již bylo zmíněno výše. Díky zvýšenému obsahu vlákniny a bílkovin mají nižší glykemický index, pomáhají tak regulovat hladinu cukru v krvi a déle zasytí. Protože obsahují větší množství esenciálních mastných kyselin, používají se jako prevence při kardiovaskulárních onemocněních a zvýšené hladině cholesterolu. Konzumace produktů připravených z pseudoobilovin snižuje vysoký krevní tlak a omezuje výskyt onemocnění rakovinou. Z důvodu vyššího obsahu kyseliny listové jsou pseudoobiloviny vhodné pro těhotné ženy, neboť kyselina listová je v těhotenství důležitá pro růst a vývoj plodu [13,14,16].

Pohanka, amarant a quinoa patří mezi bezlepkové plodiny, jsou tedy vhodnou potravou pro osoby s nesnášenlivostí lepku [14].

Pseudoobiloviny mají obdobné využití jako ostatní obiloviny. Konzumují se celá zrna, vyrábí se z nich vločky nebo se melou na mouku, která se pak používá na přípravu pečiva či moučníků. Pufovaná semena mohou být konzumována jako cereálie. Protože pseudoobiloviny obsahují značné množství tuků, vyrábí se z nich vysoce kvalitní oleje [14].

1.2.1 Pohanka

Pohanka je teplomilná, jednoletá, dvouděložná, cizosprašná a hmyzosnubná plodina, která patří do čeledi rdesnovitých (*Polygonaceae*). Nejpěstovanějším druhem je pohanka setá (*Fagopyrum esculentum* Moench.). Pochází ze severní Číny, kde se začala pěstovat již v 11. století př. n. l. Odtud se rozšířila do Bhútánu, Nepálu, severní Indie a severního Pákistánu. Do Evropy ji přivezli až ve 12. nebo 13. století muslimští obchodníci nebo armáda pohanských Tatarů, odtud se odvíjí její název. Z Evropy se pak dostala do Ameriky, kde se stala díky své krátké vegetační době a vysoké výživové hodnotě důležitou plodinou při osidlování USA a Kanady [17,18,19].

Na území České republiky je pohanka pěstována pravděpodobně od 12. století, dokazují to archeologické nálezy z Opavy, Pruněrova, Uherského Brodu a Starého Jičína. Velmi populární byla na Těšínsku, Valašsku a v Beskydech. V 16. a 17. století nastal velký rozmach v pěstování pohanky, avšak v 19. století došlo k úpadku v důsledku zvýšeného konzumu

pečiva z bílé mouky. Na Valašsku se její pěstování udrželo díky rodině Šmajstrlů. V 90. letech 20. století došlo z důvodu zvýšeného zájmu o racionální výživu a ekologické zemědělství k obnovení pěstování a konzumace pohanky [19].

Kromě pohanky seté je v omezené míře pěstována i pohanka tatarská (*Fagopyrum tataricum*), nazývaná tatarka. Pochází ze Sibíře a střední Asie. Je více odolná, proto nahrazuje pohanku setou ve vyšších polohách. Přestože obsahuje větší množství alkaloidu rutinu, její nažky nejsou příliš vhodné na výrobu mouky, proto se spíše používá jako krmivo pro hospodářská zvířata [17].

Na základě informací agentury FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) z roku 2012 jsou největšími producenty i konzumenty pohanky ve světě Čína, Rusko, Ukrajina a Polsko. Se stoupajícím zájmem o pohanku rozšiřují své pěstební plochy také Kanada, USA a Chile. Její světová roční produkce se obvykle pohybuje v rozmezí 2,5 - 3,3 mil. tun [7,18].

Od roku 1994 je pohanka jednou z nejvýznamnějších tržních plodin ekologického zemědělství. K největším producentům „bio“ pohanky v Evropě se v současnosti řadí i Česká republika [19].

Plodem pohanky je jednosemenná hladká trojboká nažka s celokrajnými hranami. Pohankové nažky jsou uloženy v tvrdém oplodí (slupce), které má většinou hnědou barvu, plody některých odrůd však mohou být šedé nebo černé. Oplodí tvoří 15 - 30 % hmotnosti plodu a odstraňuje se při loupání [19,20].

Základními chemickými složkami plodů pohanky jsou sacharidy, bílkoviny, tuky, vláknina, vitaminy a minerální látky [21]. Celkový obsah sacharidů činí 67 - 70 %, přičemž 54,5 % zaujímá škrob. Škrobové granule pohanky mají polygonální tvar a jsou často spojeny do agregátů. Velikost granulí se pohybuje v rozmezí 2 - 14 μm , v průměru 6,5 μm . Poměr mezi amylozou a amylopektinem je 1:1. Škrob pohanky obsahuje dvakrát více amylozy než pšenice a ječmen, což má vliv na fyzikálně-chemické vlastnosti škrobu a na jeho lepší stravitelnost [18,22].

Nažky pohanky obsahují 10,5 - 15 % bílkovin. Převážně se jedná o cytoplazmatické bílkoviny (albuminy a globuliny), obsah prolaminů je velmi malý. Tato skladba bílkovin je podobná bílkovinnému komplexu luskovin. Z důvodu minimálního zastoupení glutelinových bílkovin je pohanka vhodná i pro celiaky, přesto však může u citlivých osob vyvolat aler-

gické reakce. Zralá zrna obsahují 13,8 % bílkovin, loupané kroupy 16,4 %, v perikarpu najdeme 4 % bílkovin, v endospermu 10,1 % a v embryu 55,9 % bílkovin. Složení aminokyselin se podobá obsahu aminokyselin v luskovinách. Pohanka obsahuje celkem 18 aminokyselin, přičemž nejvýznamnější je lyzin, metionin, arginin a kyselina asparagová [18,22].

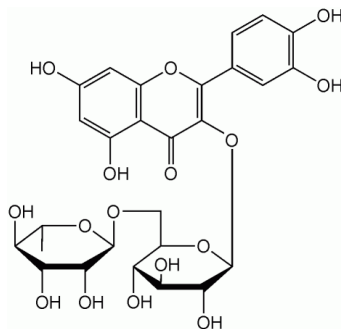
Tuky zaujímají v zrnech pohanky 1,5 - 3,7 %, koncentrovány jsou hlavně v embryu a endospermu. Přibližně 88 % z celkového obsahu mastných kyselin představuje kyselina linolová, olejová a palmitová. Díky vysokému obsahu polynenasycených esenciálních mastných kyselin je pohanka považována za nutričně nadřazenou plodinu. Významný je i obsah fyziologicky aktivních rostlinných sterolů, které preventivně snižují vstřebávání cholesterolu z potravy. V pohance je nejhojněji zastoupen β -sitosterol, kampesterol a sigmasterol [17,20,22].

Celkový obsah vlákniny v pohance činí 3,4 - 5,2 %. Vláknina má pozitivní fyziologický účinek na gastrointestinální trakt a významně ovlivňuje metabolismus jiných živin. Díky ní může pohanka působit při léčbě hypertenze a hypercholesterolemie, což by mohlo být užitečné při prevenci rakoviny tlustého střeva [20,21].

Pohanka je rovněž významným zdrojem vitaminů skupiny B a vitaminu C a E. Celkový obsah B-komplexu je vyšší v nažkách pohanky tatarské, konkrétně v jejích otrubách, které například obsahují kolem 6 % denní terapeutické dávky pyridoxinu (vitamin B₆), která je účinná pro snížení hladiny homocysteinu v krevní plazmě [20,22].

Plody pohanky jsou cenným zdrojem minerálních látek. Významný je vysoký obsah fosforu, draslíku, vápníku, hořčíku a železa, v menší míře pohanka obsahuje i mangan, zinek a měď [18].

Nejvíce ceněnou složkou pohanky je bioflavonoid rutin, který se nachází především v květech a listech rostliny. Jeho obsah v nažkách se udává v rozmezí 14,5 - 18,5 mg/100 g sušiny. Rutin je jedním z přírodních antioxidantů, působí blahodárně na obranyschopnost organismu a na pružnost krevních vlásečnic, čímž se podílí na snižování krevního tlaku. V souvislosti s jeho antioxidantními schopnostmi byly prokázány jeho antikarcinogenní a antimutagenní účinky. Působení rutinu je ještě znásobeno současným příjmem vitaminu C, společně snižují riziko trombózy, infarktu či mozkové mrtvice [18,20,21,23].

Obr. 3. *Rutin* [24]

Pohanková nať a obalové vrstvy nažek obsahují toxický fagopyrin. Při nahromadění pod pokožkou způsobuje tato látka tzv. fagopyrismus - hyperfotosenzitivitu, která se projevuje zčervenáním a svěděním kůže při vystavení slunečnímu záření. Reakce je doprovázena silnou přecitlivělostí na chlad [20].

Pohanka je využívána jako obilovina, zelenina či jako krmivo pro hospodářská zvířata. Nejčastěji se z ní vyrábí pečivo, těstoviny, kaše, může být uplatňována jako náhražka rýže. Ve formě zeleniny bývá konzumována pohanková nať, přidává se do salátů, polévek nebo se odšťavňuje do zelených džusů. Nebezpečím tohoto způsobu využití je však výše zmíněný fagopyrismus. Nejvíce je pohanka ceněna pro obsah rutinu, který se dále využívá ve farmaceutickém průmyslu. K přípravě pohankového čaje nebo jako výplň do polštářů se uplatňují pohankové slupky [19,20].

Pohanka setá je medonosná a nektarodárná rostlina. Pohankový med obsahuje ze všech druhů největší množství bioflavonoidů, díky kterým má vysokou antioxidační kapacitu a působí antibakteriálně. Med má tmavou barvu a velmi silnou specifickou chuť [14,17,19].

Obr. 4. *Pohanka setá* [38]

1.2.2 Amarant

Amarant neboli laskavec je jednou z nejstarších pěstovaných kulturních plodin. Pochází ze Střední Ameriky, kde byl pravděpodobně pěstován již před 5 - 8 tisíci lety. Inkové, Mayové a Aztékové využívali amarant jako základní potravinu a nazývali ho „zlatým zrnem“. V současné době je jeho pěstování na semeno nejvíce rozšířeno v USA, Mexiku a Jižní Americe, ve formě zeleniny je pěstován v Asii a v Africe. V Evropě je amarant rozšířen především na Slovensku, v Maďarsku a Itálii. V České republice došlo k rozvoji jeho pěstování až v 90. letech minulého století díky olomoucké společnosti Bohemia Amaranth s.r.o. [14,25,26].

Amarant patří do čeledi laskavcovitých (*Amaranthaceae*). Nejvíce využívanými druhy pro produkci semen jsou *Amaranthus hybridus* L. ssp. *hypochondriacus* a *Amaranthus cruentus* L., zatímco druhy *Amaranthus tricolor* L., *Amaranthus hybridus* L. a *Amaranthus lividus* jsou využívány jako listová zelenina [18,27].

Protože je laskavec schopen odolávat suchu, solím a dokáže detoxikovat půdy zamořené dokonce i radionuklidy, stal se perspektivní plodinou pro ekologické zemědělství [18].

Plodem je nejčastěji vejčitá tobolka žlutozelené nebo načervenalé barvy, v níž jsou uložena okrouhle elipsovitá, čočkovitá semena s hladkým a lesklým povrchem. Jedna rostlina amarantu je schopna vyprodukovat až 500 000 malých semen s vysokou nutriční hodnotou [25].

Semena amarantu obsahují 17 - 18 % kvalitních bílkovin. Vyznačují se příznivou skladbou esenciálních aminokyselin, z nichž nejvíce je zastoupen lyzin a metionin. Neobsahují lepek, jsou tedy vhodná pro bezlepkovou dietu. Zvláštností laskavce je vysoký obsah škrobu v perispermu. Z minerálních látek je nejvíce zastoupen fosfor, draslík, vápník a hořčík. Amarant je též dobrým zdrojem vitaminů B₂ a E. Obsah tuku v semenech se pohybuje v rozmezí 7 - 8 %. Tukové látky neobsahují cholesterol ani triglyceridy. Z mastných kyselin převažují esenciální nenasycené kyseliny olejová a linolová. Olej získaný ze semen laskavce obsahuje 6 - 7 % skvalenu. Skvalen je látka, která dokáže redukovat riziko vzniku nádorového onemocnění, brání nadbytečné syntéze cholesterolu v organismu, zpomaluje stárnutí pleti a je významným antioxidantem [7,14,18,25].

Semena laskavce se přidávají do polévek, sušenek, nebo mohou být součástí müsli. Největší využití v potravinářství však má amarantová mouka. Listy a stonky zeleninových druhů se využívají podobně jako špenát. Některé druhy amarantu nachází uplatnění při výrobě přírodních barviv a kosmetických přípravků [25,27].

Obr. 5. *Amarant* [39]

1.2.3 Quinoa

Quinoa neboli merlík chilský je podobně jako amarant prastarou kulturní plodinou. Pochází z Jižní Ameriky, kde ji před více než 5000 lety začali pěstovat Inkové v horských oblastech And v Bolívii, Chile a Peru. Společně s bramborami, fazolemi a kukuřicí byla základní plodinou vyspělé civilizace Inků a Aztéků [7,18,28].

Quinoa je jednoletá dvouděložná plodina, která patří do čeledi merlíkovitých (*Chenopodiaceae*), přičemž nejvýznamnějším druhem je *Chenopodium quinoa*. Mezi její příbuzné druhy patří cukrová řepa nebo špenát [18,27].

Největším komerčním producentem quinoi je v současné době Peru, druhé místo zaujímá Bolívie. Zájem o quinou se nedávno rozšířil do Indie a dalších částí Asie, do Afriky a také do Evropy [29].

Drobná semena merlíku jsou umístěna v lichoklasech a mají většinou světle žlutou barvu, ale vyskytují se i druhy, které mají semena barvy bílé, růžové či hnědé. Tvar semen může být kónický, kulovitý či elipsoidní. 25 až 30 % celkové hmotnosti zrna zaujímá embryo [18].

Semena quinoi se vyznačují vynikající nutriční hodnotou. Obsahují 15 - 18 % bílkovin, přičemž aminokyselinová skladba se podobá mléčné bílkovině kaseinu. Velký podíl bílkovin připadá na albuminy a globuliny, obsah prolaminů je velmi nízký, proto jsou potraviny z quinoi vhodné pro osoby trpící celiakií. Z aminokyselin je nejvíce zastoupen lyzin, arginin a histidin. Sacharidy představují až 70 % hmotnosti zrna, přitom 60 % zaujímá škrob, který je typický nízkým obsahem amylózy a malou velikostí škrobových zrn ve srovnání s ostatními obilovinami. Merlík obsahuje 6 - 8 % tuků, které jsou z 99 % tvořeny nenasycenými mastnými kyselinami, největší podíl představuje kyselina linolová. Významný je i obsah minerálních látek, na které připadá 3 - 4 % celkové hmotnosti zrna. Ve srovnání s ostatními

obilovinami obsahuje quinoa větší množství vápníku, fosforu, hořčíku, draslíku, železa, mědi, manganu a zinku. Semena merlíku jsou též dobrým zdrojem vitaminů, v porovnání s obilovinami vykazují vyšší obsah riboflavinu, α -tokoferolu a β -karotenu, obsah niacinu je však nižší. Obsah vlákniny v semenech je 3,5 - 4,5 %, což má pozitivní vliv na snižování hladiny cholesterolu a na správnou funkci zažívacího traktu [7,14,18,28].

Semena quinoi obsahují vysoký podíl slupek, které jsou zdrojem saponinů. Saponiny jsou antinutriční rostlinné látky, které způsobují hořkost plodiny. Slouží jako ochrana proti ptákům, toxické mohou být i pro ryby. Obaly se ze semen proto odstraňují, ať už suchými (leštění) či mokřými postupy (namáčení) [18,28].

Merlík chilský je významný i z hlediska zvýšeného obsahu antioxidantních flavonoidů, konkrétně se jedná o látky quercetin a kaempferol [29].

Quinou lze využívat buď ve formě mouky, nebo celých semen. Celá semena se mohou přidávat do polévek, do salátů, do müsli nebo jako náhražka rýže. Listy se dají použít jako zelenina. Ze semen se dá vyrábět alkohol. V současné době je quinoa doporučována při výživě malých dětí, protože neobsahuje lepek. Z důvodu stopového množství saponinů, které mohly i navzdory čištění v potravině zůstat, by se však quinoa neměla podávat dětem do dvou let věku [18].



Obr. 6. *Quinoa* [40]

1.3 Luštěniny

Luštěniny představují semena luskovin, což jsou jednoleté rostliny z čeledi bobovitých (*Fabaceae*), jejichž plodem je lusk. Specifickým znakem luskovin je vysoký obsah bílkovin rostlinného původu jak v semenech, tak i v celé nadzemní biomase. Významná u luskovin

je schopnost symbiůzy s hlízkovými bakteriemi, které umožňují biologickou fixaci dusíku, což umožňuje snížit spotřebu dusíkatých hnojiv. Protože mají luskoviny zúrodňující dopad na půdu, využívají se v ekologickém hospodářství jako vynikající předplodina [31,32].

Luštěniny jsou nejvíce konzumovány v Africe a v Asii. V České republice je konzumace luštěnin velmi nízká, dosahuje přibližně 2 kg na osobu za rok, přičemž světový průměr činí 7 kg [31].

Chemické složení luštěnin je díky vysokému podílu bílkovin, obsahu vlákniny a příznivé skladbě škrobu vhodné pro racionální výživu. Luštěniny obsahují 20 - 45 % bílkovin v sušině. Ve srovnání s obilovinami je biologická hodnota bílkovin vyšší, typické je větší množství lyzinu a naopak menší množství sirných aminokyselin. Obsah tuku v semenech činí 1,5 %, výjimku však tvoří sója s 20 % tuku. Obsah sacharidů v luštěninách dosahuje až 50 %, přičemž většinu tvoří škrob. Problémem jsou oligosacharidy stachyóza a rafinóza. Tyto látky nemohou být štěpeny vlastními trávicími enzymy, dostávají se do tlustého střeva, kde se rozkládají za vzniku velkého množství plynů a způsobují tak nadýmání. Množství hrubé vlákniny v semenech se pohybuje v rozmezí 5 - 7 %. Významnými složkami luštěnin jsou vitaminy skupiny B, v menší míře jsou zastoupeny vitaminy C, D a β -karoten. Z minerálních látek převažuje draslík, vápník a železo. Kromě oligosacharidů se v luštěninách nacházejí i další antinutriční látky. Příkladem mohou být trísloviny, inhibitory proteáz, lektiny, antigenní bílkoviny nebo saponiny [30,31,32].

Luskoviny nachází uplatnění v potravinářském průmyslu nebo jako složka krmných směsí pro hospodářská zvířata. Pro výživu lidí jsou využívána suchá nebo nezralá semena, ve formě zeleniny bývají konzumována nezralé plody (zelené fazolové lusky). Ke krmení zvířat slouží suchá zralá semena, ale i celá nadzemní biomasa. Píce luskovin se také využívá k zelenému hnojení [30,31,32].

1.3.1 Cizrna

Významnou luskovinou vhodnou pro výživu lidí je cizrna beraní (*Cicer arietinum* L.). Cizrna pochází z oblastí dnešního Turecka, Středního východu a Malé Asie z doby přibližně 7000 př. n. l. Pěstována je především v Africe, v Mexiku a v Asii, zejména v Indii a Číně. V Evropě je pěstování cizrny soustředěno kolem Středozemního moře. Cizrna byla v minulosti pěstována i v České republice, v současné době však dochází pouze ke šlechtění krmných typů [31,33].

Cizrna beraní neboli římský hrách je teplomilná a suchovzdorná jednoletá luskovina. Po sóji a fazolu je třetí nejrozšířenější luskovinou ve světě [32,33].

Jsou známy dva typy semen cizrny. Cizrna typu „desi“ má malá hranatá semena se zeleným, hnědým, či černým zabarvením. Odrůdy typu „kabuli“ mají větší zaoblená semena béžové barvy. Tvar semen připomíná beraní hlavu, na základě toho získala cizrna svůj název [33].

Semena cizrny obsahují 15 - 30 % bílkovin, nejvíce zastoupenou aminokyselinou je lyzin. Sacharidy představují 50 - 60 %, z největší části je zastoupen škrob, který tvoří asi 47 %. V malé míře jsou v semenech obsaženy i rozpustné cukry, více jich je u světlosemenných odrůd. Obsah hrubé vlákniny se pohybuje v rozmezí 5 - 19 % v závislosti na typu semen. Světlosemenné odrůdy mají tenčí osemení než odrůdy tmavosemenné, proto se vyznačují menším množstvím vlákniny. Tuky tvoří v semenech cizrny 6 - 7 %, typický je vysoký obsah esenciální mastné kyseliny linolové. Cizrna obsahuje 2 - 3 % minerálních látek, za zmínku stojí železo, fosfor, draslík, hořčík, vápník a zinek. Semena jsou významným zdrojem vitaminů B₂, B₆ a kyseliny listové, která je důležitá pro správnou funkci nervové soustavy. Cizrna je jedinou luštěninou obsahující malé množství vitamínu C [30,34,35].

V současné době je cizrna velmi vyhledávanou potravinou. Díky obsahu kvalitních tuků pomáhá snižovat hladinu cholesterolu v krvi. Vláknina v ní obsažená přirozeně stimuluje peristaltiku střev. Cizrna je ideální potravinou pro těhotné ženy z důvodu zvýšeného obsahu kyseliny listové, která chrání plod před vrozenými vadami nervové soustavy [35].

Cizrna typu „kabuli“ se využívá v potravinářství při přípravě konzerv, makaronů, salámů, cukrářských výrobků, kávových náhražek, vařená cizrna bývá součástí polévek, salátů či pomazánek, mouka vyrobená z cizrny se přidává do chlebové mouky. Odrůdy typu semen „desi“ mají uplatnění jako složky krmných směsí. Z mladých rostlin cizrny jsou v Indii připravovány různé saláty nebo špenát [31].



Obr. 7. Cizrna beraní [41]

2 VYUŽITÍ BEZLEPKOVÝCH MOUK

Přírodně bezlepkové mouky jsou semleté z plodin, které neobsahují lepek, nachází tudíž uplatnění při přípravě pokrmů vhodných pro osoby trpící celiakií. Používají se také při výrobě pšeničného pečiva. V tomto případě se jimi nenahrazuje pšeničná mouka zcela, ale pouze od 10 do 30 %. Důvodem je často výrazná a specifická chuť dané mouky a nevyhovující vlastnosti těsta připraveného pouze z mouky bezlepkové [42].

2.1 Rýžová mouka

Rýžová mouka se vyznačuje neutrální chutí. Využití nachází především jako zahušťovadlo, protože zvyšuje objem a pojivost bezlepkových směsí. Vyrábí se ve variantě běžné mouky, která je vhodná pro pečení, nebo jako mouka instantní, používaná spíše pro přípravu sladkých pokrmů, například kaší. Při pečení se obvykle míchá s jinými druhy mouky, neboť těsto připravené výhradně z mouky rýžové je pevné a velmi málo pružné [43,44,45].

2.2 Jáhlová mouka

Jáhlová mouka je typická lehkým aromatem a chutí původní suroviny, kterou je obilovina proso. Používá se při pečení nejrůznějších placek či sladkých sušenek, nebo také při zahušťování omáček a polévek [43,46].

2.3 Pohanková mouka

Pohanková mouka má zemitou příchut'. Využití nachází jako zavářka, je též vhodná při pečení cukroví, koláčů, sušenek a chleba, často se z ní připravují lívance. Ideální zastoupení pohankové mouky při pečení činí 30 % [43,44,47].

2.4 Amarantová mouka

Amarantová mouka je charakteristická pro svou kořeněnou, mírně štiplavou chuť. Není proto vhodné ji používat samostatně, ale nejlépe v kombinaci s jinou moukou. Zajistí se tak vynikající chuť a kvalita vzniklého produktu, neboť amarantová mouka je bohatým zdrojem bílkovin. Její obsah ve směsi by měl být v rozmezí od 20 do 30 %. Používá se zejména pro přípravu nekvašených druhů chleba, ale také sladkého pečiva či palačinek [44,48].

2.5 Mouka z quinoi

Mouka z quinoi má oříškovou chuť. Lze ji využít při zahušťování polévek a omáček, vhodná je z nutričního hlediska i při přípravě pečiva. Její maximální přídavek však činí pouze 10 %, větší zastoupení mouky z quinoi způsobuje rozpadání pečiva [44,49].

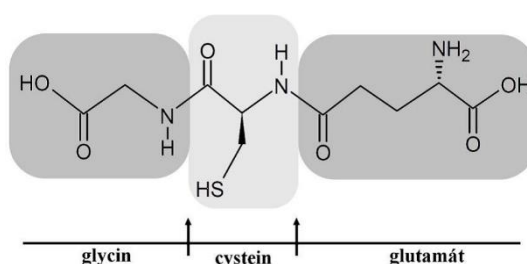
2.6 Cizrnová mouka

Cizrnová mouka se vyznačuje ořechovou příchutí. Připravuje se semletím sušené cizrny. Používá se k obohacení jídel o jejich nutriční hodnoty, oblíbená je zejména ve vegetariánské kuchyni. Využití nachází při vaření, sladkém i slaném pečení nebo při zahušťování [44,50].

3 BIOLOGICKÉ KYPŘENÍ PEČIVA

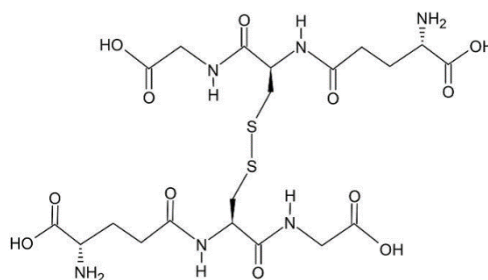
Kypření u biologicky kypřeného pečiva je zajišťováno oxidem uhličitým, jenž je produkován během fermentačních procesů kvasinek. Kvasinky jsou při výrobě pečiva využívány ve formě droždí, jehož součástí je i technologicky významný tripeptid glutation [2].

Glutation se skládá ze tří aminokyselin, z glycinu, cysteinu a kyseliny glutamové. Jednou z forem, ve kterých se glutation může vyskytovat, je forma redukováná, která obsahuje tiolovou skupinu (GSH) [51].



Obr. 8. Redukovaná forma glutationu [51]

Tiolová skupina cysteinu však může být oxidována za vzniku disulfidické skupiny, čímž dochází k propojení dvou molekul redukováného glutationu a vzniká dimer oxidovaného glutationu (GSSG). Na základě uvedené reakce se glutation může podílet na oxidačně-redukčních dějích probíhajících v těstě [2,51].



Obr. 9. Oxidovaná forma glutationu [51]

3.1 Pekařské kvasinky

V současné době mají kvasinky v potravinářském průmyslu nezastupitelný význam. Využívají se při výrobě kynutého pečiva, alkoholických nápojů, potravinářské a krmné biomasy [52].

Kvasinky jsou heterotrofní eukaryotní mikroorganismy s pevnou buněčnou stěnou patřící do říše *Fungi*. Většina druhů kvasinek má schopnost zkvašovat monosacharidy a některé

disacharidy, případně i trisacharidy. Kvasinky odolávají kyselému prostředí a vyznačují se též nízkou teplotní odolností, kdy jejich převážná část je usmrcena již při teplotě 56 °C za 2 - 5 minut [52,53].

V pekárenství se využívají speciální kmeny kvasinek *Saccharomyces cerevisiae*, což jsou buňky kulovitého až oválného tvaru o velikosti 6 - 7 × 7,5 - 8,7 μm. Kvasinky zkvašují glukózu, galaktózu, sacharózu, maltózu a částečně či úplně rafinózu. Rozmnožují se vegetativním pučením [54].

Chemické složení závisí na fyziologickém stavu buněk, na kultivačních podmínkách, na živných půdách a na stáří kultury. Převážná část protoplazmy kvasinek je tvořena vodou, její obsah se pohybuje v rozmezí 65 - 80 %. Sušina buněk *Saccharomyces cerevisiae* obsahuje:

- 45 - 60 % dusíkatých látek,
- 15 - 37 % sacharidů,
- 2 - 12 % lipidů,
- 6 - 12 % minerálních látek,
- malá množství růstových látek a některých vitaminů [52].

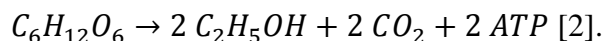
Kmeny pekařských kvasinek pro výrobu droždí požadují vyrovnanost tvaru, velikosti buněk a stálost technologických vlastností. Příprava pekařského droždí spočívá v aerobní fermentaci okyselených melasových zápar, které se přiživují amonnými solemi a fosfátem. Pro vzdušnění zápar je zajišťováno sterilním stlačeným vzduchem přiváděným ke dnu kvasných tanků. Aerobní metabolismus je zajištěn na základě opakovaných přítoků čerstvé melasové zápary. I přesto, že se kvasinky rozmnožují v prostředí s nízkou koncentrací cukru, dochází k produkci malého množství etanolu [52,54].

Kvasinky, jakožto fakultativně anaerobní organizmy, mají schopnost žít a množit se za anaerobních i aerobních podmínek [52].

Při výrobě pečiva se v průběhu hnětení zabudovává do těsta vzduch, přičemž probíhá aerobní metabolismus kvasinek. Ten se ale několik minut po ukončení hnětení změní na anaerobní v důsledku spotřebování kyslíku v těstě [2].

3.2 Anaerobní odbourávání sacharidů

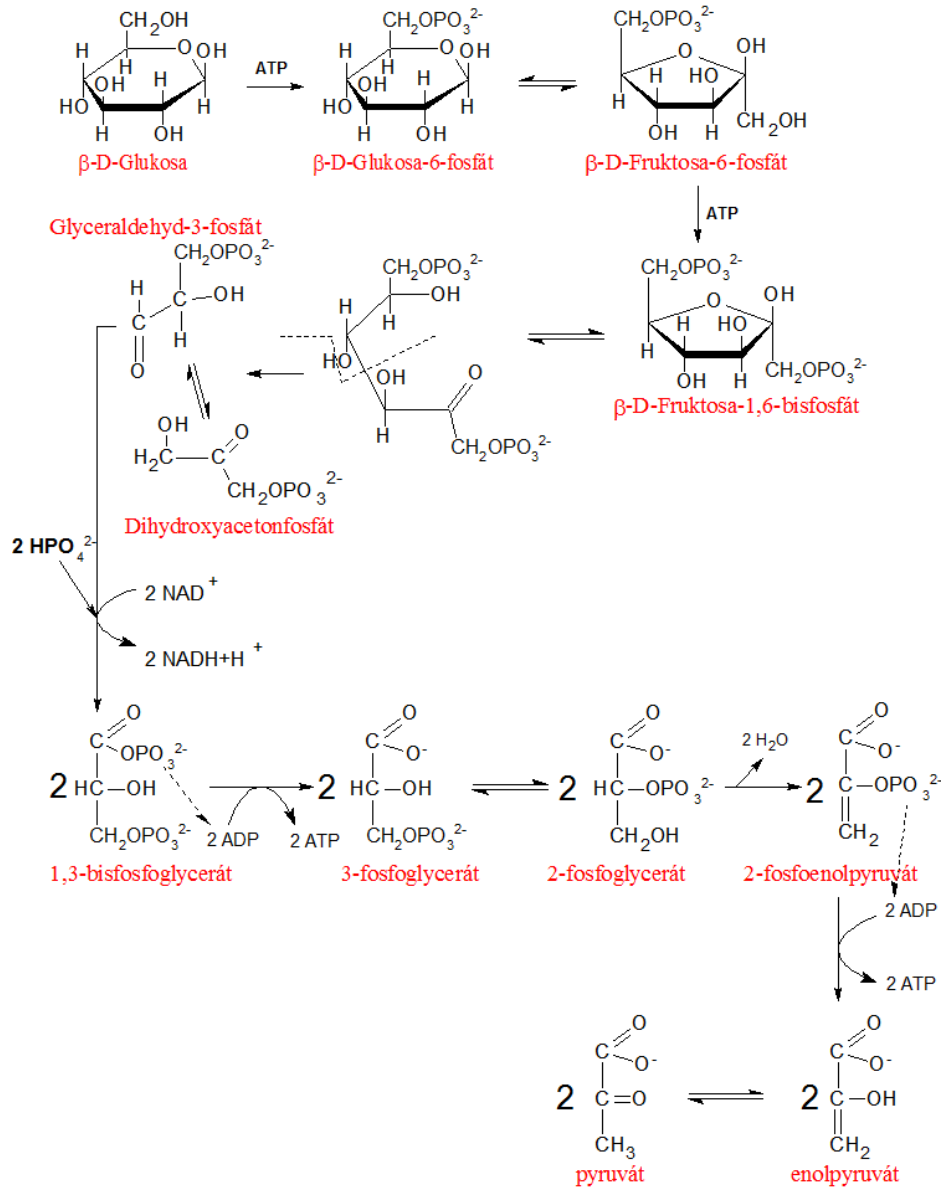
Zdrojem energie pro kvasinky jsou sacharidy (např. glukóza), které jsou jimi za nepřítomnosti kyslíku přeměňovány na etanol a oxid uhličitý. Souhrnně lze anaerobní metabolismus kvasinek popsat rovnicí:



Hlavní cestou odbourávání sacharidů je glykolýza. Jedná se o metabolickou dráhu, při které dochází ke konverzi jedné molekuly glukózy na dvě molekuly pyruvátu. Reakce glykolýzy jsou katalyzovány enzymy, jenž jsou lokalizovány v cytosolu buněk. Energie, uvolněná při této degradační dráze glukózy, je zachycena ve formě ATP [51,52,55].

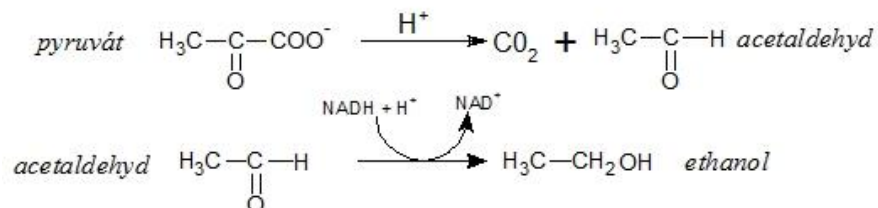
Glukóza vstupuje do glykolytické dráhy fosforylací na glukóza-6-fosfát za současné spotřeby ATP. Poté dochází k izomeraci na fruktóza-6-fosfát. Reakce je následována další fosforylací z ATP, která produkuje fruktóza-1,6-bisfosfát. Fruktóza-1,6-bisfosfát se štěpí na glycerinaldehyd-3-fosfát a dihydroxyacetonfosfát, jenž je přeměňován taktéž na glycerinaldehyd-3-fosfát. Oxidací glycerinaldehyd-3-fosfátu vzniká 1,3-bisfosfoglycerát, z něj pak 3-fosfoglycerát za současného vzniku dvou molekul ATP, neboť se na každou molekulu glukózy vytvářejí dvě molekuly glycerinaldehyd-3-fosfátu. 3-fosfoglycerát je následně přeměňován přes 2-fosfoglycerát na fosfoenolpyruvát. Makroergický fosfát je z fosfoenolpyruvátu přenesen na ADP, přičemž vznikají opět dvě molekuly ATP, a enolpyruvát se mění na ketoformu pyruvát [56].

V průběhu anaerobní glykolýzy vznikají 4 molekuly ATP, 2 molekuly ATP se však spotřebují během dvou fosforylací, proto celkový energetický zisk je 2 molekuly ATP na jednu molekulu glukózy.



Obr. 10. Glykolýza [57]

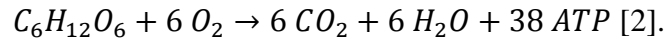
Kvasinky vzniklý pyruvát za anaerobních podmínek odbourávají při etanolovém kvašení. Nejprve dochází k dekarboxylaci pyruvátu za vzniku acetaldehydu, ten je následně redukován NADH, přičemž vzniká konečný produkt etanol [58].



Obr. 11. Etanolové kvašení [59]

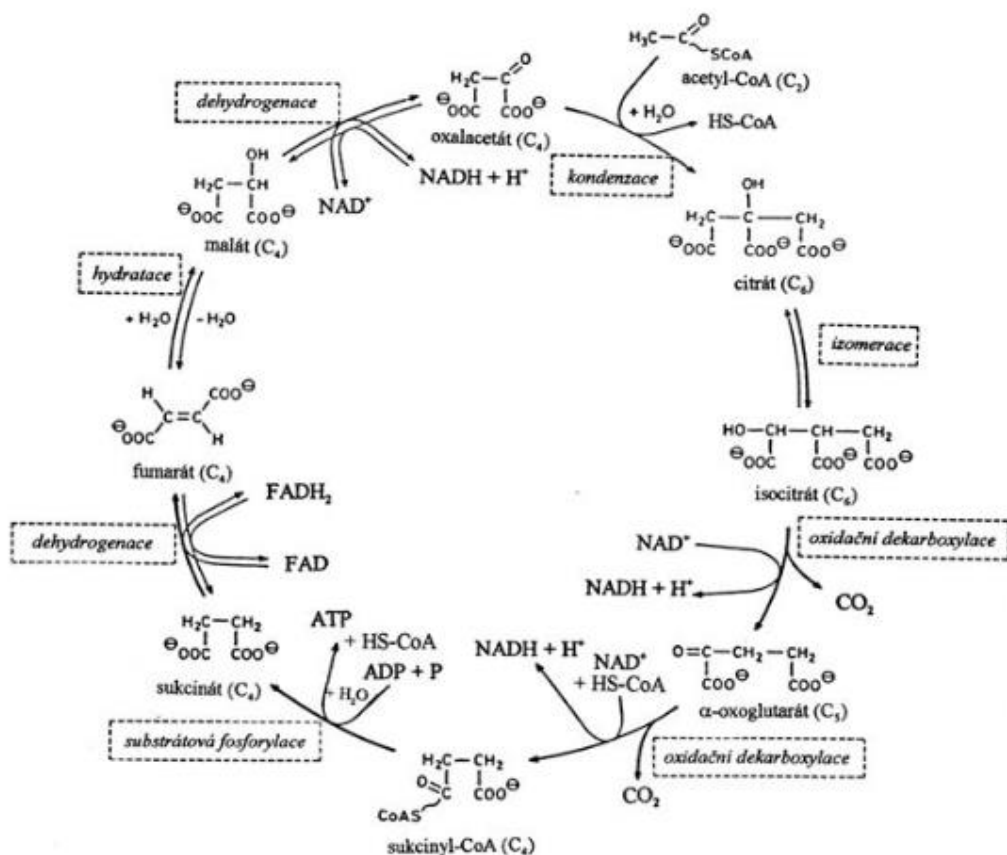
3.3 Aerobní odbourávání sacharidů

Při aerobní respiraci dochází k úplné oxidaci glukózy podle rovnice:



Jedná se o složitý proces, který se skládá z mnoha dílčích reakcí. Nejprve dochází v cytosolu buněk ke glykolýze za tvorby pyruvátu. Za přístupu kyslíku pyruvát přechází do mitochondrií buněk, kde je oxidačně dekarboxylován za vzniku acetyl-CoA a $NADH+H^+$. Acetyl-CoA následně vstupuje do Krebsova cyklu, kde se mění na oxid uhličitý a vodu. Krebsův cyklus je typickým amfibolickým dějem. Slouží jednak k terminální oxidaci substrátů, ale také se svými meziprodukty podílí na procesech biosyntézy. Důležité je, že se současně tvoří ATP a redukované koenzymy $NADH$ a $FADH_2$, které jsou reoxidovány v dýchacím řetězci a poskytují další molekuly ATP. Odbouráním jedné molekuly glukózy se aerobní glykolýzou a Krebsovým cyklem získá celkem 38 molekul ATP [51,52,58].

Fakultativně anaerobní kvasinky raději využívají aerobní respiraci, která je z energetického hlediska mnohem výhodnější než kvašení [52].



Obr. 12. Krebsův cyklus [60]

4 PODSTATA TVORBY BIOLOGICKY KYPŘENÉHO PEČIVA

Biologické kypření, při kterém kvasinky přeměňují zkvasitelné cukry na kypřicí plyn a etanol, má velký význam při výrobě chleba a běžného pečiva. Jedná se o jednu z nejstarších biotechnologií, kterou člověk při výrobě potravin využívá [2].

První chléb byl vyroben asi 10 000 let př. n. l. jako výsledek úmyslného experimentování vody s moukou. Díky Egyptanům se pak výroba chleba stala populární po celém světě [61].

4.1 Suroviny pro výrobu biologicky kypřeného pečiva

Mezi základní suroviny pro pekárenskou výrobu patří mouka, voda, droždí a sůl. Často však receptury obsahují i suroviny pomocné jako jsou tuky, cukr, mléčné produkty či vejce. Nejvíce je při výrobě pečiva využívána mouka pšeničná, neboť obsahuje lepkové bílkoviny, které mají schopnost vytvořit při nabobtnání spojitou souvislou strukturní síť, která je základem stavební struktury pšeničného těsta. Přídavek vody se pohybuje mezi 50 - 75 % (vztaheno na hmotnost mouky). Sůl slouží jednak jako chuťová přísada, přidává se do těsta v množství kolem 2 %, je však důležitá i pro svou schopnost ztužovat konzistenci lepkových bílkovin. Protože ale snižuje aktivitu kvasinek, nepřidává se sůl do kvasných předstupňů, kde je vyžadováno intenzivní kvašení, nýbrž až do těsta. Droždí je zdrojem pekařských kvasinek *Saccharomyces cerevisiae*, díky nimž dochází k fermentaci cukrů v těstě. Tuky zpomalují stárnutí pečiva, čímž prodlužují jeho trvanlivost a vláčnost, problémem je však vysoká energetická hodnota této suroviny. Nejvíce jsou používány shorteningy, margaríny, máslo a někdy i sádlo. Cukr je při výrobě biologicky kypřeného pečiva přidáván z důvodu zahájení fermentace kvasinkami [5,61].

V dnešní době se pečivo vyrábí ve velkém měřítku a spotřebitelé vyžadují vysokou kvalitu a delší trvanlivost pekárenských výrobků. Pro čerstvý chleba je typická nahnědlá a křupavá kůrka, příjemná vůně, měkká a vláčná střída. Právě z toho důvodu vznikla potřeba přidávat do těsta potravinářské přídatné látky k dosažení požadované kvality. Přídavek pomocných látek je zvláště důležitý při průmyslové výrobě chleba, neboť tyto látky dávají těstu větší pevnost, aby vydrželo při strojovém zpracování, zvyšují míru hydratace, zlepšují schopnost zadržovat kypřicí plyn a prodlužují trvanlivost [61].

4.2 Technologie výroby biologicky kypřeného pečiva

Z fyzikálního hlediska je pekárenský výrobek vícefázový systém skládající se z těsta, včetně vzduchových pórů, a z dalších složek, kterými mohou být rozinky, kousky čokolády či kandované ovoce. Díky přítomnosti vzduchových pórů má pečivo typickou pórovitou strukturu, která dodává konečnému produktu měkkost. Pro získání této pěnové struktury je důležité zpracovávat suroviny vhodným způsobem. Technologické fáze výroby biologicky kypřeného pečiva zahrnují hnětení, zrání, dělení a tvarování těsta, pečení a chlazení [5,62].

Těsto může být vyráběno dvěma způsoby. Prvním způsobem je přímé vedení těsta, kdy se všechny suroviny smíchají v jednom kroku a ihned se vyhněte těsto. Tento způsob je více využíván, neboť je z technologického hlediska méně pracný. Nepřímé vedení těsta je druhá metoda, při které smíchání složek probíhá ve dvou krocích. Nejdříve se připraví kvasný předstupeň z droždí, určitého množství vody a mouky. Směs se nechá určitou dobu vyvíjet a poté se smísí se zbytkem surovin [5,61].

Hnětení těsta je důležitou technologickou operací, při které probíhá mnoho chemických a fyzikálních změn. Recepturní složky se mění ve viskoelastický materiál v důsledku tvorby trojrozměrné sítě vytvořené z lepkových bílkovin, ve které jsou rovnoměrně rozloženy škrobové granule. Během hnětení se do těsta zabudovává vzduch, vznikají vzduchové póry, které jsou pak zaplňovány oxidem uhličitým, jenž vzniká během fermentace při zrání těsta [2,63,64].

Pro vytváření viskoelastické prostorové struktury pšeničného těsta jsou důležité disulfidické vazby -S-S- vznikající v lepkových bílkovinách při oxidaci a při mechanickém vzájemném přiblížení dvou různých aminokyselin s -SH skupinami. Význam mají i příčné peptidové vazby mezi větvenými aminokyselinami, vodíkové vazby mezi sousedními řetězci a další fyzikální síly [5].

Po vyhnětení následuje zrání, kdy se těsto nechává po určitou dobu v klidu, aby mohlo dojít k fermentaci. Metabolismus kvasinek chemicky přeměňuje využitelné cukry na oxid uhličitý a etanol. V malém množství vznikají i sensoricky významné látky, např. organické kyseliny a aldehydy. Pro správný průběh etanolového kvašení je nezbytný také dostatek zkvasitelných cukrů, především maltózy, která v těstě vzniká hydrolýzou škrobu za účasti amylolytických enzymů. Vznikající oxid uhličitý následně difunduje do vzduchových pórů, kde je zadržován a těsto tak postupně zvětšuje svůj objem [2,62,63].

Produkce oxidu uhličitého není po celou dobu zrání těsta konstantní. Na počátku tohoto procesu rychle vzniká velké množství kypřicího plynu, většina se však rozpouští v kapalně fázi těsta a do vzduchových pórů se dostává jen minimum. Po nějaké době rychlost jeho tvorby klesá v důsledku vyčerpání hexóz. Následně však kvasinky začnou fermentovat maltózu a rychlost produkce oxidu uhličitého se opět zvyšuje [64].

Pečení je důležitou fází při výrobě biologicky kypřeného pečiva, neboť v jeho průběhu dochází v těstě k mnoha fyzikálním, chemickým a biologickým změnám, jako je vypařování vody, tvorba porézní struktury, zvětšení objemu či tvorba kůrky. Při teplotách nad 60 °C dochází k denaturaci bílkovin, které uvolňují vodu, tu přebírá škrob a dochází tak k jeho mazovatění. Během pečení stále probíhá fermentace, ta je ukončena, až dojde vlivem vysoké teploty k umrtvení kvasinek [2,5,61].

5 CHARAKTERISTIKA BEZLEPKOVÉHO TĚSTA A PEČIVA

Vlastnosti pšeničného těsta a kvalita biologicky kypřeného pšeničného pečiva jsou ovlivněny především množstvím a kvalitou lepkových bílkovin. Během vývinu těsta vytváří bílkoviny lepkovou síť s jedinečnými viskoelastickými vlastnostmi. Díky své pevnosti a tuhosti dokáže těsto zadržovat kypřicí plyn a vzniká typická pěnová struktura [65].

Pšeničné lepkové bílkoviny lze získat vymýváním škrobu a dalších rozpustných složek z mouky tekoucí vodou. Získá se tzv. „mokrý lepek“, který obsahuje přibližně 65 % vody. Sušina se pak skládá ze 75 až 86 % lepkových bílkovin, zbylou část zaujímají sacharidy a lipidy [66].

Lepkové bílkoviny pšenice se skládají ze dvou frakcí. První z nich, gluteniny, tvoří po celkové hydrataci pevnou, pružnou hmotu, zatímco gliadiny jsou po hydrataci viskózní tekutiny. Kombinací obou složek vzniká gel, který vykazuje soudržné, viskózní a elastické vlastnosti [66].

Přestože jsou lepkové bílkoviny při pekárenské výrobě velmi důležité, některým lidem způsobují problémy. Celiakii neboli nesnášenlivost lepku je pak potřeba řešit bezlepkovou dietou. Vyloučení lepku má na těsto i pečivo zhoršující vliv. Viskozita bezlepkového těsta je nízká, střída pečiva je tvrdá, chuť a vůně jsou nedostatečné, pečivo má malý objem, je málo pružné a elastické, vyznačuje se rozpadající texturou a má krátkou trvanlivost [65,66].

Kvalita bezlepkového pečiva je ovlivněna především obsahem a vlastnostmi polysacharidů, které zvyšují pěnovou stabilitu těsta zvýšením viskozity, flokulace a koalescence, zabraňují nepříznivým vlivům na vodnou fázi těsta a tím na stabilitu kapalného filmu kolem vzduchových pórů. Těsto vhodné pro výrobu biologicky kypřeného pečiva musí mít vlastnosti, které mu umožňují se rozpínat v důsledku tvorby kypřicího plynu. Film kolem vzduchových pórů v těstě musí mít dostatečnou pevnost, aby se zabránilo zhroucení struktury, zároveň však póry musí být schopny se rozpínat bez popraskání [65].

Výroba bezlepkových pekárenských produktů je velkou výzvou jak pro technology, tak pro pekaře. Pečivo bez lepku může zadržovat kypřicí plyn pouze v případě, že gel vytvořený z lepkových bílkovin je nahrazen gelem jiným. Aby mělo bezlepkové pečivo vzhled a texturu podobnou pečivu pšeničnému, využívají se během pekárenské výroby funkční přísady, kterými mohou být škroby nebo hydrokoloidy, např. xantanová guma [66].

Kvalita (nakypřenost) pečiva je ovlivněna nejen schopností těsta zadržovat kypřicí plyn, ale také množstvím vyprodukovaného plynu. Zjišťování schopnosti bezlepkových těst zadržovat kypřicí plyn je věnována poměrně velká pozornost, avšak dosud nebyla provedena ucelená studie věnovaná produkci kypřicího plynu v bezlepkových těstech.

6 CELIAKIE

Celiakie (celiakální sprue, glutenová enteropatie, indemická sprue, primární malabsorpční syndrom nebo Geeova-Herterova-Heubnerova choroba) je celoživotní onemocnění způsobené nesnášenlivostí lepku. Intoleranci způsobují především pšeničné bílkoviny gliadiny, ale také žitné sekaliny, ječné hordeiny a ovesné aveniny. Jedná se o zánětlivé poškození tenkého střeva, především jejunu (lačníku), kdy působením lepku dochází ke změně povrchu sliznice ve střevě, mizí zde mikrokilky a klky. V důsledku toho se povrch tenkého střeva snižuje a tím se zmenšuje jeho schopnost trávení a vstřebávání živin, včetně železa, kyseliny listové, vápníku a vitaminů, které jsou rozpustné v tucích. Nemoc vzniká na podkladě genetické predispozice [66,67,68].

Onemocnění se vyskytuje poměrně vzácně a projevuje se především v dětském věku. Prevalence se udává 1:1000 porodů. U dětí se celiakie nejčastěji objevuje brzy poté, co jim byla poprvé podána strava obsahující lepek. V dospělém věku je celiakální sprue vzácnější, dvakrát častější je u žen. Většinou propuká po zátěži, jakou je nemoc či těhotenství. Výskyt onemocnění ve světě kolísá, nejvyšší prevalence je v severní Evropě a v Irsku [67,68].

Typickými příznaky celiakie jsou průjem, plynatost, křeče, pokles hmotnosti nebo únava. Může se však objevit i zvracení, snížená chuť k jídlu, anémie (chudokrevnost), osteoporóza (řídnutí kostí), zvýšená kazivost zubů, bolesti kloubů, deprese či únava [68].

U nemocných, u nichž trvá celiakální sprue 10 a více let, stoupá riziko vzniku maligního lymfomu především tenkého střeva, ale i nádorů mimo trávicí ústrojí [67].

Celiakii lze diagnostikovat z krve, kdy se stanoví protilátky ke tkáňové transglutamináze. V případě pozitivního výsledku se přistupuje k enterobiopsii, při níž je nemocnému odebrán malý vzorek tenkého střeva, a provede se histochemické vyšetření bioptické částice [67,69].

V současné době není celiakie vyléčitelná a jedinou terapií je bezlepková dieta, kdy je z potravy nutno vyloučit pšeničnou, žitnou a ječnou mouku, dále produkty z ovsu, a také potraviny, které tyto složky obsahují i ve velmi malém množství (omáčky, konzervy, uzeniny, pivo). Dovoleny jsou potraviny vyrobené z rýže, prosa, pohanky, amarantu, quinoi, cizrny, sóji, kukuřice, brambor atd. Tělo na bezlepkovou dietu reaguje příznivě a velmi rychle. Lidé, kteří trpí těžkou akutní formou celiakie, musí zpočátku vynechat i mléko, tučná jídla, těžké a dráždivé potraviny. To je nutné do té doby, než se zahojí sliznice tenkého střeva, pak už je možné jíst všechny pokrmy, které neobsahují lepek [67,68].

Duhringova dermatitida (Dermatitis herpetiformis nebo též Duhringův syndrom) je kožní onemocnění způsobené také nesnášenlivostí lepku. Je však vzácnější než celiakie. Vznikají při něm svědivé puchýřky podobné oparům, vyskytují se na kůži na různých částech těla. Základní terapií této nemoci je opět bezlepková dieta. Někteří lidé však pro zabránění tvorby puchýřků potřebují nasadit i léky [70].

U některých lidí dochází po požití lepku k nepříznivým reakcím, přestože nemají typicky poškozenou sliznici tenkého střeva. Jedná se o alergii na lepek, přičemž při tomto onemocnění je opět nutné vyloučit lepek ze stravy, aby došlo k odstranění potíží. Nepatrné množství lepku však může být v některých případech tolerováno. Alergie na lepek se projevuje nevolnostmi, křečemi, nadýmáním, průjmami, ale též únavou a bolestmi kloubů [71].



Obr. 13. Mezinárodní označení pro bezlepkové potraviny [72]

7 MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ KYPŘICÍHO PLYNU

Množství vyprodukovaného kypřicího plynu lze měřit pomocí texturometru TA.XT plus Texture Analyser, což je přístroj dodávaný firmou Stable Micro Systems Ltd., jež sídlí ve Velké Británii. Tento texturní analyzátor je schopen měřit řadu fyzikálních vlastností produktu, např. tvrdost, křehkost, přilnavost, pevnost a tažnost potravin, kosmetických přípravků, léčiv, gelů, lepidel a dalších spotřebních výrobků. Vhodný je i pro měření množství kypřicího plynu vznikajícího v biologicky kypřených těstech, kdy se zjišťuje časová změna objemu těsta [73].



Obr. 14. *TA.XT plus Texture Analyser* [74]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem práce bylo srovnat schopnost bezlepkových těst produkovat a zadržovat kypřicí plyn (oxid uhličitý), a to v závislosti na přídavku vody, která je potřebná pro činnost kvasinek.

9 MATERIÁL A METODIKA

9.1 Přehled bezlepkových mouk

Mouky, které byly použity při přípravě bezlepkových těst, jsou uvedeny v tabulce 1:

Tab. 1. *Použité bezlepkové mouky*

Vzorek mouky	Výrobce
Amarantová mouka	Natural Jihlava
Cizrnová mouka	Natura Hustopeče, s.r.o.
Cizrnová mouka	Zdraví z přírody Zlín
Jáhlová mouka	Natura Hustopeče, s.r.o.
Mouka z quinoi bio	ASO Zdravý život s.r.o. Hranice
Pohanková mouka	Pohankový mlýn Šmajstrla Frenštát pod Radhoštěm
Rýžová mouka	Natura Hustopeče, s.r.o.
Amarantová mouka	Extrudo Bečice s.r.o. Týn nad Vltavou
Cizrnová mouka nativní	Extrudo Bečice s.r.o. Týn nad Vltavou
Cizrnová mouka nativní hladká S 0,4	Extrudo Bečice s.r.o. Týn nad Vltavou
Jáhlová mouka nativní	Extrudo Bečice s.r.o. Týn nad Vltavou
Pohanková mouka nativní nano	Extrudo Bečice s.r.o. Týn nad Vltavou
Pohanková mouka nativní výběrová	Extrudo Bečice s.r.o. Týn nad Vltavou
Rýžová mouka nativní S 0,5	Extrudo Bečice s.r.o. Týn nad Vltavou
Rýžová mouka nativní S 0,25	Extrudo Bečice s.r.o. Týn nad Vltavou
Rýžová mouka výběrová	Extrudo Bečice s.r.o. Týn nad Vltavou

9.2 Ostatní suroviny

Kromě bezlepkových mouk byly součástí receptury i následující suroviny:

- sušené pekařské droždí (SAF-Instant),
- cukr (sacharóza $C_{12}H_{22}O_{11}$),
- sůl (chlorid sodný NaCl),
- voda.

9.3 Použité přístroje

Při měření byly použity tyto přístroje:

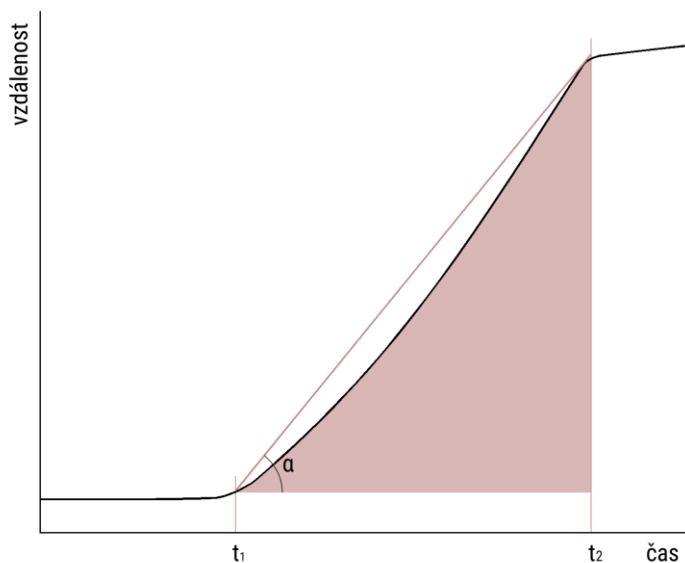
- TA.XT plus Texture Analyser (Stable Micro Systems Ltd., Velká Británie) společně se softwarem Exponent Lite,
- 50 mm válcová sonda (P/50),
- dough pot (A/DP) with extended lid,
- vodní lázeň W16 (Harry Gestigkeit GmbH, Německo),
- jednokanálový teploměr (COMET SYSTEM, s.r.o., Česká republika),
- váhy na stanovení vlhkosti (KERN DLB, Česká republika).

9.4 Příprava bezlepkového těsta

Při přípravě bezlepkového těsta byl nejdříve připraven kvasný předstupeň smícháním 1,8 g droždí, 2 g cukru a 7,2 g vody. Směs se nechala po dobu 3 ± 1 minut vyvíjet při laboratorní teplotě. Následně byl kvásek smíchán se 100 g bezlepkové mouky, 1,5 g soli a s vodou. Přídavek vody závisel na vlhkosti mouky. Všechny suroviny byly vymíchány v hladké těsto. Následně bylo naváženo do formy (dough pot) 100 g vzorku bezlepkového těsta a forma byla uzavřena víkem (extended lid).

9.5 Měření množství vyprodukovaného kypřicího plynu

Vzorky bezlepkových těst byly podrobeny analýze na přístroji TA.XT plus Texture Analyser (Stable Micro Systems Ltd., Velká Británie) ke zjištění množství vyprodukovaného a zadržovaného kypřicího plynu. Nejdříve byla před každým měřením provedena kalibrace přístroje. Poté byla forma s těstem vložena do vodní lázně vyhřáté na 30 ± 1 °C a do formy byl umístěn teploměr, aby monitoroval teplotu uvnitř těsta. Následně byl spuštěn test, který trval u každého vzorku 30 ± 1 minut. Nejdříve byla teplota vodní lázně po dobu 20 ± 1 minut udržována při 30 ± 1 °C, poté byla teplota lázně rovnoměrně zvyšována na 100 ± 1 °C a měření probíhalo dalších 10 ± 1 minut. Během této simulace pečení docházelo postupně ke zvyšování teploty uvnitř těsta a tvořil se kypřicí plyn. Teplota těsta byla každou minutu zaznamenána a použita při hodnocení závislosti produkce kypřicího plynu na teplotě. Pomocí softwaru Exponent Lite byla naměřená data převedena do grafu, který udával závislost vzdálenosti sondy, jež byla vytlačována vznikajícím kypřicím plynem, na čase (obr. 15).



Obr. 15. Křivka znázorňující množství vyprodukovaného kypřicího plynu; t_1 : počáteční čas tvorby kypřicího plynu, t_2 : konečný čas tvorby kypřicího plynu

Celkem bylo pro přípravu těsta použito 16 druhů bezlepkových mouk, přičemž těsto bylo připraveno postupně s 65%, 70% a 75% přidavkem vody. Měření každého vzorku bylo provedeno 4x.

9.6 Hodnocení množství vyprodukovaného kypřicího plynu

Výsledkem každého měření byla křivka, přičemž bylo nutné matematicky vyhodnotit velikost plochy pod křivkou, jež udávala celkové množství vyprodukovaného kypřicího plynu. Výsledky byly vyjádřeny v $\text{mm}\cdot\text{s}$. Rychlost produkce kypřicího plynu, tedy míru sklonu křivky, udával gradient, který byl vypočítán jako tangens úhlu α (obr. 15). Gradient byl vyjádřen v jednotkách $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$.

9.7 Statistická analýza dat

Výsledky měření byly statisticky vyhodnoceny metodou analýzy variance ANOVA. Rozdíly mezi vzorky byly testovány pomocí Fisherova LSD testu na hladině významnosti 0,05. Při statistické analýze byl použit program Statistica CZ 9.1 software (StatSoft, ČR).

10 VÝSLEDKY A DISKUZE

10.1 Výsledky měření produkce kypřicího plynu v bezlepkových těstech

Při přípravě vzorků bezlepkových těst byla použita amarantová, cizrnová, jáhlová, merlíková (mouka z quinoi), pohanková a rýžová mouka od různých výrobců. Zjišťovanými hodnotami během měření byla plocha pod křivkou, která udává množství vyprodukovaného kypřicího plynu, s jednotkou $\text{mm}\cdot\text{s}$. Dále byl u každého vzorku stanoven gradient, jenž vyjadřuje rychlost produkce oxidu uhličitého. Gradient je vyjadřován v jednotkách $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$. V čase, kdy se začal tvořit kypřicí plyn, byla zaznamenána teplota T_1 uvnitř bezlepkového těsta v jednotkách $^{\circ}\text{C}$. Sledována byla též teplota T_2 , což je teplota těsta, při které se kypřicí plyn přestal tvořit. Jednotky teploty T_2 jsou opět uvedeny v $^{\circ}\text{C}$. Výsledky v následujících tabulkách jsou vyjádřeny jako průměr \pm směrodatná odchylka.

Nejlepších výsledků, co se týká množství vyprodukovaného kypřicího plynu, bylo dosaženo u pohankových těst. Největší hodnota plochy pod křivkou ($13\,070\text{ mm}\cdot\text{s}$) byla zaznamenána u těsta připraveného z pohankové mouky vyrobené Pohankovým mlýnem Šmajstrla při 75% přídavku vody. Kypřicí plyn se začal tvořit při teplotě těsta $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ a jeho produkce byla ukončena při $58\text{ }^{\circ}\text{C}$. Těsto z pohankové mouky nativní výběrové produkované společností Extrudo produkovalo při 75% přídavku vody druhé největší množství oxidu uhličitého ($9\,613\text{ mm}\cdot\text{s}$) v rozmezí teplot $32 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Třetí místo v produkci kypřicího plynu ($8\,680\text{ mm}\cdot\text{s}$) zaujímalo těsto připravené z pohankové mouky nativní nano opět společnosti Extrudo při 75% přídavku vody v těstě. Teplota T_1 měla hodnotu $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplota T_2 byla rovna $61\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Cizrnová těsta patřila taktéž k dobrým producentům kypřicího plynu. Nejvíce oxidu uhličitého ($6\,790\text{ mm}\cdot\text{s}$) produkovalo bezlepkové těsto připravené z cizrnové mouky společnosti Natura při 75% přídavku vody v teplotním rozmezí $34 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Amarantová a jáhlová těsta se řadila k ne příliš velkým producentům kypřicího plynu. Největší plocha pod křivkou u amarantového těsta ($2\,997\text{ mm}\cdot\text{s}$) byla získána v případě těsta připraveného z amarantové mouky Natura s 75% přídavkem vody při teplotách $32 - 55\text{ }^{\circ}\text{C}$. V případě jáhlových těst byla největší produkce oxidu uhličitého ($2\,686\text{ mm}\cdot\text{s}$) stanovena u těsta z jáhlové mouky nativní Extrudo při 70% přídavku vody v rozmezí teplot $31 - 43\text{ }^{\circ}\text{C}$. Merlíková těsta produkovala velmi malé množství kypřicího plynu.

Stanovením bylo zjištěno, že nejmenší hodnoty plochy pod křivkou byly získány v případě rýžových těst. Těsto připravené z rýžové mouky nativní S 0,5 společnosti Extrudo vykazovalo téměř zanedbatelné množství kypřicího plynu ($11,2 \text{ mm}\cdot\text{s}$) při 65% přidavku vody v těstě a v teplotním rozmezí $33 - 49 \text{ }^\circ\text{C}$. Při stejném přidavku vody byl výsledek téměř totožný ($12 \text{ mm}\cdot\text{s}$) u těsta z rýžové mouky Natura při teplotách $61 - 86 \text{ }^\circ\text{C}$.

Největší hodnoty gradientu, jenž udává rychlost produkce kypřicího plynu v těstě, byly získány u cizrnových těst. Nejrychleji se oxid uhličitý začal tvořit v těstě z cizrnové mouky nativní hladké S 0,4 vyrobené společností Extrudo při 75% přidavku vody. Hodnota gradientu byla rovna $23\cdot 10^{-3} \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Gradient velikosti $21\cdot 10^{-3} \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ byl stanoven u těsta z cizrnové mouky nativní Extrudo rovněž s 75% přidavkem vody v těstě. Vysoké hodnoty gradientu byly zaznamenány též u těst pohankových. Rychlost produkce oxidu uhličitého následně klesala v pořadí těst jáhlových, amarantových a merlíkových. V případě některých těst z rýžové mouky se gradient vyznačoval neměřitelně nízkou hodnotou, vznikající křivka tedy měla téměř konstantní tvar.

Ze získaných výsledků je zřejmé, že s rostoucím přidavkem vody nedocházelo vždy k postupnému zvětšování plochy pod křivkou, každý vzorek bezlepkového těsta produkoval největší množství kypřicího plynu při jiném přidavku vody v závislosti na použité bezlepkové mouce, jejím výrobcí a hrubosti mletí.

10.1.1 Rýžové těsto

Vzorky rýžových těst byly připraveny ze čtyř druhů bezlepkových mouk. Z mouk dodávaných společnostmi Extrudo to byla rýžová mouka nativní S 0,5, rýžová mouka nativní S 0,25 a rýžová mouka výběrová. Čtvrtým použitým vzorkem byla rýžová mouka Natura. Na základě výsledků, uvedených v tabulce 2, patřilo rýžové těsto k menším producentům kypřicího plynu. Nejmenší plocha pod křivkou byla získána u těsta z rýžové mouky nativní S 0,5 Extrudo s hodnotou $11,2 \text{ mm}\cdot\text{s}$ při 65% přídavku vody. Téměř zanedbatelné množství plynu, $12 \text{ mm}\cdot\text{s}$, tvořilo i těsto z rýžové mouky Natura se stejným přídavkem vody. Velmi malá množství oxidu uhličitého byla zjištěna u vzorků těst připravených z rýžové mouky nativní S 0,25 a rýžové mouky výběrové společnosti Extrudo při 65%, 70% i 75% přídavku vody v těstě. Přesto však byla u některých těst pozorována i větší produkce kypřicího plynu. Jednalo se o těsta připravená z rýžové mouky nativní S 0,5 Extrudo s 70% a 75% přídavkem vody a těsta z rýžové mouky Natura taktéž s 70% a 75% přídavkem vody v těstě. Největší hodnota $1\,541 \text{ mm}\cdot\text{s}$ byla stanovena u těsta z rýžové mouky nativní S 0,5 Extrudo při 70% přídavku vody. Hodnoty gradientu byly u většiny vzorků opět velmi malé, v některých případech až neměřitelně nízké. Pouze u těst z rýžové mouky nativní S 0,5 Extrudo a rýžové mouky Natura při 70% a 75% přídavku vody byla rychlost tvorby oxidu uhličitého větší. Největší gradient $17,5\cdot 10^{-3} \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ byl určen u rýžového těsta z mouky vyrobené společností Natura při 75% přídavku vody. Hodnoty teplot T_1 i T_2 , udávající počátek a konec produkce kypřicího plynu, se u jednotlivých vzorků rýžových těst značně statisticky lišily.

Tab. 2. Výsledky pro rýžové těsto^a

Mouka	Dodavatel	Přídavek vody [%]	Plocha [mm·s]	Gradient 10 ⁻³ [mm·s ⁻¹]	Teplota T ₁ [°C]	Teplota T ₂ [°C]
Rýže nativní S 0,5	Extrudo	65	11,2 ± 0,2 ^a	N	33 ± 1 ^{ab}	49 ± 2 ^a
	Extrudo	70	1541 ± 3 ⁱ	8 ± 3 ^b	34 ± 1 ^{ab}	45 ± 3 ^a
	Extrudo	75	1377 ± 5 ^h	10 ± 1 ^b	33 ± 1 ^{ab}	44 ± 4 ^a
Rýže nativní S 0,25	Extrudo	65	44 ± 2 ^c	1,0 ± 0,9 ^a	48 ± 1 ^c	83 ± 4 ^{bc}
	Extrudo	70	39 ± 1 ^c	1,0 ± 0,9 ^a	56 ± 3 ^d	87 ± 2 ^c
	Extrudo	75	28 ± 2 ^b	N	43 ± 2 ^c	82 ± 2 ^{bc}
Rýže výběrová	Extrudo	65	47 ± 1 ^{cd}	N	36 ± 1 ^b	80 ± 2 ^{bc}
	Extrudo	70	54 ± 2 ^{de}	N	35 ± 1 ^{ab}	77 ± 2 ^b
	Extrudo	75	58 ± 2 ^e	N	33 ± 1 ^{ab}	84 ± 2 ^{bc}
Rýže	Natura	65	12 ± 2 ^a	N	61 ± 4 ^e	86 ± 1 ^c
	Natura	70	975 ± 5 ^g	14,5 ± 0,7 ^c	31 ± 2 ^a	85 ± 4 ^c
	Natura	75	840 ± 10 ^f	17,5 ± 0,7 ^d	33 ± 1 ^{ab}	83 ± 1 ^{bc}

^aHodnoty v jednom sloupci označené různými písmeny se statisticky liší na hladině významnosti 0,05 podle Fisherova LSD testu.

N: neměřitelně nízká hodnota

10.1.2 Jáhlové těsto

Během přípravy vzorků jáhlového těsta byly použity dva druhy jáhlové mouky. V první řadě to byla jáhlová mouka nativní společnosti Extrudo, dále pak jáhlová mouka Natura. Mezi těsty, které byly připraveny z mouk rozdílných výrobců, byly značné rozdíly, jak uvádí tabulka 3. Těsta připravená z jáhlové mouky nativní Extrudo produkovala větší množství kypřicího plynu a při nižších teplotách, než těsta z jáhlové mouky Natura. Největší plocha pod křivkou o velikosti $2\,686\text{ mm}\cdot\text{s}$ byla získána u těsta připraveného z jáhlové mouky nativní Extrudo při 70% přídavku vody. Největší gradient s hodnotou $13\cdot 10^{-3}\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ byl zaznamenán u téže mouky, avšak s 75% přídavkem vody v těstě. Mezi hodnotami teplot T_1 u těst připravených z jáhlové mouky nativní Extrudo a těst z jáhlové mouky Natura byly pozorovány statistické rozdíly. Statisticky odlišné byly i teploty T_2 u vzorků těst z rozdílné mouky.

Tab. 3. *Výsledky pro jáhlové těsto^a*

^aHodnoty v jednom sloupci označené různými písmeny se statisticky liší na hladině význam-

Mouka	Dodavatel	Přídavek vody [%]	Plocha [mm·s]	Gradient 10^{-3} [mm·s ⁻¹]	Teplota T_1 [°C]	Teplota T_2 [°C]
Jáhly nativní	Extrudo	65	513 ± 3^d	11 ± 1^{bc}	34 ± 1^a	35 ± 1^a
	Extrudo	70	2686 ± 7^f	12 ± 7^{bc}	31 ± 1^a	43 ± 9^a
	Extrudo	75	2480 ± 10^e	13 ± 2^c	34 ± 2^a	49 ± 5^a
Jáhly	Natura	65	43 ± 2^a	3 ± 1^a	72 ± 1^b	86 ± 1^b
	Natura	70	98 ± 2^b	4 ± 1^{ab}	69 ± 7^b	85 ± 2^b
	Natura	75	122 ± 3^c	2 ± 0^a	48 ± 9^c	82 ± 5^b

nosti 0,05 podle Fisherova LSD testu.

10.1.3 Pohankové těsto

U pohankových těst byly získány nejlepší výsledky v množství vyprodukovaného kypřícího plynu. Testována byla těsta z pohankové mouky nativní nano a pohankové mouky nativní výběrové dodávané společností Extrudo, dále z pohankové mouky vyrobené Pohankovým mlýnem Šmajstrla. Tři největší plochy pod křivkou byly určeny u těst s 75% přídavkem vody. Nejvíce oxidu uhličitého produkovalo těsto připravené z pohankové mouky Šmajstrla. Plocha pod křivkou byla rovna 13 070 mm·s. Další bylo těsto z pohankové mouky nativní výběrové Extrudo s hodnotou 9 613 mm·s. Třetí největší produkce oxidu uhličitého byla stanovena u těsta z pohankové mouky nativní nano Extrudo a činila 8 680 mm·s. Všechny získané hodnoty obsahuje tabulka 4. U pohankových těst se produkce plynu zvětšovala s rostoucím množstvím vody v těstě. Totéž platilo i pro rychlost produkce oxidu uhličitého. Největší hodnota gradientu o velikosti $17 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ byla naměřena u těsta z pohankové mouky nativní výběrové Extrudo při 75% přídavku vody. Hodnoty teplot T_1 u různých vzorků pohankových těst se statisticky lišily jen málo, teploty T_2 se statisticky nelišily.

Tab. 4. Výsledky pro pohankové těsto^a

Mouka	Dodavatel	Přídavek vody [%]	Plocha [mm·s]	Gradient 10^{-3} [mm·s ⁻¹]	Teplota T_1 [°C]	Teplota T_2 [°C]
Pohanka nativní nano	Extrudo	65	229 ± 2 ^a	N	33 ± 1 ^{ab}	48 ± 9 ^a
	Extrudo	70	3147 ± 7 ^d	7 ± 2 ^c	32 ± 0 ^a	57 ± 4 ^a
	Extrudo	75	8680 ± 20 ^g	16 ± 1 ^{ef}	33 ± 1 ^{ab}	61 ± 4 ^a
Pohanka nativní výběrová	Extrudo	65	957 ± 3 ^c	4 ± 1 ^b	33 ± 2 ^{ab}	59 ± 4 ^a
	Extrudo	70	6290 ± 4 ^f	12 ± 1 ^d	33 ± 1 ^{ab}	60 ± 1 ^a
	Extrudo	75	9613 ± 7 ^h	17 ± 0 ^f	32 ± 0 ^a	60 ± 5 ^a
Pohanka	Šmajstrla	65	828 ± 5 ^b	2 ± 1 ^{ab}	34 ± 1 ^b	52 ± 2 ^a
	Šmajstrla	70	4000 ± 6 ^e	8 ± 2 ^c	33 ± 0 ^{ab}	60 ± 1 ^a
	Šmajstrla	75	13070 ± 10 ⁱ	14 ± 0 ^{de}	34 ± 1 ^b	58 ± 5 ^a

^aHodnoty v jednom sloupci označené různými písmeny se statisticky liší na hladině významnosti 0,05 podle Fisherova LSD testu.

N: neměřitelně nízká hodnota

10.1.4 Amarantové těsto

Při přípravě amarantového těsta byly použity dva druhy mouky od jiného výrobce. Prvním z nich byla amarantová mouka společnosti Extrudo a druhá byla amarantová mouka dodávaná společností Natura. U obou těst produkce kypřicího plynu rostla s rostoucím přídatkem vody, jak je uvedeno v tabulce 5. V těstě z amarantové mouky Natura se během měření tvořilo mnohem větší množství oxidu uhličitého, největší plocha pod křivkou s hodnotou $2\,997\text{ mm}\cdot\text{s}$ byla získána u daného amarantového těsta při 75% přídatku vody. Rychlost tvorby kypřicího plynu taktéž stoupala s větším množstvím vody v těstě. Největší gradient $5,5\cdot 10^{-3}\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ byl stanoven opět u těsta připraveného z amarantové mouky Natura s 75% přídatkem vody. Teplota T_1 , při které se začal tvořit oxid uhličitý, byla téměř totožná u všech stanovovaných vzorků, mezi výsledky nebyly nalezeny statistické rozdíly. Teplota T_2 , jež udává konec tvorby plynu, se však u jednotlivých amarantových těst lišila, hodnoty byly vyhodnoceny jako statisticky odlišné.

Tab. 5. Výsledky pro amarantové těsto^a

Mouka	Dodavatel	Přídavek vody [%]	Plocha [mm·s]	Gradient 10^{-3} [mm·s ⁻¹]	Teplota T_1 [°C]	Teplota T_2 [°C]
Amarant	Extrudo	65	372 ± 9^b	$0,5 \pm 0,7^a$	32 ± 1^a	63 ± 1^c
	Extrudo	70	745 ± 8^c	$1,5 \pm 0,7^{ab}$	32 ± 1^a	63 ± 1^c
	Extrudo	75	1289 ± 9^d	$2,5 \pm 0,7^{ab}$	32 ± 1^a	55 ± 1^{ab}
Amarant	Natura	65	249 ± 7^a	$1,5 \pm 0,7^{ab}$	33 ± 2^a	54 ± 1^a
	Natura	70	1977 ± 3^e	$3,5 \pm 0,9^{bc}$	32 ± 2^a	58 ± 1^b
	Natura	75	2997 ± 5^f	$5,5 \pm 0,7^c$	32 ± 1^a	55 ± 1^{ab}

^aHodnoty v jednom sloupci označené různými písmeny se statisticky liší na hladině významnosti 0,05 podle Fisherova LSD testu.

10.1.5 Merlíkové těsto

Výsledky z měření produkce kypřicího plynu v merlíkovém těstě jsou uvedeny v tabulce 6. K přípravě těsta byla použita mouka z quinoi bio dodávaná společností ASO Zdravý život. Produkce oxidu uhličitého byla velmi malá při všech přídavcích vody v těstě. Největší plocha pod křivkou s hodnotou 141 mm·s byla stanovena u těsta s 75% přídavkem vody. Gradient o velikosti $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ byl u všech tří vzorků totožný. Hodnoty teplot T_1 , kdy došlo k zahájení produkce kypřicího plynu, ale i hodnoty teplot T_2 , udávající konec tvorby plynu, se statisticky významně nelišily.

Tab. 6. *Výsledky pro merlíkové těsto^a*

Mouka	Dodavatel	Přídavek vody [%]	Plocha [mm·s]	Gradient 10^{-3} [mm·s ⁻¹]	Teplota T_1 [°C]	Teplota T_2 [°C]
Quinoa bio	ASO Zdravý život	65	58 ± 1^b	$0,5 \pm 0,7^a$	38 ± 3^a	82 ± 0^a
	ASO Zdravý život	70	36 ± 4^a	$0,5 \pm 0,7^a$	34 ± 1^a	73 ± 9^a
	ASO Zdravý život	75	141 ± 1^c	$0,5 \pm 0,7^a$	34 ± 1^a	83 ± 2^a

^aHodnoty v jednom sloupci označené různými písmeny se statisticky liší na hladině významnosti 0,05 podle Fisherova LSD testu.

10.1.6 Cizrnové těsto

Cizrnová těsta se řadila k velmi dobrým producentům oxidu uhličitého. Celkem byly při testování využity čtyři druhy cizrnových mouk. Od společnosti Extrudo to byla cizrnová mouka nativní a cizrnová mouka nativní hladká S 0,4, dále cizrnová mouka dodávaná společností Natura a také cizrnová mouka od dodavatele Zdraví z přírody. Všechny výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 7. Největší plocha pod křivkou o velikosti 6 790 mm·s byla získána u těsta připraveného z cizrnové mouky Natura s 75% přídavkem vody. Při stejném přídavku vody byla značná produkce oxidu uhličitého pozorována u těsta z cizrnové mouky Zdraví z přírody. Plocha měla hodnotu 5 990 mm·s. Nejmenší produkce kypřicího plynu byla zjištěna u vzorků těst z cizrnové mouky nativní Extrudo. Oxid uhličitý se v cizrnových těstech tvořil se značnou rychlostí, čemuž odpovídaly hodnoty gradientu. Největší gradient o velikosti $23 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ byl získán při testování vzorku těsta připraveného z cizrnové mouky nativní hladké S 0,4 Extrudo při 75% přídavku vody. Hodnota gradientu $21 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ byla stanovena u těsta z cizrnové mouky nativní téhož výrobce se stejným přídavkem vody. Teploty při počátku tvorby kypřicího plynu T_1 , jakožto teploty T_2 , kdy produkce oxidu uhličitého končila, byly statisticky významně odlišné.

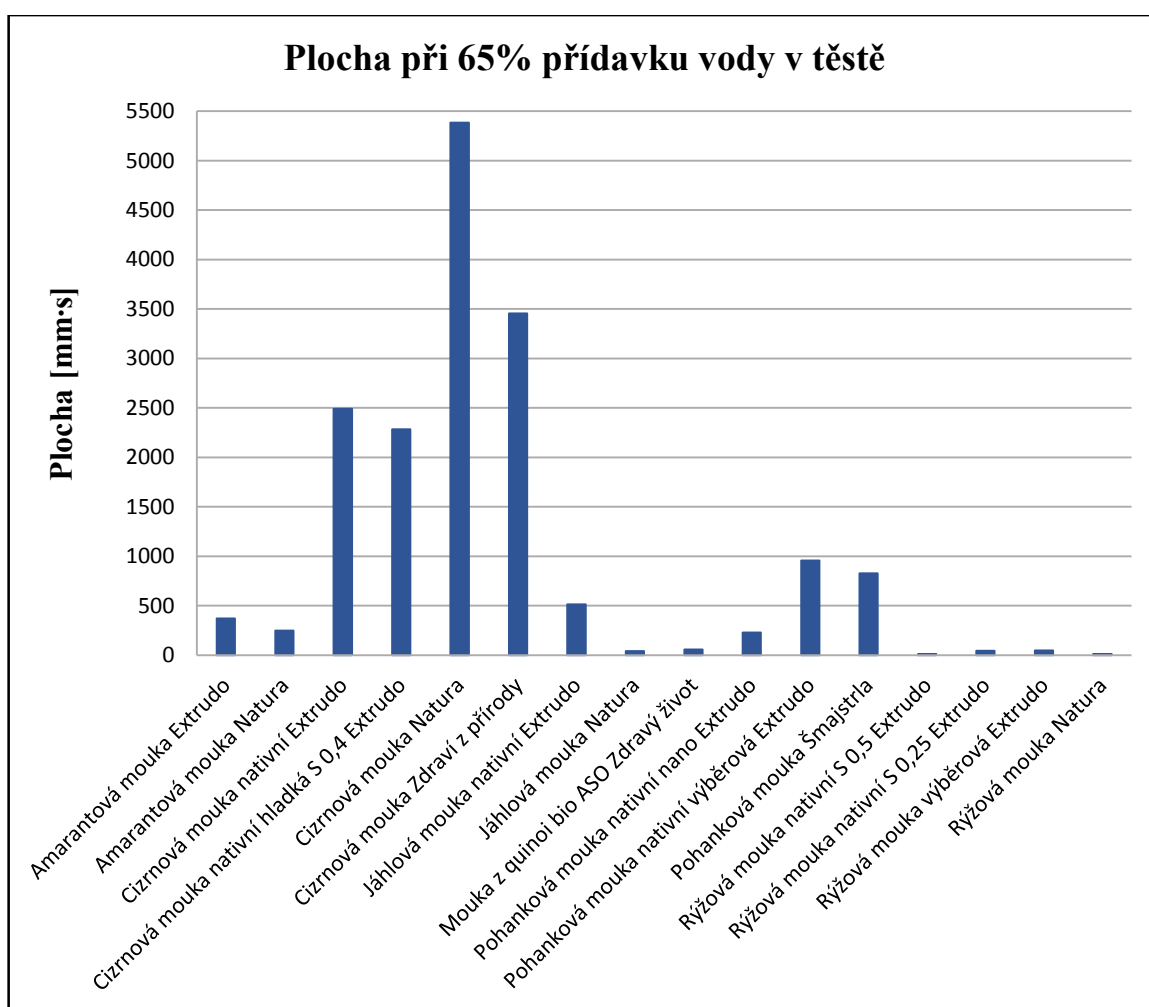
Tab. 7. Výsledky pro cizrnové těsto^a

Mouka	Dodavatel	Přídavek vody [%]	Plocha [mm·s]	Gradient 10 ⁻³ [mm·s ⁻¹]	Teplota T ₁ [°C]	Teplota T ₂ [°C]
Cizrna nativní	Extrudo	65	2490 ± 10 ^b	14 ± 0 ^{ab}	34 ± 1 ^{de}	52 ± 8 ^{bc}
	Extrudo	70	3513 ± 4 ^d	17 ± 1 ^c	32 ± 1 ^{abc}	42 ± 4 ^a
	Extrudo	75	3801 ± 6 ^e	21 ± 1 ^{de}	32 ± 1 ^a	49 ± 1 ^{ab}
Cizrna nativní hladká S 0,4	Extrudo	65	2286 ± 4 ^a	18 ± 1 ^{cd}	33 ± 1 ^{abcd}	53 ± 4 ^{bcd}
	Extrudo	70	5556 ± 9 ⁱ	18 ± 0 ^{cd}	32 ± 1 ^{abc}	74 ± 3 ^f
	Extrudo	75	5450 ± 10 ^h	23 ± 1 ^e	33 ± 1 ^{bcd}	58 ± 1 ^{cde}
Cizrna	Natura	65	5384 ± 5 ^g	12 ± 1 ^a	33 ± 1 ^{abcd}	64 ± 2 ^e
	Natura	70	3464 ± 5 ^c	16 ± 1 ^{bc}	32 ± 0 ^{ab}	62 ± 3 ^e
	Natura	75	6790 ± 30 ^k	18 ± 3 ^{cd}	34 ± 1 ^{cd}	60 ± 1 ^{de}
Cizrna	Zdraví z přírody	65	3456 ± 6 ^c	14 ± 1 ^{ab}	35 ± 1 ^e	57 ± 4 ^{bcde}
	Zdraví z přírody	70	4227 ± 5 ^f	18 ± 1 ^{cd}	32 ± 1 ^{abc}	58 ± 1 ^{cde}
	Zdraví z přírody	75	5990 ± 10 ^j	17 ± 3 ^{bc}	32 ± 1 ^a	58 ± 4 ^{cde}

^aHodnoty v jednom sloupci označené různými písmeny se statisticky liší na hladině významnosti 0,05 podle Fisherova LSD testu.

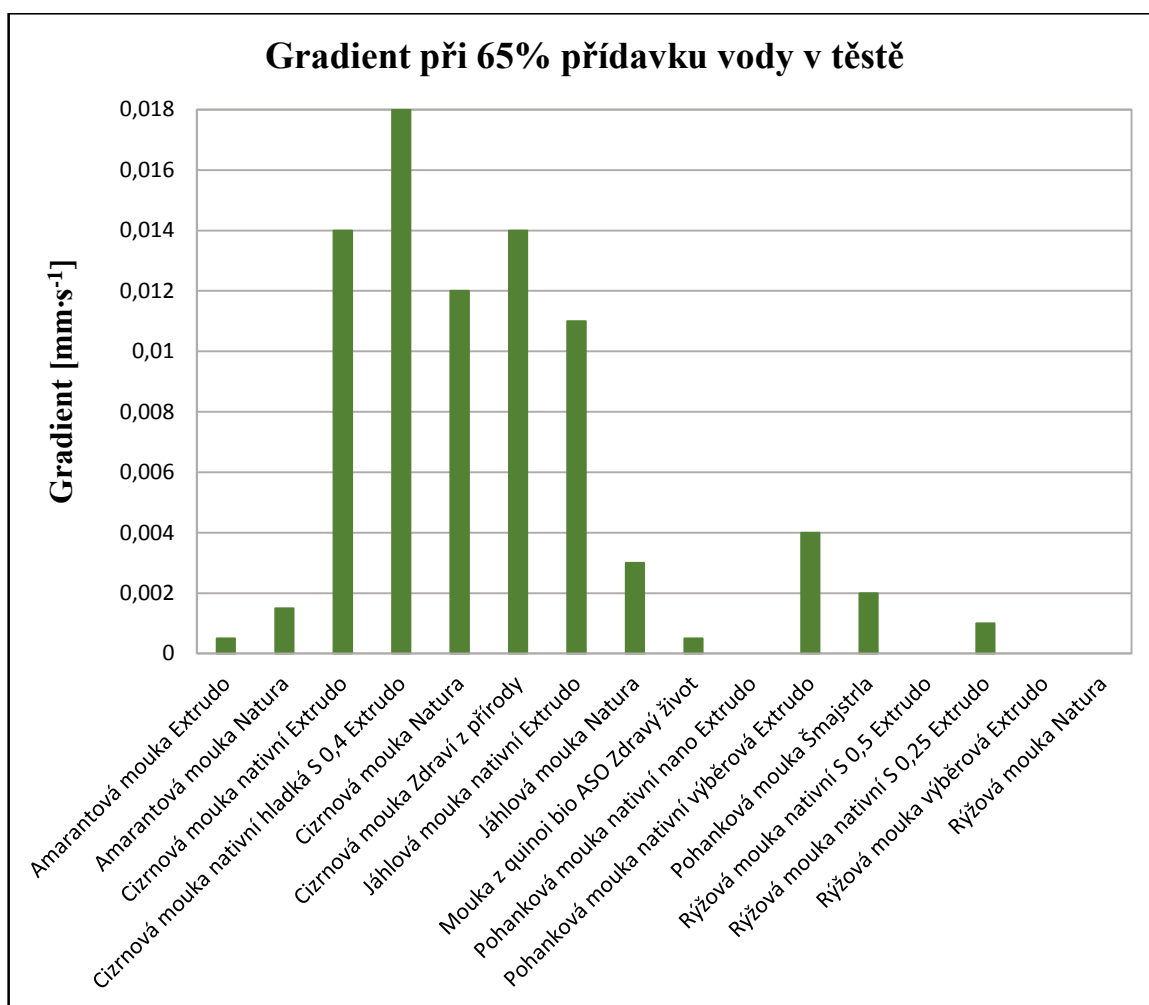
10.1.7 Srovnání bezlepkových těst s 65% přídavkem vody

Na obrázku 16 je graficky znázorněno srovnání množství vyprodukovaného kypřícího plynu v těstech připravených z jednotlivých bezlepkových mouk při 65% přídavku vody. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u cizrnových těst. Největší plocha pod křivkou byla zjištěna u těsta z cizrnové mouky Natura o velikosti 5 384 mm·s, následně u těsta z cizrnové mouky Zdraví z přírody s hodnotou 3 456 mm·s. Další v pořadí, co se týká produkce oxidu uhličitého, bylo těsto z cizrnové mouky nativní Extrudo, v množství 2 490 mm·s. Podobné hodnoty o velikosti 2 286 mm·s bylo dosaženo u těsta z cizrnové mouky nativní hladké S 0,4 taktéž společnosti Extrudo.



Obr. 16. Srovnání plochy pod křivkou u těst s 65% přídavkem vody

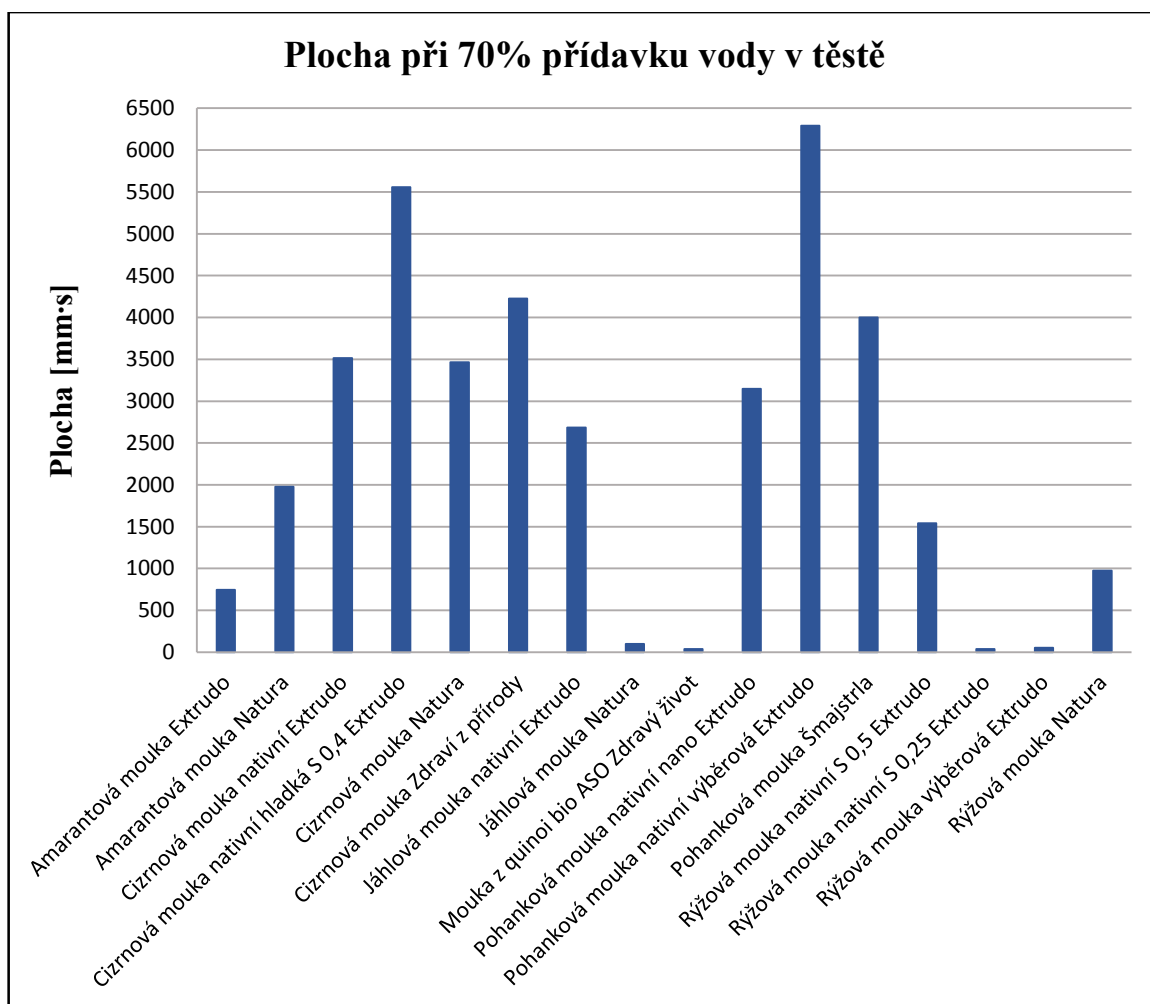
Graf znázorněný na obrázku 17 udává hodnoty gradientu bezlepkových těst s 65% přídavkem vody. Nejrychlejší produkce kypřícího plynu byla zaznamenána u těst z cizrnové mouky. Gradient o velikosti $18 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ byl zjištěn u těsta z cizrnové mouky nativní hladké S 0,4 Extrudo, následovala těsta z cizrnové mouky nativní Extrudo a cizrnové mouky Zdraví z přírody, hodnota gradientu se u obou těst rovnala $14 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. U těsta z cizrnové mouky Natura byl gradient stanoven na $12 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 17. Srovnání gradientu u těst s 65% přídavkem vody

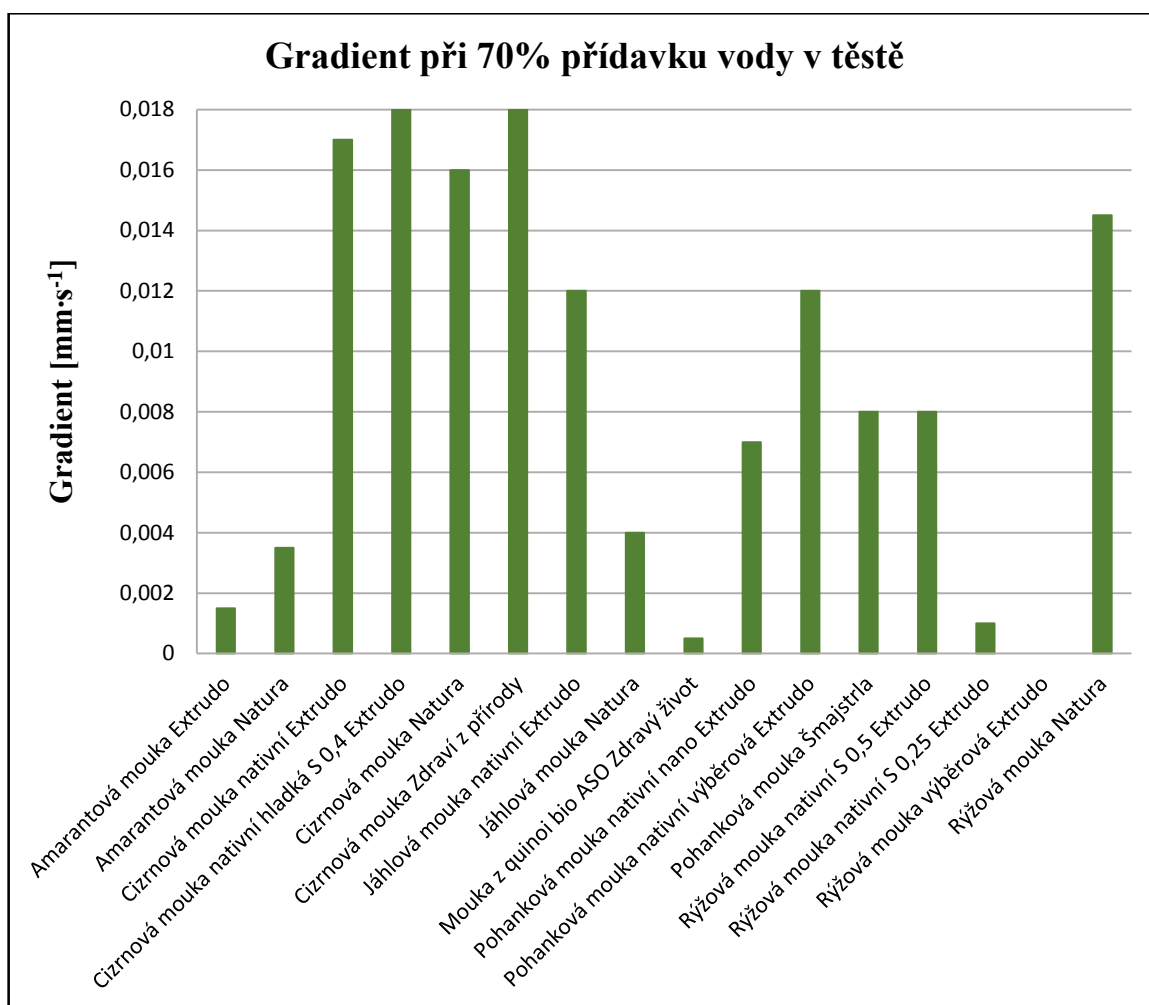
10.1.8 Srovnání bezlepkových těst s 70% přídavkem vody

Při 70% přídavku vody byla největší produkce kypřicího plynu pozorována u cizrnových a pohankových těst, jak je zřejmé z grafického znázornění na obrázku 18. Největší množství oxidu uhličitého bylo vyprodukováno těstem z pohankové mouky nativní výběrové Extrudo o hodnotě 6 290 mm·s. Jako druhé v pořadí se umístilo těsto připravené z cizrnové mouky nativní hladké S 0,4 společnosti Extrudo, plocha byla rovna 5 556 mm·s. Následně bylo zařazeno těsto z cizrnové mouky Zdraví z přírody, množství kypřicího plynu bylo stanoveno na 4 227 mm·s. Plocha pod křivkou o velikosti 4 000 mm·s byla zaznamenána u těsta připraveného z pohankové mouky vyrobené Pohankovým mlýnem Šmajstrla.



Obr. 18. Srovnání plochy pod křivkou u těst s 70% přídavkem vody

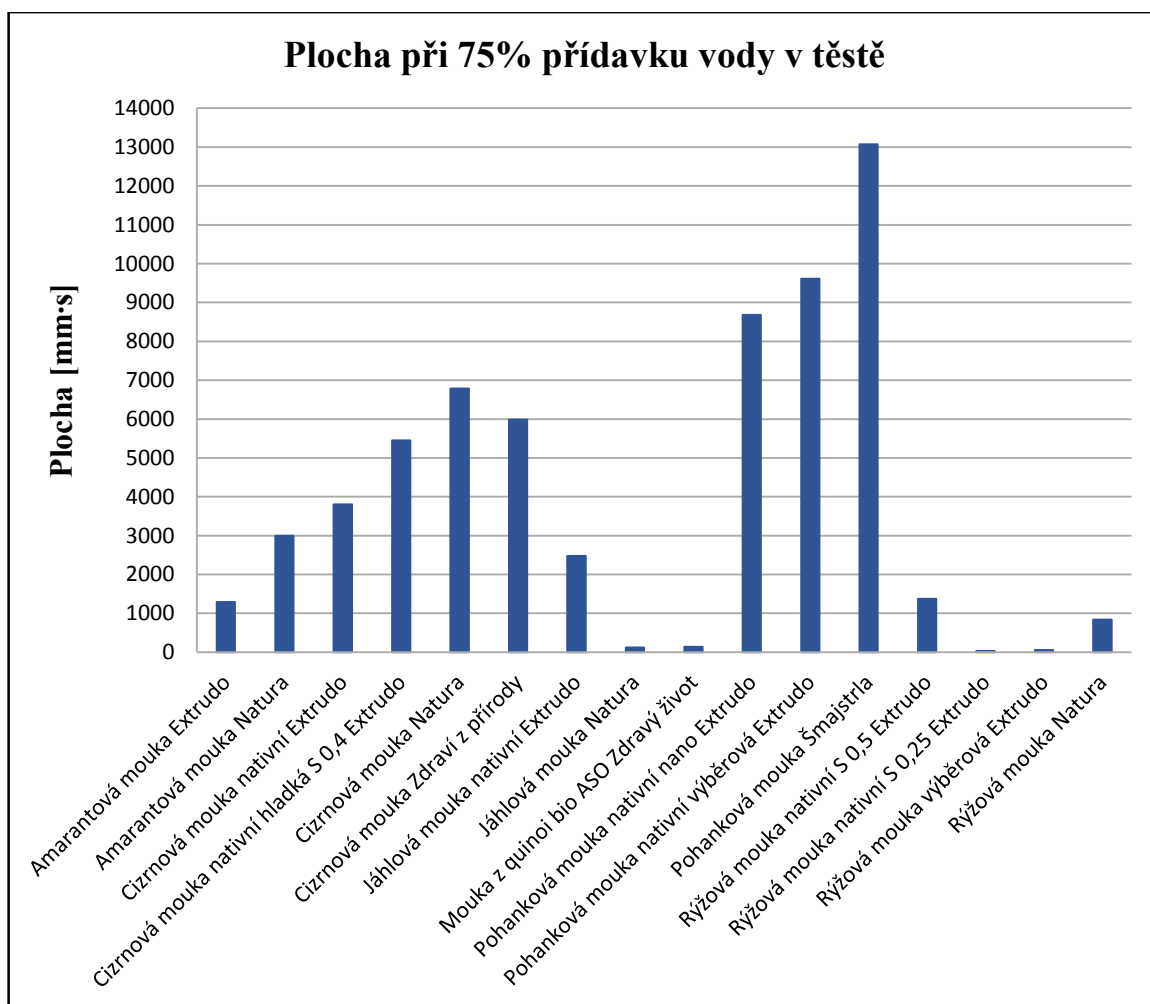
Rychlost produkce kypřicího plynu v bezlepkových těstech při 70% přidavku vody znázorňuje obrázek 19. Největší hodnoty gradientu byly stanoveny u cizrnových těst. Gradient o velikosti $18 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ byl zjištěn u těsta z cizrnové mouky nativní hladké S 0,4 Extrudo a u těsta připraveného z cizrnové mouky Zdraví z přírody. U těsta z cizrnové mouky nativní Extrudo byl gradient roven $17 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. V těstě z cizrnové mouky společnosti Natura byl oxid uhličitý produkován rychlostí $16 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 19. Srovnání gradientu u těst s 70% přidavkem vody

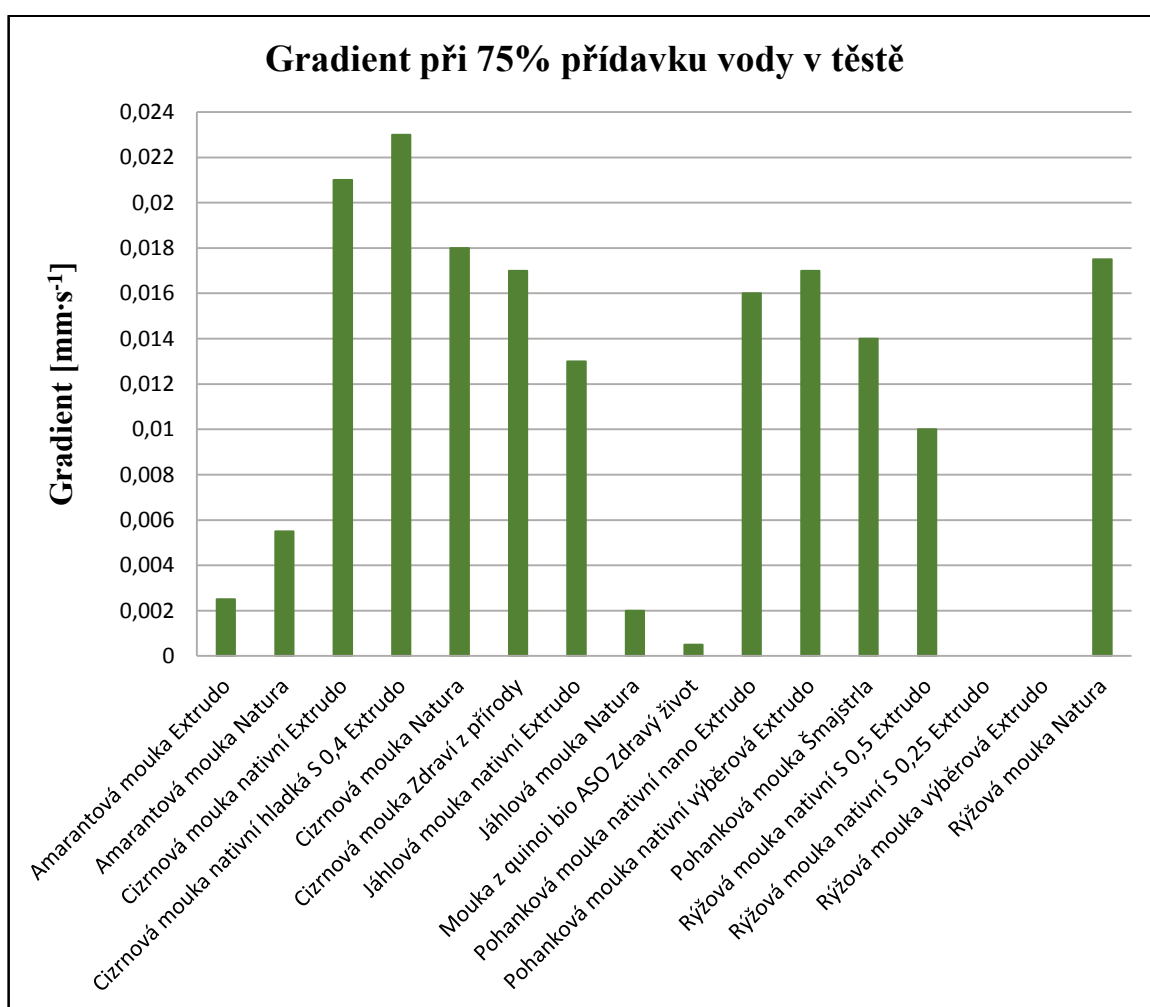
10.1.9 Srovnání bezlepkových těst s 75% přídavkem vody

V bezlepkových těstech při 75% přídavku vody byla pozorována úplně největší produkce kypřícího plynu, a to v těstech pohankových. Výsledky jsou graficky znázorněny na obrázku 20. Největší plocha pod křivkou s hodnotou 13 070 mm·s byla stanovena u těsta z pohankové mouky Šmajstrla. Těsto z pohankové mouky nativní výběrové Extrudo vykazovalo produkci oxidu uhličitého v množství 9 613 mm·s. U těsta z pohankové mouky nativní nano společnosti Extrudo byla plocha pod křivkou určena na 8 680 mm·s. Značné množství vyprodukovaného kypřícího plynu s hodnotou 6 790 mm·s bylo zjištěno též u těsta připraveného z cizrnové mouky společnosti Natura.



Obr. 20. Srovnání plochy pod křivkou u těst s 75% přídavkem vody

Při 75% přidavku vody byly nejvyšší hodnoty gradientu stanoveny u těst cizrnových a pohankových, jak uvádí graf na obrázku 21. Nejrychlejší produkce kypřícího plynu byla pozorována u těsta z cizrnové mouky nativní hladké S 0,4 Extrudo. Gradient měl hodnotu $23 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. U těsta připraveného z cizrnové mouky nativní Extrudo byla hodnota gradientu rovna $21 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. V těstě z cizrnové mouky Natura se kypřící plyn tvořil rychlostí $18 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Přestože rýžové těsto obecně patřilo k malým producentům oxidu uhličitého, rychlost jeho tvorby u těsta z rýžové mouky Natura při 75% přidavku vody byla stanovena na $17,5 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 21. Srovnání gradientu u těst s 75% přidavkem vody

10.2 Diskuze získaných výsledků

Vysoce kvalitní pečivo se vyznačuje nadýchanou strukturou a velkými vzduchovými póry. Póry se vytváří v průběhu počátečních fází přípravy těsta a v nich se následně při dalším zpracování hromadí kypřicí plyn. K získání dostatečně velkých vzduchových pórů a nadýchané struktury pečiva je však nutné, aby film kolem pórů byl schopen se roztáhnout při expanzi kypřicího plynu a současně, aby měl dostatečnou pevnost k zabránění zhroucení této struktury [75,76].

Vzduchové póry v pšeničném pečivu jsou obklopeny buněčnými stěnami, které se skládají z polonabobtnalých škrobových granulí, jež jsou propojeny pomocí nahromaděného škrobu a lepkových bílkovin [77,78,79]. Jedinečná schopnost lepkových bílkovin natáhnout se bez zhroucení struktury je nezbytná pro vysokou pórovitost pšeničného pečiva. V průběhu míchání těsta vytváří hydratované lepkové bílkoviny síť makromolekul, jež jsou propojeny pomocí disulfidických můstků. Jednotlivé části řetězců jsou dohromady spojeny s využitím četných slabých intermolekulárních a intramolekulárních vodíkových můstků. Chování pšeničné bílkovinné sítě se mění v přítomnosti nabobtnalých škrobových granulí, jež zaplňují volná místa v síti. Lipidy a jiné sacharidy nemají při tvorbě pšeničného pečiva podstatný význam [80,81,82].

Zvětšení plochy tvořící rozhraní mezi těstem a vzduchem a následné nahromadění kypřicího plynu v pórech závisí na molekulové hmotnosti makromolekul, které síť vytváří. Pšeničné bílkoviny jsou jedny z největších makromolekul s molekulovou hmotností mezi $10^5 - 10^6 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ [83].

Bílkoviny v bezlepkových těstech nevytváří souvislou síť, proto je chování bezlepkového těsta pravděpodobně ovlivněno jinými látkami přítomnými v mouce se schopností tvořit gel [84]. Velká pozornost byla věnována arabinoxylanům, neboť mají vliv na tvorbu a vlastnosti žitného těsta a chleba. Kypřicí plyn v žitném těstě je zadržován taktéž pomocí arabinoxylanů, žitné bílkoviny mají velmi malý význam [85].

Na základě získaných výsledků se dá předpokládat, že produkce a zadržování kypřicího plynu v bezlepkových těstech souvisí rovněž s přítomností arabinoxylanů.

Arabinoxylany byly nalezeny ve všech hlavních obilných zrnech, včetně rýže, kukuřice a prosa. Největší množství bylo zjištěno u rýže [86].

Arabinoxylanové řetězce obsahují zbytky kyseliny ferulové, které jsou schopny vytvářet gel, jenž je stabilizován kovalentními příčnými vazbami mezi skupinami odvozenými od ferulové kyseliny [86,87]. Kromě toho, spojení mezi dehydroferulovou kyselinou a tyrozinem představuje kovalentní vazbu mezi arabinoxylany a obilnými proteiny [88]. Tvorba a tuhost gelů je ovlivněna molekulovou hmotností, poměrem xylózy a arabinózy, distribucí arabinózových zbytků a obsahem kyseliny ferulové. Molekulová hmotnost arabinoxylanů se obecně pohybuje mezi $10^3 - 10^5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ [89,90]. Silný gel je tvořen arabinoxylany s vysokou molekulovou hmotností a velkým obsahem zbytků kyseliny ferulové. Vlastnosti gelu jsou současně ovlivněny tvorbou vodíkových můstků mezi řetězci [86,90,91]. Spojení mezi arabinoxylanovými řetězci je však slabé, proto film kolem vzduchových pórů u bezlepkového těsta praská působením relativně nízkého mechanického působení, kypřicí plyn následně z těsta uniká a póry v pečivu jsou mnohem menší než u pečiva pšeničného [90].

Lze předpokládat, že množství vyprodukovaného a zadržovaného kypřícího plynu v testovaných vzorcích bezlepkových těst bylo závislé na množství a vlastnostech arabinoxylanů, z nichž se v jednotlivých bezlepkových těstech vytváří gel podobný bílkovinnému gelu, který se nachází v těstě pšeničném.

Významné rozdíly v produkci oxidu uhličitého mezi bezlepkovými těsty, které se pohybovaly mezi 11,2 - 13 070 $\text{mm}\cdot\text{s}$, pravděpodobně závisí na rozdílných vlastnostech arabinoxylanového gelu, především na molekulové hmotnosti arabinoxylanů a na obsahu ferulové kyseliny [84].

Nejvíce produkovalo oxid uhličitý těsto připravené z pohankové mouky vyrobené Pohankovým mlýnem Šmajstrla při 75% přídavku vody (13 070 $\text{mm}\cdot\text{s}$). Při stejném přídavku vody byly vysoké hodnoty zjištěny i u těsta z pohankové mouky nativní výběrové produkované společností Extrudo (9 613 $\text{mm}\cdot\text{s}$) a u těsta připraveného z pohankové mouky nativní nano opět společností Extrudo (8 680 $\text{mm}\cdot\text{s}$). Hodnoty gradientu pohankových těst, tedy rychlost tvorby kypřícího plynu, patřily k těm vyšším, avšak rychlejší produkce oxidu uhličitého byla stanovena u těst cizrnových.

Cizrnová těsta by z hlediska produkce kypřícího plynu mohla být rovněž vhodná pro výrobu bezlepkového pečiva, protože u některých vzorků byly získány poměrně velké hodnoty plochy pod křivkou. Během stanovení byly u cizrnových těst s 75% přídavkem vody zjištěny nejvyšší hodnoty gradientu, konkrétně u těsta připraveného z cizrnové mouky nativní hladké

S 0,4 Extrudo ($23 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$) a u těsta z cizrnové mouky nativní téhož výrobce ($21 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$).

Vyprodukované množství kypřicího plynu u jáhlových, amarantových, merlíkových a rýžových těst nebylo příliš velké. Pečivo vyrobené z daných těst by pravděpodobně nemělo dostatečně nadýchanou strukturu, proto by jáhlová, amarantová, merlíková a rýžová mouka mohla být využívána spíše ve směsi s jinou bezlepkovou moukou.

Při přípravě biologicky kypřeného pečiva jsou důležité kvasinky, které mají schopnost přeměňovat sacharidy na oxid uhličitý, jenž je nezbytný pro nakypřenou texturu pečárenského výrobku. Aktivita kvasinek roste s rostoucí teplotou až na optimální teplotu $40 \text{ }^\circ\text{C}$, nad touto teplotou jejich aktivita rychle klesá a po dosažení teploty $50 \text{ }^\circ\text{C}$ začínají kvasinky odumírat. Při teplotách těsta vyšších než $60 \text{ }^\circ\text{C}$ lze předpokládat, že projevy kvasinek již ustaly [80,92].

Popsaná aktivita kvasinek byla pozorována během měření produkce kypřicího plynu v bezlepkových těstech, kdy byla zjišťována počáteční a konečná teplota, při které se tvořil oxid uhličitý. Nejvíce tomu odpovídaly hodnoty teplot u pohankových, amarantových a cizrnových těst, kdy teplota T_1 , při které produkce kypřicího plynu začínala, se pohybovala v rozmezí $30 - 40 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota T_2 , kdy produkce oxidu uhličitého ustala, měla hodnotu kolem $60 \text{ }^\circ\text{C}$.

Působením vody a rostoucí teploty dochází k mazovatění škrobu. Hydrolýza škrobu je zajišťována amylolytickými enzymy, které jej štěpí na dextriny, disacharidy a monosacharidy. Získané zkvasitelné cukry jsou pak substrátem pro kvasinky, které je přeměňují na oxid uhličitý [2]. Na základě výsledků lze usuzovat, že nejvhodnějším přidaným množstvím vody v těstě, kdy docházelo k největší produkci oxidu uhličitého, byl 75% přídavek, který zajišťoval dostatečné množství vody pro mazovatění škrobu, tím pravděpodobně docházelo k vyšší tvorbě zkvasitelných cukrů a následně k produkci většího množství kypřicího plynu v průběhu záhřevu. V případě 70% přídavku vody v těstě bylo nejvíce oxidu uhličitého vytvořeno jen u několika málo vzorků bezlepkových těst a při 65% přídavku vody byla největší plocha pod křivkou stanovena pouze u jednoho analyzovaného vzorku.

Ze získaných výsledků je zřejmá jen částečná souvislost mezi množstvím vyprodukovaného kypřicího plynu a velikostí škrobových granulí. Největší tvorba oxidu uhličitého byla stanovena u pohankových těst. Škrobové granule u pohanky jsou velké $2 - 14 \text{ } \mu\text{m}$ [93]. Následně se umístila těsta cizrnová, cizrna se však vyznačuje největšími škrobovými granulemi v porovnání s ostatními surovinami, jejich velikost se pohybuje mezi $6 - 31 \text{ } \mu\text{m}$ [94]. Amarantová

těsta už produkovala kypřicího plynu méně, velikost škrobových granulí amarantu je v rozmezí 1 - 2 μm [93]. Podobná tvorba oxidu uhličitého byla sledována u jáhlových těst, přestože jejich škrobové granule mají velikost 0,8 - 10 μm [93]. U merlíkového těsta už byla produkce kypřicího plynu mnohem menší, čemuž odpovídá i velmi malá velikost škrobových granulí v rozmezí 0,5 - 3 μm [93]. Některé vzorky rýžových těst se vyznačovaly zanedbatelnou produkcí oxidu uhličitého, přesto některá těsta částečně kypřicí plyn produkovala. Velikost škrobových granulí rýže se pohybuje mezi 2 - 10 μm [93].

ZÁVĚR

Pšeničné pečivo se vyznačuje pórovitou texturou a značným objemem, což je dáno schopností lepkových bílkovin vytvářet síť, která je schopná se rozpínat vlivem tvořícího se kypřícího plynu. Nepřítomnost lepkových bílkovin u bezlepkových těst způsobuje značné problémy při zpracování a výrobě bezlepkového pečiva. Stanovením však bylo zjištěno, že i bezlepková těsta produkují a zadržují kypřící plyn. Tato jejich schopnost je přisuzována arabinoxylanům, které vytváří v těstě síť podobnou síti lepkové. Arabinoxylanová síť však není tak stabilní, vzduchové póry proto mohou vlivem působení tvořícího se oxidu uhličitého praskat a výsledkem je pečivo s menším objemem.

Nejvhodnějším těstem pro výrobu bezlepkového pečiva se na základě získaných výsledků stalo těsto pohankové, neboť u něj byly stanoveny největší hodnoty plochy pod křivkou udávající největší množství vyprodukovaného a zadržovaného kypřícího plynu, oxid uhličitý se rovněž tvořil značnou rychlostí. Velká produkce kypřícího plynu byla zjištěna také u těst cizrnových, proto jsou taktéž vhodná pro výrobu bezlepkového pečiva. V případě cizrnových těst byla pozorována nejrychlejší tvorba oxidu uhličitého. Těsta jáhlová, amarantová, merlíková a rýžová nejsou vhodná pro výrobu jednodruhového pečiva, neboť tvorba kypřícího plynu u těchto vzorků těst byla malá až zanedbatelná, výsledné pečivo by mělo pravděpodobně tvrdou texturu.

Tvorba kypřícího plynu v bezlepkovém těstě byla závislá na druhu použité mouky, na jejím výrobcu, na hrubosti mletí a na přídatku vody. Bylo zjištěno, že ve většině případů byla největší produkce oxidu uhličitého pozorována u těst s 75% přídatkem vody, několik vzorků bezlepkových těst vykazovalo největší množství vyprodukovaného kypřícího plynu při 70% přídatku vody a pouze jeden vzorek tvořil nejvíce oxidu uhličitého při 65% přídatku vody v těstě.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] 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* 21. 1. 2009.
- [2] BUREŠOVÁ, I. a LORENCOVÁ, E. *Výroba potravin rostlinného původu: Zpracování obilovin*. 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013. 302 s. ISBN 987-80-7454-278-7.
- [3] *Lepek v potravinách a bezpečnostní suroviny* [online]. [cit. 2015-11-08]. Dostupné z: <http://www.freegluten.cz/lepek-v-potravinach-a-bezlepkove-suroviny-2>
- [4] TAUFEROVÁ, A., OŠŤÁDALOVÁ, M., JAVŮRKOVÁ, Z., PETRÁŠOVÁ, M. a ČÁSLAVKOVÁ, P. *Technologie a hygiena potravin rostlinného původu I., II.* 1. vyd. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2014. 168 s. ISBN 978-80-7305-692-6.
- [5] KUČEROVÁ, J. *Technologie cereálií*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2004. 141 s. ISBN 80-7157-811-8.
- [6] PŘÍHODA, J., SKŘIVAN, P. a HRUŠKOVÁ, M. *Cereální chemie a technologie I: Cereální chemie, mlýnská technologie, technologie výroby těstovin*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. 200 s. ISBN 80-7080-530-7.
- [7] KOPÁČOVÁ, O. *Trendy ve zpracování cereálií s přihlédnutím zejména k celozrnným výrobkům*. 1. vyd. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2007. 55 s. ISBN 978-80-7271-184-0.
- [8] KADLEC, P. *Technologie potravin I*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2002. 300 s. ISBN 80-7080-509-9.
- [9] ČESKO. Vyhláška MZE ČR č. 333/1997 Sb., kterou se provádí §18 písm. a), d), h), i), j) a k) 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: *Sbírka zákonů ČR* 12. 12. 1997.
- [10] KOCIÁN, P. *Proso seté* [online]. [cit. 2015-11-12]. Dostupné z: <http://www.kvetenacr.cz/detail.asp?IDdetail=823>

- [11] JANOVSÁ, D., KALINOVÁ, J. a MICHALOVÁ, A. *Metodika pěstování prosa setého v ekologickém a konvenčním zemědělství*. 1. vyd. České Budějovice: Zemědělská fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, 2008. 14 s. ISBN 978-80-87011-99-7.
- [12] OSAGIE, A. U. a KATES, M. Lipid composition of millet (*Pennisetum americanum*) seeds. *Lipids* [online]. 1984, **19**(12), s. 958-965 [cit. 2015-11-12]. ISSN 1558-9307. Dostupné z: doi:10.1007/BF02534732
- [13] DOUCHOVÁ, Z. *Zdravé pseudoobiloviny nejen pro celiaky* [online]. 2. 2. 2015 [cit. 2015-11-13]. Dostupné z: http://www.vimcojim.cz/cs/spotrebitel/zdrava-vyziva/tipy-zdrave-vyzivy/Zdrave-pseudoobiloviny-nejen-pro-celiaky__s639x8823.html
- [14] JANOUSKOVÁ, E. *Pseudoobiloviny - pohanka, amarant a quinoa* [online]. [cit. 2015-11-13]. Dostupné z: <http://www.vaztesizdravi.cz/informace-pro-zvidave/zajimave-clanky/sekce-vyziva-a-zdravi/item/75-pseudoobiloviny-pohanka-amarant-quinoa>
- [15] MARKO, A., RAKICKÁ, M. a ŠTURDÍK, E. Funkční složky cereálií účinné v prevenci civilizačních onemocnění. *Chemické listy*. 2015, **109**(1), s. 21-28. ISSN 1213-7103.
- [16] STEHLÍKOVÁ, P. *Pseudocereálie* [online]. 30. 7. 2013 [cit. 2015-11-13]. Dostupné z: <http://www.dlouhovekostbezleku.cz/mod/forum/discuss.php?d=41>
- [17] *Pohanka setá* [online]. [cit. 2015-11-15]. Dostupné z: http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/2/pohanka_set.html
- [18] KONVALINA, P. *Pěstování a využití minoritních obilnin a pseudoobilnin v ekologickém zemědělství*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2012. 169 s. ISBN 978-80-87510-24-7.
- [19] JANOVSÁ, D., KALINOVÁ, J. a MICHALOVÁ, A. *Metodika pěstování pohanky obecné v ekologickém a konvenčním zemědělství*. 1. vyd. České Budějovice: Zemědělská fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, 2008. 13 s. ISBN 978-80-7427-000-0.
- [20] HON, Z. a PATOČKA, J. Pohanka jako funkční potrava. *Kontakt*. 2008, **10**(1), s. 229-231. ISSN 1212-4117.

- [21] VOJTÍŠKOVÁ, P., KMENTOVÁ, K., KUBÁŇ, V. a KRÁČMAR, S. Chemical composition of buckwheat plant (*Fagopyrum esculentum*) and selected buckwheat products. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2012, 1(February Special issue), s. 1011-1019. ISSN 1338-5178.
- [22] ARENDT, E. K. a BELLO, F. D. *Gluten-Free Cereals Products and Beverages*. 1. vyd. Cambridge: Academic Press, 2008. 445 s. ISBN 978-0-12-373739-7.
- [23] *Pohankový mlýn ŠMAJSTRLA* [online]. [cit. 2015-11-16]. Dostupné z: <http://www.pohankovymlyn.com/pohanka.php>
- [24] *Rutin* [online]. [cit. 2015-11-16]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Rutin>
- [25] *Laskavec* [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/2/laskavec.html>
- [26] PEXO VÁ-KALINOVÁ, J. Netradiční plodiny a pseudoobilniny. *Zemědělec*. 2011, 43, s. 21. ISSN 1211-3816.
- [27] KOUBOVÁ, D. *Pseudocereálie z Jižní Ameriky* [online]. 23. 2. 2005 [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.agronavigator.cz/service.asp?act=print>
- [28] OELKE, E. A., PUTNAM, D. H., TEYNOR, T. M. a OPLINGER, E. S. *Quinoa* [online]. [cit. 2015-11-27]. Dostupné z: <https://hort.purdue.edu/newcrop/afcm/quinoa.html>
- [29] *Quinoa* [online]. [cit. 2015-11-27]. Dostupné z: <http://www.whfoods.com/genpage.php?tname=foodspice>
- [30] TICHÁ, M. a VYZÍNOVÁ, P. *Polní plodiny*. 1. vyd. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita, 2006. 41 s.
- [31] HOUBA, M., HOCHMAN, M. a HOSNEDL, V. *Luskoviny: pěstování a užití*. 1. vyd. České Budějovice: Kurent, 2009. 140 s. ISBN 978-80-87111-19-2.
- [32] TAUFEROVÁ, A., PETRÁŠOVÁ, M., POKORNÁ, J., TREMLOVÁ, B. a BARTL, P. *Rostlinná produkce*. 1. vyd. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2014. 140 s. ISBN 978-80-7305-716-9.
- [33] PAVLÍKOVÁ, L. *Cizrna beraní - Cicer arietinum* [online]. 23. 2. 2010 [cit. 2015-12-01]. Dostupné z: <http://www.e-bonanza.cz/obsah/clanky/cizrna.php>
- [34] *Cizrna beraní* [online]. [cit. 2015-12-01]. Dostupné z: http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/2/cizrna_berani.html

- [35] PAMPLONA-ROGER, D. G. *Cizrna* [online]. 21. 1. 2009 [cit. 2015-12-01]. Dostupné z: <http://www.magazinzdravi.cz/cizrna-20090121>
- [36] *Rýže setá* [online]. [cit. 2015-12-01]. Dostupné z: <http://ryze-seta.webnode.cz>
- [37] *Proso seté - červené* [online]. [cit. 2015-12-01]. Dostupné z: <http://www.aros.cz/cs/store/proso-sete-cervene/proso-sete-cervene-3/>
- [38] *Bylinkový speciál: Pohanka* [online]. [cit. 2015-12-01]. Dostupné z: <http://www.vitalia.cz/clanky/bylinkovy-special-pohanka/>
- [39] *Amaranth seeds may help cardiovascular health and diabetes* [online]. [cit. 2015-12-01]. Dostupné z: <http://www.nutraingredients.com/Research/Amaranth-seeds-may-help-cardiovascular-health-and-diabetes>
- [40] *Quinoa Grains* [online]. [cit. 2015-12-01]. Dostupné z: <https://www.ekowarehouse.com/villa-andina/quinoa-grains>
- [41] *Cizrna beraní* [online]. [cit. 2015-12-01]. Dostupné z: <http://zahradkaruvrok.cz/2014/11/cizrna-berani/>
- [42] *Přirozeně bezlepkové mouky* [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.proalergiky.cz/magazin/clanek/prirozene-bezlepkove-mouky>
- [43] *Druhy mouky, aneb co jste o moukách možná nevěděli* [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.viviente.cz/druhy-mouky-aneb-co-jste-o-moukach-mozna-nevedeli/>
- [44] *Přehled jednodruhových bezlepkových mouk a jejich využití* [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.proalergiky.cz/magazin/clanek/prehled-jednodruhových-bezlepkovych-mouk-a-jejich-vyuziti>
- [45] *Rýžová mouka* [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.mouky.cz/mouky/eshop/6-1-ryzova-mouka>
- [46] *Jahelná mouka* [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.mouky.cz/mouky/eshop/11-1-jahelna-mouka>
- [47] *Is Buckwheat Flour Really Gluten-Free* [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.celiac.com/articles/23441/1/Is-Buckwheat-Flour-Really-Gluten-Free/Page1.html>
- [48] *Amarantová mouka* [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.mouky.cz/mouky/eshop/16-1-amarantova-mouka>

- [49] *Quinoa* [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.celostnimedicina.cz/quinoa.htm>
- [50] *Cizrnová mouka* [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.mouky.cz/mouky/eshop/52-1-cizrnova-mouka>
- [51] KOPŘIVA, V., HOSTOVSKÝ, M., NEKVAPIL, T. a PECHOVÁ, A. *Vybrané kapitoly z biochemie potravin*. 1. vyd. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2014. 200 s. ISBN 978-80-7305-678-0.
- [52] KOPECKÁ, J., MATOULKOVÁ, D. a NĚMEC, M. Yeast and Its Uses. *Kvasny Prum.* 2012, **58**(11-12), s. 326-335. ISSN 0023-5830.
- [53] BURSOVÁ, Š., NECIDOVÁ, L. a DUŠKOVÁ, M. *Mikrobiologie potravin a mikrobiologické laboratorní metody. Obecná mikrobiologie*. 1. vyd. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2014. 114 s. ISBN 978-80-7305-742-8.
- [54] KALHOTKA, L. *Potravinářská mikrobiologie pro zahradnickou fakultu: Díl 2. Speciální část*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. 164 s. ISBN 978-80-7509-016-4.
- [55] *Glykolýza* [online]. 28. 3. 2015 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <http://dl1.cuni.cz/mod/page/view.php?id=151988>
- [56] MURRAY, R. K., GRANNER, D. K., MAYES, P. A. a RODWELL, V. W. *Harperova Biochemie*. 23. vyd. (4. české vyd.). Jinočany: H & H, 2002. 872 s. ISBN 80-7319-013-3.
- [57] *Glykolýza* [online]. 2010 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <http://kabinet-chemie.webnode.cz/album/biochemie/glykolyza-png/>
- [58] VACÍK, J., BARTHOVÁ, J., PACÁK, J., STRAUCH, B., SVOBODOVÁ, M. a ZEMÁNEK, F. *Přehled středoškolské chemie*. 4. vyd. Praha: SPN-pedagogické nakladatelství, 1999. 365 s. ISBN 80-7235-108-7.
- [59] TEPLÁ, M. *Metabolismus sacharidů* [online]. [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: http://www.studiumbiochemie.cz/metabolismus_sacharidy.html
- [60] *Krebsův cyklus* [online]. [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2762392/>
- [61] MONDAL, A. a DATTA, A. K. Bread baking - A review. *Journal of Food Engineering*. 2008, **86**(4), s. 465-474. ISSN 0260-8774.

- [62] DE CINDIO, B. a CORRERA, S. Mathematical modelling of leavened cereal goods. *Journal of Food Engineering*. 1995, **24**(3), s. 379-403. ISSN 0260-8774.
- [63] ROMANO, A., TORALDO, G., CAVELLA, S. a MASI, P. Description of leavening of bread dough with mathematical modelling. *Journal of Food Engineering*. 2007, **83**(2), s. 142-148. ISSN 0260-8774.
- [64] CHIOTELLIS, E. a CAMPBELL, G. M. Proving of bread dough II: Measurement of gas production and retention. *Trans IChemE*. 2003, **81**(3), s. 207-216. ISSN 0960-3085.
- [65] BUREŠOVÁ, I., KRÁČMAR, S., DVOŘÁKOVÁ, P. a STŘEDA, T. The relationship between rheological characteristics of gluten-free dough and the quality of biologically leavened bread. *Journal of Cereal Science*. 2014, **60**(2), s. 271-275. ISSN 0733-5210.
- [66] GALLAGHER, E., GORMLEY, T. R. a 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.
- [67] KLENER, P. *Vnitřní lékařství*. 2. vyd. Praha: Galén, 2001. 949 s. ISBN 80-7262-101-7.
- [68] *Celiakie* [online]. [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://www.celiak.cz/o-nemoci/celiakie>
- [69] *Diagnostika celiakie* [online]. [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://www.celiak.cz/o-nemoci/diagnostika>
- [70] *Dermatitis herpetiformis* [online]. [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://www.celiak.cz/o-nemoci/duhringuv-syndrom>
- [71] *Alergie na lepek* [online]. [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://www.celiak.cz/o-nemoci/alergie-na-lepek>
- [72] *Bezlepková dieta* [online]. [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://www.proalergiky.cz/alergie/clanek/bezlepkova-dieta>
- [73] *Stable Micro Systems* [online]. [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://www.stablemicrosystems.com/frameset.htm?http://www.stablemicrosystems.com/TAXT-plus.htm>
- [74] *Texture Analyzer Upgrade Options* [online]. [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://texturetechnologies.com/texture-analyzer-upgrades.php>

- [75] RANKEN, M. D., KILL, R. C. a BAKER, C. G. J. *Food Industries Manual*. 24. vyd. London: Chapman & Hall, 1997. 650 s. ISBN 978-1-4612-8431-4.
- [76] SIVARAMAKRISHNAN, H. P., SENGE, B. a CHATTOPADHYAY, P. K. Rheological properties of rice dough for making rice bread. *Journal of Food Engineering*. 2004, **62**(1), s. 37-45. ISSN 0260-8774.
- [77] KEETELS, C. J. A. M., VAN VLIET, T. a WALSTRA, P. Relationship between the sponge structure of starch bread and its mechanical properties. *Journal of Cereal Science*. 1996, **24**(1), s. 27-31. ISSN 0733-5210.
- [78] ZGHAL, M. C., SCANLON, M. G. a SAPIRSTEIN, H. D. Prediction of bread crumb density by digital image analysis. *Cereal Chemistry*. 1999, **76**(5), s. 734-742. ISSN 0009-0352.
- [79] LAGRAIN, B., WILDERJANS, E., GLORIEUX, C. a DELCOUR, J. A. Importance of gluten and starch for structural and textural properties of crumb from fresh and stored bread. *Food Biophysics*. 2012, **7**(2), s. 173-181. ISSN 1557-1858.
- [80] KENT, N. L. a EVERS, A. D. *Technology of Cereals*. 4. vyd. Cambridge: Woodhead Publishing, 1994. 352 s. ISBN 978-1-59124-108-9.
- [81] BONAFACCIA, G., MAROCCHINI, M. a KREFT, I. Composition and technological properties of the flour and bran from common and tartary buckwheat. *Food Chemistry*. 2003, **80**(1), s. 9-15. ISSN 0308-8146.
- [82] ZAIDEL, D. N. A., CHIN, N. L. a YUSOF, Y. A. A review on rheological properties and measurements of dough and gluten. *Journal of Applied Sciences*. 2010, **10**(20), s. 2478-2490. ISSN 1812-5654.
- [83] BELDEROK, B., MESDAG, J. a DONNER, D. A. *Break-Making Quality of Wheat: A Century of Breeding in Europe*. 1. vyd. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000. 416 s. ISBN 978-90-481-5493-7.
- [84] BUREŠOVÁ, I. a KUBÍNEK, R. The behavior of amaranth, chickpea, millet, corn, quinoa, buckwheat and rice doughs under shear oscillatory and uniaxial elongational tests simulating proving and baking. *Journal of Texture Studies* [online]. 2016, **00**, s. 1-9 [cit. 2016-03-30]. ISSN 1745-4603. Dostupné z: <http://online-library.wiley.com/doi/10.1111/jtxs.12176/epdf>
- [85] VINKKX, C. J. A. a DELCOUR, J. A. Rye (*Secale cereale* L.) arabinoxylans: A critical review. *Journal of Cereal Science*. 1996, **24**(1), s. 1-14. ISSN 0733-5210.

- [86] PHILLIPS, G. O. a WILLIAMS, P. A. *Handbook of hydrocolloids*. 2. vyd. Cambridge: Woodhead Publishing, 2009. 948 s. ISBN 978-1-84569-414-2.
- [87] IZYDORCZYK, M. S., BILIADERIS, C. G. a BUSHUK, W. Oxidative gelation studies of water-soluble pentosans from wheat. *Journal of Cereal Science*. 1990, **11**(2), s. 153-169. ISSN 0733-5210.
- [88] PIBER, M. a KOEHLER, P. Identification of dehydroferulic acid-tyrosine in rye and wheat: Evidence for a covalent cross-link between arabinoxylans and proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005, **53**(13), s. 5276-5284. ISSN 0021-8561.
- [89] BILIADERIS, C. G., IZYDORCZYK, M. S. a RATTAN, O. Effect of arabinoxylans on bread-making quality of wheat flours. *Food Chemistry*. 1995, **53**(2), s. 165-171. ISSN 0308-8146.
- [90] IZYDORCZYK, M. S. a BILIADERIS, C. G. Cereal arabinoxylans: Advances in structure and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*. 1995, **28**(1), s. 33-48. ISSN 0144-8617.
- [91] DERVILLY-PINEL, G., RIMSTEN, L., SAULNIER, L., ANDERSSON, R. a AMAN, P. Water-extractable arabinoxylan from pearled flours of wheat, barley, rye and triticale. Evidence for the presence of ferulic acid dimers and their involvement in gel formation. *Journal of Cereal Science*. 2001, **34**(2), s. 207-214. ISSN 0733-5210.
- [92] OWENS, G. *Cereals Processing Technology*. 1. vyd. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001. 238 s. ISBN 978-1-59124-344-1.
- [93] LINDEBOOM, N., CHANG, P. R. a TYLER, R. T. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: A review. *Starch-Stärke*. 2004, **56**(3-4), s. 89-99. ISSN 0038-9056.
- [94] HUANG, J., SCHOLS, H. A., VAN SOEST, J. J. G., JIN, Z., SULMANN, E. a VORAGEN, A. G. J. Physicochemical properties and amylopectin chain profiles of cowpea, chickpea and yellow pea starches. *Food Chemistry*. 2007, **101**(4), s. 1338-1345. ISSN 0308-8146.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

GSH	glutation v redukované formě
GSSG	glutation v oxidované formě
$C_6H_{12}O_6$	glukóza
C_2H_5OH	etanol
CO_2	oxid uhličitý
ATP	adenosintrifosfát
ADP	adenosindifosfát
NADH	redukována forma nikotinamidadenindinukleotidu
NAD^+	oxidovaná forma nikotinamidadenindinukleotidu
O_2	kyslík
H_2O	voda
acetyl-CoA	acetylkoenzym A
$FADH_2$	redukována forma flavinadenindinukleotidu
FAD	oxidovaná forma flavinadenindinukleotidu
$C_{12}H_{22}O_{11}$	sacharóza
NaCl	chlorid sodný
T_1	teplota bezlepkového těsta na začátku produkce kypřicího plynu
T_2	teplota bezlepkového těsta na konci produkce kypřicího plynu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. <i>Rýže setá</i>	15
Obr. 2. <i>Proso seté</i>	16
Obr. 3. <i>Rutin</i>	20
Obr. 4. <i>Pohanka setá</i>	20
Obr. 5. <i>Amarant</i>	22
Obr. 6. <i>Quinoa</i>	23
Obr. 7. <i>Cizrna beraní</i>	25
Obr. 8. <i>Redukovaná forma glutationu</i>	28
Obr. 9. <i>Oxidovaná forma glutationu</i>	28
Obr. 10. <i>Glykolýza</i>	31
Obr. 11. <i>Etanolové kvašení</i>	31
Obr. 12. <i>Krebsův cyklus</i>	32
Obr. 13. <i>Mezinárodní označení pro bezpečkové potraviny</i>	39
Obr. 14. <i>TA.XT plus Texture Analyser</i>	40
Obr. 15. <i>Křivka znázorňující množství vyprodukovaného kypřícího plynu</i>	45
Obr. 16. <i>Srovnání plochy pod křivkou u těst s 65% přídavkem vody</i>	56
Obr. 17. <i>Srovnání gradientu u těst s 65% přídavkem vody</i>	57
Obr. 18. <i>Srovnání plochy pod křivkou u těst s 70% přídavkem vody</i>	58
Obr. 19. <i>Srovnání gradientu u těst s 70% přídavkem vody</i>	59
Obr. 20. <i>Srovnání plochy pod křivkou u těst s 75% přídavkem vody</i>	60
Obr. 21. <i>Srovnání gradientu u těst s 75% přídavkem vody</i>	61

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. <i>Použité bezlepkové mouky</i>	43
Tab. 2. <i>Výsledky pro rýžové těsto</i>	49
Tab. 3. <i>Výsledky pro jáhlové těsto</i>	50
Tab. 4. <i>Výsledky pro pohankové těsto</i>	51
Tab. 5. <i>Výsledky pro amarantové těsto</i>	52
Tab. 6. <i>Výsledky pro merlíkové těsto</i>	53
Tab. 7. <i>Výsledky pro cizrnové těsto</i>	55