

Plynotvorná schopnost bezlepkových těst

Bc. Radka Horutová

Diplomová práce
2021

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Radka Horutová**
Osobní číslo: **T19465**
Studijní program: **N0721A210004 Technologie potravin**
Studijní obor: **Technologie potravin**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Plynotvorná schopnost bezlepkových těst**

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část

1. Schopnost těsta produkovat kypřicí plyny.
2. Schopnost těsta zadržovat kypřicí plyny.
3. Příčiny nedostatečného nakypění bezlepkových těst.
4. Možnosti využívané ke zlepšení nakypřenosti těst.

II. Praktická část

1. Charakteristika použitého materiálu.
2. Popis metod stanovení.
3. Výsledky a diskuse.
4. Formulace závěrů plynoucích z práce.

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

Seznam doporučené literatury:

Burešová, I., Bureš, D., & Čurečková, K. (2017). Comparison of Gluten-Free Dough Ability to Produce Leavening Gas During Baking and its Impact on Crumb Characteristics. *Kvasný průmysl*, 63(1), 8-10. Gan, Z., Angold, R. E., Williams, M. R., Ellis, P. R., Vaughan, J. G., & Galliard, T. (1990). The microstructure and gas retention of bread dough. *Journal of Cereal Science*, 12(1), 15-24. Kowalczewski, P., Róžańska, M., Makowska, A., Jeżowski, P., & Kubiak, P. (2019). Production of wheat bread with spray-dried potato juice: Influence on dough and bread characteristics. *Food Science and Technology International*, 25(3), 223-232. Rosell, C. M., Rojas, J. A., & De Barber, C. B. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food hydrocolloids*, 15(1), 75-81

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

Datum zadání diplomové práce: **31. prosince 2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. února 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou 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);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové 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.

Prohlašuji,

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá plynotvornou schopností bezlepkových těst. Teoretická část byla zaměřena na objasnění schopnosti bezlepkových těst produkovat a zadržovat kypřicí plyny. V práci jsou dále popsány příčiny nedostatečného nakypření těst a možnosti zlepšení nakypření bezlepkových těst. V rámci praktické části proběhla analýza zaměřená na vývoj těst a množství vyprodukovaného a zadrženého kypřicího plynu v těstech. Dále byly hodnoceny reologické vlastnosti chování bezlepkových těst. Hodnocení a měření probíhalo u bezlepkové mouky kaštanové, konopné, kurakkanové, slzovkové, rýžové a dýňové a bylo srovnáváno s moukou pšeničnou. Měření probíhalo za účelem nalezení nejvhodnějšího druhu bezlepkové mouky, která by byla vhodná pro pečení bezlepkového pečiva. Za nejvhodnější mouku byla označena mouka rýžová.

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

ABSTRACT

The diploma thesis deals with ability of gluten-free dough to produce leavening gas. The theoretical part was focused on elucidating the ability of gluten-free dough to produce and retain leavening gases. The work also describes the causes of insufficient leavening of dough and the possibilities of improving the leavening of gluten-free dough. In the experimental part, the analyzes focused on the development of dough and the amount of produced and retained leavening gas in the dough. The rheological properties of gluten-free dough were assessed. The evaluation and measurement were made on chestnut, hemp, finger millet, coix, rice and pumpkin gluten-free flour and were compared with wheat flour. The measurement were assessed to find the most suitable type of gluten-free flour, which would be convenient for baking gluten-free breads. Rice flour was named as the most suitable flour.

Keywords: gluten – free bread, gluten-free dough, leavening gas, celiac disease

Poděkování patří zejména vedoucí mé diplomové práce doc. RNDr. Ivě Burešové, Ph.D. za odborné vedení a dále mému manželovi a rodině za podporu po celou dobu studia.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 OBILOVINY	11
1.1 PŠENICE.....	11
1.1.1 Lepek.....	12
1.1.2 Význam lepku při pečení	13
1.2 BEZLEPKOVÉ OBILOVINY.....	14
1.2.1 Rýže.....	14
1.2.2 Kukuřice.....	14
2 BEZLEPKOVÉ PEČIVO	16
2.1 BEZLEPKOVÉ PLODINY	17
2.1.1 Pseudocereálie.....	18
2.1.2 Další rostliny a jejich části využívané k výrobě bezlepkového pečiva	18
3 SCHOPNOST TĚSTA PRODUKOVAT KYPŘICÍ PLYNY	23
4 SCHOPNOST TĚSTA ZADRŽOVAT KYPŘICÍ PLYNY	25
5 PŘÍČINY NEDOSTATEČNÉHO NAKYPŘENÍ BEZLEPKOVÝCH TĚST	27
6 MOŽNOSTI VYUŽÍVANÉ KE ZLEPŠENÍ NAKYPŘENOSTI TĚST	29
II PRAKTICKÁ ČÁST	33
7 CÍL PRÁCE	34
8 METODIKA PRÁCE	35
8.1 POPIS EXPERIMENTU.....	35
8.2 OSTATNÍ SUROVINY PRO VÝROBU BEZLEPKOVÝCH TĚST	36
8.3 METODY STANOVENÍ.....	36
8.3.1 Stanovení vlhkosti.....	36
8.3.2 Číslo poklesu.....	36
8.3.3 Rheofermentometr.....	37
8.3.4 Mixolab	39
8.4 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT	42
9 VÝSLEDKY A DISKUZE	43
9.1 VÝSLEDKY STANOVENÍ OBSAHU VLHKOSTI A ČÍSLA POKLESU	43
9.2 VÝSLEDKY MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ KYPŘICÍHO PLYNU NA RHEOFERMENTOMETRU	44
9.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ REOLOGICKÉHO CHOVÁNÍ TĚSTA POMOCÍ MIXOLABU	48
ZÁVĚR	53
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	54
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	63

SEZNAM OBRÁZKŮ	64
SEZNAM TABULEK.....	65

ÚVOD

Pečivo je považováno za jednu z nejkonzumovanějších potravin ve světě. Tradiční pečivo bývá většinou vyrobeno z mouky obsahující lepek, jako je např. pšenice a žito. Tímto je konzumace tohoto pečiva nevhodná pro obyvatelstvo trpící celiakií. Celiakie je autoimunitní onemocnění, kdy dochází k napadení klků tenkého střeva. Vhodnou léčbou tohoto onemocnění je přijetí bezlepkové diety.

Bezlepkové pečivo bývá tradičně vyráběno z kukuřičné a rýžové mouky. Častým přídatkem jsou škroby z různých zdrojů, jako je třeba bramborový škrob. Tyto výrobky mají nízký obsah bílkovin a ve srovnání s výrobky z pšeničné mouky mohou vést k výrobkům s nižší nutriční hodnotou. Nízká nutriční hodnota bezlepkových výrobků není jedinou potíží. Hlavním problémem je nepřítomnost trojrozměrné lepkové sítě. Výroba vysoce kvalitního bezlepkového pečiva je z důvodu absence lepku stále technologickou výzvou. Lepek hraje při pečení pečiva zásadní roli, protože je zodpovědný za elastické těsto, které je schopné se dobře roztáhnout. Také napomáhá ve své struktuře zadržovat plyny a formovat strukturu pečiva. Absence lepku vede k pečivu s lepkovou střídou a s nízkým specifickým objemem.

Jedním z cílů bylo porovnání vlastností různých druhů bezlepkových mouk. Jednalo se o stanovení obsahu vlhkosti a čísla poklesu, dále byla porovnáována schopnost produkovat a zadržovat kypřicí plyn CO_2 ve struktuře a byl sledován vývoj a reologické vlastnosti daných bezlepkových těst. Na základě naměřených výsledků byl získán přehled o typických vlastnostech těst, ze kterých byl určen nevhodnější druh bezlepkové mouky pro pečení pečiva pro osoby dodržující bezlepkovou dietu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OBILOVINY

Obiloviny patří do skupiny jednoděložných trav z rodiny *Gramineae*, čeledi lipnicovitých (*Poaceae*). Hlavními zástupci jsou pšenice, kukuřice, ječmen, oves, rýže a čirok. Potraviny na bázi obilovin byly základním zdrojem potravy pro světovou populaci po celá staletí. Obiloviny jsou využívány nejen pro lidskou spotřebu, ale značná část je spotřebována také jako krmivo pro zvířata. Pro nás jsou důležitá především semena těchto obilovin [1, 2].

Obiloviny, jako potravinářské rostliny, jsou významné především pro svou vysokou výnosnost a výživové vlastnosti. Výživové vlastnosti jsou rozdílné podle podmínek pěstování, druhu obiloviny a odrůdy. Obiloviny se snadno skladují a přepravují, jelikož po vysušení mají nízký obsah vlhkosti (kolem 12 %) [2].

Obilné zrno se skládá z endospermu bohatého na škrob a bílkoviny a představuje hlavní část obilí, dále z otrub (zdroj vlákniny, mikroživin a dalších biologicky aktivních látek) a klíčků (bohatých na lipidy a další makro a mikroživiny) [3].

Obilná zrna obsahují makroživiny (bílkoviny, tuky a sacharidy), které lidé potřebují pro svůj růst a výživu. Dodávají také důležité minerální látky, vitamíny a další mikroživiny, které jsou nezbytné pro optimální zdraví. V obilovinách můžeme nalézt 20 % hořčíku a zinku, 30 – 40 % sacharidů a železa, 20 – 30 % riboflavinu a niacinu a více než 40 % thiaminu přijímaného ve stravě. Obilovinám jsou připisovány také pozitivní účinky na lidské zdraví, zejména v souvislosti se sníženým rizikem několika chronických onemocnění, jako je ischemická choroba srdeční, cukrovka II. typu a určité typy rakoviny. Tyto příznivé účinky jsou přisuzovány zejména fytochemikáliím obsaženým v zrnech [1].

1.1 Pšenice

Pšenice je jednou z hlavních obilovin, které se vyskytují ve stravě většiny světové populace. Má proto dopad na výživovou hodnotu potravin, které jsou konzumovány velkou částí společnosti. Pšenice je jednou z nejrozšířenějších obilovin, představuje více než čtvrtinu celosvětové produkce obilovin na světě, a je primárně používána k lidské spotřebě, přičemž asi 15 % se využívá jako krmivo pro zvířata. Největšími světovými producenty pšenice jsou Čína, Indie a USA [2, 4].

Pšenice setá (*Triticum aestivum* L.) má vysoký poměr bílkovin ke škrobu (16 % bílkovin a 61 % škrobu). Mouka z této pšenice bývá označována jako „silná“ a používá se k výrobě pečiva. Pšenice tvrdá (*Triticum durum* Desf.) obsahuje asi 12 % bílkovin a 66 % škrobu.

Obsah lepku se pohybuje kolem 32 % a má tužší konzistenci. Hrubá mouka z této pšenice se nazývá semolina a bývá využívána na výrobu těstovin [2, 4].

Vysoká popularita pšenice není připisována jen její schopnosti produkovat vysoké výnosy obilí za různých podmínek. Hlavním a nejdůležitějším faktorem je schopnost pšeničných bílkovin vytvářet zejména viskoelastické těsto. Tyto lepkové proteiny jsou nezbytné pro výrobu nejrůznějších potravin na celém světě. Jde o klíčový rys, který dává pšenici výhodu oproti jiným plodinám. Jedinečné vlastnosti pšeničného těsta tak umožňují jeho zpracování na řadu potravin. Tyto vlastnosti závisí na strukturách a interakcích zásobních proteinů zrna, které společně tvoří proteinovou frakci glutenu [2, 5].

1.1.1 Lepek

Podle Nařízení Komise (ES) č. 41/2009 o složení a označování potravin vhodných pro osoby s nesnášenlivostí lepku se „lepek“ rozumí bílkovinná frakce z pšenice, žita, ječmene, ovsa nebo jejich kříženců a derivátů. Na tuto bílkovinnou frakci mají některé osoby nesnášenlivost a je nerozpustná ve vodě a 0,5 M roztoku chloridu sodného [6].

Pšeničný lepek je směsí ve vodě nerozpustných globulárních proteinů, a to pšeničného prolaminu a pšeničného glutelinu. Společně představují až 85 % celkového proteinu z pšeničné mouky. Prolamin je také znám jako gliadin (kvůli svému vysokému obsahu prolinu a glutaminu). Pšeničný glutelin (též známý jako glutenin) má podobné složení aminokyselin, ale nižší obsah hydrofobních aminokyselin než gliadin. Jeho vysokou molekulovou hmotnost lze připsat přítomnosti intermolekulárních disulfidových vazeb, které spojují jednotlivé proteinové řetězce za vzniku většího polymeru. Větší polymer vzniká za přítomnosti vody. Mají také značný počet nepolárních aminokyselin obsahujících alifatické nebo aromatické skupiny. Tyto skupiny jsou spolu s několika snadno ionizovatelnými aminokyselinami odpovědné za nerozpustnost lepku ve vodě [7, 8, 9].

Tvorba lepku, jeho pevnost a pružnost jsou do značné míry určeny specifikací mouky, recepturou a procesy míchání a tvarování. Při mísení těsta tvoří molekuly bílkovin dlouhé řetězce lepku, které jsou pevné a pružné. Lepková síť je také důležitá pro zachycování vzduchových a plynových bublin vzniklých fermentací kvasinek nebo kypřícími prostředky, jako je hydrogenuhličitan sodný („soda“) nebo uhličitan amonný [9].

1.1.2 Význam lepku při pečení

Výroba těsta a poté pečiva se skládá z několika kroků. Nejdůležitějším krokem je vývoj těsta. Těsto se obvykle vyrábí smícháním mouky, vody a dalších ingrediencí v mísiči těsta. Jedinečné vlastnosti, které vykazuje pšenice v těstě nakypřeném kvasnicemi, jsou ovlivněny lepem. Lepek se skládá ze dvou hlavních proteinových frakcí: gliadinů, které přispívají k viskozitě těsta, a gluteninů, které jsou odpovědné za pružnost těsta. Během vývoje těsta se hydratovaná mouka přeměňuje na soudržný viskoelastický materiál, který získává lesk a lze jej natáhnout. Mechanická energie vytvořená mícháním vyvolává konformační změny v hydratovaných pšeničných proteinech rozbitím a tvorbou obou kovalentních (-SS-) a nekovalentních (hydrofobních a vodíkových) vazeb. Do těsta jsou zabudovány vzduchové bubliny, které poskytují plynná jádra pro oxid uhličitý generovaný fermentací kvasinek. Tento krok je založen na fermentační reakci, konkrétně na přeměně glukózy nebo jiných cukrů na ethanol a oxid uhličitý (CO₂). Plynný oxid uhličitý difunduje do plynných jader, čímž se zvětšuje objem těsta. Optimálně vyvinuté těsto je pružné a umožňuje těsto nafouknout. Aby bylo zabráněno zhroucení struktury těsta, je potřeba, aby mělo těsto dostatečnou pevnost. Dostatečná pevnost těsta je také důležitým faktorem pro stabilitu vzduchových bublin. Pokud je těsto dále hněteno, i když už je optimálně vyvinuto, fáze vývoje těsta ustupuje fázi rozpadu, kdy těsto postupně ztrácí svou pevnost a stává se lepivým [10, 11,12].

Při 60 °C dochází k mazovatění škrobu. Velká část vody, která hydratovala lepek, se uvolňuje a absorbuje se granulemi bobtnajícího škrobu. Rozsah mazovatění škrobu je ovlivněn dostupností volné vody a působící teplotou. Jak teplota stoupá, prochází těsto složitým vývojem fyzikálních, chemických a biochemických změn, ke kterým dochází současně, což má za následek transformaci pěnové struktury těsta do jeho houbové struktury. Škrob mnohem lépe mazovatí u kůrky než ve středu chleba z důvodu delšího působení vyšších teplot na kůrku. Barva kůrky je produktem Maillardových karamelizačních reakcí. K hnědnutí kůrky dochází, když je teplota pečení vyšší než 110 °C. Maillardovy reakce také přispívají k lepší chuti pečiva a zvyšují aroma po pečení. Po upečení dochází k chlazení. Lepek je tedy protein vytvářející strukturu, který hraje při pečení pečiva klíčovou roli a je zodpovědný za vzhled, strukturu a kvalitu výrobku [10, 11, 12].

1.2 Bezlepkové obiloviny

1.2.1 Rýže

Rýže (*Oryza sativa* L.) se řadí mezi přední potravinářskou plodinu v rozvojových zemích. Z hlediska produkce představuje základní potravinu asi pro dvě třetiny světové populace [5].

Rýžové zrno (surová rýže nebo neloupaná) je obaleno pluchou a pluškou, které jsou tvořeny především celulózou. Loupaná rýže je získávána broušením obalových vrstev a následným leštěním čistého endospermu [5].

Způsob, jakým se rýže obvykle konzumuje, se liší od hlavních příbuzných potravinových plodin. Pšenice a ječmen se většinou konzumují po rozemletí obilí na mouku. Rýže je primárně konzumována jako leštěné zrno; malé množství se však využívá jako krmivo pro zvířata. Rýžová mouka má jedinečné vlastnosti, jako je nevýrazná chuť, bílá barva, snadnost trávení a hypoalergenní vlastnosti. Vzhledem k nízké hladině sodíku, absenci lepku a přítomnosti snadno stravitelných sacharidů je rýže jednou z nejvhodnějších obilovin pro přípravu potravin pro celiaky [5].

Rýžová mouka je nejčastěji používanou moukou pro výrobu bezlepkových pečárenských výrobků, protože je široce dostupná, levná a má dobré vlastnosti. Přes tyto výhody má ale rýžová mouka jistá technologická omezení při pečení pečiva, a to kvůli špatným vlastnostem jejich proteinů z důvodu neschopnosti tvorby lepkové sítě. Jelikož má rýžová mouka nízkou schopnost zadržovat ve své struktuře kypřící plyny, mohou mít výrobky z rýžové mouky nižší kvalitu, a to zejména malý objem pečiva, nevhodnou strukturu a barvu střídy. Proto jsou do rýžové mouky přidávány různé přísady, jako jsou hydrokoloidy, proteiny, enzymy a emulgátory, aby se zvýšil objem, zlepšila se struktura, vzhled, přijatelnost u konzumentů a trvanlivost rýžových výrobků. Důležitými parametry pro dobré pečárenské výrobky jsou velikosti částic rýže a mouky, jež mají vliv na konečnou kvalitu výrobků, obsah vody a podmínky zpracování [11, 13].

1.2.2 Kukuřice

Kukuřice (*Zea mays* L.) je jednoletá tráva z čeledi lipnicovitých. Jako nejběžněji pěstovanou nalezneme kukuřici setou nebo oblíbenou kukuřici pukancovou. Kukuřice se běžně zpracovává na mouku, kukuřičný škrob a kukuřičnou krupici. Přestože obsahuje kolem 9 % bílkovin, nevyskytuje se v ní lepek, a proto je vhodná konzumenty trpící celiakií. Kukuřice bývá používána na výrobu pečiva, tortill, kukuřičných kaší nebo pro výrobu extrudovaných

výrobků. Kukuřičný chléb je charakterizován žlutou barvou, nízkým měrným objemem a hustou a pevnou střídou. Kukuřičné výrobky, ve kterých byla použita mouka s většími velikostmi částic, poskytují produkty s větším objemem a menší pevností než pečivo vyrobené z jemně mleté kukuřičné mouky. Proto je pro pečení pečiva z kukuřičné mouky vhodnější použít mouku s hrubšími částicemi [11, 14, 15].

Žluté zbarvení zrna kukuřice je způsobeno přítomností karotenoidových pigmentů, zeaxantinem a luteinem. Této vlastnosti je využíváno především v drůbežářském průmyslu, protože přítomné pigmenty zbarvují vaječný žloutek do žluta. Kukuřičná mouka je díky své žluté barvě také hojně využívána během pečení pečiva, protože u výrobků navozuje pocit přítomnosti vajec [14, 15].

2 BEZLEPKOVÉ PEČIVO

Poptávka po bezlepkovém pečivu je každý rok větší. Důvodem může být jak stále přibývající populace s onemocněním celiakií nebo s potravinovou intolerancí na lepek, tak lidé vyhýbající se lepku kvůli vlastnímu přesvědčení a zdravé stravě. Tento rostoucí zájem o bezlepkové pečivo vedl k vývoji řady nových produktů, které by uspokojily kvalitativní a chuťové požadavky spotřebitelů. Vývoj těchto výrobků přispěl k posílení prodeje bezlepkových potravin, ale zároveň také zvedl ceny těchto produktů [16, 17].

Celiakie je autoimunitní reakce po požití určitých aminokyselinových sekvencí, které se nacházející v prolaminové frakci pšenice, žita a ječmene. U jedinců, kteří jsou geneticky náchylní na tyto druhy prolaminů bylo prokázáno poškození sliznice tenkého střeva. Po požití potravy obsahující lepek zahájí tělo vnímavého jedince imunitní reakci, která vede k napadení tenkého střeva a poškození střevních klků. Se zvyšujícím se poškozením klků dochází k postupnému snížení vstřebávání živin přes stěnu tenkého střeva. Důležitým faktorem je včasná diagnostika tohoto onemocnění, aby nedošlo k dalším závažným zdravotním problémům. Pozdní diagnostika má potenciál iniciovat vývoj dalších autoimunitních onemocnění, jako jsou cukrovka I. typu a roztroušená skleróza. Dalšími zdravotními problémy způsobenými pozdním rozpoznáním této nemoci může být rakovina střev, anémie, osteoporóza, neplodnost a zvýšená možnost potratů. Jedinou možností léčby tohoto onemocnění je přísné celoživotní dodržování bezlepkové stravy a vyhýbání se potravinám s obsahem lepku. Až 30 % jedinců s tímto onemocněním ovšem pociťuje přetrvávající nebo opakující se příznaky (bolesti břicha, nadýmání, zvracení, nechutenství) i přes přísné dodržování bezlepkové diety [13, 18, 19].

Nahrazení lepkové sítě v bezlepkovém pečivu a vyvíjení vysoce kvalitních bezlepkových potravin je v dnešní době jedním z nejnáročnějších problémů potravinářské vědy. Nahrazení lepku je ovšem nezbytné, aby se zabránilo výskytu těchto potíží. Jedná se o velice náročnou technologickou výzvu. Na jedné straně je potřeba, aby byla minimalizována prevalence okolností způsobující toto onemocnění, na druhé straně to vede k produkci výrobků se sníženou kvalitou. Snahou je tedy přijmout metody, díky kterým by bylo možné vyrábět bezlepkové výrobky s technologickými vlastnostmi srovnatelnými s výrobky z obilovin obsahujícími lepek a také, aby nedošlo ke snižování kvality těchto výrobků [13, 17].

Naqash a spol. (2017) udává, že je možné snížit technologické nedostatky v bezlepkovém pečivu a souvisejících výrobcích začleněním funkčních přísad do výrobků a přijetím

technologií, jako je použití vysokého tlaku, kdy se zlepší mazovatění škrobu a zesíťování bílkovin, dále zlepšením provzdušňování těsta pomocí pekařského droždí a použitím kvásku pro zkvalitnění nutričních vlastností bezlepkového pečiva [17].

Americký úřad pro kontrolu potravin a léčiv definuje bezlepkové potraviny jako potraviny, které jsou buď zcela bezlepkové, nebo neobsahují žádnou z těchto složek:

- 1) zrno obsahující lepek (např. pšenice)
- 2) jsou získané z obilí obsahujícího lepek, které nebylo zpracováno za účelem odstranění lepku (např. pšeničná mouka)
- 3) jsou odvozené od zrna obsahujícího lepek, které bylo zpracováno k odstranění lepku (např. pšeničného škrobu), pokud jakékoli použití těchto složek obsahuje přítomnost 20 ppm nebo více lepku v potravinách [20].

Bezlepkové potraviny by neměly obsahovat lepek nebo by jejich přítomnost měla být nižší než 20 ppm [20].

Podle Nařízení Komise (ES) č. 41/2009 o složení a označování potravin vhodných pro osoby s nesnášenlivostí lepku se může používat označení pro uvedení obsahu lepku jako „velmi malý obsah lepku“ pro potraviny, v kterých nepřesahuje množství lepku 100 mg/kg potraviny. Potraviny označené „bez lepku“ mohou obsahovat nejvýše 20 mg lepku v 1 kg potraviny [6].

2.1 Bezlepkové plodiny

V poslední době poptávka po bezlepkových plodinách prudce vzrostla. Mezi bezlepkové plodiny se řadí jak některé obiloviny, tak alternativní plodiny a pseudocereálie. Důvodem jejich popularity může být jejich vynikající nutriční a biologická hodnota, absence lepku a obsah některých látek podporujících zdraví. Tyto pseudocereálie mohou sloužit jako dobrý zdroj energie ve stravě a mohou přispívat ke zlepšení výživy po celém světě. Výhodou těchto plodin jsou podle Ciesarové a spol. (2017) nenáročná kultivační podmínky. Podle Vyhlášky 18/2020 Sb. o požadavcích na mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta se pseudoobilovinami rozumí rostliny jiných čeledí než lipnicovité s podobným způsobem zpracování a využití jako u obilovin [3, 21].

Mezi obiloviny neobsahující lepek patří: rýže (*Oryza sativa*), kukuřice (*Zea mays*), čirok (*Sorghum bicolor*), proso (*Panicum miliaceum*), bér vlašský (*Setaria italica*) a další. Mezi nejznámější zástupce pseudocereálií se řadí amarant, quinoa a pohanka [21].

2.1.1 Pseudocereálie

Pohanka setá (*Fagopyrum esculentum*)

Plodem pohanky je nažka, která má trojúhelníková tvar. Celkový obsah sacharidů se pohybuje kolem 67 – 70 %, z nichž 54,5 % tvoří škrob. Pohankový škrob má charakteristické složení frakcí, jelikož poměr mezi amylozou a amylopektinem je 1:1, čímž se výrazně liší například pšeničnému škrobu. Pohanka má vyvážené složení aminokyselin, skutečná stravitelnost je ale nižší než u pšenice. Pohankové proteiny snižují hladinu cholesterolu a potlačují tvorbu žlučových kamenů [5].

Quinoa (*Chenopodium quinoa*)

Ve srovnání s pšenicí je quinoa bohatší na makroživiny, zejména na bílkoviny, jejichž kvalita je srovnatelná s kvalitou kaseinu. Obsahuje také vysoký obsah vlákniny, minerálních látek a má vhodné složení sacharidů a polysacharidů, čímž je zajištěn nízký glykemický index [3].

Amarant (*Amaranthus*)

Amarant má vyšší obsah bílkovin (17–18 %) než běžné obiloviny. Má téměř optimální podíl esenciálních aminokyselin a je bohatý na lysin. Amarant je dobrým zdrojem tokotrienolů a flavonoidů a je také bohatý na minerální látky jako hořčík, draslík, fosfor a zinek [3].

2.1.2 Další rostliny a jejich části využívané k výrobě bezlepkového pečiva

Slzovka obecná (*Coix lachryma-jobi* L.)

Jedná se o jednoletou rostlinu z rodiny *Poaceae*. Je blízkou příbuznou ke kukuřici. Původem pochází z jihovýchodní Asie, pěstuje se ve východní a jihovýchodní Asii (např. Čína, Barma, Indie, Japonsko, Korea, Thajsko a Malajsie) po tisíce let [22, 23].

Slzovka může růst v různých prostředích, jako jsou lesní okraje a bažiny, a je široce rozšířena v tropických a mírných pásmech. Ve srovnání s kukuřicí je slzovka tolerantní k drsným podmínkám, jako jsou lateritické (zvětralé tmavohnědé) půdy a nízké pH, je méně náchylná k napadení viry a k podmočení [22, 23].

V Číně a Japonsku je slzovka považována za doplněk zdravé stravy. Semena obsahují velké množství živin, například bílkoviny (až 14 %), esenciální aminokyseliny (leucin, arginin, lysin a tyrosin) a sacharidy (65 %). V slzovce bylo identifikováno několik hlavních tříd

bioaktivních látek, které mají prospěšný vliv na lidské zdraví, zejména coixenolid, triglyceridy, mastné kyseliny a triterpeny [22, 23].

Slzovka zastupovala místo základní potraviny v některých asijských zemích (např. Bhútán) před vzestupem kukuřice. Semena slzovky se používají do polévek, kaší a nápojů a také se vaří a fermentují na čaj, pivo a jiné alkoholické nápoje. Semena jsou bohatá na škrob a bílkoviny a loupaná semena lze zpracovat na mouku pro přípravu potravinářských výrobků. Tato mouka neobsahuje lepek a může být zpracována na bezlepkové produkty. Chuť mouky je většinou trochu nasládlá a mdlá. I když je slzovka sama o sobě bezlepková, a tudíž vhodná pro celiaky, je lepší ji kombinovat spolu s pšeničnou moukou v poměru 30:70. Tato směs má lepší pekařské vlastnosti než těsto vyrobené pouze ze samotné slzovky. Těsto vyrobené pouze ze slzovky je velmi řídké, písčité a po upečení nevytváří požadovanou strukturu [24].

Konopí (*Cannabis sativa* subsp. *sativa*)

Konopí se řadí mezi jedny z prvních pěstovaných plodin, pěstování se datuje mezi 4 000 – 6 000 lety. Konopné semeno bylo nejdříve využíváno jako zdroj vlákniny, ale také jako osivo. Z konopného vlákna se vyráběla pevná lana, která byla využívána zejména na lodích. V Americe došlo k zákazu pěstování konopí již v roce 1937. Tento zákaz byl dočasně zrušen během 2. světové války, ale po skončení války byl zákaz opět obnoven. Zákaz produkce konopí je způsoben přítomností psychoaktivní sloučeniny Δ -9-tetrahydrokanabinolu (THC) v rostlině [25, 26].

Většina pěstovaných konopných plodin obsahuje méně než 1 % THC. Evropská unie a Kanada omezují obsah THC v průmyslovém konopí na 0,3 %. Marihuana je termín běžně používaný pro konopí vyráběné pro užívání drog a obsahuje přibližně 3 – 30 % THC. Koncentrace THC v konopí závisí na environmentálních i genetických faktorech. I když se semena a rostliny průmyslového konopí obtížně odlišují od marihuany, pole konopí pěstovaných na vlákninu lze snadno identifikovat. Průmyslová konopná semena se vysazují velmi blízko, aby se podpořila produkce vlákniny a potlačil se vývoj listů, zatímco konopí pěstované pro semena se vysazují dále od sebe [25, 26].

Botanicky je konopné semeno malým oříškem. Zralé semeno má relativně tvrdou jedlou slupku podlouhlého tvaru. Konopné semeno obsahuje všechny esenciální aminokyseliny a je bohaté na arginin a kyselinu glutamovou. Obsahuje podstatné množství bílkovin (200 – 250 g/kg), sacharidů (200 – 300 g/kg), olejů (250 – 350 g/kg), nerozpustné vlákniny

(100 – 150 g/kg) a významná je také hladina minerálních látek (56 – 80 g/kg). Semeno lze také mlít na jemnou mouku s podobným složením, jako má obilí. Konopné semeno neobsahuje lepek a ani žádné jiné známé alergeny. Konopnou mouku lze proto využít v potravinářských výrobcích určených pro konzumenty s celiakií. Konopná mouka může částečně nahradit pšeničnou mouku. Semena také obsahují významné množství vitaminů včetně thiaminu, riboflavinu, pyridoxinu a vitaminů E a C [25, 26].

Korus a spol. (2017) se ve své studii zaměřili na přídavek konopného proteinu a mouky do bezlepkového pečiva složeného převážně z kukuřičného a bramborového škrobu. Jejich výzkum byl zaměřen na vliv změny struktury pečiva po přidavku těchto látek. Přídavek konopného proteinu významně zvýšil nutriční hodnotu pečiva, přídavek konopné mouky zvedl hodnoty tuku, minerálních látek a nerozpustné vlákniny. Korus a spol. (2017) po použití těchto komponent zaznamenali významné zvětšení objemu pečiva a zlepšení pórovitosti střídy. Přídavek měl také vliv na rekrystalizaci amylopektinu v pečivu během skladování, a tudíž bylo omezeno stárnutí pečiva [27].

Kalužnice křivoklasá (*Eleusine coracana*)

Kalužnice křivoklasá (kurakkan) je jednoletá rostlina, která se pěstuje především v Africe a Indii, odkud pochází většina světové produkce. Kalužnice je v těchto zemích velmi oblíbená a dá se srovnávat s dalšími obilovinami, jako je třeba kukuřice. Je populární díky své chuti a svým vynikajícím skladovacím vlastnostem. Pokud jde o pěstování, kalužnice vyžaduje o něco více vody než čirok [28].

Zrna této rostliny jsou malá a kulatá, průměrně mají 1,2 – 1,8 mm. Barva zrn se pohybuje od bílé až po hnědou, přičemž není neobvyklá ani červená barva. Neobvyklé u této plodiny je to, že oplodí semene není zcela spojeno se slupkou a lze jej snadno odstranit, především po namočení ve vodě. Endosperm obsahuje proteinová tělíska o velikosti asi 2 μm a škrobové granule o průměru pohybujícím se od 8 do 21 μm . Škrobové granule v kurakkanu jsou složené, přičemž jednotlivé granule mají sférický, polygonální i kosočtverečný tvar [28, 29].

Z nutričního hlediska je u kalužnice vyzdvihován zejména nízký obsah tuku (asi 1,3 %). Z tohoto důvodu se také dobře skladuje. Obsah bílkovin je nízký, ale uvádí se, že je bohatý na esenciální aminokyselinu metionin. Zrna jsou bohatá na vápník, železo, hořčík, molybden, selen a mangan. Díky nízkému glykemickému indexu může být kurakkan považován za vhodnou potravinu pro lidi s diabetem II. typu. Červenohnědá barva je

způsobena přítomností flavonoidů flavonového typu (zejména orientinu a vitexinu) a taninů. Tyto sloučeniny se mohou podílet i na výrazné chuti této plodiny. Ačkoliv lze taniny považovat za antinutrienty, jsou velmi dobrým zdrojem antioxidantů [28, 29].

Pro výrobu pečiva je lepší použít směs mouky složené z 30 % z kurakkanové mouky a ze 70 % z pšeničné mouky. Nepřítomnost lepkových bílkovin v kurakkanu je limitujícím faktorem pro výrobu bezlepkových produktů a výrobky by nedosáhly požadované struktury. Pro získání technologicky kvalitnějších výrobků je lepší použití upraveného kurakkanu (např. hydrotermicky). Onyanqo a spol. (2020) udávají, že pečivo z hydrotermicky upraveného kurakkanu mělo vyšší měrný objem a měkčí strukturu než pečivo vyrobené z nativního kurakkanu. Ostatní vlastnosti střídy ale byly lepší u pečiva z nativního kurakkanu. Různé fyzikální vlastnosti pečiva byly zapříčiněny rozdílnými aktivitami α -amylázy v nativním a upraveném kurakkanu [30].

Tykev (dýně)

Dýně patří do čeledi *Cucurbitaceae* a rodu *Cucurbita*. Dýně a tykve jsou k dispozici v různých tvarech a velikostech s atraktivními oranžovými barvami po celém světě. Jsou dobrým zdrojem karotenoidů s přítomností relativně vysokého obsahu provitaminu A (hlavně β -karoten, α -karoten a někdy β -kryptoxanthin). Dýně obsahují několik biologicky aktivních složek, včetně polysacharidů, proteinů a peptidů, kyseliny para-aminobenzoové, fenolických sloučenin, terpenoidů a sterolů [31, 32].

Dýně bývá využívána k přímé spotřebě a v tradiční medicíně. Dýně bývají také pěstovány pro svá semena, ze kterých je získáván vysoce ceněný salátový olej. Semena také mohou být rozemleta na prášek a používána jako přísada k jiným obilninám při pečení pečiva. Má dobré hypoglykemické, antimikrobní a protizánětlivé vlastnosti [31, 32].

Rakcejeva a spol. (2011) udává, že přidavek dýňové mouky do pšeničné směsi zapříčinil neočekávané zvětšení objemu a zlepšení senzoričkových vlastností. Nejlepších výsledků bylo dosaženo po přidavku malého množství dýňové mouky do pšeničné směsi. Přidání většího množství dýňové mouky do směsi mělo sice vliv na počáteční zvětšení objemu, ale s postupem času došlo k následnému poklesu objemu. Dýňová mouka se tedy dá považovat za velice vhodnou funkční přísadu při výrobě pečiva. Začleněním dýňové mouky došlo i ke změnám fyzikálních vlastností pečiva, a to ke zvýšení kyselosti (pravděpodobně kvůli přítomnosti pektinu v dýni) a vlhkosti. Optimální přidavek dýňové mouky je 10 % z celkového množství mouky [33].

Kaštanovník setý (*Castanea sativa*)

Kaštanovník setý známý též jako jedlý kaštan má ve srovnání s ostatními ořechy nízký obsah tuku a bílkovin. Navzdory nízkému obsahu tuku je bohatý na esenciální mastné kyseliny a má také nízké množství bílkovin s vysoce kvalitními esenciálními aminokyselinami. Zato obsahuje velké množství sacharidů, škrobu a vlákniny. Obsah sacharidů se v kaštanech zvyšuje během cyklu zrání. Na konci zrání může být obsah sacharidů až 22 %. Kaštany obsahují některé oligosacharidy, jako je rafinóza nebo stachyóza, které nejsou stravitelné v zažívacím traktu člověka. Kromě toho má několik důležitých vitaminů, jako jsou vitaminy E, C a B, stejně jako minerálních látek, jako je draslík, fosfor, hořčík, vápník, měď, železo, mangan a síra [34, 35].

Před mletím kaštanů po jejich sklizni je dobré počkat několik týdnů, aby se mohl škrob přeměnit na cukr, což sníží jejich svíravou chuť. K získání kaštanové mouky je potřeba ořechy usušit a poté odstranit oplodí a endokarp. Kaštany se drtí na mouku, která se používá jako přísada do pekárenských výrobků. Pro získání kaštanové mouky je výhodnější použít malé ořechy nebo ořechy s dvojitými embryi. Obsah vlhkosti by měl být udržován kolem 50 %, aby byly dobře údržné. Díky nízké aktivitě vody je možné sušené kaštany a kaštanovou mouku uchovávat po dobu několika měsíců, avšak dobu skladovatelnosti může snížit obsah tuku v důsledku oxidace [34, 35].

Kaštanová mouka se používá jako surovina v různých potravinářských výrobcích pro její zdravotní výhody, nutriční a chuťové vlastnosti. Kaštanová mouka obsahuje vysoce kvalitní bílkoviny s obsahem esenciálních aminokyselin (4 – 7 %), relativně vysoké množství cukru (20 – 32 %), škrob (50 – 60 %) a vlákninu (4 – 10 %). Kromě toho je také bohatá na minerální látky, zejména draslík, fosfor a hořčík. Protože většina bezlepkových produktů neobsahuje dostatečné množství zdravotně prospěšných složek, může být začlenění kaštanové mouky do těchto výrobků vhodné pro navýšení nutričních hodnot. Kaštanová mouka je používána jako surovina pro výrobu různých potravinářských výrobků, jako je chléb, sušenky, těstoviny. Smícháním kaštanové mouky s moukou rýžovou může být dosaženo lepších a kvalitnějších výrobků než produktů vyrobených jen z kaštanové mouky. Jako nejlepší se jeví 40% přídavek kaštanové mouky do těchto výrobků. Důvodem je pozitivní sensorické hodnocení a navýšené množství minerálních látek [36].

3 SCHOPNOST TĚSTA PRODUKOVAT KYPŘICÍ PLYNY

Je důležité rozlišovat mezi produkcí plynu a schopností plynu zůstat (zadržovat se) ve fermentovaných těstech. Produkce plynu označuje produkci oxidu uhličitého jako přirozený důsledek kvasné fermentace za pomoci kvasinek. Za předpokladu, že kvasinkové buňky v těstě zůstanou životaschopné a budou mít k dispozici dostatek substrátu, bude i nadále probíhat produkce plynu. Expanze těsta bude pokračovat pouze do té doby, dokud bude tento plyný oxid uhličitý zadržován v těstě. Ne veškerý plyn, který byl generován během zpracování, kynutí a pečení se udrží v těstě. Podíl kypřicího plynu, který bude v těstě zachován, závisí na vývoji vhodné lepkové matrice, ve které může být tento expandující plyn zadržován. Zadržování plynu v těstech je proto úzce spojeno se stupněm vývoje těsta a také je ovlivněno množstvím přísad a parametrů zpracování [37].

Provzdušňování během pečení je důležitým faktorem pro určení konečné struktury pečiva po upečení. Provzdušňování začíná mícháním, kdy je do systému těsta zabudován vzduch ve formě vzduchových bublin. Během fermentace difunduje plyn produkovaný aktivitou kvasinek do dříve vytvořených vzduchových bublin a způsobuje jejich rozpínání. Stabilita a růst vzduchových bublin bude určovat konečný objem pečiva a strukturu jeho středy. Vývoj těsta během kynutí je ovlivněn jeho reologií, protože reologické vlastnosti těsta (např. rozpínání) ovlivňují schopnost vzduchových bublin expandovat a zadržovat plyn [38].

Během vývoje těsta tvoří bílkoviny lepkovou síť s jedinečnými viskoelastickými vlastnostmi. Lepek přispívá ke vzhledu a struktuře pečárenských výrobků. Díky své pevnosti a schopnosti rozpínání se v těstě zadržuje kypřicí plyn a vytváří se tak typická pěnová struktura. Vyloučení lepku z výroby pečiva má zhoršující se účinek na kvalitu bezlepkového těsta a následně pečiva. Viskozita bezlepkových těst je nízká, střída je tvrdá, chuť a aroma jsou nedostatečné, pečivo má nízký specifický objem bochníku, nedostatečnou pružnost, soudržnost a odolnost. Bezlepková těsta mohou zadržovat kypřicí plyn pouze tehdy, když je lepková síť nahrazena jinou gelovou strukturou, ke které bývají využívány například hydrokoloidy. Použití škrobů, gum a hydrokoloidů představuje nejrozšířenější přístup používaný k napodobování lepku při výrobě bezlepkových pečárenských výrobků, a to díky jejich struktuře a vlastnostem vázajícím vodu. Kvalitu bezlepkového chleba ovlivňuje hlavně obsah a vlastnosti polysacharidů, které zvyšují stabilitu pěny těsta zvýšením viskozity, flokulace a koalescence, zabraňují nepříznivým účinkům na vodnou fázi těsta a tím mají vliv na stabilitu kapalného filmu, který obklopuje vzduchové póry. Těsto, které je vhodné pro výrobu biologicky kynutého pečiva musí mít takové vlastnosti, které umožní

roztáhnout se v reakci na tvorbě kypřicího plynu. Aby se zabránilo zhroucení těsta, musí mít kapalné filmy, které obklopují vzduchové bubliny, dostatečnou pevnost a zároveň musí být schopné se dostatečně roztáhnout, aniž by popraskaly [39, 40].

Vytvoření pěnové struktury v těstě je základním požadavkem při výrobě pečiva. Oxid uhličitý generovaný aktivitou kvasinek nevytváří vzduchové póry. Oxid uhličitý může pouze zvětšit vzduchové póry, které již vznikly zabudováním vzduchu během míchání těsta. Během fermentace těsta musí být vyrobeno dostatečné množství kypřicího plynu, protože by jinak pečivo nemělo dostatečný objem. Produkce plynu závisí na množství rozpustných cukrů v mouce a na diastatické síle mouky. Nedostatečná tvorba kypřicího plynu může být způsobena nedostatkem poškozeného škrobu nebo α -amylázy. Tvorba plynu může být podpořena přidáním sladové mouky nebo amylázy vyprodukované plísněmi, např. z *Aspergillus oryzae* nebo *Aspergillus awamori*. Plísňová amyláza bývá upřednostňována před sladovou moukou, protože má nižší teplotu tepelné inaktivace. Hodnota tepelné inaktivace u plísňové amylázy je 75 °C, zatímco tepelná inaktivace obilné α -amylázy nastává až při 87 °C. Použitím plísňové amylázy se zabrání tvorbě gumovitých dextrinů během pečení. Tyto dextriny by po upečení mohly způsobovat problémy v krájení pečiva, protože by střída měla lepivou strukturu [41].

4 SCHOPNOST TĚSTA ZADRŽOVAT KYPŘICÍ PLYNY

Nejen kvůli celiakii, ale spíše kvůli současným dietetickým trendům se neustále zvyšuje poptávka po bezlepkových pekárenských výrobcích. Jejich výroba je náročná kvůli vysokému obsahu škrobu a nedostatku lepku, který je mimo jiné zodpovědný za zadržování kypřicích plynů v těstě a tedy i za specifický objem pečiva, které lepek obsahuje. Schopnost zadržování kypřicích plynů v těstě (nebo také pekařská síla mouky) je dána množstvím, vlastnostmi a kvalitou lepku. V případě bezlepkového pečiva závisí konečný objem zabudovaného plynu do systému na hnětení těsta, na pekařském droždí a na charakteristice zadržování plynu u systémů na bázi škrobu. Tyto faktory jsou ovlivněny viskoelastickými vlastnostmi těsta během kynutí a charakteristikami při pečení a jsou vysoce závislé na využitelné vodě v systému. V důsledku toho lze hydratací složek v receptuře, jako je škrob, považovat za jednu z hnacích sil tvorby struktury v bezlepkovém pečivu. U pšeničného těsta je pozdější začátek mazovatění škrobu spojen s vyšším objemem výrobků, a to kvůli opožděnému přechodu z fáze tekutého těsta na jeho pevnou strukturu [42].

Hlavním úkolem pro výrobu potravinářských pěn bez přítomnosti lepku nebo vajec, kam se řadí i těsta, je provzdušňování a stabilizace plynů v systému. Mechanická energie dodávaná během hnětení vyvolává tvorbu viskoelastické matrice těsta. Mícháním se v procesu mechanického provzdušňování do těsta zabudovávají vzduchové bubliny. Následné hnětení může vést ke koalescenci, což snižuje počet bublin v těstě, ale zároveň se zvětšuje jejich velikost. Opačným důsledkem je rozbití vzduchových bublin stříhem a vznik většího počtu menších bublin. Vzduchové póry v těstě poskytují vzdušný kyslík pro metabolismus kvasinek a slouží jako jádra, do kterých difunduje během fermentace oxid uhličitý [43, 44].

Na rozdíl od nepatrných odchylek v obsahu vody nebo složení mouky u pšeničného pečiva obsahují bezlepkové recepty širokou škálu různých druhů mouk, škrobů a funkčních přísad. Až na několik výjimek neposkytuje těsto na bázi škrobu dostatečnou stabilitu nebo pružnost, aby mohlo být stanovováno v systémech analýzy pšeničného těsta. Viskoelastické vlastnosti pšeničného těsta jsou definovány schopností lepkových proteinů sít'ovat specifickým způsobem a vytvářet tak jedinečnou lepkovou síť. Bezlepkové těsto neobsahuje tyto lepkové proteiny a proto mikrostruktura i makrostruktura těsta závisí na dalších složkách a jejich interakcích. V současné době je k dispozici spousta možností, které napodobují nebo kompenzují lepkovou síť. Mezi ně se řadí například škrob, jako hlavní složka obilovin a pseudoobilovin. Škrob poskytuje základ většiny bezlepkových receptů a je obvykle doplňován hydrokoloidy, jako je hydroxypropylmethylcelulóza [43].

Reologie systémů na bázi škrobu ovlivňuje úroveň provzdušňování během míchání a pečení. Všechny směsi těsta na bázi škrobu jsou ředěny smykem a výraznější ředění smykem významně snižuje zabudování plynu do těsta během míchání. To ukazuje, že pro zachycení plynu během stříhu je vyžadována nízká viskozita, zatímco okamžitá stabilizace vzduchových bublin je usnadněna vyšší viskozitou. Dalším faktorem pro dobré zabudování vzduchu do těsta je rychlost otáčení míchadla. Čím vyšší je rychlost otáčení, tím větší je množství vzduchu zabudovaného do těsta. Vyšší rychlost otáčení znamená více otáček ve stejnou dobu, a tedy více zabudovaného vzduchu. Množství vzduchu zabudovaného do těsta přímo koreluje s počtem otáček míchadla [43, 44].

Dobrá objem pečiva závisí na stabilitě těsta, na druhou stranu je distribuce velikosti pórů ve střídě ovlivněna konečnou viskozitou po zmazování škrobu. Obzvláště důležité je zadržování plynu během pečení, protože při něm dosáhnou destabilizační síly svého maxima a mohlo by dojít ke zhroucení struktury střídy. Dobrého objemu v bezlepkových výrobcích lze tedy dosáhnout nízkou viskozitou těsta během míchání a vysokou viskozitou těsta během fermentace a pečení [43].

5 PŘÍČINY NEDOSTATEČNÉHO NAKYPŘENÍ BEZLEPKOVÝCH TĚST

Vzhledem k tomu, že je lepek zodpovědný za viskoelastické vlastnosti pečiva, je jeho nahrazení jednou z největších výzev při vývoji bezlepkových výrobků. Po hydrataci jednotlivých složek těsta a hnětení se v případě pšeničné mouky tvoří lepková proteinová síť, která je zodpovědná za soudržnost, viskozitu a pružnost těsta. Díky lepkové síti je těsto schopné zadržovat plyn produkovaný během fermentace, což vede k charakteristické pěnové struktuře výrobku. Absence lepku v bezlepkových moukách často vede spíše k tekutějšímu těstu a může mít za následek produkt, který má rozpadající se strukturu, špatnou barvou a další kvalitativní vady po upečení [28, 45].

V posledních letech došlo k podstatně většímu výzkumu a vývoji v oblasti bezlepkových výrobků, který zahrnoval různorodé metody zlepšení kvality bezlepkových těst, jako je použití škrobů, mléčných výrobků, gum a hydrokoloidů, jiných nelepkových proteinů, prebiotika a jejich vzájemné kombinace. Bezlepkové pečivo se často vyrábí s rafinovaným škrobem, což má za následek výrobky s nízkým množstvím bílkovin, vlákniny a mikroživin ve srovnání s jejich protějšky, které byly vyrobeny s lepkovými bílkovinami. Z hydrokoloidů se jako nejlepší alternativa k zajištění zadržování plynu jeví hydroxypropylmethylcelulóza (HPMC) jako náhrada lepku. Kromě toho HPMC poskytuje nejvyšší specifický objem bochníku a v pečených výrobcích HPMC pomáhá zadržovat vlhkost, zlepšovat strukturu a prodlužovat trvanlivost. Všechny tyto přísady byly použity jako alternativy lepku, aby se dosáhlo zlepšení struktury, zlepšení pocitu v ústech (tzv. mouthfeel), přijatelnosti u spotřebitelů a trvanlivosti bezlepkových pekárenských výrobků. Přesto má většina bezlepkových produktů nižší kvalitu a velmi často mají nepříjemné aroma s drobivou a velmi suchou strukturou. Bezlepkové pečivo se obvykle vyznačuje nedostatečnými kvalitativními charakteristikami ve srovnání s pečivem pšeničným [28, 45, 46].

Jedním z důvodů nedostatečného nakypření bezlepkových těst může být také výběr vhodné granulace mouk. De la Hera a spol. (2013) uvádí, že vhodná velikost částic pro výrobu pečiva z kukuřičné mouky, které bude mít dostatečný objem a měkčí střídu, je $> 180 \mu\text{m}$. Tato granulace, která odpovídá hrubé kukuřičné mouce, má za následek dobré zadržení kypřícího plynu v těstě během kynutí. Vhodným adeptem pro výrobu bezlepkových produktů je také rýžová mouka. Lepší vlastnosti vykazuje rýžová mouka mletá za mokra, která má větší zdánlivou viskozitu a menší velikost částic, než rýžová mouka mletá za sucha a proto je

vhodnější pro výrobu bezlepkových výrobků. Pro výrobu pečiva s dobrým objemem je vhodné použít rýžové kultivary se středním obsahem amylozy [47, 48].

6 MOŽNOSTI VYUŽÍVANÉ KE ZLEPŠENÍ NAKYPŘENOSTI TĚST

Konzumenti bezlepkového pečiva požadují výrobky s přijatelnými parametry kvality. Vzhledem k tomu, že jsou lepkové proteiny odpovědné za pružnost a pevnost, zůstává stále důležitým technologickým úkolem získání elastické a pružné střídy. Další parametry kvality, včetně měrného objemu, tvrdosti střídy, soudržnosti a pórovitosti, jsou však cílem mnoha studií, které se zaměřují hlavně na použití hydrokoloidů a optimalizaci funkčnosti škrobových frakcí. Jelikož se spotřebitelé stále více vyhýbají různým přísadám, částečně tím přispívají ke zvýšení cen bezlepkových výrobků. Hlavními problémy u bezlepkových výrobků je jejich nízká trvanlivost, rychlost ztvrdnutí a drobivost. Proto jsou do těchto produktů přidávány zlepšující látky, aby byla podpořena jejich nakypřenost a trvanlivost [28, 49].

Enzymy

Enzymy mohou být využity pro zlepšení kvality bezlepkových produktů. Jsou bezpečnými náhražkami chemických sloučenin a mají schopnost katalyzovat reakce. Během pečení jsou enzymy denaturovány a v konečném produktu je nelze identifikovat. Enzymy mohou prodloužit trvanlivost, zlepšit fermentaci těsta, stabilitu, zintenzivnit barvu kůrky a vyvinout jemnější strukturu střídy. Limitovaná hydrolýza enzymů u bezlepkového pečiva zlepšuje funkčnost bílkovin v těstě, podporuje síť bílkovin a napomáhá lepšímu upečení [50].

Jelikož bezlepkové výrobky neobsahují lepkovou síť, nejsou proto schopny zadržovat kypřící plyn vytvořený během fermentace. Na základě několika studií bylo zjištěno, že přidávkem transglutamináz a oxidáz se i v bezlepkovém těstě vytvoří příčné vazby. Rozsah tvorby proteinové sítě byl určen zdrojem bílkovin (např. přidávkem vaječného prášku). Gujral a Rosell (2004) dokázali, že rýžový chléb s přidávkem transglutaminázy měl snížený obsah volných aminoskupin, což naznačuje indukované zesíťování volných proteinů. Toto zesíťování vedlo k vytvoření těsta se zlepšenými elastickými a viskózními vlastnostmi. Upečený chléb měl vyšší měrný objem a pevnou střídu. Funkčnost zesíťujících enzymů při pečení bezlepkového pečiva je srovnatelná s funkcí lepku při pečení pšeničných výrobků. Při výrobě pšeničných produktů může transglutamináza podporovat kovalentní zesíťování proteinů lepku a tvorbu větších nerozpustných polymerů lepku [29, 51].

Hemicelulázy (xylanázy) hydrolyzují složité polysacharidy a zlepšují vlastnosti těsta, kvalitu pečiva a snižují jeho ztvrdnutí během skladování. Přeměňují hemicelulózy, které jsou ve vodě nerozpustné, na rozpustné formy, které se váží s vodou v těstě a tím způsobují snížení

pevnosti, zvětšení objemu a vytváří jemnější střídu. Přidáním hemiceluláz do těsta je možné zvýšit jeho schopnost zadržovat kypřící plyny a také ovlivnit absorpční kapacitu vody. Absorpční kapacita vody může mít i negativní následek, a to zvýšení lepivosti těsta [50, 52].

Vláknina

Bezlepkové produkty připravené z komerčních škrobů a bezlepkových zrn jsou považovány za výrobky s nízkým množstvím vlákniny, vitaminů B a železa ve srovnání s tradičními produkty obsahujícími lepek. Přísná dieta u celiaků vyvolala dlouhodobé obavy ohledně výběru potravin a stravovacích návyků. Nedávné studie ukázaly nevyvážený příjem bílkovin, sacharidů, tuků spolu s nedostatečným příjmem určitých základních živin. Jednou z omezujících živin ve stravě celiaků je vláknina, která přináší tělu mnoho fyziologických výhod [53].

Hlavním cílem obohacení bezlepkových výrobků vlákninou je zvýšení nutriční hodnoty, zlepšení technologických vlastností a zvýšení sensorické hodnoty. Přídavek vlákniny pomáhá zlepšit texturu a trvanlivost bezlepkových produktů díky své schopnosti vytvářet gel, napodobovat tuky, schopnosti vázat vodu, zahušťovat a vytvářet texturu. Obohacení bezlepkových výrobků o vlákninu vede ke zlepšení fyzikálně-chemických, strukturálních a mikrostrukturálních vlastností těchto výrobků. Po přidavku vlákniny do pšeničného těsta se zlepšil objem a krájitelnost bochníku, byla zvýšena stabilita těsta a vytvořena jednotná a jemně zrnitá střída. Přídavek inulinu do bezlepkového těsta zapříčinil zvýšení obsahu požadované vlákniny ze 1,4 % na 7,5 % a byla zlepšena barva kůrky. Lepší barva kůrky byla způsobena enzymy v kvasinkách, které hydrolyzují část inulinu, což vedlo k tvorbě fruktózy, která způsobila zhnědnutí kůrky [39, 53].

Škrob

Ze všech bezlepkových produktů je bezlepkové pečivo nejcitlivější na rychlé ztvrdnutí. Ztvrdnutí pečiva je definováno jako zvýšení pevnosti střídy a ztráta čerstvosti, což zahrnuje souhru dvou hlavních událostí: migraci vody ze střídy do kůrky (ztráta vlhkosti) a retrogradaci molekul škrobu. V průběhu času se amylopektin přítomný v čerstvém pečivu postupně mění na rozsáhlou síť, kde mohou být některé řetězové interakce nepříznivé pro zachování jeho čerstvosti. Následně mohou během skladování vznikat krystality typu B retrogradního škrobu, což má za následek imobilizaci molekul vody, které již nemohou přispívat k plastifikaci škrobu. Bezlepkové pečivo s nízkým obsahem bílkovin rychleji ztrácí vlhkost a má vyšší retrogradaci amylopektinu, což má za následek větší pevnost střídy než

u pšeničných výrobků. Roman a spol. 2020, uvádí, že nejlepšího výsledku zamezení rychlosti tvrdnutí bezlepkového pečiva bylo dosaženo za přídavku zesíťovaných, dvojitě zesíťovaných a chemicky stabilizovaných modifikovaných škrobů [54].

Mnoho receptů bezlepkového pečiva obsahuje kombinace kukuřičného a bramborového škrobu, které jsou nejčastěji používanou škrobovou směsí. Následuje použití pouze kukuřičného škrobu nebo směsi kukuřice a jiného škrobu. Potenciál pšeničného škrobu v bezlepkových výrobcích však zůstává neprozkoumaný, nejspíše kvůli polemice o jeho skutečné bezpečnosti [49].

Hydrokoloidy

Hydrokoloidy nebo gummy jsou látky složené z hydrofilních molekul s vysokou molekulovou hmotností a s dlouhým řetězcem. Obvykle mají koloidní vlastnosti, které ve vodných systémech produkují gely, vysoce viskózní suspenze nebo roztoky s nízkým obsahem sušiny. Pocházejí ze semen, plodů, rostlinných výtažků, mořských řas a mikroorganismů, a proto jsou polysacharidové nebo proteinové povahy. Hydrokoloidy nebo mají v potravinářských systémech dvě základní funkce: stabilizují produkt a zlepšují jeho strukturu. Mezi další funkční vlastnosti patří zpomalení retrogradace škrobu, zvýšení zadržování vlhkosti a prodloužení celkové kvality produktu v čase. V bezlepkovém těstě mají hydrokoloidy zvláštní funkci, a to aby napodobily vlastnosti lepku. Struktura gelové sítě hydrokoloidů slouží ke stabilizaci systému bezlepkového těsta zvýšením intermolekulární viskozity těsta, což vede k vyššímu zadržování plynu během kynutí a k většímu specifickému objemu pečiva [29, 55].

Pro výrobu kvalitního bezlepkového pečiva byly zkoumány různé hydrokoloidy, jako hydroxypropylmethylcelulóza, methylcelulóza, karboxymethylcelulóza, psyllium, karubin, guarová guma a xanthanová guma. Tyto přísady mohou napodobit viskoelastické vlastnosti lepku a vést ke zlepšení struktury, pocitu v ústech, přijatelnosti a trvanlivosti těchto produktů [46, 55].

Chakraborty a spol. (2020) uvádí, že nejlepšími výsledky, jako je roztažnost, specifický objem a texturní vlastnosti, bylo dosaženo přidáním xanthanové gummy do těsta vyrobeného z prosa. Z hydrokoloidů se jako nejlepší alternativa k zajištění zadržování plynu jeví hydroxypropylmethylcelulóza (HPMC) jako funkční náhrada lepku. Kromě toho HPMC vytváří nejvyšší specifický objem bochníku a v pečených výrobcích pomáhá zadržovat vlhkost, zlepšovat strukturu a prodlužovat trvanlivost [46, 55].

Mléčné produkty

Mléčné produkty, zejména mléčné bílkoviny, jsou vysoce funkční přísady a díky své univerzálnosti je lze snadno začlenit do mnoha potravinářských výrobků. Mohou být použity v pekárenských výrobcích jak pro nutriční, tak pro funkční výhody, včetně zlepšení chuti a textury a zlepšení skladování. Mléčné výrobky mohou být použity v bezlepkových recepturách ke zvýšení absorpce vody, a tím ke zlepšení manipulačních vlastností těsta. Suplementace bezlepkových produktů práškem s vysokým obsahem laktózy však není vhodná pro celiaky, kteří mají významné poškození střevních klků, protože mohou být intolerantní na laktózu kvůli nepřítomnosti enzymu laktázy [39].

Gallagher a spol. (2003) použili do bezlepkových výrobků mléčné prášky s vysokým obsahem bílkovina a zároveň s nízkým obsahem laktózy (kaseinát sodný, izolát mléčného proteinu). Výsledkem byly výrobky s celkově lepším tvarem a objemem a pevnější strukturou střídy. Toto pečivo mělo tmavou kůrku a bílou střídu a v senzorické analýze získalo dobré hodnocení přijatelnosti. Přídavkem optimálního množství vody do bezlepkových těst výrobky vykazovaly větší objem a mnohem měkčí strukturu kůrky a střídy. Doplnění bezlepkové receptury o mléčné prášky s vysokým obsahem bílkovin také zdvojnásobilo obsah bílkovin v pečivu [56].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo porovnání schopnosti bezlepkových těst produkovat a zadržovat kypřicí plyny a nalezení nejvhodnějšího druhu mouky pro pečení bezlepkového pečiva.

Díličními cíli této práce bylo:

- Stanovit základní parametry bezlepkových mouk
- Měření charakteristického chování mouk na přístrojích rheofermentometr a Mixolab
- Vyhodnocení získaných dat a výsledků
- Shrnutí a formulace závěru

8 METODIKA PRÁCE

8.1 Popis experimentu

Standardizovaným postupem byla připravena těsta z přirozeně bezlepkových mouk. Hodnocena byla jejich schopnost produkovat a zadržovat kypřicí plyny produkované kvasinkami. Chování těst bylo srovnáváno s těstem připraveným z komerčně vyrobené pšeničné hladké mouky.

Charakteristika vzorků

K výrobě těst byly použity známé i méně známé druhy bezlepkových mouk a mouka pšeničná.

Tab. 1: Použité druhy mouk

Použitý druh mouky	Výrobce
Konopná mouka (mleté výlisky semen konopí)	ADVENI MEDICAL, s.r.o.
Kurakkanová mouka (mlýnský výrobek z kalužnice křivoklasé)	ADVENI MEDICAL, s.r.o.
Slzovková mouka (mlýnský výrobek ze slzovky obecné)	ADVENI MEDICAL, s.r.o.
Rýžová mouka hladká (mlýnský výrobek z rýže)	ADVENI MEDICAL, s.r.o.
Dýňová mouka (mlýnský výrobek z výlisků tykve)	ADVENI MEDICAL, s.r.o.
Kaštanová mouka (mlýnský výrobek z kaštanu jedlého)	ADVENI MEDICAL, s.r.o.
Pšeničná mouka hladká světlá	MALITAS s.r.o.

8.2 Ostatní suroviny pro výrobu bezlepkových těst

Pro přípravu bylo k moukám zapotřebí přidat ještě další suroviny, aby vzniklo soudržné těsto. K moukám bylo přidáno sušené pekařské droždí, chlorid sodný a voda. Všechny tyto suroviny byly zakoupeny v běžné obchodní síti.

8.3 Metody stanovení

U všech výše uvedených mouk byly stanoveny parametry: obsah vlhkosti, číslo poklesu, vývoj těst, měření množství uvolněných a zadržovaných kypřících plynů a reologické vlastnosti těst.

8.3.1 Stanovení vlhkosti

Na stanovení vlhkosti byl použit analyzátor OHAUS Europe GmbH MB120. Na hliníkovou miskou přístroje, která byla předem vytárována, byly naváženy $3,0 \pm 0,5$ g zkoumaného vzorku mouky. Vzorek byl přiklopen víkem přístroje, čímž bylo zahájeno vlastní sušení. Sušení probíhalo při 130 ± 3 °C. Po skončení sušení byl z displeje přístroje odečten výsledek. Výsledek celkového obsahu vlhkosti vzorku mouky se skládal ze dvou zprůměrovaných hodnot měření [15].

8.3.2 Číslo poklesu

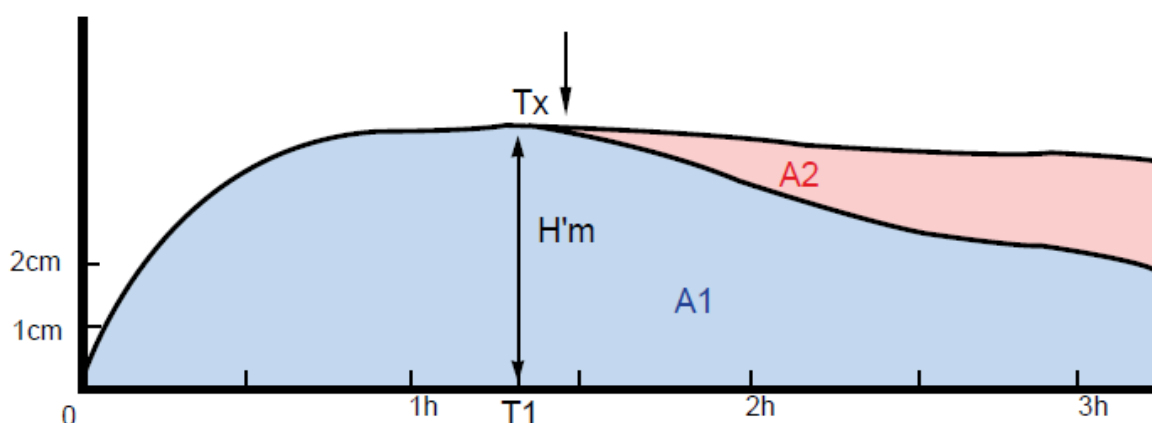
Stanovení čísla poklesu popisuje norma ČSN EN ISO 3093 (461026). Tento test byl vyvinut ke stanovení rychlosti ztekucení škrobového gelu působením α -amylázy u obilovin pomocí čísla poklesu (FN, falling number) metodou podle Hagberga-Pertena. Navážený vzorek mouky byl převeden do suché viskozimetrické zkumavky. Navážka vzorku byla závislá na obsahu vody. Do zkumavky bylo přidáno $25 \pm 0,2$ ml demineralizované vody a celý obsah zkumavky byl řádně promíchán. Po odstranění zátky bylo do zkumavky vloženo viskozimetrické míchadlo. Zkumavka byla zasunuta do automatické vodní lázně přístroje Falling Number 1100 od firmy Perten Instruments. Výsledný čas v sekundách udává dobu, kdy míchadlo klesá shora dolů zkumavkou naplněnou pastou z horké mouky. Za přítomnosti vysoké aktivity α -amylázy je škrobová pasta rychle hydrolyzována a zkapalněna, což umožňuje míchadlu klesnout během několika sekund na dno a dosáhnout nízkého výsledku. Výsledky poté byly odečteny z displeje přístroje. Měření bylo provedeno u každého vzorku mouky dvakrát a výsledky byly následně zprůměrovány [57, 58, 59].

8.3.3 Rheofermentometr

Pro výrobu těst, které byly měřeny na rheofermentometru bylo naváženo $250,0 \pm 0,5$ g mouky. K navážené mouce bylo přidáno sušené pekařské droždí v 1,2% přídatku, což odpovídá $3,0 \pm 0,1$ g tohoto droždí, a $5,0 \pm 0,1$ g soli. Tato směs byla dána do kuchyňského robotu (ETA Gratus, ETA a.s.) a všechny sypké suroviny byly řádně promíchány. Do promíchané směsi bylo následně přidáno 275 ± 1 ml vody, což pro navážku 250 g mouky odpovídá 110% vaznosti vody. Po dobu 6 ± 1 minut byly všechny suroviny robotu vymíchány v hladké těsto. Čas míchání byl shodný, aby bylo dosaženo stejných podmínek pro všechna vyrobená těsta. Následně byl navážen vzorek těsta o hmotnosti $200,0 \pm 0,5$ g a vložen do měřicí nádoby rheofermentometru. Těsto bylo zatíženo pístem se závažím a následně byl spuštěn měřicí protokol.

Pro vývoj těsta, měření množství uvolněných a zadržovaných kypřících plynů v bezlepkových těstech byl využit přístroj Rheo F4 od firmy Chopin Technologies. Vývoj těsta závisí jak na schopnosti proteinové sítě deformovat se pod tlakem plynu, tak na schopnosti těsta udržovat tento vnitřní tlak až do tepelné denaturace proteinů a mazovatění škrobu. Měření schopnosti kynutí mouky je tedy spojeno s kvalitou bílkovinné sítě těsta během jejího vývoje. Rheo F4 analyzuje vývoj vzorku těsta vloženého do měřicí nádoby. Vzorek těsta bude podléhat fermentaci za podmínek stanovených použitým protokolem (teplota, hmotnosti použitého závaží, apod.) [60, 61].

Parametry získané z křivky rheofermentometru zahrnují:



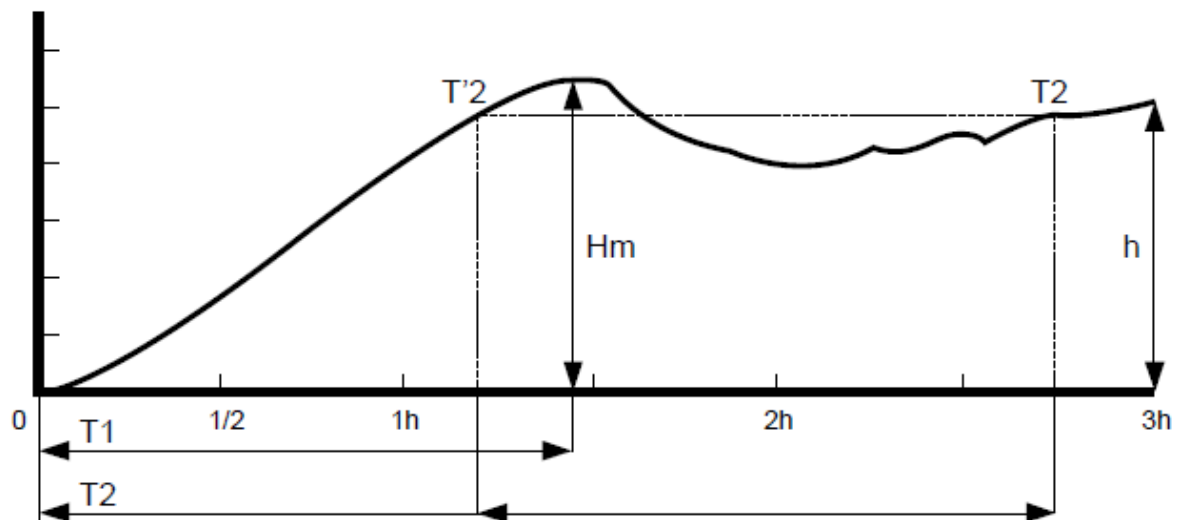
Obr. 1: Křivka úniku plynu z těsta [60].

- maximální výšku těsta ($H'm$)
- čas dosažení maximální výšky (T_1)

- pokles objemu těsta na konci 3 h (objemová ztráta)
- čas zahájení úniku plynu z těsta (T_x)
- celkový objem vzniklého plynu (A_1+A_2)
- objem uvolněného plynu (A_2)
- objem plynu zadržného v těstě (A_1) [61].

Křivka úniku plynu slouží ke stanovení retenčního koeficientu R . Jedná se o poměr objemu plynu zadržného v těstě k celkovému objemu plynu vyprodukovaného během měření. Hodnota R se udává v procentech. Retenční koeficient je velmi blízko hodnotě 100 % u mouk extrahovaných ze zdravých zrn. Hodnota R může klesnout až k 50 % u mouk získaných z vnějších vrstev endospermu nebo u mouk, které byly vyrobeny z poškozených nebo špatně skladovaných zrn [61].

Dalším výstupem z měření na rheofermentometru je křivka znázorňující vývin těsta.



Obr. 2: Křivka průběhu vývinu těsta [60].

Ze získané křivky je možné vyčíst následující údaje:

- maximální doba vývoje těsta (T_1) [min; h]
- maximální výška vývoje těsta (H_m) [mm]
- relativní doba potřebná ke stabilizaci v maximálním bodě umístěném ve výšce 0,88 H_m , aniž by byla tato doba nižší než $H_m - 6$ mm (T_2 a T'_2)
- odolnost těsta $\Delta T_2 = T_2 - T'_2$

- výška vývoje těsta na konci měření (h) [mm]
- $(H_m - h)/H_m$: procento poklesu vývoje těsta po 3 hodinách měření ve srovnání s maximální dobou vývoje (T_1) [60].

Měřením a kombinacemi těchto hodnot je možné získat základní informace pro hodnocení kvality těsta. T_1 a $(H_m - h)/H_m$ určují nejlepší časy pro hnětení těsta. Musíme brát v úvahu, že čas T_1 velmi úzce souvisí s aktivitou kvasinek. Výška H_m je spojena s objemem těsta, T_2 je indikátorem odolnosti těsta během kynutí [60].

Každý druh mouky byl na rheofermentometru Rheo F4 analyzován dvakrát, aby bylo možné získané výsledky porovnat a vyhnout se tak chybám v měření.

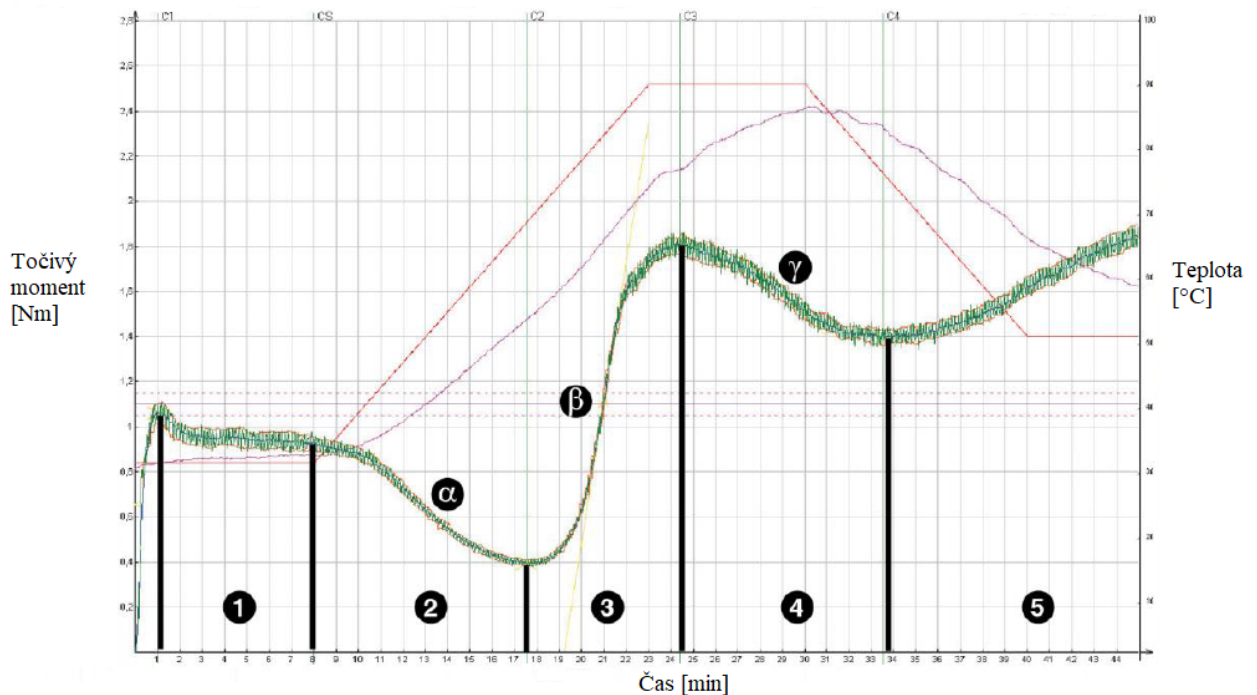
8.3.4 Mixolab

Na přístroji Mixolab společnosti Chopin Technologies je možné měřit reologické chování těsta, přičemž je těsto neustále promícháváno dvěma lopatkami. Na těsto dále působí různé zvolené teplotní profily, které simulují průběh pečení až do 90 °C. Měření charakteristického chování těsta probíhá mezi dvěma lopatkami, u kterých je v reálném čase měřen točivý moment (vyjádřený v Nm nebo mNm). Míchání dvěma lopatkami umožňuje zprostředkování reologických a enzymatických parametrů, kterými jsou reologické vlastnosti těsta (hydratační kapacita, doba vývinu těsta atd.), oslabení bílkovin, enzymatická aktivita α -amylázy, mazovatění a retrogradace škrobu [60, 62, 63].

Do násypky Mixolabu je nasypána analyzovaná mouka. Do mouky, která je již míchána lopatkami, se automaticky nadávkuje potřebné množství vody. Jakmile je vytvořeno těsto, zařízení začíná měřit chování těsta během míchání, jako je čas, průběh hnětení a teplota. Mixolab umožňuje analyzovat:

- kvalitu bílkovinné sítě: hydrataci, stabilitu, elasticitu, sílu potřebnou k hnětení (mixing power)
- chování škrobu: teplotu mazovatění a retrogradaci škrobu, úpravy konzistence různými aditivy
- enzymatickou aktivitu (proteolytickou a amylázovou) [64].

Pro zajištění správné analýzy vlivu teploty na těsto je teplotní senzor umístěn na rozhraní těsto – hnětač [64].



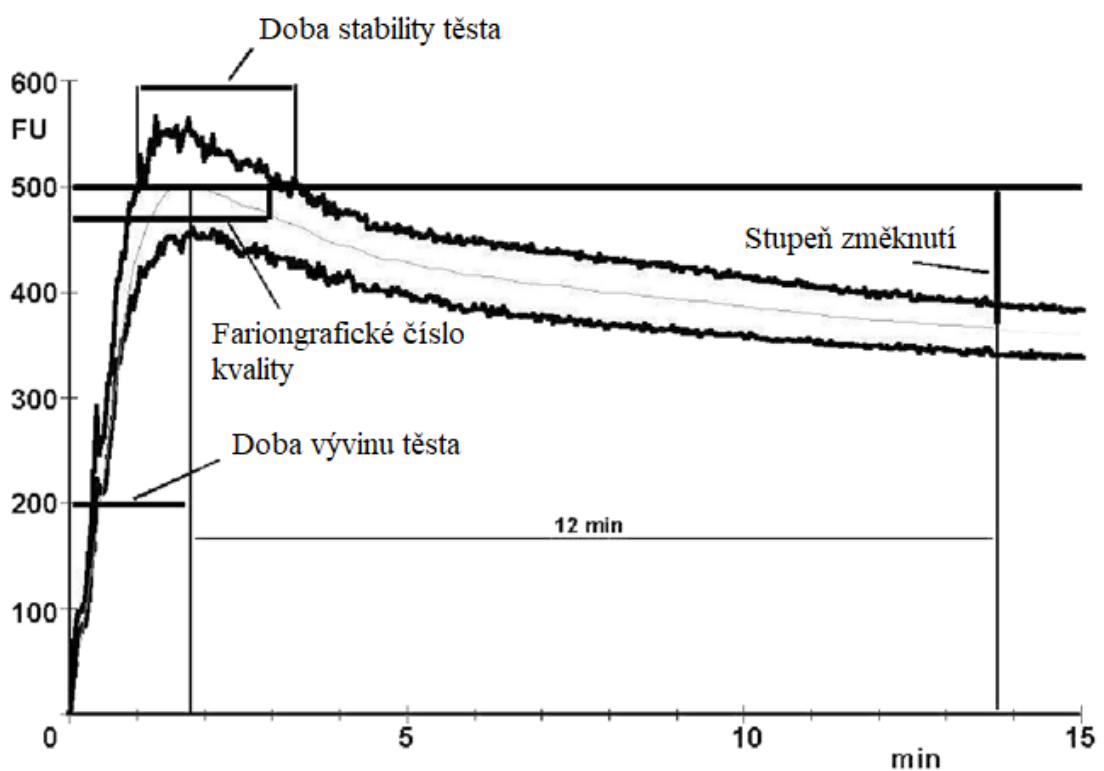
Obr. 3 : Výsledná křivka měření na Mixolabu [65].

Z výsledné křivky měření můžeme vyčíst:

- 1 – vývin těsta – probíhá při konstantní teplotě, začátek testu určuje absorpční kapacita mouky a měří se její vlastnosti během míchání (stabilita těsta, doba vývinu)
- 2 – redukce bílkovin (α) – se zvyšující se teplotou se snižuje konzistence těsta, přičemž je intenzita poklesu konzistence dána kvalitou bílkovin
- 3 – mazovatění škrobu (β) – nastává mazovatění škrobu a dochází ke zvyšování konzistence těsta, přičemž intenzita zvýšení konzistence je dána kvalitou škrobu, popř. aditivy
- 4 – amylázová aktivita (γ) – dochází k poklesu konzistence, což je způsobeno vysokou aktivitou amylázy
- 5 – retrogradace škrobu – při ochlazení nastává retrogradace škrobu a výsledná konzistence těsta se zvyšuje, konzistenci je možno ovlivnit přidáním aditiv [65].

Na přístroji Mixolab je mimo reologických vlastností možné měřit také ve farinografickém režimu. Při farinografickém měření jsou sledovány změny konzistence těsta při dynamické deformaci. Při dynamické deformaci dochází k deformaci smykem, která byla vyvolána při hnětení těsta [62, 63, 65].

Během farinografického protokolu je přístroj schopen zaznamenat výsledky měření absorpce vody, čas vývinu těsta, jeho stabilitu a také změny v konzistenci a oslabení těsta. Pro správný průběh měření je do násypky opět dána navážená analyzovaná mouka a do ní je automaticky přidána voda. Voda je přidávána do té doby, dokud není vytvořeno těsto o optimální konzistenci, což je u farinografu 500 FU (farinografických jednotek). Tato hodnota je uznávána jako optimální pro pšeničné těsto. Výstupem z měření je farinogram, který znázorňuje chování těsta při jeho smykové deformaci. Tato charakteristická křivka je vyvinuta pomocí zvýšení konzistence ve směsi vody a mouky pomocí síly vyvozené lopatkami farinografu [62, 66].



Obr. 4: Výstup z farinografického měření. Upraveno podle [67].

Z farinografického záznamu je možné vyčíst:

- dobu stability těsta (ST) [min], která vyjadřuje čas, kdy těsto dosáhlo hodnoty vyšší než je 500 FU do doby, kdy byla tato hodnota opět protnuta při poklesu
- farinografické číslo kvality (FQN) – doba mezi přidáním vody a poklesu konzistence o 30 FU od maximální hodnoty

- dobu vývinu těsta (DT) [min], kdy bylo dosaženo nejvyšší konzistence těsta od počátku měření, během kterého se absorbovala voda, hydratovaly se bílkoviny a byla vytvořena kontinuální lepková síť
- stupeň změknutí (DS) [FU], který vyjadřuje rozdíl mezi maximální konzistencí a touto konzistencí naměřenou po 12 minutách [62].

Na přístroji Mixolab byly všechny druhy uvedených mouk analyzovány nejen pro získání poznatků o jejich reologickém chování, ale také byly měřeny ve farinografickém režimu. Každý druh bezlepkové mouky byl analyzován třikrát ve farinografickém režimu a třikrát pro získání dat o reologickém chování, aby byly získány objektivní výsledky měření.

8.4 Statistické vyhodnocení dat

Statistické vyhodnocení bylo provedeno pomocí statistického softwaru Statistica 13.0 společnosti StatSoft CR s.r.o. Použitými testy byla jednofaktorová ANOVA s následným LSD testem (least significant difference test), kterým lze získat statistickou významnost rozdílů mezi vzorky. Hladina průkaznosti byla zvolena $\alpha = 0,05$ [68].

9 VÝSLEDKY A DISKUZE

9.1 Výsledky stanovení obsahu vlhkosti a čísla poklesu

Podle Vyhlášky č. 18/2020 Sb. o požadavcích na mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta se má obsah vlhkosti mouk pohybovat maximálně do 15,0 %. Všechny analyzované mouky tento požadavek splňují (Tab. 2). Obsah vlhkosti je hlavním parametrem potravinářských výrobků, který ovlivňuje dobu skladování. Je všeobecně známo, že skladovatelnost výrobků s vysokým obsahem vlhkosti je kratší než u výrobků s nižším obsahem vlhkosti [33, 69].

Tab. 2: Výsledky měření obsahu vlhkosti a čísla poklesu

Použitý druh mouky	Obsah vlhkosti [%]	Číslo poklesu [s]
Rýžová	10,84 ± 0,05	760 ± 58 ^d
Pšeničná hladká	12,56 ± 0,03	545 ± 3 ^c
Kaštanová	8,88 ± 0,01	505 ± 20 ^b
Dýňová	8,11 ± 0,08	N
Slzovková	12,02 ± 0,04	63 ± 1 ^a
Kurakkanová	12,44 ± 0,07	1391 ± 13 ^e
Konopná	9,90 ± 0,05	62 ± 1 ^a

Pozn: N – neodečteno

Číslo poklesu bylo u jednotlivých druhů mouk velice odlišné. Pro pečení pečiva je vhodné použít mouku s číslem poklesu mezi 220 – 250 s. Tím je zajištěn dobrý objem pečiva. Hlavním problémem u nízkých čísel poklesu je nadměrně měkké těsto, což vede k pečivu s nízkým objemem a lepivou střídou [15, 70].

Těchto hodnot nedosahovala ani jedna z analyzovaných mouk. Pšeničná mouka měla hodnotu 545 s, kaštanová 505 s, rýžová 760 s a mouka kurakkanová dokonce 1391 s. Statisticky se neliší číslo poklesu pouze u slzovkové (63 s) a kurakkanové (62 s) mouky. Mezi ostatními druhy bezlepkových mouk jsou průkazné statistické rozdíly. Pro výrobu pečiva o dobrých vlastnostech je potřeba, aby měla mouka vyšší hodnoty čísla poklesu, vysoký obsah bílkovin a poškozeného škrobu. Většina analyzovaných vzorků měla hodnotu čísla poklesu vyšší než 250 s a proto by bylo vhodné provést úpravu čísla poklesu u těchto

mouk tak, aby bylo dosaženo optimální enzymatické aktivity. Pro úpravu enzymatické aktivity mouk je nutné přidat vypočtené množství sladového extraktu, který sníží číslo poklesu na optimální hodnotu [15, 70, 71].

9.2 Výsledky měření množství kypřicího plynu na rheofermentometru

Všechna vyrobená bezlepková těsta byla podrobena analýze na rheofermentometru, k získání poznatků o vývoji těst a množství uvolněných a zadržených plynů. Analyzován byl také kontrolní vzorek těsta z hladké pšeničné mouky pro srovnání výsledků. Všechna naměřená data i s jejich směrodatnými odchylkami byla vložena do tabulek (Tab. 3 a Tab. 4).

Jako první byly vyhodnoceny výsledky uvolněného množství plynu z těsta (Tab. 3).

Tab. 3: Výsledky úniku kypřicího plynu během fermentace

Použitý druh mouky	H'm [mm]	T'1 [min]	A1+A2 [ml]	A1 [ml]	A2 [ml]	R [%]
Kaštanová	41,35 ± 2,05 ^b	180 ± 0 ^e	817 ± 38 ^f	774 ± 31 ^f	43 ± 7 ^d	94,75 ± 0,63 ^a
Rýžová	26,65 ± 1,91 ^a	64,5 ± 6,3 ^b	608 ± 48 ^d	594,5 ± 43,1 ^d	13 ± 4 ^b	97,8 ± 0,6 ^b
Dýňová	43,3 ± 0,3 ^b	95,5 ± 2,1 ^d	730 ± 2 ^e	688 ± 0 ^e	42,5 ± 2,1 ^d	94,2 ± 0,3 ^a
Pšeničná	39,45 ± 0,21 ^b	99,5 ± 0,7 ^d	680,5 ± 6,3 ^e	665,5 ± 4,9 ^e	14,5 ± 2,1 ^b	97,85 ± 0,21 ^b
Slzovková	22,05 ± 0,49 ^a	70,5 ± 6,3 ^{b,c}	449 ± 4 ^b	444,5 ± 4,9 ^b	4 ± 0 ^a	99,1 ± 0 ^{c,d}
Kurakkanová	27,01 ± 1,9 ^a	42,5 ± 0,7 ^a	299 ± 33 ^a	298 ± 33 ^a	0,5 ± 0,7 ^a	99,75 ± 0,07 ^d
Konopná	38,1 ± 4,9 ^b	74,5 ± 10,6 ^c	518,5 ± 13,4 ^c	510,5 ± 12,1 ^c	8 ± 1 ^{a,b}	98,4 ± 0,3 ^{b,c}

Pozn.: H'm – maximální výška těsta, T'1 – čas dosažení maximální výšky, A1 + A2 – celkový objem vzniklého plynu, A1 – objem zadrženého plynu, A2 – objem plynu uvolněného v těstě, R – retenční koeficient

Vyšší H'm (maximální výška těsta) naznačuje, že kombinace produkovaného plynu a mikrostruktury přítomné v konkrétním systému bude příznivější pro udržení makrostruktury kynutého těsta ve srovnání s jiným systémem s nižším H'm. Pokud by byl plyn účinně zadržován v těstě, dalo by se očekávat, že se tím získá lepší konečný objem pečiva. Maximální výška těsta je ovlivněna nejen daným druhem mouky, ale také přidanými přísadami. Statisticky průkazně nejvyšší hodnoty výšky těsta byly zjištěny u těst připravených z dýňové (43,3 mm), kaštanové (41,35 mm), pšeničné (39,45 mm) a konopné (38,1 mm) mouky. Průkazně nejnižší byly hodnoty zjištěny u slzovkového (22,05 mm), rýžového (26,65 mm) a kukakkanového těsta (27,01 mm). Na základě měření by se dalo očekávat, že konopné těsto bude vhodné pro pečení bezlepkových výrobků. Výsledky Jagelaviciute a Cizeikene (2021) ale ukázaly, že pečivo vyrobené z konopné mouky má nižší měrný objem a menší pórovitost, než pečivo upečené z pšeničné mouky [72, 73].

Čas, kdy bylo dosaženo maximální výšky těsta, udává hodnota T'1. Z naměřených dat vyplývá, že pro dosažení největší maximální výšky těsta bylo potřeba těsta fermentovat co nejdéle dobu. Kaštanové těsto mělo hodnotu T'1 celých 180 minut měření, z čehož lze usoudit, že i po této době by hodnota H'm nadále rostla. Vysoké hodnoty T'1 měla i těsta dýňová (95,5 min) a pšeničná (99,5 min), což se shoduje s vysokými hodnotami maximální dosažené výšky těsta. Výsledky pro dýňové a pšeničné těsto jsou statisticky průkazné a neliší se od sebe, přičemž kaštanové těsto se statisticky průkazně liší ode všech výsledků. Tyto hodnoty jsou zajímavým ukazatelem toho, že čas je důležitou veličinou při fermentaci těsta. S rostoucí dobou fermentace se těsto mění na soudržnější a lepivější, což je důležitým faktorem pro výrobu pečiva s dobrým objemem a měkkou střídou. Čas zahájení úniku plynu z těsta (Tx) nebyl zaznamenán ani u jednoho druhu mouky [72].

Celkový objem vzniklého plynu udává hodnota A1 + A2. Jako jediný kypřící prostředek pro výrobu plynného oxidu uhličitého (CO₂) byly v těstech využity kvasinky *Saccharomyces cerevisiae*. Pro optimální růst kvasinek byla na přístroji zvolena teplota 28,5 ± 0,2 °C. Viskoelastická trojrozměrná síť tvořena lepkovými proteiny, škrobem a dalšími přísadami je zásadní pro zachycení plynu a zachování struktury těsta. Jediným měřeným vzorkem, který obsahoval lepkovou síť, bylo těsto vyrobené z pšeničné hladké mouky. Těsto z pšeničné mouky dokázalo vytvořit 680 ml kypřícího plynu. Dalo by se předpokládat, že

pšeničné těsto bude mít nejvyšší výsledek z důvodu přítomné lepkové sítě. Měřením bylo zjištěno, že nejvyšších hodnot dosahovaly vzorky těst vyrobené z dýňové (730 ml CO₂) a kaštanové (817 ml CO₂) mouky. Tyto mouky sice neobsahují lepkovou trojrozměrnou síť, ale vysoké množství vyprodukovaného plynu mohlo být způsobeno přítomností důležitých živin pro kvasinky, jakými je například vyšší množství sacharidů v těchto moukách. Rakcejeva a spol. (2011) ve svém výzkumu zjistili, že přídavek dýňové mouky do pšeničného těsta má za následek zvětšení objemu pečiva. Nejnižší hodnoty vyprodukovaného CO₂ vykazovala těsta slzovková a kurakkanová. Vzorky z kaštanové a dýňové mouky měly statisticky průkazně vyšší ($P < 0,05$) objem, než měly vzorky z mouky slzovkové a kurakkanové [33, 60, 61, 74].

Bezlepkové pečivo se nedá srovnávat s pečivem vyrobeným z mouky obsahující lepek z důvodu neefektivní expanze a zadržování kypřicího plynu. Díky této skutečnosti vykazuje bezlepkové pečivo nižší objem po upečení a má tvrdší strídu. Tyto výrobky nevykazují reologické a texturní vlastnosti a kvalitu pečení, které jsou jedinečné pro výrobky na bázi lepku. Pro zlepšení kvality bezlepkového pečiva je do těst přidáváno mnoho různých zlepšujících látek, jako jsou hydrokoloidy, mléčné bílkoviny, vláknina a další [17].

Množství kypřicího plynu, které je zadrženo v těstě, závisí na přítomnosti lepkové sítě. Lepek musí být v také dostatečně silný, aby se zabránilo úniku kypřicího plynu z těsta, čímž by došlo k následnému zhroucení struktury. Přestože pšeničné těsto obsahuje lepkovou síť, dalo by se předpokládat, že zadrží nejvíce kypřicího plynu a únik CO₂ bude mít nejnižší hodnotu. Nejvyšší množství kypřicího plynu uvolnila těsta kaštanová (43 ml) a dýňová (42,5 ml). Tyto hodnoty mezi sebou byly statisticky průkazné a lišily se od ostatních výsledků. Pšeničné těsto, přestože obsahovalo lepkovou síť, uvolnilo 14,5 ml CO₂. Tento výsledek je statisticky průkazný s těstem rýžovým, které uvolnilo 13 ml kypřicího plynu a těstem konopným (8 ml CO₂). Výsledný únik plynu z konopného těsta se statisticky ale nelišil od výsledků těsta slzovkového (4 ml) a kurakkanového (0,5 ml). Velké množství plynu CO₂ uvolněného z bezlepkových těst souvisí s jejich nižší schopností zadržovat ve své struktuře kypřicí plyny [41, 60, 75].

Další data, která nalezneme v tabulce 4, byla naměřena také na rheofermentometru Rheo F4 a souvisí s vývinem těsta.

Tab. 4: Výsledky průběhu vývinu těst během fermentace

Použitý druh mouky	Hm [mm]	h [mm]	(Hm-h)/Hm [%]	T1 [min]
Kaštanová	$2,2 \pm 0^b$	$0,05 \pm 0,07^a$	$97,75 \pm 3,18^a$	71 ± 3^a
Rýžová	$2,8 \pm 0,1^c$	$0,1 \pm 0,1^a$	$96,7 \pm 4,5^a$	$91,5 \pm 2,1^a$
Dýňová	0	0	0	180 ± 0^a
Pšeničná	0	0	0	180 ± 0^a
Slzovková	0	0	0	180 ± 0^a
Kurakkanová	$0,1 \pm 0,1^a$	$0,1 \pm 0,1^a$	$27,65 \pm 39,10^a$	$118,5 \pm 56,9^a$
Konopná	$0,05 \pm 0,07^a$	0	100 ± 0^a	65 ± 18^a

Pozn.: Hm – maximální výška vývoje těsta, h – výška vývoje těsta na konci měření, (Hm – h)/Hm: procento poklesu vývoje těsta po 3 hodinách měření ve srovnání s maximální dobou vývoje, T1 – maximální doba vývoje těsta

Hodnota Hm je úzce spojena s objemem těsta. Proces vývoje těsta, ke kterému dochází během zrání těsta, se týká hydratované proteinové složky mouky. Zahrnuje odvíjení molekul bílkovin a jejich spojování pomocí zesíťování za vzniku rozsáhlé trojrozměrné sítě bílkovin pomocí nekovalentních interakcí, jakými jsou hydratace, disulfidové, iontové, vodíkové a hydrofobní vazby. Fermentace je v procesu výroby zásadní a ovlivňuje vlastnosti konečných produktů, jako je objem, barva, struktura pórů a textura. Během fermentace se vytváří souvislá síť protein – škrob, což má za následek dobrý objem, strukturu a viskoelasticitu těsta [60, 75].

Výsledky Hm dosahují velice nízkých hodnot od 0,05 mm do 2,8 mm. Nejnížší hodnotu maximální výšky vývoje měla těsta konopná (0,05 mm) a kurakkanová (0,1 mm), která se od sebe statisticky průkazně nelišila. Statisticky se od nich lišila těsta kaštanová (2,2 mm) a rýžová (2,8 mm), která byla průkazně odlišná i od sebe navzájem. Takto nízká čísla u bezlepkových těst mohou být způsobena nepřítomností lepkových bílkovin, protože ve své struktuře nedokáží zadržet kypřící plyn, což způsobuje nízký objem upečeného pečiva. Měřené vzorky těst také byly velice řídké, některé měly například písčitou strukturu (slzovkové těsto) nebo příliš velkou granulaci mouky (dýňové těsto). U většiny mouk, u kterých byl prokázán alespoň nějaký vývin těsta, je patrné, že na konci měření došlo

k poklesu výšky těsta (h). Statisticky se od sebe pokles výšky těsta nelišil ani u jednoho ze vzorků. I tato skutečnost souvisí s nižší schopností bezlepkových těst zadržovat ve své struktuře kypřící plyny. Maximální doba vývoje těsta (T1) je i v tomto měření opět vysoká a shoduje se s předchozím měřením, kdy pro dosažení maximální výšky těst byla potřeba jejich delší fermentace. Hodnoty T1 se pohybovaly od 65 minut do 180 minut. Výsledky se mezi sebou u jednotlivých vzorků těst statisticky průkazně neliší [41, 75, 76].

9.3 Výsledky měření reologického chování těsta pomocí Mixolabu

Na přístroji Mixolab byly měřeny reologické vlastnosti bezlepkových těst ve dvou režimech, a to farinografickém a v režimu Mixolab. Ve farinografickém režimu byly zaznamenány výsledky měření absorpce vody (W), doba stability (ST) a vývinu (DT) těsta a stupeň změknutí konzistence (DS). V režimu Mixolab byla měřena kvalita bílkovinné sítě (α), chování škrobu (β) a enzymatická aktivita (γ).

Tab. 5: Výsledky měření vlastností těsta ve farinografickém režimu

Použitý druh mouky	W [%]	DT [min]	ST [min]	DS [FU]
Kaštanová	100,7 ± 0 ^b	19,7 ± 0 ^a	1,5 ± 0,1 ^a	45 ± 1 ^d
Rýžová	100,73 ± 0,05 ^b	18,03 ± 0,05 ^c	4,8 ± 0 ^d	59,6 ± 0,6 ^c
Dýňová	102,1 ± 0 ^d	20,8 ± 0,3 ^d	1,5 ± 0 ^a	21,6 ± 2,5 ^a
Pšeničná	100,7 ± 0 ^b	18,6 ± 0 ^b	3,3 ± 1,6 ^{b,c}	48 ± 0 ^c
Slzovková	100,6 ± 0 ^a	18,9 ± 0 ^b	4,6 ± 0 ^{c,d}	48 ± 0 ^c
Kurakkanová	100,6 ± 0 ^a	18,77 ± 0,05 ^b	3,63 ± 0,05 ^{b,c,d}	48 ± 0 ^c
Konopná	101,07 ± 0,06 ^c	18,9 ± 0,5 ^b	2,6 ± 1,1 ^{a,b}	41,3 ± 4,0 ^b

Pozn.: W – absorpce vody, ST – doba stability, DT – doba vývinu těsta, DS – stupeň změknutí

Pro farinografický režim byl na přístroji vybrán režim Chopin S, kde probíhá měření při 30 °C a rychlost otáčení lopatek je 80 otáček/min. Maximální kapacita navázání vody se liší v závislosti na podílu různých složek, jakými jsou poškozený škrob, nativní škrob, pentozany a bílkoviny. Voda byla během měření přidávána tak, aby byla vaznost mouk 100 %. Výsledná vaznost vody všech druhů mouk se pohybovala kolem 100 %, přičemž

největší vaznost měla mouka dýňová (102,1 %). Statisticky se tato mouka lišila ode všech ostatních druhů. Tato skutečnost mohla být způsobena velkou granulací mouky, kdy na své částice navázala větší množství vody než ostatní mouky s menší granulací [77].

Doba vývinu těsta (DT) měla u všech mouk podobné výsledky, a to od 18,03 min do 20,8 min. Statisticky průkazné výsledky mezi sebou měla těsta pšeničná (18,6 min), slzovková a kurakkanová (shodně 18,9 min) a těsto konopné (18,77 min). Během této doby dosáhla těsta nejvyšší konzistence, protože se do nich absorbovala voda, hydratovaly se bílkoviny a v případě pšeničné mouky byla vytvořena lepková síť. Rozsah a způsob, jakým škrobové granule bobtnají a procházejí fázovými přechody, jsou ovlivněny především množstvím dostupné vody. Za nejstabilnější lze pokládat těsto z rýžové mouky, jehož doba stability (ST) těsta byla 4,8 min. Statisticky se tento výsledek neliší od těsta slzovkového (4,6 min) a kurakkanového (3,63 min). Doba stability kurakkanového těsta se ale průkazně nelišila ani od těsta pšeničného (3,3 min). Nejméně stabilními vzorky byla těsta kaštanová a dýňová, oba vzorky s dobou stability 1,5 min. Kromě těsta konopného (2,6 min) se tato těsta statisticky průkazně lišila ode všech měřených vzorků těst. Podle Elgeti a spol. (2017) má stabilita těsta velký vliv na objem pečiva po upečení. Pro zlepšení objemu výsledných výrobků je tedy lepší použít těsto s nízkou viskozitou během míchání, ale s vysokou viskozitou těsta během fermentace a pečení. Nízká stabilita bezlepkových těst souvisí s rozdílnými fyzikálně-chemickými vlastnostmi lepku a proteinů, které se vyskytují v bezlepkových moukách. Důsledkem je neschopnost bezlepkových těst vytvářet jednotnou viskoelastickou proteinovou síť [43, 62, 78, 79].

Pro měření v režimu Mixolab byl vybrán protokol Chopin +. Tento měřicí protokol umožňuje těsto namáhat ve třech teplotních mezích, a to při 30 °C, 90 °C a 50 °C. Výsledkem je záznam chování těsta (Tab. 6) při teplotním namáhání a chlazení a také při zvýšených otáčkách během měření (180 otáček/min).

Tab. 6: Charakteristika vzorků mouky v režimu Mixolab

Použitý druh mouky	C1 [Nm]	C2 [Nm]	C3 [Nm]	C4 [Nm]	C5 [Nm]
Kaštanová	0,559 ± 0,002 ^c	0,02 ± 0,03 ^a	N	N	0,35 ± 0,07 ^b
Rýžová	0,17 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,09 ^a	N	N	0,007 ± 0,004 ^a
Dýňová	0,269 ± 0,003 ^b	N	N	N	0,42 ± 0,33 ^b
Pšeničná	0,95 ± 0,03 ^d	0,63 ± 0,01 ^c	N	N	0,84 ± 0,02 ^c
Slzovková	N	N	N	N	N
Kurakkanová	0,26 ± 0 ^b	N	N	N	0,015 ± 0,007 ^a
Konopná	0,102 ± 0,007 ^a	0,08 ± 0,4 ^b	N	N	0,04 ± 0,05 ^a

Pozn.: C1 – maximální bod první fáze míchání, C2 – C5 – koncové body příslušných fází míchání, N – neodečteno

Vývoj těsta, fáze C1, trvá po dobu zahřívání, zatímco točivý moment je udržován na konstantní hodnotě 1,1 Nm. Teplota je během této fáze relativně neměnná ($30,0 \pm 0,5$ °C). Při konstantní teplotě se měří absorpční kapacita mouky a její vlastnosti během míchání (stabilita, pružnost). Při přílišném míchání může dojít ke změně vlastností těsta z hladkých a elastických na lepkavé. Arendt a Fabio (2008) udávají, že přidání velkého množství vody vede ke značnému zlepšení chování těst během míchání a tím k vyšší stabilitě. I přes tuto skutečnost a vysoké množství vody v bezlepkových těstech byla stabilita nejvyšší u těsta pšeničného (0,95 Nm). Tento výsledek je statisticky průkazný. Ostatní těsta se od sebe také statisticky lišila, až na těsta konopná (0,102 Nm) a rýžová (0,17 Nm). Těsto ze slzovkové mouky nebylo změřeno. Obsah vody v těstě byl příliš vysoký a těsto z přístroje dokonce vytékalo [29, 80, 81].

Ve fázi C2 se teploty rychle zvyšují (až k $90,0 \pm 0,5$ °C) a dochází k denaturaci bílkovin (označováno jako α). Snižuje se hodnota točivého momentu, protože je těsto vystaveno mechanickému a tepelnému namáhání. Konzistence těsta klesá s nadměrným mícháním, což je známkou oslabení bílkovin. V závislosti na složení mouky se nižší kvalita bílkovin obvykle projeví větším poklesem konzistence. Největší pokles konzistence byl zaznamenán u těsta kaštanového (snížení o 0,557 Nm), i když se tento výsledek statisticky nelišil od poklesu konzistence u těsta rýžového. Zvýšení konzistence je většinou patrné na začátku

fáze C3 v důsledku mazovatění škrobu (označováno jako β). Kvalita škrobu určuje rychlost růstu konzistence. Výsledkem mazovatění škrobu je maximální točivý moment. Hodnoty fází C3 a C4 nebyly přístrojem zaznamenány [29, 65, 80, 81].

Ve fázi C4 dochází k poklesu konzistence vlivem amylolytické aktivity (označováno jako γ). Endogenní enzymatická aktivita ovlivňuje křivku točivého momentu a nakonec má vliv na točivý moment během chlazení ve fázi C5 (teplota těsta klesá k $50,0 \pm 0,5$ °C). V páté fázi pokles teplot způsobí zvýšení konzistence v důsledku tvorby gelu, která souvisí s retrogradací škrobu. Větší pokles konzistence je úměrný většímu množství enzymatické aktivity. Statisticky se průkazně nelišila rýžová, konopná a kurakkanová těsta, dále se od sebe statisticky nelišila těsta dýňová a kaštanová. Statisticky průkazně se od ostatních lišilo těsto pšeničné. Změna konzistence, která proběhla díky retrogradaci škrobu, je u daných druhů těst způsobena odlišnými fyzikálními a chemickými vlastnostmi škrobových granulí v jednotlivých druzích mouk. Vlastnosti škrobových granulí závisí na poměru amylozy a amylopektinu, velikosti granulí, distribuci velikostí granulí a obsahu minerálních látek [80, 81, 82].

Pro výrobu pečiva s dobrými vlastnostmi je potřeba, aby měla použitá mouka a z ní vyrobené těsto vyhovující parametry. Mouka by měla mít optimální aktivitu amylolytických enzymů, díky kterým se tvoří dostatek zkvasitelných cukrů a těsto má následně dobré vlastnosti na zachycení kypřicího plynu [83].

Z porovnání výsledků všech měření u bezlepkových mouk vyplývá, že nejvhodnější aktivitu amylolytických enzymů by mohly mít mouky kaštanová (505 s) a rýžová (760 s), kdyby se u nich provedla úprava čísla poklesu pomocí sladového extraktu. Nejméně optimální aktivitu amylolytických enzymů měla mouka kurakkanová (1391 s), u které byla aktivita enzymů příliš vysoká.

Dostatek zkvasitelných cukrů, které byly následně kvasinkami přeměněny na kypřicí plyn CO₂, nejlépe tvořila těsta kaštanová (817 ml), dýňová (730 ml) a rýžová (608 ml). U těst z mouky kaštanové a dýňové bylo ovšem zaznamenáno největší množství uvolněného kypřicího plynu (kaštanová 43 ml a dýňová 42,5 ml), zato u rýžového těsta byl objem uvolněného plynu pouze 13 ml. Nejméně kypřicího plynu bylo vyprodukováno v těstě kurakkanovém (299 ml), u kterého byl ale také naměřen nejmenší únik CO₂ (0,5 ml). Nejstabilnějšími vzorky byla těsta rýžová (4,8 min), slzovková (4,6 min) a kurakkanová (3,6 min).

V celkovém hodnocení by se dalo říci, že nejvhodnější moukou pro výrobu bezlepkového pečiva je mouka rýžová, neboť tvoří dostatek zkvasitelných cukrů, čímž je zajištěn dostatečný objem těsta, a únik CO₂ je u tohoto těsta pouze 13 ml. Těsto vyrobené z rýžové mouky je také nejstabilnějším vzorkem měření. Jako nejméně vhodnou moukou pro pečení bezlepkových výrobků se jeví mouka kurakkanová, neboť se i přes vysokou aktivitu amylolytických enzymů nedokázala vytvořit dostatek kypřicího plynu CO₂.

ZÁVĚR

Na základě porovnání výsledků plynotvorné schopnosti bezlepkových mouk lze usoudit, že bezlepkové mouky mají dostatečné množství zkvasitelných cukrů, které kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* přeměňují na kypřicí plyn CO₂.

Nejlepších výsledků produkce kypřicího plynu dosáhla těsta kaštanová (817 ml), dýňová (730 ml) a rýžová (608 ml). Nejmenší množství kypřicího plynu byla schopna vytvořit mouka kurakkanová (299 ml). Jako kontrolní a srovnávací vzorek byla použita mouka pšeničná, která dokázala vyprodukovat 680 ml CO₂. Tímto lze říci, že některá bezlepková těsta jsou schopna vytvořit větší množství kypřicího plynu než pšeničné těsto, které ve své struktuře obsahuje trojrozměrnou lepkovou síť.

Lepková síť je důležitá z hlediska zadržování CO₂ ve struktuře těsta, což potvrzuje množství uvolněného plynu z pšeničného těsta, které bylo pouze 14,5 ml. Výborného výsledku dosáhlo i těsto rýžové, které uvolnilo pouhých 13 ml CO₂, zato ostatní bezlepková těsta měla množství uvolněného plynu příliš velké k poměru kypřicího plynu vyprodukovaného.

Z výsledků měření lze jako nejvhodnější mouku pro pečení bezlepkových výrobků označit mouku rýžovou pro své dobré kypřicí vlastnosti a nejlepší stabilitu těsta. Nejméně vhodnou moukou pro pečení bezlepkového pečiva byla určena mouka kurakkanová, neboť naměřené výsledky nedosahovaly požadovaných parametrů.

Výsledky měření, které byly doloženy odbornou literaturou, by bylo vhodné potvrdit pomocí pekařského pokusu podle normou daných receptur pro bezlepkové pečivo.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZHOU, K. Cereals and Legumes. ESKIN, N. A. M. a F. SHAHIDI. *Biochemistry of Foods*. 3. vydání. Elsevier, 2013. ISBN 978-0-12-242352-9.
- [2] MORRIS, P.C. a J.H. BRYCE. *Cereal Biotechnology*. Woodhead Publishing, 2002. ISBN 978-1-85573-498-2.
- [3] FRIAS, J., C. MARTINEZ-VILLALUENGA a E. PEÑAS. *Fermented Foods in Health and Disease Prevention*. Elsevier, 2017. ISBN 978-0-12-802309-9.
- [4] ANONYM. *Pšenice tvrdá (Triticum durum Desf.)* [online]. [cit. 2021-01-19]. Dostupný z WWW: <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/2/psenice_tvrda.html>.
- [5] ARENDT, E. a E. ZANNINI. *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries*. Elsevier, 2013. ISBN 978-0-85709-413-1.
- [6] Nařízení Komise (ES) č. 41/2009 ze dne 20. ledna 2009 o složení a označování potravin vhodných pro osoby s nesnášenlivostí lepku.
- [7] LAGARÓN, J.-M. *Multifunctional and Nanoreinforced Polymers for Food Packaging*. Woodhead Publishing, 2011. ISBN 978-1-84569-738-9.
- [8] BELGACEM, M. N. a A. GANDINI. *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*. Elsevier, 2008. ISBN 978-0-08-045316-3.
- [9] DAVIDSON, I.. *Biscuit, Cookie and Cracker Production - Process, Production and Packaging Equipment*. Elsevier, 2019. ISBN 978-0-12-815579-0.
- [10] MACRITCHIE, F. Seventy years of research into breadmaking quality. *Journal of Cereal Science*. 2016, 70, 123-131. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.020
- [11] CAPRILES, V. D. a J. A. G. AREAS. Novel Approaches in Gluten-Free Breadmaking: Interface between Food Science, Nutrition, and Health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2014, 13(5), 871-890. Dostupné z: doi:doi.org/10.1111/1541-4337.12091
- [12] BHATTACHARYA, S. *Conventional and Advanced Food Processing Technologies*. John Wiley, 2015. ISBN 978-1-118-40632-8.

- [13] TURABI, E., G. SUMNU a S. SAHIN. Quantitative analysis of macro and micro-structure of gluten-free rice cakes containing different types of gums baked in different ovens. *Food Hydrocolloids*. 2010, **24**(8), 755-762. Dostupné z: doi:doi:10.1016/j.foodhyd.2010.04.001
- [14] MANLEY, D. *Technology of Biscuits, Crackers and Cookies*. 3. vydání. Woodhead Publishing, 2000. ISBN 978-1-85573-532-3.
- [15] CAUVAIN, S. P. a R. CLARK. *ICC Handbook of Cereals, Flour, Dough & Product Testing - Methods and Applications*. 2. vydání. DEStech Publications, 2017. ISBN 978-1-60595-104-1.
- [16] DRUB, T. F., F. GARCIA DOS SANTOS, A. C. LADEIA SOLERA CENTENO, A. D. CAPRILES. Sorghum, millet and pseudocereals as ingredients for gluten-free whole-grain yeast rolls. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2021, **23**. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100293
- [17] NAQASH, F., A. GANI a F. A. MASOODI. Gluten-free baking: Combating the challenges - A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2017, **66**, 98-107. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.004
- [18] SCHNEDEL, W. J., H. MANGGE, M. SCHENK a D. ENKO. Non-responsive celiac disease may coincide with additional food intolerance/malabsorption, including histamine intolerance. *Medical Hypotheses*. 2021, **146**. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.mehy.2020.110404
- [19] RALBOVSKY, N. M. a I. K. LEDNEV. Analysis of individual red blood cells for Celiac disease diagnosis. *Talanta*. 2021, **221**. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121642
- [20] XU, J., Y. ZHANG, W. WANG a Y. LI. Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2020, **103**, 200-213. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.017
- [21] CIESAROVÁ, Z., L. MIKUŠOVÁ, M. MALAGA, Z. KOHAJDOVÁ a J. KAROVIČOVÁ. Nonwheat Cereal-Fermented-Derived Products. FRIAS, J., C. MARTINEZ-VILLALUENGA a E. PEÑAS. *Fermented Foods in Health and Disease Prevention*. Elsevier, 2017, s. 417-432. ISBN 9780128023099.

- [22] ZHU, F. Coix: Chemical composition and health effects. *Trends in Food Science & Technology*. 2017, **61**, 160-175. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.tifs.2016.12.003
- [23] YU, F. Research and Application of Adlay in Medicinal Field. *Chinese Herbal Medicines*. 2017, **9(2)**. Dostupné z: doi:10.1016/S1674-6384(17)60086-8.
- [24] DEVARAJ, R. D., S. P. K. JEEPIPALLI a B. XU. Phytochemistry and health promoting effects of Job's tears (*Coix lacryma-jobi*) - A critical review. *Food Bioscience*. 2020, **34**. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100537
- [25] DUNFORD, N. T. Hemp and flaxseed oil: Properties and applications for use in food. TALBOT, G. *Specialty Oils and Fats in Food and Nutrition - Properties, Processing and Applications*. Elsevier, 2015, s. 39-63. ISBN 978-1-78242-376-8.
- [26] ŠVEC, I. a M. HRUŠKOVÁ. The Mixolab parameters of composite wheat/hemp flour and their relation to quality features. *LWT - Food Science and Technology*. 2015, **60(1)**, 623-629. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.034
- [27] KORUS, J., M. WITCZAK, R. ZIOBRO a L. JUSZCZAK. Hemp (*Cannabis sativa* subsp. *sativa*) flour and protein preparation as natural nutrients and structure forming agents in starch based glutenfree bread. *LWT - Food Science and Technology*. Elsevier, 2017, **84**, 143-150. Dostupné z: doi:dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.046
- [28] ARENDT, E. a D. B. FABIO. Functional cereal products for those with gluten intolerance. HAMAKER, Bruce R. *Technology of Functional Cereal Products*. Woodhead Publishing, 2008. ISBN 978-1-84569-177-6.
- [29] ARENDT, E. a D. B. FABIO. *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*. Elsevier, 2008. ISBN 978-0-12-373739-7.
- [30] ONYANGO, C., S. K. LUVITAA, G. UNBEHEND a No.nHAASE. Physico-chemical properties of flour, dough and bread from wheat and hydrothermally-treated finger millet. *Journal of Cereal Science*. 2020, **93**. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102954
- [31] KRIMER-MALEŠEVIĆ, V.. Phenolic Acids in Pumpkin (*Cucurbita pepo L.*) Seeds. PREEDY, V. R., R. R. WATSON a V. B. PATEL. *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention*. Elsevier, 2011, s. 925-932. ISBN 978-0-12-375688-6.
- [32] AHMED, J., M. AL-FOUDARI, F. AL-SALMAN a A. S. ALMUSALLAM. Effect of particle size and temperature on rheological, thermal, and structural properties of

- pumpkin flour dispersion. *Journal of Food Engineering*. 2014, **124**, 43-53. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.09.030
- [33] RAKCEJEVA, T., R. GALO BURDA, L. CUDE a E. STRAUTNIECE. Use of dried pumpkins in wheat bread production. *Procedia Food Science*. 2011, **1**, 441-447. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.068
- [34] TEIFENBACHER, K. F. *Technology of Wafers and Waffles I - Operational Aspects*. Elsevier, 2017. ISBN 978-0-12-809438-9.
- [35] PREEDY, V. R. a R. R. WATSON. *Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention*. 2. vydání. Elsevier, 2019. ISBN 978-0-1281-4639-2.
- [36] MIR, S. A., S. J. DON BOSCO a M. A. SHAH. Technological and nutritional properties of gluten-free snacks based on brown rice and chestnut flour. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2019, **18**, 89-94. Dostupné z: doi:dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2017.02.002
- [37] OWENS, G. *Cereals Processing Technology*. Woodhead Publishing, 2001, s. 204-230. ISBN 978-1-85573-561-3.
- [38] K TENIOUDAKI, A., F. BUTLER, U. GONZALES-BARRON, U. MC CARTHY a E. GALLAGHER. Monitoring the dynamic density of wheat dough during fermentation. *Journal of Food Engineering*. 2009, **95**(2), 332-338. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.05.012
- [39] GALLAGHER, E., T. R. GORMLEY a E. K. ARENDT. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*. 2004, **15**(3-4), 143-152. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.012
- [40] BUREŠOVÁ, I., S. KRÁČMAR, P. DVOŘÁKOVÁ a T. STŘEDA. The relationship between rheological characteristics of gluten-free dough and the quality of biologically leavened bread. *Journal of Cereal Science*. 2014, **60**(2), 271-275. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.jcs.2014.07.001
- [41] ROSENTRATER, K. A. a A. D. EVERS. Bread-baking technology. *Kent's Technology of Cereals - An Introduction for Students of Food Science and Agriculture*. 5. vydání. Elsevier, 2018, s. 567-622. ISBN 978-0-08-100529-3.

- [42] FÖSTE, M., M. JEKLE a T. BECKER. Structure stabilization in starch-quinoa bran doughs: The role of water availability and gelatinization. *Carbohydrate Polymers*. 2017, **174**, 1018-1025. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.06.068
- [43] ELGETI, D., L. PENG, M. JEKLE a T. BECKER. Foam stabilization during processing of starch-based dough systems. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2017, **39**, 267-274. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.ifset.2016.12.012
- [44] CAPPELLI, A., L. BATTACCINI a E. CINI. The kneading process: A systematic review of the effects on dough rheology and resulting bread characteristics, including improvement strategies. *Trends in Food Science & Technology*. 2020, **104**, 91-101. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.008
- [45] ESPINOSA-RAMÍREZ, J., R. GARSON, S. O. SERNA-SALDIVAR a C. M. ROSELL. Functional and nutritional replacement of gluten in gluten-free yeastleavened breads by using β -conglycinin concentrate extracted from soybean flour. *Food Hydrocolloids*. 2018, **84**, 353-360. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.06.021
- [46] BLANCO, C. A., F. RONDA, B. PÉREZ a V. PANDO. Improving gluten-free bread quality by enrichment with acidic food additives. *Food Chemistry*. 2011, **127**(3), 1204-1209. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.127
- [47] DE LA HERA, E., M. MARTINEZ a M. GÓMEZ. Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread. *LWT - Food Science and Technology*. 2013, **54**(1), 199-206. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.lwt.2013.04.019
- [48] ROSELL, C. M., F. BARRO, C. SOUSA a M. C. MENA. Cereals for developing gluten-free products and analytical tools for gluten detection. *Journal of Cereal Science*. 2014, **59**(3), 354-364. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.jcs.2013.10.001
- [49] ROMAN, L., E. DE LA CAL, M. GOMEZ a M. M. MARTINEZ. Specific ratio of A-to B-type wheat starch granules improves the quality of gluten-free breads: Optimizing dough viscosity and pickering stabilization. *Food Hydrocolloids*. 2008, **82**, 510-518. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.034
- [50] SARABHAI, S., T. TAMILSELVAN a P. PRABHASANKAR. Role of enzymes for improvement in gluten-free foxtail millet bread: It's effect on quality, textural,

- rheological and pasting properties. *LWT*. 2021, **137**. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110365
- [51] GUJRAL, H. S. a C. M. ROSELL. Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Research International*. 2004, **37**, 75-81. Dostupné z: doi:doi:10.1016/j.foodres.2003.08.001
- [52] CAUVAIN, S. P. *Baking Problems Solved*. 2. vydání. Elsevier, 2017. ISBN 978-0-08-100765-5.
- [53] ARSLAN, M., A. RAKHA, Z. XIAOBO a M. A. MAHMOOD. Complimenting gluten free bakery products with dietary fiber: Opportunities and constraints. *Trends in Food Science & Technology*. 2019, **83**, 194-202. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.011
- [54] ROMAN, L., M. P. REGUILON, M. M. MARTINEZ a M. GOMEZ. The effects of starch cross-linking, stabilization and pre-gelatinization at reducing gluten-free bread staling. *LWT*. 2020, **132**. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109908
- [55] CHAKRABORTY, S. K., N. KOTWALIWALE a S. A. NAVALE. Selection and incorporation of hydrocolloid for gluten-free leavened millet breads and optimization of the baking process thereof. *LWT*. 2020, **119**. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108878
- [56] GALLAGHER, E., T. R. GORMLEY a E. K. ARENDT. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering*. 2003, **56**, 153-161.
- [57] ČSN EN ISO 3093 (461026): Pšenice, žito a pšeničná a žitná mouka, pšenice tvrdá (durum) a semolina z pšenice tvrdé - Stanovení čísla poklesu podle Hagberga-Pertena.
- [58] SHAO, Y., M. H. TSAI, Y. HE, J. CHEN, C. WILSON, A. H.-M. LIN. Reduction of falling number in soft white spring wheat caused by an increased proportion of spherical B-type starch granules. *Food Chemistry*. 2019, **284**, 140-148. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.006
- [59] BUREŠOVÁ, I. *Výroba potravin rostlinného původu: návody do cvičení I*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2014, 98 s., ISBN 978-80-7454-331-9.
- [60] ANONYM. *Rheo F4 User's manual*. Chopin Technologies, Francie, 2016, 42 s.

- [61] GUO, L., D. XU, F. FANG, Z. JIN a X. XU. Effect of glutathione on wheat dough properties and bread quality. *Journal of Cereal Science*. 2020, **96**. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103116
- [62] BUREŠOVÁ, I. a E. LORENCOVÁ. Výroba potravin rostlinného původu: zpracování obilovin. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013, 302 s. ISBN 978-80-7454-278-7.
- [63] DUBAT, A., C. M. ROSELL a E. GALLAGHER. *Mixolab: A New Approach to Rheology*. Academic Press, 2016, 126 s., ISBN: 978-1-891127-77-9
- [64] NĚMEC, I. Mixolab. Přístroje. Reologická a enzymatická analýza mouky a šrotu. *Docplayer* [online]. 2017 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/43139601-Mixolab-pristroje-reologicka-a-enzymaticka-analyza-mouky-a-srotu.html>
- [65] ANONYM. *Mixolab 2 User's manual*. Chopin Technologies, Francie, 2016, 77 s
- [66] AHMAD, M. H., M. NACHE, S. WAFFENSCHMIDT a B. HITZMANN. Characterization of farinographic kneading process for different types of wheat flours using fluorescence spectroscopy and chemometrics. *Food Control*. 2016, **66**, 44-52. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.01.029
- [67] ANONYM. Farinograf. *Say-Tek Instruments* [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.say-tek.com.tr/farinograf-i-234>
- [68] *Ovládání a základy statistiky v softwaru STATISTICA* [online]. In: . StatSoft CR, 2014 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <http://www.statsoft.cz/file1/PDF/StrucnyManualSTATISTICA.pdf>
- [69] Vyhláška č. 18/2020 Sb. o požadavcích na mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta.
- [70] EDWARDS, W. P. *Science of Bakery Products*. Royal Society of Chemistry, 2007. ISBN 978-0-85404-486-3.
- [71] EVERY, D., L. SIMMONS, J. AL-HAKKAK, Sarah HAWKINS a M. ROSS. Amylase, falling number, polysaccharide, protein and ash relationships in wheat millstreams. *Euphytica*. 2002, **126**, 135-142. Dostupné z: doi:doi.org.10.1023/A:1019699000975

- [72] ÜÇÖK, G. a D. SERT. *Growth kinetics and biomass characteristics of Lactobacillus plantarum L14 isolated from sourdough: Effect of fermentation time on dough machinability*. 2020, **129**. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109516
- [73] JAGELAVICIUTE, J. a D. CIZEIKIENE. The influence of non-traditional sourdough made with quinoa, hemp and chia flour on the characteristics of gluten-free maize/rice bread. *LWT*. 2021, **137**. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110457
- [74] RUISI, P., R. INGRAFFIA, V. URSO, D. GIAMBALVO, A. ALFONZO, O. CORONA, L. SETTANNI, A. S. FREANDA. Influence of grain quality, semolinas and baker's yeast on bread made from old landraces and modern genotypes of Sicilian durum wheat. *Food Research International*. 2021, **140**. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110029
- [75] ZHANG, Y., B. WANG, W. WANG, H. WANG, X. LIU, H. ZHANG. Study on the mechanism of ultrasonic treatment impact on the dough's fermentation capability. *Journal of Cereal Science*. 2021. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103191
- [76] VILLANUEVA, M., W. ABEBE, C. COLLAR a F. RONDA. Tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] variety determines viscoelastic and thermal properties of gluten-free dough and bread quality. *LWT*. 2021, **135**. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110065
- [77] MASBERNAT, L., S. BERLAND, G. ALMEIDA a C. MICHON. Stabilizing highly hydrated wheat flour doughs by adding water in two steps. *Journal of Cereal Science*. 2021, **98**. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103179
- [78] FÖSTE, M., C. VERHEYEN, M. JEKLE a T. BECKER. Fibres of milling and fruit processing by-products in gluten-free bread making: A review of hydration properties, dough formation and quality-improving strategies. *Food Chemistry*. 2020, **306**. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125451
- [79] FAN, J.-L., N. HAN a H.-Q. CHEN. Physicochemical and structural properties of wheat gluten/rice starch dough-like model. *Journal of Cereal Science*. 2021, **98**. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103181

- [80] ROSENTRATER, K. A. a A. D. EVERS. Flour treatments, applications, quality, storage and transport. *Kent's Technology of Cereals - An Introduction for Students of Food Science and Agriculture*. 5. vydání. Elsevier, 2018, s. 567-622. ISBN 978-0-08-100529-3.
- [81] OZTURK, S., K. KAHRAMAN, B. TIFTIK a H. KOKSEL. Predicting the cookie quality of flours by using Mixolab. *European Food Research and Technology*. 2008, **227**(5), 1549-1554. Dostupné z: doi:10.1007/s00217-008-0879-x
- [82] SINGH, N., J. SINGH, L. KAUR, N. SINGH SODHI a B. SINGH GILL. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*. 2003, **81**(2), 219-231. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8
- [83] CODINĂ, G. G., S. MIRONEASA, D. BORDEI a A. LEAHU. Mixolab Versus Alveograph and Falling Number. *Czech Journal of Food Science*. 2010, **28**(3), 185-191. Dostupné z: doi:doi.org/10.17221/169/2008-CJFS

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

-SS-	disulfidová vazba
CO ₂	oxid uhličitý
ppm	parts per million (jedna miliontina celku)
THC	Δ-9-tetrahydrokanabinol
HPMC	hydroxypropylmethylcelulóza
R	retenční koeficient
H'm	maximální výška těsta
T'1	čas dosažení maximální výšky
Tx	čas zahájení úniku plynu z těsta
A1+A2	celkový objem vzniklého plynu
A2	objem uvolněného plynu
A1	objem plynu zadržného v těstě
T1	maximální doba vývoje těsta
Hm	maximální výška vývoje těsta
T2 a T'2	relativní doba potřebná ke stabilizaci v maximálním bodě umístěném ve výšce 0,88 Hm, aniž by byla tato doba nižší než Hm – 6 mm
ΔT2	odolnost těsta
(Hm – h)/Hm	procento poklesu vývoje těsta po 3 hodinách měření ve srovnání s maximální dobou vývoje
h	výška vývoje těsta na konci měření
FU	farinografická jednotka
C1 – C5	charakteristické body na křivce, vymezují oblasti 1 – 5
α, β, γ	směrnice křivky Mixolabu
ST	doba stability těsta
DT	doba vývinu těst
DS	stupeň změknutí

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Křivka úniku plynu z těsta [60]	38
Obr. 2: Křivka průběhu vývinu těsta [60]	39
Obr. 3: Výsledná křivka měření na Mixolabu [65]	41
Obr. 4: Výstup z farinografického měření. Upraveno podle [67]	42

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Použité druhy mouk.....	36
Tab. 2: Výsledky měření obsahu vlhkosti a čísla poklesu	44
Tab. 3: Výsledky úniku kypřicího plynu během fermentace.....	45
Tab. 4: Výsledky průběhu vývinu těst během fermentace.....	48
Tab. 5: Výsledky měření vlastností těsta ve farinografickém režimu	49
Tab. 6: Charakteristika vzorků mouky v režimu Mixolab.....	51

