

Vliv granulace bezlepkových mouk na fyzikální vlastnosti těsta a pečiva

Bc. Ľubomíra Rybářová

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav analýzy a chemie potravin

akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lubomíra Rybářová**

Osobní číslo: **T14762**

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

Studijní obor: **Technologie potravin**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Vliv granulace bezlepkové mouky na fyzikální vlastnosti těsta a pečiva**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Charakterizujte jednotlivé druhy pseudocereálií a vybrané druhy cereálií.
2. Popište chemické složení a využití pseudocereálií a cereálií.
3. Charakterizujte fyzikální vlastnosti těst.

II. Praktická část

1. Popište použitý materiál a metodiku tažnosti bezlepkových těst.
2. Provedte popis získaných výsledků.
3. Porovnejte získané výsledky s výsledky publikovanými v literatuře.
4. Zformulujte závěr plynoucí z práce.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] BELTON, P.; TAYLOR, J.: Pseudocereals and less common cereals: grain properties and utilization potential. New York: Springer, 2002, xviii, 269 p. ISBN 3540429395.

[2] TERMONIA, Yves; SMITH, Paul. Kinetic model for tensile deformation of polymers. *Macromolecules*. 1987, vol. 20, issue 4, 835-838 p. DOI: 10.1021/ma00170a023. ISSN 0024-9297.

[3] BUREŠOVÁ, Iva, KRÁČMAR, Stanislav, DVOŘÁKOVÁ, Petra; STŘEDA Tomáš. The relationship between rheological characteristics of gluten-free dough and the quality of biologically leavened bread. *Journal of Cereal Science*. 2014, vol. 60, issue 2, 271-275 p. DOI: 10.1016/j.jcs.2014.07.001. ISSN 07335210.

[4] BILIADERIS, Costas G.; IZYDORCZYK, Marta S.; RATTAN, Onkar. Effect of arabinoxylans on bread-making quality of wheat flours. *Food Chemistry*. 1995, 2015-11-13, vol. 53, issue 2, 165-171 p. DOI: 10.1016/0308-8146(95)90783-4. ISSN 03088146.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lucie Masaříková

Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce:

20. ledna 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

29. dubna 2016

Ve Zlíně dne 20. ledna 2016



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



Ing. Jiří Mlček, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 28.4.2016



.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce popisuje v teoretické části celiakii a bezlepkovou dietu, dále plodiny vhodné na výrobu bezlepkové mouky, a to z hlediska chemického složení a využití. Ve třetí části jsou popsány fyzikální vlastnosti těsta, jako je pružnost, tažnost, stabilita a viskozita. Praktická část se zabývá stanovením reologických vlastností bezlepkového těsta vyrobeného z jednodruhových mouk v závislosti na jejich různé granulaci a přídavku vody přepočteného na sušinu mouky na texturním analyzátoru TA.XT plus. V poslední části práce jsou popsány a vyhodnoceny výsledky.

Klíčová slova: bezlepkové mouky, celiakie, těsto, granulace, reologie, tažnost

ABSTRACT

In the theoretical part, the thesis describes the celiac disease and the gluten-free diet, as well as plants suitable for the production of gluten-free flours, in terms of chemical composition and usage. In the third section it describes the physical properties of the dough, such as flexibility, elongation, stability, and viscosity. The practical part deals with determining the rheological properties of gluten-free dough made of single unmixed flour, according to its various granulation and water content to flour ratio obtained using the TA.XT Plus Texture Analyser. The results are described and evaluated in the last part.

Keywords: gluten-free flour, celiac disease, dough, granulation, rheology, extensibility

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí diplomové práce Ing. Lucii Masaříkové za odborné vedení a doc. RNDr. Ivě Burešové, Ph.D. za připomínky, kterými mi pomáhaly při zpracování této práce.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 CHARAKTERISTIKA LEPKU A CELIAKIE	12
1.1 LEPEK.....	12
1.2 CELIAKIE.....	13
1.3 PEČIVO V BEZLEPKOVÉ DIETĚ.....	14
2 SUROVINY PRO VÝROBU BEZLEPKOVÝCH MOUK	16
2.1 CEREÁLIE	17
2.1.1 Rýže.....	17
2.1.2 Proso.....	19
2.1.3 Kukuřice.....	20
2.2 PSEUDOCEREÁLIE.....	21
2.2.1 Pohanka	21
2.2.2 Quinoa	23
2.2.3 Amaranť.....	24
2.3 LUŠTĚNINY.....	26
2.3.1 Cizrna	26
2.3.2 Lupina – vlčí bob.....	27
3 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI TĚSTA	29
3.1 PRUŽNOST	30
3.2 TAŽNOST	31
3.3 STABILITA	31
3.4 VSKOZITA	33
II PRAKTICKÁ ČÁST	35
4 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	36
5 METODIKA	37
5.1 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH SUROVIN	37
5.2 PŘÍPRAVA VZORKŮ.....	37
5.3 MĚŘENÍ NA PŘÍSTROJI TA.XT PLUS.....	37
5.4 STATISTICKÁ ANALÝZA	40
6 VÝSLEDKY A DISKUZE	42
6.1 RÝŽOVÁ MOUKA	43
6.2 KUKUŘIČNÁ MOUKA.....	46
6.3 JÁHLOVÁ MOUKA	48
6.4 POHANKOVÁ MOUKA.....	49
6.5 MOUKA Z QUINOY	52
6.6 AMARANTOVÁ MOUKA.....	53
6.7 CIZRNOVÁ MOUKA	55
6.8 LUPINOVÁ MOUKA	57
ZÁVĚR	60

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	61
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	70
SEZNAM OBRÁZKŮ	71
SEZNAM TABULEK.....	72

ÚVOD

Přibývá stále víc pacientů trpících celoživotně trvajícím autoimunitním onemocněním nazývaným celiakie. Dodnes je za jedinou účinnou léčbu tohoto onemocnění považováno přísné dodržování bezlepkové diety. Za největší omezení této diety lze považovat zákaz konzumace pečiva vyráběného z pšenice a nutnost jej nahrazovat pečivem z alternativních surovin neobsahujících lepek. Lepek je však nejdůležitější složkou těsta zodpovídající za jeho strukturu a jedinečné viskoelastické vlastnosti, které zaručují jeho správné chování při kynutí, pečení, a tím z velké míry zodpovídají i za kvalitní finální výrobek. Vzhledem k absenci této klíčové složky je technologie výroby bezlepkového pečiva do dnešní doby doprovázena komplikacemi, které se mimo jiné projevují jeho zhoršenou texturou a mnohdy i neuspokojivou chutí. [1]

Zkoumání surovin vhodných na výrobu bezlepkového pečiva je stále aktuálním tématem, které je důležité nejen z hlediska teoretického, ale hlavně z hlediska praxe, kde může pomoci k optimalizaci technologie výroby a také zvýšení kvality tohoto typu pečiva.

Tato práce se zabývá zkoumáním těsta vyrobeného z více typů mouky rýžové, kukuřičné, jáhlové, pohankové, amarantové, cizrnové, lupinové a mouky z quinoj. Všechny tyto mouky splňují požadavky na bezlepkovou surovinu. V praktické části bylo provedeno měření reologických vlastností těsta na texturním analyzátoru TA.XT plus. Tento přístroj prostřednictvím jednoosého tahového namáhání, které je prováděno za účelem měření hodnot extenzografických veličin umožňuje predikci schopnosti těsta udržet v sobě vznikající plyn, což je vlastnost klíčová pro výrobu kvalitního pečiva.

V této práci byla jako hlavní parametr určující vlastnost mouk brána jejich granulace. Je to parametr určen v rámci výroby mouky, a to v procesu mletí a následného prosévání sítem o definované velikosti ok. Cílem diplomové práce tedy bylo zhodnotit, zda má rozdílný stupeň granulace bezlepkových mouk významný vliv na fyzikální vlastnosti tohoto těsta.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CHARAKTERISTIKA LEPKU A CELIAKIE

1.1 Lepek

Pšeničná mouka je nepostradatelnou surovinou v pekařství a pekárenství, a to díky svým vlastnostem, z nichž nejdůležitější je schopnost tvořit lepek. Lepek neboli gluten je gel vznikající v pšeničné mouce po přidavku vody a hnětení těsta. Je tvořen směsí dvou frakcí bílkovin: prolaminu (v pšenici nazývaného gliadin) a glutelinu (v pšenici nazývaného glutenin), které se společně se škrobem nacházejí v endospermu semen pšenice a jsou v lepku zastoupeny přibližně v poměru 2 : 3. [2, 3]

Gliadiny jsou jednoduché monomerní proteiny patřící do skupiny v alkoholu rozpustných proteinů. Jsou bohaté na aminokyseliny glutamin a prolin, ovlivňují hlavně tažnost a viskozitu těsta. Na těsto však mají, na rozdíl od gluteninů, spíše modifikační účinky. [4]

Gluteniny dávají těstu pružnost a pevnost. Jsou rozpustné v roztoku kyselin a zásad, působením tepla koagulují. Mají výrazně vyšší relativní molekulovou hmotnost než gliadiny, obvykle okolo 2 000 kDa. Jsou tvořeny polypeptidovými řetězci spojenými disulfidickými vazbami do polymerních makromolekul. Dávají lepku jeho typické viskoelastické vlastnosti. [4]

Lepek je klíčovou složkou při výrobě pečiva. Vytváří trojrozměrnou viskoelastickou síť, která je nosnou strukturou těsta, což zapříčiňuje, že při kynutí je možné v těstě zadržovat oxid uhličitý ve vznikajících pórech a tím zvětšovat objem pečiva. Tato síť se vytváří prostřednictvím vznikajících vazeb mezi gluteninovými molekulami, kde se uplatňují disulfidické, vodíkové vazby, hydrofobní a iontové interakce aminokyselin. [3, 5] Na vlastnostech těsta se dále významně podílí také škrob ve své hydratované formě, který ovlivňuje množství vázané vody a tím i vláčnost těsta. Na vlastnosti výsledného produktu mají vliv i lipidy, arabinoxylany a ostatní bílkoviny obsažené v mouce. [6, 7]

Naproti tomu kvalita bezlepkového těsta je ovlivněna obsahem a vlastnostmi polysacharidů, a to hlavně arabinoxylanů. Ve vodě rozpustné vysokomolekulární arabinoxylany mají výrazný vliv na technologické vlastnosti mouk, protože v těstě vážou velké množství vody a vstupují také prostřednictvím zbytků kyseliny ferulové do interakcí s proteiny. Těmito svými schopnostmi modifikují fyzikální vlastnosti těsta, jako je viskozita, zvyšují výtěžnost těsta a objem pečiva. [8, 9, 10]

1.2 Celiakie

Celiakie (celiakální sprue, glutenová enteropatie) je chronické geneticky podmíněné autoimunitní onemocnění.

Příčinou zánětlivých změn na sliznici střeva, typických pro tento druh onemocnění, je hypersenzitivní reakce na prolaminovou frakci obilných bílkovin, přesněji na gliadin (za nejrizikovější je považován α/β -gliadin) v pšenici, dále secalin v žitě a hordein v ječmeni. Předpokládá se, že celiakii způsobují dvě konkrétní sekvence aminokyselin v těchto proteinech: Prolin-Serin-Glutamin-Glutamin a Glutamin-Glutamin-Glutamin-Prolin. [4, 11]

Patofyziologie tohoto geneticky podmíněného onemocnění spočívá v defektu na 6. chromozomu kódujícím antigeny DQ2 a DQ8. U lidí trpících intolerancí lepku přechází gliadin ve velké míře do sliznice střeva. Ve střevě enzym transglutamináza část gliadinu deaminuje, tím vznikají nové peptidy, které se váží na buňky prezentující antigen mající na svém povrchu navázaný antigen DQ2 nebo DQ8. Antigen prezentující buňky dávají informaci T-lymfocytům, které spouští alergenní odezvu. Při této odezvě dochází k napadení buněk sliznice jejunu a atrofickému zánětu. [11, 12]

Celiakie může mít symptomatickou nebo asymptomatickou formu. Častěji se vyskytující asymptomatická - tichá forma, je charakterizovaná histologickými změnami na střevních klkách, v krvi jsou přítomny tzv. markery celiakie (specifické protilátky), avšak jiné zjevné symptomy se neobjevují. [13, 14]

Klinicky rozvinutá forma této nemoci se kromě atrofie střevních klků vyznačuje i dalšími příznaky, jako je například ztráta hmotnosti, bolesti v oblasti břicha, průjemy, nebo zácpa, anémie, únava, bolesti kostí a defekty zubů. Jako důsledek celiakie se mohou objevit osteomalacie, osteoporóza, lymfom střeva či Duhringova dermatitida. [11]

Tato nemoc se vyskytuje celosvětově u všech věkových kategorií pacientů, nejčastěji je však diagnostikována u dětí. Četnost výskytu v populaci je asi 3 postižení na 1000 obyvatel. Riziko celiakie v rodinách, kde se toto onemocnění už vyskytlo, je asi 10 %. Relativně velký je také počet nediodagnostikovaných případů tohoto onemocnění, a to hlavně z důvodu absence typických symptomů. [15]

1.3 Pečivo v bezlepkové dietě

Za jedinou efektivní léčbu celiakie je dodnes považováno přísné celoživotní vyloučení potravin obsahujících lepek, tedy tzv. bezlepková dieta. Samotná bezlepková dieta potom předepisuje permanentní vyloučení všech pšeničných, žitných a ječmenných potravin, což jsou hlavně pečivo, těstoviny a podobně.

Jako náhradu pšeničné mouky, pečiva z ní vyrobeného a jiných rizikových potravin je možné použít přirozeně bezlepkových mouk z pseudocereálií, jako je pohanka, merlík, amarant, i mouk z cereálií neobsahujících lepek, jsou to proso, rýže, kukuřice nebo mouky luštěnin, tedy například cizrny nebo sóji. [16]

Bezlepkové pečivo je vhodnou alternativou pečiva z pšeničné mouky. Toto pečivo však často nedosahuje kvality klasického pečiva, a to z několika důvodů. Kromě toho, že toto pečivo může být neuspokojivé chuti a problematická může být také někdy jeho dostupnost, ztížená je ve všeobecnosti i jeho výroba. Ve značné míře je tento problém způsoben méně vhodnými technologickými vlastnostmi surovin, které se na výrobu tohoto pečiva používají. Alternativní suroviny, z kterých se bezlepkové pečivo vyrábí, nejsou schopné vytvářet dostatečně kvalitní viskoelastickou síť, která by udržela plyn vznikající při kypření. Těsto bez obsahu lepku může vykazovat spíše roztékavou konzistenci, po upečení drobnou strukturu střídy, nevhodnou barvu, sníženou trvanlivost způsobenou rychlým vysycháním a další nedostatky finálního produktu. Aby se tyto negativní jevy vyplývající z vlastností použitých surovin minimalizovaly, je dnes často aplikováno míchání různých druhů mouk a škrobů do směsí o žádaných vlastnostech. Dalším způsobem jak dosáhnout optimálních vlastností zpracovávaného těsta je nahrazení lepkového gelu buď jiným druhem proteinů (sojový, mléčný), nebo také přidavek rostlinných gum a hydrokoloidů schopných tvořit gel, například hydroxypropylmethylcelulóza, guma ze svatojánského chleba, guarová guma, karagenan, xantanová guma nebo agar, dále přidavek prebiotik a jejich kombinace. Jejich využití zabezpečuje větší objem vytvořeného pečiva a další potřebné vlastnosti. Jako neoptimálnější z používaných přídatných látek se dle různých výzkumů ukazuje 1 až 3% přidavek xantanové gumy. [1, 17]

Způsob, kterým je bezlepkové pečivo, a celkově všechny druhy potravin vhodné pro bezlepkovou dietu, označováno, stanovuje Nařízení (ES) č. 41/2009, které upravuje označování potravin vhodných pro osoby s nesnášenlivostí lepku. Udává, že potraviny označené údajem „BEZ LEPKU“ mohou obsahovat nejvýše 20 mg/kg lepku (pro účely tohoto

nařízení je za lepek považována bílkovinná frakce z pšenice, žita, ječmene, ovsa nebo jejich kříženců, která je nerozpustná ve vodě a 0,5 M roztoku chloridu sodného). Toto označení je velmi často na obalu doplněno obrazovým symbolem přeškrtnutého klasu (obr. 1). [18]



*Obr. 1. Mezinárodní označení
bezlepkových potravin [19]*

2 SUROVINY PRO VÝROBU BEZLEPKOVÝCH MOUK

Mouka pro bezlepkovou dietu se vyrábí ze semen plodin, které jsou díky absenci problematických složek pro celiatiky považovány za bezpečné. Jednotlivé druhy mouk vyrobené z těchto plodin se mezi sebou liší mnoha charakteristickými znaky, které zásadním způsobem ovlivňují její technologické vlastnosti. Kromě chemického složení, které determinuje právě použitá plodina, je důležitá také její granulace, tedy velikost částic tvořících mouku. Stupeň granulace určuje velikost povrchu vzhledem k hmotnostní jednotce mouky. Velikost granulace jednotlivých kategorií pšeničné mouky udává Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 333/1997 Sb. v platném znění, jako velikost podílu částic, které propadají sítem o stanovené velikosti ok (tab. 1). [20]

Tab. 1. Granulace mouky dle vyhlášky 333/1997 Sb. [20]

Podskupina	Granulace [velikost ok v μm / % propadu]
Mouky hladké	257 / nejméně 96 - 162 / nejméně 75
Mouky polohrubé	366 / nejméně 96 - 162 / nejvýše 75
Mouky hrubé	485 / nejméně 96 - 162 / nejvýše 15
Mouky celozrnné	2800 / nejméně 96

Škrob představuje nejvíce zastoupenou a velice důležitou složkou mouky, která je také nejmarkantněji ovlivněna právě stupněm granulace mouky. Je to přírodní polymer složený z polysacharidů amylozy (rozpustná ve vodě) a amylopektinu (ve vodě jen bobtná). V semenech se nachází v podobě semikrystalických škrobových granulí, které jsou ve studené vodě nerozpustné, ale pouze mírně a pozvolna bobtnají. Při přípravě mouky mletím dochází k částečnému poškození těchto granulí, které závisí také na stupni vymletí mouky. Předpokládá se, že toto poškození granulí má značný vliv na konečné vlastnosti mouk a je doprovázeno zvýšením schopnosti absorpce vody při výrobě těsta. Absorpce vody se mění z 0,5 násobku sušiny škrobu u nepoškozeného na 3 až 4násobek u škrobu poškozeného. Zvyšuje se také rozpustnost škrobu. I když je přítomnost poškozených škrobových granulí žádoucí, při velkém rozsahu poškození mohou vznikat nízkomolekulární sacharidy, které

vedou ke zhoršení zpracovatelnosti a zvýšení lepivosti těsta. Výsledkem může být chléb s lepkavou a gumovitou střídou, s velkým sklonem ke zhroucení. [3, 4, 21]

2.1 Cereálie

Jako obiloviny, neboli cereálie, jsou označována semena obilnin, jednoděložných rostlin patřících botanicky mezi traviny (*Gramineae*), přesněji do čeledi lipnicovité (*Poaceae*). Díky své botanické příbuznosti je morfologická skladba zrna u všech druhů využívaných obilovin velmi podobná. Zrna se ale liší tvarem a velikostí, hmotností, podílem jednotlivých obalových vrstev, ale také v podílu zastoupení jednotlivých obsahových látek. I mezi odrůdami stejného druhu potom existují odchylky v chemickém složení, které mají klíčový vliv na zpracovatelské upotřebení těchto plodin. [3]

2.1.1 Rýže

Rýže (*Oryza sativa* L) je hlavní potravinou pro téměř dvě třetiny světové populace. Představuje z hlediska objemu produkce nejrozšířenější obilovinu. Jedná se o roční travu náročnou na dostatek závlahy, produkující pluchatá zrna pokrytá tuhými, převážně celulosovými obaly. Jejimi největšími producenty jsou Čína a Indie, ale pěstuje se i v jiných asijských a afrických zemích, v menší míře i v Americe. [3, 4, 7, 22]

Zrno rýže se v České republice rozděluje podle vyhlášky Ministerstva zemědělství č.333/1997 Sb. v platném znění dle poměru délky a šířky na dlouhozrnnou, střednězrnnou a kulatozrnnou rýži a dle přítomnosti obalových vrstev na rýži neloupanou, pololoupanou a loupanou. [19]

Chemické složení

Neloupaná rýže obsahuje v závislosti na varietě asi 60 až 70 % sacharidů, z nichž většinu představuje škrob (velikost škrobových granulí se pohybuje v rozmezí 2 až 10 μm) a přibližně 10 % hrubé vlákniny. Zrno rýže má nižší obsah dusíkatých látek (8 až 10 %). Převážnou část proteinů rýže (asi 75 % z bílkovinné frakce) tvoří gluteliny, v rýži nazývané oryzeniny, které jsou dobře stravitelné a navíc obsahují v porovnání s pšenicí více lyzinu. Dále obsahuje 2,5 % lipidů bohatých na kyselinu olejovou a linolovou, 5 % minerálních

látek a vitamíny skupiny B. Při loupání se odstraní obaly a aleuronová vrstva, čímž klesne obsah vlákniny pod 1 % a odstraní se také množství vitamínu skupiny B spolu s většinou tuků, minerálních látek i fenolických sloučenin, které jsou obsaženy v obalových vrstvách. [23, 24, 25]

Využití

Rýže je na rozdíl od ostatních obilovin primárně konzumovaná jako příloha a jen menší podíl se používá jako výchozí surovina pro výrobu potravin. [7]

Rýžová mouka (obr. 2) je využívána pro výrobu chleba, koláčů a sušenek a nekynutých buchet. V asijských zemích je tradičně používána pro výrobu nudlí, ale i různých druhů pečiva. V Číně se tradičně vyrábí koláče „nenkau“, které kromě několika druhů rýžové mouky a cukru mohou obsahovat i jiné složky, jako je například ředkev. Na Filipínách se vyrábí „puto“, což jsou z rýžové mouky za pomoci biologického kypření v páře vařené dortíky konzumované jako dezert. [26, 27]

Rýžová mouka se stále více používá jako náhrada pšeničné mouky, hlavně při přípravě pečiva pro pacienty s nesnášenlivostí lepku, a to díky svým vlastnostem, jako je nevýrazná chuť, bílá barva, dobrá stravitelnost a hypoalergenita. Nevýhodou této mouky je, že při jejím vyšším přidávku hrozí zrnitá struktura a zvýšená drobivost výrobku. Pro zlepšení technologické kvality je proto nutné přidávat látky, které dané vlastnosti upravují. Jedná se například o xantanovou gumu a karboxymethylcelulózy. Časté je dnes také její míchání s jinými druhy mouk, kde zvyšuje objem a pojivost těsta pro výrobu bezlepkového pečiva. Obzvláště vhodné je ji míchat s moukami s vyšším obsahem bílkovin. Je možné získat i mouku z hnědé rýže, která se navíc vyznačuje vyšší nutriční hodnotou a ořechovou příchutí. [28, 29]



Obr. 2. Bílá a hnědá rýže, rýžová mouka [30, 31]

2.1.2 Proso

Proso seté (*Panicum miliaceum* L.) se do Evropy pravděpodobně dostalo z východu přes Přední Asii. Je pokládáno za nejstarší obilovinu kultivovanou člověkem. Proso patřilo k nejdůležitějším obilninám Slovanů, kteří jej používali na přípravu placek a kaší. V průběhu času bylo jeho pěstování omezeno ve prospěch pěstování výnosnějších plodin. Pěstitelské plochy prosa v konvenčním zemědělství se v České republice odhadují na 300 až 400 ha. V současné době má ale proso hlavní podíl ve výživě řady afrických národů. [2, 32]

Proso je jednoletá samosprašná plodina, květenství je lata různého tvaru. Pluchy tvoří 17 až 22 % hmotnosti obilky. Semena jsou oválná, barva se obvykle pohybuje od bílé k žluté, mohou se vyskytovat až tmavě hnědá semena, a to v závislosti na odrůdě. [7, 32]

Chemické složení

Oloupaná semena prosa, tedy jáhly, obsahují 70 % sacharidů, škrob představuje 52 až 68 % objemu, přičemž průměrná velikost škrobových granulí se pohybuje v rozmezí 0,8 až 10 μm , obsah vlákniny je asi 12 %. Dále jsou zastoupeny proteiny (10 až 11 %) vyznačující se nízkým obsahem lysinu. Proso je v porovnání s pšenicí bohatší na tuk. Obsahuje 0,9 až 4 % tuku, z čehož 0,8 % tvoří mononenasycené a 2,1 % polynenasycené mastné kyseliny, což je také důvodem jeho nižší trvanlivosti. Z minerálních látek je zastoupeno ve větší míře železo a zinek. Jsou přítomny i vitaminy A, B1, B2, B3, B6 a karotenoidy. Mezi fenolické sloučeniny obsažené v prosu patří kyselina ferulová a *p*-kumarová. [4, 7, 25, 32]

Využití

V lidské výživě jsou využívány hlavně jáhly (obr. 3). V asijských a afrických zemích jsou různé druhy prosa konzumovány v podobě kaší, polévek a plochého chleba. S přidavkem mouky z prosa jsou tradičně vyráběny těstoviny v Indii. Jáhlová mouka samotná není vhodná na přípravu kynutého pečiva, protože způsobí jeho hutnou konzistenci. Je možno ji však využít jako přídavek do směsí na výrobu bezlepkového pečiva, kde zlepšuje barvu a obohacuje pečivo i jemně oříškovou chutí. Dále se jáhlová mouka může použít na výrobu sušenek, placek nebo na zahušťování. [7, 33,34,35]



Obr. 3. Jáhly a jáhlová mouka [34]

2.1.3 Kukuřice

Kukuřice (*Zea mays*) je zástupcem skupiny *Maydeae*. Pochází ze Střední a Jižní Ameriky, kde ji pěstovali Aztékové, Mayové a Inkové. V současnosti je největším producentem této jednoleté cizosprašné rostliny USA. Kukuřice patří mezi jednodomé rostliny, samičí pestíkovité květy vytváří palice s hrubou hlavní osou, na které jsou relativně velká zrna uspořádána v řadách.

Kukuřice se podle charakteru endospermu zrna dělí na několik convariet (kukuřice obecná, koňský zub, pukancová, cukrová, škrobnatá, vosková), které se liší svým využitím. Největší význam z hospodářského hlediska má kukuřice koňský zub, kukuřice obecná (tvrdá) a kukuřice polozubovitá. [2, 23, 35]

Chemické složení

Obilky kukuřice obsahují 70 % škrobu, přičemž poměr amylozy a amylopektinu se liší v závislosti na convariete kukuřice. Velikost škrobových granulí (kulatého a hranatého tvaru) se pohybuje od 2 po 30 μm , přičemž za průměr je považováno 10 μm . Semena dále obsahují 8 % tuku, který se skládá převážně z nenasycených mastných kyselin, kyseliny linolové a olejové. Kukuřičné zrno má ze všech obilovin nejvyšší energetickou hodnotu. Kukuřice má nízký obsah dusíkatých látek, jen asi 12 %, z čeho převažují prolaminy (tj. zein) a gluteliny s nízkou biologickou hodnotou. Je bohatá na vitamin E, naopak nízký je obsah minerálních látek. [20, 35]

Využití

Z celkové produkce tvoří jen 10 % kukuřice na zrno, která se využívá v potravinářství, zbytek se využívá jako krmivo a pro průmyslové zpracování. Z mlýnských produktů se využívá kukuřičná mouka (obr. 4) a krupice. Z kukuřičné krupice se vyrábí polenta, sladké kaše nebo se požívá pro výrobu corn-flakes. Mouka se používá do směsí na výrobu pečiva, kde způsobí při přípravě kynutého těsta lepší schopnost vázat vodu a pomáhá vytvoření vyšší vláčnatosti těsta. Dále je vhodná na přípravu bezlepkových piškotů. Vyrábí se z ní také tradiční mexické tortilly a americký chléb. Nevýhodou je její nižší trvanlivost. [23, 34]



Obr. 4. Zrno kukuřice a kukuřičná mouka hladká [37, 34]

2.2 Pseudocereálie

Mezi skupinu plodin nazývaných pseudocereálie se řadí dvouděložné druhy rostlin, které nejsou blízké z botanického hlediska, ale mezi jejich společné znaky patří tvorba malých semen, která díky svému chemickému složení bohatému na škrob mají podobné využití jako obiloviny. Reprezentují je tři druhy: pohanka z čeledi *Polygonaceae*, merlík čilský z čeledi *Chenopodiaceae* a amarant z čeledi *Amaranthaceae*. Pro svou vysokou výživovou hodnotu se stávají nedílnou součástí zdravé výživy. [36]

2.2.1 Pohanka

Pohanka (*Fagopyrum esculentum* Moech.) pochází z Číny, kde je pěstována již přes 3 tisíce let. [7, 32] Jedná se o dvouděložnou jednoletou plodinu produkující velké množství bílých, postupně kvetoucích květů a následně hnědá škrobnatá semena trojúhelníkovitého tvaru, nazývaná nažky (obr. 5). [38] Běžně jsou pěstovány dvě variety pohanky: pohanka setá *Fagopyrum esculentum* a pohanka tatarka (*Fagopyrum tataricum*). [39]

Chemické složení

Pohanka obsahuje asi 55 až 70 % škrobu v sušině nažek, kde je amyulóza a amylopektin zastoupen v poměru přibližně 1:1. Velikost škrobových granulí se pohybuje v průměru od 2 do 14 μm . Benefitem pohanky je obsah rezistentního škrobu, který má podobné účinky jako vláknina a zplošťuje glykemickou křivku, což je velmi výhodné například i pro pacienty trpící onemocněním diabetes mellitus. Obsah celkové vlákniny se pohybuje v rozmezí 3,4 až 5,2 %. [38, 40]

Bílkoviny pohanky jsou v nažkách zastoupeny v 13,5 % a jsou z většiny prezentovány globulinovou (40 % z celkových proteinů) a albuminovou frakcí proteinů, ale jen velmi malým obsahem prolaminů (do 1,9 % z celkového obsahu proteinů). Mají vysokou nutriční hodnotu v důsledku relativně vysokých hladin lysinu a argininu. Jejich stravitelnost je však snížena kvůli obsahu anitnutričních látek, jako jsou inhibitory proteáz a taniny. [36, 41, 42, 43]

Tuk se v semenech nachází hlavně v klíčku a endospermu a je zastoupen 1,5 až 3,7 %. Tuky pohanky obsahují z 80 % nenasycené mastné kyseliny a více než 40 % z nich představují polynenasycené mastné kyseliny. Nažky pohanky jsou také významným zdrojem minerálních látek, jako je zinek, měď, mangan, selen, draslík, sodík, vápník, hořčík, a vitamíny B1 a B2, C a E. [40]

Mezi hlavní antioxidanty semen patří bioflavonoid rutin. Obecně se jeho obsah v nažkách udává 14,05 až 18,5 mg na 100 g sušiny. Rutin snižuje obsah cholesterolu v krvi a tím má pozitivní vliv na snížení rizika vzniku kardiovaskulárních onemocnění. Stimuluje také využití vitamínu C. Další významnou látkou pohanky je resveratrol, který snižuje krevní tlak a působí jako prevence vzniku rakoviny tlustého stěva. [43, 44]

Využití

Pohanka je dnes pěstována hlavně pro lidskou výživu, nejčastěji se využívá ve formě krup, lámanky, kaší a mouky. Využití mouky se může lišit v závislostech na různých zemích a jejich zvycích. V mnoha zemích se využívá pro výrobu nudlí, v Americe je využívána ve směsi s pšeničnou moukou jako surovina pro výrobu „palačinek“. V Rusku se z pohankové mouky vyrábí kaše, polévky a typické palačinky „blíny“. Z pohanky se dále vyrábí parathas a chapattis (plochý chléb typický pro indickou kuchyni). [45]

Pohanková mouka se vyznačuje výraznou chutí, její použití dodává pečivu celozrnnou texturu. Při výrobě bezlepkového chleba lze přidávat mouku v množství 10 až 30 % na suchou směs. Uplatnění při výrobě tohoto pečiva mají i pohankové slady, a to v přidávku 10 až 20 %. Do bezlepkových výrobků je možné přidávat také koncentrát bílkovin z pohanky. [4, 29]



Obr. 5. Plod pohanky- nažka a pohanková mouka

[46, 47]

2.2.2 Quinoa

Merlík čilský (*Chenopodium quinoa* W), nazývaný též quinoa, pochází z oblasti And, kde byl pěstován již Inky. V dnešní době jsou za největší producenty této plodiny považovány státy Bolívie, Peru a Ekvádor. Semena merlíku jsou malé světlé nažky (obr. 6), mohou se však vyskytovat semena růžové či hnědé barvy. Mají oválný tvar a velikost 1,8 až 2,6 mm. [36]

Chemické složení

Obsah sacharidu se pohybuje v rozmezí 67 až 74 %, škrob tvoří asi 52 až 60 %. Škrobové granule se vyznačují velmi malou velikostí, pohybující se mezi 0,5 až 3 μm . Dále semeno quinoy obsahuje 3,5 až 4,5 % vlákniny a 14,6 % proteinů bohatých na lyzin a methionin. Mezi nejvíce zastoupenou frakci proteinů patří globuliny – chenopodin a dále frakce albuminů. Naproti tomu prolaminy tvoří asi jen 0,5 až 7 % z celkových bílkovin. Protein quinoy je z hlediska aminokyselinového složení považován za nejhodnotnější rostlinný protein a pro svojí výživovou hodnotu je srovnávaný s kaseinem. Tučky představují asi 6 až 8 % sušiny semene, kde kyselina linolová tvoří přibližně polovinu zastoupených mastných kyselin. Quinoa je dobrým zdrojem riboflavinu, thiaminu a kyseliny listové. Semena jsou bohatým zdrojem flavonoidů, obsahují však také saponiny, které mohou způsobit nahořklou chuť. Popel

tvoří 3,4 % sušiny, obsahuje vysoké koncentrace vápníku, dále železo, zinek, měď a mangan. [2, 6, 13, 25]

Využití

Využívají se celá semena merlíku jako náhrada rýže, ale hlavní je produkce mouky. Kromě výroby nudlí je mouka z quinoy vhodná pro rozličné pekařské výrobky. Je možné ji použít maximálně v množství do 20 až 30 % v suché směsi. Vzhledem k nízkému obsahu prolaminů a vyššímu obsahu amylozy by vyšší přídavek této mouky způsobil snížení objemu a zvýšení tuhosti těsta. [4, 48]



Obr. 6. Semena a mouka z quinoy [49, 34]

2.2.3 Amarant

Amarant (*Amaranthus L.*), nazývaný také laskavec, patří do třídy *Dicotyledon*, řádu *Caryophyllales*, čeledě *Amaranthaceae*. Pojem amarant je souhrnným označením rostlin rodu laskavec, který zahrnuje celkem asi 60 druhů. V 16. století byl jednou z nejrozšířenějších plodin, po kukuřici a fazolu. Později však množství jeho produkce výrazně kleslo a donedávna se považoval především za okrasnou rostlinu, případně za plevel. Pěstování amarantu na semeno však bylo v průběhu několika posledních desetiletí zase obnoveno. Pro produkci semen se v současné době používají druhy *A. cruentus*, *A. caudatus*. a *A. hypochondriacus* nebo kříženci *A. hypochondriacus* x *A. hybridus*. Pěstuje se hlavně v Mexiku, Střední a Jižní Americe, což jsou zároveň oblasti jeho původu. [2, 50]

Tento druh rostliny se vyznačuje produkcí obrovského množství semen (až 500 000). Tyto drobné nažky dosahují velikosti do 1,7 mm, u kulturních odrůd jsou béžové barvy (obr. 7). [2, 4]

Chemické složení

Chemické složení se může v závislosti na druhu amarantu lišit. Sacharidy tvoří průměrně asi 62 % sušiny semen, podíl vlákniny může být od 5,4 po 24,6 %. Zastoupení škrobu, soustředěného převážně v perispermu, je v porovnání s obilovinami poněkud nižší. Škrobové granule jsou velmi malé, 1 až 3 μm , a jsou seskupeny do útvarů o průměru 50 až 90 μm . Škrob je tvořen z 90 % amylopektinem, což omezuje jeho využití coby suroviny na výrobu pečiva. Obsah bílkovin bohatých na lyzin se pohybuje v rozmezí 18 až 38 % a tyto bílkoviny jsou z hlediska zastoupení aminokyselin velmi kvalitní. Zastoupeny jsou frakce: albuminy, globuliny i gluteliny, a to ve stejném poměru. Je také zdrojem vitamínu B2 a vitamínu E. Obsahuje nezanedbatelné množství vápníku, hořčíku, draslíku a významný je i vyšší obsah železa. Amarantový tuk se vyskytuje ve 1,3 až 10,6 % a v převážné většině případů je představován kyselinou linolovou, olejovou a linolenovou. Z celkového množství lipidů tvoří 7 až 8 % skvalen snižující hladinu cholesterolu v krvi a působící také jako antioxidant. Hlavní fenolové sloučeniny nalezené v semenech jsou kyselina kávová, kyselina p-hydroxybenzoová a kyselina ferulová. [2, 7, 13, 50]

Využití

Amarant se využívá v podobě pufovaného zrna do různých cereálních směsí. Dále se ze semen získává mouka, která se používá do směsí na výrobu pečiva, sušenek a speciálních druhů chleba, zejména druhů nekvašených. Obsah této mouky by neměl ve směsi přesáhnout 30 % hmotnosti. Při vyšším zastoupením by mohlo dojít k velkému poklesu objemu a kvůli své charakteristické kořeněné chuti by mohla mouka způsobit i zhoršení chuťových vlastností výsledného produktu. Ve směsi s kukuřicí nebo rýží je možno amarantovou mouku zpracovávat extruzí. [4, 34, 36]



Obr. 7. Semena amarantu a amarantová mouka [34, 51]

2.3 Luštěniny

Jako luštěniny se označují suchá semena luskovin. Luskoviny jsou jednoleté rostliny patřící do čeledi bobovitých (Fabaceae). Z této rozsáhlé čeledi je pro potravinářské účely využíváno asi 60 druhů. Luštěniny se ve všeobecnosti vyznačují vysokým obsahem hodnotných proteinů (16 až 50 %) a také sacharidů, což se projevuje na jejich dobré schopnosti nasycení konzumenta. Průměrná světová spotřeba luštěnin činí asi 7 kg/rok na osobu, i když v závislosti na zemi výrazně kolísá. [52, 53]

2.3.1 Cizrna

Cizrna beraní (*Cicer arietinum L.*) je pátou nejvýznamnější pěstovanou luskovinou. Pěstuje se v Asii, Jižní Evropě, Americe i Africe, kde pomáhá svými vysoce kvalitními proteiny nahrazovat příjem bílkovin. Je to jednoletá rostlina s lodyhou keříčkovitého tvaru. V lusku se nachází jedno nebo dvě semena. Pěstovány jsou dva druhy cizrny nazývané kabuli a desi. Cizrna kabuli (obr. 8.) má světle zbarvená semena a je využívána v potravinářství. Cizrna desi je určena na krmivářské účely, semena jsou menší, tmavší barvy. [35, 54]

Chemické složení

Sušinu semen cizrny tvoří asi 63 % sacharidů, z čehož přibližně 50 % představuje škrob, jehož granule mají průměrně velikost 17,9 μm a patří mezi pro luštěniny charakteristický C-typ granulí. [55] Dále obsahuje 22 % bílkovin s vysokým obsahem lysinu. Tuk tvoří 4,5 % a má vysoký podíl kyseliny linolové a linolenové. Obsah vlákniny je vyšší díky masivnějšímu osemení a pohybuje se mezi 5 až 19 %. Cizrna je bohatým zdrojem vápníku a železa. Stejně jako ostatní luštěniny obsahují i semena cizrny antinutriční látky, jako jsou inhibitory proteáz, které nepříznivě ovlivňují stravitelnost. Cizrna je jediná luštěna, u které se vyskytuje, i když v menším množství vitamín C, je ovšem bohatá na vitamín A. [4, 23, 56]

Využití

Cizrna může být konzumována jako celá zrna, v podobě různých pomazánek nebo se z ní připravuje cizrnová mouka. Ve Středomoří se připravuje kaše nebo pražená cizrna. Je používána v Italské kuchyni na výrobu placek nazývaných socca. Cizrnová mouka má světle žlutou bar-

vu a jemně oříškovou chuť. Je vhodná na výrobu sladkých dezertů, sušenek, hlavně s malým přídatkem pšeničné mouky. Jako součást směsi při výrobě chleba je možné, při zachování optimálních vlastností výsledného produktu, přidat 10 % cizrnové mouky. [4, 57]



Obr. 8. Semena a mouka z cizrny [58, 59]

2.3.2 Lupina – vlčí bob

Lupina (*Lupinus L.*) neboli vlčí bob je minoritně využívaný druh luštěniny. Pro lidskou spotřebu je využívána lupina bílá, žlutá a v malé míře i lupina modrá. V současné době je hlavním producentem lupiny Austrálie, která se podílí přibližně na 80 % světové produkce této plodiny. Plodem je lusk, který se vyznačuje dlouhým tvarem a obsahuje v průměru 4 až 8 semen. Semeno je světlé barvy velké a zploštělé (obr. 9). [60]

Chemické složení

Semena lupiny obsahují 15 až 45 % bílkovin, 40 % vlákniny a 10 až 20 % tuku s vysokým obsahem kyseliny linolové a linolenové. Naopak obsah škrobu je v porovnání s ostatními luštěninami jen velmi malý (1 až 2 %). Z minerálních látek je významně zastoupen hořčík, draslík a železo. Velmi nízký je obsah sodíku. Mezi vitamíny obsažené v lupině patří kyselina listová, vitamin B1, méně ostatní vitamíny skupiny B. Významný je však vysoký obsah antioxidantů a emulgačních látek. [4, 60]

Využití

Ze semen lupiny lze vyrobit mouku nažloutlé barvy s charakteristickou vůní a chutí, která je vhodná do pekařských směsí, k výrobě těstovin a cukrářských výrobků. Mouka z lupiny má vysoký obsah bílkovin kombinovaný s nízkým obsahem tuku, což je vlastnost, díky které

dokáže prodloužit spotřebitelskou trvanlivost pekařských výrobků. Přidává se (v množství až 20 %) do snacků, těstovin, chleba, sušenek, instantních výrobků a bezlepkových výrobků. Z důvodu obsahu emulgačních látek dokáže částečně nahradit v pečivu i vejce. [4, 60]



Obr. 9. Lupina a lupinová mouka [34, 6]

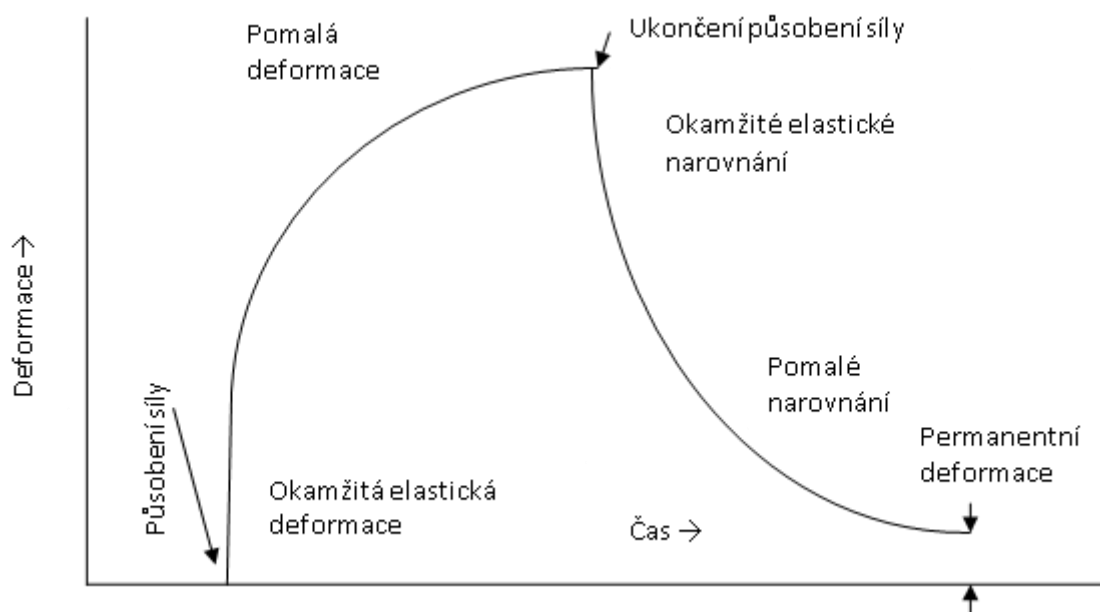
3 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI TĚSTA

Oblast fyziky zabývající se popisem mechanických vlastností materiálu, v tomto případě bezlepkového těsta, se nazývá reologie. Reologie je tedy věda zkoumající vztah mezi deformací, napětím a rychlostí deformace. Reologické vlastnosti jsou definovány jako mechanické vlastnosti, jejichž výsledkem je za použití určité síly následná deformace nebo tok materiálu. [62]

Cílem reologických testů je získat kvalitní popis mechanických vlastností daných materiálů, které souvisejí s molekulární strukturou a složením materiálu, mohou sloužit jako kontrola průběhu zpracování a jakosti výrobku. [63]

Základem pro vyhodnocování výstupů měření je empirická zkušenost mezi dlouhodobě naměřenými hodnotami získanými z řady speciálních testů a průběhem zpracování a úrovní výsledné kvality výrobku. [63]

Z pohledu reakce na namáhání patří těsto mezi viskoelastické látky, tedy látky, které v sobě obsahují jak elastickou, tak viskózní složku. Čistá elasticita je reprezentována po odeznění síly návratem do původního tvaru. Naopak čistá viskozita znamená, že kapalina teče i za velice malého tlaku a nevrací se do původního stavu po uvolnění síly. V případě viskoelastické látky tedy při působení síly na látku dochází k deformaci, nicméně po odeznění síly se látka postupně vrací do původního stavu. Deformace může, v závislosti na působící síle, být trvalého charakteru a její podoba se vyvíjí v čase. Schéma tohoto působení síly (tahu) a jejího odejmutí v čase zobrazuje obr. 10. [64]



Obr. 10. Vliv účinku působení síly a odnětí působící síly na rozsah deformace látky v průběhu času [64]

Z používaných reologických modelů je nejčastěji pro popis chování těsta využíván Maxwellův model, kde jsou pružina prezentující elastickou část chování těsta a píst s kapalinou prezentující viskózní část chování, zapojeny sériově, tedy za sebou. [65]

3.1 Pružnost

Pružnost neboli elasticita je vlastnost těsta popisující jeho schopnost vrátit se do svého původního tvaru poté, co bylo mechanicky roztaženo. Je to vlastnost mající velký vliv na vysoký specifický objem pečiva a při pečení chleba také na tvar bochníku. U pšeničného těsta je pružnost určena mimo jiné obsahem přidaných látek, jako například voda nebo sůl. Těsto, které sůl neobsahuje, je zpravidla méně elastické, na druhou stranu bývá tažnější a lepivější. Největší vliv mají ale na pružnost proteiny, konkrétně gluteniny. Z toho tedy vyplývá, že bezlepkové mouky, kde je obsah gluteninů nulový, budou vykazovat velmi nízkou hodnotu elasticity. [7]

3.2 Tažnost

Tažnost těsta určuje jeho schopnost natažení. Těsto, které je tažné, umožňuje také pečivu v procesu pečení správně zvětšovat svůj objem. Správná míra tažnosti umožňuje s těstem snadněji manipulovat. Příliš velká tažnost ovšem není vhodná, těsta s vysokou tažností jsou totiž velmi „povolná“, a mají tak větší tendence se roztékat. [66] Tažnost je také negativně spjata s pevností těsta, protože ta klesá nepřímo úměrně. Správný poměr těchto veličin potom zaručuje dobrou schopnost udržet plyn v objemu těsta, což je pro dobrou zpracovatelnost těsta klíčové. [67]

Tažnost jako vlastnost těsta vyplývá samozřejmě z vlastností použité mouky, které jsou do značné míry dané. Dá se však v určité míře ovlivnit tak, aby bylo dosaženo příznivějších parametrů, vhodnějších pro další zpracování. Je také závislá na obsahu vody, proto s jejím vyšším přírůstkem stoupá. Na stranu druhou je vyšší vlhkost těsta vyvážena snížením viskozity. [68]

Další možností jak tažnost vylepšit je přidavek různých hydrokoloidů. Mezi ně se řadí například guarová guma, xanthanová guma nebo locustová guma. To platí i pro těsta bezlepková, nicméně je fakt, že tažnost bezlepkového těsta nedosahuje hodnot běžného pšeničného. [7]

Tradičním přístrojem využívaným pro měření tažnosti těsta je extenzograf. Tažnost těsta je tu definována jako délka křivky od počátku natahování proužku těsta do jeho přetržení a udává se v mm. Za optimální tažnost u neupravených pšeničných mouk pro pekárenské použití je považováno 140 až 170 mm. Dalším v praxi používaným přístrojem schopným měřit tuto veličinu je alveograf. [65]

3.3 Stabilita

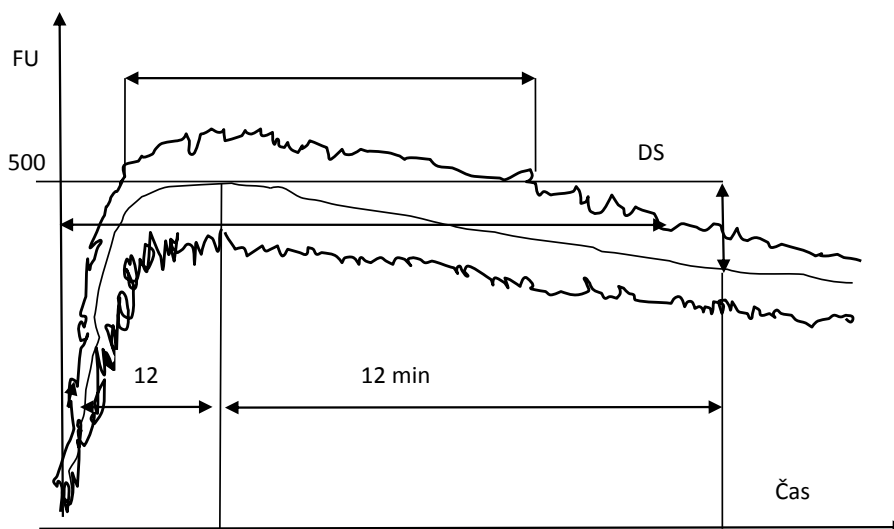
Další z vlastností těsta je stabilita při hnětení. Tu je možno chápat jako dobu, po kterou je možné těsto mísit, aniž by došlo ke zhroucení jeho struktury. Tato vlastnost je výrazně ovlivněna homogenitou výchozí mouky a její schopností vázat vodu, což jsou obě vlastnosti, které jsou u mouk sledovány. Také indikuje toleranci těsta při hnětení a je dobrým ukazatelem síly těsta. [63]

Mouky s krátkou dobou míchání, tedy s nízkou stabilitou, jsou z technologického hlediska problematické, protože je u nich nutné počítat s dlouhou dobou kvašení. Zároveň u nich není

vhodné z důvodu nižší tolerance překračovat optimální dobu míchání a fermentace. Stabilita je přímo závislá na obsahu a kvalitě bílkovin v těstě a předpokládá se, že s vyšším obsahem bílkovin stoupá. V případě bezlepkových těst je stabilita zvyšována přidavkem hydrokoloidů. [7]

Stabilita těsta se měří na přístroji farinografu. Vzestupná fáze křivky, která prezentuje výstup z tohoto přístroje (obr. 11) zachycuje fázi zpracování, ve které mouka absorbuje vodu. Po dosažení maxima (maximální konzistence), křivka začíná klesat a zrcadlí odolnost těsta vůči dalšímu namáhání. [69]

Stabilita těsta jako vlastnost je udávána v minutách. Jde o časový interval, který je ohraničen protnutím hranice 500 FU farinografickou křivkou ze spodu a ukončen protnutím téže hranice farinografickou křivkou z vrchu. Se stabilitou těsta úzce souvisí i stupeň změknutí těsta. Jde o charakteristiku udávanou ve farinografických jednotkách (FU) jako rozdíl mezi maximální hodnotou a hodnotou naměřenou po době 12 minut. Kombinací měřených charakteristik odporu těsta lze získat kompozitní ukazatel FQN – farinografické číslo kvality, klasifikující kvalitu mouky a následného těsta pouze jednou hodnotou. S farinografickým sledováním stability těsta je úzce spojeno sledování pružnosti a tažnosti těsta, které jsou vyjádřeny šířkou křivky. [65, 70, 71]



Obr. 11. Vývoj farinografické křivky s fázemi vývinu a stability těsta. Označení v grafu: FU – jednotky odporu těsta k hnětení, DT – doba vývinu těsta, ST – doba stability těsta, DS – pokles těsta, FQN – farinografické číslo kvality. [71]

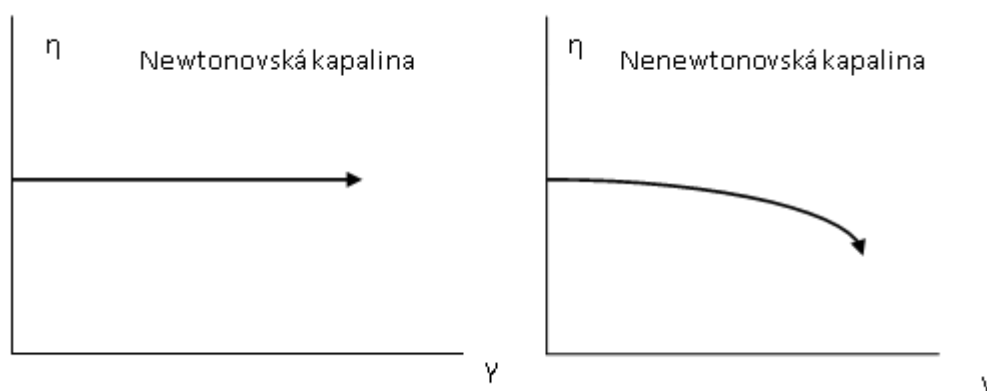
3.4 Viskozita

Viskozitu lze chápat jako vnitřní tření tekuté látky, jako její odpor k tečení. Uvažujeme-li o síle F , která je nutná k zachování rychlosti pohybu u svrchní vrstvy o rozloze A a k zachování jejich vzdálenosti y , můžeme ji vyjádřit následujícím vztahem:

$$F = \mu A \frac{u}{y},$$

kde μ představuje dynamickou viskozitu látky. V případě některých látek můžeme vzhledem k jejich specifickým vlastnostem uvažovat také o kinematické viskozitě, relativní viskozitě, vnitřní viskozitě aj. [64, 73]

U newtonovských kapalin je viskozita vzhledem ke smykové rychlosti konstantní, pro neneutronovské kapaliny pak platí, že viskozita klesá s růstem smykové rychlosti deformace. Viz následující schéma na obrázku (obr. 12). [74]



Obr. 12. Vývoj viskozity vzhledem k rychlosti smykové deformace u newtonovských a nenewtonovských kapalin. η – viskozita, γ – smyková rychlost [75]

Viskozita má přímý vliv na integritu buněčných stěn obklopujících vzduchové bubliny v těstě, a proto je třeba, aby byla vysoká dostatečně k udržení plynu v těstě. Viskozita, potažmo pevnost buněčných stěn, má také významný vliv na strukturu a objem výsledného pečiva. [76, 77]

Sledovanou vlastností těsta je i mazovatění škrobu v závislosti na teplotě. Změna viskozity těsta při změně teploty je závislá také na množství vody, struktuře těsta, např. velikosti škrobových granulí, které pohlcují uvolněnou vodu. Sledování viskozity v závislosti na teplotě má

význam ve fázi pečení, kdy její dostatečná míra umožňuje udržet plyn v uzavřených pórech.
[78, 79]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, zda má granulace některých vybraných bezlepkových mouk vliv na fyzikální vlastnosti těsta z nich vyrobeného.

Pro dosažení cíle bylo stanoveno:

- vytvořit literární rešerši zabývající se charakteristikou, chemickým složením a využitím jednotlivých druhů pseudocereálií a vybraných druhů cereálií
- charakterizovat fyzikální vlastnosti těst
- vyrobit z daných druhů bezlepkových mouk základní těsto a analyzovat jeho vlastnosti na texturním analyzátoru
- provést popis získaných výsledků a jejich porovnání s odbornou literaturou

5 METODIKA

5.1 Charakteristika použitých surovin

Při zkoumání vlivu granulace na vlastnosti bezlepkového těsta pomocí texturního analyzátoru byly využity bezlepkové mouky z následujících plodin: rýže, kukuřice, prosa, pohanky, amarantu, quinoj, cizrny a lupiny. Vzorky mouky v rámci těchto jednotlivých plodin se od sebe lišily různým stupněm granulace. Jako vzorky byly použity také instantní mouky a kaše. Vzorky mouk pochází od několika dodavatelů, který si ovšem nepřejí být jmenováni. Pro vytvoření těsta byla kromě mouky použita pitná voda a Chlorid sodný p.a. od firmy Lach-ner.

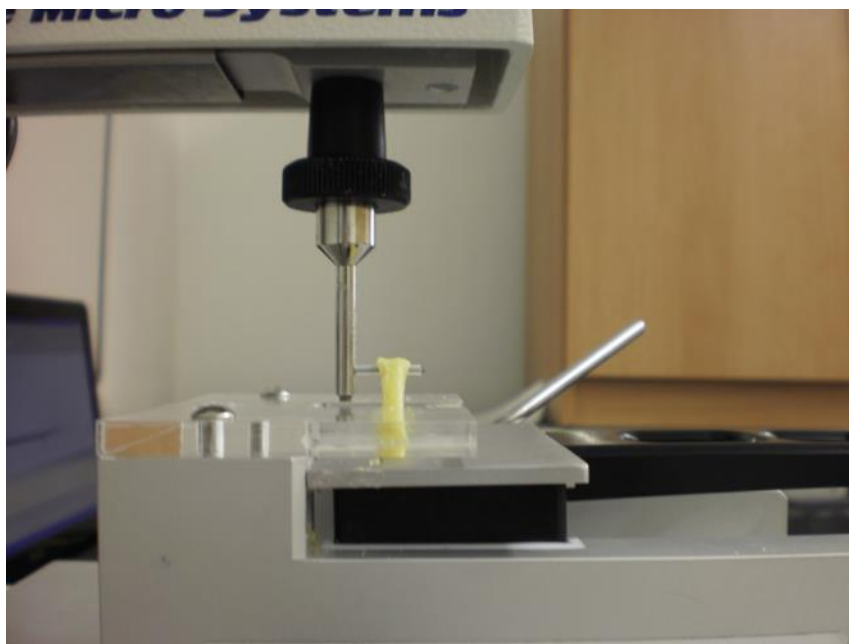
5.2 Příprava vzorků

Pro výrobu těsta využívaného jako vzorek byla použita mouka předem převedená na sušinu a smíšena s 0,1 g soli (2 % w/w sušiny mouky) a množstvím vody odpovídajícím 65 %, 70 % a 75 % w/w sušiny mouky pro každý zkoumaný druh mouky. Vzorky byly tedy měřeny ve třech sériích dle vlhkosti těsta a každý takto vzniklý vzorek byl na texturním analyzátoru měřen ve třech opakováních. Vytvořené těsto bylo vytvarováno do podoby kuličky a uloženo při 24 °C na 20 min do termostatu.

Po vyjmutí z termostatu bylo těsto vloženo do speciální drážkované teflonové formy, která byla předem lubrikována parafínovým olejem a ve které odpočívalo dalších 20 min při laboratorní teplotě. Během odležení se těsto díky formě vytvarovalo do podoby úzkých 5 cm dlouhých proužků lichoběžníkového průřezu, které byly neprodleně analyzovány na texturním analyzátoru.

5.3 Měření na přístroji TA.XT plus

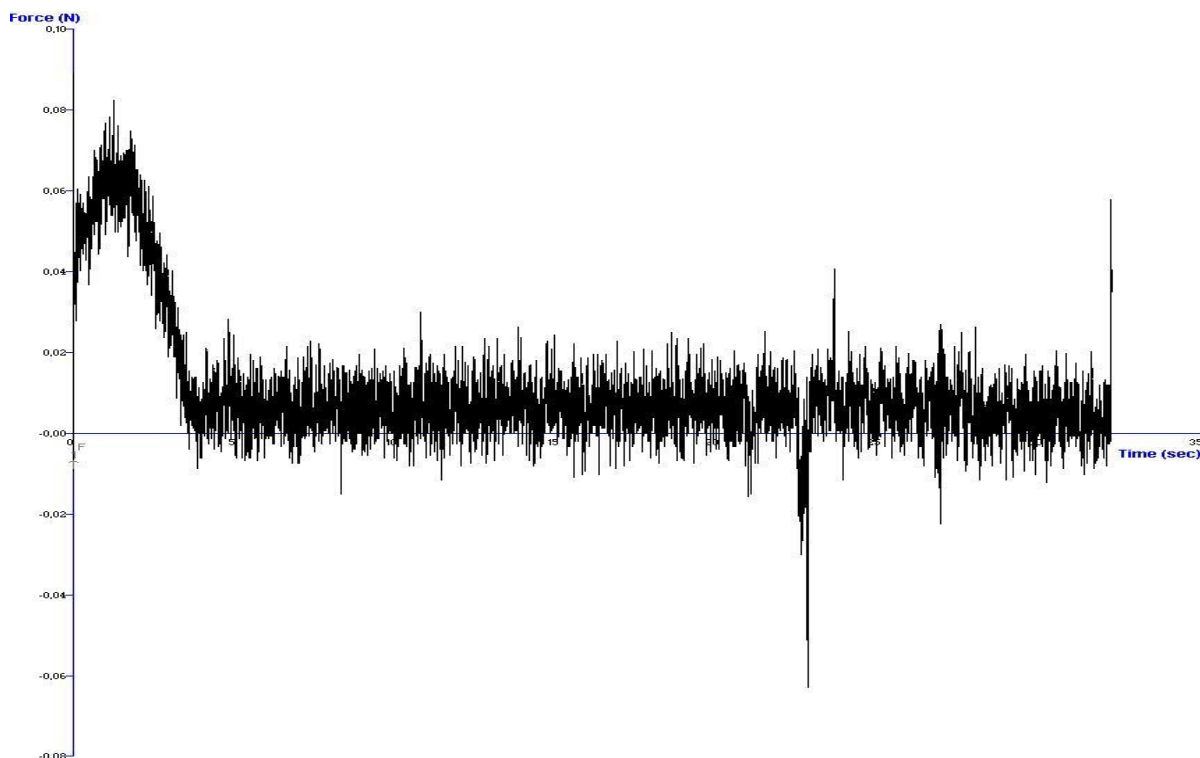
Ke zkoumání vlastností těsta různých mouk používaných pro výrobu bezlepkového pečiva byl v této práci použit Texturní Analyzátor TA.XT plus vybavený nastavcem SMS/Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig od firmy Stable Micro System Ltd., United Kingdom (obr. 13).



Obr. 13. Texturní analyzátor TA.XT plus

Tento přístroj měří vlastnosti těsta na podobném principu jako Brabenderův extenzograf. Jde o měření vlastností těsta prostřednictvím jednoosého namáhání vytvarovaného vzorku. [62]

Proužek těsta byl umístěn na drážkovanou plochu pomocné destičky a ustaven do horizontální polohy. Vlastní měření probíhá tak, že hák měřícího zařízení obalený teflonovým krytem stoupá vertikálním směrem až do fáze prasknutí vzorku. Průběh měření je zaznamenáván v podobě závislosti síly potřebné k deformaci vzorku, délky deformace a času (obr. 14) použitím softwaru Texture Exponent Lite, následně je pak přepočten do podoby křivky závislosti napětí a deformace.



Obr. 14. Graf závislosti síly, deformace a času pohankové mouky hladké s přidavkem vody 70 %

Veličiny, kterými je charakterizováno těsto prostřednictvím texturního analyzátoru:

- Napětí σ_n je v podstatě vnitřní reakcí materiálu na jeho zatížení vnějšími silami. V tomto případě se jedná o zatížení tahovými silami, které je rovnoměrně rozloženo po ploše kolmého průřezu vzorku. Napětí tak lze vypočítat prostým vztahem:

$$\sigma_n = \frac{F}{S},$$

kde F je zátěžná síla v Newtonech (N) a S je plocha průřezu kolmého k ose zatížení, zpravidla uváděná v m^2 . Napětí je tedy udáváno v N/m^2 , což odpovídá jednotce Pa.

[62]

- Henckeho neboli logarimetrická deformace je bezrozměrná veličina umožňující popis chování materiálu v závislosti na působícím napětí. Namáhání tahem způsobuje prodloužení vzorku. Podíl prodloužení vzorku a délky vzorku je označován jako Cauchyho deformace ϵ . Definována je podle následujícího vztahu:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0},$$

kde Δl je prodloužení vyvolané vnější silou a l_0 je původní délka. Prostřednictvím Cauchyho deformace je pak definována Henryho deformace [80]

$$\varepsilon_H = \ln(1 + \varepsilon)$$

- Pokud je vzorek látky, například těsta, namáhán tahem, hovoříme o tzv. elongační vizkozitě η_E , která je vyjádřena v Pa.s a je dána vztahem:

$$\eta_E = \frac{\sigma_n}{\dot{\varepsilon}_H}$$

kde σ_n je normálové napětí a $\dot{\varepsilon}_H$ je rychlost Henryho deformace [80]

Extenzografický odpor vypovídá o síle těsta, jeho zpracovatelnosti a schopnosti zadržovat plyn při kynutí. Za kvalitnější je považováno těsto dosahující vyšší hodnoty této veličiny. Odpor je vztažen k viskózní složce těsta a jeho jednotkou je Newton. [62, 81]

- Extenzografická energie (N.mm) je vyjádřena jako oblast pod křivkou a popisuje energii potřebnou pro protažení vzorku. [79, 81]
- Extenzografická tažnost indikuje míru elasticity těsta a jeho schopnosti natažení bez následného protržení, je vyjádřena v mm. Má významnou vypovídající hodnotu při predikci výsledného objemu vyrobeného pečiva. Bezlepkové těsto se oproti pšeničnému obsahujícímu lepek vyznačuje velmi nízkou tažností. V důsledku toho není bezlepkové těsto schopno v dostatečné míře odolávat tlaku vznikajícímu při kynutí. [81]

5.4 Statistická analýza

Pro vyhodnocení získaných výsledků byla využita jednofázová analýza rozptylu – ANOVA s následným použitím Fisherova testu homogenních skupin na hladině významnosti $\alpha = 0,005$. ANOVA z anglického „analysis of variance“, což znamená analýza rozptylu, patří k základním statistickým metodám aplikovaným při vyhodnocování experimentálních pokusů.

Používá se v případech, kdy chceme posoudit jednostrannou závislost, zda sledovaný statistický znak závisí na jiném znaku, podle něhož byl sledovaný znak roztríděn do skupin. [82]

6 VÝSLEDKY A DISKUZE

Po technologické stránce je vytvoření kvalitního pečiva pro spotřebitele, kteří nemohou nebo z jakéhokoli důvodu nechtějí konzumovat lepek stále do určité míry výzvou. Bezlepkové pečivo často nedosahuje dostatečného zvýšení svého objemu, je více drobivé a má v porovnání s pečivem obsahujícím lepek krátkou životnost způsobenou rychlým vysycháním. [1] Proto je výzkum v oblasti bezlepkových surovin a technologie výroby bezlepkového pečiva velmi aktuální. Zkoumání reologických vlastností těsta umožňuje predikci vlastností finálního pečiva a také například může pomoci při vytvoření optimálních směsí pro jeho výrobu.

Dvě nepostradatelné složky dávající mouce schopnost tvořit hmotu těsta jsou škrob a látka schopná tvořit gel (protein nebo hydrokoloid) tvořící síťovou strukturu, mezi kterou se začlení škrob. Schopnost bezlepkového těsta zadržovat plyn je ve značné míře ovlivněna schopností škrobu v mouce obsaženého bobtnat ve vodě. Je potřeba, aby těsto určené pro biologicky kypřené pečivo mělo vlastnosti, které mu umožňují natahovat se při kynutí. Filmy, které obklopují bubliny plynů, tedy musí mít dostatečnou sílu, aby se předešlo jejich zhroucení, ale zároveň musí být schopny se natáhnout bez prasknutí. [7]

Jak vyplývá z teoretické části této práce, použité mouky se vyznačují převážně malou velikostí škrobových granulí. Malé granule škrobu jsou charakteristické svým nepravidelným polygonálním tvarem. Velikost granulí je tedy parametr určený druhem suroviny, ze které je daná mouka vyrobena, a který ovlivňuje vlastnosti těsta, jako je mazovatění a lepivost, náchylnost k působení enzymů, bobtnání a rozpustnost ve vodě. [25]

Ve všeobecnosti se také předpokládá, že čím má mouka jemnější granulaci, tím vyšší je její schopnost vazby vody díky většímu poškození škrobových granulí. Tyto dané schopnosti zvyšují viskozitu těsta nejen prostřednictvím uvolněných lineárních molekul, ale také kvůli ztrátě své krystalicity. Předpokládá se také, že typ škrobových granulí, který je určen jejich velikostí, ovlivňuje konzistenci a vlastnosti těsta a je spřažen také s kvalitou výsledného pečiva. Avšak vliv škrobu na kvalitu pečiva zatím nebyl uspokojivě prostudován. [62, 83]

Následující tabulky popisují velikost hodnoty jednotlivých reologických ukazatelů zkoumaných vzorků mouky. Vzorky jsou řazeny dle velikosti obsažených částic, a to od největších po nejmenší. Odlišná písmena ve stejném sloupci jednotlivých tabulek znamenají statisticky významnou odlišnost mezi vzorky na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ dle Fisherova LSD testu.

6.1 Rýžová mouka

Tab. 2. Hodnoty maximálního napětí, Henckeho deformace a elongační viskozity rýžové mouky

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Napětí	Henckeho deformace	Elongační viskozita
	[%]		[kPa]	[-]	[kPa.s]
výběrová	65	1	8,8 ± 0,3 e	0,72 ± 0,01 bc	109 ± 4 a
hladká S 0,5	65	1	3,6 ± 0,3 b	0,71 ± 0,02 b	42 ± 7 a
hladká	65	2	2,1 ± 0,2 a	0,98 ± 0,03 f	26 ± 2 a
hladká S 0,25	65	1	7,4 ± 0,8 d	0,732 ± 0,003 bc	90 ± 10 a
kaše instantní	65	1	12,4 ± 0,8 h	0,72 ± 0,01 bc	2100 ± 200 f
instantní mouka	65	1	14,0 ± 0,9 i	0,736 ± 0,005 bcd	2800 ± 200 g
výběrová	70	1	8,9 ± 0,3 e	0,722 ± 0,008 bc	108 ± 6 a
hladká S 0,5	70	1	3,07 ± 0,08 ab	0,74 ± 0,01 bcd	35,6 ± 0,6 a
hladká	70	2	3,4 ± 0,2 b	0,70 ± 0,03 b	42 ± 6 a
hladká S 0,25	70	1	5 ± 2 c	0,80 ± 0,08 e	50 ± 10 a
hladká nano	70	1	10,3 ± 0,8 f	0,731 ± 0,002 bc	120 ± 10 a
kaše instantní	70	1	12 ± 1 gh	0,74 ± 0,01 bcde	1860 ± 40 e
instantní mouka	70	1	11 ± 1 fg	0,75 ± 0,01 bcde	980 ± 30 c
výběrová	75	1	5,6 ± 0,5 c	0,735 ± 0,007 bcd	74 ± 7 a
hladká S 0,5	75	1	9,7 ± 0,9 ef	0,498 ± 0,003 a	150 ± 30 a
hladká	75	2	2,8 ± 0,3 ab	0,80 ± 0,07 de	37 ± 9 a
hladká S 0,25	75	1	3,8 ± 0,3 b	0,74 ± 0,01 bcde	48 ± 6 a
kaše instantní	75	1	2,6 ± 0,3 ab	0,78 ± 0,08 cde	1200 ± 400 d
instantní mouka	75	1	3,7 ± 0,3 b	0,78 ± 0,07 cde	640 ± 40 b

Maximální napětí se statisticky výrazně lišilo vzhledem k různé granulaci mouk u všech pří-
 davků vody. U těsta se 70% přídavkem vody dosahovaly nižších hodnot mouky s větší veli-
 kostí částic, naopak v případě 75% přídavku vody vykazovaly dvě mouky o menší granulaci
 vyšší hodnoty proti moukám s granulací vyšší. Jednotný trend však nalezen nebyl.

Jak je vidět z tab. 2, hodnoty Henckeho deformace se u mouk s přídavkem vody 65 %
 (s výjimkou hladké mouky od výrobce 2, která dosahuje 0,98, což zároveň představuje nej-
 vyšší naměřenou hodnotu deformace u rýžové mouky) statisticky významně nelišily. Přídavek
 vody 70 % se lišil také jen v jedné hodnotě, a to u hladké mouky S 0,25 (0,8). Naopak nej-

menší naměřená hodnota 0,498 se vyskytla u hladké mouky S 0,5, také šlo o jedinou odlišnost ve skupině mouk s přidavkem vody 75 % o různé granulaci.

Viskozita se u všech zkoumaných přísadků vody v těstě statisticky významně lišila pouze v případě instantních surovin, tedy mouky a kaše, přičemž instantní mouka má nejvyšší hodnotu při přidavku vody 65 % (2800 kPa.s). U ostatních přísadků vody představuje nejvyšší hodnotu elongační viskozity instantní kaše. Dle výzkumu Hera et al. [84] byla prokázána negativní korelace mezi velikostí částic rýžové mouky a její schopností vázat vodu, čímž je pozitivně ovlivněna také viskozita těsta. Ta se připisuje větší povrchové ploše částic jemnější mouky a také vyššímu stupni desintegrace škrobových granulí. Tento předpoklad se však při měření v rámci této diplomové práce nepotvrdil, s výjimkou instantních surovin, u kterých jsou jejich vlastnosti dány způsobem výroby. U ostatních vzorků rýžové mouky se statisticky významný rozdíl vůči vzorkům s rozdílnou granulací ani rozdílným přidavkem vody neprokázal.

Tab. 3. Hodnoty extenzografického odporu, energie a tažnosti vzorků rýžové mouky

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Extenzografický odpor	Extenzografická energie	Extenzografická tažnost
	[%]		[N]	[N.mm]	[mm]
výběrová	65	1	0,236 ± 0,008 cd	0,67 ± 0,07 a	16,3 ± 0,5 def
hladká S 0,5	65	1	0,102 ± 0,005 ab	0,30 ± 0,04 a	15,1 ± 0,2 b
hladká	65	2	0,089 ± 0,008 ab	0,23 ± 0,03 a	15,0 ± 0,3 b
hladká S 0,25	65	1	0,21 ± 0,02 cd	0,55 ± 0,04 a	16,0 ± 0,1 cd
kaše instantní	65	1	1,5 ± 0,2 j	30,1 ± 0,8 f	16,7 ± 0,2 defg
instantní mouka	65	1	2,10 ± 0,09 k	49,4 ± 0,8 h	16,3 ± 0,2 def
výběrová	70	1	0,24 ± 0,04 d	0,80 ± 0,02 a	16,1 ± 0,3 cde
hladká S 0,5	70	1	0,087 ± 0,003 ab	0,11 ± 0,04 a	20,3 ± 0,7 i
hladká	70	2	0,092 ± 0,004 ab	0,33 ± 0,03 a	15,4 ± 0,5 bc
hladká S 0,25	70	1	0,061 ± 0,002 a	0,24 ± 0,07 a	20,2 ± 0,4 i
hladká nano	70	1	0,28 ± 0,02 d	0,71 ± 0,03 a	16,1 ± 0,1 def
kaše instantní	70	1	1,28 ± 0,04 i	32 ± 2 g	17,0 ± 0,1 fg
instantní mouka	70	1	0,66 ± 0,02 g	11,7 ± 0,8 d	19,2 ± 0,5 h
výběrová	75	1	0,155 ± 0,003 bc	0,79 ± 0,08 a	16,8 ± 0,3 efg
hladká S 0,5	75	1	0,38 ± 0,07 e	1,8 ± 0,1 b	8,69 ± 0,04 a
hladká	75	2	0,073 ± 0,005 ab	0,24 ± 0,08 a	17 ± 1 defg
hladká S 0,25	75	1	0,102 ± 0,005 ab	0,34 ± 0,03 a	16,9 ± 0,5 fg
kaše instantní	75	1	1,05 ± 0,02 h	22,7 ± 0,7 e	16,6 ± 0,3 defg
instantní mouka	75	1	0,52 ± 0,03 f	9,3 ± 0,6 c	17,3 ± 0,6 g

Nejnižší hodnoty extenzografického odporu (tab. 3) byly v případě přídavku vody 65 % naměřeny u hladké mouky od výrobce 2 (0,089 N) a hladká S 0,5 (0,102 N). Z hlediska statisticky významné odlišnosti tvoří další skupinu s vyšší hodnotou odporu hladké S 0,25 (0,21 N) a výběrové mouky (0,236 N). Nejvyšší hodnoty dosahovaly instantní mouka (2,1 N) a kaše (1,5 N). V případě extenzografického odporu hodnoty naznačují přímý vliv viskozity těsta, kdy extrémní hodnoty viskozity odpovídají velmi dobře extrémním hodnotám odporu.

Extenzografická energie se u všech zkoumaných přídavků vody s různou velikostí granulace mouky neměnila, výjimku tvořily instantní mouka a kaše, kde hodnoty energie vykazovaly u všech měření výrazně vyšší hodnoty. Z nízkých hodnot této veličiny je možno usuzovat na celkové zhoršení zpracovatelnosti těsta a malý objem výsledného pečiva. Stejně jako při hodnocení odporu i zde je dle výsledků předpoklad vlivu hodnoty viskozity na hodnoty extenzografické energie.

Extenzografická tažnost byla v případě 65% přídavku vody rozdělena z pohledu statisticky významné odlišnosti do dvou skupin. Nižší hodnoty dosahovaly hladká mouka od výrobce 2 a hladká mouka S 0,5, tedy mouky s menší granulací, vyšší hodnoty pak zbylé druhy mouk. Vzorky se 70% přídavkem vody v těstě vykazovaly velké odlišnosti hodnot, které ovšem neukazují na ovlivnění velikostí granulace. S přídavkem vody 75 % se hodnota extenzografické tažnosti s výjimkou hladké mouky S 0,5 (8,69 mm) neměnila. Hodnoty získané při měření naznačují možnou závislost mezi naměřenými hodnotami veličin napětí a tažnosti

Dle dříve prováděných výzkumů granulace mouky ovlivňuje obsah proteinu, který významně klesá se snižující se velikostí částic. Vzhledem k tomu, že převážnou část bílkovinné frakce tvoří gluteliny s relativně vysokou schopností tvorby gelu a také vyšším obsahem disulfidických vazeb, lze předpokládat, že ovlivňují vlastnosti těsta podobně jako škrob a arabinoxylany v mouce. Obsah lipidů a popel nebyly vzhledem k různé granulaci zkoumaných mouk významně odlišné. Naopak se snižující se velikostí částic rostlo zastoupení škrobové frakce, ale také podíl poškozeného škrobu, což se shoduje s nastavenou hypotézou. Hodnoty naměřených veličin však tento trend nepotvrzují. [83, 85]

6.2 Kukuřičná mouka

Tab. 4. Hodnoty maximálního napětí, Henckeho deformace a elongační viskozity kukuřičné mouky

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Napětí	Henckeho deformace	Elongační viskozita
	[%]		[kPa]	[-]	[kPa.s]
kaše instantní	65	1	23 ± 1 c	0,72 ± 0,02 a	2000 ± 100 c
instantní mouka	65	1	3 ± 1 a	0,77 ± 0,05 b	40 ± 20 a
kaše instantní	70	1	24,9 ± 0,8 c	0,7325 ± 0,0004 ab	2000 ± 100 c
instantní mouka	70	1	14,1 ± 0,7 b	0,73 ± 0,02 a	1600 ± 400 b
kaše instantní	75	1	14 ± 1 b	0,72 ± 0,02 a	1600 ± 60 b
instantní mouka	75	1	12 ± 3 b	0,73 ± 0,01 a	1300 ± 300 b

Hodnoty naměřené v rámci zkoumání kukuřičné mouky jsou popsány v tab. 4 a tab. 5. V případě maximálního napětí se výsledky měření pohybovaly v rozmezí hodnot 3 kPa u instantní mouky s přídavkem vody 65 % a nejvyšší hodnoty 24,9 kPa u instantní kaše s přídavkem vody 70 %. U dvou sérií měření s nižším přídavkem vody do těsta vykazovala vyšší hodnotu instantní kaše. Přídavek vody 75 % vzhledem k sušině mouky odlišnost této veličiny nevykazoval.

U Henckeho deformace byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi naměřenými výsledky jen u instantní mouky s přídavkem vody 65 % (0,77), což je zároveň nejvyšší hodnota Henckeho deformace u měřených druhů kukuřičné mouky.

Elongační viskozita dosahovala s výjimkou instantní mouky 65 % (40 kPa.s) vysokých hodnot pohybujících se řádově v tisících. Deformace, stejně jako viskozita dosahovala při stejném přídavku vody vyšších hodnot u kaše, s výjimkou přídavku vody 75 %, kdy se hodnoty vůči sobě významně nelišily.

Tab. 5. Hodnoty extenzografického odporu, energie a tažnosti vzorků kukuřičné mouky

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Extenziografický odpor	Extenziografická energie	Extenziografická tažnost
	[%]		[N]	[N.mm]	[mm]
kaše instantní	65	1	2,0 ± 0,2 d	27 ± 3 e	15,6 ± 0,3 ab
instantní mouka	65	1	1,06 ± 0,04 a	0,25 ± 0,03 a	16,4 ± 0,2 c
kaše instantní	70	1	1,8 ± 0,1 d	22,4 ± 0,8 d	16,88 ± 0,02 d
instantní mouka	70	1	1,22 ± 0,06 b	21,5 ± 0,7 d	17,1 ± 0,2 d
kaše instantní	75	1	1,65 ± 0,04 c	17,1 ± 0,6 c	15,4 ± 0,2 a
instantní mouka	75	1	1,12 ± 0,07 b	11,8 ± 0,5 b	17,1 ± 0,4 d

Extenzografický odpor dosahoval maxima u kaše instantní s přídavkem vody 65 % (2 N), naopak minimum představovala při stejném přídavku vody do těsta s hodnotou 1,06 N mouka instantní. Vyšších hodnot této veličiny celkově dosahovala instantní kaše. Jednotný trend v závislosti na přídavku vody není možné vypožorovat, avšak z naměřených dat vyplývá, že u těchto mouk se vyskytuje závislost mezi elongační viskozitou a extenzografickým odporem.

Extenziografická energie stejně jako odpor vykazovala maximum a minimum u nejnižšího zkoumaného přídavku vody 65 %. Minimum představovala instantní mouka (0,25 N.mm) a maximum instantní kaše (27 N.mm). S výjimkou 70% přídavku vody vykazovala instantní kaše vyšší hodnoty energie.

Hodnota extenziografické tažnosti se statisticky významně odlišovala u 65% a 75% přídavku vody do těsta. V obou případech lze za tažnější považovat instantní kaši. Při středně velkém, tedy 70%, přídavku vody se hodnoty této veličiny mezi vzorkem instantní mouky a kaše statisticky významně neměnily.

Vlastnosti instantní mouky a kaše jsou determinovány procesem výroby nazývaným extruze. Extruze je proces, při kterém dochází k narušení struktury škrobu působením vysoké teploty a smykových sil, v důsledku čehož nastává fragmentace škrobu a jeho předzmažování. V tomto procesu se tedy mění molekulární struktura i morfologie škrobu. Přečází ze stavu krystalického do stavu amorfního. Všechny tyto změny vedou k velkému zvýšení schopnosti absorpce vody u těchto surovin a celkové modifikaci jejich vlastností. V porovnání s klasicky mletou kukuřičnou moukou má mouka extrudovaná lepší vlastnosti a vyšší viskozitu a ukazuje se, že je žádoucí je spolu ve vhodných poměrech míchat v závislosti na různých požadavcích vycházejících z konečného produktu. V rámci porovnání s odbornou literaturou jsou

hodnoty naměřené v této práci výrazně vyšší než u mouky zpracované klasickým postupem mletí, což také naznačuje lepší vlastnosti instantních surovin. [8, 86]

6.3 Jáhlová mouka

V tab. 6 a 7 se nacházejí naměřené veličiny zkoumaných vzorků jáhlové mouky. Vzorek hladké mouky od výrobce 1 nebylo možné změřit v případě 70% přídavku vody, a to z důvodu nevhodné (příliš řídké) konzistence těsta.

Tab. 6. Hodnoty maximálního napětí, Henckeho deformace a elongační viskozity jáhlové mouky

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Napětí	Henckeho deformace	Elongační viskozita
	[%]		[kPa]	[-]	[kPa.s]
hladká	65	1	3,0 ± 0,2 a	0,735 ± 0,004 bc	34 ± 2 a
hladká	65	2	3,0 ± 0,8 a	0,76 ± 0,04 c	33 ± 8 a
kaše instantní	65	1	23 ± 2 e	0,731 ± 0,005 bc	2200 ± 300 d
hladká	70	2	2,9 ± 0,7 a	0,6 ± 0,1 abc	37 ± 3 a
kaše instantní	70	1	19 ± 1 d	0,735 ± 0,003 bc	1100 ± 200 c
hladká	75	2	2,2 ± 0,4 a	0,5 ± 0,2 ab	34 ± 4 a
kaše instantní	75	1	17,7 ± 0,9 cd	0,75 ± 0,04 c	1250 ± 40 c

Maximální napětí vzorků se u přídavku vody 65 % mezi hladkou moukou od výrobce 1 a hladkou moukou od výrobce 2 statisticky významně nelišilo a instantní kaše vykazovala nejvyšší hodnotu této veličiny (23 kPa). U těst s vyšším přídavkem vody vykazovala z měřených vzorků nižší hodnotu hladká mouka od výrobce 2. Obdobné odlišnosti velikosti naměřených hodnot jako u veličiny napětí lze pozorovat také u elongační viskozity.

Vzhledem k druhu mouky byla nalezena statisticky významně vyšší hodnota Henckeho deformace jen u přídavku vody 75 %, kdy vyšší hodnoty nabývala deformace instantní kaše od výrobce 1 (0,75).

Tab. 7. Hodnoty extenzografického odporu, energie a tažnosti vzorků jáhlové mouky

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Extenzografický odpor	Extenzografická energie	Extenzografická tažnost
	[%]		[N]	[N.mm]	[mm]
hladká	65	1	0,084 ± 0,006 a	0,14 ± 0,02 a	16,4 ± 0,2 c
hladká	65	2	0,10 ± 0,02 a	0,20 ± 0,05 a	15,0 ± 0,5 b
kaše instantní	65	1	2,1 ± 0,2 b	29,8 ± 0,3 d	16,0 ± 0,2 c
hladká	70	2	0,083 ± 0,007 a	0,047 ± 0,02 a	17,6 ± 0,6 d
kaše instantní	70	1	1,1 ± 0,2 b	10,1 ± 0,4 b	16,5 ± 0,1 c
hladká	75	2	0,088 ± 0,006 a	0,30 ± 0,09 a	14,9 ± 0,2 b
kaše instantní	75	1	1,29 ± 0,06 b	12,6 ± 0,7 c	14,1 ± 0,7 a

Extenzografický odpor se v porovnání s ostatními druhy jáhlové mouky významně zvyšoval u instantní mouky, a to ve všech třech sériích měření o různých přídavcích vody. Stejný trend platil i pro hodnoty extenzografické energie.

Extenzografická tažnost vykazovala statisticky významnou odlišnost z pohledu zkoumaných přídavků vody v těstě u všech skupin vzorků. Naproti ostatním veličinám však instantní mouka dosahovala v porovnání s hladkou moukou hodnot nižších.

6.4 Pohanková mouka

Tab. 8. Hodnoty maximálního napětí, Henckeho deformace a elongační viskozity pohankové mouky

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Napětí	Henckeho deformace	Elongační viskozita
	[%]		[kPa]	[-]	[kPa.s]
výběrová	65	1	2,17 ± 0,05 ab	0,5 ± 0,2 a	83 ± 1 a
hladká	65	2	7,3 ± 0,9 d	0,72 ± 0,01 bc	94 ± 8 a
hladká nano	65	1	1,5 ± 0,4 a	0,6 ± 0,1 ab	60,2 ± 0,8 a
kaše instantní	65	1	30 ± 1 g	0,727 ± 0,009 c	4900 ± 700 d
výběrová	70	1	4,0 ± 0,5 c	0,72 ± 0,07 bc	61 ± 7 a
hladká	70	2	5,2 ± 0,4 c	0,72 ± 0,01 c	84 ± 7 a

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Napětí	Henckyho deformace	Elongační viskozita
	[%]		[kPa]	[-]	[kPa.s]
hladká nano	70	1	3,8 ± 0,2 bc	0,741 ± 0,006 c	56,8 ± 0,9 a
kaše instantní	70	1	26 ± 0,4 f	0,740 ± 0,009 c	3700 ± 800 c
výběrová	75	1	3,7 ± 0,6 bc	0,71 ± 0,01 bc	73 ± 1 a
hladká	75	2	4,6 ± 0,1 c	0,71 ± 0,02 bc	68 ± 3 a
hladká nano	75	1	2,3 ± 0,5 ab	0,7 ± 0,1 bc	53 ± 4 a
kaše instantní	75	1	14 ± 3 e	0,70 ± 0,03 bc	2100 ± 100 b

Hodnoty extenzografických veličin popisují tab. 8 a tab. 9. Nejvyšší hodnoty maximálního napětí byly zaznamenány u vzorku pohankové kaše instantní, a to ve všech třech sériích měření tohoto vzorku. Nižší hodnotu napětí vykazovaly v případě přídavku vody 65 % vzorek hladké mouky nano (1,5 kPa) s největší granulací a také mouka výběrová (2,17 kPa), která se vyznačuje naopak granulací nejmenší. U přídavků vody 70 % a 75 % statisticky významná odlišnost v hodnotě napětí, s výjimkou instantní kaše, nalezena nebyla.

V případě měření vlastností pohankové mouky byla Henckyho deformace při ruptuře vzorku odlišná v rámci různých granulací mouk pouze u přídavku vody 65 %, kdy se nejnižší hodnota logaritmické deformace vyskytla u výběrové mouky, tedy mouky s nejnižší granulací (0,5), významně vyšší byla naopak hodnota u instantní kaše (0,727). Z relativně konstantní hodnoty této veličiny lze konstatovat, že logaritmická deformace není velikostí granulace významně ovlivněna.

Elongační viskozita se u všech zkoumaných vzorků pohankové mouky ve všech třech sériích měření, s výjimkou vyšší hodnoty u pohankové kaše instantní, statisticky významně nelišila.

Tab. 9. Hodnoty extenzografického odporu, energie a tažnosti vzorků pohankové mouky

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Extenziografický odpor	Extenziografická energie	Extenziografická tažnost
	[%]		[N]	[N.mm]	[mm]
výběrová	65	1	0,190 ± 0,005 a	0,76 ± 0,03 a	16,03 ± 0,07 cd
hladká	65	2	0,19 ± 0,03 a	0,83 ± 0,06 a	16,3 ± 0,5 cd
hladká nano	65	1	0,16 ± 0,01 a	0,6 ± 0,1 a	13,9 ± 0,6 b
kaše instantní	65	1	3,5 ± 0,2 d	54 ± 3 d	15,9 ± 0,3 cd
výběrová	70	1	0,12 ± 0,02 a	0,6 ± 0,2 a	18,1 ± 0,5 e
hladká	70	2	0,117 ± 0,006 a	0,68 ± 0,01 a	19,4 ± 0,4 f
hladká nano	70	1	0,094 ± 0,005 a	0,553 ± 0,004 a	17,6 ± 0,3 e
kaše instantní	70	1	3,1 ± 0,1 c	29 ± 2 c	16,5 ± 0,3 d
výběrová	75	1	0,10 ± 0,01 a	0,89 ± 0,09 a	16,0 ± 0,6 cd
hladká	75	2	0,114 ± 0,004 a	0,6 ± 0,1 a	16,2 ± 0,3 g
hladká nano	75	1	0,089 ± 0,008 a	0,88 ± 0,03 a	11,1 ± 0,8 a
kaše instantní	75	1	1,8 ± 0,1 b	20,1 ± 0,9 b	15,5 ± 0,4 c

Extenziografický odpor (s výjimkou pohankové kaše instantní, která dosahovala nejvyšší hodnoty odporu s maximem u kaše s přídavkem vody 65 % až 3,5 N) nevykazoval u zkoumaných pohankových mouk statisticky významné odlišnosti a jeho průběh je analogický k hodnotám elongační viskozity. Podobný trend platí i v případě extenziografické energie.

Extenziografická tažnost u těsta obsahujícího 65 % vody nabývala proti ostatním vzorkům s lišícím se stupněm granulace statisticky významně nižších hodnot jen u hladké mouky nano (13,9 mm). Přídavek vody 70 % do mouky s vrůstajícím stupněm granulace vykazoval spíše klesající tendenci hodnot extenziografické tažnosti. V případě 75% přídavku vody se hodnoty tažnosti významně lišily, jednotný trend vzhledem ke granulaci této mouky se však prokázat nepodařilo.

6.5 Mouka z quinoy

Tab. 10. Hodnoty maximálního napětí, Henckeho deformace a elongační viskozity mouky z quinoy

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Napětí	Henckeho deformace	Elongační viskozita
	[%]		[kPa]	[-]	[kPa.s]
hladká	65	2	4,3 ± 0,2 b	0,7 ± 0,1 a	110 ± 30 b
hladká	70	2	13,4 ± 0,5 c	0,73 ± 0,02 a	160 ± 10 c
hladká	75	2	3,6 ± 0,4 a	0,74 ± 0,01 a	45 ± 5 a

Henckeho deformace se vzhledem k přídavku vody v těstě statisticky významně neměnila. Maximální napětí a elongační viskozita dosahovaly nejvyšších hodnot u 70% přídavku vody, kdy se pravděpodobně obsah vody přiblížil k optimální hodnotě. U extenzografického odporu došlo k významnému snížení hodnoty u mouky s přídavkem vody 75 %. Hodnota energie se se zvyšujícím se přídavkem vody snižovala a tažnost naopak zvyšovala (viz tab. 10 a 11).

Tab. 11 Hodnoty extenzografického odporu, energie a tažnosti vzorků mouky z quinoy

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Extenzografický odpor	Extenzografická energie	Extenzografická tažnost
	[%]		[N]	[N.mm]	[mm]
hladká	65	2	0,3 ± 0,1 b	3,09 ± 0,54 c	13,8 ± 0,5 a
hladká	70	2	0,37 ± 0,01 b	1,33 ± 0,07 b	15,9 ± 0,6 b
hladká	75	2	0,09 ± 0,01 a	0,35 ± 0,02 a	17,3 ± 0,4 c

6.6 Amarantová mouka

Tab. 12 Hodnoty maximálního napětí, Henckeho deformace a elongační viskozity amarantové mouky

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Napětí	Henckeho deformace	Elongační viskozita
	[%]		[kPa]	[-]	[kPa.s]
hladká	65	1	$4,9 \pm 0,8$ b	$0,7 \pm 0,1$ a	130 ± 10 d
hladká	65	2	10 ± 2 c	$0,72 \pm 0,01$ a	130 ± 20 d
hladká	70	1	$6,6 \pm 0,6$ b	$0,70 \pm 0,02$ a	89 ± 6 bc
hladká	70	2	6 ± 1 b	$0,5 \pm 0,2$ a	70 ± 10 b
hladká	75	1	$2,1 \pm 0,5$ a	$0,6 \pm 0,2$ a	110 ± 10 cd
hladká	75	2	$1,6 \pm 0,2$ a	$0,6 \pm 0,2$ a	47 ± 7 a

Maximální napětí nevykazovalo s různou velikostí částic vzhledem ke stejnému přídavku vody v těstě statisticky významnou odlišnost hodnot, s výjimkou přídavku vody 65 %, kde mouky hladké s jemnější granulací od výrobce 2 dosáhly nejvyšší hodnoty (10 kPa).

U hodnocených vzorků amarantové mouky se výsledná Henckeho deformace pohybovala v rozmezí 0,5 a 0,72, statisticky významný rozdíl však nebyl u těchto amarantových mouk prokázán.

Elongační viskozita měla statisticky významně odlišné hodnoty v případě 75% přídavku vody, kdy mouka hladká od výrobce 1 dosáhla vyšší hodnoty (110 kPa.s) v porovnání s moukou hladkou od výrobce 2, která se vyznačuje vyšší granulací.

Tab. 13 Hodnoty extenzografického odporu, energie a tažnosti vzorků amarantové mouky

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Extenzografický odpor	Extenzografická energie	Extenzografická tažnost
	[%]		[N]	[N.mm]	[mm]
hladká	65	1	$0,39 \pm 0,04$ d	$1,3 \pm 0,1$ cd	$15,2 \pm 0,3$ b
hladká	65	2	$0,26 \pm 0,04$ c	$1,3 \pm 0,2$ d	$15,8 \pm 0,5$ b
hladká	70	1	$0,185 \pm 0,002$ b	$1,1 \pm 0,1$ bc	$16,4 \pm 0,1$ c
hladká	70	2	$0,113 \pm 0,002$ a	$0,77 \pm 0,04$ a	$17,4 \pm 0,1$ d
hladká	75	1	$0,401 \pm 0,005$ d	$1,4 \pm 0,04$ d	$15,4 \pm 0,1$ b
hladká	75	2	$0,14 \pm 0,01$ a	$0,894 \pm 0,005$ ab	$12,5 \pm 0,4$ a

Extenzografický odpor vykazoval u všech zkoumaných přísadků vody se zvyšující se granulací amarantové mouky také statisticky významně nižší hodnoty. Tento trend platil, až na přísadku vody 65 %, kdy odlišnosti nebyly nalezeny, také pro hodnoty extenzografické energie.

V případě extenzografické tažnosti se u zkoumaných vzorků amarantové mouky s přísadkem vody 70 % vyznačovala vyššími hodnotami mouka hladká, v případě přísadku vody 75 % však vyšší hodnotu měla naopak mouka hladká od výrobce 1 s vyšší velikostí částic v mouce (15,4 kPa.s). Tento stav bylo pravděpodobně možno přičíst odchylce měření.

Fyzikální vlastnosti amarantové mouky se dají do určité míry přičítat malé velikosti granulí škrobu, jakož i vysokému obsahu amylopektinu. Ve srovnání s obilovinami totiž škrob amarantu vykazuje vynikající viskozitu, vyšší kapacitu absorpce vody, stejně jako větší rozpustnost ve vodě, vyšší sílu bobtnání škrobu a enzymové citlivosti. I když většina parametrů srovnávaných u amarantové mouky se významně lišila (viz tab. 12 a 13), dva vzorky nejsou ze statistického pohledu dostatečně velká skupina, na základě které by bylo možné vyvodit jednoznačné závěry týkající se vlivu granulace na vlastnosti těchto těst. [7]

6.7 Cizrnová mouka

Tab. 14 Hodnoty maximálního napětí, Henckeho deformace a elongační viskozity cizrnové mouky

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Napětí	Henckeho deformace	Elongační viskozita
	[%]		[kPa]	[-]	[kPa.s]
hrubá	65	1	5 ± 1 c	$0,6 \pm 0,2$ ab	86 ± 2 c
hladká	65	2	$3,5 \pm 0,2$ ab	$0,72 \pm 0,02$ abcd	70 ± 20 abc
hladká S0,4	65	1	$3,7 \pm 0,6$ abc	$0,69 \pm 0,04$ ab	76 ± 10 bc
instantní mouka	65	1	$18,6 \pm 0,8$ f	$0,72 \pm 0,01$ abcd	216 ± 3 f
hrubá	70	1	$3,7 \pm 0,2$ abc	$0,68 \pm 0,05$ ab	$63,0 \pm 0,2$ abc
hladká	70	2	$3,3 \pm 0,3$ ab	$0,8 \pm 0,1$ cd	52 ± 3 ab
hladká S 0,4	70	1	$2,9 \pm 0,4$ ab	$0,70 \pm 0,03$ abc	55 ± 6 ab
instantní mouka	70	1	15 ± 2 e	$0,74 \pm 0,02$ abcd	170 ± 40 e
hrubá	75	1	2 ± 1 a	$0,8 \pm 0,2$ d	46 ± 9 a
hladká	75	2	$3,5 \pm 0,1$ abc	$0,76 \pm 0,04$ bcd	56 ± 5 ab
hladká S0,4	75	1	$3,8 \pm 0,8$ abc	$0,6 \pm 0,1$ a	76 ± 6 bc
instantní mouka	75	1	$11,5 \pm 0,8$ d	$0,721 \pm 0,009$ abcd	140 ± 10 d

Veličina maximální napětí vykazovala významné zvýšení naměřené hodnoty v případě instantní mouky, a to u všech zkoumaných přídavků vody, přičemž nejvyšší hodnota byla zaznamenána u přídavku vody nejnižšího (18,6 kPa). Dále u 65% přídavku vody bylo napětí hrubé mouky od firmy 1 (5 kPa), vyznačující se největší velikostí částic, významně vyšší v porovnání s hladkou moukou od výrobce 2 (3,5 kPa) s větší granulací, což se však u ostatních sérií měření nepotvrdilo, naopak všechny cizrnové mouky kromě instantní se od sebe statisticky významně neodlišovaly.

Hodnota Henckeho deformace byla zaznamenána nejvyšší u těsta vytvořeného z hladké mouky od firmy 2 s hodnotou 0,8 a naopak nejnižší u hrubé mouky od výrobce 1 (0,6). Obě tyto hodnoty napětí se vyskytly u vzorků s přídavkem vody 75 %. Ostatní vzorky cizrnové mouky o stejném přídavku vody se vzhledem k různému stupni granulace statisticky významně nelišily.

Elongační viskozita se vůči ostatním moukám o různé granulaci významně zvýšila v případě instantní mouky u všech zkoumaných přídavků vody. Hrubá mouka od výrobce 1 vyznačující

se nejmenší granulací vykazovala v případě přidavku vody 75 % významně nižší hodnoty (46 kPa.s) v porovnání s ostatními vzorky cizrnové mouky.

Tab. 15 Hodnoty extenzografického odporu, energie a tažnosti vzorků cizrnové mouky

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Extenzografický odpor	Extenzografická energie	Extenzografická tažnost
	[%]		[N]	[N.mm]	[mm]
hrubá	65	1	0,135 ± 0,002 d	1,4 ± 0,1 h	15,8 ± 0,2 bc
hladká	65	2	0,1 ± 0,01 bc	1 ± 0,1 ef	16,4 ± 0,1 bcd
hladká S0,4	65	1	0,12 ± 0,01 cd	1 ± 0,1 f	16 ± 1 bcd
instantní mouka	65	1	0,52 ± 0,03 g	1,16 ± 0,05 g	15,5 ± 0,4 b
hrubá	70	1	0,09 ± 0,01 ab	0,64 ± 0,02 c	17,3 ± 0,2 de
hladká	70	2	0,091 ± 0,001 ab	0,38 ± 0,03 b	21,5 ± 0,5 f
hladká S0,4	70	1	0,08 ± 0,01 ab	0,6 ± 0,1 c	16,9 ± 0,7 cde
instantní	70	1	0,4 ± 0,02 f	0,98 ± 0,04 ef	15,9 ± 0,2 bc
hrubá	75	1	0,07 ± 0,01 a	0,99 ± 0,04 ef	14,1 ± 0,3 a
hladká	75	2	0,08 ± 0,01 ab	0,7 ± 0,1 c	17,9 ± 0,2 e
hladká S0,4	75	1	0,081 ± 0,005 ab	0,9 ± 0,1 de	16 ± 2 b
instantní mouka	75	1	0,32 ± 0,03 e	0,82 ± 0,02 d	15,9 ± 0,3 bc

Nejvyšší hodnotou extenzografického odporu se ze zkoumaných vzorků cizrnové mouky vyznačovala instantní mouka, a to ve všech třech sériích měření. Dále se při přidavku vody 65 % statisticky významně lišily mouka hrubá od výrobce 1 a hladká mouka S 0,4.

Extenzografická energie vykazovala statisticky významnou odlišnost v rámci různé granulace mouky u všech zkoumaných přidavků vody v těstě, vztah mezi touto veličinou a velikostí granulace se vypořádat nepodařilo.

Tažnost cizrnových mouk o různé granulaci nevykazovala v případě přidavku vody 65 % významnou odlišnost. U vyšších přidavků vody se významně vyšší hodnotou prokazovala hladká mouka od výrobce 2, která v tomto souboru patří mezi mouky s hrubší granulací.

Jak vyplývá z tab. 14 a 15, jednotný trend hodnot měřených veličin vzhledem k velikosti granulace mouky se ani v případě cizrnové mouky prokázat nepodařilo.

6.8 Lupinová mouka

Lupinová mouka

Tab. 16 Hodnoty maximálního napětí, Henckeho deformace a elongační viskozity lupinové mouky

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Napětí	Henckeho deformace	Elongační viskozita
	[%]		[kPa]	[-]	[kPa.s]
hladká	65	1	8,1 ± 0,7 b	0,722 ± 0,009 a	101 ± 8 a
hladká	70	1	5,8 ± 0,4 a	0,6 ± 0,2 a	81 ± 9 a
hladká	75	1	6,3 ± 0,5 a	0,71 ± 0,02 a	80 ± 10 a

V případě maximálního napětí vzorku, extenzografického odporu a energie byly výrazně vyšší hodnoty vzhledem k ostatním měřením vzorku lupinové mouky zaznamenány u nejnižšího přídavku vody. Hodnoty Henckeho deformace a elongační viskozity se v závislosti na přídavku vody statisticky významně nelišily (viz tab. 16 a 17). U extenzografické tažnosti však přídavek vody 65 % vykazoval nižší hodnotu (16 mm). V teoretické části již bylo popsáno chemické složení lupiny, která obsahuje jen velmi malé procento škrobu, tudíž je nasnadě očekávat výraznější vliv proteinů a neškrbových polysacharidů na vlastnosti této mouky.

Tab. 17 Hodnoty extenzografického odporu, energie a tažnosti vzorků lupinové mouky

Typ mouky	Přídavek vody na sušinu mouky	Dodavatel	Extenzografický odpor	Extenzografická energie	Extenzografická tažnost
	[%]		[N]	[N.mm]	[mm]
hladká	65	1	0,22 ± 0,02 b	1,1 ± 0,2 b	16 ± 0,3 a
hladká	70	1	0,17 ± 0,01 a	0,7 ± 0,03 a	17,2 ± 0,6 b
hladká	75	1	0,16 ± 0,01 a	0,78 ± 0,07 a	16,7 ± 0,4 ab

Jak vyplývá z naměřených hodnot zkoumaných ukazatelů, nepodařilo se prokázat jednoznačný vliv stupně granulace na fyzikální vlastnosti bezlepkové mouky. Dle dostupné literatury lze předpokládat, že počet poškozených škrobových granulí neklesá lineárně se stupněm granulace mouky. Povrch vážně poškozených škrobových granulí se někdy jeví hrubší a poréznější než u netknutých původních granulí. Nicméně také velikost poškozených škrobových

granulí se ne vždy snižuje se vzrůstajícím stupněm poškození. Tento stav může být zapříčiněn aglomerací poškozených škrobových granulí, zvláště když jsou v důsledku delšího mletí a použití velké mechanické síly granule těžce poškozeny. Z toho vyplývá, že pro vysvětlení vlastností měřených mouk v rámci různého stupně granulace, a potažmo tedy i velikosti naměřených hodnot extenzografických veličin je důležité znát i použitou technologii výroby zkoumaných mouk, hlavně z hlediska podmínek mletí a mlecího zařízení (v případě výrobce 1 byl použit kolíkový a kladívkový mlýn, výrobce 2 – neznámý druh mlecího zařízení). Kromě toho neškrobové komponenty v zrně, jako jsou bílkoviny a složky buněčné stěny, mohou poskytnout „ochranu“ škrobovým granulím vůči strukturálním změnám v průběhu mletí. [8, 87]

Některé výzkumy také indikují, že síla bobtnání škrobových granulí by mohla být více spjata s chemickým složením a strukturou granulí, hlavně s obsahem amylózy a lipidů, než se samotnou velikostí granulí. Obsah škrobu se může v semenech v rámci jednoho druhu plodiny lišit nejen vzhledem k odrůdě, ale také podmínkám v průběhu pěstování. Vyšší množství lipidových komplexů tvořených s amylózou pravděpodobně negativně ovlivní bobtnání a mazovatení škrobu. Platí, že čím je větší podíl amorfních zón, tím vyšší je schopnost absorpce vody. Větší specifický povrch může také přispívat k vyšší absorpci vody, přesto ostatní faktory, jako třeba stárnutí škrobu a sorpční čas, mohou mít dokonce významnější vliv než plocha povrchu. [25]

Na druhou stranu mouky vytvořené procesem extruze, kde je škrob narušen tepelným a mechanickým namáháním tak, že přechází do amorfní formy, vykazovaly u všech druhů surovin, u kterých byly zkoumány, vyšší hodnoty napětí, elongační viskozity, extenzografického odporu i extenzografické energie. [86]

Ve všeobecnosti lze také říci, že chování bezlepkového těsta pod vlivem jednoosého namáhání bylo kromě škrobu ovlivněno i dalšími látkami obsaženými v mouce, hlavně pak neškrobovými polysacharidy - arabinoxylany. Řetězce vysokomolekulárních ve vodě rozpustných arabinoxylanů obsahující zbytky kyseliny ferulové jsou schopny tvořit gelovou síť, která je tvořena kovalentními vazbami mezi těmito zbytky. Navíc dehydroferulová kyselina je schopna se vázat na tyrozin, a tak zprostředkovat vazby arabinoxylanů s proteiny, které jsou v mouce obsaženy. Arabinoxylany vážou velké množství vody, a tak prostřednictvím zvýšení viskozity těsta v něm pomáhají zadržovat oxid uhličitý při kynutí. Řetězce arabinoxylanů však nejsou schopny při namáhání tahem navzájem prokluzovat a prostorově se uspořádat ve směru deformace tak, jak se to děje u pšeničného lepku. To je důvodem, proč pečivo vyrobené z bezlepkových mouk nedosahuje kvality pšeničných výrobků. [8, 10, 77, 86]

Pravděpodobnou příčinou absence dostatečné schopnosti prokluzu v rámci arabinoxylanových řetězců při namáhání tahem je jejich nižší molekulární hmotnost v porovnání s lepkovými proteiny. Vzhledem k tomu, že jde o přírodní polymery (tvořené β -1,4 xylosovou kostrou s arabinosou různě navázanou na druhém, třetím nebo na obou uhlících), je možné jejich chování v rámci tahové zkoušky těsta vysvětlit prostřednictvím kinetického modelu pro tahovou deformaci polymerů. Řetězce arabinoxylanů jsou mezi sebou spojeny vodíkovými vazbami a dále kovalentními vazbami přes zbytky ferulové kyseliny s proteiny mouky. Při namáhání dochází vlivem působící síly k snadnějšímu přetržení vodíkových vazeb oproti vazbám disulfidickým, kterými jsou spojeny řetězce lepkových proteinů. [4, 10, 89]

Předpoklad absence látek dosahujících molekulární hmotnosti lepkových proteinů indikuje také hodnota elongační viskozity bezlepkových těst, s výjimkou instantních surovin. Elongační viskozita vzrůstá se zvyšující se molekulární hmotností řetězců spojených v síť a dosahuje maxima v momentu, kdy nastane ruptura vzorku těsta. Kvůli vysoké molekulární hmotnosti pšeničného proteinu vykazuje pšeničné těsto mnohem větší elongační viskozitu než bezlepková těsta. Elongační viskozita je také úzce spjata s odporem těsta proti namáhání tahem, což potvrzuje i měření uskutečněné v rámci této práce. [77]

Vztahem mezi hodnotami veličin mouky naměřených na přístroji texturní analyzátor a parametry výsledného pečiva se zabývalo několik výzkumů. S pomocí korelační analýzy bylo zjištěno, že existuje pozitivní závislost mezi specifickým objemem bochníku vyšší hodnotou odporu těsta, jeho tažností, energií a maximálním stresem. Naopak tvrdost pečiva byla v negativní korelaci s maximálním napětím, zatímco soudržnost byla v pozitivní korelaci s odporem a stresem. Z těchto zjištěných vztahů lze vyvodit, že mouky, jejichž těsta vykazují vysoké hodnoty těchto veličin, budou mít pravděpodobně schopnost tvořit kvalitní pečivo. V případě měření prováděného v této práci indikují možnost vyšší kvality z pohledu zpracování na výrobu pečiva instantní suroviny. [8]

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo ověřit hypotézu, že s měnící se granulací bezlepkové mouky budou ovlivněny fyzikální vlastnosti těsta a tím pádem i pečiva z dané mouky vyrobeného.

Teoretická část byla dle obsahu rozdělena na tři části. V první části se nachází stručná charakteristika lepku, nemoci celiakie a bezlepkové diety s důrazem na bezlepkové pečivo. Druhá část se zabývá popisem základní charakteristiky všech druhů plodin, jejichž mouky byly použity v praktické části práce. Třetí část je věnována fyzikálním vlastnostem těsta.

V praktické části bylo provedeno měření základního těsta vyrobeného z jednotlivých mouk na texturním analyzátoru TA.XT plus s nástavcem SMS/Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig. Získané výsledky byly analyzovány pomocí jednofaktorové analýzy ANOVA.

Statistický systém ANOVA prokázal významně se lišící hodnoty jednotlivých měřených veličin. Napříč zkoumanými druhy mouk se dá konstatovat, že v rámci veličin maximálního napětí, elongační viskozity a extenzografického odporu vykazovaly instantní suroviny, tedy mouky a kaše, významně vyšších hodnot. Zkoumanou hypotézu se však z důvodu nepřítomnosti jednoznačného vztahu mezi zkoumanými vlastnostmi těsta, a potažmo i vyrobeného pečiva a stupněm granulace mouk nepodařilo potvrdit. Na její jednoznačné zamítnutí by bylo potřeba provést více paralelních měření. Vhodné se ukazuje také zohlednění dalších faktorů ovlivňujících složky mouky, mezi které může patřit způsob a podmínky mletí jednotlivých zkoumaných typů mouk.

Nepotvrzení zadané hypotézy by mohlo poukazovat na to, že granulace sama o sobě nemůže být brána jako hlavní ukazatel vlastností bezlepkové mouky. Hodnoty parametrů naměřených v případě instantních mouk a kaší u všech druhů mouk, zvláště vysoké hodnoty elongační viskozity, poukazují na důležitost technologického způsobu výroby mouky.

Ve všeobecnosti lze na základě naměřených hodnot extenzografických veličin těsta očekávat zhoršenou zpracovatelnost těst vyrobených ze zkoumaných druhů bezlepkových mouk, doprovázenou nižší schopností roztažnosti, a potažmo také nižší schopností zadržovat plyn vznikající při kypření.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] GALLAGHER, E., GORMLEY, T. R., ARENDT, E. K. *Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. Trends in Food Science & Technology* [online]. 2004, 15(3-4), s. 143-152 [cit. 2016-02-18]. DOI: 10.1016/j.tifs.2003.09.012. ISSN 09242244. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224403002590>>
- [2] KOPÁČOVÁ, O. *Trendy ve zpracování cereálií s přihlédnutím zejména k celozrnným výrobkům*. Praha: ÚZPI, 2007, 55 s., ISBN 978-80-7271-184-0.
- [3] PŘÍHODA, J, HRUŠKOVÁ, M., SKŘIVAN, P. *Cereální chemie a technologie I: cereální chemie, mlýnská technologie, technologie výroby těstovin*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003. ISBN 8070805307.
- [4] GABROVSKÁ, D., HÁLOVÁ, I., CHRPOVÁ, D. et al. *Obiloviny v lidské výživě: stručné shrnutí poznatků se zvýšeným zaměřením na problematiku lepku*. 1. vydání. Praha: Potravinářská komora České republiky, Česká technologická platforma pro potraviny, 2015, 50 s. ISBN 9788087250280.
- [5] VELÍŠEK, J. *Chemie potravin 1*. 2. vyd. Tábor: OSSIS, 2002. ISBN 80-86659-03-8.
- [6] *Jednoleté pícniny na orné půdě* [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/picniny/sklady.php?odkaz=jednolete_picniny.html>
- [7] ARENDT, E. K., MORRISSEY, A., MOORE, M. M., BELLO, F. D. *Gluten-Free Cereal Products and Beverages* [online]. Elsevier, 2008, s. 289 [cit. 2016-02-18]. DOI: 10.1016/B978-012373739-7.50015-0. ISBN 9780123737397. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123737397500150>>
- [8] BUREŠOVÁ, I., KRÁČMAR, S., DVOŘÁKOVÁ, P., STŘEDA, T. *The relationship between rheological characteristics of gluten-free dough and the quality of biologically leavened bread*. *Journal of Cereal Science* [online]. 2014, 60(2), 271-275 s. DOI: 10.1016/j.jcs.2014.07.001. ISSN 07335210.
- [9] KUČEROVÁ, J.: *Pentosans relate to rye quality*. *Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun.*, 2008, LVI, No. 4, 115–120 s.
- [10] BILIADERIS, C. G., IZYDORCZYK, M. S., RATTAN, O. *Effect of arabinoxylans on bread-making quality of wheat flours*. *Food Chemistry* [online]. 1995, 53(2), 165-171 s., [cit. 2016-02-20]. DOI: 10.1016/0308-8146(95)90783-4. ISSN 03088146. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0308814695907834>>

- [11] SVAČINA, Š. *Klinická dietologie*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2008, ISBN 978-80-247-2256-6
- [12] ČEŠKA, R. Tesař, V., Dítě, P., Štulc, T.. *Interna*. 1. vyd. Praha: Triton, 2010. ISBN 8073874237.
- [13] ALVAREZ-JUBETE, L., E. K. ARENDT a E. GALLAGHER. *Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients*. Trends in Food Science & Technology [online]. 2010, 21(2), s. 106-113 [cit. 2016-02-07]. DOI: 10.1016/j.tifs.2009.10.014. ISSN 09242244. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224409002945>>
- [14] KOVÁŘŮ, D., KNÁPKOVÁ, J. *Bezlepková a bezmléčná dieta*. 1. vyd. Brno: CPress, 2013. ISBN 978-80-264-0185-8.
- [15] LUKÁŠ, K. *Gastroenterologie a hepatologie pro zdravotní sestry*. 1. vyd. Praha: Grada, 2005, 288 s., ISBN 80-247-1283-0
- [16] KREMLER, L. *Život s bezlepkovou diétou: (rady pre celiakov)*. 1. vyd. Bratislava: Veda, 2005, ISBN 8022408336.
- [17] SCIARINI, L. S., Pablo D. RIBOTTA, Alberto E. LEÓN a Gabriela T. PÉREZ. *Influence of Gluten-free Flours and their Mixtures on Batter Properties and Bread Quality*. Food and Bioprocess Technology [online]. 2010, 3(4), 577-585 s. [cit. 2016-04-03]. DOI: 10.1007/s11947-008-0098-2. ISSN 1935-5130. Dostupné z: <<http://link.springer.com/10.1007/s11947-008-0098-2>>
- [18] ANONYM, NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 41/2009 ze dne 20. ledna 2009 o složení a označování potravin vhodných pro osoby s nesnášenlivostí lepku
- [19] *Mezinárodní označení pro bezlepkové potraviny* [online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.proalergiky.cz/alergie/clanek/bezlepkova-dieta>>
- [20] ČESKO Předpis č. 333/1997 Sb. Vyhláška Ministerstva zemědělství, ZE dne 12. prosince 1997, kterou se provádí §18 písm. a), d), h), i), j) a k) zákona č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů, pro mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta. In: *Sbírka zákonů*. Částka 111, 6786-6809 s. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/>
- [21] KENT, N. L., EVERS, A. D. *Kent's technology of cereals An introduction for students of food science and agriculture*. 4 vyd., Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 1994. ISBN 1855736608.

- [22] ZHAO, W., CHUNG K. W., MA K. H. et al. *Analysis of genetic diversity and population structure of rice cultivars from Korea, China and Japan using SSR markers*. *Genes & Genomics* [online]. 2009, 31(4), 283-292 s. [cit. 2016-04-25]. DOI: 10.1007/BF03191201. ISSN 1976-9571. <<http://link.springer.com/10.1007/BF03191201>>
- [23] TICHÁ, M., VYZÍNOVÁ P. *Polní plodiny* [online]. 1. Brno, 2006 [cit. 2016-02-25]. Dostupné z: <<http://cit.vfu.cz/vegetabilie/plodiny/>>
- [24] BURLANDO, B., CORNARA, L. *Therapeutic properties of rice constituents and derivatives (Oryza sativa L.): A review update*. *Trends in Food Science & Technology* [online]. 2014, 40(1), 82-98 [cit. 2016-04-5]. DOI: 10.1016/j.tifs.2014.08.002. ISSN 09242244. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224414001666>>
- [25] LINDEBOOM, N., CHANG, P. R., TYLER, R. T. *Analytical, Biochemical and Physicochemical Aspects of Starch Granule Size, with Emphasis on Small Granule Starches: A Review*. *Starch - Stärke* [online]. 2004, 56(34), 89-99 [cit. 2016-04-1]. DOI: 10.1002/star.200300218. ISSN 0038-9056. Dostupné z: <<http://doi.wiley.com/10.1002/star.200300218>>
- [26] COLIN, W. W., CORKE, H., SEETHARAMAN, K., FAUBION, J. *Encyclopedia of Food Grains*. 2. Academic Press, 2015. ISBN 9780123947864.
- [27] JULIANO, B. O. *Rice in Human Nutrition*. Rome: United Nations, 1993. FAO Food and Nutrition Series. ISBN 92-5-103149-5.
- [28] ROSELL, C. M. *The Science of Doughs and Bread Quality. Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention* [online]. Elsevier, 2011, s. 3 [cit. 2016-02-25]. DOI: 10.1016/B978-0-12-380886-8.10001-7. ISBN 9780123808868. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123808868100017>>
- [29] *Bezlepkové múky* [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <<http://www.diacel.sk/bezlepkove-muky/>>
- [30] *Obrázek rýže* [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <<http://www.vegkitchen.com/nutrition/10-reasons-why-brown-rice-is-the-healthy-choice/>>
- [31] *Rýžová mouka* [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <<http://www.deliko.cz>>
- [32] JANOVSÁ, D., KALINOVÁ J., MICHALOVÁ, J. *Metodika pěstování pohanky obecné v ekologickém a konvenčním zemědělství*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2008, 13 s. ISBN 978-80-7427-000-0

- [33] GULATI, Paridhi, Steven A. WEIER, Dipak SANTRA, Jeyamkondan SUBBIAH a Devin J. ROSE. Effects of feed moisture and extruder screw speed and temperature on physical characteristics and antioxidant activity of extruded proso millet (*Panicum miliaceum*) flour. *International Journal of Food Science & Technology* [online]. 2016, 51(1), s. 114-122 [cit. 2016-02-02]. DOI: 10.1111/ijfs.12974. ISSN 09505423. Dostupné z: <<http://doi.wiley.com/10.1111/ijfs.12974>>
- [34] Bezlepkové mouky [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <<http://www.mouky.cz/mouky/eshop/12-1-BEZLEPKOVA-MOUKA>>
- [35] Netradiční potravinářské plodiny [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <<http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/>>
- [36] BELTON, P a J TAYLOR. *Pseudocereals and less common cereals: grain properties and utilization potential*. New York: Springer, 2002. ISBN 3540429395.
- [37] Maize [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <<http://www.vedicinternational.in/maize.html>>
- [38] HALBRECQ, B., ROMEDENNE, P., LEDENT, J. F. Evolution of flowering, ripening and seed set in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench): quantitative analysis. *European Journal of Agronomy* [online]. 2005, 23(3), 209-224 [cit. 2016-04-21]. DOI: 10.1016/j.eja.2004.11.006. ISSN 11610301. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S116103010400125X>>
- [39] SCHOENLECHNER, R., SIEBENHANDL, S., BERGHOFER, E. *Pseudocereals. Gluten-Free Cereal Products and Beverages* [online]. Elsevier, 2008, s. 149 [cit. 2015-11-24]. DOI: 10.1016/B978-012373739-7.50009-5. ISBN 9780123737397. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123737397500095>>
- [40] HON, Z., PATOČKA, J.. *Pohanka jako funkční potravina*. Kontakt. 2008, 1(10), 229 - 231. ISSN 1212-4117.
- [41] NIKOLIĆ, N., SAKAČ, M., MASTILOVIĆ, M. *Effect of buckwheat flour addition to wheat flour on acylglycerols and fatty acids composition and rheology properties*. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2011, 2015-11-24, 44(3): 650-655 [cit. 2015-11-24]. DOI: 10.1016/j.lwt.2010.08.017. ISSN 00236438. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643810002951>>

- [42] Christa Karolína, Soral-Šmietana Maria (2008): Buckwheat grains and buckwheat products - nutritional and prophylactic value of their components - a review. *Czech J. Food Sci.*, 26: 153-162.
- [43] KONVALINA, P., GRAUSGRUBER H. *Pěstování a využití minoritních obilnin a pseudoobilnin v ekologickém zemědělství*. 1. vyd. České Budějovice: Nakladatelství Vlastimil Johannes 2012, 101 -105 s. ISBN 978-80-87510-24-7
- [44] JANOVSÁ, D., KALINOVÁ, J., MICHALOVÁ, A. *Metodika pěstování prosa setého v ekologickém a konvenčním zemědělství*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2008, 14 s. ISBN 978-80-87011-99-7.
- [45] CAMPBELL, C. G. *Buckwheat, Fagopyrum esculentum Moench*. Rome, Italy: IPGRI, 1997. ISBN 92-904-3345-0, s.25
- [46] *Fagopyrum esculentum* [online]. [cit. 2015-10-21]. Dostupné z: https://www.flickr.com/photos/dag_endresen/4261796017/
- [47] *Pohanková mouka* [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://www.toppotraviny.cz/getreide-mehl-saaten-backzutaten/buchweizenmehl-glutenfrei-bio-zertifiziert-25-k>
- [48] JANCUROVÁ, Michala, Lucia MINAROVIČOVÁ a Alexander DANDÁR. Quinoa – a Review. *Czech J. Food Sci.* 2009, 27(2), 71–79. Dostupný z [www](http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/06732.pdf) <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/06732.pdf>.
- [49] *Quinoa* [online]. [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <https://www.brainscape.com/blog/2015/06/quinoa-facts/>
- [50] GAJDOŠOVÁ, A., ŠTURDÍK, E. *Biologické, chemické a nutrično-zdravotné charakteristiky pekářských cereálií*, Nová Biotechnologica. 2004, 149-151 s.
- [51] *Amaranth* [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://foodfacts.mercola.com/amaranth.html>
- [52] PRATAP, A., KUMAR, J. *Biology and breeding of food legumes*. 1. Cambridge, MA: CABI, c2011. ISBN 184593766X.
- [53] OŠŤÁDALOVÁ, M., POKORNÁ, J. *Hygiena a technologie brambor, škrobu, luštěnin, olejnatých semen a tuků*. 1. Brno: Rekrorát VFU Brno, 2014. ISBN 978-80-7305-710-7.
- [54] MIAO, M., ZHANG, T., JIANG B. *Characterisations of kabuli and desi chickpea starches cultivated in China*. *Food Chemistry* [online]. 2009, 113(4), 1025-1032 s. [cit. 2016-02-

- 19]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.08.056. ISSN 03088146. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814608010327>>
- [55] HUANG, J., SCHOLS, H., VANSOEST, J., JIN, J., SULMANN, E., VORAGEN, A. *Physico-chemical properties and amylopectin chain profiles of cowpea, chickpea and yellow pea starches*. Food Chemistry [online]. 2007, 101(4), 1338-1345 s. [cit. 2016-03-31]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.03.039. ISSN 03088146. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814606002688>>
- [56] KONVALINA, P.. *Pěstování rostlin v ekologickém zemědělství*. 1. vyd. V Českých Budějovicích: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2007. ISBN 978-80-7394-031-7.
- [57] LORENZ, K.; DILSAVER, W. *Rheological properties and food applications of proso millet flours*. Cereal Chem, 1980, 57.1: 21-24 s.
- [58] *Cizrna* [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <<http://ozahrade.webnode.cz/products/cizrna/>>
- [59] *Cizrnová mouka* [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <<http://organic.ng/mobile/chick-pea-flour/>>
- [60] PATOČKA, J., HON, Z. *Lupina a lupininové alkaloidy: máme se jich bát?*. Prevence úrazů, otrav a násilí 2/2008, 1997.
- [61] *Lupinus alba* [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://www.rareseeds.com/giulettig/>
- [62] SAHIN, S., SUMNU, S. G. *Physical properties of foods*. New York: Springer, 2006. ISBN 0387308083.
- [63] PŘÍHODA, J., HUMPLÍKOVÁ, P., NOVOTNÁ, D. *Základy pekárenské technologie*. Praha: Pekař a cukrář, 2003. ISBN 80-902922-1-6
- [64] BOURNE, M. C. *Food Texture and Viscosity – Concept and Measurement*. New York: Academic press, 2014, s. 340 ISBN: 978-0-12-119060-6
- [65] SEVERA, L., NEDOMOVÁ, Š. *Fyzikální a mechanické vlastnosti potravin*. 1. vyd., Brno: Mendelova univerzita, 2011. ISBN 978-80-7375-521-8.
- [66] KOVAŘÍKOVÁ, D., NETOLICKÁ, V. *Vzdělávací materiál pro předmět Technologická příprava* [online]. 1. Pardubice, 2011 [cit. 2016-02-26]. Dostupné z: <www.spspas.cz/esftechnologicka-priprava>

- [67] NASH, D., LANNING, S. P., FOX, P. et al. *Relationship of Dough Extensibility to Dough Strength in a Spring Wheat Cross*. Cereal Chemistry [online]. 2006, 83(3), 255-258 [cit. 2016-02-26]. DOI: 10.1094/CC-83-0255. ISSN 00090352. Dostupné z: <<http://cerealchemistry.aaccnet.org/doi/abs/10.1094/CC-83-0255>>
- [68] CHEN, W. Z., HOSENEY, R. C. *Development of an Objective Method for Dough Stickiness*. LWT - Food Science and Technology [online]. 1995, 28(5), 467-473 [cit. 2016-04-22]. DOI: 10.1006/fstl.1995.0079. ISSN 00236438. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643885700795>>
- [69] ROSELL, C. M., ROJAS, J. A., DE BARBER, D. B. *Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality*. Food Hydrocolloids [online]. 2001, 15(1), 75-81 s. [cit. 2016-04-26]. DOI: 10.1016/S0268-005X(00)00054-0. ISSN 0268005x. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X00000540>>
- [70] NOVOTNÁ, A., NOVOTNÝ, R. *Chemické kontrolní metody*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1987, 248 s.
- [71] FU, L., TIAN, J., SUN, C., LI, C. *RVA and Farinograph Properties Study on Blends of Resistant Starch and Wheat Flour*. Agricultural Sciences in China [online]. 2008, 7(7), s. 812-822 [cit. 2016-04-6]. DOI: 10.1016/S1671-2927(08)60118-2. ISSN 16712927. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1671292708601182>>
- [72] DENDY, D. A. V., DOBRASZCZYK, B. J. *Cereals and cereal products: chemistry and technology*. 1. Gaithersburg, Md.: Aspen Publishers, 2001. ISBN 0834217678.
- [73] COSGROVE, T. *Colloid science: principles, methods and applications*. 2nd ed. Chichester: Wiley, 2010. ISBN 978-1-4443-2020-6.
- [74] *Fyzika polymerů. Struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. [online]. 1987 [cit. 2016-01-6]. Dostupné z: <<http://old.vscht.cz/pol/Fyzika%20polymeru/Fyzika%20polymeru.htm>>
- [75] JONES, R. G. *Compendium of Polymer Terminology and Nomenclature: IUPAC Recommendations*, Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2009, 443 s. ISBN 0854044914
- [76] MIRSAEEDGHAZI, HOSSEIN, *Rheometric measurement of dough rheological characteristics and factors affecting it*. Int. J. Agric. Biol, 2008, 10: 112-119 s.
- [77] BUREŠOVÁ, I., KUBÍNEK, R. *The behavior of amaranth, chickpea, millet, corn, quinoa, buckwheat and rice doughs under shear oscillatory and uniaxial elongational tests simulating proving and baking*. Journal of Texture Studies [online]. 2016 [cit. 2016-04-26]. DOI: 10.1111/jtxs.12176. ISSN 00224901.

- [78] BEMILLER, J. N., WHISTLER, R. L. *Starch: chemistry and technology*. 3. vyd., London: Academic, 2009. ISBN 9780127462752.
- [79] MONDAL, A., DATTA, A. K.. *Bread baking – A review*. Journal of Food Engineering [online]. 2008, 86(4), 465-474 s. [cit. 2016-04-2]. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.11.014. ISSN 02608774. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877407005869>
- [80] BARBAROSA-CÁNOVAS, G.V. *Food Engineering –Volume I. Encyclopedia of Life Support Systems*, 2009, 504 s.
- [81] PREEDY V. R., WATSON R. R., PATEL V. B., *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention*. Burlington: Elsevier Science, 2011. ISBN 0123808871.
- [82] BLATNÁ, D. *Metody statistické analýzy*. Vyd. 3. Praha: Bankovní institut vysoká škola, 2008. ISBN 978-80-7265-129-0
- [83] KIM, J. M. SHIN, M. *Effects of particle size distributions of rice flour on the quality of gluten-free rice cupcakes*. LWT - Food Science and Technology [online]. 2014, 59(1), 526-532 s. [cit. 2016-04-19]. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.04.042. ISSN 00236438. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643814002473>
- [84] DE LA HERA, E., GOMEZ, M., ROSELL, C. M. *Particle size distribution of rice flour affecting the starch enzymatic hydrolysis and hydration properties*. Carbohydrate Polymers [online]. 2013, 98(1), 421-427 s. [cit. 2016-03-2]. DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.06.002. ISSN 01448617. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861713005973>
- [85] AGBOOLA, Samson, Darren NG a Dominic MILLS. *Characterisation and functional properties of Australian rice protein isolates*. Journal of Cereal Science [online]. 2005, 41(3), 283-290 [cit. 2016-04-20]. DOI: 10.1016/j.jcs.2004.10.007. ISSN
- [86] ZENG, Jie - Gao, Haiyan - Li, Guanglei: *Extruded corn flour changed the functionality behaviour of blends* Czech Journal of Food Sciences, 29, 2011, 5, 520-527 s. ISSN: 1212-1800 <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/48211.pdf>
- [87] LI, E., DHITAL, S., HASJIM, J. *Effects of grain milling on starch structures and flour/starch properties*. Starch - Stärke [online]. 2014, 66(1-2), 15-27 s. [cit. 2016-04-20]. DOI: 10.1002/star.201200224. ISSN 00389056. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/star.201200224>
- [88] GOESAERT, H., BRIJS, K., VERAVERBEKE, W. S., COURTIN, C. M., GEBRUERS, K., DELCOUR, J. A. *Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality*. Trends in Food Science & Technology [online]. 2005, 16(1-3), 12-

30 s. [cit. 2016-04-14]. DOI: 10.1016/j.tifs.2004.02.011. ISSN 09242244. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224404001906>

[89] TERMONIA, Y., SMITH, P. *Kinetic model for tensile deformation of polymers. Macromolecules* [online]. 1987, 20(4), 835-838 s. [cit. 2016-01-25]. DOI: 10.1021/ma00170a023. ISSN 00249297. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ma00170a023>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

kDa Význam třetí zkratky.

FU Farinografická jednotka

FQN farinografické číslo kvality

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Mezinárodní označení pro bezlepkové potraviny [19]	15
Obr. 2. Bílá a hnědá rýže, rýžová mouka [30, 31]	19
Obr. 3. Jáhly a jáhlová mouka [34]	20
Obr. 4. Zrno kukuřice a kukuřičná mouka hladká [37, 34]	21
Obr. 5. Plod pohanky-nažka a pohanková mouka [46, 47]	23
Obr. 6. Semena a mouka z quinoj [49, 34]	25
Obr. 7. Semena amarantu a amarantová mouka [34, 51]	26
Obr. 8. Semena a mouka z cizrny [58, 59]	28
Obr. 9. Lupina a lupinová mouka [34, 6]	29
Obr. 10. Vliv účinku působení síly a odnětí působící síly na rozsah deformace látky v průběhu času [64].....	31
Obr. 11. Vývoj farinografické křivky s fázemi vývinu a stability těsta [71]	33
Obr. 12. Vývoj viskozity vzhledem k rychlosti smykové deformace u newtonovských a neneutronovských kapalin [75]	34
Obr. 13. Texturní analyzátor TA.XT plus	39
Obr. 14. Graf závislosti síly, deformace a času v případě pohankové mouky s přídavkem vody 70 %	40

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Granulace mouky dle vyhlášky 333/1997 Sb. [20].....	16
Tab. 2. Hodnoty maximálního napětí, Henckyho deformace a elongační viskozity rýžové mouky.....	44
Tab. 3. Hodnoty extenzografického odporu, energie a tažnosti vzorků rýžové mouky.....	45
Tab. 4. Hodnoty maximálního napětí, Henckyho deformace a elongační viskozity kukuřičné mouky.....	47
Tab. 5. Hodnoty extenzografického odporu, energie a tažnosti vzorků kukuřičné mouky.....	48
Tab. 6. Hodnoty maximálního napětí, Henckyho deformace a elongační viskozity jáhlové mouky.....	49
Tab. 7. Hodnoty extenzografického odporu, energie a tažnosti vzorků jáhlové mouky.....	50
Tab. 8. Hodnoty maximálního napětí, Henckyho deformace a elongační viskozity pohankové mouky.....	50
Tab. 9. Hodnoty extenzografického odporu, energie a tažnosti vzorků pohankové mouky.....	52
Tab. 10. Hodnoty maximálního napětí, Henckyho deformace a elongační viskozity mouky z quinoy.....	53
Tab. 11. Hodnoty extenzografického odporu, energie a tažnosti vzorků mouky z quinoy.....	53
Tab. 12. Hodnoty maximálního napětí, Henckyho deformace a elongační viskozity amarantové mouky.....	54
Tab. 13. Hodnoty extenzografického odporu, energie a tažnosti vzorků amarantové mouky.....	54
Tab. 14. Hodnoty maximálního napětí, Henckyho deformace a elongační viskozity	

cizrnové mouky.....	55
Tab. 15 Hodnoty extenzografického odporu, energie a tažnosti vzorků cizrnové mouky.....	56
Tab. 16 Hodnoty maximálního napětí, Henckyho deformace a elongační viskozity lupinové mouky.....	57
Tab. 17 Hodnoty extenzografického odporu, energie a tažnosti vzorků lupinové mouky.....	58