



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Teze disertační práce

**Technologická kvalita a možnosti pekárenského
využití zrna barevné pšenice**

**Technological quality and utilization possibilities of colored-wheat
grains in bakery industry**

Autor: **Ing. Romana Šebestíková, Ph.D.**

Studijní program: P2901/Chemie a technologie potravin
Studijní obor: 2901V013/ Technologie potravin

Školitel: doc. RNDr. Iva Burešová, Ph.D.

Oponenti: doc. Ing. Daniela Sumczynski, Ph.D.
prof. Dr. Ing. Luděk Hřivna

Zlín, červen 2024

© Romana Šebestíková

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **Doctoral Thesis Summary**.
Publikace byla vydána v roce 2024

Klíčová slova: Otruby barevné pšenice, Frakce mouky, Reologie těsta, Chování těsta v průběhu kynutí, Kypřicí plyn, Textura pečiva

Key words: Colored wheat bran, Flour fractions, Dough rheology, Dough behavior during proofing, Leavening gas, Bread texture

Plná verze disertační práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

ISBN 978-80-7678-256-3

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala své školitelce doc. RNDr. Ivě Burešové, Ph.D. za její vstřícnost a vedení v průběhu studia a při vypracovávání této disertační práce. Dále děkuji panu Ing. Petrovi Martinkovi, Csc. za rady a odborné konzultace.

A také děkuji své rodině a partnerovi za podporu v průběhu studia.

ABSTRAKT

Barevné pšenice v obalových vrstvách zrna obsahují antokyanová barviva a jejich využití v pekárenském průmyslu může představovat dobrý způsob poskytování výrobků s přidanou nutriční hodnotou běžným spotřebitelům. Cílem této disertační práce bylo porovnat reologické vlastnosti a průběh kynutí těst, připravených z mouky, namleté ze zrn pěti druhů barevných pšeníc, získaných ze sklizní z let 2020-2022. U každé odrůdy byly studovány tři frakce celozrnné mouky. Tyto frakce se lišily velikostí částic otrub a chemickým složením. U vzorků byl proveden pekařský pokus, analýzy textury bochníků, sensorické hodnocení pečiva a posouzena jejich celková přijatelnost. Hrubší granulace mouky zvyšovala průměrné tvrdosti (26,6<29,3<49,7 N) a žvýkatelnosti (1610<1763<2864 N) střídy pečiva. Byly nalezeny rozdíly i u parametrů pružnosti (85>85>79 %), kohezivity (73>73>70 %) a resilience (35>32>27 %). S vyšším obsahem otrub bylo u pečiva detekováno zvýšení intenzity pachutí a přípachů.

ABSTRACT

Colored wheats contain polyphenolics in the outer layers of grains and their utilization in bakery industry may present a good strategy of providing value-added products to the consumers. The aim of this dissertation was to compare the rheological properties and fermentation behavior of doughs prepared from flour, ground from the grains of five types of colored wheat, obtained from 2020-2022 harvests. Three fractions of whole-meal flour were used for each variety. The flour fractions differed in the particle size of the bran, the ash content and the starch content. The baking trials, texture and sensory analyses of breads were performed and their overall acceptability was assessed. The coarser granulation of flour fractions, average hardness (26,6<29,3<49,7 N) and chewiness (1610<1763<2864 N) of bread crumb increased. Differences were found also in other parameters: springiness (85>85>79 %), cohesiveness (73>73>70 %) and resilience (35>32>27 %). An increase in off-flavors' intensity was detected with higher bran content.

ÚVOD

Od chvíle, kdy popularita funkčních potravin začala stoupat, hledají výrobci a vědci v mnoha oborech nové materiály využitelné při jejich výrobě. Jednou z možných surovin, která představuje velký potenciál pro výrobu potravin, je barevná pšenice. Je to především kvůli zvýšení nutriční hodnoty, které přináší přítomnost antokyanových barviv, karotenoidů a dalších látek, jenž se přirozeně vyskytují ve vnějších vrstvách zrn. Tyto látky mají antioxidační a protizánětlivé účinky, a rovněž napomáhají bránit vzniku některých typů rakoviny a cukrovky [1-5].

Možnosti využití těchto specifických odrůd v potravinářském průmyslu jsou proto zkoumány již více než dvě desetiletí. Zatímco se některé vědecké práce zaměřily na výrobu běžných produktů, jako je běžné pečivo [1, 6, 7], jiné testovaly výrobu dalších potravin, například muffinů, chapatti placek, sójové omáčky, octa, snídaňových cereálií, těstovin a nudlů, piva, nápoje z výhonků mladé pšenice nebo sušenek [1, 8-16]. Další dokonce navrhovaly separaci antokyanů a jejich použití jako přírodního barviva v potravinářském průmyslu [4, 17].

Většina studií se však soustředila zejména na použití otrub a jejich přidávání do potravin (včetně pekařských výrobků) namísto použití mouky namleté z barevných pšenic [7, 18]. Tato myšlenka je v souladu se skutečností, že fenolické sloučeniny, které mají výše zmíněnou nutriční hodnotu, jsou primárně přítomny ve vnějších vrstvách zrna, tj. v otrubách [2, 5]. Mimo to, samotné otruby představují velmi důležitý zdroj vlákniny, která rovněž poskytuje zdravotní výhody, například snížení rizika vzniku rakoviny gastrointestinálního traktu [5, 19]. Velká část výzkumných prací je však zaměřena výhradně na jednu konkrétní barvu pšenice a nesrovnává mezi sebou vlastnosti různých barevných pšenic navzájem [20-22].

Pečivo patří mezi denně konzumované základní potraviny, a tak byla tato práce zaměřena na sledování technologických vlastností těsta a pečiva. Nejprve byla zrna různých odrůd barevné pšenice (černá AF Zora, žlutá KM 111-18 a KM 109-17, purpurová AF Jumiko, modrá AF Oxana a červená pšenice Vanessa – zvolena jako standard), semleta na tři frakce celozrnné mouky. Následně byly pozorovány rozdíly mezi reologickými vlastnostmi těsta a jeho chováním během kynutí a poté bylo vyrobeno a hodnoceno pečivo.

Jelikož je kvalita zrna značně ovlivněna jeho zpracováním, podmínkami pěstování a sklizně, byly v rámci dizertační práce srovnány výsledky hodnocení kvality těsta a pečiva mezi vzorky barevných pšenic, pocházejících ze zrn sklizených v letech 2020 až 2022.

Na základě výsledků byla hodnocena možnost využití těchto unikátních odrůd v pekárenském průmyslu jako zdroje nové suroviny představující zajímavou alternativu jak pro výrobce funkčních potravin, tak pro spotřebitele.

1. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY A TEORETICKÝ RÁMEC

Ačkoliv je pekárenství značně konzervativní obor a lidé důvěřují především osvědčeným recepturám i postupům, přesto se lze i v tomto odvětví výroby potravin rostlinného původu setkat se snahou o zavádění inovací, aplikací alternativních technologií i zařazování nových surovin. Tyto trendy reagují především na poptávku, nebo preference konzumentů, a byly motivovány buďto z hlediska nutričního, nebo zdravotního. A tak navzdory skutečnosti, že je pečivo považováno za jednu ze základních potravin v lidském jídelníčku, i jeho složení a výroba byly v poslední době předmětem různých vědeckých studií [23].

Snahy zvýšit nutriční hodnotu pečiva začaly zkoumáním možnosti využití různých mléčných koncentrátů (kaseináty, odtučněné mléko, syrovátkové proteiny), avšak v současnosti probíhá spíše výzkum různých zdravích prospěšných materiálů z rostlinných zdrojů. Jedním z hlavních trendů v pekárenství je tak hledat nové suroviny a pšeničnou mouku jimi částečně, či úplně nahrazovat, nebo i různě kombinovat s jinými moukami za vzniku nových funkčních potravinových výrobků se zvýšenou nutriční hodnotou. Existuje tak nesčetné množství možností a variant. Vědci tudíž zkoumají možnosti přidavku různých esenciálních olejů, luštěnin, semen, pseudocereálií, ořechů a ovoce, buďto (méně často) v čerstvé podobě, nebo sušené a semleté na mouku. Kupříkladu jde o mouky z bezinky, rakytníku, jeřábu a hlohu. Dále například mrkev, rajče, řepa, nebo brokolice byly lyofilizovány, semlety na mouku a zkoumány jejich vlastnosti ve směsi s pšeničnou moukou. Kromě těchto a dalších jsou studovány i mouky získané sušením a namletím z různých řas [23-26].

Přestože jsou její denní příjmy stále nižší oproti doporučenému minimu, další ze surovin s významným nutričním potenciálem je i vláknina. Pšeničné otruby, nebo celozrnná pšeničná mouka se řadí k nejzákladnějším zdrojům vlákniny a mikronutrientů, snižuje glykemický index a energetickou hodnotu výrobku a současně působí preventivně proti kardiovaskulárním chorobám, diabetu, rakovině tlustého střeva, udržuje zdravý trávicí trakt a napomáhá snižovat hladinu cholesterolu. Z dalších zdrojů vlákniny užívaných v potravinářství lze jmenovat například žitnou, ječnou, ovesnou, sójovou mouku, rýžové otruby, pohanku, nebo různé hydrokoloidy [19, 23, 26-28].

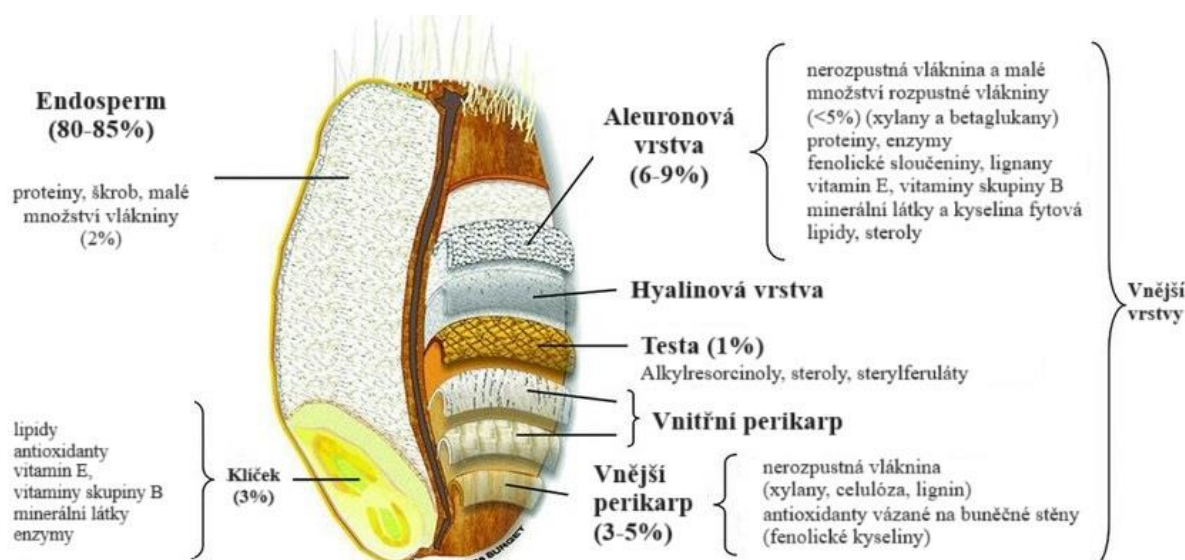
Naposledním významným trendem je přidavek antioxidantů a polyfenolických sloučenin různého původu do pekárenských výrobků, jelikož tyto látky mají schopnost snižovat riziko vzniku kardiovaskulárních onemocnění [23].

1.1 Nové a netradiční suroviny a jejich potenciální využití při výrobě pekárenských výrobků

Základní surovinou pro výrobu pekárenských výrobků je pšenice a případně další obiloviny, například žito, oves, rýže apod. Použití netradičních surovin je motivováno zejména zdravotními benefity pro konzumenta. Jako příklad lze jmenovat barevné pšenice, staré odrůdy pšenic, pšeničné otruby, bezlepkové mouky, ořechy, luštěniny, nebo ovoce.

1.1.1 Pšeničné otruby jako zdroj vlákniny

Pšeničné zrno se skládá z řady různých pletiv, které mají odlišné chemické složení (Obr. 1). Malý klíček přiléhá k centrální části, endospermu, a společně jsou obklopeny obalovými vrstvami. Tyto obalové vrstvy, jsou tvořeny z několika vrstev: perikarpu, testa, hyalinovou a aleuronovou vrstvou buněk [19, 29].



Obrázek 1: Struktura pšeničného zrna (podle Onipe, O. O., et al, 2015 [28], upraveno)

Běžně mletí pšeničného zrna spočívá v oddělení endospermu od obalových vrstev (otrub) a klíčku a následném dalším semílání na mouku. Před šrotováním jsou zrna kondicionována – zakrápěna vodou za účelem dosažení vlhkosti přibližně 15 %. Doba trvání tohoto procesu se liší dle tvrdosti pšenice. Během kondicionace absorbují obalové vrstvy i klíček vodu, dochází ke změknutí endospermu a je zabráněno lámání otrub v průběhu mletí. Následně procházejí kondicionovaná zrna přes protiběžné mlecí válce, kde dochází k rozdrčení zrna a poté oddělení a roztržení jednotlivých vrstev [19, 28].

Otruby jsou tak hlavním vedlejším produktem při výrobě pšeničné mouky, přičemž většina (90 %) je dále zpracována při výrobě krmiv a zbylé množství (10 %) je využito při výrobě pečiva, smažených výrobků, nebo snídaňových

cereálií. Ačkoliv je třeba dodržet určité technologické podmínky zpracování, otruby představují z nutričního pohledu velký potenciál jako surovina pro výrobu nutričně-bohatých výrobků. Pšeničné otruby se totiž z 53 % skládají z vlákniny (neškrobových polysacharidů – arabinoxylanů, celulózy, β -glukanů a také ligninu, galaktanů a fruktanů). Dále obsahují vitamíny B₁, B₆, B₉ a E, minerální látky (železo, zinek, mangan, hořčík a fosfor) a bioaktivní sloučeniny a antioxidanty jako fenolické látky (například alkylresorcinoly, flavonoidy, lignany, kyselinu ferulovou, atd.), dále karotenoidy a steroly. Asi 80 % fosforu v zrnech jsou však uloženy ve formě fytátů (sloučenin kyseliny fytové), které tvoří komplexy i s dalšími minerály (železem, zinkem a hořčíkem), což snižuje jejich biologickou využitelnost. V průběhu let tak byly zkoumány způsoby, jak optimalizovat podmínky zpracování otrub a eliminovat vliv kyseliny fytové, které zahrnovaly hydrotermální a enzymatické ošetření, zmenšení velikosti částic, sladování, máčení, nebo fermentaci [19, 28, 29].

Mechanismy fyziologických účinků pšeničných otrub na organismus lze rozdělit na 1) nutriční (díky přítomným živinám), 2) mechanické (vláknina čistí gastrointestinální trakt) a 3) antioxidační (vyplývající z přítomných fytonutrientů). Studie také prokázaly, že konzumace otrub se může podílet na prevenci chorob, včetně některých typů rakoviny (zejména kolorektálního karcinomu), kardiovaskulárních onemocnění, obezity, a některých gastrointestinárních onemocnění (například divertikulózy, zácpy a syndromu dráždivého tračníku) [19, 28, 29].

Pšeničná vláknina chrání tlusté střevo před vznikem rakoviny pomocí tří mechanismů. Vlivem prvního mechanismu dochází k naředění potenciálních karcinogenů – objemnější stolice omezuje přístup k buňkám vystylajícím tlusté střevo. Druhým mechanismem je díky přítomnosti vlákniny urychlen průchod odpadního materiálu tlustým střevem a zkrácena doba, během níž je epitel střeva vystaven působení škodlivých látek. Navíc bylo zjištěno, že pšeničné otruby zrychlují trávení více, ve srovnání s jinými druhy vlákniny (pektinem, guarovou gumou, ovesnými otrubami, nebo celulózou). Třetím mechanismem je fermentace pšeničných otrub na mastné kyseliny s krátkým řetězcem v celém tlustém střevě. Tyto látky totiž mohou regulovat karcinogenezi prostřednictvím účinků na proliferaci, diferenciaci a apoptózu kolonocytů a také stimulaci imunitního systému organismu. Mimo rakoviny trávicího traktu může konzumace vlákniny přispívat také preventivně proti vzniku rakoviny prsu u žen v premenopauzálním věku [19, 28, 29].

Pozitivní vliv celozrnných výrobků na kardiovaskulární systém je podmíněn konzumací relativně velkého množství vlákniny a otrub. Jedině za těchto podmínek bylo potvrzeno snížení cholesterolu v séru. Například po třítydenní konzumaci 13,5 g vlákniny na snídani došlo k poklesu množství cholesterolu v séru z 5,6 mmol/l na 4,4 mmol/l. Mimo to nebylo zjištěno snížení prospěšného HDL cholesterolu, který rovněž představuje příznivý vliv na oběhovou soustavu [19, 28, 29].

Z pohledu technologie výroby pečiva je vláknina do těsta přidávána za účelem zvýšit zadržovací kapacitu vody a olejů, upravit texturní vlastnosti výrobku, omezení synereze, prevence oxidace lipidů, zpomalení retrogradace škrobu a prodloužení trvanlivosti výrobku. Její použití v pekárenství však provází i nevýhody. Její přídavek může za určitých podmínek nepříznivě ovlivňovat vlastnosti těsta i pečiva. Velikost částic se totiž může negativně odrazit na schopnosti těsta kynout, snížení finálního objemu výrobku a jeho organoleptických vlastnostech [19, 26, 28].

Vzhledem ke skutečnosti, že jsou polyfenolické látky v zrně linií barevných pšenic situovány primárně v obalových vrstvách je nezbytné využít pro výrobu pečiva celozrnnou mouku s co největším obsahem pšeničných otrub, a tedy i antokyanových barviv. Současně je však nutno aplikovat při semílání na mouku takovou technologii, aby výsledná velikost částic otrub co nejméně narušovala průběh kynutí pečiva a ovlivňovala texturní a sensorické vlastnosti produktů [1, 19].

1.1.2 Barevné pšenice

Za zbarvení běžně pěstovaných odrůd pšenice jsou zodpovědné katechiny a proantokyanidiny, které jsou syntetizovány biosyntetickou drahou flavonoidů. Tyto sloučeniny bývají spojovány s nižší aktivitou hydrolytických enzymů, nahořklou chutí a odolností vůči porůstání [30].

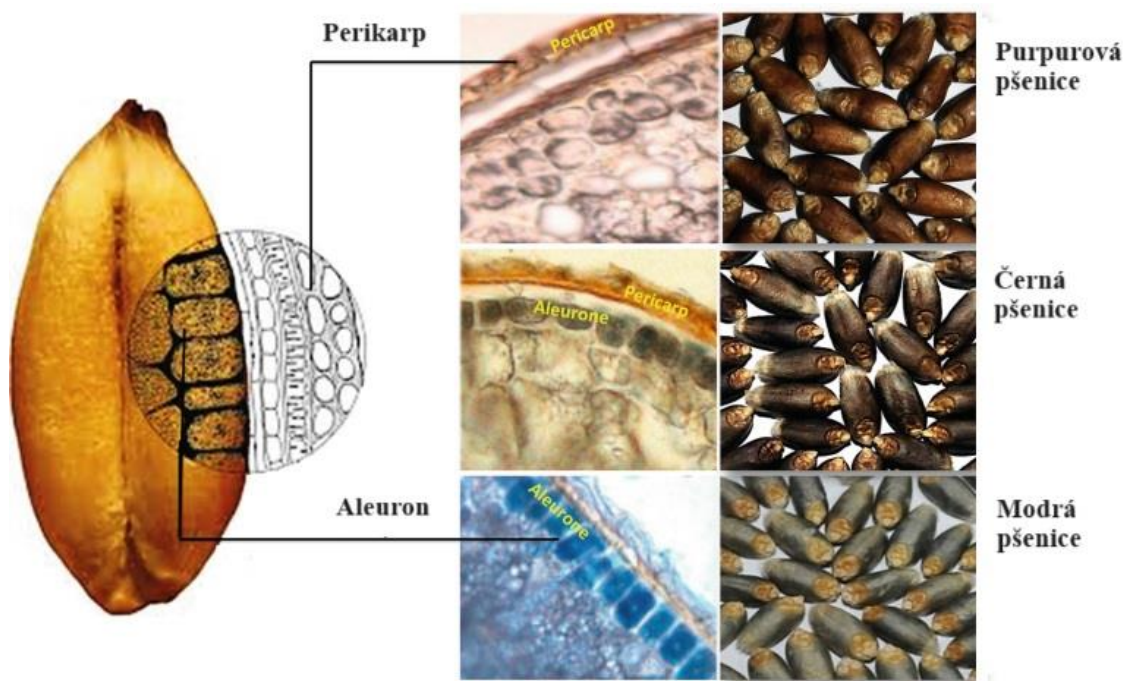
Žluté pšenice obsahují karotenoidy. To je skupina látek, přírodních pigmentů, dávající ovoci, zelenině, i obilovinám zbarvení v odstínech žluté, oranžové, případně červené. U obilovin mezi tyto látky patří lutein, zeaxantin a α - a β -karoteny. U žlutých pšenic se tato barviva nachází v endospermu a dodávají zrnům jantarovou (žlutohnědou) barvu. Toto zbarvení je charakteristické i pro pšenice tvrdé, z jejíž mouky a krupice jsou vyráběny těstoviny [30, 31].

Karotenoidy patří mezi antioxidanty, mají schopnost chránit buňky před volnými radikály a reaktivními formami kyslíku, a tak z nutričního hlediska představují velký potenciál. Mohou působit preventivně proti apoptóze buněk, poškození sítnice, spálení sluncem, vzniku rakoviny jater a posilovat imunitní systém. Také byly prokázány jejich protizánětlivé účinky a studována jejich úloha při mezibuněčných biochemických kaskádách. Nicméně, ani lidé, ani zvířata nejsou schopni karotenoidy syntetizovat, a tak je nezbytné zajistit jejich dostatečný příjem ve stravě, aby bylo možné uplatnit jejich pozitivní vliv na zdraví [30, 31].

V porovnání s běžně pěstovanými odrůdami pšenic obsahují jejich purpurové, modré a černé varianty antokyanová barviva, poskytující zrnům příslušné charakteristické zbarvení. U purpurových linií pšenic jsou antokyaniny uloženy v perikarpové vrstvě (Obrázek 2), kdežto u modrých pšenic jsou situovány v aleuronové vrstvě. Jelikož byly černé odrůdy vyšlechtěny kombinací

purpurových a modrých druhů, obsahují barviva v obou těchto obalových vrstvách. Bylo zjištěno, že modré pšenice obsahují 22 různých druhů antokyanů, u purpurových linií bylo detekováno 23 těchto barviv a 26 u černých pšenic [32, 33].

Tyto sloučeniny se vyznačují vysokou antioxidační schopností a řadou dalších příznivých účinků na organismus. Také proto barevné pšenice představují velký potenciál jako suroviny v potravinářství. V nedávné době byla zkoumána možnost jejich využití při výrobě různých druhů funkčních potravin. Jednalo se například o muffiny, pivo, sójovou omáčku, ocet, snídaňové cereálie, nebo instantní nudle [1].



Obrázek 2 Antokyanová barviva v zrně barevných pšenic (podle Sharma, S., et al, 2021 [34], upraveno)

2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem práce je posoudit vhodnost využití různých linií barevných pšeníc (černé, žluté, purpurové a modré) k pekárenskému zpracování.

Dílčími cíli je vyhodnotit kvalitativní parametry a stanovit pekárenské vlastnosti mouk namletých ze zrn pěti vybraných linií barevných pšeníc vždy na tři různé granulace, získaných ze sklizní z let 2020 až 2022. Jmenovitě tedy provést následující analýzy a stanovení:

- základní parametry kvality: obsah lepku, obsah popela, obsah škrobu, číslo poklesu, sedimentační index a obsah hrubých bílkovin.
- pokročilé parametry kvality: reologické vlastnosti těsta, průběh kynutí, Pekařský pokus, textura pečiva, předběžná senzorická analýza, analýza pórovitosti střídy

Ověřována byla správnost vědecké hypotézy o:

- možnosti využití mouky z vybraných linií barevných pšeníc jako surovin pro pekárenskou výrobu,
- vlivu velikosti částic pšeničných otrub na průběh kynutí těst a kvalitu výsledných výrobků,
- vlivu podmínek pěstování, zejména vlivu roku sklizně na výslednou pekárenskou kvalitu mouky.

3. ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ A EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této kapitole bude uvedena charakteristika zkoumaného materiálu, metodika práce a metody analýzy.

U všech vzorků byly nejprve stanoveny parametry, které se standardně používají k hodnocení kvality pekárenské pšeničné mouky a těsta. Následně bylo ze všech vzorků vyrobeno kynuté pečivo a zhodnocena jeho kvalita. Rovněž byl posuzován vztah mezi parametry mouky, těsta a pečiva.

3.1 Charakteristika materiálu

V rámci této studie bylo zkoumáno pět linií ozimé pšenice (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum* L.), lišící se zbarvením zrna (Obrázek 5 (A–E)). Charakteristika odrůd byla shrnuta v Tabulce 1.

Z běžně pěstovaných odrůd pšenice byla jako kontrolní použita odrůda Vanessa.



Obrázek 3 Zrna různých odrůd barevných pšenic

(A) AF Oxana – modrá; (B) AF Jumiko – purpurová; (C) AF Zora – černá; (D) Vanessa – standard; (E) KM 111-18 – žlutá [34]

Tabulka 1: Charakteristika vzorků zrn barevných pšenic [34]

Odrůda	Barva	Umístění barviv	Původ	Společnost /Instituce	Země	Poznámka	Rok
AF Zora	černá	aleuron, perikarp	(Skorpion x Bohemia) x (Indigo x Bohemia)	Agrotest Fyto, s.r.o. Kroměříž	Česká republika	Registrována	2021
KM 111-18	žlutá	endosperm	Citrus x Bona Vita	Justus-Liebig-University in Giessen, ISTROPOL Solary a.s.	Německo, Slovensko	Registrace přerušena (náchyllost k poléhání)	2018/2019
Vanessa	červená	/	SG-S2040-97 x Rhapsody	SELGEN a.s.	Česká republika	Registrována	2013
AF Jumiko	purpurová	perikarp	ANK-285A x Meritto	Agrotest Fyto, s.r.o. Kroměříž	Česká republika	Registrována	2018
AF Oxana	modrá	aleuron	RU 440-6 x Ludwig	Agrotest Fyto, s.r.o. Kroměříž	Česká republika	Registrována	2019

3.2 Metodika práce a laboratorní postupy

3.2.1 Polní pokusy a podmínky pěstování

Barevné pšenice byly vysety na podzim po předplodině ozimé řepce na vyrovnaném pozemku v Kroměříži (Agrotest fyto, s.r.o.). Pozemek byl před setím vyhnojen zásobním hnojením 200 kg.ha⁻¹ NPK, čímž se dostalo do půdy celkem 30 kg.ha⁻¹ N, 30 kg.ha⁻¹ P₂O₅ a 30 kg.ha⁻¹ K₂O. Setí bylo provedeno secím strojem Oyord se záběrem 1,25 m. Byl použit výsevek 4 miliony klíčivých zrn na hektar. Pokusy byly vysety v říjnu a sklizeny červenci. Herbicidní ochrana proti plevelům byla prováděna s ohledem na aktuální výskyt plevelů. [35]

Aby bylo možné objektivně zhodnotit kvalitu materiálu, a eliminovat vliv externích vlivů na kvalitu zrna, byly pro účely práce použity zrna ze sklizní 3 po sobě následujících let (2020 až 2022).

V rámci tohoto časového intervalu byly ve všech třech letech vypěstovány odrůdy AF Zora, Vanessa, AF Jumiko i AF Oxana. Odrůdy žlutých pšenic byly dodány pouze pro jeden rok (ze sklizně 2020 odrůda KM 111-18 a ze sklizně 2021 odrůda KM 109-17). V případě série vzorů materiálů ze sklizně z roku 2022 žlutá odrůda pšenice zastoupena nebyla.

3.2.2 Příprava vzorků mouky

Zrna barevných pšenic byla tříděna, aby se odstranily příměsi a nečistoty před mletím. Vzorky celozrnné mouky byly připraveny pomocí laboratorního mlýnu LM 3100 (Perten Instruments AB, Hägersten, Švédsko). Proces mletí byl proveden dle standardní normy ISO 3093:2009. Zrna každé barevné linie byla namleta a proseta pomocí vibračního síťového třídiče Analysette 3 PRO (Fritsch GmbH, Idar-Oberstein, Německo), který byl vybaven síty o velikostech: 485 µm, 366 µm, 257 µm. Byly získány tři frakce mouky, které byly označeny jako hladká (propad sítem s velikostí ok 257 µm), polohrubá (s částicemi menšími než 366 µm) a hrubá (propad sítem o velikosti ok 485 µm) [36].

3.2.3 Základní vlastnosti a parametry kvality mouky

Byl proveden rozbor základních parametrů kvality pšeničné mouky. Postupy jednotlivých stanovení jsou definovány mezinárodními normami. Byly tak získány základní informace a předběžná charakteristika jednotlivých vzorků mouky:

Vlhkost

Vlhkost vzorků mouky byla stanovována vážkově podle ISO 712: 2009. Byla vypočtena jako úbytek hmotnosti, ke kterému došlo během sušení při teplotě 130±3 °C. Vlhkost je vyjádřena v % (m/m). Pro dosažení aktuálních hodnot byla před pokročilejšími metodami měřena i aktuální vlhkost vzorku pomocí

analyzátoru vlhkosti OHAUS MB 120 (OHAUS Europe GmbH, Greifensee, Švýcarsko) [37].

Obsah lepku

Obsah lepku by stanoven jako obsah mokrého lepku a obsah suchého lepku dle normy ISO 21415-1:2006 (manuálním vypíráním) a ISO 21415-2:2015 (pomocí vypírače lepku Glutomatic 2000 (PerkinElmer Inc., Waltham, Massachusetts, USA)). Hodnoty byly vyjádřeny v % (m/m) [38, 39].

Číslo poklesu

Číslo poklesu bylo zjišťováno metodou podle ISO 3093:2009. Číslo poklesu odpovídá celkovému času v sekundách, který uběhl od ponoření viskozimetrické zkumavky se vzorkem do vroucí vody až do poklesu míchadla o určenou vzdálenost [40].

Sedimentační index (Zelenyho test)

Sedimentační index byl stanovován podle metody ISO 5529:2007 a jeho hodnota, vyjádřena v mililitrech, je rovna objemu sedimentu, který vznikl za specifických podmínek ze suspenze testované mouky v roztoku kyseliny mléčné a propan-2-olu za přítomnosti bromfenolové modři [41].

Obsah popela

Hodnota obsahu popela, vypovídající o obsahu minerálních látek ve vzorku, byla zjištěna vážkově podle metody ISO 2171:2010, a to spalováním vzorku v muflové peci za podmínek metody [42].

Obsah škrobu

Obsah škrobu ve vzorcích mouky byl stanovován dle Ewarse polarimetricky metodikou podle normy ISO 10520:1997. Obsah škrobu byl přepočten na 100 % sušinu a vyjádřen v jednotkách % (m/m) [43].

Obsah hrubých bílkovin

Obsah hrubých bílkovin byl vyjádřen v % (m/m) a přepočítán z hodnoty celkového obsahu dusíkatých látek, stanovenou metodou dle Kjeldahla, kterou udává ISO 20483:2013, a to vynásobením faktorem pro celozrnnou pšeničnou mouku (5,83) [44].

Obsah tuku

Stanovení obsahu tuku ve vzorcích mouky bylo provedeno Randallovou extrakcí, metodou dle ISO 11085:2015. Vzorky byly promývány hexanem, jenž byl následně odpařen a obsah tuku byl zjištěn vážkově [45].

3.2.4 Sledování průběhu kynutí těsta

Vývin těsta a schopnost zadržet kypřící plyn v průběhu kynutí byla zaznamenána pomocí reofermentometru RheoF4 (Chopin Technologies, Villeneuve-la-Garenne, Francie). Stanovení bylo provedeno podle návodu k přístroji.

Těsto bylo připraveno z mouky (250 g, byl uvážen obsah vlhkosti ve vzorku), sušeného droždí (3 g), soli (5 g) a vody. Pro dosažení nejlepších výsledků byl přídavek vody vypočítán na základě hodnoty vaznosti vody, která byla získána při měření reologických vlastností těsta v režimu farinograf. Přídavek vody se pohyboval v rozmezí 135–170 ml. Po navážení sypkých surovin do hnětací nádoby byla za stálého míchání pomalu přidána voda a pomocí kuchyňského robotu (Eta Gratus Original, Česká republika) bylo připraveno hladké těsto, které bylo hněteno dalších 6 minut.

Bylo naváženo 315 g vzniklého kompaktního těsta, které bylo následně vloženo do testovací nádoby zařízení Rheo F4, zatíženo pístem se závažím o hmotnosti 2 kg a uzavřeno do komory reofermentometru.

Byl zvolen protokol Chopin+ a zahájeno měření. Zařízení zaznamenávalo chování těsta v průběhu kynutí za předvolených podmínek (teplota $28,5 \pm 0,2$ °C) po dobu 3 h. Výsledkem měření byly dvě křivky, první graf popisující vývin výšky těsta (mm) v závislosti na čase (min). Druhý graf ukazující objem vzniklého, zadržného a uniklého plynu (ml) v závislosti na čase (min). Na základě výsledků bylo možné zhodnotit stabilitu těsta a schopnost zadržet kypřící plyn.

3.2.5 Pekařský pokus a měření objemu výrobků

Pro zhodnocení pekárenské kvality vzorků mouky byla použita standardizovaná metoda ICC 131:1980. Za použití mouky, reaktivovaného sušeného droždí, soli, cukru a sladové mouky byla připravena těsta. Těsta byla rozdělena vždy na 3 klonky o stejné hmotnosti. Po odležení (30 min), tvarování, a kynutí v kynárně (50 min, 30 °C, 85 % RH) byla upečena v peci Miwe cube air (MIWE Michael Wenz GmbH, Arnstein, Germany; 230 °C, 20 min). Následující den bylo provedeno měření objemu, textury a senzorické zhodnocení výrobků [45].

Objem bochníků byl změřen dle standardu AACC Method 10-05.01:1998. Princip metody je založen na vytěsnění řepkových semen, umístěných ve válcové nádobě vzorkem bochníku, přičemž vytěsněný objem materiálu představuje objem měřeného bochníku a byl zjištěn pomocí odměrného válce o objemu 500 ml [46].

3.2.6 Texturní profilová analýza

Před zahájením texturní profilové analýzy byly bochníky nakrájeny na plátky o tloušťce 10 mm a ze středu byly pomocí nerezového vykrajovátko vykrojeny výseče o velikosti v průměru 45 mm. Takto připravené vzorky byly bezprostředně před měřením zakryty potravinovou folií, která předcházela rychlému osychání vzorků, které by značně ovlivnilo výsledky. Pomocí analyzátoru textury TA.XT plus (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Spojené království) byla provedena komprese vzorku pomocí válcové sondy P/75 o průměru 75 mm. Nastavení podmínek měření bylo následující: rychlost před testem 1,00 mm s⁻¹, rychlost v průběhu testu 5,00 mm s⁻¹, rychlost po testu 5,00 mm s⁻¹, zátěž potřebné ke stlačení krajice pečiva na 60 % původní výšky, spouštěcí síla 5,0 g

Na základě získaných křivek síly v závislosti na čase byly pomocí softwaru Exponent Lite (Stable Micro Systems Ltd, Godalming, Spojené království) vypočítány a vyhodnoceny parametry textury: tvrdost, pružnost, kohezivita, resilience a žvýkatelnost. Výsledky byly vypočítány jako průměr až 14 hodnot [47].

3.3 Statistické zpracování dat

Vyhodnocení dat naměřených hodnot jednotlivých skupin materiálů bylo provedeno pomocí softwaru Statistica 13 (StatSoft, CR, Ltd). Vzhledem ke skutečnosti, že byla potvrzena normalita experimentálně získaných dat pomocí Shapiro-Wilkova testu, byly výsledky analyzovány pomocí analýzy rozptylu. Statistická významnost rozdílů mezi jednotlivými odrůdami a granulacemi byla testována na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ pomocí Fisherova LSD testu (Least significant difference test) vícenásobným porovnáním. Statisticky průkazné rozdíly byly v tabulkách s výsledky označeny písmeny a až j. Hodnoty v jednom sloupci označené různými písmeny se tak statisticky prokazatelně liší na hladině $p < 0,05$. Následně byl proveden Tukeyho HSD test (Honestly Significant Difference), za účelem zkoumat vliv proměnných na reologické a texturní vlastnosti na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Kromě toho byla hodnocena korelace mezi parametry těsta a atributy kvality pečiva vyjádřena Pearsonovými korelačními koeficienty na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Data byla analyzována pomocí softwaru Statistica 13 [48].

4. VÝSLEDKY

Výsledky měření byly zaznamenány do tabulek, uvedených v příštích podkapitolách. Tematicky si odpovídající tabulky byly označeny stejným číslem a doplněny písmenem, označující příslušný rok sklizně. Písmenem *a* jsou označeny tabulky s výsledky pšenice ze sklizně 2020, *b* u sklizně 2021 a *c* u sklizně 2022.

4.1 Základní vlastnosti a parametry kvality mouky

Základní charakteristiky vzorků mouky z barevných pšenice lze nalézt v Tabulkách 2.a až 2.c. U výsledků sklizně 2020 bylo možné pozorovat trend zvyšujícího se obsahu popela směrem k hrubším frakcím mouky. U sérií vzorků ze sklizní z let 2021 a 2022 je tento trend patrný pouze u odrůdy AF Oxana. I přesto byl však tento jev při srovnání průměrných hodnot všech vzorků statisticky potvrzen (hladká 1,14 % < polohrubá 1,23 % < hrubá 1,33 %). Při srovnání vzorků z pohledu roku sklizně, nejméně popela obsahovaly vzorky z 2020 (1,02 %), následované vzorky pšenice z let 2022 (1,25 %) a 2021 (1,44 %). Při srovnání průměrných hodnot tohoto parametru mezi jednotlivými odrůdami bylo zjištěno, že nejnižší množství obsahovaly vzorky žluté pšenice KM 111-18 (0,91 %), následované odrůdami Vanessa (1,06 %), AF Zora (1,20 %), AF Oxana (1,24 %), KM 109-17 a AF Jumiko (1,47 %). Obsah popela je parametr, který nepřímo ukazuje na obsah obalových vrstev ve vzorku.

V případě dalšího parametru, obsahu tuku, obdobný trend související s granulací vzorků nebyl statisticky prokázán. Nejnižších hodnot dosahovaly v průměru vzorky ze sklizně 2022 (1,44 %), oproti tomu nejnižší průměr vykazovala sklizeň z 2020 (1,83 %).

U hodnot obsahu škrobu bylo statisticky prokázáno snížení jeho množství se zvyšující se granulací (hladká 72,0 % > polohrubá 70,4 % > hrubá 69,2 %). Také byly nalezeny statisticky významné rozdíly v závislosti na odrůdě a roku sklizně. Obsah škrobu je obvykle v negativní závislosti s obsahem bílkovin ve vzorku.

Číslo poklesu je parametr, podle něhož je nepřímo zjišťována aktivita přítomných amylolytických enzymů. Nízké číslo poklesu znamená vysokou aktivitu enzymů. Tyto enzymy se nacházejí v obalových vrstvách zrna a při mletí přechází do mouky. Na základě měření bylo potvrzeno, že nižší hodnoty čísla poklesu vykazovaly vzorky hrubých frakcí (průměrně 388 s), obsahující vyšší množství těchto obalových vrstev. Oproti tomu u hladkých a polohrubých frakcí byly naměřeny průměrné hodnoty 491 s, respektive 423 s.

Podle hodnoty sedimentačního indexu je posuzována kvalita zásobních bílkovin ve vzorku. Výsledky tohoto parametru byly mezi vzorky podobné. Nejvyšších hodnot však dosahovala černá AF Zora (průměr 18 ml).

Tabulka 2.a: Základní charakteristiky vzorků mouky z barevných pšeníc, pšenice ze sklizně z roku 2020 [41]

Odrůda /barva	granulace	popel [%]	tuky [%]	hrubé bílkoviny [%]	mokrý lepek [%]	škrob [%]	číslo poklesu [s]	sedimentační index [ml]
AF Zora /černá	hladká	0,85 ± 0,3	1,46 ± 0,04	15,9 ± 0,5	41,8 ± 1,6	69,3 ± 0,6	427 ± 31	21 ± 2
	polohrubá	1,13 ± 0,1	1,75 ± 0,07	16,3 ± 0,5	40,0 ± 1,1	66,9 ± 1,0	405 ± 18	30 ± 1
	hrubá	1,75 ± 0,1	1,95 ± 0,03	15,8 ± 0,3	34,9 ± 3,5	57,5 ± 0,6	351 ± 11	38 ± 3
KM 111-18 /žlutá	hladká	0,60 ± 0,1	1,53 ± 0,05	15,1 ± 0,3	33,6 ± 3,0	73,3 ± 1,6	440 ± 5	10 ± 1
	polohrubá	0,82 ± 0,1	1,86 ± 0,14	15,6 ± 1,4	40,1 ± 6,4	70,3 ± 0,7	433 ± 11	10 ± 1
	hrubá	1,32 ± 0,2	2,22 ± 0,19	15,4 ± 0,5	33,0 ± 2,3	66,4 ± 0,6	386 ± 13	10 ± 1
Vanessa /červená	hladká	0,72 ± 0,1	2,18 ± 0,10	11,1 ± 0,2	21,0 ± 1,3	74,1 ± 0,4	328 ± 6	10 ± 1
	polohrubá	0,92 ± 0,2	2,19 ± 0,04	12,3 ± 0,5	23,9 ± 0,6	71,2 ± 0,4	312 ± 9	10 ± 1
	hrubá	1,13 ± 0,1	2,43 ± 0,22	12,0 ± 0,4	19,8 ± 1,5	65,4 ± 1,1	291 ± 3	10 ± 1
AF Jumiko /purpurová	hladká	0,80 ± 0,1	1,68 ± 0,07	15,7 ± 0,8	34,2 ± 1,3	69,7 ± 1,8	529 ± 9	10 ± 1
	polohrubá	1,06 ± 0,1	1,63 ± 0,02	14,1 ± 0,2	30,7 ± 2,2	68,8 ± 0,7	501 ± 6	10 ± 1
	hrubá	1,33 ± 0,1	1,88 ± 0,14	13,8 ± 0,4	30,7 ± 1,6	62,1 ± 0,9	436 ± 13	10 ± 1
AF Oxana /modrá	hladká	0,63 ± 0,2	1,48 ± 0,02	16,7 ± 0,1	41,2 ± 0,6	70,9 ± 0,3	590 ± 20	22 ± 1
	polohrubá	0,77 ± 0,1	1,48 ± 0,04	15,3 ± 0,3	38,1 ± 0,6	67,1 ± 3,2	603 ± 4	12 ± 1
	hrubá	1,47 ± 0,1	1,72 ± 0,03	14,9 ± 0,1	36,2 ± 0,1	60,5 ± 1,7	489 ± 10	14 ± 1

Průměrné hodnoty ± směrodatná odchylka (n = 3)

Tabulka 2.b: Základní charakteristiky vzorků mouky z barevných pšeníc, pšenice ze sklizně z roku 2021

Odrůda /barva	granulace	popel [%]	tuky [%]	hrubé bílkoviny [%]	mokrá lepek [%]	škrob [%]	číslo poklesu [s]	sedimentační index [ml]
AF Zora /černá	hladká	1,45 ± 0,29	1,84 ± 0,14	13,1 ± 0,3	33,8 ± 0,9	74,8 ± 0,7	397 ± 3	17 ± 1
	polohrubá	1,36 ± 0,10	2,05 ± 0,29	13,8 ± 0,1	42,3 ± 1,0	74,1 ± 0,3	396 ± 9	15 ± 1
	hrubá	0,97 ± 0,03	1,70 ± 0,14	12,5 ± 0,1	39,8 ± 2,4	75,2 ± 0,8	335 ± 8	10 ± 1
KM 109-17 /žlutá	hladká	1,52 ± 0,03	1,96 ± 0,09	13,4 ± 0,4	28,9 ± 1,0	69,7 ± 1,3	460 ± 5	10 ± 1
	polohrubá	1,53 ± 0,02	1,45 ± 0,34	15,4 ± 0,3	34,5 ± 0,5	72,9 ± 0,9	476 ± 20	10 ± 1
	hrubá	1,34 ± 0,02	1,50 ± 0,03	14,5 ± 0,2	30,8 ± 0,8	74,7 ± 0,3	488 ± 14	10 ± 1
Vanessa /červená	hladká	1,24 ± 0,03	1,51 ± 0,31	12,6 ± 1,2	29,0 ± 0,3	76,0 ± 1,2	256 ± 6	10 ± 1
	polohrubá	1,14 ± 0,02	1,53 ± 0,21	12,9 ± 0,1	31,9 ± 1,3	78,6 ± 0,1	302 ± 5	18 ± 1
	hrubá	0,96 ± 0,05	1,41 ± 0,04	12,0 ± 0,2	28,5 ± 1,2	77,4 ± 0,3	316 ± 2	12 ± 1
AF Jumiko /purpurová	hladká	1,74 ± 0,02	1,58 ± 0,03	14,2 ± 0,1	32,3 ± 0,1	71,3 ± 0,9	461 ± 22	13 ± 1
	polohrubá	1,91 ± 0,01	2,06 ± 0,13	13,8 ± 0,1	28,6 ± 0,2	68,9 ± 0,4	436 ± 11	11 ± 1
	hrubá	1,69 ± 0,03	1,44 ± 0,16	12,9 ± 0,3	28,3 ± 0,9	70,3 ± 0,3	438 ± 19	11 ± 1
AF Oxana /modrá	hladká	1,29 ± 0,01	1,92 ± 0,02	15,2 ± 0,1	40,4 ± 1,7	72,2 ± 0,7	438 ± 5	14 ± 1
	polohrubá	1,45 ± 0,01	2,00 ± 0,15	14,4 ± 0,3	45,3 ± 0,8	71,1 ± 0,6	443 ± 16	10 ± 1
	hrubá	1,97 ± 0,02	1,84 ± 0,10	13,5 ± 0,2	30,5 ± 0,9	66,2 ± 0,1	359 ± 20	10 ± 1

Průměrné hodnoty ± směrodatná odchylka (n = 3)

Tabulka 2c: Základní charakteristiky vzorků mouky z barevných pšeníc, pšenice ze sklizně z roku 2022

Odrůda /barva	granulace	popel [%]	tuky [%]	hrubé bílkoviny [%]	mokrý lepek [%]	škrob [%]	číslo poklesu [s]	sedimentační index [ml]
AF Zora /černá	hladká	1,17 ± 0,03	1,51 ± 0,18	12,8 ± 0,2	15,4 ± 6,3	73,4 ± 0,4	292 ± 4	10 ± 1
	polohrubá	1,17 ± 0,01	1,46 ± 0,18	12,8 ± 0,3	21,7 ± 2,3	72,6 ± 1,7	259 ± 4	10 ± 1
	hrubá	0,90 ± 0,01	1,07 ± 0,02	12,0 ± 0,1	23,4 ± 0,3	75,4 ± 1,3	241 ± 6	11 ± 1
Vanessa /červená	hladká	1,23 ± 0,01	1,50 ± 0,09	12,1 ± 0,1	4,9 ± 3,0	72,6 ± 1,7	327 ± 10	10 ± 1
	polohrubá	1,23 ± 0,06	1,84 ± 0,16	12,5 ± 0,1	8,0 ± 5,9	62,8 ± 5,1	338 ± 11	10 ± 1
	hrubá	0,92 ± 0,04	1,56 ± 0,08	11,4 ± 0,1	24,1 ± 0,6	74,5 ± 1,6	336 ± 28	12 ± 1
AF Jumiko /purpurová	hladká	1,57 ± 0,04	1,76 ± 0,15	10,9 ± 0,1	6,0 ± 3,0	70,7 ± 1,6	499 ± 23	10 ± 1
	polohrubá	1,57 ± 0,04	1,52 ± 0,03	10,5 ± 0,1	9,8 ± 3,9	67,9 ± 3,8	590 ± 90	10 ± 1
	hrubá	1,62 ± 0,01	1,41 ± 0,16	10,2 ± 0,2	10,1 ± 0,4	71,1 ± 0,7	483 ± 12	10 ± 1
AF Oxana /modrá	hladká	1,10 ± 0,04	1,35 ± 0,19	12,2 ± 0,2	23,6 ± 0,3	70,0 ± 1,2	492 ± 11	13 ± 1
	polohrubá	1,19 ± 0,10	1,27 ± 0,07	12,2 ± 0,2	27,1 ± 0,3	73,2 ± 1,6	452 ± 27	12 ± 1
	hrubá	1,28 ± 0,06	1,13 ± 0,12	10,3 ± 0,1	19,9 ± 0,3	71,6 ± 0,8	534 ± 65	10 ± 1

Průměrné hodnoty ± směrodatná odchylka (n = 3)

4.2 Vývin těsta a schopnost zadržet kypřicí plyn v průběhu kynutí

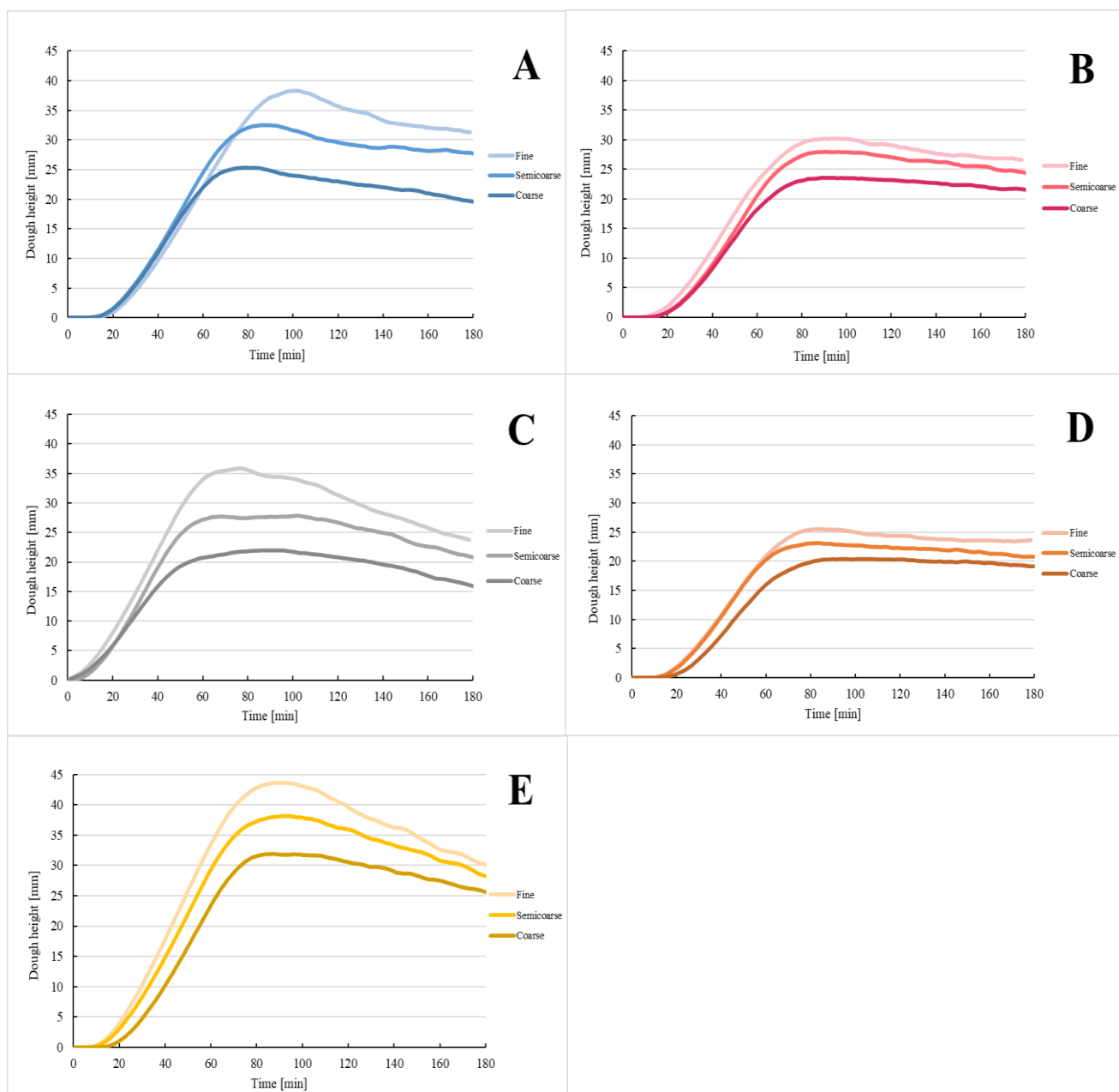
Do Tabulek 3.a až 3.c byly zaznamenány parametry popisující vývin těsta v závislosti na čase.

Biologicky kypřená těsta, připravená z frakcí mouky označené jako hladká dosáhly průměrně vyšší maximální výšky těsta Hm (34,6 mm) ve srovnání s polohrubými (32,7 mm) a hrubými frakcemi (viz Obrázek 6 (A–E)). Parametr Hm tak byl značně ovlivněn velikostí otrub v těstě. Z pohledu odrůd, bez ohledu na granulaci, nejlépe kynuly žluté pšenice (KM 111-18, 38 mm; KM 109-17, 36 mm), následovány červenou vanessou (33 mm), černou AF Zorou (31 mm) a nejhorších výsledků průměrně dosahovaly modrá AF Oxana (29 mm) a AF Jumiko (26 mm).

Mezi dobou, než křivka dosáhla maxima (T1), byly nalezeny mírné rozdíly, poukazující na skutečnost, že těsta z hrubých frakcí kynuly do dosažení maximální výšky těsta poněkud déle (113 min), oproti těst z polohrubých frakcí (105 min). Těsta ze vzorků hladkých mouk kynuly rychleji (98 min). Tento parametr je důležitý z hlediska optimálního načasování zpracování těsta, aby nebylo před pečením nedokynuté ani překynuté.

Poměrně zajímavý je i trend, který vyplynul z výsledků poklesu těsta v průběhu měření (Hm-h)/Hm, podle kterého byl pokles ve vývinu nižší u těst z hrubších frakcí mouky. To by poukazovalo na skutečnost, že těsta z hrubých frakcí sice kynuly méně a pomaleji, ale měly lepší schopnost si výšku těsta udržet.

Měření průběhu fermentace těsta ukázalo, že barevné pšenice měly srovnatelné schopnosti kynutí jako standardní odrůda pšenice a v některých případech (např. u parametru Hm a Vr/Vt) dokonce předčily standardní odrůdu.



Obrázek 4: Rheofermentogramy test z mouky pšeníc ze sklizně z roku 2020(A) AF Oxana – modrá; (B) AF Jumiko – purpurová; (C) AF Zora – černá; (D) Vanessa – standard; (E) KM 111-18 – žlutá [34]

Tabulka 3.a: Parametry popisující průběh kynutí těsta, pšenice ze sklizně z roku 2020 [34]

Odrůda /barva	granulace	Hm [mm]	h [mm]	(Hm-h)/Hm [%]	T1 [min]
AF Zora /černá	hladká	36,0 ± 1,0 ^{k-r}	24,0 ± 3,0 ^a	34 ± 8 ^a	76 ± 10 ^a
	polohrubá	28,0 ± 0,2 ^{d-j}	21,0 ± 1,0 ^a	26 ± 3 ^a	86 ± 20 ^{ab}
	hrubá	22,0 ± 1,0 ^{a-e}	16,0 ± 1,0 ^a	28 ± 8 ^a	83 ± 20 ^{ab}
KM 111-18 /žlutá	hladká	44,0 ± 1,0 ^s	30,0 ± 2,0 ^{ab}	31 ± 3 ^a	91 ± 4 ^{a-d}
	polohrubá	38,0 ± 4,0 ^{l-s}	28,2 ± 0,3 ^{ab}	26 ± 7 ^a	92 ± 3 ^{a-e}
	hrubá	32,1 ± 0,1 ^{h-o}	25,6 ± 0,1 ^a	20 ± 1 ^a	98 ± 20 ^{a-e}
Vanessa /červená	hladká	26,0 ± 1,0 ^{c-h}	24,0 ± 2,0 ^a	8 ± 2 ^a	87 ± 6 ^{ab}
	polohrubá	23,0 ± 1,0 ^{a-f}	20,8 ± 0,2 ^a	10 ± 2 ^a	82 ± 4 ^{ab}
	hrubá	20,6 ± 0,1 ^{a-d}	19,0 ± 1,0 ^a	7 ± 4 ^a	97 ± 20 ^{a-e}
AF Jumiko /purpurová	hladká	30,0 ± 1,0 ^{f-l}	27,0 ± 1,0 ^{ab}	13 ± 1 ^a	90 ± 8 ^{a-d}
	polohrubá	28,1 ± 0,4 ^{d-j}	24,4 ± 0,1 ^a	13 ± 1 ^a	95 ± 20 ^{a-e}
	hrubá	24,0 ± 1,0 ^{b-g}	21,6 ± 0,5 ^a	9 ± 3 ^a	91 ± 4 ^{a-d}
AF Oxana /modrá	hladká	39,0 ± 1,0 ^{m-s}	31,2 ± 0,3 ^{ab}	19 ± 3 ^a	98 ± 11 ^{a-e}
	polohrubá	33,0 ± 1,0 ^{h-o}	27,7 ± 0,1 ^{ab}	15 ± 1 ^a	87 ± 6 ^{ab}
	hrubá	26,0 ± 1,0 ^{c-h}	20,0 ± 1,0 ^a	23 ± 7 ^a	79 ± 8 ^a

Hodnoty maximální dosažené výšky těsta (Hm), výšky těsta na konci měření (h), poklesu ve vývinu těsta ((Hm-h)/Hm), času dosažení maximální výšky těsta (T1) tří frakcí mouky pěti odrůd barevné pšenice. Průměrné hodnoty (n = 3) v jednom sloupci následované různými písmeny se statisticky významně liší (p < 0,01).

Tabulka 3.b: Parametry popisující průběh kynutí těsta, pšenice ze sklizně z roku 2021

Odrůda /barva	granulace	Hm [mm]	h [mm]	(Hm-h)/Hm [%]	T1 [min]
AF Zora /černá	hladká	32,1 ± 2,0 ^{h-o}	31,3 ± 1,7 ^{ab}	2 ± 1 ^a	155 ± 4 ^{d-f}
	polohrubá	33,6 ± 0,9 ^{i-o}	30,8 ± 0,6 ^{ab}	8 ± 4 ^a	147 ± 19 ^{b-f}
	hrubá	31,6 ± 3,0 ^{h-o}	25,7 ± 1,2 ^a	18 ± 4 ^a	114 ± 9 ^{a-f}
KM 109-17 /žlutá	hladká	35,0 ± 1,2 ^{i-p}	33,7 ± 1,5 ^{ab}	4 ± 1 ^a	107 ± 17 ^{a-e}
	polohrubá	38,8 ± 2,5 ^{n-s}	37,7 ± 2,1 ^{ab}	3 ± 1 ^a	116 ± 9 ^{a-f}
	hrubá	31,5 ± 0,8 ^{h-o}	30,6 ± 1,8 ^{ab}	3 ± 3 ^a	154 ± 12 ^{c-f}
Vanessa /červená	hladká	39,0 ± 0,7 ^{ts}	29,9 ± 0,2 ^{ab}	24 ± 1 ^a	102 ± 4 ^{a-e}
	polohrubá	43,6 ± 0,7 ^{o-s}	32,1 ± 0,5 ^{ab}	26 ± 2 ^a	104 ± 4 ^{a-e}
	hrubá	31,1 ± 1,2 ^{g-n}	26,2 ± 0,3 ^{ab}	15 ± 17 ^a	130 ± 31 ^{a-f}
AF Jumiko /purpurová	hladká	29,1 ± 1,1 ^{e-k}	24,7 ± 2,1 ^a	13 ± 2 ^a	85 ± 7 ^{ab}
	polohrubá	27,6 ± 1,3 ^{d-i}	25,2 ± 0,3 ^a	10 ± 3 ^a	77 ± 6 ^a
	hrubá	18,2 ± 0,1 ^{a-c}	18,1 ± 0,1 ^a	1 ± 1 ^a	141 ± 19 ^{a-f}
AF Oxana /modrá	hladká	35,4 ± 0,9 ^{j-q}	33,7 ± 0,6 ^{ab}	5 ± 4 ^a	129 ± 28 ^{a-f}
	polohrubá	30,2 ± 0,1 ^{f-k}	29,2 ± 0,2 ^{ab}	3 ± 1 ^a	122 ± 24 ^{a-f}
	hrubá	15,9 ± 1,4 ^{ab}	15,2 ± 1,1 ^a	4 ± 2 ^a	137 ± 2 ^{a-f}

Hodnoty maximální dosažené výšky těsta (Hm), výšky těsta na konci měření (h), poklesu ve vývinu těsta ((Hm-h)/Hm), času dosažení maximální výšky těsta (T1) tří frakcí mouky pěti odrůd barevné pšenice. Průměrné hodnoty (n = 3) v jednom sloupci následované různými písmeny se statisticky významně liší (p < 0,01).

Tabulka 3.c: Parametry popisující průběh kynutí těsta, pšenice ze sklizně z roku 2022

Odrůda /barva	granulace	Hm [mm]	h [mm]	(Hm-h)/Hm [%]	T1 [min]
AF Zora /černá	hladká	34,2 ± 0,4 ^{i-p}	15,4 ± 21,4 ^a	55 ± 63 ^a	90 ± 2 ^{a-d}
	polohrubá	31,0 ± 2,4 ^{g-m}	28,5 ± 0,1 ^{ab}	8 ± 8 ^a	107 ± 33 ^{a-e}
	hrubá	28 ± 1,1 ^{d-j}	24,4 ± 1,1 ^a	12 ± 7 ^a	105 ± 13 ^{a-e}
Vanessa /červená	hladká	43,1 ± 1,6 ^{q-s}	29,9 ± 0,2 ^{ab}	31 ± 2 ^a	89 ± 2 ^{a-d}
	polohrubá	41,7 ± 2,2 ^{p-s}	30,0 ± 1,1 ^{ab}	28 ± 7 ^a	95 ± 7 ^{a-e}
	hrubá	32,9 ± 3,1 ^{h-o}	25,1 ± 1,7 ^a	23 ± 12 ^a	98 ± 12 ^{a-e}
AF Jumiko /purpurová	hladká	30,2 ± 1,9 ^{f-k}	28,5 ± 1,4 ^{ab}	5 ± 2 ^a	88 ± 3 ^{a-c}
	polohrubá	27,8 ± 0,8 ^{d-j}	25,9 ± 0,3 ^{ab}	7 ± 1 ^a	86 ± 8 ^{ab}
	hrubá	15,5 ± 7,6 ^a	10,7 ± 14,1 ^a	47 ± 66 ^a	103 ± 56 ^{a-e}
AF Oxana /modrá	hladká	32,2 ± 0,1 ^{h-o}	30,7 ± 1,3 ^{ab}	5 ± 4 ^a	82 ± 10 ^{ab}
	polohrubá	33,1 ± 0,7 ^{h-o}	33,1 ± 0,6 ^{ab}	0 ± 0 ^a	180 ± 0 ^f
	hrubá	20,6 ± 1,1 ^{a-d}	20,0 ± 0,7 ^a	2 ± 1 ^a	158 ± 3 ^{ef}

Hodnoty maximální dosažené výšky těsta (Hm), výšky těsta na konci měření (h), poklesu ve vývinu těsta ((Hm-h)/Hm), času dosažení maximální výšky těsta (T1) tří frakcí mouky pěti odrůd barevné pšenice. Průměrné hodnoty (n = 3) v jednom sloupci následované různými písmeny se statisticky významně liší (p < 0,01).

4.3 Texturní vlastnosti a kvalita pečiva

Z výsledků měření specifického objemu (LSV) byl patrný trend zmenšení objemu bochníků, upečených z polohrubých a hrubých frakcí mouky, viz Tabulka 4.a až 4.c. Byly naměřeny následující průměrné hodnoty (hladké frakce 2,9 mg/l > polohrubé 2,84 mg/l > 2,3 mg/l. Tento jev byl v souladu s daty, získanými pomocí reofermentometru, kdy těsta z polohrubých a hrubých frakcí dosáhla nižších Hm, ve srovnání s hladkými frakcemi. Statistickým vyhodnocením byla nalezena korelace mezi parametry Hm a LSV.

Snížení LSV by mohlo souviset se schopností otrub vázat velká množství vody: voda absorbovaná otrubami pak není v těstu dostupná pro tvorbu lepkové sítě, která pak není dostatečně pevná a pružná, a tudíž nemá dostatečnou schopnost zadržovat kypřicí plyn [19, 49].

Se zvyšující se granulací byl zaznamenán pokles ztrát pečením (hladká 12,8 % > polohrubá 12,3 % > hrubá 10,8 %). Ztráty pečením představují množství vody, která se odpaří z těsta v průběhu pečení. Stejně jako v případě specifického objemu souvisí také tento parametr s přítomností, velikostí a kapacitou otrub vázat vodu [19, 49].

Snížená schopnost těsta zadržovat kypřicí plyn měla za následek nižší nakypřenost výrobku a tvrdší texturu střídy. Obecně bylo možné konstatovat, že s hrubší granulací mouky bylo možno pozorovat nárůst průměrné tvrdosti (26,6 < 29,3 < 49,7 N) a žvýkatelnosti (1610 < 1763 < 2864 N) pečiva. Ačkoliv nebyl zaznamenán významný rozdíl mezi výsledky pro hladké a polohrubé frakce, hodnoty popisující výsledky z hrubých frakcí se lišily. Vzorky vyrobené z hrubých frakcí tak vykazovaly horší pružnost (85 > 85 > 79 %), kohezivitu (73 > 73 > 70 %) a resilienci (35 > 32 > 27 %). Nejhorší texturní vlastnosti měla střída pečiva z hrubé frakce purpurové AF Jumiko z let 2021 a 2022 (tvrdost 97 a 156 N) a AF Oxana z roku 2022 (93 %). Pro tyto vzorky byla také naměřena nejvyšší žvýkavost. Tato zjištění jsou v souladu se studií Boita et al. (2016) [50].

Tabulka 4.a: Měření textury pečiva z mouky barevných pšeníc ze sklizně z roku 2020 [41]

Odrůda /barva	granulace	Specifický objem LSV [ml/g]	Ztráty pečením [%]	Tvrдость [N]	Pružnost [%]	Kohezivita [%]	Resilience [%]	Žvýkatelnost [N]
AF Zora /černá	hladká	2,8 ± 0,2 ^{f-k}	10,7 ± 1,1 ^{d-h}	10 ± 3 ^a	89,4 ± 3,2 ^{bc}	78,7 ± 1,3 ^b	36,3 ± 1,7 ^{h-k}	678 ± 219 ^{ab}
	polohrubá	2,7 ± 0,1 ^{d-i}	9,3 ± 0,5 ^{b-d}	13 ± 3 ^{ab}	84,6 ± 2,7 ^{a-c}	74,3 ± 2,0 ^b	31,7 ± 2,0 ^{d-k}	835 ± 154 ^{a-d}
	hrubá	2,1 ± 0,2 ^{a-c}	7,9 ± 0,3 ^{ab}	25 ± 3 ^{a-f}	71,2 ± 3,0 ^{ab}	67,7 ± 1,6 ^{ab}	25,5 ± 1,4 ^a	1188 ± 109 ^{a-e}
KM 111-18 /žlutá	hladká	3,8 ± 0,3 ^p	10,7 ± 0,3 ^{d-h}	4 ± 1 ^a	94,0 ± 1,8 ^{bc}	82,0 ± 1,3 ^b	38,2 ± 1,0 ^k	304 ± 51 ^a
	polohrubá	3,4 ± 0,1 ^{n-p}	11,1 ± 0,5 ^{e-j}	8 ± 1 ^a	90,5 ± 2,3 ^{bc}	77,2 ± 1,6 ^b	33,3 ± 1,4 ^{c-k}	522 ± 83 ^{ab}
	hrubá	2,6 ± 0,1 ^{c-h}	8,2 ± 0,3 ^{a-c}	19 ± 3 ^{a-d}	82,5 ± 3,6 ^{a-c}	71,7 ± 3,3 ^{ab}	29,7 ± 2,4 ^{a-g}	1083 ± 151 ^{a-e}
Vanessa /červená	hladká	2,8 ± 0,2 ^{g-k}	10,9 ± 0,2 ^{d-j}	13 ± 2 ^{ab}	85,4 ± 1,7 ^{a-c}	73,3 ± 1,6 ^{ab}	30,7 ± 1,4 ^{a-i}	809 ± 99 ^{a-d}
	polohrubá	2,8 ± 0,1 ^{g-l}	9,8 ± 0,1 ^{c-e}	12 ± 2 ^{ab}	84,9 ± 3,2 ^{bc}	72,9 ± 1,3 ^{ab}	31,3 ± 1,1 ^{a-i}	752 ± 132 ^{a-d}
	hrubá	2,2 ± 0,1 ^{a-e}	8,8 ± 0,4 ^{a-c}	23 ± 3 ^{a-d}	77,5 ± 6,0 ^{a-c}	67,0 ± 4,7 ^{ab}	26,4 ± 3,3 ^{a-e}	1157 ± 104 ^{a-e}
AF Jumiko /purpurová	hladká	2,9 ± 0,1 ^{g-n}	11,4 ± 0,4 ^{e-l}	12 ± 1 ^{ab}	88,9 ± 2,5 ^{bc}	75,1 ± 1,4 ^b	32,9 ± 1,6 ^{d-k}	763 ± 75 ^{a-d}
	polohrubá	2,5 ± 0,2 ^{b-g}	9,8 ± 0,6 ^{c-e}	24 ± 2 ^{a-e}	85,2 ± 2,7 ^{a-c}	72,7 ± 1,0 ^{ab}	30,8 ± 1,0 ^{a-k}	1471 ± 122 ^{a-e}
	hrubá	2,3 ± 0,1 ^{a-f}	7,5 ± 0,2 ^a	25 ± 4 ^{a-f}	75,2 ± 3,4 ^{a-c}	68,5 ± 2,5 ^{ab}	25,7 ± 1,9 ^{ab}	1257 ± 133 ^{a-e}
AF Oxana /modrá	hladká	3,0 ± 0,2 ^{h-o}	11,5 ± 0,6 ^{f-l}	7 ± 1 ^a	90,5 ± 2,1 ^{bc}	79,5 ± 1,1 ^b	36,6 ± 1,7 ^{i-k}	500 ± 54 ^a
	polohrubá	3,5 ± 0,1 ^{op}	9,2 ± 0,3 ^{a-d}	5 ± 1 ^a	89,6 ± 2,3 ^{bc}	79,7 ± 1,0 ^b	35,7 ± 1,0 ^{g-k}	327 ± 69 ^a
	hrubá	3,3 ± 0,1 ^{m-p}	8,2 ± 0,3 ^{a-c}	8 ± 2 ^a	77,0 ± 3,4 ^{a-c}	72,9 ± 3,0 ^{ab}	29,8 ± 2,0 ^{a-h}	436 ± 97 ^a

Hodnoty specifického objemu bochníků (LSV) byly získány vydělením objemu výrobku jeho hmotností. Průměrné hodnoty (n = 3-14) v jednom sloupci následované různými písmeny se statisticky významně liší (p < 0,05).

Tabulka 4.b: Měření textury pečiva z mouky barevných pšeníc ze sklizně z roku 2021

Odrůda /barva	granulace	Specifický objem LSV [ml/g]	Ztráty pečením [%]	Tvrdoost [N]	Pružnost [%]	Kohezivita [%]	Resilience [%]	Žvýkatelnost [N]
AF Zora /černá	hladká	3,2 ± 0,4 ^{j-o}	13,4 ± 0,2 ^{m-p}	38 ± 3 ^{d-h}	87,5 ± 2,3 ^{bc}	69,5 ± 1,7 ^{ab}	27,4 ± 1,6 ^{a-e}	2325 ± 183 ^{a-g}
	polohrubá	2,7 ± 0,2 ^{e-h}	13,5 ± 0,1 ^{m-r}	39 ± 3 ^{d-h}	85,5 ± 2,6 ^{bc}	70,4 ± 1,2 ^{ab}	28,2 ± 1,1 ^{a-f}	2368 ± 227 ^{a-h}
	hrubá	2,6 ± 0,2 ^{d-h}	13,9 ± 0,4 ^{n-r}	38 ± 12 ^{e-h}	82 ± 21 ^{bc}	73,4 ± 5,3 ^{ab}	34,6 ± 5,8 ^{e-k}	2390 ± 817 ^{c-h}
KM 109-17 /žlutá	hladká	3,0 ± 0,2 ^{h-n}	13,4 ± 1,0 ^{m-q}	22 ± 3 ^{a-e}	88,8 ± 2,3 ^{bc}	72,9 ± 1,2 ^b	27,7 ± 1,1 ^{a-e}	1436 ± 161 ^{a-e}
	polohrubá	3,3 ± 0,2 ^{l-p}	13,7 ± 0,5 ^{n-r}	15 ± 2 ^{ab}	88,5 ± 2,1 ^{bc}	74,9 ± 2,0 ^b	28,1 ± 1,6 ^{a-f}	1023 ± 159 ^{a-e}
	hrubá	2,8 ± 0,2 ^{g-j}	12,2 ± 0,9 ^{h-m}	28 ± 8 ^{b-g}	83,8 ± 4,4 ^{bc}	72,8 ± 1,3 ^b	29,0 ± 1,2 ^{a-f}	1696 ± 487 ^{a-e}
Vanessa /červená	hladká	2,7 ± 0,1 ^{e-h}	14,9 ± 0,4 ^{q-t}	23 ± 3 ^{a-d}	80,9 ± 4,9 ^{a-c}	70,0 ± 1,3 ^{ab}	25,1 ± 1,0 ^a	1285 ± 175 ^{a-e}
	polohrubá	3,1 ± 0,1 ^{i-o}	14,9 ± 0,8 ^{r-t}	14 ± 3 ^{ab}	83,0 ± 3,9 ^{bc}	71,7 ± 1,0 ^b	26,5 ± 1,0 ^{a-c}	851 ± 189 ^{a-c}
	hrubá	2,3 ± 0,1 ^{a-e}	12,5 ± 0,1 ^{k-n}	56 ± 9 ^{h-j}	78 ± 10 ^{ab}	69,3 ± 3,6 ^{ab}	28,2 ± 3,2 ^{a-h}	3042 ± 632 ^{d-h}
AF Jumiko /purpurová	hladká	2,2 ± 0,1 ^{a-d}	12,9 ± 0,6 ^{l-o}	49 ± 6 ^{g-j}	74 ± 27 ^{a-c}	64 ± 24 ^{ab}	29,0 ± 1,5 ^{a-f}	2613 ± 1027 ^{e-h}
	polohrubá	2,3 ± 0,1 ^{a-f}	12,1 ± 0,1 ^{h-m}	65 ± 10 ^{i-k}	81,4 ± 3,4 ^{bc}	72,2 ± 0,8 ^b	29,5 ± 1,0 ^{a-g}	3800 ± 644 ^{f-i}
	hrubá	2,0 ± 0,1 ^{ab}	11,1 ± 0,5 ^{e-j}	100 ± 12 ^m	75,9 ± 2,7 ^{a-c}	70,7 ± 1,9 ^{ab}	32,0 ± 1,8 ^{a-i}	5347 ± 513 ⁱ
AF Oxana /modrá	hladká	3,2 ± 0,2 ^{k-o}	14,8 ± 0,7 ^{p-t}	16 ± 4 ^{ab}	87,1 ± 4,6 ^{bc}	75,9 ± 1,6 ^b	31,1 ± 1,6 ^{b-k}	1047 ± 217 ^{a-d}
	polohrubá	2,9 ± 0,1 ^{g-n}	14,0 ± 0,6 ^{o-s}	20 ± 7 ^{a-c}	81,5 ± 9,6 ^{a-c}	78,7 ± 2,8 ^b	31,3 ± 3,3 ^{a-i}	1249 ± 459 ^{a-e}
	hrubá	2,0 ± 0,1 ^a	11,5 ± 0,7 ^{h-l}	64 ± 6 ^{i-k}	69 ± 27 ^a	63 ± 25 ^a	30,9 ± 1,0 ^{a-i}	3158 ± 1330 ^{c-h}

Hodnoty specifického objemu bochníků (LSV) byly získány vydělením objemu výrobku jeho hmotností. Průměrné hodnoty (n = 3-14) v jednom sloupci následované různými písmeny se statisticky významně liší (p < 0,05).

Tabulka 4.c: Měření textury pečiva z mouky barevných pšeníc ze sklizně z roku 2022

Odrůda /barva	granulace	Specifický objem LSV [ml/g]	Ztráty pečením [%]	Tvrdoost [N]	Pružnost [%]	Kohezivita [%]	Resilience [%]	Žvýkatelnost [N]
AF Zora /černá	hladká	2,6 ± 0,2 ^{d-h}	11,3 ± 0,8 ^{e-k}	44 ± 7 ^{f-i}	82,4 ± 3,9 ^{a-c}	71,6 ± 2,6 ^{ab}	29,1 ± 2,4 ^{a-f}	2575 ± 336 ^{b-h}
	polohrubá	2,3 ± 0,2 ^{a-f}	10,6 ± 0,1 ^{d-g}	47 ± 4 ^{g-j}	82,8 ± 3,6 ^{a-c}	70,5 ± 1,9 ^{ab}	29,1 ± 1,8 ^{a-e}	2728 ± 200 ^{c-h}
	hrubá	1,9 ± 0,1 ^a	10,6 ± 0,5 ^{d-g}	69 ± 12 ^{jk}	84,6 ± 4,6 ^{bc}	72,4 ± 2,9 ^b	35,2 ± 2,5 ^{j-k}	4179 ± 598 ^{g-i}
Vanessa /červená	hladká	3,3 ± 0,2 ^{l-p}	11,7 ± 0,8 ^{h-l}	28 ± 14 ^{b-g}	77,4 ± 5,0 ^{a-c}	72,7 ± 1,5 ^b	28,6 ± 2,5 ^{a-h}	1595 ± 959 ^{a-e}
	polohrubá	2,9 ± 0,2 ^{g-n}	12,5 ± 0,4 ⁱ⁻ⁿ	21 ± 5 ^{a-e}	75,6 ± 4,4 ^{a-c}	72,5 ± 1,2 ^{ab}	27,1 ± 1,0 ^{a-d}	1153 ± 292 ^{a-e}
	hrubá	2,2 ± 0,1 ^{a-d}	10,7 ± 0,2 ^{d-h}	41 ± 8 ^{d-h}	80,1 ± 2,9 ^{a-c}	71,1 ± 1,5 ^{ab}	30,3 ± 1,6 ^{a-h}	2316 ± 457 ^{a-g}
AF Jumiko /purpurová	hladká	2,6 ± 0,1 ^{d-h}	14,2 ± 0,8 ^{o-t}	51 ± 14 ^{h-j}	79 ± 10 ^{a-c}	71,9 ± 4,7 ^{ab}	31,3 ± 4,7 ^{a-j}	2938 ± 947 ^{e-h}
	polohrubá	2,7 ± 0,2 ^{e-h}	12,8 ± 0,6 ^{k-o}	72 ± 4 ^{kl}	85,2 ± 4,2 ^{bc}	68,2 ± 1,0 ^{ab}	29,1 ± 1,0 ^{a-f}	4177 ± 296 ^{hi}
	hrubá	1,9 ± 0,1 ^a	13,1 ± 0,6 ^{i-o}	156 ± 3 ⁿ	104 ± 33 ^c	71,9 ± 3,4 ^{ab}	35,7 ± 2,3 ^{f-k}	11663 ± 4060 ^j
AF Oxana /modrá	hladká	2,9 ± 0,2 ^{g-m}	15,6 ± 0,3 ^t	32 ± 4 ^{b-g}	83,3 ± 4,8 ^{a-c}	73,1 ± 2,0 ^{ab}	29,5 ± 1,9 ^{a-i}	1957 ± 275 ^{a-f}
	polohrubá	3,0 ± 0,1 ^{h-n}	15,4 ± 0,1 st	36 ± 6 ^{c-h}	84,8 ± 3,1 ^{bc}	72,0 ± 1,3 ^b	30,2 ± 1,1 ^{a-i}	2194 ± 480 ^{a-g}
	hrubá	2,0 ± 0,1 ^{ab}	14,5 ± 0,1 ^{o-t}	93 ± 11 ^{lm}	83,2 ± 1,2 ^{a-c}	71,4 ± 1,0 ^b	33,3 ± 1,0 ^{c-k}	5549 ± 691 ⁱ

Hodnoty specifického objemu bochníků (LSV) byly získány vydělením objemu výrobku jeho hmotností. Průměrné hodnoty (n = 3-14) v jednom sloupci následované různými písmeny se statisticky významně liší (p < 0,05).

ZÁVĚR

Černé, purpurové, modré i žluté odrůdy pšenice představují potenciál pro výrobu funkčních potravin. V této práci byly srovnány reologické vlastnosti těst, připravených z různých odrůd barevných pšenic a popsáno jejich chování v průběhu kynutí. Rovněž byl sledován i vliv množství a velikosti částic obalových vrstev na vlastnosti těsta a pečiva.

Mechanismus zabudovávání otrub do těsta nebyl dosud plně popsán, ale lze pozorovat jejich různé dopady na reologické vlastnosti těsta. Přítomnost otrub neměla zásadní negativní vliv na reologické vlastnosti těst. Bylo pozorováno prodloužení stability těst, odolnost vůči přehnětení a snížení stupně změknutí.

Hrubé částice otrub negativně ovlivnily schopnost zadržovat kypřicí plyn, texturu pečiva, atributy sensorického hodnocení a celkovou přijatelnost produktů pro konzumenty. Použití hrubších frakcí se u vzorků projevilo zvýšenou tvrdostí a žvýkatelností a zhoršením pružnosti, kohezivitu a resilience střídy pečiva. Navíc byly u některých vzorků s vyšším množstvím otrub zaznamenány cizí pachuti a přípachy, konkrétně u černé AF Zora a purpurové AF Jumiko. Tento jev by mohl indikovat možné omezení některých barevných odrůd při výrobě potravin. Jinými slovy, v dalším výzkumu bude nezbytné nalézt způsoby zpracování zrna barevné pšenice a optimální podmínky výroby mouky a pečiva, které by zajistily eliminaci výskytu nepříjemné chuti a aroma.

Při porovnání kvality těsta a pečiva různých odrůd barevných pšenic, nejlepších výsledků dosáhly (v případě série vzorků ze sklizně 2020) žlutá KM 111-18 a modrá AF Oxana. Na základě poznatků lze konstatovat, že materiály, které byly v rámci výzkumu zkoumány, vykazovaly dobrou kvalitu těsta a vysokou schopnost zadržovat kypřicí plyn, což je zásadní vlastnost zejména pro použití v pekárenském průmyslu. Dle celkového zhodnocení by byly pro tento účel nejvhodnější hladké frakce mouky. Polohrubé a hrubé frakce by bylo vhodnější využít při výrobě potravin, u kterých není vyžadována schopnost zadržovat co nejvyšší množství kypřicího plynu, například výroba knedlíků, těstovin, krekrů, nebo sušenek.

PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI

Zjištění, učiněná v rámci této práce, by mohla být užitečná jak pro výrobce potravin z pekárenského a pečivářenského odvětví, tak pro zemědělce a instituce, věnující se pěstování pšenice a nových plodin.

V rámci naší studijní skupiny plánujeme ve výzkumu barevných pšenic dále pokračovat. Například se blíže zaměřit na tepelnou stabilitu barviv v průběhu zpracování, využitelnost materiálů pro další pekárenské i pečivářenské výrobky, sledování barevných změn výrobků vlivem zpracování a blíže popsat vlivy podmínek pěstování barevných pšenic na jejich technologickou kvalitu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Beta, T., Li, W., & Apea-Bah F. B. (2019). Flour and Bread from Black-, Purple-, and Blue-Colored Wheats. Preedy, Victor R. Watson, Ronald Ross. (2019). Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention (2nd Edition). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814639-2.00006-X>
- [2] Garg, M., Kaur, S., Sharma, A., Kumari, A., Tiwari, V., Sharma, S., ... & Krishania, M. (2022). Rising Demand for Healthy Foods-Anthocyanin Biofortified Rich Colored Wheat Is a New Research Trend. *Front. Nutr.*, 913. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.878221>
- [3] Lachman, J., Martinek, P., Kotíková, Z., Orsák, M., & Šulc, M. (2017). Genetics and chemistry of pigments in wheat grain: A review. *J. Cereal Sci.*, 74,145-154. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.007>
- [4] Shipp, J., & Abdel-Aal, E.-S. M. (2010). Food applications and physiological effects of anthocyanins as functional food ingredients. *The Open Food Science Journal*, 4, 7–22. <https://dx.doi.org/10.2174/1874256401004010007>
- [5] Tian, W., Zheng, Y., Wang, W., Wang, D., Tilley, M., Zhang, G., ... & Li, Y. (2022). A comprehensive review of wheat phytochemicals: From farm to fork and beyond. *Compr. Rev. Food Sci. F.*, <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12960>
- [6] Hernandez, J., Hřivna, L., Šottníková, V., Dostálová, Y., Machálková, L., Ruban, A., Koubková, H., Vyhnánek, T., Mrkvicová, E., Trojan, V., & Burešová, I. (2016). The use of color wheat spent grain as an ingredient for the production of bakery products. Conference paper MendelNet 2016, 23, 571-576. Conference: International Ph.D. Students Conference At: At Fac Agron, Brno, Czech Republic Volume: 2 Available at: https://www.researchgate.net/publication/309772828_THE_USE_OF_COLOR_WHEAT_SPENT_GRAIN_AS_AN_INGREDIENT_FOR_THE_PRODUCTION_OF_BAKERY_PRODUCTS Accessed 11 Feb. 2023.
- [7] Hřivna, L., Zigmundová, V., Burešová, I., Maco, R., Vyhnánek, T., & Trojan, V. (2018). Rheological properties of dough and baking quality of products using colored wheat. *Plant Soil Environ.*, 64, 203-208. <https://doi.org/10.17221/62/2018-PSE>.
- [8] Kumari, A., Kaur, S., Sharma, N., Kaur, J., Krishania, M., Tiwari, V., & Garg, M. (2022). Effect of processing on the phytochemicals and quality attributes of vermicelli developed from colored wheat. *J. Cereal Sci.*, 108, 103560. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103560>
- [9] Kumari, A., Sharma, S., Sharma, N., Chunduri, V., Kapoor, P., Kaur, S., ... & Garg, M. (2020). Influence of biofortified colored wheats (purple, blue, black) on physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of chapatti (Indian flatbread). *Molecules*, 25(21), 5071. <https://doi.org/10.3390/molecules25215071>.
- [10] Li, W., & Beta, T. (2011). Flour and bread from black-, purple-, and blue-colored wheats. In *Flour and breads and their fortification in health and*

disease prevention. Academic Press, 59-67. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380886-8.10006-6>.

[11] Li, Y., Ma, D., Suna, D., Wang, Ch., Zhang, J., Xie, Y., & Guo, T. (2015). Total phenolic, flavonoid content, and antioxidant activity of flour, noodles, and steamed bread made from different colored wheat grains by three milling methods. *Crop J.*, 3, 328-334. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.04.004>.

[12] Pasqualone, A., Bianco, A. M., Paradiso, V. M., Summo, C., Gambacorta, G., Caponio, F., & Blanco, A. (2015). Production and characterization of functional biscuits obtained from purple wheat. *Food Chem.*, 180, 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.025>

[13] Sharma, A., Yadav, M., Sharma, N., Kumari, A., Kaur, S., Meenu, M., & Garg, M. (2022). Comparison of wheatgrass juices from colored wheat (white, black, blue, and purple) for health promoting phytochemicals. *Food Res. Int.*, 161, 111833. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111833>

[14] Sharma, N., Kumari, A., Chunduri, V., Kaur, S., Banda, J., Goyal, A., & Garg, M. (2022). Anthocyanin biofortified black, blue and purple wheat exhibited lower amino acid cooking losses than white wheat. *LWT Food Sci. Technol.*, 154, 112802. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112802>

[15] Sharma, N., Tiwari, V., Vats, S., Kumari, A., Chunduri, V., Kaur, S., ... & Garg, M. (2020). Evaluation of anthocyanin content, antioxidant potential and antimicrobial activity of black, purple and blue colored wheat flour and wheat-grass juice against common human pathogens. *Molecules*, 25(24), 5785. <https://doi.org/10.3390/molecules25245785>

[16] Zanoletti, M., Abbasi Parizad, P., Lavelli, V., Cecchini, C., Menesatti, P., Marti, A., & Pagani, M.A. (2017). Debranning of purple wheat: recovery of anthocyanin-rich fractions and their use in pasta production. *LWT Food Sci. Technol.*, 75, 663-669. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.016>

[17] Abdel-Aal, E.-S. M., Hucl, P., & Rabalski, I. (2018). Compositional and antioxidant properties of anthocyanin-rich products prepared from purple wheat. *Food Chem.*, 254, 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.170>

[18] Seo, Y., Moon, Y., & Kweon, M. (2021). Effect of purple-colored wheat bran addition on quality and antioxidant property of bread and optimization of bread-making conditions. *Appl. Sci.*, 11(9), 4034. <https://doi.org/10.3390/app11094034>

[19] Hemdane, S., Jacobs, P.J., Dornez, E., Verspreet, J., Delcour, J.A., & Courtin, Ch.M. (2016). Wheat (*Triticum aestivum* L.) Bran in Bread Making: A Critical Review. *Compr. Rev. Food Sci. F.*, 15, 28-42. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12176>.

[20] Bartl, P., Albrecht, A., Skrt, M., Tremlová, B., Ošťádalová, M., Šmejkal, K., ... & Ulrih, N. P. (2015). Anthocyanins in purple and blue wheat grains and in resulting bread: Quantity, composition, and thermal stability. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 66(5), 514-519. <https://doi.org/10.3109/09637486.2015.1056108>

- [21] Yu, L., & Beta, T. (2015). Identification and antioxidant properties of phenolic compounds during production of bread from purple wheat grains. *Molecules*, 20(9), 15525-15549. <https://doi.org/10.3390/molecules200915525>
- [22] Eliášová, M., Kotíková, Z., Lachman, J., Orsák, M., & Martinek, P. (2020). Influence of baking on anthocyanin content in coloured-grain wheat bread. *Plant Soil Environ.*, 66(8), 381-386. <https://doi.org/10.17221/210/2020-PSE>
- [23] Rosell, C. M. (2019). Trends in science of doughs and bread quality. In *Flour and breads and their fortification in health and disease prevention* (pp. 333-343). Academic Press.
- [24] Bresciani, A., & Marti, A. (2019). Using pulses in baked products: Lights, shadows, and potential solutions. *Foods*, 8(10), 451. <https://doi.org/10.3390/foods8100451>
- [25] Peris, M., Rubio-Arreaez, S., Castelló, M. L., & Ortolá, M. D. (2019). From the laboratory to the kitchen: New alternatives to healthier bakery products. *Foods*, 8(12), 660. <https://doi.org/10.3390/foods8120660>
- [26] Rahaie, S., Gharibzahedi, S. M. T., Razavi, S. H., & Jafari, S. M. (2014). Recent developments on new formulations based on nutrient-dense ingredients for the production of healthy-functional bread: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 2896-2906. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0833-6>
- [27] Stojceska, V. (2011). Dietary fiber from brewer's spent grain as a functional ingredient in bread making technology. In *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention* (pp. 171-181). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380886-8.10016-9>
- [28] Onipe, O. O., Jideani, A. I., & Beswa, D. (2015). Composition and functionality of wheat bran and its application in some cereal food products. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(12), 2509-2518. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12935>
- [29] Stevenson, L. E. O., Phillips, F., O'sullivan, K., & Walton, J. (2012). Wheat bran: its composition and benefits to health, a European perspective. *International journal of food sciences and nutrition*, 63(8), 1001-1013. <https://doi.org/10.3109/09637486.2012.687366>
- [30] Lachman, J., Martinek, P., Kotíková, Z., Orsák, M., & Šulc, M. (2017). Genetics and chemistry of pigments in wheat grain—A review. *Journal of Cereal Science*, 74, 145-154. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.007>
- [31] Paznocht, L., Kotíková, Z., Šulc, M., Lachman, J., Orsák, M., Eliášová, M., & Martinek, P. (2018). Free and esterified carotenoids in pigmented wheat, tritordeum and barley grains. *Food Chemistry*, 240, 670-678. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.151>
- [32] Dhua, S., Kumar, K., Kumar, Y., Singh, L., & Sharanagat, V. S. (2021). Composition, characteristics and health promising prospects of black

wheat: a review. *Trends Food Sci. Tech.*, 112, 780-794. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.037>. Accessed 11 Feb. 2023.

[33] Kaur, M., Malik, P., Devi, U., Mukta, A., Kaur, A., Dhillon, G. S., ... & Kaur, S. (2023). Wheat biofortification: A molecular breeding outlook. In *QTL Mapping in Crop Improvement* (pp. 163-201). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85243-2.00014-3>

[34] Šebestíková, R., Burešová, I., Vyhnánek, T., Martinek, P., & Pospiech, M. (2023). Rheological and fermentation properties of doughs and quality of breads from colored wheat varieties. *Heliyon*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15118>

[35] Martinek, P. 2024-3-21. Podmínky pěstování. Emailová komunikace.

[36] International Organization for Standardization. ISO/TC 34/SC 4. Wheat, rye and their flours, durum wheat and durum wheat semolina – Determination of the falling number according to Hagberg-Perten. ISO 3093:2009. edt 4, 13 pgs.

[37] International Organization for Standardization. ISO/TC 34/SC 4. Cereals and cereal products – Determination of moisture content – Reference method. ISO 712:2010. edt 4, 16 pgs.

[38] International Organization for Standardization. ISO/TC 34/SC 4. Wheat and wheat flour – Gluten content – Part 1: Determination of wet gluten by a manual method. ISO 21415-1:2006. edt 1, 9 pgs.

[39] International Organization for Standardization. ISO/TC 34/SC 4. Wheat and wheat flour – Gluten content – Part 2: Determination of wet gluten and gluten index by mechanical means ISO 21415-2:2015.edt 2,15 pgs.

[40] International Organization for Standardization. ISO/TC 34/SC 4. Wheat – Determination of the sedimentation index – Zeleny test. ISO 5529:2007. edt 3, 12 pgs.

[41] International Organization for Standardization. ISO/TC 34/SC 4. Cereals, pulses and by-products – Determination of ash yield by incineration. ISO 2171:2010. edt 4, 11 pgs.

[42] International Organization for Standardization. ISO/TC 93. Native starch – Determination of starch content. ISO 10520:1997. edt 1, 8 pgs.

[43] International Organization for Standardization. ISO/TC 34/SC 4. Cereals and pulses – Determination of the nitrogen content and calculation of the crude protein content – Kjeldahl method. ISO 20483:2013. edt 2, 13 pgs.

[44] International Organization for Standardization. ISO/TC 34/SC 4. Cereals, cereals-based products and animal feeding stuffs – Determination of crude fat and total fat content by the Randall extraction method. ISO 11085:2015. edt 2, 16 pgs.

[45] International Association for Cereal Science and Technology. ICC standard No. 131 (1980) Method for Test Baking of Wheat Flours. International Association for Cereal Science and Technology, Vienna, Austria, 2018.

[46] American Association of Cereal Chemists (AACC). AACC standard method No. 10-05. 01. (1998). Guidelines for Measurement of Volume by Rapeseed Displacement. Approved Methods of the AACC, 10th ed.; AACC International: St. Paul, MN, USA, 2000.

[47] Exponent Lite, v. 4.0.13.0, Stable Micro Systems Ltd, Vienna Court, Lammas Road, Godalming, Surrey GU7 1YL, United Kingdom; 2007. Available from: <https://www.stablemicrosystems.com/SoftwareUpdateExponentLite.html>.

[48] TIBCO Statistica, v. 13.3.0, TIBCO Software Inc, Palo Alto, CA, USA; 2017. Available from: <https://docs.tibco.com/products/tibco-statistica/archive>

[49] Dapčević, T., Hadnađev, M., & Pojić, M. (2009). Evaluation of the Possibility to Replace Conventional Rheological Wheat Flour Quality Control Instruments with the New Measurement Tool – Mixolab. *Agric. Conspec. Sci.*, 74, 169-174.

[50] Boita, E. R., Oro, T., Bressiani, J., Santetti, G. S., Bertolin, T. E., & Gutkoski, L. C. (2016). Rheological properties of wheat flour dough and pan bread with wheat bran. *J. Cereal Sci.*, 71, 177-182. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.08.015>

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Struktura pšeničného zrna (podle Onipe, O. O., et al, 2015 [28]</i>	<i>7</i>
<i>Obrázek 2 Antokyanová barviva v zrně barevných pšeníc (podle Sharma, S., et al, 2021 [34]</i>	<i>10</i>
<i>Obrázek 5 Zrna různých odrůd barevných pšeníc</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 6: Rheofermentogramy test z mouky pšeníc ze sklizně z roku 2020</i>	<i>23</i>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

TAC – total anthocyanin content, celkový obsah antokyanů

H_m – maximální dosažená výška těsta

h – výška těsta na konci měření

(H_m-h)/H_m – pokles ve vývinu těsta

T₁ – čas dosažení maximální výšky těsta

H'_m – maximální výška křivky

T'₁ – čas produkce největšího množství plynu během kynutí

T_x – čas, kdy dochází k úniku kypřicího plynu z těsta

V_t – celkový objem vzniklého kypřicího plynu

V_r – objem kypřicího plynu, zadrženého v těstě

V_c – objem kypřicího plynu, uniklého z těsta v průběhu kynutí

V_r/V_t – retenční koeficient

ANOVA – Analysis of Variance, analýza rozptylu

PUBLIKAČNÍ ČINNOST AUTORA

Adámek, M., Zvonková, M., Burešová, I., Buran, M., Ševčíková, V., Šebestíková, R., ... & Mlček, J. (2023). Use of a Thermodynamic Sensor in Monitoring Fermentation Processes in Gluten-Free Dough Proofing. *Sensors*, 23(1), 534.

Adámek, M., Mlček, J., Skowronková, N., Zvonková, M., Jaššo, M., Adámková, A., ... & Bučková, M. (2023). 3D Printed Fused Deposition Modeling (FDM) Capillaries for Chemiresistive Gas Sensors. *Sensors*, 23(15), 6817.

Burešová, I., Červenka, L., Šebestíková, R., Augustová, M., & Jarošová, A. (2023). Applicability of Flours from Pigmented and Glutinous Rice in Gluten-Free Bread Baking. *Foods*, 12(6), 1324.

Burešová, I., Lullien-Pellerin, V., Červenka, L., Mlček, J., Šebestíková, R., & Masaříková, L. (2023). The Comparison of the Effect of Flour Particle Size and Content of Damaged Starch on Rice and Buckwheat Slurry, Dough, and Bread Characteristics. *Foods*, 12(13), 2604.

Burešová, I., Šebestíková, R., Šebela, J., Adámková, A., Zvonková, M., Skowronková, N., & Mlček, J. (2024). The Effect of Inulin Addition on Rice Dough and Bread Characteristics. *Applied Sciences*, 14(7), 2882.

Šebestíková, R., Burešová, I., Vyhnanek, T., Martinek, P., & Pospiech, M. (2023). Rheological and fermentation properties of doughs and quality of breads from colored wheat varieties. *Heliyon*, 9(4).

Ševčíková, V., Adámek, M., Šebestíková, R., Burešová, I., Buran, M., Adámková, A., ... & Mlček, J. (2024). New Insights into the Comprehensive System of Thermodynamic Sensors and Electronic Nose and Its Practical Applications in Dough Fermentation Monitoring. *Sensors*, 24(2), 352.

ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA

Osobní údaje

Jméno a příjmení: Romana Šebestíková
Datum narození: 5. 4. 1995
Adresa: Spáčilova 3067/6 Kroměříž 76701
Mobil: +420732238927
Email: r_sebestikova@utb.cz
Státní příslušnost: ČR

Vzdělání

2010–2014 Středoškolské s maturitou, obor Analýza potravin, Střední průmyslová škola mlékárenská
2014–2017 Bakalářský studijní program (Hodnocení a analýza potravin), Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická
2017–2019 Magisterský studijní program (Technologie potravin), Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická
2019–2024 Doktorský studijní program (Chemie a technologie potravin), Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická
5–6/2022 Odborná stáž, University of Natural Resources and Life Sciences, Department of Food Science and Technology

Účast na projektech

IGA/FT/2020/006 Vliv vybraných faktorů na vlastnosti a kvalitu potravin (člen řešitelského týmu)
IGA/FT/2021/003 Využitelnost empirických metod hodnocení kvality pšeničné mouky, těsta a pečiva na hodnocení technologické kvality bezlepkových a netradičních pšeničných materiálů (hlavní řešitel)
IGA/FT/2022/008 Aplikovatelnost metody stanovení obsahu a kvality lepku k určení technologické kvality netradičních a minoritních surovin (hlavní řešitel)
IGA/FT/2023/010 Využitelnost netradičních olejů a tuků při výrobě jemného pečiva a čokoládových pomazánek (člen řešitelského týmu)

Znalosti a dovednosti

Jazyky angličtina – úroveň B2+

Práce s PC Microsoft Office – pokročilý uživatel

Ing. Romana Šebestíková, Ph.D.

**Technologická kvalita a možnosti pekárenského využití zrna
barevné pšenice**

Technological quality and utilization possibilities of colored-wheat grains in
bakery industry

Teze disertační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín

Náklad: vyšlo elektronicky

Sazba: autor

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou

Rok vydání 2024

Pořadí vydání: první

ISBN 978-80-7678-256-3