



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Teze přednášek ke jmenování profesorem

Reformulace jako cesta ke zlepšení kvality pečiva

Reformulation as a way to improve the quality of bread

Autor: **doc. RNDr. Iva Burešová, Ph.D.**

Obor: Technologie potravin

Zlín 2023

© Iva Burešová

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**

v edici **Teze přednášek ke jmenování profesorem**

Publikace byla vydána v roce 2023

Klíčová slova: pečivo, změna receptury, bezlepkové pečivo, nutriční hodnota, pšenice, rýže

Key words: bread, reformulation, gluten-free, nutritional value, wheat, rice

Práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

ISBN 978-80-7678-214-3

Chci poděkovat kolegům a studentům za jejich spolupráci, pomoc a přátelství. Tato práce by nebyla možná bez jejich podílu na experimentech, hodnoceních experimentů a dalších činnostech, které jsou nedílnou a základní součástí našeho společného výzkumu. Můj největší vděk patří rodině, zejména mému manželovi a dětem, za jejich nekonečnou podporu a pochopení.

ABSTRAKT

Pečivo patří mezi potraviny konzumované téměř denně. Tradičně se vyrábí ze světlé (bílé, rafinované) pšeničné mouky, v jejímž složení převažuje škrob. Škrob je také převažující složkou v pečivu. Z nutričního pohledu je pečivu vytýkán vysoký obsah polysacharidů a nižší zastoupení nutričně hodnotných složek, např. vlákniny, minerálních látek a dalších. Pšeničné zásobní bílkoviny přítomné v mouce mohou způsobovat zdravotní komplikace určité části konzumentů. Tyto a další nedostatky může zcela, nebo alespoň částečně vyřešit reformulace. Reformulací se rozumí změna běžně používaných receptur a postupů výroby. Cílem reformulace je vyrobit produkt, který má oproti původnímu vyšší nutriční hodnotu, nižší obsah problematických složek, případně obojí. Provedení reformulace většinou zahrnuje změnu použitých surovin a jejich vzájemných poměrů. Nezbytná bývá také úprava samotného postupu výroby, protože postupy standardně používané při průmyslové výrobě jsou přizpůsobeny vlastnostem tradičních surovin. Reformulace může negativně ovlivnit vlastnosti a zpracovatelnost těsta, což může mít dopad i na samotnou vyrobiteľnost pečiva. Reformulace může zhoršit parametry výrobku; u pečiva například snížit objem, změnit texturu, barvu, chuť a vůni.

Teze přednášky ke jmenování profesorem se zaměřují na reformulace pšeničného pečiva kypřeného droždím. Uvedeny jsou reformulace směřující k výrobě pšeničného a bezlepkového pečiva se zvýšenou nutriční hodnotou. Práce je rozdělena do tří částí. V první části je popsán mechanismus tvorby pšeničného těsta a jeho funkční vlastnosti. V druhé části jsou shrnuty reformulace směřující k výrobě bezlepkového pečiva. Diskutováno je použití přirozeně bezlepkových mouk a jejich směsí. Pozornost je věnována mj. otázce, jak může změna surovin ovlivnit množství vody potřebné na přípravu těsta. V třetí části jsou shrnuty možnosti zvýšení nutriční hodnoty pšeničného pečiva použitím nutričně hodnotných mouk ze zrn s netradičním zbarvením. Součástí tezí jsou hlavní výsledky uchazečky. Zařazeny jsou výsledky v oblasti testování vlastností přirozeně bezlepkových mouk, jejich směsí, vlastností těsta a výrobků. Dále pak výsledky testování použitelnosti netradičních surovin, zejména nutričně hodnotných mouk vymletých ze zrna barevné rýže a barevné pšenice.

ABSTRACT

Bread is among the foods consumed daily. Bread is traditionally made from white (refined) wheat flour. The nutritional value of bread is decreased by high content of starch and low content of fibers, minerals and other nutritionally valuable substances. Wheat storage proteins may cause health issues for some consumers. Reformulations can partially or completely solve these and other shortcomings of wheat bread. The term “reformulation” is used for modifications applied to the ingredients, their ratios, as well as production processes. The goal of the reformulation is to prepare a product with quality superior to the original product, for example a product with a higher nutritional value, lower content of problematic components, or both. Reformulation focuses on the alteration of the ingredients and their relation. The modification of production processes is also necessary, since standard industrial procedures are adapted to the properties of traditional ingredients. Reformulation can negatively affect the properties and machinability of the dough, and thereby also impact the production of baked goods themselves. Reformulation can also decrease the product's quality; for example, reduce the volume of bread, change bread taste and aroma, and deteriorate crumb texture.

Theses focus on the reformulation of yeast-leavened bread. Reformulations aim at the production of gluten-free bread and bread with increased nutritional value. The text is divided into three parts. The first part focuses on the mechanism of the creation of wheat dough, as well as the functional properties of wheat dough. The second part summarizes reformulations aimed at the production of gluten-free bread. The use of naturally gluten-free flours and their mixtures is discussed. Attention is paid, among others, to the question of how altering the ingredients may influence the amount of water required to prepare the dough with optimal consistency. The third part summarizes the possibilities of increasing the nutritional value of bread using nutritionally valuable wheat flours. The candidate's results are included in the thesis. The results obtained by the testing of the properties of naturally gluten-free flours, their blends, dough properties and products are presented. Additionally, the results of testing the applicability of non-traditional ingredients, especially nutritionally valuable flours prepared from pigmented rice and colored wheat grains, are mentioned.

OBSAH

Abstrakt	4
Abstract.....	5
Obsah	6
Úvod	7
1. Pečivo.....	8
1.1 Mechanismus tvorby pšeničného těsta	8
1.2 Vlastnosti pšeničného těsta.....	11
2. Reformulace zaměřené na výrobu bezlepkového pečiva.....	13
2.1 Použití přirozeně bezlepkové mouky.....	13
2.2 Použití směsi bezlepkových mouk.....	18
2.3 Recepturní množství vody a vhodnost empirických metod pro měření vlastností bezlepkového těsta	20
2.4 Zvýšení nutriční hodnoty pečiva	23
3. Reformulace pšeničného pečiva	30
3.1 Zrna pšenice s netradičním zbarvením	31
3.2 Schopnost těsta produkovat a zadržovat kypřicí plyn	31
3.3 Kvalita výrobků	32
Přínos pro vědu, praxi a výuku.....	34
Přínos pro vědu.....	34
Přínos pro praxi	35
Přínos pro výuku	35
Seznam použité literatury	36
Seznam obrázků.....	45
Odborný životopis autorky.....	47

ÚVOD

Do výzkumu spojeného s potravinářstvím jsem se poprvé zapojila v Zemědělském výzkumné ústavu Kroměříž, s.r.o. Podílela jsem se na hodnocení kvality potravinářských obilovin vypěstovaných v České republice. Společně s kolegy jsme sledovali faktory, které mají vliv na kvalitu obilovin, např. úroveň hnojení, průběh počasí během vegetační doby atd. Testovali jsme využitelnost triticales s translokovaným 1R chromozomem pro pekárenské a lihovarské účely. Později, již na Fakultě technologické Univerzity Tomáše Bati, jsem se začala věnovat možnostem reformulací při výrobě pečiva. Reformulací se rozumí změna surovin, jejich poměrů nebo postupu výroby s cílem vyrobit produkt, který bude mít oproti běžnému výrobku něco zlepšeno. První reformulace, kterým jsme se věnovali, byly zaměřeny na možnosti náhrady pšeničné mouky bezlepkovou. Následovalo testování směsí bezlepkových mouk a surovin, které mají potenciál zlepšit nutriční hodnotu pečiva.

Jakýkoliv zásah do receptury se vždy projeví ve vlastnostech těsta i samotného výrobku. Nedílnou součástí výzkumu je proto sledování vlivu reformulací na technologicky významné vlastnosti těsta (např. tažnost těsta, schopnost zadržovat kypřicí plyn atd.) a pečiva (např. objem pečiva, textura střídy atd.). Významný je také dopad na sensorické vlastnosti výrobku. Jak ukázaly výsledky testování, některé zkoumané materiály sice dokáží zlepšit parametry těsta a pečiva, ale změny barvy, chuti a vůně výrobku jsou tak významné, že výrobky nejsou pro konzumenty přijatelné.

V průběhu prací jsme museli vypořádat také s otázkou, zda jsou empirické metody používané pro hodnocení pšeničné mouky, těsta a pečiva použitelné pro testování materiálů z jiných obilovin a pseudocereálií, které jsme v reformulacích využívali. Většina metod musela být optimalizována a přizpůsobena odlišným vlastnostem bezlepkových materiálů. Odpověď na otázku interpretovatelnosti výsledků získaných některými metodami zůstává i nadále nejasná.

Tématu reformulací využívaných při výrobě pečiva je věnována předložená teze. Shrnuty jsou hlavní směry reformulací, na jejichž řešení jsme se podíleli. Jedná se o reformulace směřující k výrobě bezlepkového pečiva se zlepšenou kvalitou a nutriční hodnotou a reformulace vedoucí k výrobě nutričně hodnotnějšího pšeničného pečiva. Část získaných poznatků byla publikována, jiné byly využity spolupracujícími průmyslovými partnery.

1 PEČIVO

Pečivo je jednou z nejdéle vyráběných potravin. Za první formy pečiva se považují nekynuté placky, které byly na území jižní Mezopotámie připravovány již v době 10 000 – 8 000 př. n. l. První kynuté pečivo se objevilo přibližně 3 000 let př. n. l. na území dnešního Egypta. Výrobky byly kypřeny kvasem, který se vmíchal do těsta. Bouřlivý rozmach výroby, co do množství a druhů pečiva, byl zaznamenán ve starověkém Řecku a Římě [1].

V současné době patří pečivo mezi základní potraviny [2, 3]. Z globálního hlediska se vyrábí nejčastěji z mouky vymleté ze zrna pšenice seté pravé (*Triticum aestivum* L. subsp. *aestivum*). V roce 2021 zkonsumoval průměrný obyvatel České republiky 52,4 kg pšeničného pečiva a 39,8 kg chleba [4]. Pšeničné pečivo je konzumováno nejčastěji ve formě běžného pečiva, které je definováno jako pekařský výrobek z pšeničné mouky nebo jiných mlýnských obilných výrobků a dalších složek. Běžné pečivo obsahuje méně než 8 %¹ bezvodého tuku a méně než 5 % cukru. Pokud výrobek obsahuje více tuku a cukru, jedná se o pečivo jemné. Chléb je definován jako pekařský výrobek kypřený kvasem nebo droždím, popřípadě jejich kombinací, ve tvaru večky, bochníku nebo formy, s hmotností nejméně 400 g [5]. Běžné pečivo a chléb jsou konzumovány prakticky každodenně. Kvalita a nutriční hodnota těchto výrobků je proto pro konzumenta velmi důležitá.

1.1 Mechanismus tvorby pšeničného těsta

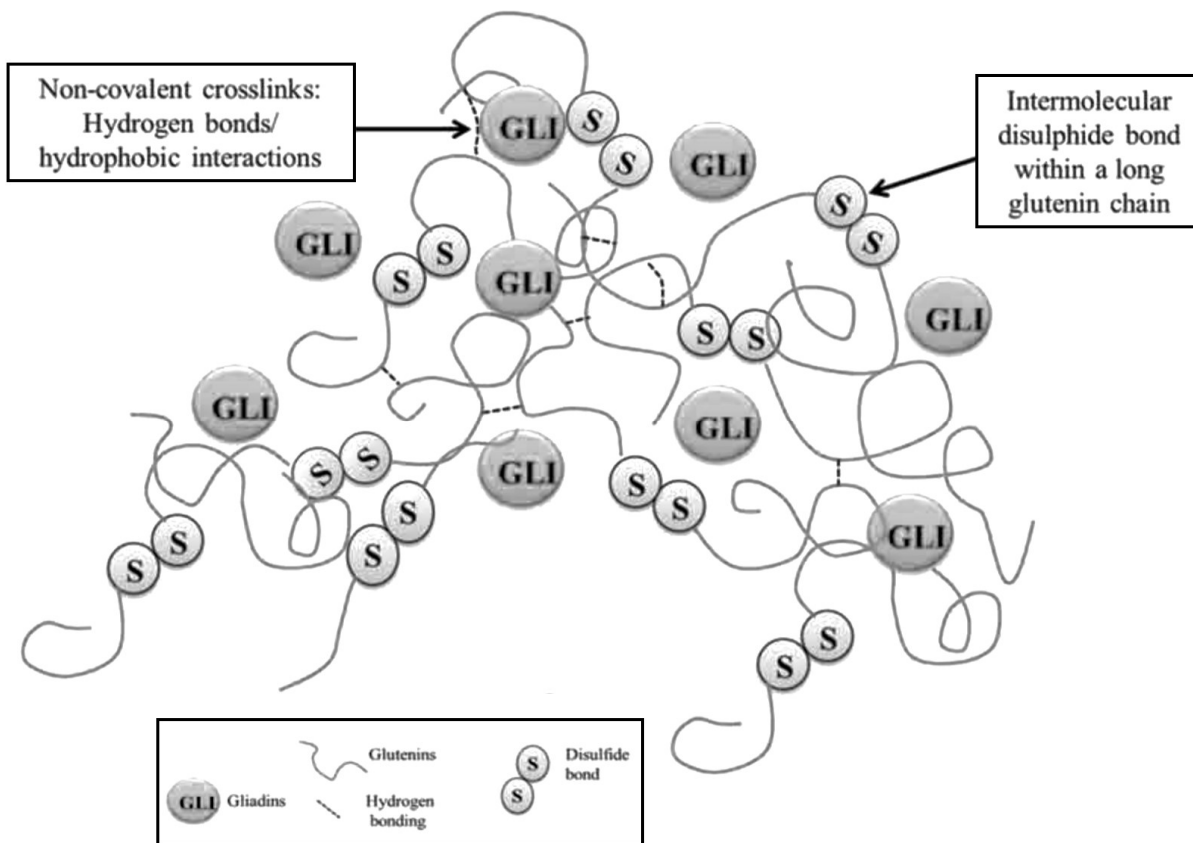
Základními surovinami na výrobu pečiva jsou mouka, voda, droždí a sůl. Součástí receptury je často také tuk a cukr. Při průmyslové výrobě se do těsta přidávají potravinářské přídatné látky [6]. Kvalita pečiva je významně ovlivněna vlastnostmi mouky. Sušina průměrné pšeničné mouky obsahuje 80 – 84 % škrobu, 10 – 12 % bílkovin, 1 % tuku, 0,5 % vlákniny; zbytek tvoří minoritně zastoupené složky [7, 8]. Přestože je převažující složkou mouky škrob, pekárenská kvalita je určována množstvím a vlastnostmi pšeničných zásobních bílkovin [9]. Obecně se bílkoviny dělí podle rozpustnosti na čtyři základní frakce – albuminy, globuliny, prolamininy a gluteliny. Mezi zásobní bílkoviny se řadí prolaminové frakce rozpustné v 70% alkoholu a glutelinové frakce rozpustné ve zředěných roztocích kyselin a zásad (tab. 1). Pšeničné zásobní bílkoviny mají své specifické názvy a označují se jako gliadiny a gluteniny [10].

¹ Pokud není uvedeno jinak, jedná se o hmotnostní procenta

Tab. 1 Základní charakteristiky pšeničných bílkovin [10]

Frakce	Rozpustnost	Řetězec	Molekulová hmotnost (g·mol ⁻¹)	Podjednotky
Albuminy	Voda	Monomery Polymery	< 30 000 ~60 000	
Globuliny	Roztoky solí	Monomery Polymery	< 30 000 22 000 – 58 000	D A A δ
Gliadiny	Roztoky alkoholu	Monomery	20 000 – 70 000	α β γ ω
Gluteliny	Roztoky kyselin a zásad	Polymery	80 000 – 150 000 30 000 – 51 000	HMW LMW

Gliadiny a gluteniny po smíchání mouky s vodou hydratují. Díky mechanické energii, kterou do těsta vnáší hnětení, se mohou řetězce molekul přiblížit na dostatečně krátkou vzdálenost. V místech, na kterých se nachází aminokyselina cystein, se řetězce mohou propojit prostřednictvím disulfidových vazeb (obr. 1). Úseky molekul mezi disulfidovými vazbami se propojují řadou slabých inter a intramolekulových vodíkových můstků. Vznikající makromolekuly dosahují velikosti 10⁵ – 10⁶ g·mol⁻¹. Navzájem se propojují a vytváří strukturu označovanou jako lepek. Lepek prostupuje celým objemem těsta a ovlivňuje jeho vlastnosti. Gliadiny přispívají k viskozitě těsta, gluteniny zodpovídají za jeho elasticitu. Viskoelastické vlastnosti těsta závisí nejen na množství gliadinů a gluteninů, ale také na jejich vzájemném poměru. Elastický modul těsta G' je vždy vyšší než viskózní G'' [11 – 13]. V bílkovinné síti jsou zachyceny hydratované škrobové granule, hydratované částice vlákniny, kapičky tuku, minerální látky, kvasinky a další složky těsta. Všechny tyto složky různou měrou modifikují vlastnosti lepkové struktury. Jejich vliv na vlastnosti lepku je však nižší, než je vliv zásobních bílkovin.



Obr. 1: Vazby vznikající mezi molekulami lepkových bílkovin v průběhu hnětení těsta [8]

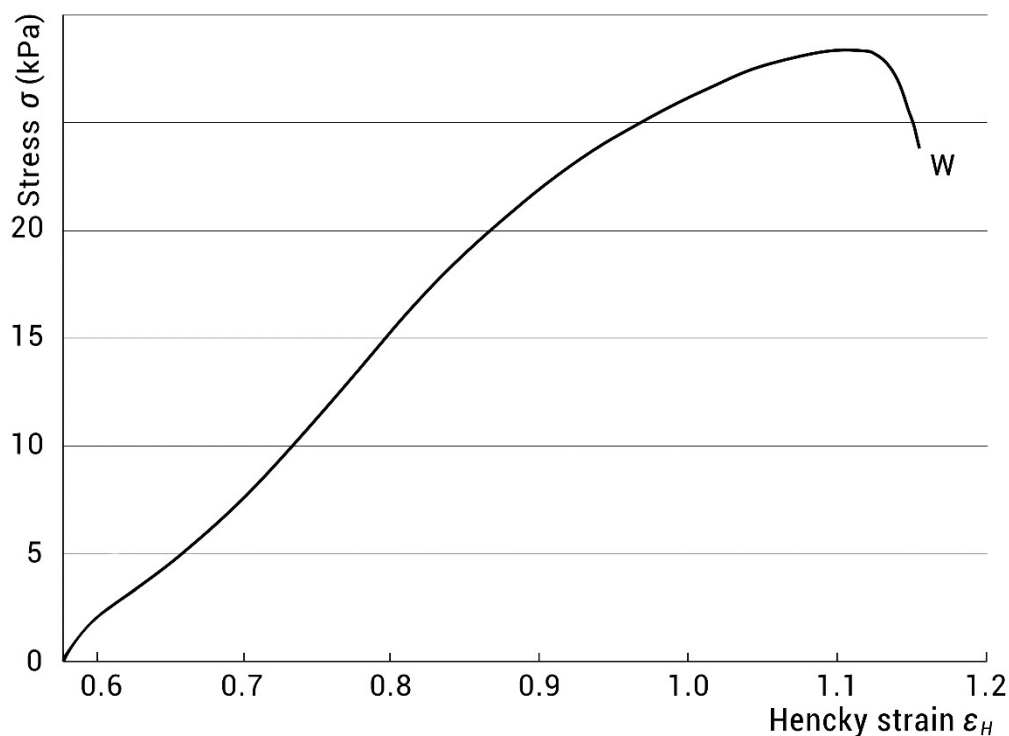
Bílkoviny se v průběhu hnětení postupně orientují a protahují ve směru působení mechanické síly. V průběhu hnětení probíhají i další procesy. Vytváří se vazby mezi lipidy a bílkovinami, které zvyšují stabilitu těsta. Do těsta se zabudovává vzduch ve formě mikropórů. Kyslík ze vzduchu využívají kvasinky *Sacharomyces cerevisiae*, které jsou součástí droždí. Po vyčerpání kyslíku přechází kvasinky z aerobního metabolismu na anaerobní. V této fázi začínají produkovat oxid uhličitý. Produkce plynu pokračuje až do doby, než jsou kvasinky inaktivovány při pečení.

Oxid uhličitý produkovaný kvasinkami difunduje těstem. Část reaguje s vodou za vzniku kyseliny uhličitě, což těsto postupně mírně okyseluje. Část molekul CO_2 se uvolní z těsta ven do okolního prostředí. Ke kypření těsta přispívají pouze ty molekuly CO_2 , které se akumulují v dusíkatých mikropórech [8, 14]. Zvyšující se množství zachycených molekul CO_2 postupně zvyšuje tlak na těsto obklopující mikropór. Dochází k postupnému rozvolňování slabých intra- a intermolekulových vazeb. Řetězce bílkovinných molekul se navzájem vůči sobě pohybují, což umožňuje póru, aby zvětšil svůj objem. Poté, co se dosáhne aktivační energie disulfidové vazby, rozvolňují se i tyto vazby, a tím se umožní další zvětšení objemu póru. Nově vznikající vazby mezi řetězci bílkovin pór

stabilizují [15, 16]. Proces je obecně známý jako zrání nebo kynutí těsta. Optimální nakypřenosti dosáhne těsto, jakmile se jeho původní objem zvětší na dvojnásobek.

1.2 Vlastnosti pšeničného těsta

Schopnost těsta rozpínat se působením kypřících plynů je zásadní pro výrobu kvalitního kynutého výrobku. Tuto schopnost možné do jisté míry odhadnout pomocí různých zkoušek. Jednou z nich je zkouška tahem. Na začátku měření jsou molekuly tvořící lepkovou síť v těstu náhodně orientovány. Působením vnější síly dochází k rozvolňování vodíkových vazeb a bílkovinné řetězce se postupně natahují ve směru od místa působení vnější síly k okrajovým částem. Díky velké molekulové hmotnosti pšeničných bílkovin se napětí přenáší ve směru od místa působení síly do okrajových částí. Těsto reverzibilním mechanismem reaguje na namáhání. Pokud působení vnější síly pokračuje, napětí v těstě roste a po dosažení disociační energie disulfidové vazby se tyto vazby štěpí. Rozštěpení vazeb umožní bílkovinným makromolekulám začít se vůči sobě pohybovat, což se projeví natažením těsta, aniž by došlo k jeho přetržení. Proces je pozorovatelný jako zmenšování průřezu těsta, které se šíří od místa působení vnější síly směrem k okrajovým částem těsta. Po rozštěpení disulfidových vazeb a natažení bílkovinných řetězců na maximální délku, se těsto v místě nejvyššího zatížení roztrhne [17]. Křivka získaná při tahové zkoušce pšeničného těsta je na obr. 2.



Obr. 2: Křivka získaná při zkoušce tahem pšeničného těsta

Z technologického pohledu je důležité, že popsaný mechanismus umožňuje těstu, aby se postupně rozpínalo působením tlaku plynu, který produkují kvasinky. Střída pečiva vyrobeného z takového těsta je tvořena velkým množstvím navzájem propojených velkých pórů, které jsou mezi sebou odděleny tenkou vrstvou těsta. Konzument vnímá při žvýkání střídu jako měkkou, příjemnou a pečivo hodnotí jako kvalitní [18 – 20]. Právě tato schopnost, tj. schopnost rozpínat na požadovaný, dostatečně velký objem, aniž by došlo k prasknutí struktury těsta, je jedinečnou vlastností pšeničných zásobních bílkovin.

2 REFORMULACE ZAMĚŘENÉ NA VÝROBU BEZLEPKOVÉHO PEČIVA

Pšeničné zásobní bílkoviny jsou v současné době při výrobě pečiva nenahraditelné, avšak u některých jedinců vyvolává jejich konzumace nežádoucí reakce organismu. Choroby vyvolané lepkem je možné rozdělit podle patogeneze do tří skupin:

- a) onemocnění s autoimunitní patogenezí (celiakie, Duhringova herpetiformní dermatitída a glutenová ataxie)
- b) onemocnění s alergickou patogenezí (alergie na pšenici)
- c) onemocnění s neautoimunitní a nealergickou patogenezí (neceliakální glutenová senzitivita) [21].

Autoimunitní reakce organismu je dávana do souvislosti se dvěma sekvencemi aminokyselin, které se vyskytují v α -gliadinech [22]:

-prolin-serin-glutamin-glutamin-

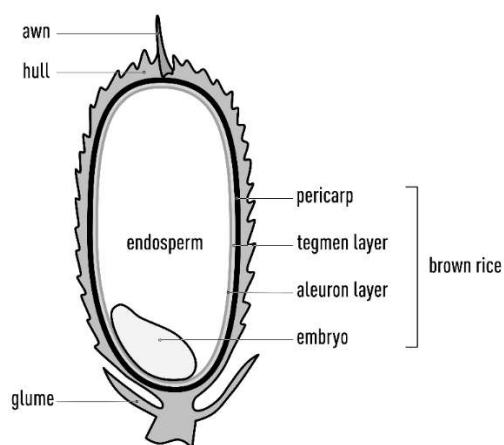
-glutamin-glutamin-glutamin-prolin-

Lidé trpící chorobami způsobenými lepkem se musí vyhýbat konzumaci potravin, které mohou bílkoviny s problematickými sekvencemi obsahovat. Tito konzumenti jsou odkázáni na bezlepkové výrobky. Absence lepkových bílkovin v moukách však způsobuje významné technologické problémy. V mouce chybí složka, která je schopna zadržovat kypřicí plyn. Vyrobené pečivo má malý objem, střída pečiva je drobná a tužší. Dalšími nedostatky je kratší trvanlivost, pocit suchosti v ústech při konzumaci a odlišná chuť [23, 24].

2.1 Použití přirozeně bezlepkové mouky

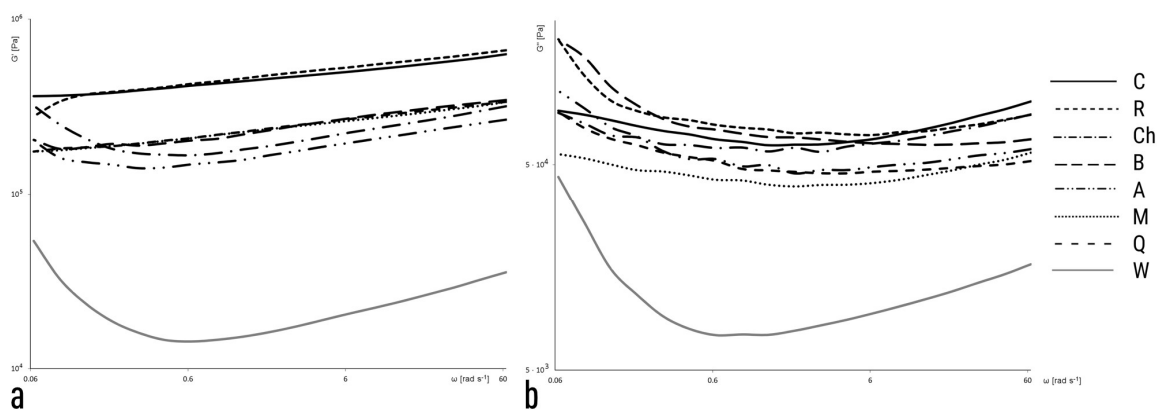
Komerčně se bezlepkové pečivo vyrábí nejčastěji z rýžového, bramborového, tapiokového a kukuřičného škrobu, nebo směsi škrobů. Pečivo vyrobené ze směsí mívá měkčí střídu, lepší chuť a vůni než pečivo vyrobené jen z jednoho druhu škrobu [23]. Z nutričního hlediska je vhodnější nahradit škroby moukou z přirozeně bezlepkových surovin, které obsahují vedle škrobu také bílkoviny a další hodnotné látky. Nejčastěji se používá mouka rýžová a kukuřičná [23, 25]. Rýžová mouka se vyrábí mletím rýžového zrna (*Oryza sativa* L.). Rýžové zrno se skládá z pluch, obalových vrstev, endospermu a embrya (obr. 3). Obalové vrstvy jsou bohaté na vlákninu, minerální látky a vitaminy skupiny B. Endosperm obsahuje převážně zásobní látky, tj. škrob a bílkoviny. Při běžném mlýnském zpracování se pluchy, obalové vrstvy a embryo odstraní a endosperm se semele na mouku [26, 27]. Takto získané mouky se označují na bílé, nebo rafinované. Výhodou rýžové rafinované mouky je nevýrazná chuť a bílá barva, která je

historicky spojována s kvalitním pečivem. Pozitivně je hodnocen také nízký obsah sodíku. Pečivo vyrobené z této mouky je snadno stravitelné a řadí se mezi hypoalergenní výrobky [28, 29].



Obr. 3: Podélný řez rýžovým zrnem

Rýžové zásobní bílkoviny mají nižší molekulovou hmotnost ($15\,000 - 39\,000\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$) než pšeničné. Molekulová hmotnost kukuřičných bílkovin se pohybuje v rozmezí $19\,000 - 22\,000\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Také zásobní bílkoviny v jiných bezlepkových moukách mají nižší molekulovou hmotnost než pšeničné, např. čirokové $16\,000 - 25\,000\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, merlíkové $32\,000 - 39\,000\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ a amarantové $24\,000 - 35\,000\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Lze předpokládat, že řetězce zásobních bílkovin se mohou, obdobně jako pšeničné, spojovat v průběhu hnětení disulfidovými vazbami. Nižší zastoupení aminokyselin obsahujících síru však způsobuje, že vytvářené polymerní struktury jsou menší, mají jiné prostorové uspořádání a funkční vlastnosti [30]. Pokud jsou připravena za stejných podmínek, mají bezlepková těsta obecně vyšší elastický G' i viskózní G'' modul než těsto pšeničné (obr. 4).



Obr. 4: Elastický G' (a), viskózní G'' (b) modul těst při oscilačním namáhání. A: amarant, B: pohanka, C: kukuřice, Ch: cizrna, M: jáhly, Q: merlík, R: rýže, W: pšenice [17]

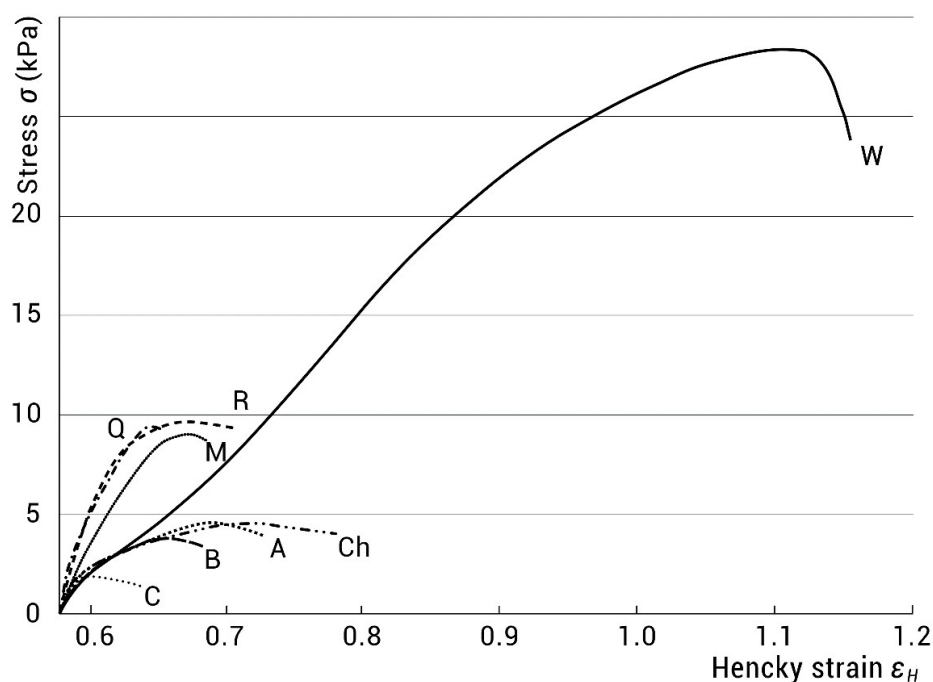
Při tahové zkoušce bezlepková těsta pravděpodobně reagují podobným mechanismem jako těsto pšeničné. Také v bezlepkových těstech jsou pravděpodobně bílkovinné struktury na začátku testu náhodně orientovány. Působením vnější síly dochází k rozvolňování vodíkových vazeb a bílkovinné řetězce se postupně natahují působením vnější síly. Z důvodu nižšího počtu disulfidových vazeb se struktury v bezlepkových těstech rozpadají již při nižším zatížení těsta, tj. těsto je snadno deformovatelné a vykazuje nižší hodnoty A (tab. 3). Odpor těsta k tažení R je také nižší než u pšeničného těsta. Kvůli nižší molekulové hmotnosti je vzájemný posun molekul možný pouze na krátkou vzdálenost; nižší jsou i zaznamenané hodnoty tažnosti těsta E . Struktura těsta kolabuje a těsto se trhá již při malém zatížení (obr. 5).

Tab. 2 Vlastnosti těst z různých obilovin a pseudocereálií při zkoušce tahem.

R : odpor těsta k tažení, A : práce potřebná k deformaci těsta, E : tažnost těsta, R/E : extenzografické poměrové číslo [32]

Mouka	R (N)	A (N mm)	E (mm)	R/E 10^{-3} (N mm$^{-1}$)
Amarant	0,14 ± 0,03 ^a	0,7 ± 0,1 ^{ab}	8 ± 2 ^b	16 ± 3 ^{ab}
Pohanka	0,12 ± 0,02 ^a	0,5 ± 0,1 ^{ab}	7 ± 2 ^{ab}	18 ± 4 ^{ab}
Cizrna	0,14 ± 0,03 ^a	1,0 ± 0,2 ^b	11 ± 2 ^c	12 ± 2 ^a
Kukuřice	0,09 ± 0,02 ^a	0,1 ± 0,3 ^a	4 ± 1 ^a	27 ± 5 ^c
Jáhly	0,27 ± 0,05 ^b	1,2 ± 0,2 ^b	9 ± 2 ^b	31 ± 6 ^{cd}
Merlík	0,28 ± 0,06 ^b	1,0 ± 0,2 ^b	8 ± 1 ^b	33 ± 7 ^{cd}
Rýže	0,29 ± 0,06 ^b	1,5 ± 0,3 ^{bc}	9 ± 2 ^b	34 ± 7 ^d
Pšenice	0,55 ± 0,09 ^c	11,4 ± 0,9 ^d	30 ± 5 ^e	18 ± 3 ^{ab}

Podle některých teorií ovlivňují vlastnosti bezlepkového těsta vedle bílkovinných struktur také struktury vytvořené z jiných složek bezlepkové mouky, např. arabinoxylanů [31]. Lze předpokládat, že oba typy struktur se vytváří jak v bezlepkových, tak v pšeničných těstech, avšak v pšeničných těstech je vliv arabinoxylanů zanedbatelný v porovnání se silným vlivem lepku. Ve slabých bezlepkových těstech je pravděpodobně význam arabinoxylanů vyšší [17].

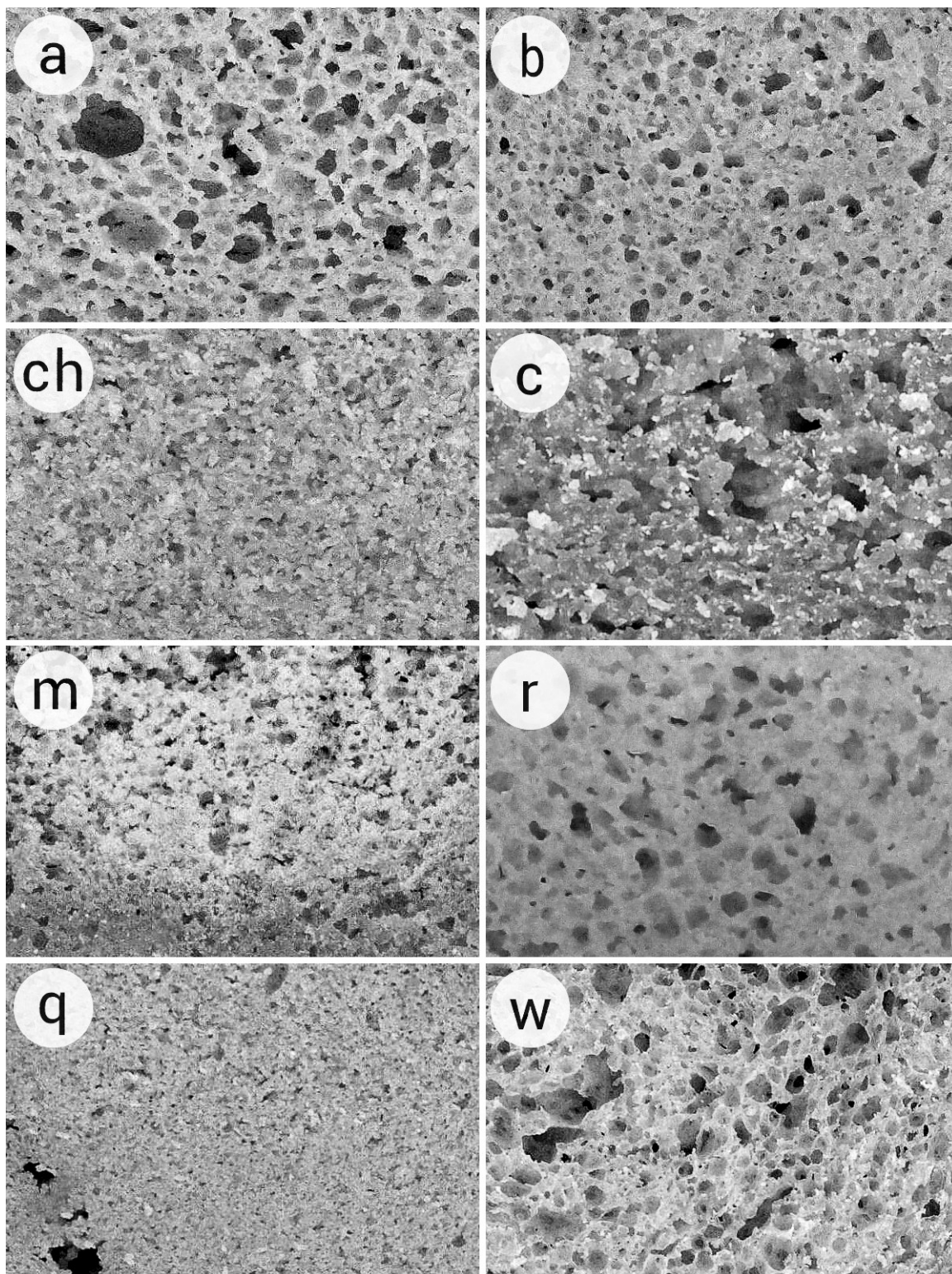


Obr. 5: Závislost mezi napětím ve vzorku σ a Henckeho deformací ε_H v těstu:
 A: amarantové, B: pohankové, C: kukuřičné, Ch: cizrnové, M: jáhlové,
 Q: merlíkové, R: rýžové [17]

Z technologického pohledu těsto není schopno akumulovat dostatečné množství kypřicího plynu. Vyrobené pečivo má menší objem a tužší strídu než pšeničné výrobky. Strída bezlepkového pečiva je tvořena velkým počtem malých pórů obklopených mohutnou vrstvou těsta. Konzument ji vnímá jako tvrdou a špatně žvýkatelnou.

Z námi testovaných bezlepkových mouk se porozitě pšeničného pečiva nejvíce přiblížily výrobky z amarantové, pohankové a rýžové mouky (obr. 6). Praktickou využitelnost amarantové a pohankové mouky však významně snížila typická barva, vůně a chuť výrobku. Z testovaných surovin je prakticky samostatně využitelná na výrobu pečiva pouze mouka rýžová, které je ale možné vytknout naopak nevýraznou barvu a chuť.

Výsledky naznačují další možnou reformulaci, kterou je použití směsí bezlepkových mouk. Smíchání sensoricky nevýrazné rýžové mouky s moukou, která má typickou výraznou chuť, vůni a barvu, může mít pozitivní vliv na vlastnosti výrobku.



Obr. 6: Řezy pečivem vyrobeným z bezlepkových mouk: a: amarantová, b: pohanková, ch: cizrnová c: kukuřičná, m: jáhlová, r: rýžová, q: merlíková, w: pšeničná [32]

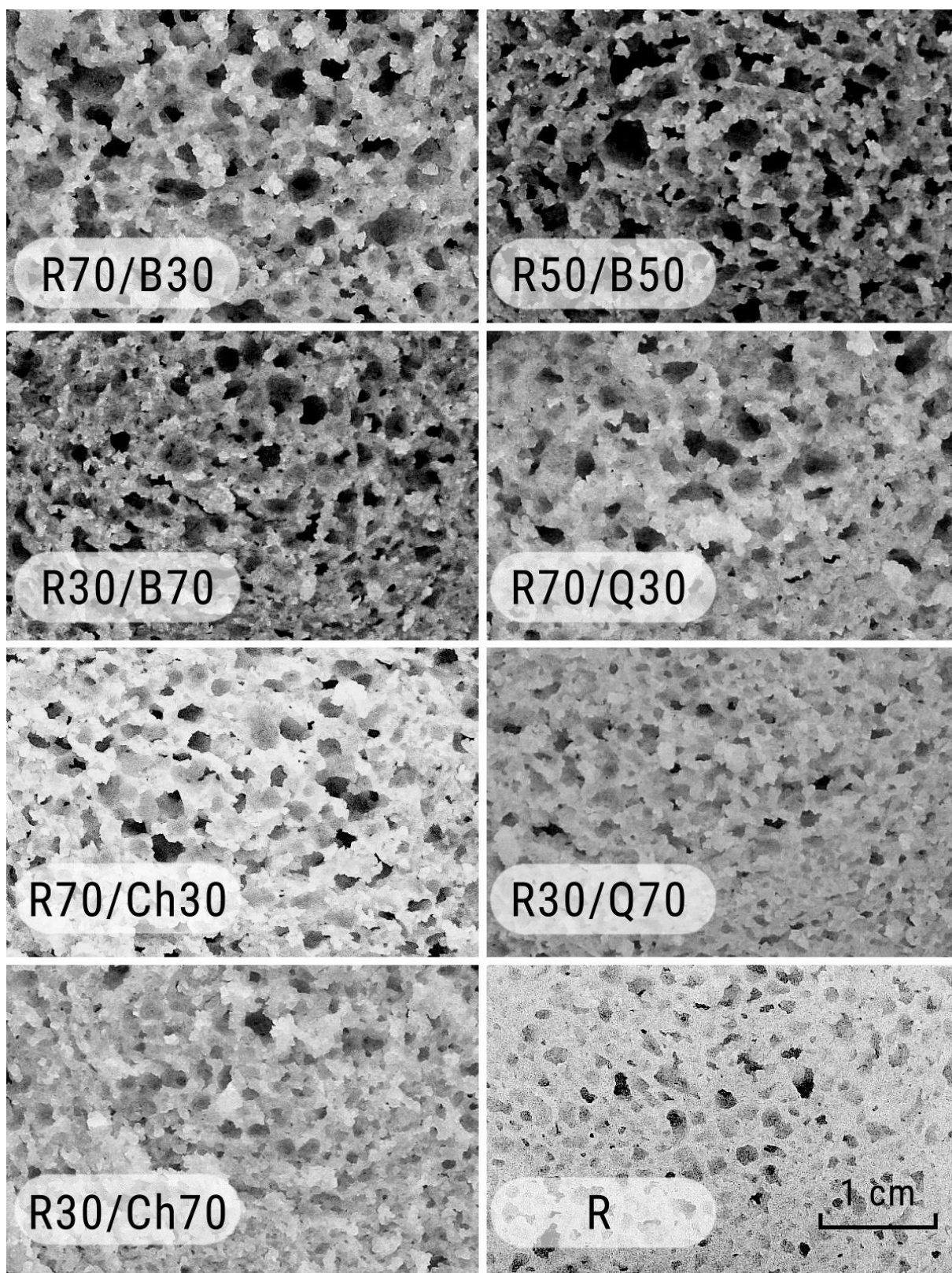
2.2 Použití směsí bezlepkových mouk

Předchozí výsledky ukázaly omezení spojená s výrobou pečiva z jednoho druhu bezlepkové mouky. Pečivo vyrobené z amarantové, pohankové a rýžové mouky sice mělo ze všech testovaných výrobků nejlepší porozitu, ovšem chuť, vůně a barva pečiva nebyla optimální. Výrazná typická chuť, vůně a barva snížily hodnocení amarantového a pohankového výrobku. Rýžový výrobek se naopak ukázal jako nevýrazný až mdlý. Další námi provedená práce byla proto zaměřena na studium vlastností těsta a pečiva připravených ze směsí bezlepkových mouk [33]. Základem směsí byla mouka rýžová, která byla míchána s dalšími bezlepkovými moukami (amarantovou, pohankovou, cizrnovou, kukuřičnou, jáhlovou a merlíkovou) v různých poměrech. Složení směsí (vztaženo na 100 g) bylo

- 70 g rýžové mouky + 30 g bezlepkové mouky,
- 50 g rýžové mouky + 50 g bezlepkové mouky,
- 30 g rýžové mouky + 70 g bezlepkové mouky.

Těsta ze směsí byla slabší a snadněji deformovatelná než samotné těsto rýžové. Ukázalo se však, že použití směsi mouk přispělo k tvorbě větších pórů ve střídě pečiva (obr. 7). Ve výrobcích připravených ze všech směsí rýžové a pohankové mouky byly velké, vzájemně propojené póry. Obdobná struktura pórů byla také v pečivu vyrobeném ze směsi s 30 g merlíkové, nebo cizrnové mouky. Velké, vzájemně propojené póry ohraničené tenkou vrstvou těsta jsou typické pro pšeničné pečivo. Póry uzavřené a navzájem oddělené mohutnější vrstvou těsta byly zjištěny ve výrobku z rýžové mouky se 70 g merlíkové mouky, ve výrobcích obsahujících amarant a ze samotné rýžové mouky. Porozita výrobků obsahujících ve směsi kukuřici a jáhly byla vyhodnocena jako neuspokojující, přestože byla oproti výrobkům ze samotné kukuřičné a jáhlové mouky zlepšena. Důvodem nízkého hodnocení byla přítomnost malého množství malých pórů oddělených mohutnou vrstvou těsta. Celkové hodnocení bochníků bylo významně ovlivněno výsledky sensorické analýzy. Hodnocení pečiva obsahujícího amarant, cizrnu a merlík snížila přítomnost chuti a vůně typické pro tyto mouky. Naopak nejvyšší hodnocení bylo uděleno výrobkům ze směsí rýžové a pohankové mouky ve všech testovaných poměrech, tj. 30 g/100 g; 50 g/100 g; 70 g/100 g. Z výsledků je zřejmé, že směsi bezlepkových surovin mohou být základem pro výrobu pečiva s lepší texturou střídy, zejména větším množstvím velkých, navzájem propojených pórů. Také sensorické vlastnosti jsou lépe hodnoceny u pečiva vyrobeného ze směsí mouk, což je patrné zejména u směsí rýžové a pohankové mouky.

Vedle nových poznatků o použitelnost směsí bezlepkových mouk pro výrobu pečiva se v průběhu práce objevily otázky týkající se optimálního množství vody v receptuře a vhodnosti používaných metod pro hodnocení vlastností těsta.



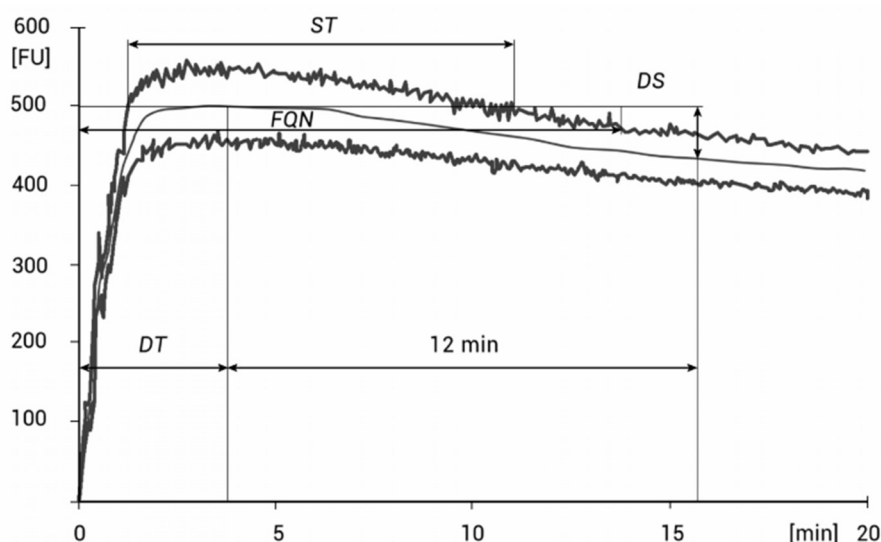
Obr. 7: Řezy bochníky ze směsí rýžové mouky s bezlepkovými moukami. R: rýžová, B: pohanková, Q: merlíková, Ch: cizrnová. Číslo udává zastoupení mouky (%) ve směsi [33]

2.3 Recepturní množství vody a vhodnost empirických metod pro měření vlastností bezlepkového těsta

Voda patří mezi základní suroviny pro výrobu pečiva. Díky vodě mohou hydratovat bílkoviny, škroby a další látky přítomné v mouce. Hydratované bílkoviny se mohou spojovat a vytvářet struktury těsta. Voda má zásadní vliv na reologické vlastnosti těsta [34]. Množství vody ovlivňuje konzistenci těsta a průběh fermentace. Množství vody má vliv na proces mazování škrobu, který probíhá v průběhu pečení těsta [24, 25]. V samotném pečivu ovlivňuje množství vody tvrdost střídy. Voda má vliv na trvanlivost pečiva [23, 35].

Optimální množství vody potřebné pro přípravu pšeničného těsta se stanovuje pomocí farinografu (ICC č. 115/1) [36]. Základem farinografu je hnětací nádoba se dvěma lopatkami, které rotují konstantními, ale rozdílnými rychlostmi. Rychlost otáčení pomalejší lopatky je $(60 \pm 2) \text{ min}^{-1}$, poměr otáček lopatek je $1,50 \pm 0,01$. Do nádoby se vsype pšeničná mouka, za stálého hnětení se postupně přidává voda a v nádobě se uhněte těsto. Během měření se zaznamenává kroutící moment motoru farinografu, který závisí na odporu těsta k hnětení. Odpor těsta je ve vazbě s jeho konzistencí, proto se změřené hodnoty označují jako konzistence těsta. Jednotkou, ve které se změřené hodnoty uvádí, je farinografická jednotka (FU). Velikost farinografické jednotky závisí na objemu hnětací nádoby [37]. Pro nejčastěji používanou 500g nádobu platí, že $1 \text{ FU} = (9,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}$.

Výstupem z měření je časová závislost konzistence těsta (obr. 8). Množství vody potřebné k uhnětení těsta o konzistenci 500 FU se označuje jako vaznost vody moukou WA a považuje se za optimální množství vody potřebné pro výrobu pšeničného kynutého pečiva. Hodnota 500 FU vychází z empirických zkušeností [38, 39]. Pro pšeničné těsto je typické relativně rychlé vytvoření kompaktního těsta s požadovanou konzistencí, která je zaznamenána jako maximum křivky. Doba od počátku měření do dosažení maximální hodnoty se označuje jako doba vývinu těsta DT . Poté konzistence těsta klesá v důsledku rozvolňování jeho struktur, které je vyvolané mechanickým namáháním těsta. Z křivky se odečítají i další parametry jako je doba stability těsta ST , pokles těsta DS a farinografické číslo kvality FQN .



Obr. 8: Farinogram: doba vývinu těsta DT, doba stability těsta ST, stupeň změknutí těsta DS, farinografické číslo kvality FQN [37]

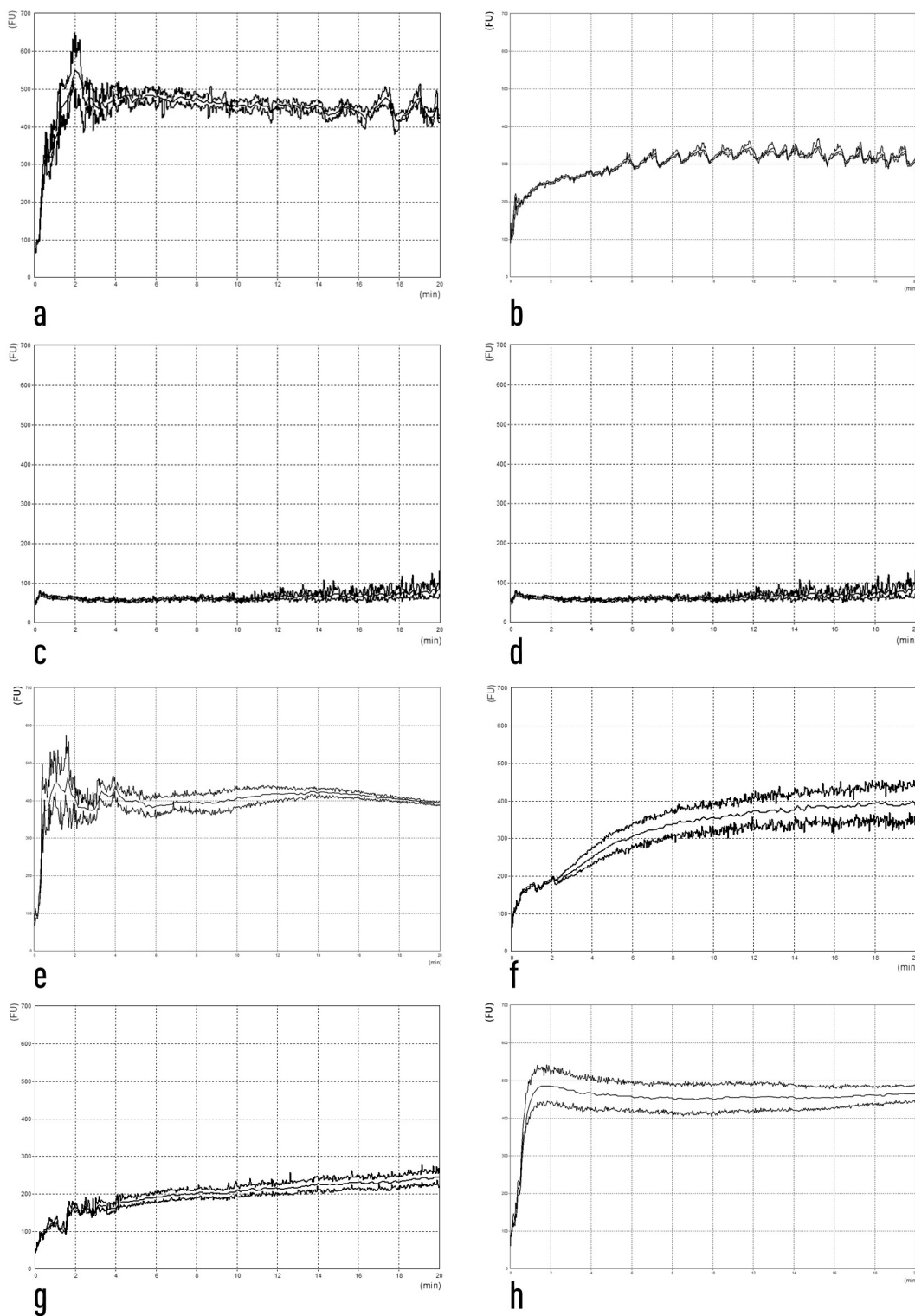
Farinografická metoda byla zpočátku používána pro zjištění množství vody potřebné pro přípravu bezlepkového těsta a také k hodnocení jeho vlastností v průběhu hnětení. Těsto s konzistencí 500 FU se však daří připravit jen z amarantové, pohankové, cizrnové, merlíkové a rýžové mouky. K vytvoření soudržného a nedrobivého těsta z kukuřičné a jáhlové je třeba mnohem větší množství vody (tab. 3). Konzistence těchto těst je proto vždy nižší než 500 FU (obr. 9 c, d).

Tab. 3 Množství vody potřebné k přípravě těsta o konzistenci 500 FU*, nebo pro vytvoření soudržného těsta⁺ [17]

Těsto	Vaznost vody moukou (%)
Amarant	68,0*
Pohanka	65,0*
Cizrna	46,7*
Kukuřice	71,1 ⁺
Jáhly	64,2 ⁺
Merlík	62,0*
Rýže	65,0*
Pšenice	56,5*

Liší se také změny bezlepkových těst v průběhu měření, což je patrné z tvaru zaznamenaných křivek. Průběh podobný pšeničnému těstu byl zaznamenán

v podstatě jen u amarantového a merlíkového těsta (obr. 9 a, e). Ostatní bezlepková těsta vykazovala mírný nárůst konzistence po celou dobu měření (obr. 9 b, f, g).



Obr. 9: Farinogramy těst: (a) amarantové, (b) cizrnové, (c) jahelné, (d) kukuřičné, (e) merlíkové, (f) pohankové, (g) rýžové, (h) pšeničné

Abychom otestovali aplikovatelnost farinografického stanovení pro určení recepturního množství vody, použili jsme hodnoty vaznosti *WA* zjištěné pomocí farinografu (tab. 3) k přípravě těsta na výrobu pečiva. Těsta byla tuhá a nebyla schopna se působením kypřicího plynu rozpínat. Při experimentálním hledání optimálního přídatku vody bylo zjištěno, že nejvyšší porozitu a objem má pečivo, pokud se pro přípravu těsta použije 90 – 110 g vody na 100 g mouky [40 – 42]. Při navrhování receptury je však třeba brát v úvahu i další faktory. Pokud jsou v receptuře suroviny s vysokou vazností vody, což je většina potravinářských přídatných látek používaných při komerční výrobě pečiva, je nutno množství recepturní vody ještě dále zvýšit. Práce prokázaly, že optimální množství vody v receptuře není možné určit pomocí farinografu, ale je třeba ho stanovit experimentálně.

2.4 Zvýšení nutriční hodnoty pečiva

Nutriční hodnota komerčně vyráběného bezlepkového pečiva je různá. Obecně však platí, že je nižší, než mají pšeničné výrobky (tab. 4). Hlavním nedostatkem je vysoký obsah sacharidů, nízký obsah bílkovin, vlákniny, minerálních látek (např. železa), vitaminů a dalších hodnotných složek [24, 43, 44]. Ve srovnání s pšeničným pečivem je v některých bezlepkových výrobcích větší množství tuku. Při výrobě je častěji používán tuk s vysokým podílem nasycených mastných kyselin [45, 46]. Dalším nedostatkem je vysoký glykemický index bezlepkového pečiva [47]. Hodnoty glykemického indexu se však mohou mezi výrobky významně lišit v závislosti na botanickém druhu použité mouky. Podle glykemického indexu je možné jednodruhové bezlepkové pečivo seřadit sestupně takto: merlíkové (91) > pohankové (80) > teffové (74) > čirokové (74) > ovesné (71) [48].

Tab. 4 Nutriční hodnota pšeničného a bezlepkového pečiva. Energie v kJ, ostatní v g na 100 g výrobku [45, 46]

Parametr	Pšeničné pečivo	Bezlepkové pečivo
Energie (kJ)	1144 ± 70	1054 ± 94
	1063 ± 37	1081 ± 75
Tuk (g)	5 ± 2	6 ± 3
	2,9 ± 0,8	5 ± 2
Nasyčené tuky (g)	1,1 ± 0,6	1,2 ± 0,6
	0,6 ± 0,2	1,2 ± 0,9
Sacharidy (g)	47 ± 6	42 ± 6
	47 ± 1	48 ± 7
Jednoduché cukry (g)	6 ± 2	3 ± 2
	3,7 ± 0,9	3 ± 2
Vláknina (g)	5 ± 2	6 ± 2
	2,8 ± 0,9	5 ± 3
Bílkoviny (g)	9,4 ± 0,9	4 ± 2
	9,2 ± 0,4	3 ± 2
Sodík (g)	1,1 ± 0,2	1,5 ± 0,4
	1,2 ± 0,3	1,3 ± 0,4

Jedním z cílů reformulací je zvýšení nutriční hodnoty bezlepkového pečiva. Zkoumají se možnosti přidavku surovin s vysokým obsahem bílkovin a vlákniny, nebo použití nutričně hodnotnější přirozeně bezlepkové mouky. Vedle toho se výzkumné práce zaměřují na ověření využitelnost surovin s vysokou antioxidační aktivitou. Příkladem může být výzkum vlivu přidavku hnědých mořských řas na parametry bezlepkového pečiva [49]. Testována byla možnost vnesení látek s antioxidační aktivitou pomocí speciálních hydrogelů připravených například z nativního bramborového škrobu a karagenanů extrahovaných z červené mořské řasy *Mastocarpus stellatus*. Získaný materiál byl poté obohacen extrakty z různých druhů odpadů potravinářského průmyslu, např. ze zeleného čaje a chmele [50].

Naše práce se zaměřila na výrobu pečiva z přirozeně bezlepkových surovin s vysokou antioxidační aktivitou [51]. Zkoumána byla možnost nahradit rafinovanou bílou rýžovou mouku moukami ze zrna červené, černé a bílé lepidé rýže. Barva obilky černé a červené rýže je ovlivňována antokyany, které jsou

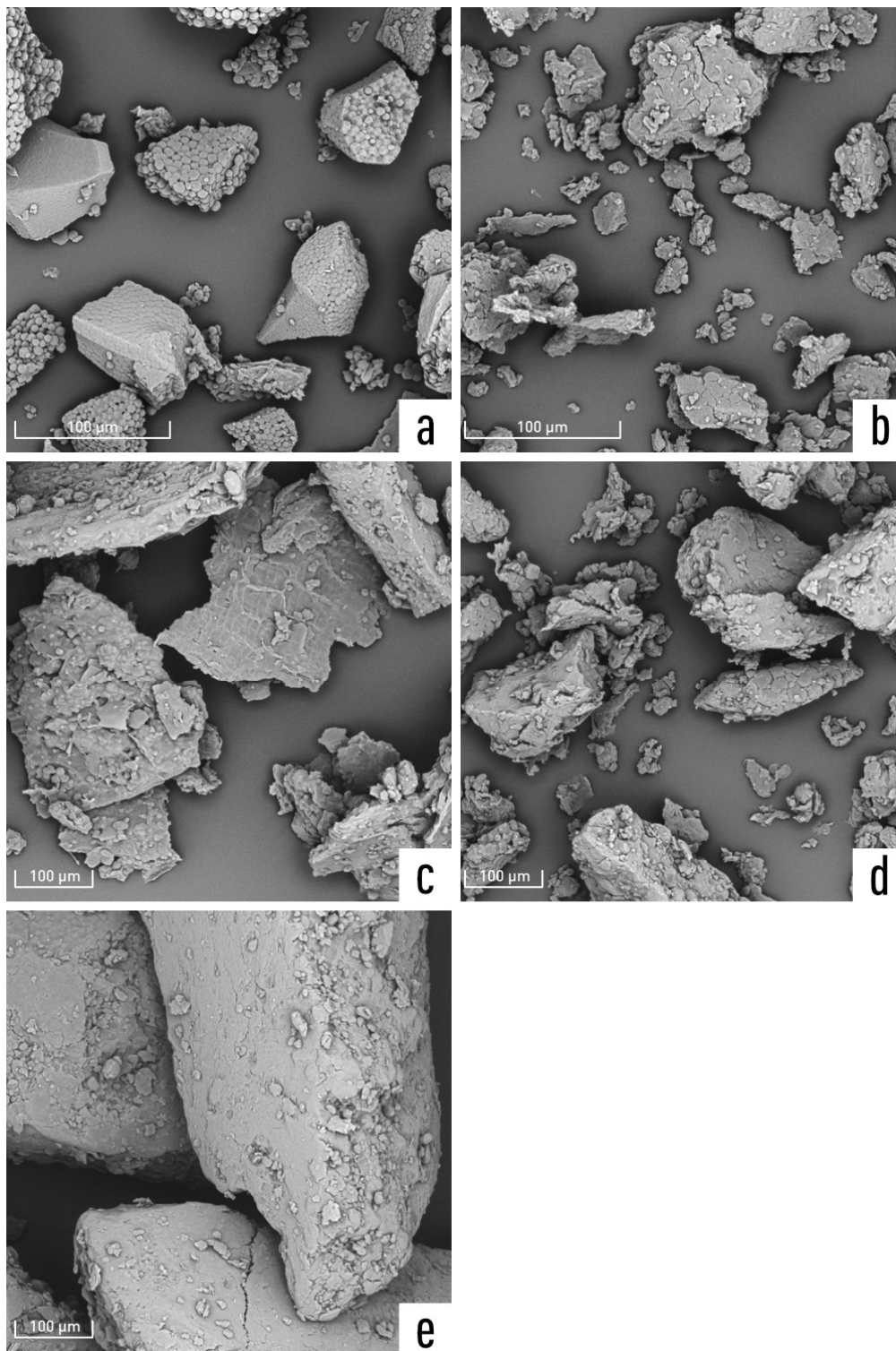
situovány převážně v obalových vrstvách [52]. Přítomnost fenolických látek v obilkách je spojována s vysokou antioxidační aktivitou [52 – 54]. Obilky s černým a červeným zbarvením jsou dobrým zdrojem vitamínu E. Červeně zbarvené obilky jsou bohaté na železo a zinek, černé mají vyšší obsah bílkovin, tuku a vlákniny [52, 54]. Při mletí obilek je třeba zabránit odstranění vrstev, které obsahují fenolické látky, proto je nezbytné používat tyto materiály ve formě celozrnné mouky [54, 55]. Přítomnost obalových vrstev v mouce však může mít negativní dopad na objem výrobku a může zvyšovat tvrdost střídy pečiva [40, 42, 56, 57]. Bílá lepivá rýže (*Oryza sativa* var. *glutinosa*) je druh rýže, která je po uvaření bílá, lepivá a neprůhledná [58]. Typický je pro ni velmi nízký obsah amylozy ve škrobu. Proces mazovatění škrobu je proto odlišný od běžné rýže. Liší se také rozsah retrogradace škrobu [59], což může ovlivnit rychlost a rozsah tvrdnutí pečiva. Mouka z červené, černé a bílé lepivé rýže má oproti rafinované rýžové mouce vyšší obsah bílkovin a vlákniny (tab. 5). Mouka z lepivé rýže se vyznačuje také vysokým obsahem esenciálních aminokyselin a nutričně hodnotných tuků [60, 61]. Využitelnost této mouky byla studována nejen kvůli nutriční hodnotě, ale i z důvodu vysoké lepivosti. Lze předpokládat, že lepivost by mohla zlepšit soudržnost bezlepkového těsta a případně i zlepšit schopnost těsta zadržovat kypřicí plyny.

Tab. 5 Obsah škrobu, bílkovin a vlákniny (% w/w) ve vzorcích rýžových mouk zařazených do studie [62]

Druh rýže	Škrob	Bílkoviny	Vláknina
Černá	76,6 ± 0,9 ^b	8,9 ± 0,9 ^b	2,5 ± 0,4 ^b
Lepivá	76,2 ± 0,8 ^b	9,7 ± 0,5 ^c	2,8 ± 0,3 ^b
Červená	74,0 ± 0,9 ^a	10,0 ± 0,8 ^c	7,0 ± 0,4 ^c
Bílá rafinovaná hladká	79,0 ± 0,3 ^c	7,0 ± 0,5 ^a	0,4 ± 0,1 ^a
Bílá rafinovaná polohrubá	79,0 ± 0,5 ^c	7,0 ± 0,9 ^a	0,4 ± 0,1 ^a

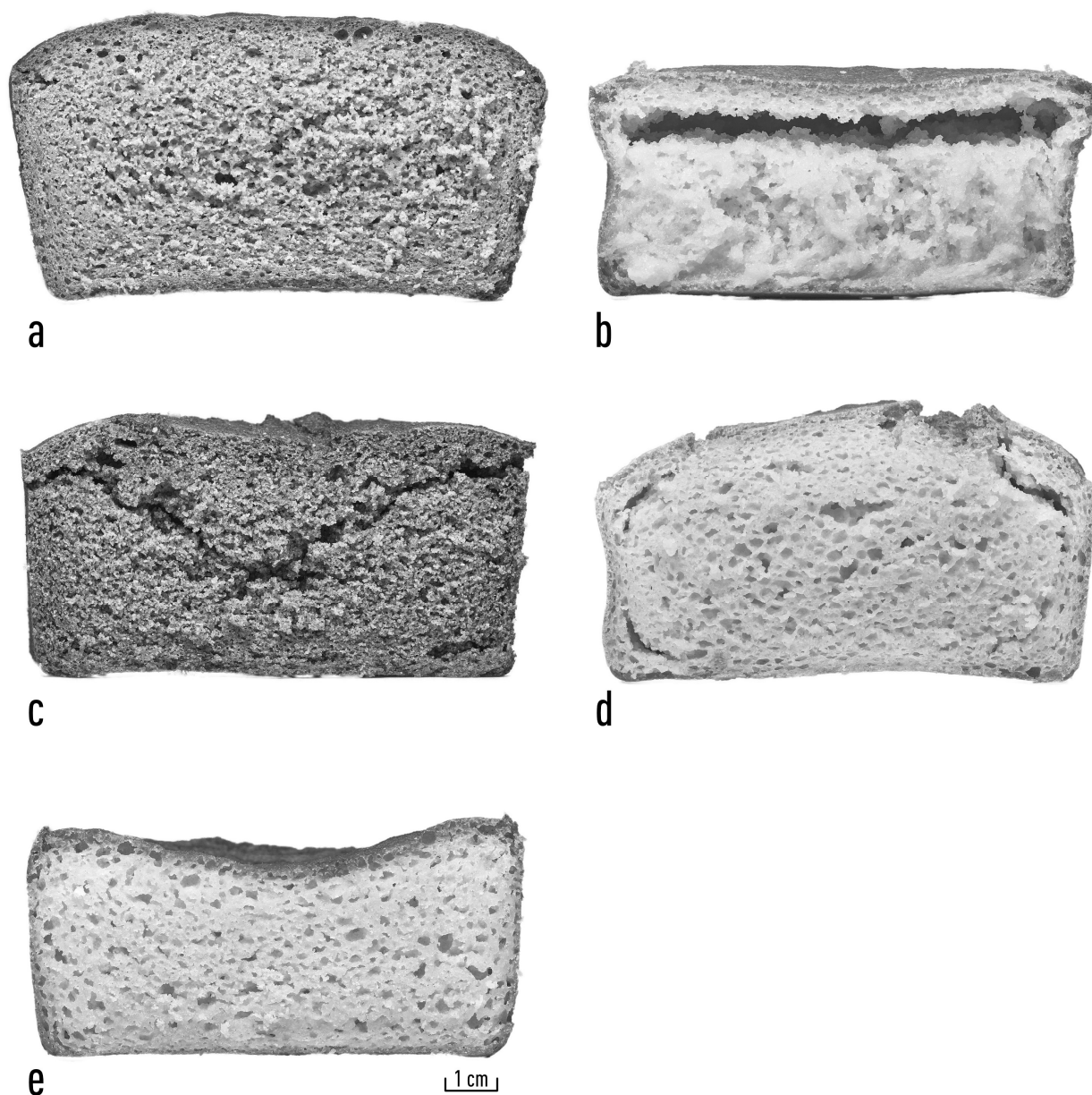
Výsledky byly shrnuty v publikaci Burešová et al. [62]. Odlišné složení obilek se projevilo v jejich chování při mletí. Výsledkem jsou různé tvary a rozměry částic mouky. Mletím černé rýže byly získány kompaktní tvary částic endospermu o velikosti 50 – 100 µm. V mouce byly viditelné jednotlivé škrobové granule zachycené v bílkovinné matici. Detekováno bylo také několik malých moučných částic o velikosti 10 – 30 µm (obr. 10 a). Ve vzorcích mouky z lepivé rýže byly zjištěny velké (50 – 80 µm) a malé (< 30 µm) částice endospermu nepravidelných tvarů a fragmenty bílkovinné matrice (< 10 µm) (obr. 10 b). Mouka z červené rýže byla tvořena částicemi endospermu o velikosti 100 – 200 µm. Jednotlivé škrobové granule byly zanořeny v bílkovinné matici a nebyly pozorovatelné. V mouce bylo také několik částic fragmentů bílkovinné matrice (< 15 µm)

(obr. 10 c). Hladká rafinovaná mouka z bílé rýže byla tvořena většími (70 – 100 μm) a menšími (< 30 μm) částicemi endospermu nepravidelného tvaru (obr. 10 d). Přítomny byly také fragmenty bílkovinné matrice (< 5 μm). Polohrubá rafinovaná mouka z bílé rýže byla tvořena velkými bloky endospermu o velikosti 400 – 600 μm (obr. 10 e).



Obr. 10: Mikrofotografie rýžových mouk: (a) černá rýže, (b) lepivá rýže, (c) červená rýže, (d) bílá rýže: hladká mouka, (e) bílá rýže: polohrubá mouka [62]

Bochníky vyrobené z mouky z černé, červené a lepivé rýže měly větší objem a byly klenutější než výrobky z rafinované rýžové mouky (obr. 11). Neprokázal se tak negativní vliv přítomných částic otrub. Naopak schopnost otrub vázat část recepturní vody se pozitivně projevila na vlastnostech střídy. Střída těchto bochníků nebyla lepivá, na rozdíl od bochníků z rafinované mouky. Dalším pozitivním zjištěním bylo, že střída pečiva z černé, červené a lepivé rýže byla měkčí než střída z bílých rafinovaných mouk. Porozita však byla horší (obr. 11). Zjištěny byly také další vady. Střída pečiva z lepivé rýže byla odtržena od horní kůrky (obr. 11 b). Ve střídě pečiva z červené rýže byla prasklina (obr. 11 c), která zhoršila soudržnost bochníku.

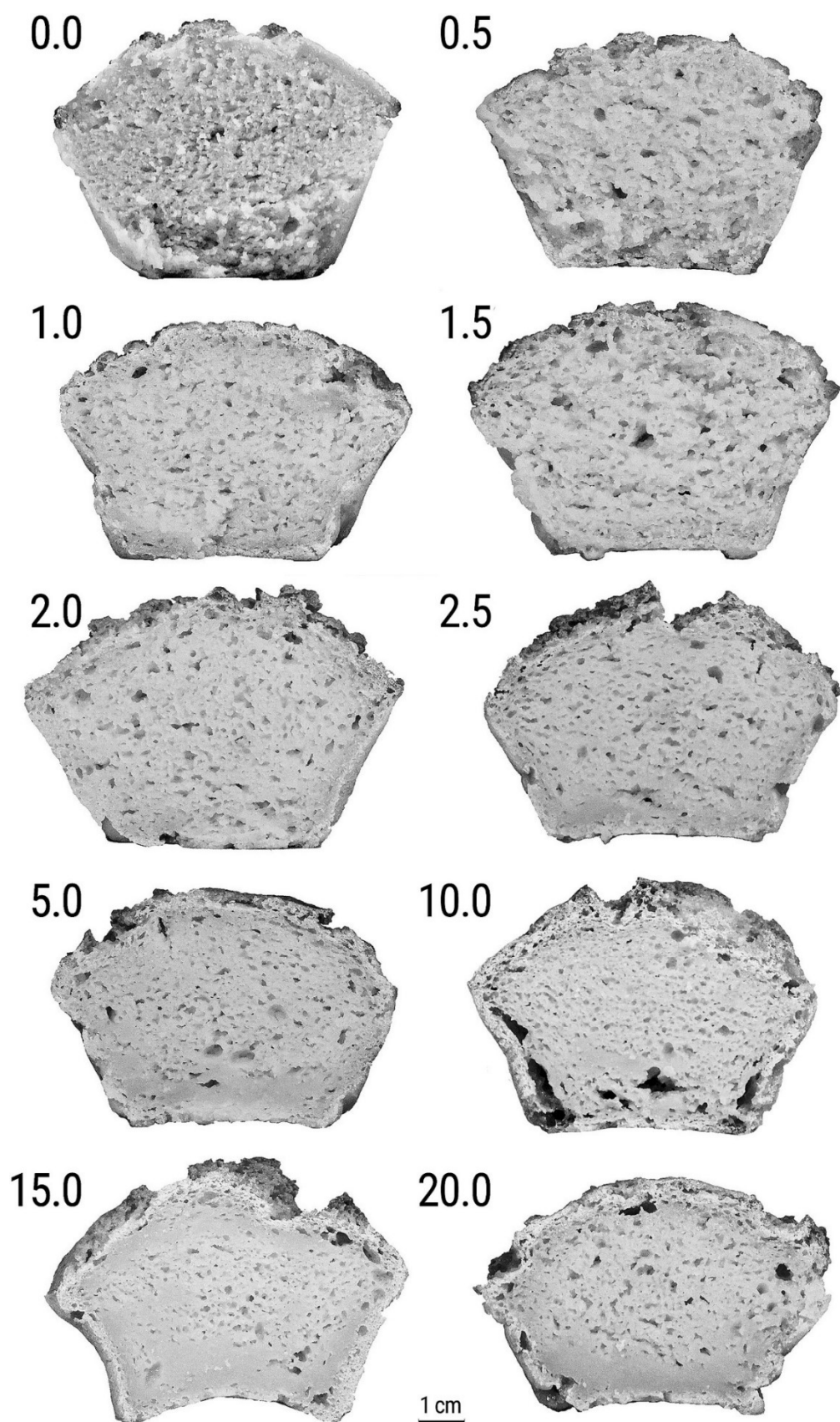


Obr. 11: Řezy bochníky vyrobenými z (a) černé, (b) lepivé, (c) červené, (d) hladké rafinované, (e) polohrubé rafinované rýžové mouky [62]

Chuť a vůně pečiva z černé rýže byla vyhodnocena jako intenzivní ovocná a květinová. Pečivo z červené rýže se vyznačovalo intenzivní vůní a chutí, kterou je možné popsat jako směs chuti listů, oříšků, podobnou chuti amarantu. S ohledem na tato zjištění se dá očekávat, že se budou testované rýže používat spíše ve směsích s jinými moukami, případně škroby. V testování použitelnosti těchto materiálů dále pokračujeme. V současné době jsou hodnoceny vlastnosti těsta a pečiva připraveného ze směsi těchto mouk s rafinovanou bílou rýžovou moukou. Plánujeme také studium použitelnosti těchto materiálů pro výrobu různých druhů trvanlivého pečiva.

Další směry výzkumu v oblasti zvýšení nutriční hodnoty bezlepkového pečiva, kterým jsme se věnovali, byly směřovány na možnosti přidavku suroviny s vysokým obsahem bílkovin. Tyto suroviny je možné rozdělit na tradiční (vejce, bílkoviny mléka, sójové bílkoviny atd.) a alternativní (např. bílkoviny získané z hmyzu). Naše výzkumy ukázaly, že přídavek kaseinátu vápenatého podporuje tvorbu pórů ve střídě pečiva vyrobeného ze směsi rýžové a pohankové mouky, a tím snižuje jeho tvrdost [63]. Obdobně byl testován přídavek rostlinných bílkovin [64]. Bílkoviny hmyzu patří mezi novou generaci surovin, které se testují z hlediska jejich využitelnosti při výrobě bezlepkového pečiva. Podle dosud publikovaných studií mají schopnost ovlivnit vlastnosti těsta. V současné době se zjišťuje, zda přítomnost hmyzích bílkovin v těstě zlepší také jeho schopnost zadržovat kypřicí plyn a jaký bude jejich dopad na kvalitu pečiva [65].

Další reformulace, na které se zaměřujeme, ověřují možnosti výroby funkčního bezlepkového pečiva obsahujícího suroviny s prokázaným pozitivním dopadem na lidské zdraví. Příkladem může být použití jitrocele, nebo mastichové gummy [66, 67]. Mastichová guma působí proti bakteriálním infekcím, může ovlivňovat pH v zažívacím traktu. Prokázány byly hepatoprotektivní, kardioprotektivní, cytoprotektivní, protizánětlivé, antileukemické a antiaterogenní vlastnosti této gummy. Masticha může také snižovat riziko vzniku kolorektálního karcinomu [67 – 77]. Doporučená denní dávka se pohybuje v rozmezí 1 – 5 g/osoba/den [78]. Látka není toxická až do dávky 28 g/osoba/den [79]. Mastichová guma se získává ze stále zeleného stromu *Pistacia lentiscus* L. var. chia. Na našem pracovišti jsme pracovali s mastichovou gumou ve formě prášku s částicemi menšími než 300 µm. Mastichová guma byla přidávána do rýžové mouky v množství 0,5 – 20,0 g/100 g mouky. Přítomnost gummy zlepšovala vlastnosti těsta, vlastnosti pečiva však byly zlepšeny pouze po přidání mastichy v množství 0,5 g/100 g. Vyšší přídavky zhoršovaly porozitu a homogennost distribuce pórů ve střídě pečiva (obr. 12). Výrazná chuť a vůně mastichové gummy snižovaly přijatelnost výrobku pro konzumenty. Podle hodnotitelů jsou akceptovatelné pouze výrobky obsahující 0,5 – 1,5 g/100 g mastichové gummy.



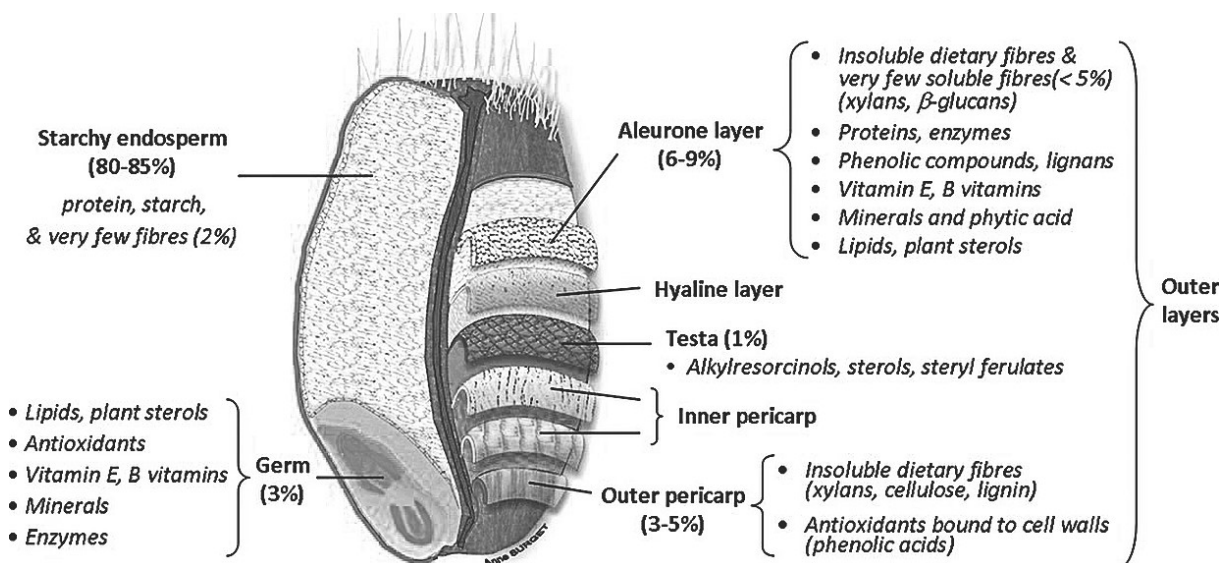
Obr. 12: Řezy rýžovým pečivem s přidavkem mastichové gummy v množství 0,5 – 20,0 g na 100 g mouky [76]

3 REFORMULACE PŠENIČNÉHO PEČIVA

Pšeničné pečivo se tradičně vyrábí z bílé pšeničné mouky, která se získává rozemletím pšeničného endospermu. Obalové vrstvy obklopující endosperm se spolu s klíčkem při mletí odstraňují. Tyto části zrna obsahují vlákninu, bílkoviny, tuky, minerální látky a další hodnotné složky (obr. 13), což snižuje nutriční hodnotu pšeničného pečiva. Reformulace pšeničného pečiva se obecně zaměřují na

- zvýšení obsahu nutričně významných složek, např. vlákniny
- snížení obsahu soli, cukru a tuku.

Zvýšení obsahu vlákniny se dosahuje použitím celozrnné mouky, případně přidávkem otrub do mouky. Nejčastěji je pečivo obohacováno pšeničnými otrubami. Nutričně hodnotnější jsou otruby rýžové, které ve výrobku průkazně zvyšují obsah vitamínu B₁ a B₂, stejně jako obsah minerálních látek (železo, zinek, vápník a hořčík). Oxidace tuků přítomných v otrubách naopak snižuje trvanlivost výrobku, což je možné do jisté míry zlepšit použitím odtučněných otrub, nebo přidávkem antioxidantů [80 – 82]. Přítomnost otrub zvyšuje množství recepturní vody, zhoršuje vlastnosti lepku a snižuje objem výrobku [83].



Obr. 13: Části pšeničného zrna a jejich složení [84]

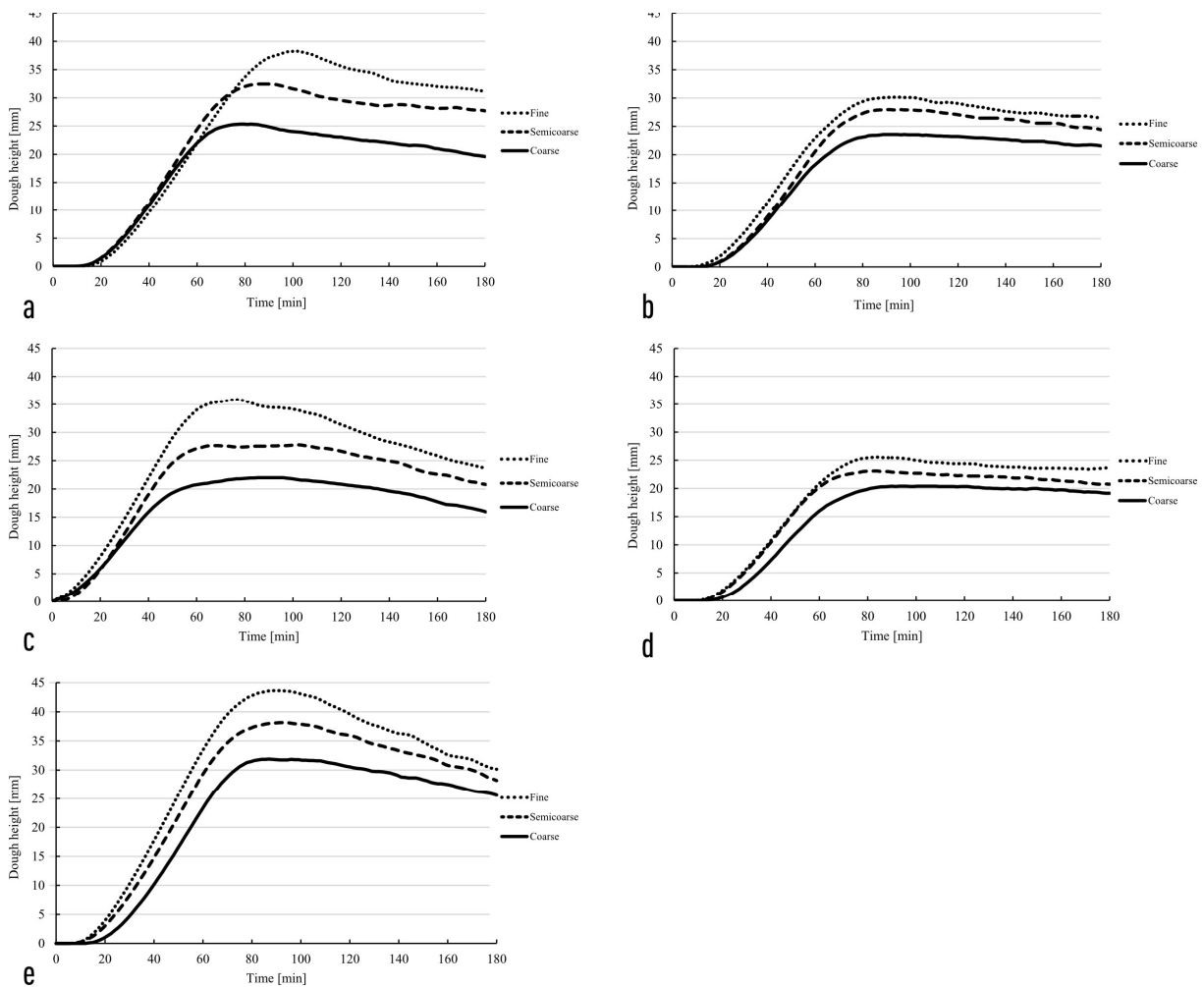
Další možností, jak zvýšit nutriční hodnotu pšeničného pečiva, je přidávek surovin s vysokým obsahem bílkovin, jako jsou luštěniny, nebo hmyz [85, 86]. Pozornost je věnována také zhodnocení využitelnosti původních druhů pšenice [87] a použití celozrnné mouky ze zrna s netradičním zbarvením. Tyto pšenice jsme měli možnost otestovat i na našem pracovišti.

3.1 Zrna pšenice s netradičním zbarvením

Barviva dodávající obilce barvu jsou situována v převážně v pericarpu nebo aleuronové vrstvě. Pouze žlutá barviva jsou přítomna v endospermu. Pšenice, které jsme studovali, je možné sestupně seřadit podle celkového obsahu antokyaninů (mg/kg): černá ($43,75 \pm 0,24$) > modrá ($18,12 \pm 0,23$) > purpurová ($11,17 \pm 0,18$) > žlutá ($3,86 \pm 0,18$) > běžná ($3,04 \pm 0,26$). Pericarp a aleuronová vrstva se při mletí bílé mouky odstraňují a přechází do otrub. Zrno pšenice s netradičním zbarvením je proto nezbytné používat ve formě celozrnné mouky, která obsahuje vedle rozemletého endospermu také obalové vrstvy a klíček. Jinou možností je přidávat otruby z barevných pšenic do bílé mouky vymleté z běžné potravinářské pšenice.

3.2 Schopnost těsta produkovat a zadržovat kypřicí plyn

Celozrnné mouky, jejichž pekárenské využití jsme hodnotili, byly připraveny ve třech granulacích - hladká, polohrubá a hrubá [5]. Přítomnost obalových vrstev zvyšovala vaznost vody moukou, bylo proto nutno zvýšit recepturní množství vody. Těsta byla charakterizována jako volnější a méně stabilní než těsto z běžné pekárenské pšenice, což je možné dát do souvislosti s přítomností částec obalových vrstev, které narušují tvorbu kompaktní lepkové struktury. V průběhu fermentace dosáhla těsta z barevných pšenic (obr. 14 a, b, c, e) maximální výšky dříve než těsto z běžné pšenice (obr. 14 d). Dříve se z nich ale začal kypřicí plyn také uvolňovat. Objem plynu zadržného v těstě na konci fermentace byl u barevných pšenic srovnatelný s běžnou pšenicí. Z výsledků je zřejmé, že těsta z barevných pšenic měla horší schopnost zadržovat kypřicí plyn než těsto z běžné pšenice, ale protože byla tato těsta schopna vyprodukovat větší objem kypřicího plynu než těsto z běžné pšenice, byl objem plynu zadržného těstem u všech testovaných pšenic přibližně stejný. Výsledky dále potvrdily, že větší objem plynu zadrží těsto z hladké mouky. Schopnost těsta z polohrubé mouky je nižší a nejméně plynu je schopno zadržet těsto z hrubé mouky (obr. 14).



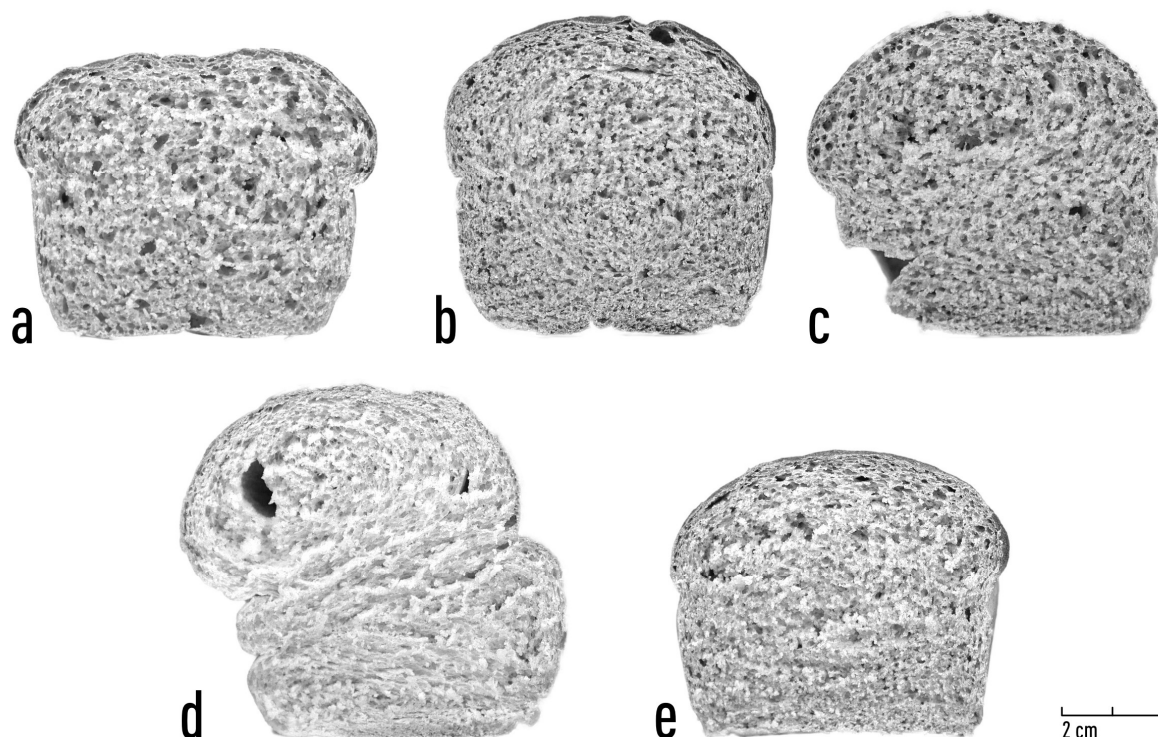
Obr. 14: Změna výšky těsta v průběhu kynutí pšeničných těst. Těsta připravené z pšeničného zrna s (a) modrým, (b) purpurovým, (c) černým, (d) běžným, (e) žlutým zbarvením [88]

3.3 Kvalita výrobků

Bochníky vyrobené z barevných pšeníc měly nižší objem než obdobné výrobky z běžné pšenice, i když velikost pórů a jejich distribuce byla srovnatelná, nebo lepší než u výrobku z běžné pšenice (obr. 15). Netypická barva výrobků ze zrna pšenice s modrým, purpurovým a černým zbarvením byla pro posuzovatele přijatelná, výhrady však měli k barvě bochníku ze zrna pšenice se žlutým zbarvením. Hodnocení výrobků z barvených pšeníc zhoršila hořká chuť. Hořká chuť je obecně spojována s přítomností obalových vrstev a dala se ve výrobcích očekávat. Podle názoru hodnotitelů však byla její intenzita ve výrobcích z barevných pšeníc vyšší než ve výrobku z běžné pšenice. Celkově nejlépe byly hodnoceny výrobky z hladké celozrnné mouky, které byly všechny vyhodnoceny jako přijatelné. Ve výrobcích nebyly detekovány žádné intenzivní chutě a vůně, které jsou příčinou neakceptovatelnosti výrobků z barevných rýží, což je důležité pozitivní zjištění. Obecně byl nejlépe hodnocen výrobek ze zrna pšenice

s modrým zbarvením. Jeho bodové hodnocení se nejvíce blížilo výsledkům získaným při hodnocení bochníku z běžné pšeničné celozrnné mouky.

Práce zaměřené na využitelnost barevných pšeníc pro výrobu různých druhů pečiva stále pokračují. V současné době se například věnujeme testování jejich využitelnosti při výrobě trvanlivého a jemného pečiva.



Obr. 15: Bochníky vyrobené z celozrnné hladké mouky ze zrna pšenice s (a) modrým, (b) purpurovým, (c) černým, (d) běžným, (e) žlutým zbarvením

PŘÍNOS PRO VĚDU, PRAXI A VÝUKU

Přínos pro vědu

Pokud je možné přínos našich výzkumných aktivit pro vědu změřit pomocí citovanosti článků, pak mezi nejvýznamnější a nejpřínosnější patří naše výsledky zaměřené na popis rozdílů ve vlastnostech mouk, těst a výrobků připravených z různých přirozeně bezlepkových materiálů. Prokázání významných rozdílů mezi materiály, zejména vliv botanického původu na reologické vlastnosti těsta a kvalitu pečiva by se mohly stát základem pro výzkum zaměřený na hodnocení dalších faktorů ovlivňujících pekárenské vlastnosti bezlepkových mouk, např. vliv odrůdy, podmínek pěstování, skladovacích podmínek, technologie mletí atd. Dalším významným výsledkem je popis vazeb mezi vlastnostmi bezlepkového těsta a kvalitou pečiva. Naše výsledky prokázaly, že materiály, které oslabují vlastnosti bezlepkového těsta, mohou přispívat k vyšší kvalitě výrobku, což je zjištění zcela opačné, než se původně předpokládalo na základě znalostí získaných pro pšeničné těsto a výrobky z něj. Tyto výsledky mohou být také využitelné při hledání metod hodnocení vlastností bezlepkového těsta, protože empirické metody původně určené pro pšeničná těsta není možné na bezlepkové materiály jednoduše aplikovat.

Osobně považuji za významné naše zjištění, že pro výrobu kvalitnějšího výrobku s větším objemem a lepšími vlastnostmi střídy je vhodnější použít směsi bezlepkových mouk než pouze jeden druh mouky. Dále také zjištění, že některé suroviny (amarantová, cizrnová a merlíková mouka, stejně jako mouka z rýžového zrna s černým a červeným zbarvením) sice mohou zlepšit kvalitu bezlepkového pečiva, avšak jejich typická chuť, vůně a barva snižují přijatelnost výrobku pro konzumenta. Obdobná omezení však nebyla zjištěna u mouky z pšenice s barevným zrnem, což může přispět k hledání netradičních surovin využitelných při výrobě nutričně hodnotnějšího nebo funkčního pšeničného pečiva.

O přínosech pro vědu svědčí také zapojení univerzit a výzkumných institucí z České republiky i zahraničí do našeho výzkumu. Na tomto místě je třeba zmínit Mendelu v Brně (prof. Dr. Luděk Hřivna, doc. Ing. Tomáš Vyhnánek, Ph.D.), Českou zemědělskou univerzitu (Ing. Oldřich Faměra, CSc.) a Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž, s.r.o. (Dr. Ing. Petr Martinek). Ze zahraničních univerzit je třeba zmínit IATE, University of Montpellier (dr. Valérie Lullien-Pellerin), Fulda University (prof. Dr. Uwe Grupa), Federal Institute of Paraná (prof. Felipe Reis, PhD), University of Debrecen a Slovenskou poľnohospodárskou univerzitu v Nitre. Nenahraditelná je spolupráce také s jinými ústavy FT UTB.

Přínos pro praxi

Spolupráce s výrobními podniky nám umožnila podílet se na řešení řady praktických problémů. Spolupráce s výrobcí nám také dala příležitost pracovat s materiály, které nejsou vždy běžně k dispozici. V reformulacích zaměřených na bezlepkové výrobky již více než 10 let spolupracujeme se společností Extrudo Bečice. Díky ní jsme se mohli podílet na vývoji reformulovaných receptur pro výrobu běžného a bezlepkového jemného pečiva a také na postupech sensorického hodnocení bezlepkových výrobků. Poznatky získané při výzkumu možností reformulací pšeničného pečiva pomohly vyřešit problém, se kterým se potýkal výrobce polotovarů pro smažené výrobky. Náhrada tuku a cukru v receptuře jemného pečiva (vánočky, muffiny) čekankovým sirupem, kterou jsme řešili ve spolupráci se společností Kaumy, s.r.o., je dalším prakticky využitelným výstupem, který byl také publikován v odborném časopise. Zmínit je třeba nadějně se vyvíjející spolupráci se společností Nestlé Česko s.r.o. v oblasti výroby cukrovinek. Opomenout nechci ani náš podíl na užitém vzoru Sumczynski et al., (2019) - směs na výrobu sušenek a trvanlivého pečiva s přísadami nutraceutických surovin. V současné době bohužel brzdí spolupráci s výrobcí skutečnost, že reformulované pečivo je většinou dražší než výrobek z běžné pšenice. Výrobci často zvažují, zda je pro ně ekonomicky výhodné rozšiřovat nabízený sortiment výrobků, protože cena je často rozhodujícím faktorem rozhodujícím o úspěchu výrobku na trhu.

Přínos pro výuku

Poznatky získané při výzkumné činnosti jsou přímo využívány ve výuce v předmětech zařazených v navazujícím magisterském studiu. Teoretické poznatky se studenti dozvídají na přednáškách. Využívají je v seminářích, ve kterých si pod vedením vyučujícího připravují návody na výrobu reformulovaného výrobku. Aplikovatelnost návodu v praxi si ověřují v laboratorním cvičení. Výrobek hodnotí a navrhují případné další úpravy receptury a výrobního postupu. Studenti díky tomu získají již v průběhu studia teoretické informace a praktické zkušenosti, které mohou přímo využít v praxi. Podle hodnocení a komentářů, které od studentů získáváme, se jim tento způsob výuky líbí a oceňují volnost při návrhu receptury a samotné výrobě, ale zejména praktické zkušenosti, které takto získají. Studenti jsou také přímo zapojováni do samotného výzkumu. Dílčí problémy spojené s reformulacemi jsou formulovány do různě složitých úkolů, které řeší studenti ve svých bakalářských, diplomových a disertačních pracích.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Preedy, Victor R. Watson, Ronald Ross Patel, Vinood B. (2011). Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention. Elsevier. Dostupné online: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFBFHDP03/flour-breads-their-fortification/flour-breads-their-fortification>, s. 73 (10. 6. 2023).
2. Paton, J., Khatir, Z., Thompson, H., Kapur, N., & Toropov, V. (2013). Thermal energy management in the bread baking industry using a system modelling approach. *Applied Thermal Engineering*, 53(2), 340 – 347.
3. Cappelli, A., Canessa, J., & Cini, E. (2020a). Effects of CO₂ snow addition during kneading on thermoregulation, dough rheological properties, and bread characteristics: A focus on ancient and modern wheat cultivars. *International Journal of Refrigeration*, 117, 52-60.
4. Český statistický úřad. Spotřeba potravin a nealkoholických nápojů (na obyvatele za rok) Dostupné online: <https://www.czso.cz/documents/10180/165278791/2701392201.pdf/e6e3334c-3c53-4a09-bbc8-b2a465b0a49f?version=1.3> (12. 6. 2023).
5. Česko. 2020. Vyhláška č. 18/2020 Sb. o požadavcích na mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta. In *Sbírka zákonů ČR, Ročník 2020, částka 8*, s. 156-180.
6. Owens, G. (Ed.). (2001). *Cereals processing technology* (Vol. 53). CRC Press (s. 213-217).
7. David, O., Arthur, E., Kwadwo, S. O., Badu, E., & Sakyi, P. (2015). Proximate composition and some functional properties of soft wheat flour. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(2), 753-758.
8. Avramenko, N. A., Tyler, R. T., Scanlon, M. G., Hucl, P., & Nickerson, M. T. (2018). The chemistry of bread making: The role of salt to ensure optimal functionality of its constituents. *Food Reviews International*, 34(3), 204-225.
9. Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K., & Delcour, J. A. (2005). Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1-3), 12-30.
10. Gianibelli, M. C., Larroque, O. R., MacRitchie, F., & Wrigley, C. W. (2001). Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat endosperm proteins. *Cereal Chemistry*, 78(6), 635-646.

11. Janssen, A. M., Van Vliet, T., & Vereijken, J. M. (1996). Rheological behaviour of wheat glens at small and large deformations. Comparison of two glens differing in bread making potential. *Journal of Cereal Science*, 23(1), 19-31.
12. Lindsay, M. P., & Skerritt, J. H. (1999). The glutenin macropolymer of wheat flour doughs: structure-function perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 10(8), 247-253.
13. Barak, S., Mudgil, D., & Khatkar, B. S. (2013). Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. *LWT-Food Science and Technology*, 51(1), 211-217.
14. Mondal, A., & Datta, A. K. (2008). Bread baking-A review. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 465-474.
15. Scanlon, M. G., & Zghal, M. C. (2001). Bread properties and crumb structure. *Food Research International*, 34(10), 841-864.
16. Singh, H., & MacRitchie, F. (2001). Application of polymer science to properties of gluten. *Journal of Cereal Science*, 33(3), 231-243.
17. Burešová, I., & Kubínek, R. (2016). The behavior of amaranth, chickpea, millet, corn, merlík, buckwheat and rice doughs under shear oscillatory and uniaxial elongational tests simulating proving and baking. *Journal of Texture Studies*, 47(5), 423-431.
18. Cappelli, A., Guerrini, L., Cini, E., & Parenti, A. (2019). Improving whole wheat dough tenacity and extensibility: A new kneading process. *Journal of Cereal Science*, 90, 102852.
19. Cappelli, A., Oliva, N., & Cini, E. (2020b). Stone milling versus roller milling: A systematic review of the effects on wheat flour quality, dough rheology, and bread characteristics. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 147-155.
20. Cappelli, A., Bettaccini, L., & Cini, E. (2020c). The kneading process: A systematic review of the effects on dough rheology and resulting bread characteristics, including improvement strategies. *Trends in Food Science & Technology*, 104, 91-101.
21. Hoffmanová, I., & Sánchez, D. (2015). Neceliakální glutenová senzitivita. *Vnitřní lékařství*, 61(3), 219-227.
22. de Ritis, G., Auricchio, S., Jones, H. W., Lew, E. J., Bernardin, J. E., & Kasarda, D. D. (1988). In vitro (organ culture) studies of the toxicity

of specific A-gliadin peptides in celiac disease. *Gastroenterology*, 94(1), 41-49.

23. Arendt, E. K., & Dal Bello, F. (2007). Functional cereal products for those with gluten intolerance. In Hamaker, B. R. (ed.). *Technology of Functional Cereal Products*. Woodhead Publishing (s. 446-475).
24. Matos, M. E., & Rosell, C. M. (2015). Understanding gluten-free dough for reaching breads with physical quality and nutritional balance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(4), 653-661.
25. Duodu, K. G., Taylor, J. R. N., & Collar, C. (2020). The production and quality of breads made from nonwheat flours. In Cauvain P. (ed.) *Breadmaking: Improving Quality 3rd ed.* Woodhead Publishing (s. 647-689).
26. Priya, T. S .R., Nelson, A. R. L. E., Ravichandran, K., & Antony, U. (2019). Nutritional and functional properties of coloured rice varieties of South India: A review. *Journal of Ethnic Foods*, 6(11), 1-11.
27. Kent, N. L. (2018). *Kent's Technology of Cereals - An Introduction for Students of Food Science and Agriculture*, 5th ed. Woodhead Publishing (s. 423-513).
28. Juliano, B. O (1993). *Rice in Human Nutrition*. FAO (s. 101-124).
29. Gujral, H. S. & Rosell, C. M. (2004). Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Research International*, 37, 75-81.
30. Taylor, J. R., Taylor, J., Campanella, O. H., & Hamaker, B. R. (2016). Functionality of the storage proteins in gluten-free cereals and pseudocereals in dough systems. *Journal of Cereal Science*, 67, 22-34.
31. Izydorczyk, M. S., & Biliaderis, C. G. (1995). Cereal arabinoxylans: advances in structure and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 28(1), 33-48.
32. Burešová, I., Kráčmar, S., Dvořáková, P., & Středa, T. (2014). The relationship between rheological characteristics of gluten-free dough and the quality of biologically leavened bread. *Journal of Cereal Science*, 60(2), 271-275.
33. Burešová, I., Tokár, M., Mareček, J., Hřivna, L., Faměra, O., & Šottníková, V. (2017). The comparison of the effect of added amaranth, buckwheat, chickpea, corn, millet and merlík flour on rice dough rheological characteristics, textural and sensory quality of bread. *Journal of Cereal Science*, 75, 158-164.

34. Cappelli, A., Cini, E., Guerrini, L., Masella, P., Angeloni, G., & Parenti, A. (2018a). Predictive models of the rheological properties and optimal water content in doughs: An application to ancient grain flours with different degrees of refining. *Journal of Cereal Science*, 83, 229-235.
35. Duodu, K. G., & Taylor, J. R. N. (2012). The quality of breads made with non-wheat flours. In Cauvain P. (ed.) *Breadmaking: Improving Quality* 1st ed. Woodhead Publishing (s. 754-782).
36. ICC standard 115/1 (1992). Method for using the Brabender Farinograph. International Association for Cereal Science and Technology.
37. ČSN EN ISO 5530-1 (2015). Pšeničná mouka – Fyzikální vlastnosti těsta – Část 1: Stanovení absorpce vody a reologických vlastností pomocí farinografu. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
38. Kuktaite, R., Larsson, H., & Johansson, E. (2007). The influence of dough mixing time on wheat protein composition and gluten quality for four commercial flour mixtures. In Buck, H. T., Nisi, J. E., Salomón. N. (Ed.) *Wheat Production in Stressed Environments*. Springer (s. 543-548).
39. Holas, J., & Tipples, K. H. (1978). Factors Affecting Farinograph and baking Absorption I. Quality Characteristics of Flour Streams. *Cereal Chemistry*, 55(5), 637-652.
40. de la Hera, E., Martinez, M., & Gómez, M. (2013a). Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread. *LWT-Food Science and Technology*, 54(1), 199-206.
41. de la Hera, E., Talegón, M., Caballero, P., & Gómez, M. (2013b). Influence of maize flour particle size on gluten-free breadmaking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(4), 924-932.
42. de la Hera, E., Rosell, C. M., & Gómez, M. (2014). Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility. *Food Chemistry*, 151, 526-531.
43. Moroni, A. V., Dal Bello, F., & Arendt, E. K. (2009). Sourdough in gluten-free bread-making: an ancient technology to solve a novel issue?. *Food Microbiology*, 26(7), 676-684.
44. Yazynina, E., Johansson, M., Jägerstad, M., & Jastrebova, J. (2008). Low folate content in gluten-free cereal products and their main ingredients. *Food Chemistry*, 111(1), 236-242.

45. Cornicelli, M., Saba, M., Machello, N., Silano, M., & Neuhold, S. (2018). Nutritional composition of gluten-free food versus regular food sold in the Italian market. *Digestive and Liver Disease*, 50(12), 1305-1308.
46. Tres, A., Tarnovska, N., Varona, E., Quintanilla-Casas, B., Vichi, S., Gibert, A., Vilchez, E., & Guardiola, F. (2020). Determination and comparison of the lipid profile and sodium content of gluten-free and gluten-containing breads from the Spanish market. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75, 344-354.
47. Matos Segura, M. E., & Rosell, C. M. (2011). Chemical composition and starch digestibility of different gluten-free breads. *Plant Foods for Human Nutrition*, 66, 224-230.
48. Wolter, A., Hager, A. S., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2013). In vitro starch digestibility and predicted glycaemic indexes of buckwheat, oat, merlík, sorghum, teff and commercial gluten-free bread. *Journal of Cereal Science*, 58(3), 431-436.
49. Różyło, R., Hameed Hassoon, W., Gawlik-Dziki, U., Siastała, M., & Dziki, D. (2017). Study on the physical and antioxidant properties of gluten-free bread with brown algae. *CyTA-Journal of Food*, 15(2), 196-203.
50. Sanz, V., Domínguez, H., & Torres, M. D. (2021). Formulation and thermomechanical characterization of functional hydrogels based on gluten free matrices enriched with antioxidant compounds. *Applied Sciences*, 11(4), 1962.
51. 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.
52. Kumar, N., & Murali, R. D. (2020) Black Rice. A Novel Ingredient in Food Processing. *Journal of Nutrition and Food Science*, 10, 771.
53. Pang, Y., Ahmed, S., Xu, Y., Beta, T., Zhu, Z., Shao, Y., & Bao, J. (2018). Bound phenolic compounds and antioxidant properties of whole grain and bran of white, red and black rice. *Food Chemistry*, 240, 212-221.
54. Pradipta, S., Ubaidillah, M., & Siswoyo, T. A. (2020). Physicochemical, functional and antioxidant properties of pigmented rice. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 8(3), 837-851.
55. Shao, Y., Xu, F., Sun, X., Bao, J., & Beta, T. (2014). Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa* L.). *Journal of Cereal Science*, 59(2), 211-218.

56. Curti, E., Carini, E., Bonacini, G., Tribuzio, G., & Vittadini, E. (2013). Effect of the addition of bran fractions on bread properties. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 325-332.
57. Packkia-Doss, P. P., Chevallier, S., Pare, A., & Le-Bail, A. (2019). Effect of supplementation of wheat bran on dough aeration and final bread volume. *Journal of Food Engineering*, 252, 28-35.
58. Awan, T. H., Ahmadizadeh, M., Jabran, K., Hashim, S., Chauhan, B. S. Domestication and Development of Rice Cultivars. In *Rice Production Worldwide*, Chauhan, B. S., Jabran, K. K., Mahajan, G. (Ed). Springer International Publishing AG (s. 207-216).
59. Zhu, L. J., Liu, Q. Q., Sang, Y., Gu, M. H., & Shi, Y. C. (2010). Underlying reasons for waxy rice flours having different pasting properties. *Food Chemistry*, 120(1), 94-100.
60. Amrinola, W., Sitanggang, A. B., Kusnandar, F., & Budijanto, S. E. (2021). Characterization of three cultivars of Indonesian glutinous rice: a basis for developing rice-based functional food. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI-Food Technology*, 45(1), 141-156.
61. Shakri, A. A., Kasim, K. F., & Rukunudin, I. B. (2021, May). Chemical compositions and physical properties of selected Malaysian rice: A review. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 765, No. 1, p. 012024). IOP Publishing.
62. 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.
63. Burešová, I., Masaříková, L., Hřivna, L., Kulhanová, S., & Bureš, D. (2016). The comparison of the effect of sodium caseinate, calcium caseinate, carboxymethyl cellulose and xanthan gum on rice-buckwheat dough rheological characteristics and textural and sensory quality of bread. *LWT-Food Science and Technology*, 68, 659-666.
64. Skendi, A., Papageorgiou, M., & Varzakas, T. (2021). High protein substitutes for gluten in gluten-free bread. *Foods*, 10(9), 1997.
65. Skotnicka, M., Karwowska, K., Kłobukowski, F., Borkowska, A., & Pieszko, M. (2021). Possibilities of the development of edible insect-based foods in Europe. *Foods*, 10(4), 766.
66. Pejcz, E., & Burešová, I. (2022). Rheological Characteristics of Model Gluten-Free Dough with Plantago Seeds and Husk Incorporation. *Foods*, 11(4), 536.

67. Burešová, I., Salek, R. N., Varga, E., Masaříková, L., & Bureš, D. (2017). The effect of Chios mastic gum addition on the characteristics of rice dough and bread. *LWT-Food science and Technology*, 81, 299-305.
68. Al-Habbal, M. J., Al-Habbal, Z., Huwez, F. U. (1984). A double-blind controlled clinical trial of mastic and placebo in the treatment of duodenal ulcer *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 11, 541-544.
69. Al-Said, M. S., Ageel, A. M., Parmar, N. S. , Tariq, M. (1986). Evaluation of mastic, a crude drug obtained from *Pistacia lentiscus* for gastric and duodenal anti-ulcer activity *Journal of Ethnopharmacology*, 15, 271-278.
70. Deshpande, R. D., Gowda, D. V., Mahammed, N. (2013). Design of *Pistacia lentiscus* (mastic gum) controlled release spheroids and investigating the influence of roll compaction *Industrial Crops and Products*, 44, 603-610.
71. Dimas, K., Hatziantoniou, S., Wyche, J. H., Pantazis, P. (2009). A mastic gum extract induces suppression of growth of human colorectal tumour xenografts in immunodeficient mice *In Vivo*, 23, 63-68.
72. Giaginis, C., & Theocharis, S. (2011). Current evidence on the anticancer potential of Chios mastic gum. *Nutrition and Cancer*, 63(8), 1174-1184.
73. Heo, C., Kim, S. W., Kim, K. J., Kim, D. W., Kim, H. J., & CHANG, S. K. (2006). Protective effects of mastic in non-steroidal anti-inflammatory drug induced gut damage and bacterial translocation in a rat model. *Korean Journal of Medicine*, 354-361.
74. Koutsoudaki, C., Krsek, M., & Rodger, A. (2005). Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil and the gum of *Pistacia lentiscus* var. chia. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20), 7681-7685.
75. Loutrari, H., Magkouta, S., Pyriochou, A., Koika, V., Kolisis, F. N., Papapetropoulos, A., & Roussos, C. (2006). Mastic oil from *Pistacia lentiscus* var. chia inhibits growth and survival of human K562 leukemia cells and attenuates angiogenesis. *Nutrition and Cancer*, 55(1), 86-93.
76. Magiatis, P., Melliou, E., Skaltsounis, A. L., Chinou, I. B., & Mitaku, S. (1999). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils of *Pistacia lentiscus* var. chia. *Planta Medica*, 65(08), 749-752.
77. Paraschos, S., Magiatis, P., Gousia, P., Economou, V., Sakkas, H., Papadopoulou, C., & Skaltsounis, A. L. (2011). Chemical investigation and antimicrobial properties of mastic water and its major constituents. *Food Chemistry*, 129(3), 907-911.

78. Triantafyllou, A., Chaviaras, N., Sergentanis, T. N., Protopapa, E., & Tsaknis, J. (2007). Chios mastic gum modulates serum biochemical parameters in a human population. *Journal of Ethnopharmacology* 111, 43-49.
79. Kang, J. S., Wanibuchi, H., Salim, E. I., Kinoshita, A., & Fukushima, S. (2007). Evaluation of the toxicity of mastic gum with 13 weeks dietary administration to F344 rats. *Food and Chemical Toxicology* 45, 494-501.
80. Gan, Z., Galliard, T., Ellis, P. R., Angold, R. E., & Vaughan, J. G. (1992). Effect of the outer bran layers on the loaf volume of wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 15(2), 151-163.
81. Zhang, D., & Moore, W. R. (1999). Wheat bran particle size effects on bread baking performance and quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(6), 805-809.
82. Ameh, M. O., Gernah, D. I., & Igbabul, B. D. (2013). Physico-chemical and sensory evaluation of wheat bread supplemented with stabilized undefatted rice bran. *Food and Nutrition Sciences*, 4(09), 43.
83. Hemdane, S., Jacobs, P. J., Dornez, E., Verspreet, J., Delcour, J. A., & Courtin, C. M. (2016). Wheat (*Triticum aestivum* L.) bran in bread making: A critical review. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 15(1), 28-42.
84. 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.
85. Cappelli, A., Oliva, N., Bonaccorsi, G., Lorini, C., & Cini, E. (2020d). Assessment of the rheological properties and bread characteristics obtained by innovative protein sources (*Cicer arietinum*, *Acheta domesticus*, *Tenebrio molitor*): Novel food or potential improvers for wheat flour?. *LWT-Food Science and Technology*, 118, 108867.
86. Roncolini, A., Milanović, V., Aquilanti, L., Cardinali, F., Garofalo, C., Sabbatini, R., Clementi, F., Belleggia Pasquini, L., Mozzon, M., Foligni, R., Trombetta, M. F., Haouet, M. N., Altissimi, M. S., Di Bella, S., Piersanti, A., Griffoni, F., Reale, A., Niro, S., & Osimani, A. (2020). Lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus*) powder as a novel baking ingredient for manufacturing high-protein, mineral-dense snacks. *Food Research International*, 131, 109031.

87. Farbo, M. G., Fadda, C., Marceddu, S., Conte, P., Del Caro, A., & Piga, A. (2020). Improving the quality of dough obtained with old durum wheat using hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 101, 105467.
88. 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), e15118.

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1: Vazby vznikající mezi molekulami lepkových bílkovin v průběhu hnětení těsta [8]
- Obr. 2: Křivka získaná při zkoušce tahem pšeničného těsta
- Obr. 3: Podélný řez rýžovým zrnem
- Obr. 4: Elastický G' (a), viskózní G'' (b) modul těst při oscilačním namáhání. A: amarant, B: pohanka, C: kukuřice, Ch: cizrna, M: jáhly, Q: merlík, R: rýže, W: pšenice [17]
- Obr. 5: Závislost mezi napětím ve vzorku σ a Henckeho deformací ε_H v těstu: A: amarantové, B: pohankové, C: kukuřičné, Ch: cizrnové, M: jáhlové, Q: merlíkové, R: rýžové [17]
- Obr. 6: Řezy pečivem vyrobeným z bezlepkových mouk a: amarantová, b: pohanková, ch: cizrnová c: kukuřičná, m: jáhlová, r: rýžová, q: merlíková, w: pšeničná [32]
- Obr. 7: Řezy bochníky ze směsí rýžové mouky s bezlepkovými moukami. R: rýžová, B: pohanková, Q: merlíková, Ch: cizrnová. Číslo udává zastoupení mouky (%) ve směsi [33]
- Obr. 8: Farinogram: doba vývinu těsta DT , doba stability těsta ST , stupeň změknutí těsta DS , farinografické číslo kvality FQN [37]
- Obr. 9: Farinogramy těst: (a) amarantové, (b) cizrnové, (c) jahelné, (d) kukuřičné, (e) merlíkové, (f) pohankové, (g) rýžové, (h) pšeničné
- Obr. 10: Mikrofotografie rýžových mouk: (a) černá rýže, (b) lepivá rýže, (c) červená rýže, (d) bílá rýže: hladká mouka, (e) bílá rýže: polohrubá mouka [62]
- Obr. 11: Řezy bochníky vyrobenými z (a) černé, (b) lepivé, (c) červené, (d) hladké rafinované, (e) polohrubé rafinované rýžové mouky [62]
- Obr. 12: Řezy rýžovým pečivem s přidavkem mastichové gummy v množství 0,5 – 20,0 g na 100 g mouky [76]
- Obr. 13: Části pšeničného zrna a jejich složení [84]
- Obr. 14: Změna výšky těsta v průběhu kynutí pšeničných těst. Těsta připravené z pšeničného zrna s (a) modrým, (b) purpurovým, (c) černým, (d) běžným, (e) žlutým zbarvením [88]

Obr. 15: Bochníky vyrobené z celozrnné hladké mouky ze zrna pšenice s (a) modrým, (b) purpurovým, (c) černým, (d) běžným, (e) žlutým zbarvením

ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORKY

Iva Burešová

Adresa: 6. května 116, 76901 Holešov

Telefonní číslo: 576033333

E-mailová adresa: buressova@utb.cz

Pracovní zkušenosti

- od 2009 odborný asistent, docent Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická
- 2004 – 2010 vědecký pracovník, vedoucí zkušební laboratoře č. 1463 akreditované českým institutem pro akreditaci, o.p.s. podle ČSN EN ISO/IEC 17025 Agrotest fyto, s.r.o.
- 2002 – 2006 vedoucí Oddělení kvality zrna, Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž, s.r.o.
- 1994 – 2002 environmentální manager, chemik mopas, a.s.

Vzdělání a odborná příprava

- 2015 rigorózní řízení (RNDr.) Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Obor studia Aplikovaná fyzika
- 2014 habilitační řízení (doc.) Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. Obor studia Zpracování zemědělských produktů
- 2003 – 2008 doktorský studijní program (Ph.D.) Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Obor studia Vlastnosti a zpracování zemědělských materiálů a produktů
- 1999 – 2002 státní jazyková zkouška z anglického jazyka. Státní jazyková škola v Přerově
- 1989 – 1994 magisterské studium (Mgr.). Univerzita Palackého v Olomouci. Obor studia Biofyzika a chemická fyzika
- 1985 – 1989 středoškolské vzdělání Gymnázium Přerov

Znalost jazyků

Mateřský jazyk/jazyky: **čeština**

Další jazyk(y): **angličtina | ruština**

Členství v organizacích

- Vědecká rada FT, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
- Oborová rada DSP Chemie, technologie a analýza potravin, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
- Oborová rada DSP Technologie potravin, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
- Odborová komisia ŠP doktorandského štúdia Technológia potravin, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
- Česká akademie zemědělských věd, Komise jakosti rostlinných produktů
- Potravinářská komora České republiky, Česká technologická platforma pro potraviny

Publikační činnost

ORCID: 0000-0003-2488-0076

WoS ke dni 20. 11. 2023: *h*-index 10, autorka/spoluautorka 39 publikací, z toho 20 senior autor, 312 citací bez autocitací.

1 certifikovaná metodika

1 užitný vzor

Tvůrčí činnost

Tvůrčí činnost v oblasti získávání suroviny a výroby potravin rostlinného původu. Zaměření na faktory ovlivňující kvalitu bezpečného pečiva, pšeničného pečiva a využití netradičních pšeníc.

Spolupráce se zahraničními institucemi

Federal Institute of Paraná, Brazílie

Hochschule Fulda, Německo

INRAE, Institut Agro, University of Montpellier, Francie

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Slovensko

University of Debrecen, Maďarsko

University of Modern Science - CKM, Mostar, Bosna a Hercegovina

Tuzemské instituce a výrobci potravin

Mendelu Brno

Univerzita Pardubice

Univerzita Palackého v Olomouci

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Česká zemědělská univerzita v Praze

Extrudo Bečice, Týn nad Vltavou

Nestlé Česko s.r.o. Sfinx Holešov

Nestlé Česko s.r.o. Zora Olomouc

Penzion Florian Pavlov

Projekty

2006 – 2011 NAZV 2B06168 - strategie zajištění chemické bezpečnosti tepelně zpracovaných výrobků z brambor a cereálií. Člen řešitelského týmu.

2005 – 2009 NAZV QG50041 Faktory kvality a bezpečnosti potravinářských obilovin. Další řešitel.

2005 – 2009 MŠMT MSM2532885901 Optimalizace faktorů trvalé udržitelnosti rostlinné produkce na základě vývoje geneticko šlechtitelských, diagnostických a rozhodovacích metod. Člen řešitelského týmu.

2001 – 2004 NAZV QC1096 Výzkum faktorů optimalizace kvality produkce obilovin v ČR. Další řešitel.

IGA Garant projektu (6), člen týmu (7)

Pedagogická činnost

Bakalářské a navazující magisterské studium

Garant předmětů, přednášky a semináře v oblasti:

- zpracování obilovin (výroba běžného pečiva, jemného pečiva, chleba, těstovin)
- výrobky z brambor
- výroba nečokoládových cukrovinek a čokolády
- získávání cukru a škrobu

Garant předmětů, přednášky a semináře v anglickém jazyce:

- Food Technology of Plant Foodstuffs I
- Food Technology of Plant Foodstuffs II
- Emulsifiers and Stabilizers

Doktorské studium

Garant předmětů, přednášky v předmětech:

- Trendy v technologiích výroby potravin rostlinného původu
- Technologie a chemie potravin rostlinného původu
- Zpracování netradičních, minoritních a nových potravin

Zahraniční pobyt

09/2012 Erasmus Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Slovensko

doc. RNDr. Iva Burešová, Ph.D.

Reformulace jako cesta ke zlepšení kvality pečiva

Reformulation as a way to improve quality of bread

Teze přednášek ke jmenování profesorem

Vydavatel: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,

nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín.

Náklad: 90

Sazba: Iva Burešová

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Pořadí vydání: První

Rok vydání: 2023

ISBN 978-80-7678-214-3