

# Technologická kvalita pšenice s deep-purple barvou zrna

Bc. Karolína Linhartová

---

Diplomová práce  
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	<b>Bc. Karolína Linhartová</b>
Osobní číslo:	<b>T18379</b>
Studijní program:	<b>N2901 Chemie a technologie potravin</b>
Studijní obor:	<b>Technologie potravin</b>
Forma studia:	<b>Kombinovaná</b>
Téma práce:	<b>Technologická kvalita pšenice s deep-purple barvou zrna</b>

### Zásady pro vypracování

#### I. Teoretická část

1. Charakteristika pšeničného zrna
2. Technologická kvalita pšeničného zrna
3. Netradiční zbarvení zrna a jeho dopad na technologickou kvalitu

#### II. Praktická část

1. Specifikace použitého materiálu
2. Popis použitých metod
3. Popis výsledků a jejich diskuse s literaturou
4. Formulace závěrů práce

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

**Seznam doporučené literatury:**

- [1] LI, Y., MA, D., SUN, D., WANG, C., 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. *The crop journal*, 3 (4), 328-334.
- [2] SYED JAAFAR, S. N., BARON, J., SIEBENHANDL-EHN, S., ROSENAU, T., BÖHMDORFER, S., GRAUSGRUBER, H. (2013). Increased anthocyanin content in purple pericarp x blue aleurone wheat crosses. *Plant Breeding*, 132(6), 546-552.
- [3] ZEVEN, A. C. (1991). Wheats with purple and blue grains: a review. *Euphytica*, 56 (3), 243-258.

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

Datum zadání diplomové práce: **17. února 2020**  
Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

---

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.**  
děkan

---

**doc. RNDr. Iva Burešová, Ph.D.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 17. února 2020

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá analýzou technologických vlastností nové odrůdy pšenice s deep-purple barvou zrna. U vzorků mouky o rozdílné granulaci byly stanoveny základní kvalitativní parametry, a to vlhkost, obsah mokrého lepku, Zeleného test a číslo poklesu. Dále byl proveden pekařský pokus a u pečiva byla sledována hmotnost, objem, specifický objem bochníku a ztráty pečením. Vzorky pečiva byly také podrobeny texturní profilové analýze. Analýzou mouky bylo zjištěno, že vzorky splňují požadavky ČSN pro potravinářskou pšenici. Na základě pekařského pokusu a TPA můžeme konstatovat, že vzorek polohrubé mouky je ze všech nejvhodnější pro pekárenské využití.

Klíčová slova: pšenice, barevná pšenice, pšenice s deep-purple barvou zrna, anthokyany, technologická kvalita, celozrnná mouka

## **ABSTRACT**

This thesis focuses on an analysis of technical features of the new wheat variety with deep-purple grain color. Samples of flour of different granularity were classified in basic qualitative parameters, e.g. humidity, content of wet gluten, Zeleny test and falling number. Further on, a bakery test has been done and weight, volume, density and baking losses of the pastry have been measured. Pastry samples have been also subject of texture profile analysis. The flour analysis has proved that samples fulfill requirements of the Czech state standard for food wheat. Based on the bakery test and TPA, the semi-coarse flour seems to be the best for the bakery use.

Keywords: wheat, coloured wheat, deep-purple wheat, anthocyanins, technological quality, wholemeal flour

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala paní doc. RNDr. Ivě Burešové, Ph.D. za ochotu, vstřícnost, cenné rady a připomínky, které mi poskytla při psaní této diplomové práce.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 CHARAKTERISTIKA PŠENIČNÉHO ZRNA</b> .....	<b>11</b>
1.1 ANATOMICKÁ STAVBA ZRNA.....	12
1.2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ ZRNA .....	13
1.2.1 Sacharidy.....	14
1.2.2 Bílkoviny.....	15
1.2.3 Lipidy.....	15
1.2.4 Vitamíny a minerální látky.....	16
1.3 PIGMENTY .....	16
1.3.1 Karotenoidy.....	16
1.3.2 Anthokyany.....	18
1.3.3 Anthoxanthiny.....	20
<b>2 TECHNOLOGICKÁ KVALITA PŠENIČNÉHO ZRNA</b> .....	<b>21</b>
2.1 PARAMETRY MLÝNSKÉ KVALITY.....	23
2.2 PARAMETRY PEKAŘSKÉ KVALITY .....	24
2.2.1 Obsah mokrého lepku .....	24
2.2.2 Obsah dusíkatých látek .....	24
2.2.3 Sedimentační index .....	25
2.2.4 Číslo poklesu.....	25
2.3 TEXTURNÍ PROFILOVÁ ANALÝZA.....	26
<b>3 NETRADIČNÍ ZBARVENÍ ZRNA A JEHO VLIV NA TECHNOLOGICKOU KVALITU</b> .....	<b>28</b>
3.1 VLÁKNINA A JEJÍ VYUŽITÍ V PEKÁRENSKÉ TECHNOLOGII.....	28
3.2 UPLATNĚNÍ ZRNA S NETRADIČNÍM ZBARVENÍM.....	31
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>35</b>
<b>4 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>36</b>
<b>5 MATERIÁL A METODIKA</b> .....	<b>37</b>
5.1 CHARAKTERISTIKA VZORKU.....	37
5.2 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE.....	37
5.3 METODIKA .....	37
5.3.1 Stanovení vlhkosti.....	37
5.3.2 Stanovení čísla poklesu .....	38
5.3.3 Stanovení sedimentačního indexu.....	38
5.3.4 Stanovení obsahu mokrého lepku .....	38
5.3.5 Pekařský pokus.....	39
5.3.6 Texturní profilová analýza .....	41

5.4	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT .....	42
<b>6</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>	<b>43</b>
6.1	ZÁKLADNÍ PARAMETRY MOUKY .....	43
6.2	PEKAŘSKÝ POKUS.....	44
6.3	TEXTURNÍ PROFILOVÁ ANALÝZA .....	45
<b>ZÁVĚR .....</b>		<b>47</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>		<b>48</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>		<b>56</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>		<b>57</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>		<b>58</b>



## ÚVOD

Pšenice patří, spolu s rýží a kukuřicí, mezi nejrozšířenější obilniny na světě. Jedná se o významnou kulturní plodinu a počátky jejího pěstování se datují až do období neolitu (Strnadová, 2001). V České republice je pšenice setá (*Triticum aestivum*) nejpěstovanější obilninou a je hojně využívána pro výrobu široké škály produktů, např. pečiva, těstovin, škrobu nebo lihu (Příhoda a kol., 2003).

V průběhu historie prošla pšenice rozsáhlým šlechtěním od původní plané pšenice jednozrnky (*Triticum boeoticum* Boiss.) až po recentní hexaploidní druhy. V současné době se na poli šlechtění objevují stále nové odrůdy pšenice a mezi nimi i pšenice s netradiční barvou zrna. Pšenice s netradičním zbarvením obsahují velké množství zdraví prospěšných látek, zejména antioxidantů, které mají protizánětlivé účinky, eliminují volné radikály a mohou působit preventivně proti vzniku některých typů onkologických a civilizačních onemocnění (Rao a Rao, 2007; Bowen-Forbes a kol., 2010; Havlík a Marounek, 2013). Vzhledem k tomu, že v současnosti pozorujeme stále stoupající poptávku spotřebitelů po zdravých potravinách a na trhu se objevují nové výrobky z netradičních druhů obilovin a pseudoobilovin, můžeme předpokládat, že i pšenice s netradiční barvou zrna naleznou v tržní síti své uplatnění.

Teoretická část práce je zaměřena na charakteristiku pšeničného zrna, jeho morfologickou stavbu a chemické složení s důrazem na přítomná barviva. Dále jsou rozebrány technologické parametry pšenice v souvislosti s aktuální legislativou. Poslední kapitola pojednává o možných způsobech využití pšenice s netradičním zbarvením v potravinářství, zejména pšenice s fialovým a tmavě purpurovým („deep-purple“) zbarvením. Cílem praktické části bylo charakterizovat vybrané parametry získaných vzorků mouky, upéct a analyzovat pečivo z této mouky a na základě získaných výsledků a literatury se pokusit vyhodnotit, zdali má tato pšenice vhodnou technologickou kvalitu pro pekárenské využití.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 CHARAKTERISTIKA PŠENIČNÉHO ZRNA

Pšenice patří mezi světově nejrozšířenější obiloviny a představuje základní potravinu pro třetinu lidské populace (Ma a kol., 2014). Archeologické nálezy potvrdily pěstování pšenice jednozrnky a dvouzrnky již v období neolitu, čímž patří mezi nejstarší pěstované kulturní plodiny (Strnadová, 2001). V současnosti se roční světová produkce pšenice pohybuje okolo 750 milionů tun (FAO, 2020). Největšími producenty jsou Čína, Indie, Rusko, USA, Francie a Kanada. Mezi hlavní exportéry patří Rusko, USA, Kanada, Austrálie, Ukrajina a Francie. Naopak hlavními importéry jsou Indonésie, Egypt, Alžírsko, Itálie, Španělsko a Brazílie. (FAO, 2017). V ČR se pšenice stala dominantní obilninou po druhé světové válce a od 70. let minulého století je ČR v její produkci soběstačná (Příhoda a kol., 2003).

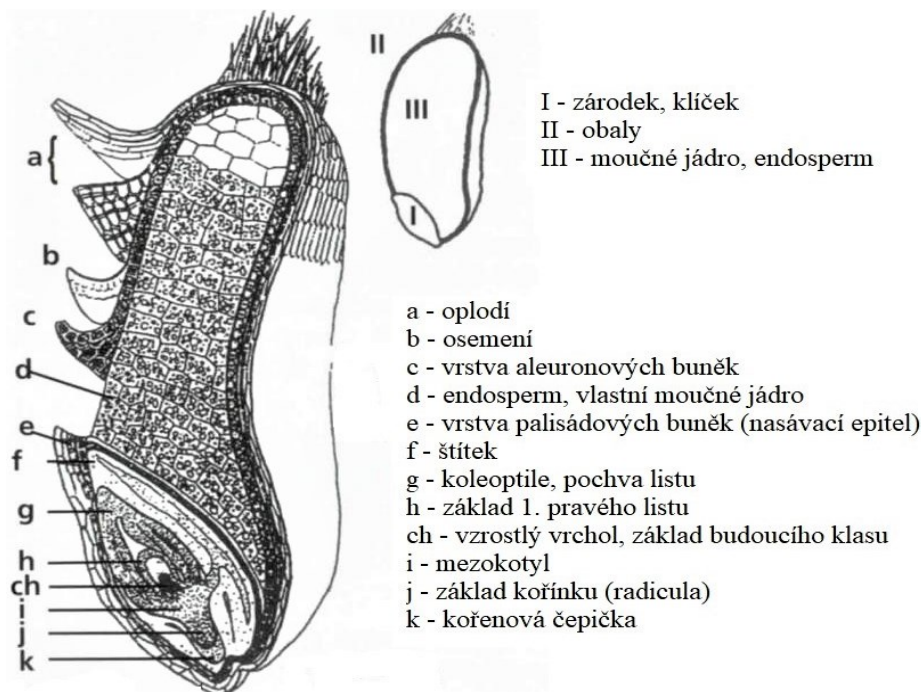
Pšenice je nejrozšířenější obilovinou pro pekařské využití. Kromě pečiva se dále využívá na výrobu těstovin, škrobu nebo lihu. Botanicky se rod pšenice řadí mezi lipnicovité (*Poaceae*) a zahrnuje přibližně dvacet různých druhů včetně šlechtěných, planých a prapůvodních. Ve velké míře se využívají zejména tři druhy – pšenice setá (*Triticum aestivum*), pšenice tvrdá (*Triticum durum*) a pšenice špalda (*Triticum spelta*). Pro pekařské a pekárenské účely se zpracovává především pšenice setá, ze které také bylo vyšlechtěno velké množství nových odrůd (Kučerová, 2004). Z pšenice tvrdé se vyrábí krupice semolina pro výrobu těstovin. Má vyšší obsah lepkových bílkovin a hojně se pěstuje ve Středozeří (Burešová a Lorencová, 2013). S pšenicí špaldou se setkáváme hlavně v alternativním zemědělství a své uplatnění nachází v oblasti zdravé výživy (Kučerová, 2004).

Pšenice setá se podle doby setí dělí na jarní a ozimou. Pšenice jarní se seje na jaře a sklízí v létě téhož roku. Je méně náchylná na choroby a méně náročná na půdu. Pšenice ozimá se seje na podzim a sklízí v létě následující rok. Má vyšší nároky na půdu a delší vegetační dobu. V našich podmínkách přináší vyšší výnos a je vhodná pro výrobu biologicky kypřeného pečiva (Burešová a Lorencová, 2013; Tichá a Vyzínová, 2006).

Rozlišujeme pšenice s různými barvami obalových vrstev. V našich podmínkách je nejběžnější pšenice červená. V aridních oblastech se často pěstuje bílá pšenice. Kromě toho existují i pšenice s méně tradičním zbarvením obilky, např. žluté, fialové, modré nebo černé (Martinek a Vyhnánek, 2014; Lachman a kol., 2017).

## 1.1 Anatomická stavba zrna

Anatomická stavba obilky má význam pro hodnocení, skladování i následné zpracování zrn (Ranken a kol., 1997). Morfologická stavba zrna všech obilovin je obdobná. Liší se především svou velikostí, tvarem a podílem jednotlivých vrstev. Dále se mohou lišit přítomností pluch a plušek – rozlišujeme zrna pluchatá a nahá. Pro pšenici je charakteristické nahé zrno oválného tvaru. Rozsah jeho délky se pohybuje od 5 do 8 mm a hmotnost tisíce semen (HTS) mezi 27 až 48 g (Příhoda a kol., 2003). Obilku tvoří tři hlavní části: obalové vrstvy, endosperm a zárodek. Z celkové hmotnosti pšeničného zrna připadá 82 % na endosperm, 3 % na zárodek (embryo) a 15 % na obalové vrstvy (Ranken a kol., 1997). Jednotlivé vrstvy jsou znázorněny a popsány na obrázku 1.



Obrázek 1 Anatomická stavba obilky (Zimolka, 2005; upraveno)

**Obalové vrstvy** chrání obilku před vnějšími vlivy, zejména před mechanickým a mikrobiologickým poškozením. Zároveň regulují vlhkost endospermu a brání vysychání klíčku. Obalové vrstvy dále členíme na:

- oplodí (pericarp), tvořené pokožkou (epidermis), podélnými buňkami (epicarp), příčnými buňkami (mesocarp) a hadicovými buňkami (endocarp),
- osemení (testa), nesoucí v buňkách barviva, která určují barvu obilky,
- hyalinní membránu, tvořenou skelnými buňkami.

Obalové vrstvy jsou tvořeny zejména celulózami, hemicelulózami a minerálními látkami (vápník, železo, hořčík, křemík, fosfor) (Burešová a Lorencová, 2013; Kučerová, 2004).

Představují tak významný zdroj vlákniny v lidské výživě. V mlynářské technologii se označují jako otruby a při mletí zrna se obvykle oddělují od endospermu a nepřechází tak do finálního produktu (Kučerová, 2004).

Mezi obalovými vrstvami a endospermem se nachází **aleuronová vrstva**, jež je tvořena velkými buňkami krychlovitého tvaru (Ranken a kol., 1997; Burešová a Lorencová, 2013). Obsahuje vysoký podíl bílkovin, nejedná se však se o lepkotvorné bílkoviny a nejsou tak nositelem pekařské síly mouky (Kučerová, 2004). Aleuronová vrstva má také vysoký obsah minerálních látek, vitaminů a tuků. Technologicky bývá zahrnována do endospermu a podle podmínek mletí může být vymleta společně s endospermem do mouk nebo zůstává částečně ulpělá na otrubách (Příhoda a kol., 2003).

**Endosperm** zaujímá největší podíl zrna a zároveň se jedná o technologicky nejvýznamnější část. Je tvořen velkými tenkostěnnými buňkami se škrobovými zrny (Kent a Evers, 1994; Pazderů, 2018). Obsahuje zásobní látky pro klíčící rostlinu, především škrob (asi dvě třetiny) a bílkoviny (cca 10–12 %). Bílkoviny mají zásadní technologický význam při výrobě pečiva (Burešová a Lorencová, 2013).

**Klíček (zárodek, embryo)** je nejmenší částí obilky. Jedná se o zárodek nové rostliny. Klíček je cenným zdrojem tuků, bílkovin, cukrů a lipofilních vitaminů (zejména E a B) (Edwards, 2007). Při mlýnském zpracování dochází k jeho odstranění. Z důvodu vysokého obsahu tuků má na vzduchu krátkou stabilitu a rychle podléhá oxidačním a enzymatickým změnám. Má tak negativní dopad na senzoryckou kvalitu výrobku, což je samozřejmě nežádoucí (Příhoda a kol., 2003).

## 1.2 Chemické složení zrna

Chemické složení pšeničného zrna je ovlivněno oblastí pěstování, odrůdou, hnojením, klimatickými podmínkami a celou řadou dalších činitelů. Důležitou složkou z hlediska biochemického a fyziologického je voda. Její obsah v obilce se pohybuje okolo 15 % (Kučerová, 2004). Základními stavebními složkami obilky jsou sacharidy a bílkoviny. V menším množství jsou přítomny lipidy, vitaminy, minerální látky, enzymy, barviva a další látky (Kadlec a kol., 2002).

### 1.2.1 Sacharidy

Obsah volných **monosacharidů** a **oligosacharidů** v zrně je velmi nízký. Nacházejí se především v klíčku a jejich obsah stoupá během procesů klíčení. Jedná se zejména o glukózu, fruktózu, galaktózu, sacharózu a maltózu (Kadlec a kol., 2002).

**Polysacharidy** plní v obilce dvě základní funkce – zásobní a stavební. Hlavním představitelem zásobních polysacharidů je škrob, který pro rostlinu představuje zásobárnu energie a zároveň je to technologicky nejvýznamnější polysacharid. Škrob je obsažen v endospermu ve formě škrobových zrn (Příhoda a kol., 2003). Jeho obsah v pšeničném zrně se pohybuje od 63 % do 72 %. Škrob je tvořen dvěma frakcemi – amylosem (20-30 %) a amylopektinem (70-80%). Obě frakce jsou tvořeny jednotkami glukózy. Amylose je lineární řetězec propojený  $\alpha$ -1,4 glykosidickou vazbou, zatímco amylopektin vytváří větvenou strukturu s  $\alpha$ -1,4 a zároveň  $\alpha$ -1,6 glykosidickými vazbami. Amylopektin má vyšší molekulovou hmotnost než amylose. (Edwards, 2007; Kent a Evers, 1994). Obě frakce se díky rozdílné struktuře liší také svými chemickými a fyzikálními vlastnostmi. Amylose je rozpustná ve vodě, zatímco amylopektin v ní pouze bobtná a není schopen vytvořit roztok (Příhoda a kol. 2003). Celkově tvoří škrob s vodou gelovitý maz za zvýšených teplot. Teplota začátku mazování se liší podle typu škrobu, obecně se pohybuje mezi 55 a 70 °C. Při výrobě pečárenských výrobků však nedochází k úplnému zmazování celých škrobových zrn. Po ochlazení dochází k tvorbě pružného škrobového gelu, který je hlavním nositelem vláčnosti ve střídě hotových výrobků (Kadlec a kol., 2002).

Mezi stavební (strukturní) sacharidy řadíme polysacharidy, které tvoří základy buněčných stěn rostlin a představují tak nosný skelet rostlinných pletiv. Tyto látky jsou vesměs nerozpustné ve vodě, tvoří tvrdé obalové vrstvy a chrání semena obilovin před mechanickým poškozením. Jedná se zejména o celulózy, hemicelulózy a lignin. Celulózy jsou hlavní stavební složkou buněčných stěn vyšších rostlin a jejich konzumace má příznivý vliv na lidské zdraví (Příhoda a kol., 2003).

Dalšími neškrobovými polysacharidy v pšeničném zrně jsou arabinoxylany. Ty mohou být ve vodě rozpustné i nerozpustné. Arabinoxylany mají technologický význam díky svým reologickým vlastnostem. Jsou schopné vázat velké množství vody a pomáhají zadržovat kvasný plyn uvnitř těsta, čímž zvětšují objem bochníku a zlepšují kvalitu střídy pečiva (Burešová a Lorencová, 2013).

Obilné  $\beta$ -glukany najdeme ve všech obilných zrnech, zejména však v ječmeni a ovsu. V pečivu s ječnou či ovesnou složkou mají  $\beta$ -glukany pozitivní vliv na vláčnost výrobků, na druhou stranu ale mohou způsobovat technologické problémy při výrobě piva tvorbou nežádoucích zákalů a sraženin (Kadlec a kol., 2002; Burešová a Lorencová, 2013).

### 1.2.2 Bílkoviny

Obsah bílkovin v zrně pšenice se pohybuje od 8 do 13 % v závislosti na odrůdě a vnějších faktorech (Tichá a Vyzínová, 2006). Většina bílkovin se v obilce nachází v endospermu a v aleuronové vrstvě. Nejvíce zastoupenými aminokyselinami jsou kyselina glutamová ve formě glutaminu a prolin, naopak obsah lysinu je velmi nízký (Kadlec a kol., 2002). Na základě Osbornova rozdělení dělíme bílkoviny na čtyři skupiny – albuminy, globuliny, prolaminy a gluteliny. Z technologického hlediska jsou nejvýznamnější prolaminy a gluteliny, neboť jsou to lepkové bílkoviny a během zpracování těsta vytvářejí lepek (Edwards, 2007; Kent a Evers, 1994). Pro pšeničné prolaminy se používá název gliadiny a pšeničné gluteliny nazýváme gluteniny (Kadlec a kol., 2002). Pšenice obsahující kvalitní lepkové bílkoviny, které jsou schopné tvořit pevnou a pružnou lepkovou síť označujeme jako silné. Pšenice s obsahem méně kvalitních lepkových bílkovin, které tvoří méně kvalitní a rozplývavý lepek, se označují jako slabé. Z výše uvedeného vyplývá, že obsah a vlastnosti bílkovin významně ovlivňují technologickou kvalitu obilky a pro každý typ produktu je zapotřebí zvolit pšenici s odpovídajícími parametry (Burešová a Lorencová, 2013).

### 1.2.3 Lipidy

Lipidy jsou v pšeničné obilce zastoupeny jen ve velmi malém množství. Nejvyšší obsah se nachází v klíčku, cca. 34-42 %, a potom v aleuronové vrstvě. Z mastných kyselin je ve významném množství obsažena kyselina linolová. Obecně nenasycené mastné kyseliny tvoří převládající podíl ze všech mastných kyselin. Tím je předurčena vysoká výživová hodnota obilných lipidů, ale zároveň také nestabilita a nežádoucí oxidace mastných kyselin při delším skladování mouk (Příhoda a kol., 2003). Navzdory jejich nízkému množství v obilném zrně mají lipidy technologický význam. Bylo prokázáno, že zvyšující se podíl polárních lipidů má zlepšující vliv na objem pšeničného pečiva, zatímco při stoupajícím podílu nepolárních lipidů se objem pečiva snižuje (Kadlec a kol., 2002).

#### 1.2.4 Vitaminy a minerální látky

Vysoký obsah vitaminů je v obalových vrstvách a v klíčku. Význam mají hlavně vitaminy skupiny B thiamin a riboflavin. Vitamin E se ve vyšší koncentraci vyskytuje v pšeničných klíčcích, z nichž se izoluje při výrobě vitaminových preparátů (Kučerová, 2004).

Minerální látky se souhrnně označují jako popel, což je anorganický zbytek získaný spálením obilky. Obsah popela se v celých zrnech pohybuje v rozmezí 1,25-2,5 %. Je tvořen převážně oxidem fosforečným, z kovů se v něm vyskytují hořčík, vápník, železo a draslík. Obsah popela v mouce vzrůstá se stupněm vymletí mouky a je základem pro klasifikaci mouk a jejich označení typovým číslem (např. mouka T 530) (Kadlec a kol., 2002).

### 1.3 Pigmenty

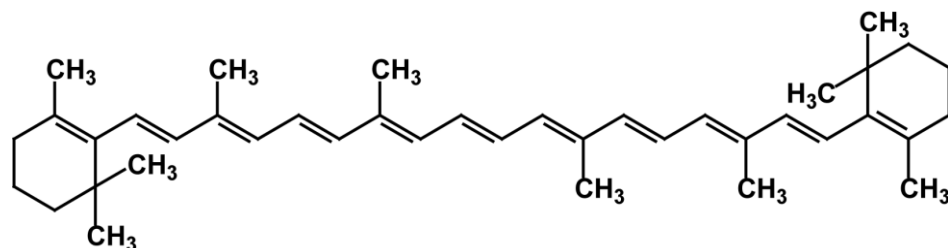
Různé druhy rostlin syntetizují v jednotlivých fázích svého vývoje řadu látek ze skupiny flavonoidů, jež způsobují charakteristickou barvu pletiv. Jejich výskyt je spojován s adaptačními reakcemi na vlivy prostředí. Totéž platí i pro obilniny a jejich zrna. U jednotlivých odrůd pšenice můžeme pozorovat hnědé, červené, žluté, bílé, fialové nebo modré zbarvení. K pigmentům, které způsobují jednotlivá zbarvení, patří karotenoidy, anthoxanthiny a anthokyaniny (Martinek a Vyhnánek, 2014).

#### 1.3.1 Karotenoidy

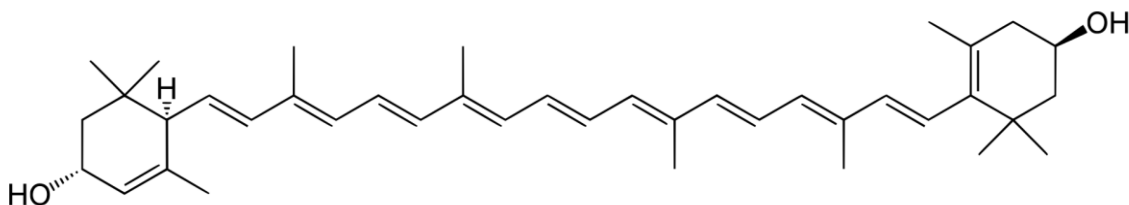
Karotenoidy jsou široce rozšířenou skupinou pigmentů. Jsou zodpovědné za sytě červenou, oranžovou a žlutou barvu rostlin, ale i hub nebo mikroorganismů. Živočiškové karotenoidy nesyntetizují, ale ukládají je v tělech z rostlinných zdrojů (Rao a Rao, 2007). Karotenoidy jsou převážně tetraterpeny se čtyřiceti atomy uhlíku, složené z osmi jednotek isoprenů (Colasuonno a kol., 2019). Mají velké množství dvojných vazeb, díky čemuž se vyskytují v řadě *cis*- a *trans*- isomerů. V přírodě převažují karotenoidy s *trans*- konfigurací. Karotenoidy jsou rozpustné v tucích a v rostlinách jsou obvykle vázány na proteiny (Havlík a Marounek, 2013). Doposud bylo v rostlinách a mikroorganismech identifikováno více než 600 různých karotenoidů. Na základě chemické struktury se karotenoidy dělí na karoteny a xanthofyly. Karoteny mají molekuly s lineárním uhlovodíkovým řetězcem s cyklickou strukturou na jednom nebo obou koncích molekuly (viz obrázek 2) a xanthofyly jsou jejich oxidované molekuly s alespoň jednou epoxy- nebo hydroxy- skupinou (obrázek 3) (Colasuonno a kol., 2019).



Karotenoidy mají významnou úlohu v prevenci proti vzniku civilizačních onemocnění. Přisuzují se jim antioxidační vlastnosti s potenciálem eliminovat volné radikály (Rao a Rao, 2007). Některé z nich také plní funkci prekurzoru pro vitamin A. Ten plní řadu fyziologických funkcí, má vliv na genovou transkripci, vidění, sehrává roli v imunitě atd. (Havlík a Marounek, 2013; Ficco a kol., 2014).



Obrázek 2 Chemická struktura  $\beta$ -karotenu (Polimerek, 2001)

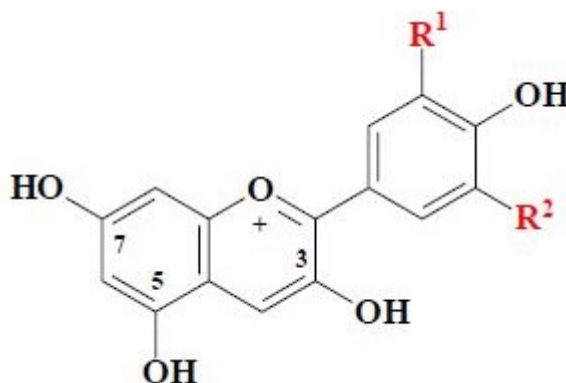


Obrázek 3 Chemická struktura luteinu (Yikrazuul, 2001)

V obilninách nalezneme širokou škálu látek ze skupiny karotenoidů, např. lutein,  $\beta$ -karoten,  $\beta$ -apokarotenal,  $\beta$ -kryptoxanthin, zeaxanthin, antheraxanthin, teraxanthin a flavoxanthin. Obecně platí, že se v obilných zrnech nejhojněji objevují lutein, zeaxanthin,  $\alpha$ -karoten a  $\beta$ -karoten (Lachman a kol., 2017). Nejvíce  $\alpha$ -karotenu a  $\beta$ -karotenu se nachází v klíčku, zatímco lutein je rovnoměrně rozdělený ve všech vrstvách zrna (Colasuonno a kol., 2019). Celková koncentrace karotenoidů bývá nejvyšší v endospermu obilky (Ficco a kol., 2014). Obsah karotenoidů je důležitým znakem pro *Triticum durum*, neboť právě jejich vysoký obsah (až kolem 6,2 mg/kg) je zodpovědný za charakteristickou žlutou barvu těstovin (Beleggia a kol., 2011). Dále bylo zjištěno, že vysoká koncentrace luteinu v *T. aestivum* způsobuje žlutou barvu asijských alkalických nudlí (Hung a Hatcher, 2011). Původní druh pšenice jednozrnky *T. monococcum* je také druhem bohatým na karotenoidy, zejména lutein s obsahem až 13,4 mg/kg, což je dvou až čtyřnásobné množství v porovnání s ostatními druhy pšenic (Hidalgo a kol., 2006).

### 1.3.2 Anthokyany

Anthokyany jsou po karotenoidech druhou nejvýznamnější skupinou rostlinných barviv. Strukturně jsou anthokyany heteroglykosidy, jejichž aglykony jsou si vzájemně podobné hydroxyderiváty flavanu (viz obrázek 4). Cukernou složku tvoří zpravidla glukóza, rhamnóza nebo galaktóza. Aglykon je k ní navázán skrze vodíkový můstek. Podle počtu navázaných molekul cukru rozlišujeme monoglykosidy nebo diglykosidy (Stávek, 2006). Anthokyany jsou rozpustné ve vodě a velmi nestabilní v alkalickém prostředí. Jejich barva přechází od červené přes tmavě modrou až po černou. Je závislá na pH, které mění chemickou strukturu anthokyanů a tím i světelné absorpční vlastnosti (Havlík a Marounek, 2013). Anthokyany představují velký přínos pro lidské zdraví. Mají antioxidační a protizánětlivé účinky a zároveň mohou být prevencí před vznikem některých typů onkologických onemocnění (Bowen-Forbes a kol., 2010). Denní příjem anthokyanů je odhadován na 80-215 mg s vyšším příjmem v letních měsících. Ve vyšším množství se vyskytují např. v borůvkách, ostružinách malinách nebo černém rybízu. Známými a hojně zastoupenými anthokyany v ovoci a zelenině jsou kyanidin, delphinidin, malvidin, pelargonidin a peonidin (Zhu, 2018; Havlík a Marounek, 2013).



Obrázek 4 Obecná chemická struktura anthokyanů (Davídek, 2012)

Anthokyany jsou v pšeničném zrně uloženy buď v perikarpu, kde způsobují fialové zbarvení, nebo v aleuronové vrstvě, ve které se projeví modrým zbarvením (Zeven, 1991; Knievel a kol., 2009; Lachman a kol., 2017). Fialová barva zrna je dána geny *Pp* pro fialový perikarp, které byly do pšenice seté přeneseny z tetraploidní pšenice *Triticum turgidum* L. subsp. *abyssinicum* Valilov, pocházející z Etiopie (Lachman a kol., 2017; Martinek a Vyhnánek, 2014). Nejhojněji zastoupenými anthokyany ve fialovém perikarpu jsou kyanidin-3-glukosid, kyanidin-3-galaktosid a malvidin-3-glukosid (Abdel-Aal a kol., 2008).

Syntéza anthokyanů v modrém zrně je podmíněna dvěma odlišnými geny *Ba1* a *Ba2*. Jako čtyři převažující anthokyany v modré pšenici byly identifikovány delphinidin-3-glukosid

(45 %), kyanidin-3-glukosid (28 %), delphinidin-3-rutinosid (22 %) a kyanidin-3-rutinosid (2 %) (Abdel-Aal a kol., 2008). Odrůdy s modrým aleuronem se začaly poprvé objevovat v první polovině minulého století. K jejich křížení byly použity recentní i prapůvodní druhy pšenice. Hlavním zdrojem modrého pigmentu se stala původní pšenice jednozrnka *Triticum boeoticum* a *Triticum monococcum* L. (Syed Jaafar a kol., 2013).

Celkový obsah anthokyanů v zrně lze zvýšit zkřížením genů *Ba1* a *Ba2* pro modrý aleuron a genů *Pp1* a *Pp3* pro fialový perikarp. Tímto způsobem lze docílit tmavě purpurového („deep-purple“) zrna, které má fialový perikarp a zároveň modrý aleuron (obrázek 5) (Böhmdorfer a kol., 2018). Byla provedena studie, porovnávající celkový obsah anthokyanů ve čtyřiceti různých vzorcích pšenice. Z celkového počtu mělo sedmnáct vzorků fialový perikarp, deset modrý aleuron a třináct vzorků zrn bylo tmavě purpurových. Studie ukázala významné rozdíly mezi jednotlivými vzorky a celkový obsah anthokyanů se pohyboval v rozmezí od 47,5 µg/g do 1289,6 µg/g. Nejvyšší obsah anthokyanů byl prokázán u odrůd s tmavě purpurovým zrnem (Böhmdorfer a kol., 2018).



Obrázek 5 Rozdílné barvy pšeničného zrna podle obsahu anthokyanů  
a bílé – bez anthokyanů, b fialový perikarp (*Pp*), c modrý aleuron (*Ba*), d tmavě purpurový (*Ba + Pp*) (Böhmdorfer a kol., 2018)

### 1.3.3 Anthoxanthiny

Anthoxanthiny jsou širokou skupinou látek a řadí se, stejně jako anthokyany, mezi flavonoidy. Mezi anthoxanthiny patří flavonoly, flavony, flavan-3-oly, flavanony a isoflavonoidy (Havlík a Marounek, 2013). Flavonoly a flavony jsou v obilném zrna bezbarvé, bělavé nebo nažloutlé a v alkalickém prostředí pak sytě žluté pigmenty. Udávají charakteristické zbarvení bílým a některým žlutým druhům pšenice (Ma a kol., 2014). Katechiny a proanthokyanidiny z řad flavan-3-olů zase způsobují červené zbarvení a jsou typické pro červené a černé druhy pšenice (Himi a kol., 2011).

Katechiny a proanthokyanidiny jsou hořké látky, které do určité míry podmiňují vyšší průměrnou odolnost červenozrnných pšenic proti porůstání. Naopak nepřítomnost těchto hořkých látek v bílých pšenicích způsobuje vyšší přirozenou sladkost vyrobených produktů, což může mít potenciál v cukrářství (Martinek a Vyhnánek, 2014). Červené zbarvení zrna je běžné pro většinu odrůd v Evropě i v Americe. Je řízeno jednou až třemi dominantními alelami (*R-A1*, *R-B1*, *R-D1*) na dlouhém ramenu homeologických chromozomů. Oproti tomu bílá barva pšenice je podmíněna trojicí recesivních alel (*R-A1a*, *R-B1a*, *R-D1a*) (Lachman a kol., 2017). Bělozrné pšenice dosud nenašly v našich zeměpisných šířkách velké uplatnění kvůli vyšší náchylnosti k porůstání. Z toho důvodu se převážně pěstují v aridnějších oblastech například ve Střední Americe nebo některých oblastech Austrálie (Martinek a Vyhnánek, 2014).

V *in vitro* podmínkách vykazují anthoxanthiny celou řadu účinků a předpokládá se, že mohou mít kardioprotektivní, protizánětlivé, antioxidační a protinádorové vlastnosti (Havlík a Marounek, 2013).

## 2 TECHNOLOGICKÁ KVALITA PŠENIČNÉHO ZRNA

Termín kvalita pšenice je komplexní pojem, který vyjadřuje, do jaké míry se skutečné parametry blíží očekávanému standardu spotřebitele. Jednotliví spotřebitelé a zpracovatelé mají na zrno rozdílné požadavky v závislosti na zamýšleném způsobu zpracování. Například požadavky na kvalitu zrna pšenice pro výrobu kypřeného pečiva budou odlišné od požadavků na zrno pro výrobu lihu, těstovin nebo škrobu. Tedy pšenice nevhodná pro jeden způsob využití může být naopak vhodná pro způsob jiný (Burešová a Lorencová, 2013).

Technologická jakost pšenice je ovlivněna několika faktory, těmi hlavními jsou zvolená odrůda a agroekologické vlivy. Podle způsobu využití dělíme odrůdy na pšenice pro pekárenské zpracování, pšenice pečivářské, pšenice pro speciální využití (výroba škrobu a lihu), pšenice pro výrobu těstovin a krmné pšenice (Novotný a Hubík, 2006).

Jakostní parametry potravinářské pšenice jsou ošetřeny Českými technickými normami (ČSN), Nařízením Komise EU i státní legislativou. Podle nařízení komise EU č. 2016/1238 pro kritéria způsobilosti pro obiloviny musí splňovat následující požadavky:

- obiloviny mají typickou barvu pro tyto obiloviny,
- obiloviny jsou bez zápachu nebo živých škůdců (včetně roztočů) v jakémkoliv vývojovém stádiu,
- limity kontaminujících látek, včetně radioaktivity, nepřesahují maximální limity povolené právními předpisy Společenství.

Dle ČSN 46 1100-2 musí být pšenice pro potravinářské účely vyzrálá a s typickou barvou zrn, bez živých škůdců v jakémkoliv stádiu vývoje a bez cizích pachů. Nesmí obsahovat naplesnivělá nebo plesnivá zrna (růst plísní nesmí být viditelný pouhým okem) a zrna poškozená sáním ploštic (*Eurygaster* spp. nebo *Aelia* spp.), tj. zrna se světlejším propadlým místem na jeho obalu. Nesmí být nakažena mazlavou snětí (*Tilletia* spp.). Musí být zdravotně nezávadná a odpovídat zdravotním požadavkům. ČSN dále rozděluje potravinářskou pšenici dle užití na pšenici pekárenskou a pečivářskou. Pšenice pekárenská se využívá zejména pro výrobu biologicky kypřeného pečiva, pšenice pečivářská na výrobu některých druhů trvanlivého pečiva. Požadavky na jakostní parametry pekárenské a pečivářské pšenice jsou uvedeny níže v tabulce 1.

Nejvyšší nároky jsou kladeny na pekárenské pšenice. Základními požadavky na pekárenskou mouku jsou vyšší obsah bílkovin a tvorba pevného a pružného lepku (Burešová a Lorencová, 2013).

Pšenice vhodné pro pekařské využití jsou dle jakosti členěny do čtyř skupin:

- elitní pšenice E – dříve označované jako velmi dobré, zlepšující,
- kvalitní pšenice A – dříve označované jako dobré, samostatně zpracovatelné,
- chlebové pšenice B – dříve označované jako doplňkové, zpracovatelné ve směsi,
- nevhodné pšenice C – odrůdy nevhodné pro výrobu kynutých těst (Horáková a kol., 2012).

Odrůdy pšenic nevyhovujících svými technologickými parametry pro pekařské využití budou zařazovány do skupin pšenic pečivářských a pro jiné účely (Novotný a Hubík, 2006). Parametry pro zařazení jednotlivých odrůd do skupin podle jakosti jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 1 Hodnoty jakostních ukazatelů potravinářské pšenice (ČSN 46 1100-2)

Jakostní ukazatele	Pšenice pekárenská	Pšenice pečivářská
vlhkost v [%]	max. 14,0	max. 14,0
objemová hmotnost [kg/hl]	min. 76,0	min. 76,0
obsah N-látek v sušině [%]	min. 11,5	max. 11,5
sedimentační index [ml]	min. 30	max. 25
číslo poklesu [s]	min. 220	min. 220
příměsí a nečistoty celkem [%], z toho:	max. 6,0	max. 6,0
zlomky zrn [%]	max. 3,0	max. 3,0
zrnové příměsí [%], z toho:	max. 5,0	max. 5,0
tepelně poškozená zrna [%]	max. 0,5	max. 0,5
porostlá zrna [%]	max. 2,5	max. 2,5
nečistoty [%], z toho:	max. 0,5	max. 0,5
tepelně poškozená zrna [%]	max. 0,05	max. 0,05

Tabulka 2 Minimální požadavky na odrůdy dle skupin jakosti (Horáková a kol., 2012)

Jakostní skupina	E – elitní	A – kvalitní	B – chlebová
objemová výtěžnost [ml]	530	500	470
obsah N-látek [%]	12,6	11,8	11
sedimentační index [ml]	49	35	21
číslo poklesu [s]	286	226	196
objemová hmotnost [g/l]	790	780	760
vaznost mouky [%]	55,4	53,2	52,1

U pšeničné mouky sledujeme parametry technologické kvality, které můžeme rozdělit na mlýnské a pekařské. Mlýnské parametry se zaměřují na vlastnosti zrna a zjišťují se analýzami reprezentativního vzorku odebraného z obilné masy. Pekařské parametry charakterizují zejména biochemické parametry již semleté mouky (Burešová a Lorencová, 2013).

## 2.1 Parametry mlýnské kvality

Mlýnskými vlastnostmi je myšlena dobrá zpracovatelnost zrna v mlýnském technologickém procesu a potenciál maximálního vytěžení kvalitního a správně granulovaného endospermu. Jedná se o soubor specifických fyzikálních vlastností. Mezi parametry určující kvalitu pšeničného zrna patří objemová hmotnost, hmotnost tisíce semen (HTS), obsah vlhkosti, obsah popela, podíl příměsí a nečistot a tvrdost zrn (Příhoda a kol., 2004).

**Objemová hmotnost** je poměr hmotnosti zkoušené obiloviny k objemu, který zaujímá po volném nasypání do nádoby za přesně stanovených podmínek. Je hrubým ukazatelem výtěžnosti mouky při mlýnském zpracování (Hubík, 2002). Závisí na tvaru, ale také na hustotě zrna. Přitom platí, že bílkoviny mají o něco vyšší hustotu než sacharidy (Kadlec a kol., 2002). Nízká objemová hmotnost svědčí o drobném zrnu s vyšším podílem obalových vrstev vůči endospermu (Příhoda a kol., 2004)

**Hmotnost tisíce semen (HTS)** je jedním ze tří hlavních výnosových ukazatelů u obilnin. Velké zrno s velkou hustotou má zpravidla větší poměr endospermu k ostatním morfologickým částem zrna (Hubík, 2002).

**Popel** je anorganický zbytek po spálení rostlinného materiálu. Tímto se způsobem se souhrn minerálních složek obilovin také stanovuje. Obsah popela se v celých zrnech různí, zpravidla se pohybuje v rozmezí 1,25-2,5 % (Kulp a Ponte, 2000; Kadlec a kol., 2002).

Vysoká **vlhkost** (nad 14,5 %) je nežádoucí a snižuje efektivitu výroby, jelikož nedovoluje správným způsobem vést hydrotermickou přípravu zrna k mletí (Příhoda a kol., 2004).

**Tvrdost** zrna má souvislost s fyzikálními vlastnostmi endospermu. Lze ji změřit, nicméně při běžné provozní kontrole se tento parametr nestanovuje. Ve výjimečných případech se ve mlýnech tvrdost zrna stanovuje nepřímo pomocí laboratorního pokusného mletí a následného stanovení granulárního spektra produktů (Příhoda a kol., 2004).

## 2.2 Parametry pekařské kvality

Pekařské vlastnosti jsou souborem zejména biochemických parametrů, které do značné míry předpovídají technologické vlastnosti mouk a tím i jejich využití v pekárenské výrobě (Příhoda a kol., 2004). Čerstvě vymletá mouka však nemá kýžené jakostní parametry ani technologické vlastnosti a nelze ji tedy okamžitě využít pro výrobu pečiva. Po semletí je nutné nechat mouku určitou dobu zrát, díky čemuž proběhnou v mouce požadované chemické procesy. Na základě těchto změn dojde k vytvoření pevnějšího a pružnějšího lepku, což zvyšuje pekárenskou kvalitu mouky (Burešová a Lorencová, 2013). Ukazatele pekařské kvality mouky se z velké části váží na obsah dusíkatých látek a obsah lepku, které kvantifikují bílkovinný komplex endospermu. Stav škroboamylázového komplexu se charakterizuje číslem poklesu. Kromě obsahu mokrého lepku, obsahu dusíkatých látek a čísla poklesu stanovujeme u mouk sedimentační index, vlhkost a obsah popela (Příhoda a kol., 2004).

### 2.2.1 Obsah mokrého lepku

Za mokrý lepek jsou považovány veškeré složky získané z těsta jeho vypráním roztokem vody s chloridem sodným. Obsah lepku je důležitým ukazatelem pekárenské kvality mouky. Pevný a kvalitní lepek je důležitým předpokladem např. pro objem pečiva nebo soudržnost těstovin. Kvalitu lepku hodnotíme parametrem, který se označuje jako gluten index. Ten může nabývat hodnot 0-100 %, přičemž hodnota 0 % poukazuje na měkký a rozplývavý lepek a hodnota 100 % na velmi pevný lepek (Burešová a Lorencová, 2013).

Obsah mokrého lepku stanovený ručním vypíráním bývá mnohdy zatížen mnoha faktory, které způsobí, že hodnoty stanovené v různých laboratořích se mohou výrazně lišit. Stanovení je totiž ovlivněno rutinou pracovníka, tvrdostí nebo teplotou vody. Proto se dnes častěji používají automatické vypírací přístroje, které tyto problémy do jisté míry kompenzují (Kulp a Ponte, 2000; Příhoda a kol., 2004).

### 2.2.2 Obsah dusíkatých látek

Obsah dusíkatých látek (též hrubých bílkovin) v zrně je důležitým technologickým kvalitativním parametrem, jelikož pozitivně ovlivňuje objem a kvalitu pečiva. Je výrazně ovlivněn ročníkovými a klimatickými vlivy, použitou agrotechnikou a množstvím minerálních látek v půdě, především dusíku a draslíku. Nejedná se o genotypovou vlastnost obilnin (Hubík, 2002). Analyticky se obsah bílkovin v zrně stanovuje Kjeldahlovou



metodou (Edwards, 2007). Lze využít i nechemické NIR metody nebo spalovací metody podle Dumase (Hubík, 2002). Jako drobný nedostatek stanovení obsahu dusíkatých látek by se mohl jevit fakt, že stanovuje veškeré organické i anorganické dusíkaté látky v zrně, tedy kromě bílkovin i peptidy, aminokyseliny a další. Zdaleka ne všechny dusíkaté látky mají vliv na kvalitu mouky a pečiva. Nelze tedy charakterizovat pouze obsah lepkotvorných bílkovin a ani jejich schopnost vytvářet nerozpustný lepek (Příhoda a kol., 2004).

### 2.2.3 Sedimentační index

Sedimentační index udává bobtnavost bílkovin. Má vysoký kladný korelační koeficient k obsahu dusíkatých látek v zrně a objemu pečiva. Jedná se o genotypovou vlastnost a na základě hodnoty sedimentačního indexu lze spolehlivě zařadit odrůdy pšenice do skupin podle kvality (tabulka 3). Podle zvolené metodiky rozlišujeme Zelenyho test nebo sedimentační test (SDS), který se však u nás od roku 2002 téměř nepoužívá (Hubík, 2002). Zelenyho test udává objem sedimentu, který vznikl za daných podmínek ze suspenze pšeničné mouky v roztoku kyseliny mléčné (Burešová a Lorencová, 2013).

Tabulka 3 Využití mouky dle sedimentačního indexu (Dendy a Dobraszczyk, 2001)

Objem sedimentu [ml]	Obsah bílkovin	Použití mouky
<20	nízký	vhodné pro pečivárenství
20-30	střední	nízká pekárenská kvalita
30-40	vysoký	dobrá pekárenská kvalita
>40	velmi vysoký	velmi dobrá pekárenská kvalita

### 2.2.4 Číslo poklesu

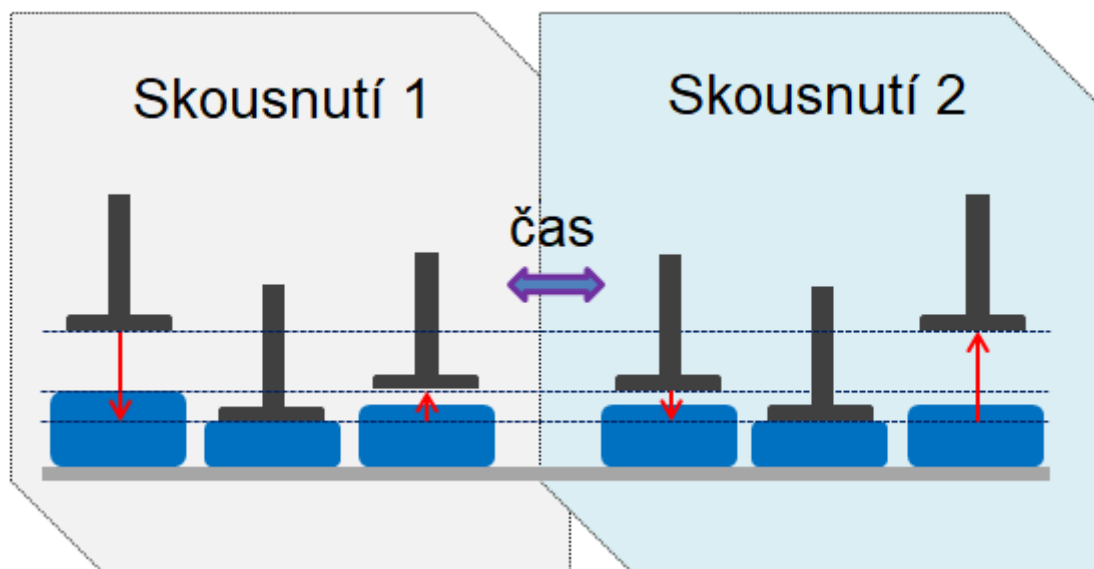
Číslo poklesu charakterizuje stav amylázoškrobového komplexu mouky. Aktivita amylolytických enzymů je důležitým aspektem pro tvorbu dostatečného množství kypřícího plynu v pečivu (Burešová a Lorencová, 2013). Pro měření hodnoty čísla poklesu se používají přístroje, které měří stupeň aktivity hydrolytických enzymů na základě ztekucení a tím snížení viskozity škrobového mazu (Kulp a Ponte, 2000; Hubík, 2002). Nadměrná ani nedostatečná aktivita amylolytických enzymů není žádoucí. Jestliže je aktivita příliš nízká, lze ji zvýšit přidávkem sladu nebo  $\alpha$ -amylázy. Pokud je aktivita amyláz v mouce příliš

vysoká, dochází ke štěpení škrobu. To vede k nízké viskozitě těsta a zvýšení jeho lepivosti (Burešová a Lorencová, 2013).

### 2.3 Texturní profilová analýza

Texturní profilová analýza (TPA) je metoda fungující na principu dvojité komprese, která se využívá pro stanovení texturních vlastností potravin. Jedná se o metodu oblíbenou a často používanou v potravinářství, příležitostně se ale také využívá například ve farmaceutickém průmyslu. V průběhu TPA jsou testované vzorky dvakrát stlačeny pomocí sondy upevněné na pohyblivé části texturometru, což má simulovat chování vzorku během žvýkání (Texture Technologies Corp., 2015).

Texturní analyzátor provádí měření během dvou deformačních cyklů (obrázek 6). Jakmile dojde ke kontaktu sondy s testovaným vzorkem, přístroj automaticky změří výšku vzorku a na základě toho vypočte sílu potřebnou ke kompresi. Jakmile sonda dosáhne předem definovaného deformačního bodu, zdvihne se zase zpět tak, aby zůstala v kontaktu se vzorkem. V této pozici se sonda zastaví na předem manuálně nastavený časový interval. Následně dochází ke druhé kompresi a celý proces se opakuje. Nakonec se sonda vrátí do výchozí pozice (Horn Instruments Co., 2009).



Obrázek 6 Schéma průběhu TPA (Horn Instruments Co., 2009; upraveno)

Texturou výrobku se rozumí všechny mechanické, geometrické, povrchové vlastnosti a vlastnosti těla výrobků vnímatelné prostřednictvím kinestetických a somestetických receptorů, a to od prvního kousnutí až po spolknutí. Mechanické vlastnosti jsou ty vlastnosti,

jež se vztahují k tlaku na výrobek. Všechny tyto vlastnosti měříme pomocí textuometru a patří mezi ně tvrdost, soudržnost, viskozita, elasticita a přilnavost (Bourne, 2002; Texture Technologies Corp., 2015). **Tvrdost** (*hardness*) je mechanická strukturní vlastnost, která se vztahuje k síle potřebné pro dosažení daných deformací pronikáním nebo rozbitím výrobku. **Soudržnost** neboli **koheze** (*cohesiveness*) je texturní vlastnost udávající stupeň, na který může být látka deformována, než se rozpadne. **Žvýkatelnost** (*chewiness*) rozumíme vlastnosti vztahující se k množství práce potřebné k rozkousání pevného výrobku do stavu vhodného pro polknutí. **Pružnost, elasticita a odolnost** (*springiness, elasticity, resilience*) jsou vlastnosti, které se vztahují k rychlosti návratu po deformaci silou a stupni, na který se deformovaný materiál vrací do původního stavu poté, co je deformující síla odstraněna (Bourne, 2002; Buňka a kol., 2010).

### 3 NETRADIČNÍ ZBARVENÍ ZRNA A JEHO VLIV NA TECHNOLOGICKOU KVALITU

Pšenice s modrou, fialovou a tmavě purpurovou barvou zrna mají velký potenciál pro potravinářský průmysl, a to především díky příznivým nutričním vlastnostem. Jak již bylo nastíněno v předchozím textu, tyto druhy pšenice obsahují množství antioxidantů. Antioxidanty mají schopnost omezovat aktivitu volných radikálů, a tím snižují pravděpodobnost vzniku kardiovaskulárních onemocnění, některých typů rakoviny a neurodegenerativních onemocnění (Li a kol., 2015). Většina látek s antioxidačními vlastnostmi se však u těchto odrůd nachází pouze v obalových vrstvách, a nebo v aleuronové vrstvě (Martinek a Vyhnánek, 2014). Li a kol. (2015) uvádí, že celozrnná mouka z modrých a fialových druhů pšenice má výrazně vyšší celkový obsah fenolických látek, flavonoidů a vyšší antioxidační aktivitu než běžná mouka hladká. Z hlediska pekárenské technologie však mají obalové vrstvy (otruby) zhoršující účinek na kvalitu a zpracovatelnost těsta a často i na vzhled hotového výrobku. Aleuronová vrstva se do mouky zpravidla vymílá jen částečně (Kučerová, 2004). Při výrobě pečiva z pšenice s netradičním zbarvením je tedy třeba uvažovat o využití celého zrna tak, aby finální výrobek nebyl ochuzen o benefity, které tyto netradiční odrůdy přinášejí. Celozrnná mouka, ať už z běžných odrůd pšenice či těch nestandardních, je skvělým zdrojem vlákniny, a proto se jí v poslední době dostává velké pozornosti (Preedy a kol., 2011).

#### 3.1 Vlákna a její využití v pekárenské technologii

Vlákna je významnou a nepostradatelnou složkou výživy. Je definována jako skupina rostlinných polysacharidů a lignin, která je rezistentní vůči působení endogenních enzymů v trávicím traktu člověka (Preedy a kol., 2011). Vlákna se dle rozpustnosti ve vodě dělí na rozpustnou a nerozpustnou. Rozpustná je fermentována bakteriemi v tlustém střevu člověka a funguje tak jako prebiotikum. Do rozpustné vlákniny se řadí inulin, pektin a některé hemicelulózy. Pro štěpení nerozpustné vlákniny není lidský trávicí trakt vybaven. Její hlavní význam je zvětšování objemu tráveniny a urychlení jejího průchodu střevem. Hlavními složkami nerozpustné vlákniny jsou celulóza a lignin (Havlík a Marounek, 2013; Roubík a kol., 2018).

Nedostatečný příjem vlákniny může vést ke vzniku chronických onemocnění gastrointestinálního traktu, zácpám, kolorektálnímu karcinomu, alergiím, autoimunitním onemocněním a obezitě (Makki a kol., 2018). Vlákna udržuje v rovnováze střevní

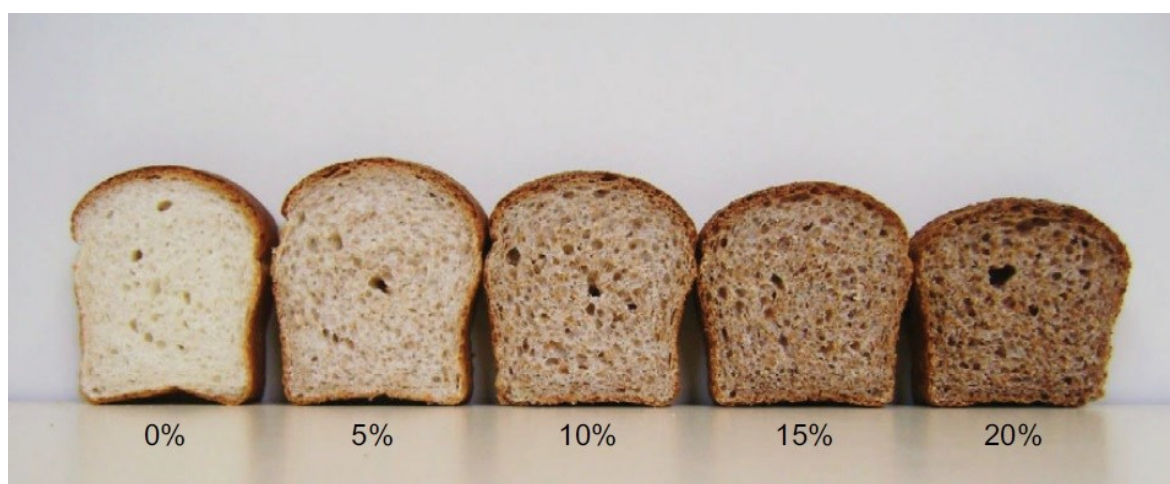
mikrobiom, zpomaluje vstřebávání živin a navozuje pocit sytosti. Díky svým vlastnostem snižuje glykemický index přijaté potravy. Na druhou stranu ale může dojít ke snížení či zpomalení absorpce některých živin a mikronutrientů ze stravy (Roubík a kol., 2018). Doporučená denní dávka pro dospělého člověka se pohybuje okolo 30 g. Zdrojem vlákniny jsou zelenina, ovoce, ořechy, luštěniny a celozrnné cereálie (Havlík a Marounek, 2013).

Při výrobě běžné pšeničné mouky se otruby, které jsou hlavním zdrojem vlákniny v zrně, odstraní během procesu drcení, třídění a vymílání. V první fázi mlecího procesu dochází k šetrnému otevření (roztržení) pšeničného zrna a vzniká polydisperzní soustava, složená z částic endospermu, otrub a částic obsahujících endosperm i obalové vrstvy (Burešová a Lorencová, 2013). V následujících fázích mlecího procesu se od sebe jednotlivé druhy těchto částic postupně oddělují. Cílem mlecího procesu je získat mouku s co nejnižším obsahem obalových vrstev, tedy co možná nejčistší endosperm. S opakovaným zpracováním částic zrna však v mouce stoupá podíl částic z vnějšího endospermu. Produkty (mouky), které obsahují vysoký podíl otrub, a tudíž i popela, se označují jako výše vymleté. Ve vysoce vymletých produktech se zvyšuje podíl neškrobových polysacharidů (otrub), následkem čehož ztrácí lepkové bílkoviny schopnost tvořit pevný a pružný lepek. Lepek je tak tažný až rozplývavý. (Burešová a Lorencová, 2013).

Mezi mouky s vysokým obsahem popela patří např. mouka chlebová, mouka celozrnná a mouka grahamová. **Mouka chlebová** obsahuje maximálně 1,15 % popela (T 1000). Nacházejí se v ní méně kvalitní lepkové bílkoviny a bílkoviny, které lepek netvoří (Burešová a Lorencová, 2013). **Celozrnné mouky** se vyrábějí buď na zvláštních linkách jako produkt sešrotování celého zrna, nebo znovu sestavením z produktů získaných v běžném mlýně. Tyto mouky mají vysoký obsah vlákniny, vitaminů, minerálů a polyfenolických látek. Obsahují i vysoké množství lepkových a nelepkových bílkovin, z hlediska pečárenského však tyto celozrnné mouky netvoří příliš kvalitní těsta. Údržnost těchto typů mouk je zkrácena díky obsahu částí klíčku (Sluková, 2016). **Grahamová mouka** je obdobou celozrnné mouky s tím rozdílem, že neobsahuje složku klíčku. Podle vyhlášky č. 18/2020 Sb. je grahamová mouka definována jako mouka pšeničná získaná mletím zrna pšenice zbaveného klíčku, avšak obsahující ostatní složky zrna ve stejném poměru jako má původní zrno zbavené klíčku. Oproti tomu celozrnnou moukou rozumíme mlýnský obilný výrobek získaný drcením celého zrna obilovin nebo rozemláním jeho jednotlivých složek a obsahující všechny složky zrna, tedy endosperm, otruby a klíček, ve stejném poměru jako má původní zrno (vyhláška č. 18/2020 Sb.). V souvislosti s celozrnnými moukami

a hledáním cest k optimalizaci jejich sensorických vlastností se nejvíce uplatňují nestandardní, inovativní technologické postupy. Přístupuje se například k výrobě tzv. mikronizovaných celozrnných mouk. Jejich granulace by měla být pod 85  $\mu\text{m}$ . Takto upravené mouky jsou nejen technologicky, ale také sensoricky přijatelnější než standardní typy celozrnných mouk (Sluková a kol., 2017).

Díky zvyšující se poptávce spotřebitelů po zdravých a celozrnných výrobcích rostou i snahy výrobců o optimalizaci výroby těchto produktů. Pro rozšíření nabídky celozrnného pečiva se v recepturách experimentuje s přidavkem různých typů vlákniny, kromě pšeničné lze také použít ovesné, ječné a žitné otruby, rezistentní škrob nebo lokustovou gumu (Almeida a kol., 2013; Preedy a kol., 2011). Přídavek vlákniny do chleba snižuje některé kvalitativní parametry, způsobuje nižší objem pečiva, změnu barvy, textury a chuti (viz obrázek 7). To může negativně ovlivnit zájem spotřebitelů o celozrnné výrobky (Preedy a kol., 2011).



Obrázek 7 Vliv přidavku 0–20 % otrub na objem, barvu a texturu pšeničného chleba. Část mouky byla nahrazena odpovídajícím podílem otrub (Hemdane a kol., 2016)

Jedním z řešení těchto negativních aspektů by mohlo být použití předem namočených fermentovaných otrub nebo specifických enzymů při přípravě těsta. Katina a kol. (2006) uvádí, že chléb vyrobený ze zrn, která byla fermentována kvasinkami po dobu 20 hodin, měl vyšší objem a vláčnější strídu než celozrnný chléb vyrobený běžným způsobem. Ukázalo se, že fermentace otrub umožňuje lepší absorpci vody, čímž se zlepšuje struktura lepkové sítě v těstě (Katina a kol., 2006). Přídavek enzymů a jiných zlepšujících látek způsobí zesílení lepkovo-škrobové sítě, čímž se zajistí vyšší retence plynů v těstě, a tedy i vyšší objem hotového výrobku (Hemdane a kol., 2016). Kombinací skupiny enzymů ( $\alpha$ -amyláza, lipáza, xylanáza) a kvásku bylo u celozrnného chleba dosaženo obdobného objemu, jako má běžný

bílý pšeničný chléb. Zároveň došlo ke zlepšení textury a prodloužení čerstvosti výrobku (Katina a kol., 2006).

V dalších studiích byl zkoumán vliv aplikace suchého a vlhkého tepla na otruby a objem hotového pečiva. Na otruby bylo aplikováno vaření ve vodě, vaření v páře, pražení a vaření v tlakovém hrnci. Všechny tyto metody podstatně ovlivnily fyzikální vlastnosti otrub a následně také měly vliv na reologické vlastnosti připraveného těsta. V objemu hotového pečiva se však jednotlivé studie lišily. Některé uváděly vyšší objem upečeného chleba, jiné v tomto směru nezpozorovaly žádný významný efekt (Hemdane a kol., 2016).

Další výzkumy naznačovaly, že jedním z řešení by mohlo být máčení otrub ve vodě před jejich přidáním do těsta. Jednou z příčin nízkého objemu celozrnného pečiva je pomalá a nedostatečná absorpce vody otrubami v průběhu přípravy těsta. Tím, že se otruby předmáčejí, by se dal tento problém eliminovat (Hemdane a kol., 2016). Lai a kol. (1989) ve své studii uvádějí, že předmáčením otrub v malém množství vody bylo dosaženo vyššího objemu upečeného chleba. K obdobnému závěru dospěli i Wootton a Shams-Ud-Din (1986), pečivo připravené z předmáčených otrub vykazovalo lepší kvalitu a objem než pečivo z neupravených otrub.

### 3.2 Uplatnění zrna s netradičním zbarvením

Při výrobě produktů z netradičně zbarvených obilovin je třeba počítat s využitím celozrnné mouky, aby byl plně uplatněn jejich potenciál z výživového a zdravotního hlediska. Výrobce v takovém případě musí brát v potaz některé technologické komplikace, které s sebou použití celozrnné mouky přináší. V takovém případě lze uvážit aplikaci některých zlepšujících technologických postupů, které byly zmíněny výše v textu. Alternativou by také mohla být výroba různých druhů trvanlivého či nekynutého pečiva, u kterého nepatří objem hotového výrobku mezi nejdůležitější kvalitativní ukazatele.

V České republice je v tržní síti k dostání např. chléb Karkulka vyrobený z 60 % z celozrnné mouky odrůdy PS Karkulka. O jeho vznik se zasloužily tři instituce – Mendelova univerzita v Brně za výzkum, firma SEMO jakožto producent osiva a Karlova pekárna. Kromě chleba vyrábí pekárna taktéž bulky Karkulka (AF MENDELU, 2017). Slovenský výrobce extrudovaných produktů CELPO zase ve svém sortimentu nabízí pufované chlebičky PurPur, které jsou ze 100 % vyrobeny z celozrnné purpurové pšenice (Celpo spol. s.r.o.).

Výrobou nových produktů z barevných pšenic se zabývá celá řada studií. Pasqualone a kol. (2015) se zaměřila na výrobu sušenek z celozrnné purpurové mouky. Podle všeho by

sušenky mohly být vhodným kandidátem pro použití fialové mouky, jelikož jsou všeobecně velmi oblíbené, a navíc mají dlouhou trvanlivost. Pro výrobu vzorků byla použita mouka z linie *Cltr 14629 Triticum turgidum* ssp. *durum* a souběžně byl vyroben kontrolní vzorek z běžné tvrdé pšenice. Kvalitativní parametry obou vzorků mouky se téměř nelišily, jediný výrazný rozdíl byl v hodnotě gluten idexu, který byl vyšší u fialové pšenice. Vlhkost a obsah bílkovin byly u obou vzorků mouk obdobné (Pasqualone a kol., 2015). Celkový obsah anthokyanů ve fialové mouce byl stanoven na  $30,84 \pm 0,81$  mg/kg, v sušenkách po upečení  $13,86 \pm 0,27$  mg/kg. V běžné mouce nebyly anthokyaniny detekovány. Dále u purpurové mouky a sušenek byl naměřený vyšší celkový obsah fenolických látek a také vyšší antioxidační aktivita. Celkový obsah žlutých pigmentů byl nepatrně vyšší u kontrolního vzorku (Pasqualone a kol., 2015).

Ficco a kol. (2016) se zabývala výrobou těstovin z fialové odrůdy pšenice *Triticum durum*. Byly vyhotoveny vzorky z fialové poloceložrné mouky a žluté poloceložrné mouky, které byly porovnávány mezi sebou a též s kupovanými těstovinami z běžné semoliny a celozrné semoliny. Sledovanými parametry těstovin byly čas vaření, ztráty vařením, absorpce vody, přilnavost a tvrdost. Optimální čas vaření a ztráty vařením pro oba poloceložrné vzorky byly obdobné a nebyly zjištěny významné rozdíly. Pro porovnání u kupovaných vzorků byly oba parametry výrazně nižší (Ficco a kol., 2016). Procento absorbované vody bylo nejvyšší u kupovaného vzorku klasické semoliny, poté u kupovaného z celozrné semoliny, vzorku ze žluté pšenice a nejnižší u vzorku z fialové pšenice. Hodnoty přilnavosti a tvrdosti byly také nejvyšší u kupovaného vzorku, což může poukazovat na nižší kvalitu výrobku. Texturní vlastnosti, mezi které patří tvrdost i přilnavost, jsou pro spotřebitele důležitými aspekty pro výběr těstovin. Senzorická analýza neprokázala žádné významné rozdíly mezi vzorky z poloceložrných mouk a kupovaného vzorku z celozrné mouky. Přítomnost barviv tedy zjevně nemá významný vliv na sensorické aspekty těstovin. Nejlepší sensorické ohodnocení však získaly kupované těstoviny vyrobené z klasické semoliny, což je s největší pravděpodobností způsobeno tím, že spotřebitel není příliš zvyklý na celozrné výrobky a upřednostňuje výrobky z běžné mouky (Ficco a kol., 2016).

Gamel a kol. (2019) se ve svém výzkumu zaměřil hned na několik výrobků z purpurové pšenice. Jako tři hlavní ingredience z purpurové pšenice použil celozrnou mouku, otruby a vločky. Byly připraveny celozrné krekry obohacené o otruby, müsli tyčinky obohacené o otruby, celozrný chléb obohacený o otruby, celozrný chléb, celozrné palačinky a vločková kaše. Nejvyšší celkový obsah anthokyanů ( $\mu\text{g/g}$ ) měly krekry (291,5),



následovaly müsli tyčinky (282,8), palačinky (96,0), celozrnný chléb s obsahem otrub (80,5), celozrnný chléb (65,4) a nejméně vločková kaše (30,7). Kromě množství anthokyanů vykazovaly krekry společně s müsli tyčinkami rovněž nejvyšší celkovou antioxidační kapacitu a celkový obsah vlákniny. Mají tak potenciál uplatnit se jako zdravé a funkční potraviny v tržní síti (Gamel a kol., 2019).

Předpokladem širšího uplatnění pšenice s netradičním zbarvením je taktéž dosažení srovnatelné výnosové úrovně jako u běžných odrůd. Současné odrůdy pšenice s modrým a purpurovým zbarvením zrna prozatím výnosově zaostávají za běžnými odrůdami a je proto nezbytné tento jejich nedostatek odstranit (Martinek a Vyhnánek, 2014). V roce 2016 poskytla odrůda PS Karkulka s purpurovým perikarpem průměrný výnos 6,8 t/ha a odrůda Scorpion s modrým aleuronem 5 t/ha. Výnos běžné pšenice se pohyboval okolo 7 t/ha (Honsová, 2017).

V současné době vznikají stále nové odrůdy s odlišnou barvou zrna pro specifické potravinářské a šlechtitelské využití (Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž, 2019).

Odrůda Skorpion je první česká odrůda s modrým zrnem. Jedná se o středně pozdní odrůdu, má vysoký obsah anthokyanů, vyznačuje se pekařskou kvalitou na úrovni B, velkým zrnem a nízkou objemovou hmotností.

AF Oxana se vyznačuje modrým zrnem a dosahuje vyšších výnosů než Skorpion. Má vysoký obsah bílkovin, velmi vysoký Zeleného test, vysokou vaznost mouky a objem pečiva, nízkou objemovou hmotnost zrna a nízké číslo poklesu (Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž, 2019).

Pšenice PS Karkulka s purpurovým zrnem byla vyšlechtěna na Slovensku. Má vysoký obsah dusíkatých látek v zrně a lepku, vysokou vaznost vody a drobné zrno. Je odolná proti klasovým chorobám a rzi pšeničné, ale náchylná k poléhání.

AF Jumiko je první českou odrůdou ozimé pšenice s purpurovou barvou zrna, specificky určená pro využití v potravinářském průmyslu pro zdravou výživu lidí. Jedná se o středně ranou odrůdu s výskytem anthokyanů a vysokým obsahem luteinu. Je určena pro speciální potravinářské využití a zejména pro výrobu celozrnného pečiva (Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž, 2019).

Problematikou barvy zrna pšenice se šlechtitelsky zabývá Agrotest fyto, s.r.o., Kroměříž a Výzkumno-šlechtitelská stanice Vígláš Pstruša na Slovensku. Studium genetických aspektů

se věnuje Mendelova univerzita v Brně, Ústav experimentální botaniky AV ČR v Olomouci a rovněž spolupracující pracoviště v zahraničí (Martinek a Vyhnánek, 2014).

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo charakterizovat technologické vlastnosti pšenice s deep-purple barvou zrna. Vyhodnotit základní parametry mouky o rozdílné granulaci a z této mouky dále vyhotovit vzorky pečiva a ty podrobit texturní analýze. Získaná data porovnat se vzorky z mouky z běžného typu pšenice.<sup>1</sup>

Dílčí cíle:

- stanovení základních jakostních parametrů mouky
- pekařský pokus a vyhodnocení vlastností pečiva
- texturní profilová analýza pečiva
- statistické vyhodnocení dat
- diskuze a formulace závěrů

---

<sup>1</sup> Vzhledem k nastalé situaci SARS-CoV-2 a s ním souvisejícím opatřením vlády ČR nebylo bohužel dostatek časových možností pro vyhotovení a naměření vzorků z běžné pšenice. Již získané vzorky z deep-purple pšenice tak byly srovnány s dostupnou literaturou a vzájemně mezi sebou.

## 5 MATERIÁL A METODIKA

### 5.1 Charakteristika vzorku

Pro experimentální část diplomové práce byly použity vzorky mouky odrůdy KM 15-17. Je to poměrně nová odrůda ozimé pšenice, která vznikla křížením pšenice špaldy s pšenicí setou. Cílem křížení bylo podstatně zkrátit délku stébla a zachovat kvalitativní parametry špaldy (Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž, 2019). Analyzovány byly tři vzorky o rozdílné granulaci, a to mouka hladká, hrubá a polohrubá na základě vyhlášky č. 18/2020 Sb. Vzorky pro práci dodala Agronomická fakulta Mendelovy univerzity v Brně.

### 5.2 Použité chemikálie

Veškeré použité chemikálie byly poskytnuty v čistotě p.a., použitá voda byla na základě zvolené metodiky buď demineralizovaná nebo pitná voda z vodovodního řadu.

### 5.3 Metodika

U jednotlivých vzorků mouky byla nejprve provedena analýza základních parametrů, a to:

- stanovení vlhkosti mouky
- stanovení čísla poklesu
- stanovení sedimentačního indexu
- stanovení obsahu mokrého lepku.

Posléze byl proveden pekařský pokus a z jednotlivých vzorků byly upečeny chleby. U hotového pečiva byly stanoveny ztráty pečením a specifický objem. Dále byly stanoveny texturní parametry pečiva pomocí texturometru.

#### 5.3.1 Stanovení vlhkosti

Pro měření vlhkosti byl použit analyzátor vlhkosti OHAUS Europe GmbH, model MB120. Tento analyzátor reguluje teplotu pomocí halogenového zářiče a výsledné hodnoty zobrazuje rovnou na displeji.

Do čisté hliníkové misky se navázilo a rovnoměrně rozprostřelo 5 g mouky. Takto připravená miska se vloží do přístroje a po zaklapnutí víka dochází k měření. Vzorek je sušen do konstantní hmotnosti při teplotě 130 °C.

### 5.3.2 Stanovení čísla poklesu

Číslo poklesu charakterizuje stav amylázoškrobového komplexu mouky. Pro měření této hodnoty byl použit přístroj Falling Number 1100 Perten Instruments, který měří stupeň aktivity hydrolytických enzymů na základě ztekucení a tím snížení viskozity škrobového mazu. Rychlost ztekucení závisí na vlastnostech škrobového gelu, který klade odpor viskozimetrickému míchadlu při pádu ve viskozimetrické zkumavce. Stanovení čísla poklesu je definováno ČSN ISO 3093 (461026) (Burešová a kol., 2014).

Na základě vlhkosti vzorku se dle tabulek vypočítala hmotnost navážky. Zkušební vzorek byl odvážen do viskozimetrické zkumavky spolu s  $25,0 \pm 0,2$  ml demineralizované vody o teplotě  $22 \pm 2$  °C. Následně byl celý vzorek pečlivě promíchán tak, aby na stěnách zkumavky neulpěly zbytky mouky. Do zkumavky se vložilo viskozimetrické míchadlo a takto připravená zkumavka se vložila do automatické vodní lázně. Měření probíhá v přístroji automaticky, ukončení měření ohlašuje zvukový signál. Hodnota čísla poklesu byla po ukončení měření odečtena z displeje přístroje (Burešová a kol., 2014).

### 5.3.3 Stanovení sedimentačního indexu

Princip této metody spočívá v přípravě suspenze z mouky, kyseliny mléčné a bromfenolové modři. Tento vzorek je protřepáván po předepsanou dobu a následně je stanoven objem sedimentu. Postup pro stanovení sedimentačního indexu udává ČSN ISO 5529 (461022).

Pro stanovení bylo nejprve odváženo  $3,20 \pm 0,05$  g zkoušené mouky. Navážený vzorek byl převeden do odměrného válce spolu s 50 ml roztoku bromfenolové modři. Takto připravený vzorek byl pečlivě promíchán. Odměrný válec se následně vložil do třepačky na dobu 5 minut. Po uplynutí stanoveného času bylo ke vzorku přidáno 25 ml refluxovaného roztoku kyseliny mléčné a válec se znovu vložil do třepačky. Po 10 minutách třepání se válec postavil na rovnou plochu do vzpřímené polohy a obsah válce se nechal sedimentovat 5 minut. Následně se odečetl objem vzniklého sedimentu s přesností 0,5 ml (Burešová a kol., 2014).

### 5.3.4 Stanovení obsahu mokrého lepku

Obsah lepku je důležitým ukazatelem pekárenské kvality mouky. Stanovuje se ručním vypíráním z těsta podle ČSN ISO 41415.

Ze zkušební vzorku bylo odváženo 10 g mouky do čisté kádinky. Ke vzorku se přidalo 5,0 ml roztoku NaCl (20 g/l) a z této směsi se vypracovalo těsto, které se nechalo 30 minut uležet v uzavřené kádince. Po odležení bylo těsto vypíráno ve slabém proudy vody z řadu

nad záchytnou tkaninou, do které byly zachyceny případné odplavené kousky těsta. Ty byly opětovně spojeny s hlavním podílem těsta. Za neustálého hnětení docházelo postupně k vyplavování škrobového mléka z těsta. Tento proces byl opakován tak dlouho, dokud voda vytékající z těsta nebyla čirá a bez zákalu. Výsledná hmota lepkavé konzistence byla vymačkáním zbavena přebytečné vody. Takto získaný lepek se zvažil s přesností na 0,01 g. Výsledný obsah mokrého lepku ve vzorku byl dopočítán podle vzorce (Burešová a kol., 2014):

$$X = 10 \cdot m \cdot \frac{100}{100 - w_1}$$

kde  $X$  ... obsah mokrého lepku v procentech hmotnostních v sušině

$m$  ... hmotnost mokrého lepku [g]

$w_1$  ... obsah vody ve vzorku [%].

### 5.3.5 Pekařský pokus

Pekařský pokus umožňuje objektivně posoudit kvalitu mouky a dalších složek pekárenských výrobků. Existuje vícero postupů, podle kterých lze pekařských pokus provést, včetně standardizovaných (např. ICC standard č. 131). Z recepturních složek připraví těsto, které se nechá fermentovat a poté se přetučí. Z těsta jsou dále vytvarovány bochníky, které se nechají také kynout a následně se pečou při předepsané teplotě (Burešová a Lorencová, 2013).

K přípravě pečiva pro účely této práce byly použity následující suroviny:

- mouka 300 g,
- sušené pekařské droždí (S.I.Lesaffre) 5,4 g,
- sůl (chlorid sodný) 4,5 g,
- sacharóza 5,58 g,
- voda pitná z řadu 180 g.

Nejprve byla připravena suspenze z cukru, droždí a 80 ml vlažné vody. Takto připravený kvásek se nechal aktivovat po dobu 5 minut. Do hnětače se vsypala mouka, sůl a připravená suspenze a celá směs se začala hníst za pomalých otáček. Postupně byla do směsi přilévána zbylá voda. Po spojení všech surovin a vzniku hladkého těsta se pokračovalo v hnětení další 2 minuty. Takto připravené těsto se nechalo kynout 30 minut. Po uplynutí času pro kynutí bylo těsto přetučeno a rozděleno na tři stejné díly. Tyto klonky se nechaly kynout ve formičkách dalších 30 minut. Poté byly naposledy přetučeny a také zvaženy pro pozdější

stanovení. Bochníky ve formičkách byly vloženy do trouby a pečeny  $20 \pm 3$  minut na  $230 \pm 10$  °C. Po upečení se bochníky vyndaly z forem a nechaly vychladnout (obrázek 8).



Obrázek 8 Pekařský pokus **a** příprava těsta, **b** bochníky před kynutím, **c** bochníky po vykynutí, **d** hotové pečivo (vlastní foto)

Po vychladnutí byly bochníky zváženy a hmotnost po upečení byla odečtena od hmotnosti před pečením. Tímto jsme získali ztráty pečením podle vzorce:

$$ZP = \frac{m_t - m_v}{m_t} \cdot 100$$

kde  $ZP$  ... ztráty pečením [%]

$m_t$  ... hmotnost těsta před upečením [g]

$m_v$  ... hmotnost výrobku po upečení [g].

Dále se hodnotil objem pečiva. Kalibrovaný odměrný válec byl až po okraj naplněn plastovým granulátem. Do takto připraveného válce se vtláčil upečený bochník, čímž došlo k vytlačení části granulátu. Tento vytlačený granulát byl pak přesypán do jiného odměrného válce. Hodnota objemu vytlačeného granulátu tak odpovídala objemu testovaného bochníku. Ze zjištěné hodnoty objemu a hmotnosti pečiva pak byl vypočítán specifický objem bochníků podle vzorce:



$$\rho = \frac{m}{V}$$

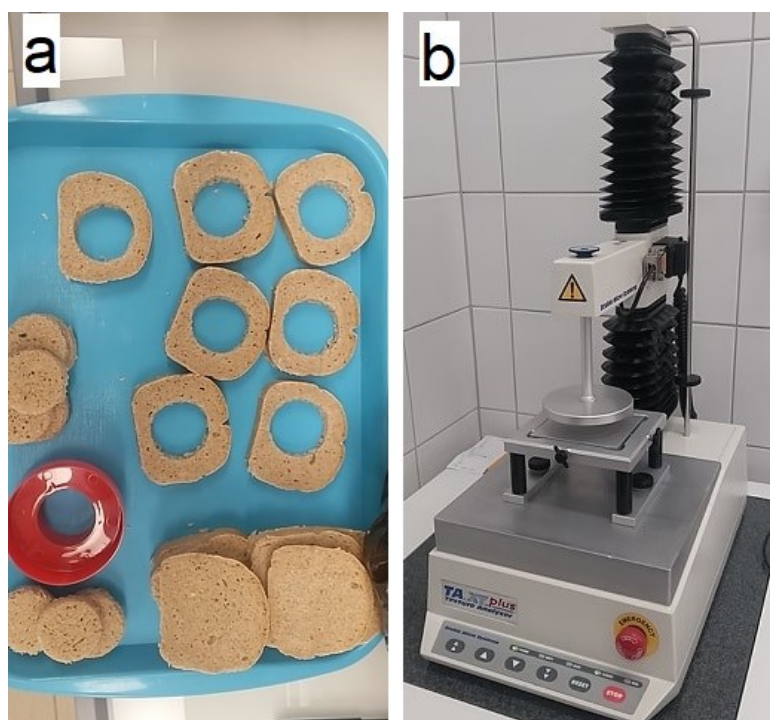
kde  $\rho$  ... specifický objem bochníku [g/ml]

$m$  ... hmotnost bochníku po upečení [g]

$V$  ... objem bochníku po upečení [ml].

### 5.3.6 Texturní profilová analýza

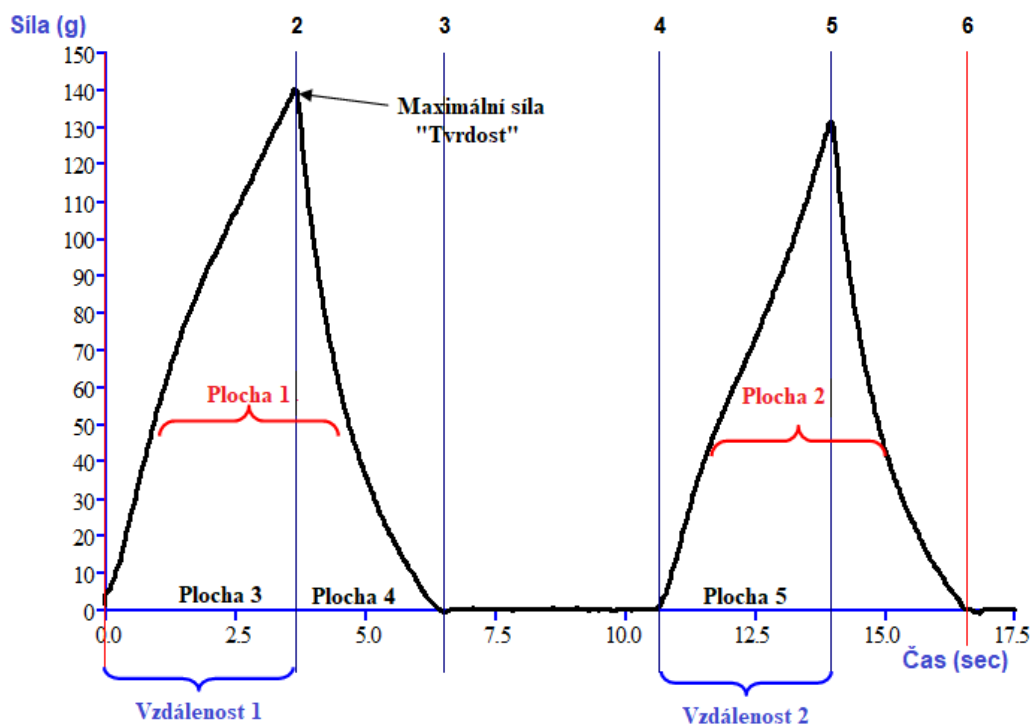
Upečené a zchladlé bochníky byly na elektrickém kráječi nařezány na krajíce o jednotné tloušťce. Z těchto pak byla vykrajovátkem vyřezána kolečka (obrázek 9a). Takto připravené vzorky se následně jeden po druhém vkládaly pod sondu textuometru a byly podrobeny TPA. Od každého typu mouky byly analyzovány dva bochníky, přičemž z každého bylo připraveno pět vzorků. Texturní profilová analýza byla provedena prostřednictvím analyzátoru TA.XT plus (obrázek 9b). Naměřená data byla zaznamenána a vyhodnocena pomocí programu Exponent Lite.



Obrázek 9 **a** příprava vzorků pro analýzu, **b** analyzátor textury TA.XT plus (vlastní foto)

Prostřednictvím TPA byly vyhodnoceny parametry tvrdost (*hardness*), soudržnost (*cohesiveness*), pružnost (*springiness*), žvýkatelnost (*chewiness*) a odolnost (*resilience*). Parametry byly vyhodnoceny z grafu (obrázek 10) podle následujících vztahů:

- Tvrdost je maximální vyvinutá síla během první komprese.
- Soudržnost je plocha práce během druhé komprese dělená plochou práce v průběhu první komprese (Plocha 2/Plocha 1).
- Pružnost je vyjádřena jako poměr nebo procento původní výšky produktu. Měří se jako výška vzorku během druhé komprese dělená původní výškou vzorku (Vzdálenost 2/Vzdálenost 1).
- Žvýkatelnost se vyjádří jako součin tvrdosti, soudržnosti a pružnosti.
- Odolnost je vypočítána podílem energie při zdvihu a energie při tlaku během první komprese (Plocha 4/Plocha 3) (Texture Technologies Corp., 2015).



Obrázek 10 Graf pro TPA (Texture Technologies Corp., 2015; upraveno)

#### 5.4 Statistické vyhodnocení dat

Získané hodnoty z experimentální části byly statisticky vyhodnoceny pomocí parametrické analýzy rozptylu ANOVA. Rozdíly mezi vzorky byly stanoveny Fisherovým testem na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

## 6 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 6.1 Základní parametry mouky

V tabulce 4 jsou zaznamenány výsledky stanovení základních parametrů mouky z pšenice KM 15–17 a to vlhkost, číslo poklesu, sedimentační index a obsah mokrého lepku.

Tabulka 4 Výsledky stanovení základních parametrů mouky

granulace	vlhkost [% ± SD]	číslo poklesu [s ± SD]	sediment. index [ml ± SD]	mokrý lepek [% ± SD]
hladká	11,16 ± 0,01 <sup>b</sup>	430 ± 30 <sup>b</sup>	21 ± 1 <sup>a</sup>	39 ± 4 <sup>b</sup>
polohrubá	11,03 ± 0,04 <sup>a</sup>	410 ± 20 <sup>b</sup>	30 ± 0 <sup>b</sup>	37 ± 2 <sup>a,b</sup>
hrubá	11,03 ± 0,02 <sup>a</sup>	350 ± 10 <sup>a</sup>	38 ± 3 <sup>c</sup>	32 ± 1 <sup>a</sup>

Vlhkost vzorků se pohybovala v rozmezí od 11,03 % do 11,16 %, přičemž nejvyšší vlhkost vykazoval vzorek hladké mouky. Všechny vzorky zároveň splnily požadavky ČSN 46 1100-2 pro pekárenské i pečivářenské pšenice, která uvádí, že maximální obsah vlhkosti v mouce by měl být 14 % (tabulka 1).

Číslo poklesu bylo u všech vzorků poměrně vysoké od 350 s do 430 s. Vzorky hladké a polohrubé mouky se statisticky významně nelišily, výrazný rozdíl byl zpozorován u mouky hrubé. ČSN 46 1100-2 uvádí minimální hodnotu čísla poklesu pro pekárenské i pečivářenské mouky 220 s, všechny vzorky tedy splňují tyto jakostní požadavky. Vysoký obsah amylolytických enzymů urychluje štěpení škrobu, čímž zvyšuje rychlost propadu míchadla v průběhu měření. Z toho vyplývá, že čím vyšší je číslo poklesu, tím nižší je obsah  $\alpha$ -amylázy ve vzorku. Dostatečná aktivita amylolytických enzymů je důležitá pro tvorbu kypřícího plynu v těstě. Pakliže je číslo poklesu velmi vysoké (nad 400 s) je vhodné přidat do těsta sladovou mouku či samotnou  $\alpha$ -amylázu (Kulp a Ponte, 2000). Zajímavé je, že i jiné odrůdy barevných pšenic vykazují nižší amylolytickou aktivitu. Například u modrozrné odrůdy AF Oxana bylo stanoveno číslo poklesu šrotu 305 s (Martinek a kol., 2019) a u purpurové odrůdy AF Jumiko 415 s (Martinek a kol., 2018).

Naměřené hodnoty sedimentačního indexu byly velmi rozdílné a jednotlivé granulace se mezi sebou statisticky prokazatelně lišily. Nejvyšší hodnotu 38 ml vykazoval vzorek hrubé mouky, vzorek polohrubé mouky 30 ml a nejméně vzorek hladké mouky 21 ml.

ČSN 46 1100-2 uvádí jako minimální hodnotu pro pekárenské využití 30 ml a pro pečivářenské maximálně 25 ml (tabulka 1). Vzorokly hrubé a polohrubé mouky tedy splňují parametry pro pekárenské využití, hladká mouka by byla vhodnější pro výrobu pečivářenskou. Pro srovnání průměrná hodnota sedimentačního indexu u modré odrůdy AF Oxana byla 63 ml (Martinek a kol., 2019) a u purpurové AF Jumiko 37 ml (Martinek a kol., 2018).

Obsah mokrého lepku klesal se zvyšující se hrubostí granulace. Hladká mouka obsahovala 39 % mokrého lepku, polohrubá mouka 37 % a hrubá mouka 32 %. Hodnota obsahu mokrého lepku není stanovena žádnou normou, literatura uvádí u světlých pekařských mouk 30 % a více (Příhoda a kol., 2002).

## 6.2 Pekařský pokus

Objem všech tří vzorků se pohyboval v rozmezí 290-310 ml a jednotlivé vzorky se od sebe významně nelišily. Toto zjištění je poměrně zajímavé, neboť obvykle se zvyšující se granulací mouky klesá objem pečiva (Cauvain a Young, 2001; Wang a kol., 2017). Stejný objem bochníků mohl být způsoben použitím celozrnné mouky, jelikož vyšší podíl otrub v mouce se běžně projevuje snížením objemu pečiva (Hemdane a kol., 2016; Preedy a kol., 2011). Otruby ovlivňují viskoelastické vlastnosti těsta, zadržují velké množství vody a ovlivňují proces gelovatění (mazovatění) škrobu během pečení. Tím dochází ke snížení objemu pečiva a zhutnění střídy (Schmiele a kol., 2012; Hemdane a kol., 2016). U hladké mouky bylo navíc naměřeno nejvyšší číslo poklesu. Pokud je číslo poklesu příliš vysoké, poukazuje to na nízkou aktivitu amylolytických enzymů v mouce. Mouka tak má nízké cukrotvorné, a s tím související plynotvorné schopnosti. Pokud během kynutí a pečení vzniká v těstě málo plynu, projeví se to nízkým objemem hotového pečiva (Kulp a Ponte, 2000; Burešová a Lorencová, 2013). Dále byla u vzorku hladké mouky naměřena nejnižší hodnota sedimentačního indexu. Sedimentační index má vysoký kladný korelační koeficient k obsahu dusíkatých látek v zrně a objemu pečiva a poukazuje na kvalitu lepku v mouce. Nízký sedimentační index značí nízkou kvalitu lepku. Slabý lepek tvoří slabou a nekvalitní lepkovou síť, která zadrží jen nižší množství plynu. To má za následek menší objem pečiva (Dendy a Dobraszczyk, 2001; Hubík, 2002). Analýza základních parametrů vzorků mouky tedy poukázala na nižší jakostní parametry hladké mouky, které se následně projevíly nízkým objemem hotového pečiva.

Stejně jako u objemu pečiva, ani u ztrát pečením nebyla mezi vzorky zaznamenána statistická odlišnost. Obvykle se ztráty pečením pohybují okolo 10 %, čemuž odpovídaly i naměřené hodnoty všech tří vzorků. Specifický objem bochníků z hladké mouky byl 0,50 g/ml, z polohrubé 0,434 g/ml a z hrubé 0,47 ml. Výsledky stanovení parametrů pečiva jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5 Výsledky stanovení vlastností pečiva

granulace	objem [ml ± SD]	specifický objem [g/ml ± SD]	ztráty pečením [% ± SD]
hladká	290 ± 50 <sup>a</sup>	0,50 ± 0,03 <sup>b</sup>	9,2 ± 0,5 <sup>a</sup>
polohrubá	330 ± 20 <sup>a</sup>	0,434 ± 0,007 <sup>a</sup>	9,57 ± 0,01 <sup>a</sup>
hrubá	310 ± 20 <sup>a</sup>	0,47 ± 0,01 <sup>a,b</sup>	9,0 ± 0,1 <sup>a</sup>

### 6.3 Texturní profilová analýza

Analýzou texturních vlastností bylo zjištěno, že tvrdost vzorků z hladké a polohrubé mouky se od sebe statisticky nelišila, významný rozdíl byl zaznamenán u vzorku z hrubé mouky. Vzorek připravený z hrubé mouky měl nejvyšší tvrdost a s tím i související nejvyšší žvýkatelnost. Rozdíl tvrdosti mezi hladkou a polohrubou moukou nebyl statisticky významný a stejně tak žvýkatelnost polohrubé a hladké mouky se významně nelišila. Největší soudržnost byla zaznamenána u vzorku z polohrubé mouky, který měl zároveň i nejvyšší odolnost. Hodnoty soudržnosti a odolnosti hladké a polohrubé mouky se od sebe statisticky významně nelišily. Pružnost všech vzorků byla srovnatelná a vzorky se v této hodnotě statisticky významně nelišily. Všechny výsledky TPA jsou uvedeny níže v tabulce 6.

Tabulka 6 Výsledky texturní profilové analýzy pečiva

granulace	tvrdost [g ± SD]	soudržnost [% ± SD]	pružnost [% ± SD]	žvýkatelnost [J ± SD]	odolnost [% ± SD]
hladká	27 ± 3 <sup>a</sup>	69 ± 2 <sup>a</sup>	91 ± 2 <sup>a</sup>	17 ± 2 <sup>a</sup>	31 ± 2 <sup>a</sup>
polohrubá	21 ± 1 <sup>a</sup>	70,5 ± 0,9 <sup>b</sup>	93 ± 2 <sup>a</sup>	14 ± 1 <sup>a</sup>	35 ± 1 <sup>b</sup>
hrubá	31 ± 2 <sup>b</sup>	68 ± 2 <sup>a</sup>	91 ± 2 <sup>a</sup>	19 ± 1 <sup>b</sup>	31 ± 2 <sup>a</sup>

Z naměřených hodnot můžeme odvodit, že vzorek polohrubé mouky by mohl být vhodný pro výrobu některých druhů běžného pečiva, např. chleba. Ze všech vzorků vykazuje nejnižší hodnoty žvýkatelnosti a současně nejvyšší hodnotu soudržnosti. Pro konzumenta by to znamenalo, že se pečivo bude snadno žvýkat, ale zároveň bude dobře držet tvar a konzistenci při krájení či mazání. U pečiva vyhotoveného ze vzorku polohrubé mouky byl pekařským pokusem také zjištěn nejvyšší objem. Ze všech tak vzorků má nejvyšší potenciál pro pekárenské využití v potravinářství. Je ale třeba brát v úvahu to, že se jedná o celozrnnou mouku a lze předpokládat, že pečivo z ní bude mít vyšší tvrdost, žvýkatelnost, hutnější strídu a nižší objem v porovnání s pečivem vyrobeným z běžné mouky (Al-Saqer a kol., 2000; Schmiele a kol., 2012)

## ZÁVĚR

Cílem práce bylo charakterizovat technologickou kvalitu nové odrůdy pšenice KM 15-17 s deep-purple barvou zrna a výsledky porovnat s literaturou a běžným typem pšenice. Analýza mouky ukázala, že KM 15-17 může být použita pro výrobu pečiva. Vlhkost mouky odpovídala českým technickým normám pro potravinářskou pšenici, stejně tak číslo poklesu. Sedimentačních index se u jednotlivých granulací lišil. Vzorky hrubé a polohrubé mouky lze na základě hodnoty sedimentačního indexu doporučit pro pekárenské využití.

Pekařským pokusem bylo zjištěno, že objem pečiva ze všech tří vzorků mouky byl stejný. Tento jev byl pravděpodobně způsoben horšími jakostními ukazateli hladké mouky a také přítomností obalových vrstev zrna v mouce. Využití celozrnné mouky je ale v tomto případě klíčové pro rozvinutí plného potenciálu barevné pšenice. Při výrobě pečiva z deep-purple pšenice je tedy nutné brát do úvahy použití celozrnné mouky a přizpůsobit tomu technologické postupy.

Texturní profilová analýza vzorků ukázala, že nejmenší tvrdost a žvýkatelnost měl vzorek připravený z polohrubé mouky. Ten měl zároveň nejvyšší hodnotu soudržnosti. Tato kombinace by mohla být vhodná pro finálního spotřebitele, neboť ze všech vzorků se bude nejpříjemněji žvýkat a zároveň se nebude rozpadat při krájení nebo mazání. Pečivo z polohrubé mouky mělo navíc nejvyšší objem ze všech tří vzorků. Polohrubá mouka z pšenice KM 15-17 by tak mohla být vhodným kandidátem pro výrobu některých druhů běžného pečiva.

Pro hlubší charakteristiku technologických vlastností pšenice KM 15-17 by bylo vhodné provést další měření a studie, např. reologické vlastnosti těsta nebo objemovou výtěžnost pečiva.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

ABDEL-AAL, El-Sayed M., Atef A. ABOU-ARAB, Tamer H. GAMEL, Pierre HUCL, J. Christopher YOUNG a Iwona RABALSKI, 2008. Fractionation of Blue Wheat Anthocyanin Compounds and Their Contribution to Antioxidant Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. **56**(23), 11171-11177 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1021/jf802168c. ISSN 0021-8561. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf802168c>

AF MENDELU, 2017. Červený chléb Karkulka. In: *Mendelova univerzita v Brně* [online]. Brno [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <http://mendelu.cz/28952n-cerveny-chleb-karkulka>

ALMEIDA, Eveline Lopes, Yoon Kil CHANG a Caroline Joy STEEL, 2013. Dietary fibre sources in bread: Influence on technological quality. *LWT - Food Science and Technology* [online]. **50**(2), 545-553 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1016/j.lwt.2012.08.012. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643812003489>

AL-SAQER, Jameela M., Jiwan S. SIDHU a Suad N. AL-HOOTI, 2000. Instrumental texture and baking quality of high-fiber toast bread as affected by added wheat mill fractions. *Journal of Food Processing and Preservation* [online]. **24**(1), 1-16 [cit. 2020-05-13]. DOI: 10.1111/j.1745-4549.2000.tb00402.x. ISSN 0145-8892. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1745-4549.2000.tb00402.x>

BELEGGIA, Romina, Cristiano PLATANI, Franca NIGRO a Roberto PAPA, 2011. Yellow Pigment Determination for Single Kernels of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.). *Cereal Chemistry Journal* [online]. **88**(5), 504-508 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1094/CCHEM-02-11-0013. ISSN 0009-0352. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1094/CCHEM-02-11-0013>

BÖHMDORFER, Stefan, Josua Timotheus OBERLERCHNER, Christina FUCHS, Thomas ROSENAU a Heinrich GRAUSGRUBER, 2018. Profiling and quantification of grain anthocyanins in purple pericarp × blue aleurone wheat crosses by high-performance thin-layer chromatography and densitometry. *Plant Methods* [online]. **14**(1) [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1186/s13007-018-0296-5. ISSN 1746-4811. Dostupné z: <https://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13007-018-0296-5>

BOURNE, Malcolm, 2002. *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement (2nd Edition)*. 2. New York: Academic Press. ISBN 978-0-12-119062-0.

BOWEN-FORBES, Camille S., Yanjun ZHANG a Muraleedharan G. NAIR, 2010. Anthocyanin content, antioxidant, anti-inflammatory and anticancer properties of blackberry and raspberry fruits. *Journal of Food Composition and Analysis* [online]. **23**(6), 554-560 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1016/j.jfca.2009.08.012. ISSN 08891575. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889157509002622>

BUŇKA, František, Jan HRABĚ a Bohumír VOSPĚL, 2010. *Senzorická analýza potravin I*. Vyd. 2. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 9788073188870.



BUREŠOVÁ, Iva a Eva LORENCOVÁ, 2013. *Výroba potravin rostlinného původu: zpracování obilovin*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 978-80-7454-278-7.

BUREŠOVÁ, Iva, Eva LORENCOVÁ, Marek DVOŘÁK, Soňa KULHANOVÁ a Lucie MASARÍKOVÁ, 2014. *Výroba potravin rostlinného původu: návody do cvičení I*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 978-80-7454-331-9.

CAUVAIN, Stanley P. a Linda S. YOUNG, 2001. *Baking problems solved*. Cambridge, England: Woodhead Pub. ISBN 0-8493-1221-3.

CELPO SPOL. S.R.O., PUR PUR pšeničné celozrnné chlebičky 100 g. In: *Aktuality: celpo.sk* [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://www.celpo.sk/vyrobky/celpo-fit365-day/pur-pur-psenicne-celozrnnne-chlebicky-100-g.html>

COLASUONNO, Pasqualina, Ilaria MARCOTULI, Antonio BLANCO, a kol., 2019. Carotenoid Pigment Content in Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. var durum): An Overview of Quantitative Trait Loci and Candidate Genes. *Frontiers in Plant Science* [online]. **10** [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.3389/fpls.2019.01347. ISSN 1664-462X. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2019.01347/full>

ČSN 46 1100-2, *Obiloviny potravinářské – Část 2: Pšenice potravinářská*, 2002. Praha: Český normalizační institut.

DAVÍDEK, Jiří, 2012. Anthokyan. In: *WikiSkripta* [online]. 1. lékařská fakulta Univerzity Karlovy, 13.3.2012 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Soubor:Anthokyan.jpg>

DENDY, David a Bogdan DOBRASZCZYK, 2001. *Cereals and Cereal Products: Technology and Chemistry*. 2. Maryland: Aspen Publishers. ISBN 0-8342-1767-8.

EDWARDS, William P, 2007. *The Science of bakery products*. 1. vyd. Cambridge: The Royal Society of Chemistry. ISBN 978-0-85404-486-3.

FAO, 2020. FAO Cereal Supply and Demand Brief. In: *Food and Agriculture Organization of the United Nations* [online]. 2.4.2020 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>

FAO, 2017. FAOSTAT. In: *Food and Agriculture Organization of the United Nations* [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: [http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity\\_exports](http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity_exports)

FICCO, Donatella Bianca Maria, Anna M. MASTRANGELO, Daniela TRONO, et al., 2014. The colours of durum wheat: a review. *Crop and Pasture Science* [online]. **65**(1), 1-15 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1071/CP13293. ISSN 1836-0947. Dostupné z: <http://www.publish.csiro.au/?paper=CP13293>

FICCO, Donatella Bianca Maria, Vanessa DE SIMONE, Anna Maria DE LEONARDIS, et al., 2016. Use of purple durum wheat to produce naturally functional fresh and dry pasta. *Food Chemistry* [online]. **205**, 187-195 [cit. 2020-03-30]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.03.014. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814616303569>

GAMEL, Tamer H., Amanda J. WRIGHT, Mark PICKARD a El-Sayed M. ABDEL-AAL, 2019. Characterization of anthocyanin-containing purple wheat prototype products as functional foods with potential health benefits. *Cereal Chemistry* [online]. **97**(1), 34-38. DOI: 10.1002/cche.10190. ISSN 0009-0352. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cche.10190>

HAVLÍK, Jaroslav a Milan MAROUNEK, 2013. *Živiny a živinové potřeby člověka: učebnice pro studenty ČZU v Praze*. 2. vyd. V Praze: Česká zemědělská univerzita. ISBN 978-80-213-2374-2.

HEMDANE, Sami, Pieter J. JACOBS, Emmie DORNEZ, Joran VERSPREET, Jan A. DELCOUR a Christophe M. COURTIN, 2016. Wheat ( *Triticum aestivum* L .) Bran in Bread Making: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. **15**(1), 28-42 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1111/1541-4337.12176. ISSN 15414337. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/1541-4337.12176>

HIDALGO, Alyssa, Andrea BRANDOLINI, Carlo POMPEI a Roberta PISCOZZI, 2006. Carotenoids and tocopherols of einkorn wheat (*Triticum monococcum* ssp. *monococcum* L.). *Journal of Cereal Science* [online]. **44**(2), 182-193 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1016/j.jcs.2006.06.002. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521006000786>

HIMI, Eiko, Masahiko MAEKAWA, Hideho MIURA a Kazuhiko NODA, 2011. Development of PCR markers for Tamyb10 related to R-1, red grain color gene in wheat. *Theoretical and Applied Genetics* [online]. **122**(8), 1561-1576 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1007/s00122-011-1555-2. ISSN 0040-5752. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00122-011-1555-2>

HONSOVÁ, Hana, 2017. Za ekologickým polním dnem. *Zemědělec*. Profi Press, **2017**(28), 33. ISSN 1211-3816.

HORÁKOVÁ, Vladimíra, Olga DVOŘÁČKOVÁ a Tomáš MEZLÍK, 2012. *Seznam doporučených odrůd 2012: Pšenice ozimá, pšenice jarní, ječmen jarní, ječmen ozimý, žito ozimé, tritikale ozimé, oves setý pluchatý, hrách polní*. 1. vyd. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. ISBN 978-80-7401-059-0.

HORN INSTRUMENTS CO., 2009. *Texture Profile Analysis (TPA)* [online]. In: . Taiwan [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: [http://www.horninstr.com.tw/eng\\_2/texture\\_analyzer/eq\\_design\\_0\\_3\\_e.html](http://www.horninstr.com.tw/eng_2/texture_analyzer/eq_design_0_3_e.html)

HUBÍK, Květoslav, 2002. Kvalita obilnin. In: *Úroda: Aktuality z rostlinné produkce a zemědělského výzkumu* [online]. 21.4.2002 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.uroda.cz/kvalita-obilnin/>

HUNG, Pham Van a David W. HATCHER, 2011. Ultra-performance liquid chromatography (UPLC) quantification of carotenoids in durum wheat: Influence of genotype and environment in relation to the colour of yellow alkaline noodles (YAN). *Food Chemistry* [online]. **125**(4), 1510-1516 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.10.078. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030881461001335X>

KADLEC, Pavel a kolektiv, 2002. *Technologie potravin*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická. ISBN 80-7080-509-9.

KATINA, Kati, Marjatta SALMENKALLIO-MARTTILA, Riitta PARTANEN, Pirkko FORSSELL a K. AUTIO, 2006. Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. *LWT - Food Science and Technology* [online]. **39**(5), 479-491 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1016/j.lwt.2005.03.013. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643805000654>

KENT, Norman Leslie a A. D. EVERS, 1994. *Technology of Cereals: 4th Edition*. Pergamon. ISBN 978-1-59124-108-9.

KNIEVEL, D.C., E.-S.M. ABDEL-AAL, I. RABALSKI, T. NAKAMURA a P. HUCL, 2009. Grain color development and the inheritance of high anthocyanin blue aleurone and purple pericarp in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science* [online]. **50**(1), 113-120 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.03.007. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521009000496>

KUČEROVÁ, Jindřiška, 2004. *Technologie cereálií*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN 80-7157-811-8.

KULP, Karel a Joseph PONTE, ed., 2000. *Handbook of Cereal Science and Technology: Second Edition, Revised and Expanded*. 2. New York: Marcel Dekker. ISBN 0-8247-8294-1.

LACHMAN, Jaromír, Petr MARTINEK, Zora KOTÍKOVÁ, Matyáš ORSÁK a Miloslav ŠULC, 2017. Genetics and chemistry of pigments in wheat grain – A review. *Journal of Cereal Science* [online]. **74**, 145-154 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.02.007. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521017301510>

LAI, CS, RC HOSENEY a AB DAVIS, 1989. Effects of Wheat Bran in Breadmaking. *Cereal chem.* American Association of Cereal Chemists, **1989**(66:3), 217-219.

LI, Yaoguang, Dongyun MA, Dexiang SUN, Chenyang WANG, Jian ZHANG, Yingxin XIE a Tiancai GUO, 2015. Total phenolic, flavonoid content, and antioxidant activity of flour, noodles, and steamed bread made from different colored wheat grains by three milling methods. *The Crop Journal* [online]. **3**(4), 328-334 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1016/j.cj.2015.04.004. ISSN 22145141. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214514115000471>

MA, Dong-yun, De-xiang SUN, Yi ZUO, Chen-yang WANG, Yun-ji ZHU a Tian-cai GUO, 2014. Diversity of Antioxidant Content and Its Relationship to Grain Color and Morphological Characteristics in Winter Wheat Grains. *Journal of Integrative Agriculture* [online]. **13**(6), 1258-1267 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1016/S2095-3119(13)60573-0. ISSN 20953119. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2095311913605730>

MAKKI, Kassem, Edward C. DEEHAN, Jens WALTER a Fredrik BÄCKHED, 2018. The Impact of Dietary Fiber on Gut Microbiota in Host Health and Disease. *Cell Host & Microbe* [online]. **23**(6), 705-715 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1016/j.chom.2018.05.012. ISSN 19313128. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S193131281830266X>

MARTINEK, Petr a Tomáš VYHNÁNEK, 2014. Barevné zrno pšenice jako zdroj antioxidantů. *Úroda*. Profi Press s.r.o, **2014**(7), 68-70.

MARTINEK, Petr, Hana CHYTRÁ, Jarmila MIKULCOVÁ, Tomáš VYHNÁNEK a Ludmila BOBKOVÁ, 2018. *AF Jumiko - odrůda ozimé pšenice s purpurovým perikarpem (AF Jumiko - variety of winter wheat with purple pericarp) - text in Czech* [online]. [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/327629902\\_AF\\_Jumiko\\_-\\_odrud\\_a\\_ozime\\_psenice\\_s\\_purpurovym\\_perikarpem\\_AF\\_Jumiko\\_-\\_variety\\_of\\_winter\\_wheat\\_with\\_purple\\_pericarp\\_-\\_text\\_in\\_Czech](https://www.researchgate.net/publication/327629902_AF_Jumiko_-_odrud_a_ozime_psenice_s_purpurovym_perikarpem_AF_Jumiko_-_variety_of_winter_wheat_with_purple_pericarp_-_text_in_Czech)

MARTINEK, Petr, Hana CHYTRÁ, Jarmila MIKULCOVÁ, Tomáš VYHNÁNEK a Miroslav ŠKORPÍK, 2019. *AF Oxana - odrůda ozimé pšenice s modrým aleuronem (AF Oxana - variety of winter wheat with blue aleurone) - text in Czech* [online]. [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/335233930\\_AF\\_Oxana\\_-\\_odrud\\_a\\_ozime\\_psenice\\_s\\_modrym\\_aleuronem\\_AF\\_Oxana\\_-\\_variety\\_of\\_winter\\_wheat\\_with\\_blue\\_aleurone\\_-\\_text\\_in\\_Czech](https://www.researchgate.net/publication/335233930_AF_Oxana_-_odrud_a_ozime_psenice_s_modrym_aleuronem_AF_Oxana_-_variety_of_winter_wheat_with_blue_aleurone_-_text_in_Czech)

*Nariadení Komise (EU) č. 2016/1238: Příloha I Obiloviny*, 2016. In: Úřední věstník Evropské unie, 30.7.2016. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R1238&from=CS>

NOVOTNÝ, František a Květoslav HUBÍK, 2006. Nové směry v hodnocení jakosti potravinářské pšenice. In: *Leadingfarmers.cz* [online]. 1.1.2006 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.leadingfarmers.cz/knihovna/clanky/detail/nove-smery-v-hodnoceni-jakosti-potravinarske-psenice>

PASQUALONE, Antonella, Anna Maria BIANCO, Vito Michele PARADISO, Carmine SUMMO, Giuseppe GAMBACORTA, Francesco CAPONIO a Antonio BLANCO, 2015. Production and characterization of functional biscuits obtained from purple wheat. *Food Chemistry* [online]. **180**, 64-70 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.02.025. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814615001958>

PAZDERŮ, Kateřina, 2018. *Pěstování rostlin - cvičení*. Vydání druhé. V Praze: Česká zemědělská univerzita. ISBN 978-80-213-2845-7.

POLIMEREK, 2001. Beta-carotene. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beta-carotene.png?uselang=cs>

PREEDY, Victor R., Ronald R. WATSON a Vinood B. PATEL, 2011. *Flour and breads and their fortification in health and disease prevention*. Boston: Elsevier/Academic Press. ISBN 978-0-12-380886-8.

PŘÍHODA, Josef, Marie HRUŠKOVÁ a Pavel SKŘIVAN, 2003. *Cereální chemie a technologie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 80-7080-530-7.

RANKEN, M.D., R.C. KILL a C. BAKER, 1997. *Food Industries Manual*. Londýn: Blackie Academic and Professional. ISBN 978-1-4612-8431-4.

RAO, Anjali a Leticia RAO, 2007. Carotenoids and human health. *Pharmacological Research* [online]. **55**(3), 207-216 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1016/j.phrs.2007.01.012. ISSN 10436618. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1043661807000357>

ROUBÍK, Lukáš, Miloslav ŠINDELÁŘ a Radomil VAŠÍK, 2018. *Moderní výživa ve fitness a silových sportech*. 1. Praha: Erasport, s.r.o. ISBN 978-80-905685-5-6.

SCHMIELE, Marcio, Leandra Zafalon JAEKEL, Stella Maris Cardoso PATRICIO, Caroline Joy STEEL a Yoon Kil CHANG, 2012. Rheological properties of wheat flour and quality characteristics of pan bread as modified by partial additions of wheat bran or whole grain wheat flour. *International Journal of Food Science & Technology* [online]. **47**(10), 2141-2150 [cit. 2020-05-13]. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2012.03081.x. ISSN 09505423. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2621.2012.03081.x>

SLUKOVÁ, Marcela, 2016. *Výroba potravin a nutriční hodnota*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7080-947-1.

SLUKOVÁ, Marcela, Pavel SKŘIVAN a Marie HRUŠKOVÁ, 2017. *Cereální chemie a technologie: zpracování obilovin - mlýnská a těstářenská výroba*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7592-000-3.

STÁVEK, Jan, 2006. Antokyany – červená nebo modrofialová?. In: *Enolog*. Dostupné také z: <http://www.enolog.cz/antokyany-cervena-nebo-modrofialova>

STRNADOVÁ, Dana, 2001. Letmé nahlédnutí do historie kulturních plodin. In: *Úroda*. Dostupné také z: <https://www.uroda.cz/letme-nahlednuti-do-historie-kulturnich-plodin/>

SYED JAAFAR, Sharifah N., Johanna BARON, Susanne SIEBENHANDL-EHN, Thomas ROSENAU, Stefan BÖHMDORFER, Heinrich GRAUSGRUBER a L. HARTL, 2013. Increased anthocyanin content in purple pericarp × blue aleurone wheat crosses. *Plant Breeding* [online]. **132**(6), 546-552 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1111/pbr.12090. ISSN 01799541. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/pbr.12090>

TEXTURE TECHNOLOGIES CORP., 2015. Overview of Texture Profile Analysis. In: *Texture Technologies: Texture Analysis Instruments for Food* [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis>

TICHÁ, Markéta a Petra VYZÍNOVÁ, 2006. Pšenice obecná. *Multimediální skriptum* [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/vegetabilie/plodiny/czech/psenice.htm>

*Vyhláška č. 18/2020 Sb.: Vyhláška o požadavcích na mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta.* Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-18>

WANG, Naifu, Gary G. HOU a Arnaud DUBAT, 2017. Effects of flour particle size on the quality attributes of reconstituted whole-wheat flour and Chinese southern-type steamed bread. *LWT - Food Science and Technology* [online]. **82**, 147-153 [cit. 2020-05-05]. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.04.025. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002364381730244X>

WOOTTON, Michael a Mohammad SHAMS-UD-DIN, 1986. The effects of aqueous extraction on the performance of wheat bran in bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [online]. **37**(4), 387-390 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1002/jsfa.2740370409. ISSN 00225142. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/jsfa.2740370409>

YIKRAZUUL, 2001. Luteine - Lutein. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 30.4.2008 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Luteine\\_-\\_Lutein.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Luteine_-_Lutein.svg)

ZEMĚDĚLSKÝ VÝZKUMNÝ ÚSTAV KROMĚŘÍŽ, S.R.O., Nové odrůdy a genové zdroje pšenice s odlišnou barvou zrna a morfotypem klasu pro specifické potravinářské a šlechtitelské využití. In: *Internacionalizace Platformy ČTPRB: rostlinyprobudoucnost.eu* [online]. 2019 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: [http://www.rostlinyprobudoucnost.eu/ctprb/images/novinky/pdf/Priloha\\_c1\\_-\\_Popis\\_prezentovanych\\_odrud\\_a\\_nsl\\_Psenice\\_Polni-den\\_2019.pdf](http://www.rostlinyprobudoucnost.eu/ctprb/images/novinky/pdf/Priloha_c1_-_Popis_prezentovanych_odrud_a_nsl_Psenice_Polni-den_2019.pdf)

ZEVEN, A. C., 1991. Wheats with purple and blue grains: a review. *Euphytica* [online]. **56**(3), 243-258 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1007/BF00042371. ISSN 0014-2336. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/BF00042371>

ZHU, Fan, 2018. Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. *Food Research International* [online]. **109**, 232-249 [cit. 2020-03-29]. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.04.015. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996918302850>

ZIMOLKA, Josef, 2005. *Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna*. Praha: Profi Press. ISBN 80-86726-09-6.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

TPA texturní profilová analýza

HTS hmotnost tisíce semen

ZP ztráty pečením

m hmotnost

$w_1$  obsah vody ve vzorku

V objem

$\rho$  specifický objem bochníku



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Anatomická stavba obilky (Zimolka, 2005; upraveno).....	12
Obrázek 2 Chemická struktura $\beta$ -karotenu (Polimerek, 2001).....	17
Obrázek 3 Chemická struktura luteinu (Yikrazuul, 2001).....	17
Obrázek 4 Obecná chemická struktura anthokyanů (Davídek, 2012) .....	18
Obrázek 5 Rozdílné barvy pšeničného zrna podle obsahu anthokyanů <b>a</b> bílé – bez anthokyanů, <b>b</b> fialový perikarp ( <i>Pp</i> ), <b>c</b> modrý aleuron ( <i>Ba</i> ), <b>d</b> tmavě purpurový ( <i>Ba + Pp</i> ) (Böhmdorfer a kol., 2018) .....	19
Obrázek 6 Schéma průběhu TPA (Horn Instruments Co., 2009; upraveno) .....	26
Obrázek 7 Vliv přídavku 0–20 % otrub na objem, barvu a texturu pšeničného chleba. Část mouky byla nahrazena odpovídajícím podílem otrub (Hemdane a kol., 2016).....	30
Obrázek 8 Pekařský pokus <b>a</b> příprava těsta, <b>b</b> bochníky před kynutím, <b>c</b> bochníky po vykynutí, <b>d</b> hotové pečivo (vlastní foto).....	40
Obrázek 9 <b>a</b> příprava vzorků pro analýzu, <b>b</b> analyzátor textury TA.XT plus (vlastní foto)	41
Obrázek 10 Graf pro TPA (Texture Technologies Corp., 2015; upraveno) .....	42

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Hodnoty jakostních ukazatelů potravinářské pšenice (ČSN 46 1100-2).....	22
Tabulka 2 Minimální požadavky na odrůdy dle skupin jakosti (Horáková a kol., 2012) ...	22
Tabulka 3 Využití mouky dle sedimentačního indexu (Dendy a Dobraszczyk, 2001) .....	25
Tabulka 4 Výsledky stanovení základních parametrů mouky .....	43
Tabulka 5 Výsledky stanovení vlastností pečiva.....	45
Tabulka 6 Výsledky texturní profilové analýzy pečiva .....	45