

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra kvality zemědělských produktů**



**Látkové složení zrna potravinářské pšenice  
ve vztahu k užitným vlastnostem**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Dariana Sedlova**

**Obor studia: Kvalita produkce**

**Vedoucí práce: Ing. Oldřich Faměra, CSc.**

**©2022 ČZU v Praze**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci „Látkové složení zrna potravinářské pšenice ve vztahu k užitným vlastnostem” vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce s použitím odborné literatury a informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použité literatury. Jako autorka bakalářské práce prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze \_\_\_\_\_ Dariana Sedlova

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Oldřichu Faměrovi, CSc., vedoucímu mé bakalářské práce, za odborné vedení, cenné rady, vstřícnost při konzultacích a lidský přístup při realizaci této práce.

# Látkové složení zrna potravinářské pšenice ve vztahu k užitným vlastnostem

## Souhrn

Hlavním cílem této bakalářské práce je vypracovat literární rešerši a určit vliv agroekologických podmínek na utváření látkového složení zrna pšenice vůči mlýnskému a pekařskému využití. Metodika bakalářské práce spočívá ve vypracování literární rešerše o zastoupení a významu různých obsahových látek v zrně potravinářské pšenice, rozlišení užitných směrů potravinářské pšenice s uvedením toho, jaké látky ovlivňují procesy zpracování těsta a pečení a jaké faktory působí na sensorické vlastnosti těchto výrobků.

Tato bakalářská práce se zabývá tématem „Látkové složení zrna potravinářské pšenice ve vztahu k užitným vlastnostem“. Úvod, cíl práce a metodika bakalářské práce představují problematiku zkoumaného tématu, poskytují informace o tom, co je hlavním záměrem této práce a jaké metody jsou v ní využity. V literární části bakalářské práce je pšenice charakterizována jako druh obilniny, rozebírá se její klasifikace, produkce a druhy.

V dalších kapitolách této bakalářské práce (čtvrté a páté) je hodnoceno chemické složení pšeničného zrna a technologická kvalita a rozdělení podle užitkových směrů potravinářské pšenice. V šesté kapitole je analyzována technologie mlynářství, kde se například píše o mletí pšenice, míchání a skladování mouk, o kvalitě pšeničné mouky, chemickém složení mouky a přípravě pšeničného těsta.

**Klíčová slova:** pšenice; kvalita; mletí; pekařské výrobky



# **Content of substances in food grain of wheat in relation to utility properties**

## **Summary**

The main goal of this bachelor thesis is to develop a literature search and determine the influence of agroecological conditions on the formation of the composition of wheat grain in relation to mill and bakery use. The methodology of the mentioned thesis consists in elaborating a literature search on the representation and importance of various ingredients in food wheat grain, distinguishing the useful directions of food wheat, indicating what substances affect dough and baking processes and what factors affect the sensory properties of these products.

The bachelor thesis deals with the topic of "Substance composition of food wheat grain in relation to useful properties". Introduction, goal of the thesis and methodology of the bachelor thesis represent the issues of the researched topic, provide information about what is the main purpose of this work and what methods are used in it. In the literary part of the bachelor thesis, wheat is characterized as a type of cereals, its classification, production and species.

In the next chapters of the submitted bachelor thesis (4 and 5) the chemical composition of wheat grain and technological quality and distribution according to the utility directions of food wheat are evaluated. The sixth chapter analyzes the technology of milling, which describes, for example, the grinding of wheat, mixing and storage of flour, the quality of wheat flour, the chemical composition of flour and the preparation of wheat dough.

**Keywords:** wheat; quality; grinding; bakery products

## Obsah

<b>1 ÚVOD</b> .....	8
<b>2 CÍL PRÁCE</b> .....	10
<b>3. CHARAKTERISTIKA PŠENICE</b> .....	11
<b>3.1 Pšenice (<i>Triticum</i>)</b> .....	11
<b>3.2 Klasifikace pšenice</b> .....	12
<b>3.3 Produkce pšenice</b> .....	13
3.3.1 Situace v České republice .....	13
3.3.2 Sklizeň z roku 2021 .....	14
<b>3.4 Druhy pšenice</b> .....	15
<b>4 PŠENIČNÉ ZRNO</b> .....	18
<b>4.1 Anatomická stavba zrna pšenice</b> .....	18
4.1.1 Obalové vrstvy .....	20
4.1.2 Endosperm .....	20
4.1.3 Aleuronová vrstva .....	21
4.1.4 Klíček.....	22
<b>4.2 Chemické složení pšeničného zrna</b> .....	22
4.2.1 Voda.....	23
4.2.2 Sacharidy.....	24
4.2.2.1 Monosacharidy a oligosacharidy .....	25
4.2.2.2 Polysacharidy .....	26
4.2.2.3 Neškrobové polysacharidy .....	30
4.2.3 Bílkoviny.....	32
4.2.3.1 Nelepkové bílkoviny .....	33
4.2.4 Lipidy.....	36
4.2.5 Vitaminy .....	38
4.2.6 Minerální látky .....	38
4.2.7 Enzymy .....	38
4.2.8 Kyselina fytová.....	39
4.2.9 Fenolové kyseliny.....	39
<b>5.1 Technologická kvalita</b> .....	40
<b>5.2 Rozdělení pšenice dle užitkových směrů</b> .....	41
<b>6.1 Vyhláška Ministerstva zemědělství</b> .....	44
<b>6.2 Mletí pšenice</b> .....	46
6.2.1 Šrotování .....	47
6.2.2 Luštění krupic.....	47

6.2.3 Vymílání .....	48
6.2.4 Vliv stupně vymletí na složení a jakost mouky.....	48
<b>6.3 Míchání a skladování mouk.....</b>	<b>50</b>
<b>6.4 Kvalita pšeničné mouky .....</b>	<b>51</b>
<b>6.5 Chemické složení mouky.....</b>	<b>52</b>
6.5.3 Síla mouky .....	55
<b>6.6 Obchodní druhy mouk.....</b>	<b>56</b>
<b>6.7 Příprava pšeničného těsta .....</b>	<b>56</b>
6.7.1 Podstata tvorby těsta.....	56
6.7.2 Reologické vlastnosti těsta.....	57
6.7.3 Vliv jednotlivých technologických operací na vlastnosti těsta .....	57
<b>Závěr .....</b>	<b>59</b>
<b>Seznam literatury .....</b>	<b>60</b>
<b>Seznam použitých zkratk a symbolů.....</b>	<b>71</b>

# 1 ÚVOD

Pšenice se považuje za jednu z nejdůležitějších zemědělských plodin na světě a představuje jednu ze základních potravin mnoha zemí v Evropě a Severní Americe. Ve světě převažuje pěstování pšenice seté. Tato pšenice se začala aktivně využívat ve druhé polovině 20. století, kdy po druhé světové válce rychle rostoucí populace zvyšovala poptávku po pšeničných výrobcích. Díky technologickému pokroku a mechanizaci došlo ke zvýšení zemědělské produkce potravin, protože se různé plodiny začaly pěstovat i v těch regionech, kde to předtím nebylo možné.

Novější odrůdy pšenice seté znamenaly příležitost dalšího zvýšení zemědělské produkce tohoto druhu obilniny. Díky tomu, že tyto odrůdy měly kratší stéblo, vyšší odolnost vůči různým nemocem a lépe ukládaly živiny do zrna, vedly dané charakteristiky k větším výnosům. V České republice je v současné době pšenice setá nejčastěji pěstovanou obilninou, protože je pěstována zhruba na třetině celkové osevní plochy.

Předmětem zkoumání této bakalářské práce je látkové složení zrna potravinářské pšenice ve vztahu k užitným vlastnostem. V úvodu bakalářské práce jsou představeny základní informace o zkoumané problematice, zatímco cíle a metodika práce je popsána v kapitole „Cíl práce a metodika“. V literární části (ve třetí kapitole) je uvedena charakteristika plodiny pšenice a je hodnocena její klasifikace, produkce a druhy. Čtvrtá kapitola bakalářské práce je věnována souhrnnému popisu pšeničného zrna, jeho anatomické stavby a chemického složení.

V páté kapitole se posuzuje potravinářská pšenice z hlediska její technologické kvality a rozdělení podle užitkových směrů. Šestá kapitola se zabývá zkoumáním technologie mlynářství a v jejích podkapitolách se rozebírá vyhláška Ministerstva zemědělství, která se týká dané problematiky. Dále kapitola cílí na technologii mletí pšenice, míchání a skladování mouk, kvalitu pšeničné mouky, její chemické složení a přípravu pšeničného těsta.

Hlavním cílem bakalářské práce je vypracovat literární rešerši a na jejím základě určit vliv agroekologických podmínek na utváření látkového složení zrna pšenice ve vztahu k mlýnskému a pekařskému využití. V bakalářské práci je využita následující metodika – pomocí literární rešerše určit zastoupení a význam různých obsahových látek v zrně potravinářské pšenice.

Dále v rámci provedené literární rešerše u potravinářské pšenice rozlišit jakostně a technologicky užité směry pekařský (kynuté výrobky) a pečivářský (oplatky a sušenky) a následně uvést, jaký vliv mají jednotlivé látky na procesy zpracování těsta a pečení, jakým

způsobem působí na vlastnosti konečných výrobků a jaké faktory působí na sensorické vlastnosti těchto výrobků.

## **2 CÍL PRÁCE**

Cílem bakalářské práce bylo zpracovat literární přehled na téma vliv agroekologických podmínek na utváření látkového složení zrna pšenice ve vztahu k mlýnskému a pekařskému využití a vypracovat literární rešerši o zastoupení a významu různých obsahových látek v zrně potravinářské pšenice a také o tom, jak jednotlivé látky ovlivňují procesy zpracování těsta a pečení.

### 3. CHARAKTERISTIKA PŠENICE

#### 3.1 Pšenice (*Triticum*)



*Obrázek 1 Pšenice setá (foto z britannica.com)*

Pšenice setá (*Triticum aestivum* L.) je plodina se širokou adaptabilitou, dobrou skladovatelností a vysokou nutriční hodnotou (Wrigley, 2009). Je hlavní složkou různých potravin včetně nudlí, pečiva, sušenek a chleba. Na základě výměry je pšenice nejdůležitější potravinářskou plodinou na světě (FAO, 2017). Představuje hlavní zdroj živin v lidské stravě a je hlavní složkou v široké škále produktů (Shewry & Hey, 2015).

V dnešní době se lidé více zajímají o kvalitu, což nutí zpracovatele používat pšenici se specifickými atributy kvality. Velikost zrna, obsah bílkovin a jejich složení, stejně jako obsah škrobu a jeho schopnost želatinovat jsou důležité proměnné, které určují kvalitu pšenice. A tyto vlastnosti závisí na kultivaru, podmínkách pěstování a dalších faktorech prostředí a interakci mezi kultivarem a prostředím (Panozzo & Eagles, 2000).

Jako potravina je pšenice nejdůležitější plodinou na celém světě, která obsahuje řadu bílkovin, vitamínů a minerálních látek. Významná je energetická hodnota zrna pšenice. Již několik let je základní potravinou na celém světě, zejména v asijských zemích, v Evropě a v severní Africe. Pšenice je dobře přizpůsobena klimatickým podmínkám, které mají zeměpisnou šířku 32 a 61 stupňů na sever, respektive 28 a 40 stupňů na jih. Optimální teplota potřebná pro růst a vývoj úrody pšenice je asi 25–30 °C (Saljok et al., 2016).

Vnitřní vlastnosti činí pšenici mezi obilovinami jedinečnou. Pouze pšeničná těsta vykazují viskoelastické vlastnosti, jež jsou nezbytné pro výrobu kynutého chleba a dalších potravinářských výrobků (Wrigley, 2009). Kvalita pšenice se určuje především na základě čísla poklesu (ČP), obsahu bílkovin a kvality lepku. ČP hodnotí stav enzymového poškození škrobu působením enzymu alfa-amylázy, který určuje kvalitu mouky pro výrobu chleba (Wang et al.,

2008). Načasování, intenzita a trvání dešťových srážek ovlivňuje porostlost zrna spolu s podmínkami prostředí, zejména teplotou (Biddulph et al., 2008). Různé studie odhalily, že ČP může být také ovlivněna hnojením dusíkem. Podobně se zjistilo, že koncentrace a složení proteinu ovlivňují kvalitu pečených výrobků, které jsou navíc určeny geneticky a také jsou ovlivněny podmínkami prostředí (Stewart & Dyke, 1993).

### 3.2 Klasifikace pšenice

Pšenice patří botanicky mezi traviny (*Gramineae*), a patří do čeledi lipnicovité (*Poaceae*) (Příhoda et al., 2003).

**Tabulka 1 Klasifikace pšenice do systému (Příhoda et al., 2003)**

	<b>Český název</b>	<b>Latinský název</b>
<b>Říše</b>	rostliny	<i>Plantae</i>
<b>Podříše</b>	cévnaté rostliny	<i>Tracheobionta</i>
<b>Oddělení</b>	krytosemenné	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Třída</b>	jednoděložné	<i>Liliopsida</i>
<b>Čeleď</b>	lipnicovité	<i>Poaceae</i>
<b>Rod</b>	pšenice	<i>Triticum</i>

Pšenice je vysoká jednoletá rostlina, která dosahuje průměrné výšky 1,2 m (4 stopy). Pšenice je trsová tráva se vzpřímenými vzpěrami. Listy jsou svinuté v přeslenu. Čepele listů jsou hladké u základny a drsné u špičky na horní straně. Spodní strana je zcela hladká. Listová pochva je kulatá a dělená s překrývajícími se okraji a může být hladká nebo chlupatá. Listový límeček je široký a boltce jsou malé a chlupaté. Ligule je zaoblená a zdá se roztřepená. Může mít chloupky. Pšenice má vláknitý kořenový systém (UW, 2021).

Pšeničná rostlina má dva typy kořenového systému. Jeden se nazývá semenný kořenový systém, zatímco druhý je klonální kořenový systém. Celé kořeny rostliny pšenice jsou adventivní a rostlina má trvalý kořenový systém. Po 28–30 dnech vzejítí sazenic semenné kořeny zasychají. Stéblo rostliny pšenice je vzpřímený, válcovitý. List pšeničné rostliny má dvě části: jedna se nazývá pochva a druhá je čepel. Květenstvím je kláskový lichoklas s obilkami s



výraznou podélnou rýhou. Každý klásek obsahuje tyčinku, pestík a semeník. Semeno pšenice se nazývá obilka (obilka semena spojená s oplodím je známá jako obilka). Zrno pšeničné rostliny obsahuje škrob a lepek (Saljok et al., 2016).

Pšenice pochází z Asie. Ačkoli se většinou používá jako obilnina, lze ji použít jako jednoletou pícninu. Pšenice má dobrou zimní odolnost. Snese širokou škálu půd, ale vůbec nesnáší záplavy. Pšenice je jednoletá tráva, která se obvykle sází na konci léta, přezimuje a koncem jara a začátkem léta začíná růst a dospívat (UW, 2021).

### **3.3 Produkce pšenice**

Pšenice je dominantní obilovinou v řadě zemí světa včetně České republiky. Podíl pšenice na produkci všech obilovin má dlouhodobě rostoucí tendenci. Vzhledem k velkému množství druhů odrůd a jejich přizpůsobivosti lze pšenici pěstovat téměř po celém světě.

Celosvětově 79 % celkové produkce pšenice pochází z Číny, Spojených států amerických, Turecka, Kanady, Austrálie, Indie a Argentiny, což představuje přibližně 751 milionů tun ročně (FAOSTAT, 2018). Přírůstky výnosů u pšenice se v současnosti odhadují na přibližně 0,5–1 % ročně, což je méně než 2,4 % požadovaných k uspokojení celosvětové poptávky (Sharma et al., 2012). Aby se udržela rychle rostoucí lidská populace, musí se produkce pšenice do roku 2030 zvýšit alespoň o 50 % (Parry et al., 2011). Kromě toho se globální průměrné výnosy pšenice musí zvýšit ze 3 na 5 t/ha, což je růst o 1,3 % ročně do roku 2050, aby byly uspokojeny všechny požadavky (Rosegrant & Agcaoili, 2010). Zvýšené produkce pšenice lze dosáhnout vývojem a kultivací genotypů s tolerancí vůči abiotickému stresu a zvýšenou účinností využití živin, záření a vody (WUE). Takové genotypy lze vyvinout identifikací a selekcí agronomických a fyziologických znaků, které se přizpůsobují suchu a ovlivňují výnos, a souvisejících lokusů kvantitativních znaků (QTL) (Chen et al., 2012; Liu et al., 2015).

Předběžné prognózy FAO naznačují, že celosvětová produkce pšenice v roce 2021 by mohla dosáhnout nového rekordu 780 milionů tun, protože očekávané oživení produkce v Evropské unii vyrovná pokles produkce v Ruské federaci způsobený počasím (FAO, 2021). V roce 2021 byl výnos pšenice v ČR 6,72 tuny z hektaru, celkem se sklídilo 4,77 milionu tun. (ČTK 2021). Například Čína jako největší světový producent pšenice vyprodukovala v roce 2019 131 milionů tun pšenice a spotřebovala 128 milionů tun v roce 2019, z toho 67,7 % bylo použito na potraviny a 15,0 % na krmivo (OECD-FAO).

#### **3.3.1 Situace v České republice**

Pšenice byla, je a v blízké budoucnosti pravděpodobně bude nejvíce pěstovanou plodinou. Pšenice se stala dominantní obilninou i v České republice. Její produkce se od druhé světové války postupně zvyšovala a od 70. let se stala soběstačná. Důvody pro určitou stabilní oblast pěstování spočívají především v zabezpečení úrody s možností exportu a případných návrhů

intervenčních nákupů (Příhoda et al., 2003; Krivan, 2011). Spotřeba obilovin v přepočtu na mouku se od roku 1993 do roku 2019 prakticky nezměnila, konkrétně poklesla o 2,2 % na 115,6 kg/rok. Největší podíl připadá na pšeničnou mouku, jejíž spotřeba za sledované období vzrostla z 88,5 kg/rok na 97,0 kg/rok (Mácová & Klémová, 2021).

V kategorii mlýnských a pekárenských výrobků došlo ve sledovaném období k výraznému poklesu spotřeby chleba (z 60,3 kg/rok na 39,0 kg/rok) a naopak k nárůstu u pšeničného pečiva (z 38,4 kg/rok na 51,7 kg/rok). Těstoviny také rostly v oblibě, přičemž průměrná populace zkonsumovala 3,3 kg v roce 1993 a 8,1 kg v roce 2019 (Mácová & Klémová, 2021).

### 3.3.2 Sklizeň z roku 2021

Sklizeň ozimé pšenice, která je naší nejvýznamnější obilninou, se za rok 2021 odhaduje na 4 563 tis. tun, o 237 tis. tun méně než loni (-4,9 %). Naopak sklizeň pšenice jarní na úrovni 380 tis. tun se více než ztrojnásobila (+277 tis. tun), a to především díky výraznému rozšíření osevních ploch (ČSÚ, 2021).

**Tabulka 2 Porovnání odhadu sklizní podle stavu k 15. září 2021 s definitivní sklizní 2020 (ČSÚ 2021)**

	Def. výnos 2020 v t/ha,	Odh. výnos 2021 v t/ha,	Rozdíl +/-	Index %	Definitivní sklizeň 2020 v tunách	Odh. sklizeň 2021 v tunách	Rozdíl +/-	Index %
Pšenice celkem	6,14	6,30	0,16	102,6	4 902 414	4 942 409	39 996	100,8
Pšenice ozimá	6,20	6,43	0,24	103,8	4 799 253	4 562 662	-236 591	95,1
Pšenice jarní	4,31	5,05	0,74	117,1	103 161	379 747	276 586	368,1

### 3.4 Druhy pšenice

Pšenice, jak ji známe dnes, je výsledkem tisíciletého vývoje plodin a lidského výběru. Předpokládá se, že prvními pěstovanými druhy pšenice byly Einkorn (*Triticum monococcum* L.) a Emmer (*T. turgidum* ssp. *dicoccum* L.) (Edwards 2010). Oba druhy sloužily jako důležitý zdroj potravy ve starověkých civilizacích. Hybridizační události mezi diploidními druhy vedly ke vzniku tetraploidních pšenic. Hybridizace mezi *T. urartu* ( $2n = 2x = 14$ , AA) a *Aegilops speltoides* ( $2n = 2x = 14$ , SS) vedla ke vzniku Emmeru (*T. dicoccum*;  $2n = 4x = 28$ , AABB) (Faris, 2014).

V průběhu minulého století byla šlechtění pšenice věnována mimořádná pozornost, a to nejen kvůli potřebě zlepšit její vlastnosti pro pekařské využití, ale také zlepšit její pěstitelské vlastnosti (například lepší odolnost vůči mrazu či nedostatku vláhy). Existuje mnoho botanických druhů, které se dělí podle počtu chromozomů (viz. tabulka 3) (Vlachová, 2012).

**Tabulka 3 Přehled druhů pšenice (*Triticum*) (Příhoda et al., 2003)**

Počet chromozómů	Český název	Latinský název
14	jednozrnka	<i>monococum</i>
28	dvouzrnka „tvrdá“, durum polská naduřelá	<i>dicoccum</i> <i>durum</i> <i>polonicum</i> <i>turgidum</i>
42	setá (pekařská) špalda (samopše) shloučená	<i>aestivum</i> <i>spelta</i> <i>compactum</i>

Charakteristické variace různých druhů pšenice jsou důležitými zemědělskými faktory. V pekařství a cukrářství výrazy *silná* a *slabá* označují mouku z tvrdé a měkké pšenice. Termín *pevnost* se používá k popisu typu mouky, přičemž silné mouky jsou preferovány pro výrobu chleba a slabé mouky pro koláče a sušenky. Silné mouky mají vysoký obsah bílkovin a jejich lepek má příjemnou elasticitu, slabé mouky mají nízký obsah bílkovin a jejich slabý, tekutý lepek vytváří měkké, až tekuté těsto. Šlechtitelé pšenice pravidelně produkují nové odrůdy nejen k boji proti chorobám, ale také k uspokojení měnících se požadavků trhu. Mnoho odrůd pšenice si neudrží svou popularitu a často jsou ty, jež jsou oblíbené v jednom desetiletí, nahrazeny jinými odrůdami v desetiletí následujícím (Encyclopaedia Britannica, 2019).

Rod pšenice je tvořen zhruba osmi druhy pšenice. Mezi nejčastěji využívané druhy pšenice patří tři: pšenice setá, pšenice tvrdá a pšenice špalda. Z pěstitelského úhlu pohledu se pšenice lení na jarní a ozimé druhy, zatímco z pohledu zpracovatelů je hlavním kritériem třídění pšenice její měkkost a tvrdost. Pekařská kvalita pšenice je posuzována z hlediska objemu získaného pečiva (Kučerová, 2016).

Výsev **jarní** pšenice probíhá na jaře (například odrůdy Aranka, Granny), výsev **ozimé** pšenice probíhá na podzim (například odrůdy Federer a Ludwig).

Ozimá pšenice se obvykle pěstuje v oblastech středních zeměpisných šířek, kde jsou zimy mírné a chladné, ale bez silných mrazů. Asi 80 % světové pšenice tvoří ozimá pšenice. Jarní pšenice se pěstuje na chladnějším severu, kde může zimní teplota klesnout na 16°C nebo i pod bod mrazu a semena lze vysévat až po kruté zimě (Chand, 2021). Jarní i zimní pšenice se pěstují v různých oblastech Spojených států amerických a Ruska. Zimní odrůdy lze pěstovat pouze tam, kde jsou zimy dostatečně mírné. Tam, kde jsou zimy těžké, jako například v Kanadě, se obvykle pěstují jarní typy a preferované odrůdy dozrávají brzy, což umožňuje sklizeň před mrazem (Encyclopaedia Britannica, 2019).

### **Pšenice setá (*Triticum aestivum*)**

Pšenice setá (neboli měkká), která je určena pro pekárenské účely, obsahuje nejméně 11,5 % N-látek, zatímco pšenice pečivářská disponuje nejvýše 11,5 % zmíněných látek. Pekárenská pšenice setá má bobtnatelnost pšeničných bílkovin určenou Zelenyho testem minimálně 30 ml, nicméně v případě pečivářské pšenice seté tato bobtnatelnost bílkovin nemusí být vysoká. Na druhou stranu, důležitým kritériem kvality pečivářské pšenice seté je vaznost mouky, která musí činit nejméně 54 %. Platí, že pšenice setá se vyznačuje vyšším obsahem škrobu (Kučerová, 2016).

### **Pšenice tvrdá (*Triticum durum* Desf.)**

Tvrdá pšenice (neboli sklovitá), má vyšší obsah lepku. Tento druh pšenice disponuje vyšším obsahem karotenoidů, které určují její jantarovou barvu. Tvrdá pšenice disponuje tuhým, málo bobtnavým lepkem, a proto se používá k výrobě těstovin. Těstářská tvrdá pšenice má mimo jiné odpovídat těmto charakteristikám (Kučerová, 2016):

- obsah lepku – 30 %,
- bobtnavost – maximálně 10 ml.

Pšenice tvrdá je druhým nejvýznamnějším druhem rodu *Triticum L.* Celosvětově se pěstuje na cca 9 % pěstované plochy pšenice. Pšenice tvrdá je tetraploidní odrůda pšenice s 28 chromozomy. V našich podmínkách převládá pěstování ozimých forem, jarní formy odnožují mnohem méně než jarní typy pšenice seté a mají nižší samoregulační schopnost a v důsledku toho i nižší výnos. Pšenice tvrdá je nahozrná, pluchy jsou zpravidla osinaté. Obilka je sklovitá, má jantarovou barvu, což souvisí s vyšším obsahem karotenoidů v endospermu a ovlivňuje i barvu semoliny (hrubá mouka z pšenice tvrdé), která by měla být nažloutlá. Obsah bílkovin je 14–16 %, a to v závislosti na odrůdě a ročníku (Moudrý et al., 2011).

### **Pšenice špalda (*Triticum spelta* L.)**

Pšenice špalda (neboli pluchatá) v porovnání s pšenicí setou obsahuje vyšší objem bílkovin – 14,3 %. Má také větší podíl esenciálních aminokyselin (leucinu, methioninu, tryptofanu a fenylalaninu), tuku (2,9 %) a vitaminů. Lze zmínit, že pšenice je jedinou obilninou, u níž jsou bílkoviny schopny vytvořit viskoelastický gel (popř. lepek), který je nutný pro výrobu kynutého těsta (Kučerová, 2016).

Pšenice špalda vznikla křížením mnohoštěfetu Tauschova (*Aegilops tauschii* syn. *squarrosa* L.) s pšenicí dvouzrnkou (*Triticum dicocon* L.). Je kulturní pluchatou hexaploidní pšenicí se 42 chromozomy (Moudrý et al., 2011). Pšenice špalda obsahuje ~ 58 % sacharidů, 17 % bílkovin, 10 % vlákniny a 3 % tuku, stejně jako minerální látky a vitamíny (Dubat, 2013).

Špaldu lze s úspěchem použít k výrobě těstovin (nejznámější z nich jsou tzv. spätzle). Marconi a kol. (1999) prokázali, že špaldu lze úspěšně použít při přípravě potravinářských těstovin a že její těstovinový potenciál nezávisí přímo na kultivaru, ale spíše na obsahu bílkovin a použitých technologiích sušení. Další výzkum kvality špaldových těstovin ukázal, že pokud je obsah bílkovin > 13,5 % (což odpovídá ~ 15 % obsahu bílkovin v zrnech) a používají se vysoké teploty sušení, lze při výrobě těstovin zpracovat špaldovou mouku s uspokojivou kvalitou vaření (Arendt & Zannini, 2013).

### **Pšenice jednozrnka (*Triticum monococcum* L.)**

Diploidní pšenice jednozrnka (*T. Monococcum*) je starobylá diploidní pluchatá pšenice, jejíž zrno se musí před zpracováním vyloupat. V naší oblasti se pěstují především jarní formy krajových odrůd. Jednozrnka má dlouhé a tenké stéblo, které je náchylné k poléhání. Listy jsou dlouhé a úzké. Rostliny hodně odnožují a výnos je tvořen spíše vyšším počtem menších klasů. Klas je plochý a osinatý. Klásky jsou jednozrné.

Vzhledem ke svým vlastnostem je vhodná k pěstování především v low-input nebo ekologickém zemědělství. Díky vysoké jakosti zrna (vysoký obsah proteinu, vyšší obsah minerálních látek a některých vitaminů) je vhodná k výrobě nekynutých cereálních výrobků s vyšší přidanou hodnotou. Mohou se z ní vyrábět také například vločky, zrno se po obroušení může konzumovat v obdobné úpravě jako rýže. Dalším možným využitím jsou naklíčená zrna, která se používají v makrobiotické výživě. Kromě tradičního využití v potravinářství jsou klasy jednozrnky vhodné také do suchých vazeb (Moudrý et al., 2011).

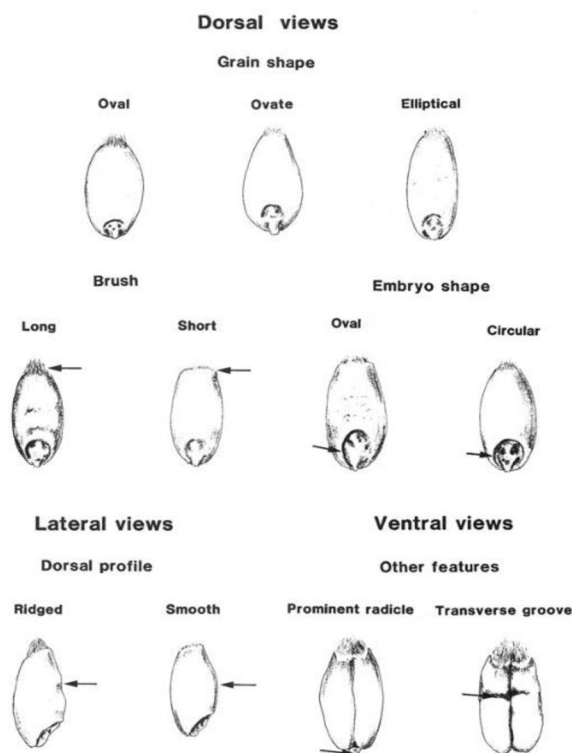
## 4 PŠENIČNÉ ZRNO

### 4.1 Anatomická stavba zrna pšenice

Obecné znaky pšeničného zrna jsou znázorněny na obrázcích 3 a 3.1. Anatomická stavba zrna všech obilovin je zhruba shodná. Zrna se liší především tvarem, velikostí a podílem jednotlivých vrstev. Pšeničná zrna mají obecně oválný tvar, ačkoli různé pšenice mají zrna, která se pohybují od téměř kulovitých až po dlouhé, úzké a zploštělé tvary. Zrno je obvykle dlouhé mezi 5 a 9 mm, váží mezi 35 a 50 mg a má rýhu na jedné straně, kde bylo původně spojeno s květem pšenice (Belderok et al., 2000).

Tvar zrna se liší podle druhu a kultivaru. Jeden systém klasifikace tvarů a povrchových znaků je znázorněn na obrázku 2. Ke změnám dochází také v tloušťce a šířce zrna. V příčném řezu se tvar může pohybovat od trojúhelníkového až po zcela rovnoměrně zaoblený. Ačkoli se tvar a velikost mohou lišit v rámci odrůdy, a dokonce i na stejném klasu, odchylky jsou menší než mezi různými kultivary. Ve šlechtitelských programech po celém světě se používá více než 4000 kultivarů (Khan, 2016).

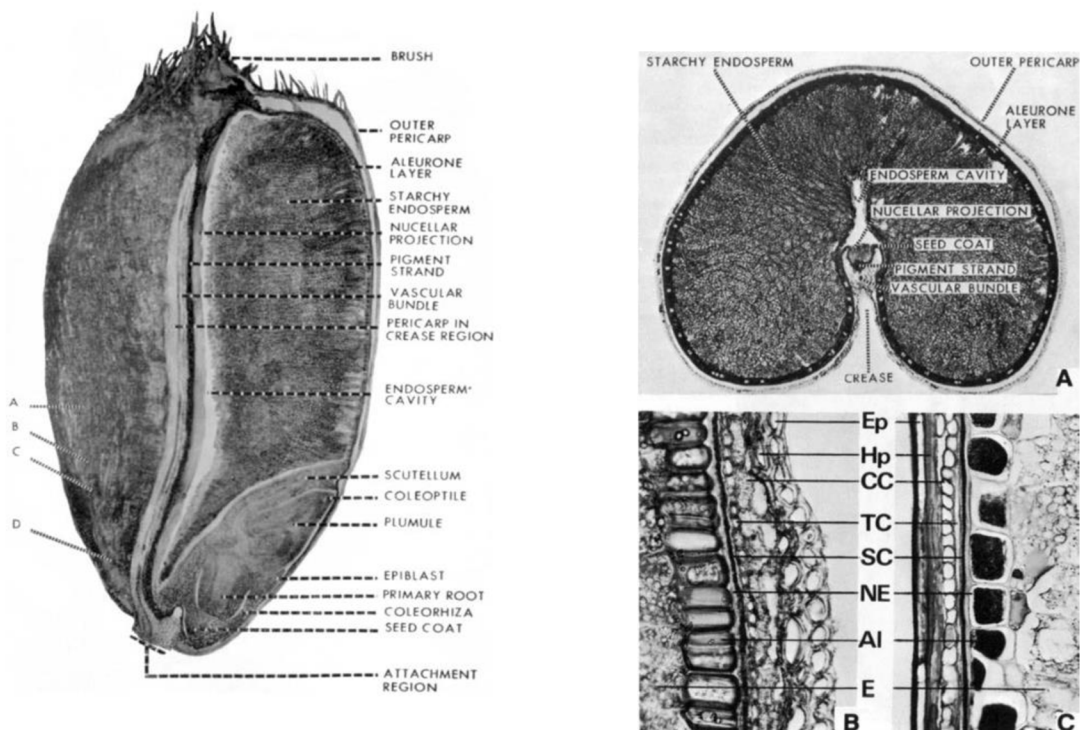
Každá obilka se skládá z obalových vrstev, endospermu aleuronové vrstvy a klíčků (Příhoda et al., 2003). Obalové vrstvy představují asi 14,5 % hmotnosti zrna a obsahují vysoký podíl nerozpustné vlákniny. Hmotnostní podíl jednotlivých částí zrna je u jednotlivých obilovin různý a může se lišit v závislosti na vnitřních a vnějších faktorech. Jednotlivé složky zrna mají různé strukturní, mechanické nebo fyzikálně-chemické vlastnosti a plní své specifické funkce v životě zrna (Pelikán, 2001).



Obrázek 2 Některé variace v morfologii zrna pšenice (Hervey-Murray, 1980)

Struktura zrna je výrazem složení zrna, protože odráží vlastnosti z hlediska fyziologie rostlin. Rostlina nesyntetizuje ani nezačleňuje složky do struktur, pokud nemají specifickou funkci při zachování nebo rozmnožování druhu. Na druhou stranu cereální chemiky a technologie zajímá jiný soubor vlastností – funkce, kterou může zrno nebo jeho frakce plnit při výrobě výživných potravin, které mají dobrou trvanlivost a jsou pro spotřebitele přijatelné (Pomeranz, 1982).

Struktura zrna tak svým způsobem tvoří spojnici mezi složením, které je zdrojem našich základních znalostí o biologických systémech, a využitím těchto složek při výrobě potravin. Pro optimální využití obilných zrn je nutná znalost jejich struktur a složení. Praktické důsledky struktury jádra jsou četné. Týkají se různých kroků produkce obilí, sklizně, skladování, marketingu a dalšího využití (Pomeranz, 1982).



**Obrázek 3** Fotografie pšeničného zrna podélně rozpůleného přes záhyb. Jsou naznačeny morfologické znaky (x22,5) (přetištěno z MacMasters et al., 1971)

**Obrázek 3.1** A) fotografie pšeničného zrna rozpůleného příčně v centrální rovině (x36,4), B a C) mikrofotografie vnějších vrstev pšeničného zrna řezané příčně (B) a podélně (C); Ep = epidermis, Hp = hypodermis, CC = křížová buňka, TC = trubicová buňka, SC = obal semene, NE = nucelární epidermis, AI = aleuronová vrstva, E = škrobový endosperm. (x200) (přetištěno z MacMasters et al., 1971)

### 4.1.1 Obalové vrstvy

Obalové vrstvy tvoří 8–14 % z celkové hmotnosti zrna. Jsou tvořeny vrstvami buněk – oplodím a osemením. Obalové vrstvy v mlýnské technologii označujeme jako otruby (Hrabě et al., 2008).

Oplodí (perikarp) se skládá ze čtyř vrstev: epidermisu, hypodermisu, křížových buněk a trubicových buněk. Zbývající tkáň zrna jsou vnitřní otruby (obal semene a nucelární tkáň), endosperm a embryo (klíček) (Pomeranz, 1982). Oplodí chrání zrna před mechanickými nepříznivými vlivy a poškozením a také krátkodobě omezuje nejen negativní dopad vody, ale také škodlivých látek. Oplodí pokožky jsou složena z nerozpustných a obtížně bobtnajících látek, především z celulózy (Příhoda et al., 2003). Oplodí je tvořeno nejen celulózą, ale také hemicelulózą a ligninem. Kromě toho ve složení oplodí jsou zahrnuty i minerální látky (například popel a popeloviny) a vitaminy (Sluková et al., 2017).

Otruby jsou bohaté na vitamín B a minerální látky, oddělují se od škrobového endospermu během první fáze mletí. Za účelem ochrany zrna a materiálu endospermu obsahují otruby vlákninu nerozpustnou ve vodě. Více než polovinu otrub tvoří vláknité složky (53 %). Chemické složení vlákniny z pšeničných otrub je složité, ale obsahuje v podstatě celulózu a pentosany, polymery na bázi xylózy a arabinózy, které jsou pevně vázány na proteiny. Tyto látky jsou typické polymery přítomné v buněčných stěnách pšenice a vrstvách buněk, jako je aleuronová vrstva. Bílkoviny představují 16 % celkové sušiny otrub, stejně jako sacharidy. Obsah minerálních látek je poměrně vysoký (7,2 %) (Sramkova et al., 2009).

Oplodí plní několik užitečných funkcí:

- kutikula na vnější epidermis omezuje průchod vody;
- ztuhlé parenchymatické buňky tvoří masitou tkáň, která poskytuje ochranu a podporu pro semeno rostoucí uvnitř;
- buňky obsahující chloroplasty mohou provádět fotosyntézu a také ukládat škrob.

Osemení (testa) představují další podpovrchové vrstvy, v nichž se nacházejí barviva (karoteny a xantofyly) určující barvu zrna. V jiných vrstvách zrna pšenice jsou zastoupeny polysacharidické látky, které vstřebávají vodu a umožňují udržování úrovně vlhkosti, jež je pro zrna potřebná. Zmíněné vrstvy zrna jsou pevnou vrstvou, která se po mletí stává součástí otrub (Příhoda et al., 2003).

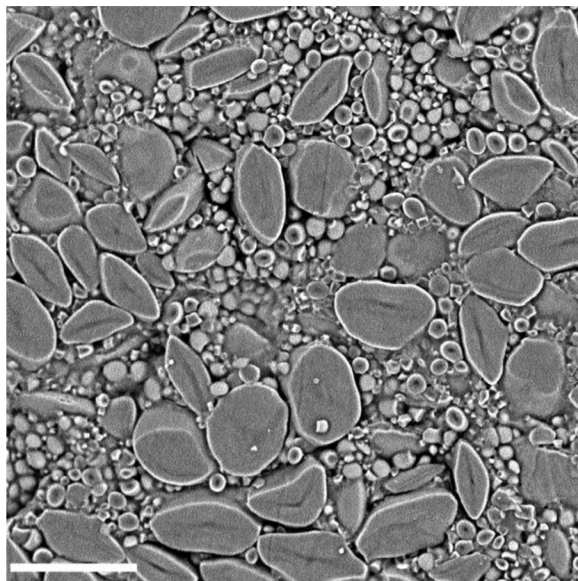
### 4.1.2 Endosperm

Převážnou část zrna (81–84 %) tvoří škrobový endosperm. Jedná se o úložný prostor, jenž je zdrojem energie pro klíčící rostlinu (Campbell, 2007). Energie se ukládá jako proteiny a škrob v buňkách endospermu, což vede k výrazné, velmi husté struktuře (obrázek 4). Kromě škrobu



a bílkovin obsahuje endosperm lipidy a také malé množství glukofruktanů, což jsou ve vodě rozpustné neredukující oligosacharidy (Bushuk, 1993).

Endosperm je moučná část pšeničného jádra a z této části zrna se vyrábí mouka pro pekařský průmysl. Endosperm je potenciální bílá mouka ve středu pšeničného zrna. Při mletí se endosperm láme podél buňky a odděluje se od otrubových vrstev. Snadnost oddělování endospermu od otrubových vrstev je určena vlastnostmi pšenice. Tvrdá pšenice (používaná pro výrobu chleba) umožní snadné oddělení, zatímco endosperm měkké pšenice (používaná pro sušenkovou mouku) se neodděluje tak čistě od otrubových vrstev (Raajeswari)



***Obrázek 4 SEM snímek nakrájeného pšeničného škrobového endospermu ukazující husté balení škrobových granulí, měřítko: 30 µm***

#### **4.1.3 Aleuronová vrstva**

Aleuronová vrstva je umístěna na rozhraní mezi obalovými vrstvami a endospermem a je označována jako vnější endosperm. Jedná se o měkkou vrstvu větších buněk, které se vyznačují jednodušším složením (Sluková et al., 2017). Aleuronová vrstva je jedna vrstva živých buněk, která odděluje škrobový endosperm a klíček od vnějších vrstev (Campbell 2007). Je bohatý na živiny, jako jsou minerální látky, vitamin B a bílkoviny. Přestože je aleuronová vrstva botanicky součástí endospermu, obvykle se odděluje od škrobového endospermu spolu s vnějšími vrstvami během mletí (Posner & Hibbs, 2005).

Součástí aleuronové vrstvy jsou hlavně bílkoviny a enzymy, je v ní přibližně třikrát více bílkovin než v endospermu, ale jde o strukturně nižší molekulární bílkoviny, které jsou rozpustné ve vodě. Zmíněná vrstva se považuje za významný zdroj vlákniny (jde o tzv. xylany, beta-glukany a arabinoxylany) a obsahuje fytové kyseliny, rostlinné steroly a polyfenoly (Sluková et al., 2017).

#### 4.1.4 Klíček

Klíček (embryo) je vlastním zárodkem nové rostliny a nositelem genetické informace (Kadlec et al., 2009). Klíček leží na jednom konci zrna. Je bohatý na bílkoviny (25 %) a lipidy (8–13 %). Obsah minerálních látek je také poměrně vysoký (4,5 %). Pšeničné klíčky jsou dostupné jako samostatná entita, protože jsou důležitým zdrojem vitamínu E. Pšeničné klíčky mají pouze polovinu glutaminu a prolinu než mouka, ale hladiny alaninu, argininu, asparaginu, glycinu, lysinu a threoninu jsou dvojnásobné (Cornell 2003).

Při mlýnském zpracování se klíček odděluje. Oddělování klíčků je také usnadněno tím, že klíček přijímá vodu rychleji a bobtná snadněji než endosperm. Deformace vyplývající z rozdílného bobtnání přispívají ke snadné separaci při mletí (Pomeranz, 1982).

Klíček je samostatná struktura a lze jej obecně snadno oddělit od zbytku obilného zrna. Skutelární epitel (umístěný vedle endospermu) má však prstovité buňky, které jsou u pšenice spojeny jedna s druhou asi v jedné třetině své délky. Volné konce vyčnívají směrem k sousedním škrobovým endospermovým buňkám. Vyčnívající epiteliální buňky mohou vylučovat amorfni cementační materiál mezi zárodkem a endospermem. Pokud část tohoto materiálu vyčnívá do prostorů mezi prstovými buňkami epitelu štítku a do záhybů struktury štítku, může být obtížné oddělit zárodek od endospermu, pokud není tmelící materiál změkčený. Změkčení může být provedeno buď máčením jako při mokřém mletí kukuřice, nebo kondicionováním jako při mletí pšenice (Pomeranz 1982).

## 4.2 Chemické složení pšeničného zrna

Pšeničné zrno má složité chemické složení (viz tabulka 4). Zralé zrno se skládá ze sacharidů, dusíkatých látek (hlavně bílkovin), lipidů (tuků), minerálních látek a vody spolu s malým množstvím vitamínů, enzymů a dalších látek, z nichž některé jsou důležitými živinami v lidské stravě. Chemické složení pšeničného zrna značně kolísá podle oblastí, odrůdy, klimatických podmínek, hnojení, doby setí, agrotechniky, výživy a celé řady dalších faktorů (Kučerová J., 2004).

Potravinářská hodnota pšenice je dána technologickými vlastnostmi zrna v kombinaci s kvalitními senzorickými vlastnostmi. Nutriční složky zrna poskytují energii, stavební materiál a hrají regulační roli. Hlavní energetickou složkou jsou sacharidy a tuky, v menší míře i bílkoviny. Mezi složky, jež tvoří stavební materiál, patří hlavně bílkoviny a minerální látky (Slavíčková R., 2010). Nutriční hodnotu určuje také obsah esenciálních aminokyselin (lysinu, methioninu, tryptofanu), jejichž podíl v pšenici je poměrně nízký. Pšeničné zrno obsahuje relativně málo vitamínů, pouze vitaminy skupiny B jsou zastoupeny ve významném množství (Slavíčková R., 2010).

**Tabulka 4 Obsah jednotlivých složek pšenice v % (při 15 % vlhkosti obilí)  
(Vlachová Z., 2012)**

	<b>Sacharidy</b>	<b>Bílkoviny</b>	<b>Lipidy</b>	<b>Minerálie</b>	<b>Vláknina</b>
<b>Triticum aestivum</b>	61,3	12,8	2,4	1,3	2,1
<b>Triticum durum</b>	65,0	13,2	2,4	1,7	2,5
<b>Triticum spelta</b>	65,0	17	2,4	1,9	2,8

#### **4.2.1 Voda**

Voda je důležitou složkou obilných zrn, protože za její účasti probíhají všechny biochemické a fyziologické procesy, ke kterým dochází během růstu, zrání a skladování. Voda v zrně je přítomna v množství 10–14 %. Z technologického hlediska – podle obsahu vody – se rozlišuje mokré (více než 17 % vody), vlhké (více než 15,5 % vody), středně suché (více než 14 % vody) a suché zrně (do 14 % vody) (Kučerová, 2004). Vlhkost zrna by neměla klesnout pod 9 %, protože se může zhoršit jeho klíčivost. Pokud je naopak nad 15 %, aktivita mikroorganismů na povrchu zrna se zvyšuje, což zhoršuje jeho kvalitu (Skládal, 1963).

#### **Role vody při výrobě pečiva**

Voda hraje významnou roli při pečení. Voda napomáhá procesu fermentace a podporuje tvorbu lepkové sítě. Kromě toho je voda nezbytná pro želatinaci škrobu. Voda je nezbytnou součástí složení pšeničného výrobku a pomáhá následujícím způsobem:

- nejdůležitější funkcí vody je tvorba chlebového lepku z mouky, díky kterému je těsto pružné;
- pomáhá při kontrole viskozity nebo tuhosti těsta;
- pomáhá při trávení škrobu;
- pomáhá při kontrole teploty těsta a také přispívá ke správnému vmíchání menších přísad do mouky;
- pomáhá v procesu fermentace.

Voda umožňuje tvorbu lepkových bílkovin, hydratuje těsto a vytváří páru během pečení. Množství vody v těstě je třeba pečlivě kontrolovat. Většina chlebového těsta obsahuje 25–40 % vody ve srovnání s množstvím mouky (Potter, 2010). Méně vody znamená hutnější chléb, více vody znamená lehčí chléb, který při pečení více nakyne (Claire, 2014).

#### 4.2.2 Sacharidy

V obilném zrně lze nalézt pestrou paletu sacharidů od jednoduchých cukrů až po vysokomolekulární polysacharidy (Příhoda et al., 2003). Sacharidy se dělí na monosacharidy, oligosacharidy a polysacharidy v závislosti na počtu navázaných jednotek v molekule. V oligo- a polysacharidech jsou monosacharidové jednotky vzájemně spojeny glykosidovou vazbou. Jedná se o vazbu spojující anomerní atom uhlíku s kyslíkovým atomem acetalu (Hoza & Kramářová, 2007). Sacharidy jsou nejdůležitější součástí pšeničného zrna. Patří sem především škrobová celulóza, hemicelulózy, pentosany, slizy, oligosacharidy, monosacharidy a komplexy s proteiny a dále glykoproteiny (Prugar, 2008). Hlavní skupiny sacharidů v obilce jsou uvedeny v tabulce 5.

Obsah sacharidů u jednotlivých odrůd se může výrazně lišit a je ovlivňován místními klimatickými a půdními podmínkami v daném roce a dodržováním agrotechnických opatření. Dosud neexistuje odpovědně sestavený statistický přehled, který by nám poskytl buď průměrný obsah sacharidů v obilovinách pro některé země nebo celý svět, či reprezentativní rozsah tohoto obsahu. Proto se musíme spokojit s názornými údaji o obsahu nalezenými různými autory (Příhoda et al., 2003).

Při předběžné analýze je však obvyklé uvádět sacharidy ve dvou částech (Kent, 1983):

- hrubá vláknina – odhaduje se jako část sacharidů (plus lignin), která je za předepsaných podmínek nerozpustná ve zředěných kyselinách a zásadách;
- rozpustné sacharidy – vypočítají se jako zbytek po započtení hrubé vlákniny, dusíkatých sloučenin, lipidů a minerálních látek.

**Tabulka 5 Obsahy hlavních skupin sacharidů v některých obilovinách podle zjištění různých autorů (upraveno podle Příhoda et al., 2003)**

Typ sacharidů	Zrno	Mouka	Otruby
Volné cukry %	2,1–2,6	1,2–2,1	7,6
Škrob %	53	65–74	14,1
Amylosa % ze škrobu	17–27	-	-
Celulosa %	-	0,3	35
Hemicelulosy %	-	2,4	43
Pentosany %	1,4–2,0; 2,3–2,4; 6,0;	1,1–1,6; 1,6–2,1	21,6–26,5
B-glukany %	0,34–1,4; 0,54; 1,4	-	-
Vláknina potravy %	9,9–11,6; 11,8–12,1; 14,6 ± 1,1	2,3–5,6	42,6
Rozp. vláknina %	2,1	1,7	-

#### 4.2.2.1 Monosacharidy a oligosacharidy

Mono- a oligosacharidy se v zrně vyskytují pouze v nepatrném množství (1–3 %) (Kopáčová, 2007).

**Monosacharidy** vznikají v zelených rostlinách při fotosyntéze, kdy jsou syntetizovány z oxidu uhličitého a vody za uvolňování kyslíku. Energií potřebnou pro tuto reakci poskytuje sluneční záření. Monosacharidy jsou základními stavebními jednotkami oligo- a polysacharidů. Volné monosacharidy se ve zralých obilných zrnech nacházejí jen v nepatrném množství, a to především v klíčku. Do mouky se jich dostává jen málo (max. 1–3 %). Nejdůležitějšími monosacharidy v obilovinách jsou pentózy a hexózy (Kadlec et al., 2009). Pentózy (arabinóza, xylóza a ribóza) se nacházejí v obalových a buněčných stěnách endospermu a jsou součástí vysokomolekulárních pentozanů. Arabinóza i xylóza se v obilí nacházejí pouze ve formě jejich derivátů xylanů a arabinoxylanů. Hexózy (glukóza a fruktóza) se v pšeničném zrně vyskytují jen v nepatrném množství. Glukóza je hlavní složkou při tvorbě škrobu a celulózy. Hexózy jsou stavebními kameny polysacharidů (Pelikán, 2001; Hampl, 1970).

**Oligosacharidů** existuje velké množství, pro naše technologie jsou nejznámější a nejvýznamnější maltóza (složená ze dvou molekul glukózy vazbou  $\alpha$ -1,4) a sacharóza (řepný cukr tvořený molekulou glukózy a fruktózy). Ve zralém, neporušeném a suchém zrně se vyskytují ve velmi nízkých koncentracích. Vyšší množství sacharózy obsahuje pouze klíček. Obsah sacharózy v obilkách pšenice se pohybuje kolem 0,6 %, maltózy mezi 0,2–2 %. Maltóza vzniká jako předposlední produkt hydrolyzy škrobu (před glukózou) a je více zastoupena v narušeném škrobu. Samotná sacharóza není přímo zkvasitelná kvasinkami alkoholového kvašení, ale po hydrolyze vzniká směs glukózy a fruktózy (invertní cukr), které jsou přímo fermentovány. Invertní cukr má stejné základní složení jako med, takže se oba mohou používat při výrobě perníku (Příhoda et al., 2003; Kadlec et al., 2009).

#### 4.2.2.2 Polysacharidy

Biochemická role polysacharidů v rostlinách a v semenech je omezena na dvě základní funkce: zásobní a stavební. Zásobní polysacharidy, jejichž typickým představitelem je škrob, jsou pro organismy zdrojem energie. Stavební polysacharidy tvoří základ rostlinných buněčných stěn a, a proto jsou nosnou kostrou rostlinných pletiv. Jejich zástupci jsou například celulóza, hemicelulózy, lignin aj. Jsou to látky nerozpustné ve vodě. Polysacharidy obilných zrn se dělí na škrob a skupinu neškrobových polysacharidů. Arabinoxylan (AX),  $\beta$ -glukan, celulóza a nesacharidová složka lignin jsou převládajícími polymery v obilovinách. Vyskytují se v různém poměru v závislosti na druhu a typu tkáně (Příhoda et al., 2003a; Příhoda et al., 2003).

#### Škrob

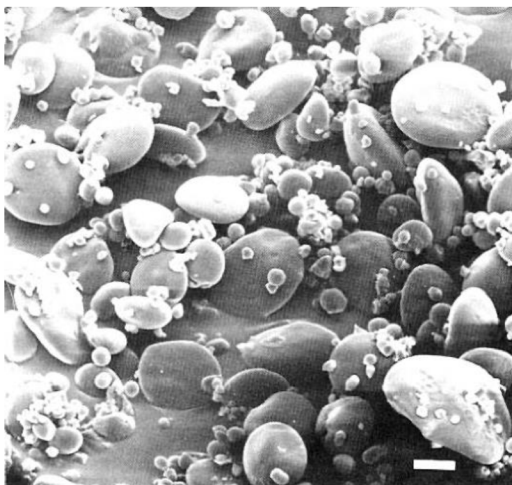
Škrob je sacharid produkovaný zelenými rostlinami jako zásobní látka pro energii. Je jedním z fyziologicky, technologicky a ekonomicky nejdůležitějších polysacharidů pro skladování v rostlinách. Vzniká jako konečný produkt fotosyntézy. Ukládá se v zásobních orgánech rostlin ve formě škrobových zrn (Šícho, 1969). Škrob je nejhojnější složkou endospermu, tvoří asi 63–72 % pšeničné mouky a ovlivňuje strukturu pečených výrobků. V obilovinách slouží škrob jako zásobní sacharid, který je uložen ve škrobových granulích. Škrob je v podstatě polymer glukózy. Na obrázku 5 lze pozorovat, jak vypadají granule pšeničného škrobu pod elektronovým mikroskopem (Trittinger, 2019).

Mezi nejvýznamnější fyzikální vlastnosti škrobu patří schopnost bobtnání, mazovatění a retrogradace. Škrobová zrna jsou ve vodě nerozpustná. Ve studené vodě mírně bobtnají, absorbují asi 30 % vody (vztaženo na hmotnost škrobu). Bobtnání se však zvyšuje s rostoucí teplotou a pokračuje při stejné teplotě v průběhu času. Prvotní význam pro pekařské účely spočívá především v tom, že po ochlazení výrobku se vytváří pružný škrobový gel, který je hlavním nositelem vláčnosti a vody obsažené ve střídě chleba (Příhoda et al. 2003). Škrob může být biochemicky hydrolyzován tzv. amylotickými enzymy – amylázami. Jde o enzymy třídy hydroláz, které katalyzují hydrolytické štěpení glykosidových vazeb mezi molekulami glukózy v polymerních řetězcích molekul amylozy a amylopektinu (Příhoda et al., 2003a). Běžný

pšeničný škrob se typicky skládá z přibližně 25 % amylozy a 75 % amylopektinu (Trittinger 2019).

Obsah amylozy ve škrobu je 20-25 %. Rozpouští se v teplé vodě na méně viskózní roztok. Ve studené vodě bobtná. Molekula amylozy se skládá z dlouhého lineárního řetězce D-glukopyranosy, který je tvořen z 25–1000 glukózových jednotek spojených glykosidickou vazbou  $\alpha$  (1→4) (Hrabě & Komár, 2003). Při kyselé hydrolýze se amyloza štěpí na glukózu působením enzymů amylolytické amyloazy. Molekulová hmotnost klesá a tvoří se dextriny s nízkou molekulovou hmotností, rozpustné ve vodě, ale nerozpustné v alkoholu. Dextriny také vznikají při zahřívání škrobu, například při pečení chleba. Při intenzivním zahřívání mohou dextriny hnědnout a karamelizovat (Šicho, 1969).

Obsah amylopektinu ve škrobu je 75–80 %. Ve studené vodě se nerozpouští a silně bobtná. Lubrikuje v horké vodě a vytváří viskózní roztok, který se po ochlazení změní na gel. Amylopektin má nepravidelně rozvětvenou strukturu, kterou tvoří jednotky D-glukopyranózy spojené vazbou  $\alpha$  (1 → 4) a v některých případech vazbou  $\alpha$  (1 → 6) (Prugar et al., 2008). Amylopektin obvykle obsahuje více vázané kyseliny fosforečné než amyloza. V důsledku toho má vysokou viskozitu (HAMPL, 1988). Hydrolýza amylopektinu poskytuje nízkomolekulární dextriny, maltózu a isomaltózu. Hydrolýza závisí na typu použitých enzymů amyloazy (Šicho, 1969).



*Obrázek 5 Elektronový mikrosnímek granulí pšeničného škrobu (Hoseney, 1994)*

### **Role škrobu při pečení**

Ukázalo se, že rozdíly v distribuci velikosti částic pšeničného škrobu a množství poškozených škrobových granulí jsou důležité pro výkon pečení. V technologii pečení je škrob většinou spojován se stárnutím, tedy s procesy, které jsou zodpovědné za stárnutí chleba (Kuktaite, 2004). Rozkladem škrobu amyázami vznikají zkvasitelné cukry pro fermentaci kvasinek. Kromě toho hraje škrob zásadní roli při výrobě optimálního viskoelastického těsta tím, že ředí lepek a působí jako rezervoár pro absorpci vody (Pandey 2014). V přítomnosti tepla a nadměrné

vlhkosti procházejí granule škrobu přeměnou. Řada změn vede ke ztrátě molekulárních řádů škrobových granulí. Tento nevratný proces se nazývá želatinace škrobu (Trittinger 2019).

Želatinace škrobu zahrnuje bobtnání granulí a téměř současně se vyskytující ztrátu polarizačních křížů v důsledku tání krystalů. Želatinace nastává tehdy, když je škrob zahříván v přebytku vody, což vede k velkému zvýšení viskozity, která je základem pro tuhnutí těsta v procesu pečení. Škrobová zrna procházejí během želatinace několika změnami, z nichž nejdůležitější je částečný rozpad škrobových granulí spolu s jejich nabobtnáním až na několiknásobek původní velikosti (Ahmed & Auras, 2011). Amylopektin je odpovědný za absorpci vody, bobtnání a slepování škrobových granulí. Nicméně amyulóza má tendenci během želatinace unikat ze škrobových granulí a přispívá k tvorbě škrobových gelů, což ovlivňuje strukturu konečného produktu. Želatinace škrobu prudce zvyšuje viskozitu těsta a vytváří trhliny v buněčných membránách, které brání smrštění chleba při ochlazení po upečení (Pandey, 2014).

Poměr amyulózy k amylopektinu a jejich molekulární struktura určuje kvalitu, texturu a stabilitu konečných výrobků, protože ovlivňuje rozpustnost, gelatinizaci a retrogradační vlastnosti škrobu (Blazek & Copeland 2008). Normálně je poměr mezi amyλόzou a amylopektinem přibližně 25 : 75 a zdá se, že se mezi odrůdami příliš neliší. Ale škrobové mutanty se 100 % amylopektinem byly nalezeny v pšenici. Dnes jsou tyto druhy komercializovány a používají se pro speciální produkty, nikoli však pro kynuté pečivo a kynuté pečené výrobky, protože se z nich vyrábí chléb se špatnými vlastnostmi střídky (Pandey 2014).

### **Poškození škrobem**

Významný vliv tvrdosti na kvalitu pečiva je připisován vyššímu poškození škrobu při mletí. Toto poškození zvyšuje jak absorpci vody, tak hydrolýzu škrobu na zkvasitelné cukry, které přispívají k objemu bochníku. Poškozený škrob absorbuje 2–4násobek své hmotnosti ve vodě ve srovnání s 0,4násobkem nativního škrobu. Poškozená škrobová granule jsou také vystavena preferenčnímu napadení některými specifickými enzymy (například amylázami). Optimální hodnota poškození škrobem se liší podle použití mouky a velmi závisí na obsahu bílkovin v mouce. Granule vykazují elastické vlastnosti, jež vedou k různým typům poškození, jako jsou například praskliny. Byly zaznamenány dva faktory, které vedou k poškození škrobu (Dubois, 1949):

- povrchový faktor – odpovídá poškrábání povrchu drážkovaných mlecích válců;
- vnitřní faktor – objevuje se během redukční fáze, když jsou granule rozbity nebo zploštěny.

Malé granule škrobu jsou mnohem náchylnější k poškození během mletí v kulovém mlýnu. K vysvětlení pozorovaného rozdílu v náchylnosti k poškození Kulp (1972) poznamenal, že menší granule v pšenici vykazovaly větší inherentní nedokonalosti než ty větší.



K poškození škrobu dochází v důsledku pronikání trhlin do škrobových granulí. Podle lomové mechaniky k tomu dochází, pokud je částice (nebo granule škrobu) méně tuhá než rozhraní matrice–částice. V opačném případě bude trhlina vychýlena k rozhraní (Topin et al., 2008). Menší granule se silnějšími spojovacími oblastmi a křehkou strukturou mohou být skutečně náchylnější k poškození. Fáze mletí vede k přibližně 20% poškození škrobu. Mlynář může ovlivnit obsah poškození škrobem v mouce výběrem pšenice, přípravou zrna a nastavením a úpravami mlýna (Dubat, 2007).

### **Alfa-amyláza**

Alfa-amyláza je enzym, který způsobuje štěpení molekul amylozy i amylopektinu zevnitř na celky o nízkém počtu glukózových jednotek. Její aktivita je ve zralých neporušených obilkách dosti nízká. Pokud však dojde k naklíčení zrna v důsledku chybného režimu skladování zrna nebo na poli během sklizně, její aktivita silně vzroste. Pšenice s narušeným škrobem, respektive z ní vymletá mouka může být pro zpracování zcela nevhodná. Pokud jsou v mouce již narušená zrna škrobu a vysoká aktivita alfa-amylázy, dochází rychleji k hydrolýze škrobu již během fermentace v těstě, což má za následek příliš rychlou tvorbu nízkomolekulárních cukrů a lepkavost těsta (Příhoda et al., 2003).

Vysoká alfa-amyláza v pšenici vede k výnosu zrna a ekonomickým ztrátám a snížené kvalitě, včetně nízké viskozity, lepkavé střídky a sražených bochníků. V procesu výroby chleba vede nadměrné množství přirozené aktivity  $\alpha$ -amylázy v pšenici k rychlejšímu odbourávání škrobu v mouce během míchání a fermentace, což způsobuje snížení kapacity zadržování vody. To nakonec vede k lepkavému těstu, zmenšení objemu bochníku, kompaktnímu vnitřku a tmavé kůrce v procesu výroby chleba. Pekařský průmysl používá  $\alpha$ -amylázu ke zlepšení texturních vlastností chleba a ke snížení elasticity;  $\alpha$ -amyláza zmírňuje negativní účinky vysoce poškozeného škrobu na vlastnosti těsta (Zhao & Ma, 2018).

### **Beta-amyláza**

Beta-amyláza působí naopak z vnějšku makromolekul amylozy a amylopektinu. Způsobuje tedy postupné odštěpování molekul maltózy od konce polymerních řetězců. Vzhledem k tomu, že maltóza je disacharid, nazýváme tento enzym zcukřující (Příhoda et al., 2003a). Beta-amylázy působí na neredukující konec škrobu, glykogenu a příbuzných polysacharidů a oligosacharidů a štěpí  $\beta$ -maltózu (dvě jednotky glukózy) inverzí. Beta-amyláza během zrání rostliny štěpí škrob na maltózu. (Eck, 2013).

Beta-amylázy jsou velmi důležité při výrobě potravin pro svou zásadní roli při uvolňování snadno zkvasitelných cukrů ze škrobu obilných zrn. Tento cukr (maltóza) je fermentován kvasinkami s uvolňováním alkoholu a plynu při výrobě chleba. Pšeničná beta-amyláza je důležitá zejména při výrobě chleba pro udržení konstantní produkce plynu. Přidávání beta-amylázy do těsta se projevuje prodloužením čerstvosti, zvýšením množství fermentačních cukrů, schopných tvořit plyny po celou dobu technického procesu uvnitř řetězců amylopektinu a také při získávání konečných produktů s výraznější barvou kůrky.

Snížení konzistence těsta přidáním amyláz vede ke zvýšení extenzivního charakteru a snížení odolnosti těsta. Toto chování je způsobeno skutečností, že maltóza získaná hydrolyzou škrobu má dehydratační účinek na lepek. Množství volné vody v těstě se zvýší, což sníží konzistenci. Amyláza se deaktivuje v peci před želatinací (David et al., 2014).

#### 4.2.2.3 Neškrobové polysacharidy

Neškrobové polysacharidy (NSP) jsou přítomné v buněčných stěnách, tvoří asi 11 % suché hmotnosti zralých pšeničných zrn a jsou hlavními složkami frakce vlákniny v pšenici. NSP jsou různorodou skupinou sacharidů, které tvoří součást struktur rostlinných buněčných stěn. Mezi hlavní NSP patří celulóza, arabinoxylan (AX),  $\beta$ -glukan a arabinogalaktan (Andersson et al., 2013). Obsah a složení neškrobových polysacharidů buněčné stěny se v jednotlivých částech zrn liší: ve formě arabinoxylanu (60 %), celulózy (25 %) a ligninu (~ 10 %) buněčné stěny tvoří asi 35–40 % suché hmotnosti aleuronu a obsahují hlavně arabinoxylan (AX) (65 %) a  $\beta$ -glukan (30 %) (Bacic & Stone, 1981).

**Vláknina.** Pšenice je důležitým zdrojem vlákniny. Otruby obsahují nejvyšší podíl vlákniny, proto má chléb upečený z bílé mouky nižší obsah vlákniny než chléb hnědý. S moderními mlecími technikami, které se používají pro zpracování bílé mouky, se ale většina otrub ztratí. (Fox & Cameron, 1995). Nejjednodušší způsob, jak zvýšit obsah vlákniny v chlebu, je částečně nahradit bílou mouku celozrnnou moukou. Mohou se také přidat obiloviny, jako jsou oves, ječmen, proso a žito, ale použití těchto zrn jako zdroje vlákniny má některé nedostatky: výsledný chléb obvykle nemá pěkný vzhled a navíc nenabízí lákavou chuť. Mezi vlákniny patří například celulóza, hemicelulóza, pektin nebo lignin (Waring, 1998).

**Celulóza** je nerozpustná dietní vláknina bílé barvy, bez specifické chuti a vůně. Celulózová vlákna spolu s dalšími neškrobovými polysacharidy tvoří buněčné stěny a v rostlinách jsou základním stavebním materiálem fixujícím rostlinná pletiva. V obilkách pšenice jsou tyto látky přítomny zejména ve vrchních obalových vrstvách (Ang et al., 2005; Příhoda et al., 2003). Celulóza je lineární molekula s vyčnívajícemi hydroxylovými skupinami. Přítomnost hydroxylových skupin podporuje vodíkové vazby s molekulami vody, takže celulóza je schopna absorbovat velké množství vody. Pokud se celulóza přidává do receptury chleba, má často za následek změny v reologických vlastnostech pšeničného těsta a má dopad na kvalitu chleba. Mezi tyto změny patří (Lallemand Inc., 1997):

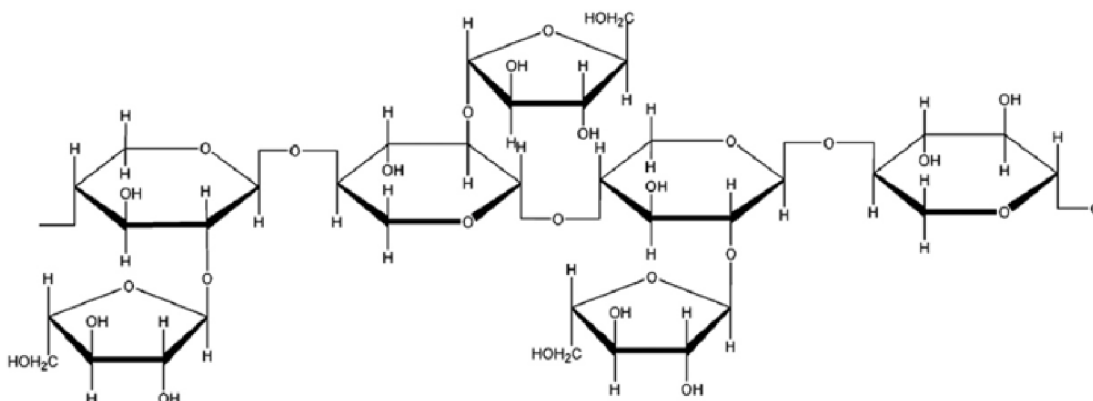
- zvýšení absorpce vody těstem;
- oslabení těsta;
- nižší tolerance zpracování;
- snížený objem bochníku.

Pokud se přidá více než 10 % vlákniny, doporučuje se upravit složení chleba. V tomto případě by mohla být použita mouka s vysokým obsahem bílkovin nebo přísad, jako je vitální lepek, aby se získalo silnější těsto, a tak se vyrobil chléb dobré kvality. Dalším důvodem

přidávání vlákniny do chleba je snížení obsahu kalorií. Celulóza se často používá v nízkokalorických potravinách, protože má zvětšující účinek (Ang et al., 2005).

**Beta-glukany** jsou tzv.  $\beta$ -vázané polysacharidy monomerů glukózy, které mají různorodou skupinu molekul, jež se mohou lišit s ohledem na molekulovou hmotnost, rozpustnost a viskozitu. V pšenici se  $\beta$ -glukany nachází hlavně v aleuronových buněčných stěnách pšeničných otrub. Hladiny  $\beta$ -glukanů v pšeničných otrubách jsou nízké (~ 2 %), představují < 1 % celkového obsahu vlákniny v celé pšenici. Vzhledem ke své nízké koncentraci v pšenici přispívají  $\beta$ -glukany pravděpodobně relativně málo prostřednictvím zdravotních atributů ve srovnání s ovsem a ječmenem. V těchto zrnech jsou  $\beta$ -glukany považovány za důležitou rozpustnou vlákninu, která je spojena se snižováním hladiny cholesterolu v séru a se zmírněním glykemické odezvy. Tyto účinky mají původ v horním gastrointestinálním traktu a pravděpodobně souvisí s viskozitou  $\beta$ -glukanu (Sapirstein 2016).

**Hemicelulózy (pentosany):** Asi 75 % buněčné stěny buněk endospermu pšenice se skládá z pentosanu, většinou ve formě arabinoxylanu. Pentosany jsou polymery arabinózy a xylózy (Kent, 1983). Jde o pestrou skupinu látek, kterou lze rozdělit na pentosany nerozpustné ve vodě tzv. hemicelulózy – a na rozpustné pentosany neboli slizy. Obsah pentosanů v obilovinách je velmi rozdílný. Obzvláště bohaté jsou na ně žitné mouky (4–7 %), například ve srovnání s pšeničnými (1–3 %) (Příhoda et al., 2003). Pentosany představují minoritní složku pšeničného endospermu (2–3 %), přesto byly studovány mnoha výzkumníky z hlediska konečného produktu a jejich specifického účinku na vlastnosti těsta a chleba. Část pentosanů v endospermu nebo moučné části jádra je snadno extrahovatelná vodou. Zbývající část je extrahována alkálií. Struktura pentosanů endospermu pšenice (arabinoxylan) je uvedena na obrázku 6.



**Obrázek 6 Chemická struktura arabinoxylanu**  
([https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structure-of-arabinoxylan\\_fig2\\_232731171](https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structure-of-arabinoxylan_fig2_232731171))

## Arabinoxylany

Arabinoxylany jsou přítomny hlavně v buněčných stěnách endospermu, otrub a slupek. V buněčných stěnách endospermu pšenice tvoří AX asi 85 % NSP, v otrubách tvoří AX asi 70 % všech NSP. Protože AX jsou složeny z pětiuhlíkových jednotek xylózy a arabinózy, jsou často označovány jako pentosany. AX mají velký vliv na vlastnosti těsta a kvalitu pečených výrobků, protože mají vysokou schopnost absorbovat vodu a také schopnost tvořit gely. AX v pšenici lze klasifikovat na základě jejich extrahovatelnosti. V pšeničné mouce je celkový obsah AX asi 1,5–2,5 %, z čehož 25–30 % je extrahovatelných vodou (WE-AX). Zbývající frakce jsou vodou neextrahovatelné AX (WU-AX) (Adams, 2015; Courtin & Delcour, 2002).

### Role AX v kvalitě pečení

AX může zlepšit nebo snížit kvalitu pečiva v závislosti na jeho extrahovatelnosti a požadovaném konečném produktu. Po přidání do těsta zvyšuje absorpci vody a prodlužuje dobu vývoje těsta. AX ovlivňují kvalitu tím, že mají vliv na strukturu potravin, trvanlivost, kapacitu zadržování vody a stabilitu pěny (Anderson & Simsek, 2018). Mezi hlavní vlastnosti měkké pšeničné mouky patří nízký obsah bílkovin a nízká absorpce vody. Mezi typické produkty vyrobené z měkké pšenice patří sušenky, pečivo a koláče. Zvýšení viskozity těsta snižuje šíření sušenek, a tím snižuje kvalitu produktu. Z tohoto důvodu se ani WE-AX ani WU-AX nepovažují za žádoucí složky mouky pro výrobu sušenek, protože obě zvyšují viskozitu. Obecně platí, že WE-AX pozitivně koreluje s kvalitou tvrdé pšenice a negativně koreluje s kvalitou měkké pšenice (Pareyt & Delcour, 2008).

### 4.2.3 Bílkoviny

Pšeničné bílkoviny mají velký technologický význam a jsou důležitým zdrojem energie a nezbytnou složkou naší stravy. Mají schopnost hydratace, čímž zvětšují svůj objem a následně i objem těsta a tvoří s ostatními složkami mouky pevný gel, který vytváří „kostru“ těsta a dodává mu pružnost a tažnost. Pšeničná mouka je pro výrobu pečiva nepostradatelná (Hussain, 2009; Sluková, 2017).

Bílkoviny neboli proteiny jsou biopolymery, jejichž molekuly dosahují někdy obrovských rozměrů. Relativní molekulová hmotnost těchto látek dosahuje hodnot řádově stovek tisíc až milionů. V přírodě existuje obrovské množství různých proteinů, které se liší svou strukturou a vlastnostmi. V zásadě jsou však všechny vybudovány stejně. Molekuly bílkovin se vždy skládají z různě dlouhých řetězců aminokyselin spojených tzv. peptidovou vazbou (Příhoda et al., 2003).

Běžná mouka obvykle obsahuje 7–15 % bílkovin (14 % vlhkosti). Osborneova klasifikace se tradičně používá pro klasifikaci obilných proteinů do čtyř hlavních skupin podle jejich rozpustnosti (Příhoda et al., 2003):

- **albuminy** jsou rozpustné ve vodě a v roztocích s nízkou koncentrací solí;
- **globuliny** jsou rozpustné ve zředěných solných roztocích, ale nerozpustné ve vodě a vysoce koncentrovaných solných roztocích;
- **prolaminy** jsou rozpustné v 70 % ethanolu;
- **gluteliny** jsou zčásti rozpustné ve zředěných roztocích kyselin a zásad.

Hlavními zásobními proteiny pšenice jsou gliadiny a gluteniny přítomné ve škrobových endospermových buňkách zrna. Jsou syntetizovány a ukládány v endospermu prostřednictvím sekrečního systému. Ribozomy a hrubé endoplazmatické retikulum jsou místem syntézy polypeptidů. Po syntéze jsou polypeptidy translokovány do lumen. V lumen dochází k disulfidové vazbě a skládání proteinů. Konečné místo určení proteinů se také může lišit v závislosti na typu proteinu a na stáří a stupni vývoje tkáně. Zdá se, že některé z proteinů jsou transportovány přes Golgiho aparát do vakuoly, kde tvoří proteinová depozita (Hussain, 2009).

Proteiny z různých potravin v naší stravě obsahují řadu aminokyselin. Existuje 22 aminokyselin, které se rozdělují na esenciální a neesenciální. Esenciální aminokyseliny musíme zahrnout do naší stravy, protože si je tělo nedokáže syntetizovat. Nutriční hodnota potravin závisí na složení bílkovin, respektive na specifickém složení aminokyselin, jež bílkoviny tvoří (Hussain, 2009).

Klasifikace proteinů na základě funkčnosti rozděluje pšeničné proteiny na lepkové a nelepkové (albuminy a globuliny). Na základě rozpustnosti ve vodných alkoholech a kyselém roztoku se lepky dělí na polymerní gluteniny a monomerní gliadiny v poměru 40-60 %. Lepkové i nelepkové proteiny se nacházejí hlavně v embryu, aleuronové vrstvě a endospermu zrna, přičemž endosperm obsahuje většinu lepku. Proteinová frakce lepku tvoří asi 85 % celkových obilných bílkovin (Wujun et al., 2019).

#### **4.2.3.1 Nelepkové bílkoviny**

Nelepkové proteiny (albuminy a globuliny) tvoří 20–25 % celkové bílkoviny obilných zrn a většina z nich je monomerní. Nelepkové proteiny se nacházejí převážně ve vnějších vrstvách zrn. Většina těchto proteinů plní strukturální a enzymatické funkce a při pečení a výrobě chleba hrají pouze malou roli (Trittinger 2019). Nelepkový protein zahrnuje albuminy (ve vodě rozpustný protein) a globuliny (protein rozpustný v soli). Jedná se především o biochemické funkční proteiny jako chaperony a enzymy, které regulují akumulaci a syntézu zásobních proteinů a růst zrna (Wujun et al., 2019). Albuminy a globuliny mají vysoký obsah K, W a M aminokyselin. Významně ovlivňují texturu a vlastnosti střídky chleba (Sharma et al., 2020)

#### **Albuminy a globuliny**

Albuminy a globuliny jsou nelepkové proteiny v pšenici a jsou rozpustné ve vodě a v soli. Albuminy a globuliny jsou považovány za nutričně lepší než glutenové proteiny díky vyššímu obsahu esenciálních aminokyselin (obsah lysinu a methioninu v albuminech a globulinech).

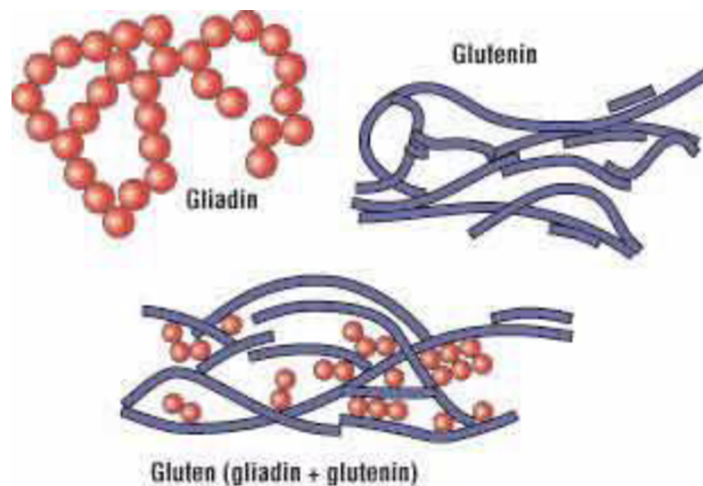
Albuminy jsou nejmenší pšeničné proteiny, po nich následují globuliny. Většina fyziologicky aktivních proteinů (enzymů) v zrnech pšenice se nachází ve skupinách albuminů a globulinů. V obilovinách jsou albuminy a globuliny koncentrovány v obalech semen, aleuronových buňkách a klíčcích, s poněkud nižší koncentrací pak v moučném endospermu. Albuminy a globuliny tvoří 12–37 % celkového proteinu pšeničné mouky. Je známo, že albuminy mají mnoho různých funkcí a jsou tedy různých typů, například glykoproteiny, inhibitory amyláz, serpiny, purotioniny atd. Glykoproteiny jsou kovalentně spojeny se sacharidy. Mnoho albuminů jsou enzymy. Albuminy, jako jsou inhibitory  $\alpha$ -amylázy/trypsinu, serpiny a purotioniny jsou považovány za funkce uchovávání živin a inhibitor napadení klíčících semen hmyzem a patogeny. Puroindoliny ovlivňují tvrdost zrna (Hussain, 2009; Sramkova et al., 2009).

#### 4.2.3.2 Lepkové bílkoviny

Lepek je elastický, gumovitý protein přítomný v pšenici. Lepek je důležitou složkou, která ovlivňuje vlastnosti těsta a tím i viskoelastické chování (Hussain, 2009). Lepek je pryžová hmota, která zůstává po opláchnutí těsta vodou, aby se odstranily škrobové granule a ve vodě rozpustné složky. Jde o síť gluteninů a gliadinů, která vzniká při míchání těsta (Shewry et al., 2002). Na bázi suché hmotnosti se lepek skládá ze 75–85 % bílkovin, 10–15 % škrobu a dalších sacharidů a 5–10 % lipidů. Lepek je bílkovinná složka chleba, která dává chlebu jeho krásnou, vzdušnou, žvýkací texturu, protože zachycuje páru uvolněnou během pečení (Claire, 2014). Lepek také umožňuje chlebu kynout, a to tím, že zachycuje oxid uhličitý uvolňovaný kvasnicemi. Struktura lepku je znázorněna na obrázku 7.

Dva hlavní faktory, které ovlivňují kvalitu bílkovin, jsou kvalita bílkovin lepku a poměr bílkovin gliadin/glutenin, jež jsou zastoupeny přibližně v poměru 2 : 3. Frakce gluteninu tvoří páteř a molekuly gliadinu se na ně vážou různými způsoby (Shewry et al., 2002). Po smíchání tvoří gliadiny a gluteniny viskoelastickou lepkovou proteinovou síť. Tato glutenová proteinová síť prochází změnami a zadržuje oxid uhličitý produkovaný během fermentace. Gluteninové frakce ovlivňují pevnost a elastické vlastnosti těsta, zatímco gliadinová frakce určuje viskozitu těsta a roztažitelnost (Anjum et al. 2007).

Proteiny přítomné v lepku se normálně nazývají **prolaminy**. Lepkové proteiny se dělí do tří skupin: HMW proteiny (HMW gluteninové podjednotky), na síru bohaté proteiny (LMW gluteninové podjednotky,  $\gamma$ -gliadiny a  $\alpha$ - gliadiny) a na síru chudé proteiny ( $\omega$ -gliadiny) na základě složení aminokyselin a molekulové hmotnosti (Hussain, 2009).



**Obrázek 7** *Struktura lepku* (<https://www.clinicaleducation.org/news/gluten-digestion-in-the-face-of-inadvertent-exposure/>)

Množství gliadinu a gluteninu v lepku je zhruba stejné, tvoří 80–85 % celkových pšeničných bílkovin. Jsou umístěny v endospermu, kde slouží jako hlavní zásobní proteiny pšenice. Proteinové složení lepku určuje reologické vlastnosti (plasticitu a pevnost) těsta a je klíčovou složkou zodpovědnou za rozdíly v konečném použití (Goesaert et al., 2005).

**Gliadiny** jsou také nazývány jako prolaminy. Gliadiny se dělí do čtyř skupin, alfa- ( $\alpha$ -), beta- ( $\beta$ -), gama- ( $\gamma$ -) a omega- ( $\omega$ -), a to na základě jejich elektroforetické mobility při nízkém pH. Gliadiny přispívají k soudržnosti a plasticitě těsta. V izolované formě tvoří gliadiny lepkavou hmotu téměř bez odporu vůči roztahování (Goesaert et al., 2005). Gliadiny působí jako změkčovadla gluteninů, což zvyšuje viskozitu lepkového komplexu a snižuje zvýšenou úroveň elasticity gluteninů. Monomerní gliadiny, které dodávají těstu viskózní tok a tažnost, a polymerní gluteniny určují viskoelasticitu těsta a hrají klíčovou roli při určování kvality konečného použití (Sharma et al., 2020).

**Gluteniny** (gluteliny) jsou polymery, které se skládají z proteinových podjednotek, jež jsou spojeny disulfidovými vazbami mezi řetězci, tj. vysokomolekulární gluteninová podjednotka (HMWGS) a nízkomolekulární gluteninová podjednotka (LMWGS) (Sharma et al., 2020). Gluteniny jsou obecně mnohem větší bílkoviny. Tvoří asi 47 % celkových bílkovin v pšeničné mouce a jsou zodpovědné za pružnost a pevnost těsta. Gluteniny jsou součástí základního procesu tvorby lepku (Claire 2014).

Gluteniny a gliadiny obsahují vysoký podíl konkrétních aminokyselin, které jim umožňují vytvářet lepkovou síť, konkrétně jde o glutamin a cystein. Při spojení gluteninových řetězců dochází k několika typům vazeb. Mezi glutaminy dochází k vodíkové vazbě a mezi

cysteinovými zbytky se tvoří sulfidové vazby. Některé další aminokyseliny mohou být také schopny tvořit vazebné interakce (Coultrate, 2009).

#### **Nízkomolekulární gluteninová podjednotka (LMWGS)**

LMWGS jsou hlavními složkami zásobního proteinu a obsahují 60 % zásobního proteinu pšeničných semen. LMWGS jsou významnou částí velké lepkové sítě, která dodává těstu elasticitu a tažnost. LMWGS se dále dělí na: LMW-m, LMW-s a LMW-i – po prvním aminokyselinovém zbytku jejich zralých proteinů M, S a I. Kvůli jejich důležitosti pro kvalitu pšeničné mouky a obtížnosti rozlišení jejich alel pomocí PAGE byly alelově specifické molekulární markery použity k určení různých alel LMWGS (Sharma et al., 2020).

#### **Vysokomolekulární gluteninová podjednotka (HMWGS)**

HMWGS jsou skupinou zásobních proteinů, které se ukládají v endospermu pšenice během plnění zrna (Rasheed et al. 2012). HMWGS tvoří 5–10 % celkového proteinu (Anjum et al., 2007). HMWGS tvoří jak intermolekulární, tak intramolekulární disulfidické vazby s jinými HMWGS a LMWGS. Tyto lokusy mají vysoce polymorfní povahu a alelické variace zodpovídají za různé kombinace HMWGS v různých odrůdách pšenice. Kombinace různých alel HMWGS určují kvalitu konečného použití na základě systému hodnocení skóre Glu-1, jež se používá v různých studiích (Rasheed et al. 2012).

Podjednotky HMW jsou přítomny pouze v polymerech gluteninu, jejichž množství jsou kladně koreluje s pevností těsta. To poskytuje podporu pro genetický důkaz, že podjednotky HMW jsou hlavními determinanty elasticity těsta a lepku. Dva rysy struktury podjednotek HMW mohou být relevantní pro jejich roli v elastomerech gluteninu: počet a distribuce disulfidových vazeb a vlastnosti a interakce repetitivních domén (Anjum et al., 2007).

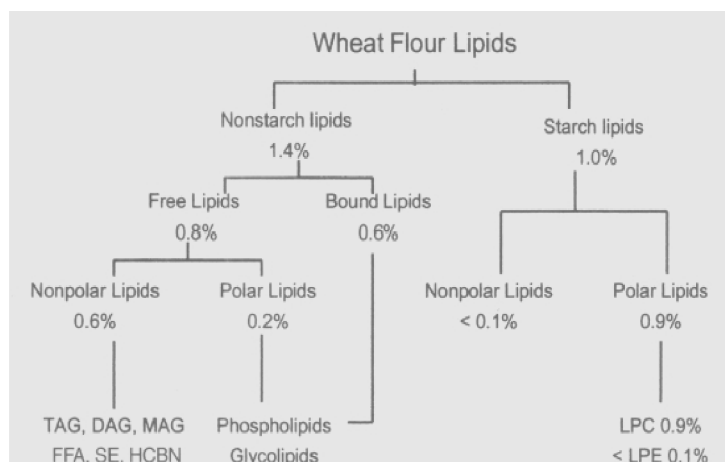
#### **4.2.4 Lipidy**

Lipidy jsou vedlejšími složkami zrna, tvoří asi 3 % zrna pšenice. Jsou více koncentrovány v klíčku (28,5 %) a v aleuronové vrstvě (8,0 %) než v endospermu (1,5 %). I když jsou obilné lipidy minoritní složkou, jde o relativně dostačující komplexní rodinu složek, a to jak volných, tak vázaných, na různé další složky v obilninách včetně proteinů a škrobu (Čurná & Lacko-Bartošová, 2017)

Z hlediska chemické podstaty tvoří lipidy pestrou skupinu látek, mezi které patří tzv. neutrální lipidy (tuky a oleje) a polární lipidy (fosfolipidy, steroidy, vosky) (Příhoda et al., 2003). Triacylglyceroly jsou hlavními zásobními lipidy a jsou obsaženy v subcelulárních organelách nazývaných olejová tělíska. Ačkoli jsou lipidy minoritními složkami pšeničné mouky, má se za to, že mají významný vliv na funkčnost mouky a těsta prostřednictvím



interakce s lepkovými proteiny a škrobem a stabilizace plynových buněk při výrobě chleba (Gonzalez-Thuillier et al., 2015).



**Obrázek 8** Poddělení tříd lipidů pšeničné mouky (upraveno podle Chung et al., 2009)

Většina lipidů v pšenici jsou estery mastných kyselin glycerolu a zbytek zahrnuje volné (neesterifikované) mastné kyseliny a několik typů lipidů a glykosfingolipidů na bázi sterolů. Hlavními glycerolipidy jsou triglyceridy (TG), mono- a di-galaktosyldiglyceridy (MGDG, DGDG), N-acylfosfatidylethanolamin (NAPE), fosfatidylethanolamin (PE), fosfatidylglycerol (PG) a fosfatidylcholin (PC) (Bushuk & Rasper, 1994). Tuky tvoří nasycené mastné kyseliny, z nichž jednoznačně převažuje kyselina linolová. Obsah mastných kyselin v zrně pšenice je uveden v tabulce 6. Významný je i podíl ostatních nenasycených kyselin, což je celkem více než 3/4 všech mastných kyselin (Příhoda et al., 2003). Hlavní mastné kyseliny v glycerolipidech jsou palmitová (16:0), stearová (18:0), olejová (18:1), linolová (18:2) a linolenová (18:3) a složení hlavních lipidových skupin je vysoce nenasycený. Zmínku si zaslouží také tokoferoly, protože jsou důležitými antioxidanty a mají vysokou hodnotu vitamínu E (Bushuk & Rasper, 1994).

**Tabulka 6** Zastoupení mastných kyselin v lipidech pšenice (v %) (upraveno podle Příhoda et al., 2003)

Kyselina myristová	Kyselina palmitová	Kyselina stearová	Kyselina olejová	Kyselina linolová	Kyselina linolenová
14:0	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3
—	20	1,5	16	58	4

## **Role lipidů při pečení**

Lipidy hrají velmi důležitou roli v různých procesech, jako je mletí, míchání těsta, výroba chleba apod. Pšeničné lipidy tvoří asi 1–2 % celkové hmotnosti mouky. Navzdory malým množstvím ovlivňují lipidy kvalitu výroby chleba. Jedna část lipidů je vázána (ne kovalentně) na škrob, tj. škrobové lipidy, v komplexu amylóza-lipid a další část má interakce s proteiny mouky. Obě zmíněné souvislosti jsou důležité pro kvalitu pečení chleba. Na základě jejich schopnosti interagovat s vodou lze lipidy pšeničné mouky rozdělit na polární (glykolipidy a fosfolipidy) a nepolární lipidovou frakci (hlavně triglyceridy). Polární lipidy mají pozitivní účinky při pečení, zatímco nepolární lipidy výrazně škodlivé účinky. Fosfolipidy ovlivňují bobtnání škrobu inhibicí pohybu vody do granulí, což vede ke snížení bobtnání škrobových granulí, vyluhování amylózy a maximální viskozitě pasty (Geera et al., 2006).

### **4.2.5 Vitaminy**

Vitaminy jsou nepostradatelné organické látky, podílejí se na metabolismu bílkovin, tuků a sacharidů. Vitaminy jsou v pšeničném zrně nahromaděny hlavně v klíčku a aleuronové vrstvě. Protože tyto části přecházejí při mlýnském zpracování většinou do otrub a tmavých krmných mouk, jsou světlé mouky určené pro výživu o vitamínový podíl ochuzeny. Význam mají hlavně vitaminy skupiny B (B1 – thiamin, B2 – riboflavin a kyselina nikotinová, v poměrně značném množství obsahují obilky také vitamin E, a to hlavně v klíčku. Ve 100 g sušiny se průměrně nachází 0,45 mg thiaminu, 0,15 mg riboflavinu, 5,0 mg niacinu a 1 mg kyseliny pantothenové (Prugar et al., 2008).

### **4.2.6 Minerální látky**

Souhrnně tyto látky nazýváme „popel“, tedy anorganický zbytek po spálení rostlinného materiálu. Tímto způsobem se souhrn minerálních složek obilovin také stanovuje. Obsah popele se v celých zrnech pohybuje v rozmezí cca 1,25–2,5 %, přičemž nejvyšší koncentrace je v obalových vrstvách a nejnižší v endospermu. Obsah popele v mouce se tedy zvyšuje se stupněm vymletí a je základem pro klasifikaci mouk. Popel se skládá převážně z oxidu fosforečného, nejběžnějšími kovy jsou hořčík, vápník a železo (Příhoda et al., 2003).

### **4.2.7 Enzymy**

Bílkoviny tvoří podstatnou část enzymů, které fungují jako biokatalyzátory živé buňky, regulují výměnu látek během růstu, klíčení, skladování a technologického zpracování. Z hydrolytických enzymů jsou nejdůležitější enzymy, které štěpí sacharidy (amyláza, maltáza, sacharáza), bílkoviny (proteázy, peptidázy), tuky (lipázy) a také fosfatázy. Ve zdravém zrně je aktivita enzymů extrémně nízká a zvyšuje se až při klíčení. V klíčku a aleuronové vrstvě je aktivita enzymů vyšší než ve vnitřních částech endospermu ( Kučerová, 2004).

#### 4.2.8 Kyselina fytová

Kyselina fytová tvoří hlavní zásobárnu fosfátu v semenech a v obilných zrnech. Její koncentrace v zrnech pšenice kolísá mezi 12 a 18 mg/g a je přítomna především ve fytinových globoidech uvnitř vakuol pro ukládání proteinů v aleuronových buňkách. Obsah kyseliny fytové ve vrstvě aleuronu se pohybuje mezi 95 a 190 mg/g a koncentraci kyseliny fytové lze proto použít jako účinný marker pro sledování osudu aleuronu při mletí, což má velký praktický význam, protože redistribuce buněk aleuronu do mouky nebo krupice je do značné míry ovlivněna tvrdostí zrna (Barron et al., 2011).

#### 4.2.9 Fenolové kyseliny

Fenolové kyseliny jsou komplexní skupinou sekundárních metabolitů, které vykazují velkou diverzitu ve struktuře. Fenolové kyseliny se nacházejí hlavně v obalových vrstvách zrna, kde jsou obsaženy volně nebo jsou vázány na buněčnou stěnu. Vázané kyseliny reprezentují 85–95 % celkového množství fenolů v obilovinách. Největší zastoupení má kyselina ferulová. Kyselina ferulová má nejvyšší antioxidační aktivitu a tvoří 70–90 % fenolových kyselin v zru, mezi které patří i další kyseliny jako kyselina kávová, kyselina chlorogenová, kyselina sinapová a další (Klepacka & Fornal, 2006).

Další významnou skupinou polyfenolů, jež jsou obsaženy v obilovinách, jsou **flavonoidy**. V zrnech pšenice jsou nejvíce zastoupeny flavony a anthokyany, a to ve formě glykosidů nebo komplexů s organickými kyselinami. Jsou obsaženy hlavně v obalových vrstvách zrna, v aleuronové vrstvě a klíčku. Jejich biologické účinky jsou podobné jako u fenolových kyselin. Největší pozornost je věnována anthokyanům, což jsou ve vodě rozpustné pigmenty, které jsou například v ovoci a zelenině zodpovědné za modrý, růžový a červený odstín. Není příliš známo, že pšenice může mít také jiné zbarvení zrna (purpurové, modré nebo černé), jež je vyvoláno vysokým obsahem anthokyanů v obalových vrstvách zrna (Podloucká et al., 2021).

Zpracování může ovlivnit obsah, složení a stabilitu fenolických sloučenin v produktech na bázi pšenice. Moderní mletí má zásadní vliv na obsah a složení fenolových kyselin ve finálních moukách: relativní obsah aleuronové a perikarpové tkáně v mouce se zvyšuje s rychlostí její extrakce, a protože tyto tkáně jsou bohaté na fenolové kyseliny, zvyšuje se i obsah těchto složek (Barron et al. 2007).

## 5 PŠENICE POTRAVINÁŘSKÁ

Za pšenici potravinářskou se považuje pšenice obecná z domácí produkce jarních a ozimých odrůd, zařazených do seznamu povolených odrůd (Pelikán, 2001). Potravinářská pšenice má široké využití v potravinářském průmyslu, kde je jedním ze základních prvků lidské výživy. Potravinářská pšenice se používá především k výrobě potravin. Pšeničná mouka má unikátní nutriční a zpracovatelské vlastnosti a dokáže vytvořit těsto, ze kterého lze vyrobit kynuté pečivo. Z pšeničného zrna se kromě kynutého těsta vyrábí také různé druhy pečivářských výrobků, cereálie, těstoviny a řada dalších výrobků (Burešová & Palík, 2008).

### 5.1 Technologická kvalita

Technologická kvalita odrůd pšenice je určena pro potravinářské využití vlastnostmi popisujícími mlynářskou a pekařskou hodnotu (Hrušková a kol., 2006). Druh pěstované pšenice a podmínky pěstování přispívají ke kvalitě potravinářské pšenice. Procentuální podíl odrůdy a podmínek pěstování na obsah bílkovin, mokrého lepku a kvalitě lepku je uveden v tabulce 7 (Petr & Louda, 1998).

**Tabulka 7 Podíl odrůdy a pěstitelských podmínek rozhodující o kvalitě pšenice (%) (Petr & Louda, 1998)**

	<b>Obsah bílkovin</b>	<b>Mokrý lepek</b>	<b>Jakost lepku</b>
<b>Odrůda</b>	22,0	28,8	68,3
<b>Pěstitelské podmínky</b>	78,0	76,2	31,7

Pro účely technologického zpracování se hodnotí dva znaky :

- **Mlynářská jakost** je charakterizována zejména fyzikálně-mechanickými vlastnostmi zrna, které se stanoví nepřímými znaky – pokusný zámel, objemová hmotnost, hmotnost tisíce zrn, výtěžnost mouky, obsah popela v krupicích, mouce, tvrdost zrn, sklovitost, vyrovnanost a tvar zrna. Preferuje se zrno velikostně vyrovnané, s mělkou rýhou, hladkým povrchem a tenkými obaly. Tyto charakteristiky podmiňují dobrou mlynářskou jakost vzhledem k technologickým požadavkům zpracování a výtěžnosti předních mouk (Prugar a kol., 2008).
- **Pekařskou jakostí** se rozumí schopnost poskytnout pečivo s požadovanou jakostí. Je závislá na několika faktorech, především však na vlastnostech základní suroviny – pšeničné mouky s různém stupněm vymletí a zrnitosti, a tím i rozmanité pekařské kvalitě, často označované jako „síla mouky“. Mezi ukazatele patří stanovení obsahu mokrého lepku, sedimentační hodnoty, gluten indexu, vlastností škrob-amylasového komplexu, čísla poklesu a speciální metody pro reologické hodnocení pšenice

(Muchová, 2001). Reologické vlastnosti pšeničného těsta určují složení pšeničné mouky jako hlavní recepturní složky. Pekařský pokus simuluje všechny provozní operace ve standardních laboratorních podmínkách a výrobek se obvykle hodnotí měrným objemem a tvarem (Hrušková et al., 2006).

## 5.2 Rozdělení pšenice dle užitkových směrů

Odrůdy pšenice se podle způsobu jejich dalšího využití dělí takto (Zimolka, 2005):

- pšenice pro pekárenské využití (pšenice s požadovanou mlynářskou a pekařskou jakostí pro kynutá těsta);
- pšenice pečivářenské pro výrobu sušenek a oplatků (prokypřované výrobky);
- pšenice pro speciální použití (výroba škrobu a lihu);
- pšenice pro výrobu těstovin;
- krmné pšenice.

**Tabulka 8 Hodnoty jakostních parametrů pšenice potravinářské (ČSN 46 1100-2)**

<b>Pšenice potravinářská ČSN 46 1100-2</b>		
<b>Jakostní ukazatele</b>		
	<b>pšenice pekárenská</b>	<b>pšenice pečivářenská</b>
vlhkost v %	nejvýše 14,0	nejvýše 14%
objemová hmotnost v kg/hl	nejméně 76,0	nejméně 76,0
obsah N látek v sušině (Nx5,7) v %	nejméně 11,5	nejvýše 11,5
sedimentační index – Zelenyho test (SEDI test) v ml		
	nejméně 30	nejvýše 25
číslo poklesu (vzorek 7g) v s	nejméně 220	nejméně 220
Příměsi a nečistoty podle 3.1 a 3.10		
celkem v % (m/m)	nejvýše 6,0	nejvýše 6,0
z toho:		
1) zlomky zrn podle 3.2 v %	nejvýše 3,0	nejvýše 3,0
2) zrnové příměsi podle 3.3 v %	nejvýše 5,0	nejvýše 5,0
z toho tepelně poškozená zrna		
podle 3.8 v %	nejvýše 0,5	nejvýše 0,5
3) porostlá zrna podle 3.9 v %	nejvýše 2,5	nejvýše 2,5
4) nečistoty podle 3.10 v %	nejvýše 0,5	nejvýše 0,5
z toho: tepelně poškozená zrna		
podle 3.12b) v %	nejvýše 0,05	nejvýše 0,05

Norma ČSN 46 1100-2 definuje podle stanovených technologických parametrů dvě jakostní kategorie pšenice, a to pekárenskou a pečivářskou. Základním faktorem je množství a kvalita bílkovin, který určují její využitelnost. Požadavky na tento parametr jsou u mouky pro

pekárenské a pečivářenské využití odlišné. Jedinou výjimkou je pečivářská mouka určená k výrobě biologicky kypřených sucharů a krekrů (Burešová & Lorencová, 2013).

**Pšenice pekárenská** – pšenice vhodné pro pekařské zpracování, zejména pro výrobu kynutých těst, jsou od roku 1998 z hlediska jakosti členěny tímto způsobem (Zimolka, 2005; Prugar, 2008):

- E – **elitní pšenice** – nejkvalitnější potravinářské odrůdy, dříve označované jako velmi dobré, zlepšující, ve všech znacích vynikající, vhodné ke zlepšování jakosti suroviny;
- A – **kvalitní pšenice** – dříve označované jako dobré, samostatně zpracovatelné, ve všech parametrech vyhovují;
- B – **chlebové pšenice** – dříve označované jako doplňkové, zpracovatelné ve směsi; některý z parametrů může být na hranici, v nepříznivých ročních období se očekává, že nesplní parametry pro pekárenskou pšenici;
- C – **nevhodné pšenice**: odrůdy nevhodné pro výrobu kynutých těst; patří sem pšenice pečivářské k výrobě sušenek a keksů, pšenice pro speciální použití, například k výrobě škrobu a lihu, a také pšenice krmné.

Pro výrobu pekárenských výrobků je zapotřebí pekařsky silná pšenice s pevným a velmi elastickým lepem v těstě. Chlebová mouka se získává z odrůd pšenice s vyšším obsahem bílkovin (12–14 %). Zejména pšenice setá (*Triticum aestivum*) splňuje požadavky na kvalitní silné pšeničné těsto. Svými technologickými vlastnostmi je vhodná pro výrobu kynutých výrobků. Podmínkou správného fermentačního procesu je dostatek zkvasitelných cukrů (glukóza, fruktóza a maltóza) a dostatečná aktivita kvasinek (probíhá kvašení cukrů pekařským droždím nebo kvasinkami žitných kvasů). Díky tomu je těsto ze silné mouky pružnější a tužší (vyžaduje intenzivnější míchání) a díky oxidu uhličitému produkovanému kváskem poskytuje objemnější výrobky (Sluková 2003; Velíšek, 2002).

**Pšenice pečivářská** – odrůdy pro pečivářské využití vzhledem ke kvalitě mouky mohou tvořit tři kategorie (Zimolka, 2005):

- odrůdy pro výrobu sušenek,
- odrůdy pro oplatky,
- odrůdy pro kreky.

K pečivářským účelům se spotřebuje asi 9,5 % z celkového množství zpracované pšenice. Zásadní rozdíl mezi surovinou pro kynuté pečivo a moukou pro pečivářské účely spočívá v tom, že se nežadá velký objem pečiva (Zimolka, 2005). Pro pečivářské účely je vyráběno trvanlivé pečivo v podobě sušenek, oplatek, snack výrobků, perníků, pečiva ze šlehaných hmot (dětské piškoty, kokosky), sucharů a preclíků (Petr & Louda, 1998). Na rozdíl od kvality mouk pro pekárenské účely jsou ve většině případů vyžadovány opačné vlastnosti lepků (Sluková, 2003), proto se používají slabé mouky s obsahem bílkovin obvykle pod 10 % (pouze u perníků, sucharů, preclíků a tyčinek se používají silné mouky) (Velíšek, 2002).

Vyšší obsah silnějšího lepku totiž nevede ke zvýšení výtěžnosti produktu u sušenek, oplatek a snacků, ale k příliš tuhým a kompaktním produktům. Většina těchto výrobků také nevyžaduje vyvinutí velmi pevné bílkovinné struktury, proto jsou někdy pro oslabení pevnosti bílkovin přidávány např. proteolytické enzymy. Sušenkové těsto obsahuje méně vody, a proto bílkoviny lepku v omezené míře bobtnají, dochází k denaturaci a mazovatění škrobu v omezené míře, což přispívá k méně pevné struktuře výrobků. Pokud by byla použita mouka s vyšším obsahem silného lepku, oplatky by byly příliš pevné a při kousání ostré. Pro získání správné slabé mouky existují požadavky, které stanoví, že mouka musí pocházet ze zdravé pšenice, nesmí být mechanicky, tepelně, chemicky ani enzymaticky poškozená a nesmí obsahovat cizí mechanické nebo biologické příměsi. Pokud by se použila mouka poškozená lepkem (termicky nebo enzymově), oplatky by byly křehké, ale drobivé, takže by si nedržely svůj tvar (Sluková, 2003).

## 6 TECHNOLOGIE MLYNÁŘSTVÍ

### 6.1 Vyhláška Ministerstva zemědělství

Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí § 18 písm. a), d), h), i), j) a k) zákona č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů, pro mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta stanoví:

#### (§ 1) Mlýnské obilné výrobky

Pro účely této vyhlášky se rozumí:

- *mlýnskými obilnými výrobky* výrobky získané zpracováním jednoho nebo více botanických druhů obilovin, pohanky nebo rýže vícestupňovým mlýnským postupem,
- *moukou* mlýnský obilný výrobek získaný mletím obilných zrn, pohanky a rýže a tříděný podle velikosti částic, obsahu minerálních látek a druhu použitého obilných zrn, pohanky a rýže,
- *krupicí* mlýnský obilný výrobek získaný v první fázi mletí zrna ve formě hrubších částic zbavených slupky,
- *obilovinami* očištěná pro přímou spotřebu nebo jinak upravená obilná zrna, zejména pšenice, žito, ječmene nebo ovesa,
- směsmi obilných výrobků, jejichž převážnou část tvoří mleté obilné výrobky, k nimž jsou přidány další složky, určené k přímé spotřebě nebo ke spotřebě po tepelné úpravě.

(§ 2) Členění na skupiny a podskupiny je uvedeno v tabulce 9.

#### (§ 3) Označování

- Mlýnské obilné výrobky se označují názvem skupiny nebo podskupiny.
- U sypkých směsí z obilovin se uvede způsob užití a návod k přípravě.
- U mlýnských obilných výrobků se označí botanický rod obiloviny, ze které je výrobek vyroben.



**Tabulka 9 Členění na skupiny a podskupiny**

<b>Druh</b>	<b>Skupina</b>	<b>Podskupina</b>
mlýnské obilné výrobky	mouka	hladká mouka
		polohrubá mouka
		hrubá mouka
		celozrnná mouka
	krupice	hrubá pšeničná krupice
		kukuřičná krupice
		jemná pšeničná krupice
	vločky	
	trhanka	
	kroupy	perličky
		lámanka
		malé kroupy
		ostatní kroupy

**(§ 4) Požadavky na jakost**

Smyslové, fyzikální a chemické požadavky na jakost mlýnských obilných výrobků jsou uvedeny v tabulce 10.

**Tabulka 10 Smyslové, fyzikální a chemické požadavky na jakost**

<b>Podskupina</b>	<b>Granulace*<sup>1</sup>(velikost ok/propad) (μm/%)</b>	<b>Minerální látky (popel)*<sup>2</sup> % hmot. v sušině) nejvýše</b>
Mouky hladké z toho:		
Pšeničná světlá	257 / nejméně 96–162 / nejméně 75	0,60
Pšeničná polosvětlá	257 / nejméně 96–162 / nejméně 75	0,75
Pšeničná chlebová	257 / nejméně 96–162 / nejméně 75	1,15
Žitná světlá (vyrážková)	-	0,65
Žitná tmavá (chlebová)	-	1,10
Mouky polohrubé	366 / nejméně 96–162 / nejvýše 75	0,50
Mouky hrubé	485 / nejméně 96–162 / nejvýše 15	0,50
Mouky celozrnné pšeničné	2800 / nejméně 96	1,90

## 6.2 Mletí pšenice

Mletí je složitý proces, jehož úkolem je co nejúplněji oddělit obalové vrstvy od pšeničného endospermu a rozmělnit endosperm na jemné části předepsané granulace. Celý proces probíhá postupně a skládá se z několika základních technologických etap, které se označují jako „mlecí chody“ nebo „pasáže“ (Kučerová, 2004).

Pšeničná zrna se zpracovávají na mouku v průmyslových mlýnech. Obilí připravené a předčištěné pro lidskou spotřebu se přepravuje z obilných sil do čistírny mlýna. Tam se na soustavě čistírenských strojů zbavuje nečistot, příměsí, cizích zrn a prachu. Prochází přes magnety, aspirátory, triéry, kartáčovací a loupací stroje, prací stroj a kondicionér a následně je připraven k broušení působením soustavy zařízení, různě upravených sít, proudění vzduchu, vody a tepla. V této fázi se také zrno zbavuje klíčků, jejichž vysoký obsah tuku by ohrozil skladovatelnost a kvalitu mouky po namletí (Beneš, 1979).

Vlastní mlecí proces probíhá na válcových stolicích a má tři fáze (Beneš, 1979):

- šrotování,
- luštění,
- vymílání.

V současných technologických postupech je obvykle zařazeno pět šrotových, pět luštících a šest a více vymílacích pasáží. Z každé z nich získáme jednu nebo více pasážních mouk, které se podle obsahu popela míchají na komerční druhy (Kadlec et al., 2002).

### 6.2.1 Šrotování

Účelem šrotování je šetrné otevření zrna a rozdělení endospermu na hrubší částice s nízkým podílem pasážních mouk. Šrotováním by mělo být získáno co nejvíce krupice, tj. ostrých a hrubých granulovaných částic na předních chodech a velkých vločkovitých částic s malým podílem endospermu na posledních chodech (Hlásenská A.).

Ze šrotování se získávají podíly (Příhoda et al., 2003):

- hrubý a jemný šrotový přepad – postupující na další šrotové chody;
- krupice hrubé, střední a jemné – zpracovávají se luštěním krupic;
- krupičky hrubé a jemné – zčásti se rozemílají na mouky;
- mouky – nejjemnější částice pod 190  $\mu\text{m}$ .

Při mletí na krupici se používají válečky s hlubšími rýhami a ostřejšími úhly rýh. Šrotové mouky nejsou hotovými výrobky, jde pouze o mouky pasážní (Hampl, 1988).

Rozmělněním pšenice na první šrotové pasáži a pak rozmělněním meliva na dalších pasážích se získávají šrotové směsi, které se vhodnými vysévacími systémy rozdělují na vhodné meziprodukty. Na úseku krupičných pasáží šrotových se šrotové směsi dělí takto (Pavliš et al., 1980):

- šrotové přepady,
- krupice,
- krupičky,
- mouky.

### 6.2.2 Luštění krupic

Druhým stupněm je luštění krupic, které se provádí na jemně rýhovaných nebo hladkých válcích (Hrabě et al., 2007). Luštění je proces, při kterém se krupice drtí tak, aby nedošlo k napadení přiléhajících částí slupek (Hampl, 1988).

Luštění spočívá v drcení vytríděných krupic, jež obsahují část slupky, a to tak, aby slupka zůstala neporušená a mohla být odstraněna na sítích. První luštění má válce rýhované, ostatní hladké. Očištěné hrubé, střední a malé krupice I. jakosti se zpracovávají na prvním a druhém lušticím chodu, krupice II. jakosti na třetím a zbylé krupice na čtvrtém lušticím chodu (zároveň se zde získávají mleté jedlé klíčky). Při semílání šrotových krupic vznikají krupice luštěné, které jsou jakostnější než krupice šrotové. Drobné krupice z lušticích chodů se čistí na vysévačích a čističkách krupic a v případě potřeby se vedou do hrubých mouk (Hlásenská A.).

### 6.2.3 Vymílání

Poslední fází je vymílání krupic, které se provádí na hladkých stolicích. Chodů je zpravidla osm, z nichž jeden představuje klíčovou pasáž, do které je veden přepad z posledního lušticího chodu (Hampl, 1988). Mletím se částice čistého endospermu rozdrťí na požadovanou granulaci a ze slupek se odstraní poslední tenká vrstva endospermu, aby otruby byly pouze čistými obalovými částicemi. Vymílání navazuje na luštění, od kterého se liší tím, že vymílacím pasážím nejsou přiřazeny čističky krupic (Hlásenská A.) Výsledky mletí se hodnotí podle tažení hrubé mouky. Hrubá mouka se získává především z propadů vysévačů a reforem po luštění a mletí (Parobková, 1998).

### 6.2.4 Vliv stupně vymletí na složení a jakost mouky

Základním cílem procesu mletí je odstranit slupky a někdy i otrubové vrstvy a vyrobit požitelnou část, která je bez nečistot a ve formě prášku s různou velikostí částic. Koncentrace esenciálních živin klesá se stupněm mletí s menšími změnami v hustotě energie před jídlem a po jídle (Ramberg & McAnalley, 2002). Proces mletí může být dvojího druhu: buď se celé zrno přemění na mouku bez odebrání jakýchkoli částí, nebo může podstoupit různé mletí, aby se rozdělilo na různé části. Například pšenice by se mohla mlít jako celozrnná mouka nebo může podstoupit válcové mletí, aby se získalo více produktů, jako jsou rafinovaná pšeničná mouka, otruby, klíčky, krupice atd. (Slavin et al., 1999).

**Stupeň vymletí** (obsah minerálních látek) obilných výrobků udává, jaký podíl mouky byl získán ze 100 dílů zrna. Pokud v moučném výrobku zůstanou všechny části obilného zrna, hovoříme o 100% stupni vymletí. Mouky, které neobsahují žádné nebo jen několik okrajových vrstev obilného zrna, mají stupeň mletí 45–75 % (Plisková & Pavliš, 1988).

**Vymílací klíč** (výrobní schéma) shrnuje zůstatek vyráběných produktů. Vymílací klíč se udává v procentech a určuje, jaké procento produktu má mlýn vyrábět (Pavliš et al., 1980). Součet výnosů jedlých produktů a krmných zbytků včetně čistírenských odpadů by měl odpovídat hmotnosti zpracovaného obilí. V praxi dochází ke ztrátě (tzv. „promelek“). Vymílání pšenice v současnosti činí 72–73 % (Hrabě et al., 2006).

Při výrobě světlých typů mouky se vymílá pšenice na 70–77 % (přepočteno na hmotnost zrna). Pro výrobu chlebové mouky se procento vymletí zvyšuje až na 83 %, při výrobě celozrnné mouky až na 97 %. S vyšším procentem vymletí se zvyšuje i obsah popela, s čímž souvisí i zvýšení kyselosti mouky. Zvyšuje se také obsah bílkovin, tuků, cukrů, pentosanů a vlákniny. Snižuje se pouze obsah škrobu. Změny množství látek při vymílání se vysvětluje tím, že obsah těchto látek není v zrně rozložen rovnoměrně, ale je koncentrován v okrajových částech zrna – aleuronové vrstvě a klíčku. Škrob se však nachází hlavně v endospermu. Co se týče enzymů a vitaminů, ty jsou v moukách obsaženy v malém množství, ale mají velký technologický a nutriční význam. Množství těchto látek stoupá se stupněm vymletí. Chemické složení mouky je závislé nejen na kvalitě surovin a procentu vymletí, ale její vlastnosti se mohou lišit i v závislosti na podmínkách skladování. Nesprávné skladování může vést k intenzivnímu dýchání mouky vlivem vlhkosti a tepla. Vlivem enzymů může dojít k hlubokým změnám ve složení mouky (Skoupil, 2005).

**Tabulka 11 Vliv mlýnských procesů na chemické složení pšenice (na 100 g)**  
(Oghbaei & Prakash, 2013)

Komponenty	Celá	Rafinovaná	Otruby
Bílkoviny (g)	14,28	11,66	19,45
Tuk (g)	2,50	1,54	5,25
Škrob (g)	64,77	80,16	21,91
Popel (g)	1,89	0,78	5,71
Rozpustná vláknina (g)	0,51	0,27	4,45
Ner rozpustná vláknina (g)	12,45	3,39	42,47
Železo (mg)	7,54	3,24	12,90
Zinek (mg)	1,62	0,70	4,70
Vápník (mg)	50,75	34,20	87,76
Thiamin (mg)	0,64	0,33	0,87
Riboflavin (mg)	0,21	0,13	0,44
Fyláty (mg)	604,0	396,5	3396,0
Taniny (mg)	385,7	127,8	851,2

### 6.3 Míchání a skladování mouk

Po ukončení procesu mletí se získané pasážní mouky míchají, a to podle jejich základních znaků, obsahu popela a zrnitosti, na mouky obchodní. Nejvyšší kvalita mouky z předních pasáží s vysokým obsahem lepku se mísí v míchacím stroji s moukami s nízkým obsahem lepku. Podle obsahu popela se dříve mouky označovaly např. T650 což znamená, že mouka obsahuje 0,65 % popela v sušině. Obsah popela závisí na stupni vymletí. Nízko vymletá mouka má nižší obsah popela než vysoce vymletá mouka (Hálková et al., 2001).

Další důležitou vlastností je granulace mouky (hrubá, polohrubá, hladká mouka), která vyjadřuje velikost částic podle jemnosti mletí. Čerstvě namletá mouka nemá plnou pekařskou hodnotu, proto se nechává 2–6 týdnů zrát. Nejvhodnější teplota je do 18 °C. Během zrání dochází k oxidaci karotenových barviv vzdušným kyslíkem (bělení) a ke změnám lepkového komplexu, kdy se snižuje jeho tažnost a zvyšuje pružnost. Dále dochází k oxidaci thiolových skupin a tvorbě disulfidických vazeb mezi sirnými aminokyselinami, které zpevňují lepek. Zrání mouky je soubor biochemických změn, jejichž výsledkem je zvýšení vaznosti mouky, a tím i výtěžnost těsta a hotového výrobku. Z těchto změn jsou nejvýznamnější tyto (Kučerová, 2004):

- stabilizace rovnovážného stavu vlhkosti mouky;
- růst kyselosti mouky v důsledku enzymatické hydrolyzy tuku;
- oxidačně-redukční procesy zlepšující kvalitu moučkových bílkovin;
- zpevňuje se škrobový maz vlivem zahuštění amylopektinového obalu škrobových zrn a vlivem nenasycených mastných kyselin uvolněných z tuků;
- zvyšuje se vaznost mouky a následně se zvyšuje pevnost a stabilita těsta, a tím i výtěžnost hotových výrobků;
- objem výrobku se zvyšuje v prvních měsících, kdy je kvalita lepku výrazně lepší, později je menší z důvodu snížení schopnosti produkovat plyn.

Rychlost dozrávání mouky závisí na těchto faktorech (Plisková & Pavliš, 1988):

- vlhkosti mouky – při vyšší vlhkosti je dozrávání rychlejší,
- teplotě mouky – při teplotách pod 2 °C dozrávání ustává,
- přístupu vzduchu – provzdušňováním se dozrávání urychluje.

Mouka se skladuje v silech (volně ložená) nebo v obalech, a to buď v pytlích, nebo se pro malospotřebitelské balení používají sulfitové balicí papíry ve formě sáčků s křížovým dnem o objemu obvykle 1 kg (Kučerová, 2004).

Vlhkost mouky by se měla pohybovat kolem 11–15 %. Nižší vlhkost zpomaluje procesy zrání, při vyšší vlhkosti může docházet k intenzivnímu dýchání, což vede k celkovému znehodnocení mouky (Momčilová, 2003). Těsta z těchto mouk pak mají sníženou konzistenci v důsledku snížené vaznosti a výrobky z nich jsou nízké, těžké a málo objemné (Novotná & Novotný, 1987). Žluknutí při skladování se vyskytuje spíše u suché mouky, zejména při vyšších teplotách a za přístupu denního světla. Relativní vlhkost skladu by se měla pohybovat kolem 60–70% (Momčilová, 2003).

Jelikož mouka velmi snadno pohlcuje pachy, nesmí se v její blízkosti skladovat suroviny se silným zápachem nebo vůní. Skladováním mouky se také vytváří pohotovostní zásoba pro případ náhlého omezení dodávek. Při nedodržení optimálních podmínek pro skladování mouky může dojít ke zhoršení její kvality, popřípadě k nežádoucímu množení mikroorganismů, takže mouka začne příliš žluknout nebo plesnivět, nepříjemně páchnout apod. Proto je nutné důsledně dodržovat zásady hygieny a sanitace, dbát na provzdušňování a při vyšších teplotách případně zkrátit dobu skladování mouky. Teplota skladované mouky je nejvýraznějším ukazatelem jejího zdravotního stavu. Náhlý nárůst teploty znamená nežádoucí samozahřívání, které je právě důsledkem nesprávného skladování (Skoupil, 2005).

Vyšší obsah tuků v mouce je škodlivý pro skladování, protože lipolytické enzymy a oxidační procesy rozkládají tuky za vzniku glycerolu a mastných kyselin. Vyšší teplota a vlhkost tyto rozkladné procesy urychlují (Hrabě et al., 2006). Obsah volných mastných kyselin v dlouhodobě skladované mouce se může zvýšit až o 60 %. V mouce jsou dále obsaženy fosfatidy – látky obsahující vázanou kyselinu fosforečnou. Hydrolyzu fosfatidů podporuje enzym lipáza, který odštěpuje mastné kyseliny, a enzym glycerofosfatáza, jenž uvolňuje kyselinu fosforečnou. Volné mastné kyseliny a kyselina fosforečná zvyšují kyselost mouky. Stupeň hydrolyzy se posuzuje změnou čísla kyselosti tuků. Číslo kyselosti tuků se zvláště rychle zvyšuje ve výrobcích skladovaných při 35–38 °C. V mouce vyrobené z obilné směsi, která obsahuje část zrna porostlého nebo poškozeného samozahříváním, jsou procesy hydrolyzy tuků mnohem rychlejší než u mouky z nepoškozeného zrna (Skoupil, 2005).

#### **6.4 Kvalita pšeničné mouky**

Kvalita pšeničné mouky, která přímo ovlivní vzhled, chuť a strukturu moučných potravin, je funkcí mnoha faktorů včetně odrůdy pšenice, technologie zpracování a podmínek skladování. V současné době se kvalita mouky typicky hodnotí měřením chemického složení (obsah bílkovin, lepku, škrobu a poškozeného škrobu), reologických vlastností těsta (viskoelasticita a roztažitelnost) nebo přímo zkoumáním výkonu při výrobě potravin (paření, vaření a pečení).

Kvalitu pšeničné mouky zásadně určuje její chemické složení. Hlavními složkami pšeničné mouky jsou bílkoviny (přibližně 10–12 %) a škrob (přibližně 70–75 %), vedlejšími složkami jsou polysacharidy (přibližně 2–3 %) a lipidy (přibližně 2 %) (Goesaert et al., 2005). Chemické složení může ovlivnit vlastnosti mouky při hnětení těsta (rychlost absorpce vody), tvorbu lepkové sítě, vlastnosti těsta (tvrdost, viskozita, elasticita, roztažitelnost, plasticita,

zadržování vody atd.) a vlastnosti vaření (udržování tvaru, viskozita při žvýkání, tvrdost, smršťení atd.), které jsou zvláště důležité pro čínské moučné potraviny (Huang & Lai, 2010).

Důležitým parametrem pšeničné mouky je také velikost částic. Během mletí mouky budou různé technologie zpracování (síla mletí, separace a technologie rekombinace) produkovat pšeničnou mouku s různými částicemi (různé velikosti a distribuce) (Mmohamad et al., 2009). Tyto částice, které mohou pocházet z různých částí pšeničného endospermu a které vyvolávají významné rozdíly v chemickém složení, budou mít různou oddanost celkové kvalitě mouky (Bressiani et al., 2017). Předchozí studie zkoumaly účinky bílkovin, lepku, škrobu a poškozeného škrobu na kvalitu pšeničné mouky. V posledních letech přitahuje větší pozornost vliv velikosti částic mouky na kvalitu mouky a příbuzných produktů a plně se také prokázal vztah mezi distribucí celých částic mouky a celkovou kvalitou produktů na bázi mouky. Vzhledem k heterogenní struktuře pšeničného endospermu však částice různých velikostí nemusí mít nutně stejné chemické složení, takže vztah mezi chemickým složením částic pšeničné mouky různé velikosti a kvalitou mouky nelze stanovit (Tao et al., 2016).

Funkční vlastnosti (absorpce vody, rehydratace, smáčivost atd.) a kvalitativní charakteristiky pšeničné mouky úzce souvisí s povrchovým chemickým složením částic pšeničné mouky a povrchovým chemickým složením pšeničné mouky. Pro posouzení kvality mouky je nezbytné zkoumat chemické složení částic v objemu a na povrchu částic mouky různých velikostí. S výjimkou obsahu bílkovin a škrobu byly pro objemové chemické složení mouky reprezentativnější proteinové frakce s různou rozpustností a složením aminokyselin (Fitzpatrick & Ahrne, 2005).

## 6.5 Chemické složení mouky

Chemické složení mouky (viz tabulka 12) závisí na odrůdě zrna, klimatických a půdních podmínkách, způsobu očištění a mletí zrna, dále také na stupni vymletí a na odležení vyrobené mouky (Novotná & Novotný, 1987).

Největší podíl mouky tvoří sacharidy, hlavně **škrob**. Obsah škrobu v mouce, která je tvořena převážně endospermem, je 80 %. (Sluková, 2017). Pšeničný škrob obsahuje přibližně 19–24 % amylozy. Technologické vlastnosti mouky jsou ovlivněny vzájemným poměrem amylozy a amylopektinu ve škrobu, který není u žádného druhu mouky konstantní. Kvalita škrobu ovlivňuje především pekařské vlastnosti mouky. Bobtnání a mazovatění škrobu umožňuje amylolytickou činnost, a tím i kvašení a tvorbu střídy (Pavliš et al., 1980).

**Monosacharidy a oligosacharidy** nemají podstatný význam (v mouce se vyskytují jen v malém množství), uplatňují se hlavně při kvašení. Pšeničná mouka obsahuje 100–900 mg.kg glukózy a 200–800 mg.kg fruktózy. Obsah monosacharidů v cereálních výrobcích je proměnlivý. Záleží na stupni hydrolyzy škrobu, případně na množství přidaných sacharidů. Pšeničné zrno obsahuje vlákninu především v povrchových vrstvách, takže tmavá, málo mletá mouka, nebo dokonce celozrnná mouka obsahuje více vlákniny než vysoce mletá bílá mouka (Velíšek, 1999).



Další důležitou složkou mouky jsou **bílkoviny**. Bílkoviny do značné míry ovlivňují technologické vlastnosti mouky. Kvalita mouky se posuzuje podle množství a vlastností lepku. Lepek určuje tzv. sílu mouky. Obsah mokrého lepku bývá 15–58 %, suchého 5–18 %, v závislosti na jakosti mouky. Nejdůležitějšími složkami lepku jsou gliadin a glutenin. Gliadin ovlivňuje tažnost lepku a glutenin jeho pružnost (Pavliš et al., 1980). Tmavé celozrnné mouky mají vyšší obsah bílkovin než mouky světlé, rozdíl bývá až 4 %. Pšeničná mouka obsahuje 7–15 % bílkovin, asi 20 % tvoří proteiny rozpustné ve vodě (cytoplazmatické proteiny, enzymy s aktivitou  $\alpha$ -amylázy a  $\beta$ -amylázy, lipázy, fytázy), 80 % tvoří gliadiny a gluteniny (Velíšek, 1999).

Podle stupně vymletí obsahují mouky 0,5–3 % **tuku**, a to ester glycerolu a mastných kyselin nasycených a nenasycených. V pšeničné mouce jsou obsaženy především kyseliny nenasycené (linolová, linoleová, olejová) a v menší míře se v ní vyskytují kyseliny nasycené (stearová, palmitová) (Novotná & Novotný, 1987). Mouka obsahuje také **minerální látky**, z nichž 45–60 % tvoří oxid fosforečný. Fosfor je většinou vázán v organických látkách ve formě fytinů. Z dalších látek je to vápník a je přítomen především ve vazbách s kyselinou fytovou, podobně jako hořčík. Draslík je přítomen především ve formě fosfátů a je koncentrován především v endospermu, takže přechází do mouky. Minerální látky zůstávají po spálení mouky jako tzv. popel. Popel slouží jako ukazatel, podle něhož se posuzuje vedení technologického procesu a kvalita výrobků. Mouka obsahuje také mnoho vitaminů. Je jedním z nejvýznamnějších zdrojů vitamínu B1. Dalšími vitaminy jsou riboflavin, kyselina nikotinová a její amidy, pyridoxin a tokoferoly (Pavliš et al., 1980).

**Tabulka 12 Chemické složení pšeničné mouky (upraveno podle Kučerové, 2004)**

Složka	Obsah složek v sušině mouky (%)
Škrob	75,0–79,0
Bílkoviny	10,0–12,0
Tuky	1,1–1,9
Cukry	2,0–5,0
Vláknina	0,1–1,0
Slizy	2,5–3,4
Popeloviny	0,4–1,7

### 6.5.1 Faktory ovlivňující složení mouky

**Druh pšenice:** Je známo, že složení mouky závisí na složení pšenice použité k mletí. Složení pšenice zase závisí na druhu pšenice a odrůdě. V zemi se pěstují především tři druhy pšenice. Jsou to pšenice setá (*Triticum aestivum*), pšenice tvrdá (*Triticum durum*) a pšenice javorová (*Triticum dicoccum*). Mouka získaná z těchto pšenic tedy bude mít odlišné složení, jak je uvedeno v tabulce 13 (Haridas, 2017).

**Tabulka 13 Přibližné složení mouky získané z různých druhů pšenice (Haridas, 2017)**

	<b>Aestivum</b>	<b>Durum</b>	<b>Dicoccan</b>
Vlhkost, %	13,20	13,50	13,4
Popel, %	0,51	0,68	0,78
Protein, %	10,50	12,40	13,6
Tuk, %	1,30	1,40	1,2
Vláknina	0,20	0,25	0,40
Uhlohydrát	74,29	71,77	70,68

**Odrůda pšenice:** Mezi jednotlivými druhy pšenice existuje řada odrůd. Obecně platí, že samotná pšenice setá je komerčně pěstována na více než 200 odrůdách v různých oblastech země a neustále se vyvíjí nové odrůdy s různými zlepšenými vlastnostmi. Tyto odrůdy pšenice mají různé složení. V tabulce 14 je uvedeno složení mouky mleté z různých odrůd pšenice.

**Tab. č. 14. Složení mouky z různých odrůd pšenice (Haridas, 2017)**

<b>Komponenty</b>	<b>Tvrdá pšenice Mouka (%)</b>	<b>Měkká pšenice Mouka (%)</b>
Vlhkost	13,5	13,2
Popel	0,6	0,5
Vláknina	0,3	0,1
Tuk	1,4	0,8
Uhlohydrát	72,0	76,1

Tyto pšenice jsou také klasifikovány podle funkčních charakteristik nebo tvrdosti zrn jako tvrdé, středně tvrdé a měkké, které se liší svými vlastnostmi mletí i složením. Tvrdá pšenice produkuje mouku s vyšším obsahem bílkovin, střední a měkká pšenice produkuje mouky s nízkým obsahem bílkovin (Haridas, 2017).

### **6.5.3 Síla mouky**

Síla mouky je schopnost vytvořit těsto, které udržuje větší či menší množství oxidu uhličitého vzniklého kvašením. Tato schopnost je podmíněna fyzikálními vlastnostmi těsta. Schopnost vytvořit těsto s určitými fyzikálními vlastnostmi se také nazývá schopnost zadržení plynů.

Silná mouka je taková mouka, jež při hnětení váže velké množství vody a pomalu dosahuje optima svých fyzikálních vlastností. Při dlouhé době kynutí se její vlastnosti pomalu zhoršují, a proto těsto dobře uchovává svůj původní tvar (nerozplývá se). Silná mouka má obvykle dobře vyvinutou schopnost tvorby plynů.

Opakem je mouka slabá, která vykazuje většinou menší vaznost a jejíž fyzikální vlastnosti dosahují rychle – často již v průběhu hnětení – svého optima, po němž ihned následuje prudké a hluboké zhoršení. Pečivo vyrobené z takové mouky má tendenci se roztékat, je velmi lepivé a proto hůře zpracovatelné na strojích. Taková mouka má často sníženou nebo mírně zvýšenou plynotvornou schopnost. Pojem síla mouky tedy zahrnuje schopnost zadržení plynů, dosažení velkého objemu pečiva a udržení žádoucího tvaru.

Nyní je obecně přijímáno, že síla pšeničné mouky závisí v podstatě na její bílkovinné složce. Proto se ve světovém obilním obchodě cení mouka tím více, čím vyšší má obsah bílkovin a lepší jakost (HAMPL & PŘÍHODA, 1985).

## 6.6 Obchodní druhy mouk

(vyhl. Ministerstva zemědělství č. 333/97 Sb., zákon o potravinách č. 110/97 Sb.)

Obchodní druhy mouk se dělí takto (Hrabě et al., 2007):

- mouky hladké: pšeničná světlá (obsah popela max. 0,60 % v suš.), pšeničná polosvětlá (obsah popela max. 0,75 % v suš.) a pšeničná chlebová (obsah popela max. 1,15 % v suš.);
- mouka polohrubá, pšeničná (obsah popela max. 0,50 % v suš.);
- mouka hrubá, pšeničná (obsah popela max. 0,50 % v suš.);
- mouka celozrnná (obsah popela max. 1,90 % v suš.).

## 6.7 Příprava pšeničného těsta

Příprava těsta je jednou z nejdůležitějších technologických operací, při níž se vytváří základní předpoklady pro získání kvalitního výrobku. Kvalitu výrobku určuje několik základních charakteristik: surovinové složení, vytvoření správného koloidně-chemického systému těsta se správnými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi pro celé další zpracování, téměř u všech výrobků správné nakypření a konečně správné tepelné zpracování (převážně pečení) (Kadlec et al., 2002).

### 6.7.1 Podstata tvorby těsta

Základem těsta je mouka, voda a sůl, v některých případech se přidává tuk a povrchově aktivní látky. Při míchání mouky a vody částice mouky pomalu hydratují, ale nevznikne okamžitě souvislá hmota těsta. K interakci proteinových molekul a hydratovaných polysacharidů dochází až při hnětení, které přispívá k jejich orientování a tvorbě příčných vazeb. Vznikne tak trojrozměrná síť, která dává pšeničnému těstu elasticitu. Z nabobtnalé bílkoviny a polysacharidů se tvoří gel, který umožňuje těstu viskózní tečení.

Škrobová zrna, kvasinkové buňky a vzduchové bubliny jsou rozptýleny v této trojrozměrné struktuře. Pro tvorbu pšeničného těsta jsou zpočátku hnětení nejdůležitější bílkoviny. Škrobová zrna, která absorbují vodu a částečně bobtnají, jsou důležitá až v konečných fázích (pečení), kdy dochází k jejich mazovutí. Při mechanickém hnětení se trojrozměrná bílkovinná síť zpevňuje, čímž se mění tuhost, tekutost a elasticita těsta. Těsto se pak stává homogennější. V průběhu kynutí a zrání napomáhá aktivita enzymů a účinky organických kyselin k bobtnání a změnám chemických vazeb (Příhoda et al., 2003a).

### 6.7.2 Reologické vlastnosti těsta

Reologické vlastnosti pšeničného těsta, zejména tažnost, pružnost a stabilita, ovlivňují výrobní operace v pekárnách a mají významný vliv na spotřebitelskou kvalitu pekařských výrobků. Základní mechanické vlastnosti pšeničného těsta jsou důležité pro kvalitu finálního výrobku. Určují také tvorbu plynů a stabilitu během kynutí a pečení (Stojceska et al., 2007).

Reologické vlastnosti pšeničného těsta ovlivňuje především škrob, lepek a přídavek vody. Škrob, který se vyskytuje ve vysokých koncentracích, tvoří souvislou síť částic, jež způsobují viskoelastické chování. Lepek má schopnost tvořit souvislou makromolekulární síť, která vzniká dostatečným přídavkem vody a mechanickou energií při míchání. Tyto dva nezávislé zdroje a jejich možné interakce ukazují na reologii pšeničného těsta (Amemiya & Menjivar, 1992).

### 6.7.3 Vliv jednotlivých technologických operací na vlastnosti těsta

Těsto lze charakterizovat jako polydisperzní systém (systém, který tvoří minimálně dva druhy hmot, z nichž jedna je rozptýlena ve druhé). Disperzním prostředím v těstě je obvykle voda, jež systém rozděluje na fáze (část hmoty, která má stejné vlastnosti). Jednotlivé fáze jsou odděleny fázovým rozhraním, které v tomto případě představuje povrch dispergovaných částic. Částice v těstě se dělí na pravé a koloidní roztoky. Koloidní roztoky produkují v těstě hlavně některé bílkoviny a slizy. Pravé roztoky se v těstě vyskytují ve formě vodných roztoků sacharidů, solí, kyselin atd. Pevné částice, větší než koloidní roztoky, vytvářejí v kapalinách suspenze. V těstě jsou to nezobtnalá škrobová zrna. Pro kvalitu těsta jsou důležité disperzní systémy, tzv. gely. Mezi gely patří lepek. Gely mají kromě spojitého disperzního prostředí také spojitý disperzní podíl. Vytvářejí spojitou strukturu, která umožňuje zadržovat kvasné plyny a udržovat tvar během pečení (Skoupil et al., 1981).

**Hnětení** je činnost, při které z mouky, vody a dalších přísad vzniká plastická hmota. Dobře vymíchané těsto by mělo být dokonale pružné, soudržné a plastické. Během hnětení těsta probíhá koloidní poutání vody na moučné částice (tzv. bobtnání). V této fázi bobtnají pouze slizy a bílkoviny. Začíná se tvořit trojrozměrná síť lepku. Škrob hydratuje jen mírně (Skoupil et al., 1981). V důsledku těchto změn se nejprve zvýší viskozita vznikajícího těsta a při hnětení se zpevní struktura, což se projeví zvýšením pružnosti. Po určité době mechanického namáhání se tato struktura zhroutí a sníží se viskozita a pružnost. Do vzniklého těsta se začleňují vzduchové bubliny. Během dalších technologických procesů se do bublin dostává CO<sub>2</sub> a zvětšují tím velikost těsta (Cauvain & Young, 2001).

**Kynutí a zrání:** Kypření může být uskutečňováno biologicky (kvašením), chemicky (účinkem chemických kypřících prášků) nebo fyzikálně (vháněním oxidu uhličitého do těsta). Biologické kypření je prováděno pomocí přídavku droždí (kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* Hansen). Droždí způsobuje změny ve struktuře těsta a ovlivňuje senzorické vlastnosti pečiva. Probíhá proces alkoholového kvašení, kdy hlavním produktem je oxid uhličitý a etanol, který

se během dalších procesů odpařuje. Chemická kypřidla obvykle obsahují potravinářskou kyselinu a rozpustný hydrogenuhličitan sodný nebo draselný. Principem všech chemických kypřidel je jejich rozklad na CO<sub>2</sub>, který způsobí nakypření těsta (Příhoda et al., 2003a).

Během zrání jsou ukončeny koloidně-chemické změny. V těstech kypřených droždím se zvyšuje kyselost, což vede ke zvýšení bobtnavosti bílkovin. Tím se mírně sníží viskozita a dochází také ke změnám v pružnosti (Příhoda et al., 2003a). Velký význam mají oxidačně-redukční procesy, kdy za přístupu kyslíku vznikají disulfidické vazby mezi dvěma triolovými skupinami. Tím se oba sousední řetězce těsně spojí (Skoupil et al., 1981).

Pro správné kynutí a zrání těsta je důležitá dostatečná aktivita  $\alpha$ -amylázy. Při její nízké aktivitě se nevytváří dostatek zkvasitelných cukrů, což vede ke zpomalení kynutí. Naopak při její vysoké aktivitě vznikají dextryny, které způsobují nežádoucí lepivost těsta, a porušený škrob není schopen dostatečně absorbovat vodu. Všechny tyto nedostatky vedou ke zhoršení kvality konečného výrobku (Příhoda et al., 2003a).

**Tvarování a dokynutí:** Fermentační procesy probíhají od počátku zrání až do začátku pečení. Při tvarování těsta dochází k vytlačování části plynů, které zmenšují jeho objem, a ztužení, díky němuž se zvyšuje pružnost těsta. Těsto se nechá několik minut odležet, aby se zregenerovalo a vytvořil se další CO<sub>2</sub> (Příhoda et al., 2003a).

**Pečení** je rozhodující pro určení kvality konečného výrobku. Během procesu pečení prochází těsto řadou fyzikálních, chemických a biochemických změn. Během pečení se přidávají různé přísady, jako jsou oxidační činidla, soli atd., aby se zlepšila kvalita produktu. Změny těsta během pečení se dělí na:

- fyzikální změny – vytváření filmu, expanze plynů v lepkové síti, snížení rozpustnosti plynů a vypařování alkoholu a jiných kapalin, jako je voda;
- chemické změny – zesílení aktivity kvasinek, syntéza oxidu uhličitého, želatinace škrobu, koagulace lepku, karamelizace škrobu a jiných cukrů.

Na počátku pečení stále probíhají fermentační procesy. Životnost kvasinek se prudce snižuje po dosažení 45 °C. Činnost enzymů se inaktivuje při teplotě 70–80 °C. Bílkoviny v první fázi bobtnají, ale se zvyšující se teplotou tuto schopnost ztrácejí a při 60 °C začínají denaturovat a uvolňovat vodu. Zvyšující se teplota má také za následek bobtnání škrobu a jeho postupné mazovatění, čímž přijímá vodu.

Po vstupu těsta do pece se zpočátku biologické reakce zesílí v důsledku prudkého nárůstu teploty. K těmto změnám dochází při různých teplotách, jež do značné míry ovlivňují fyzikální vlastnosti konečného výrobku. Ve všech procesech tepelné výroby včetně pečení jsou termofyzikální vlastnosti důležitými faktory při kontrole kvality. Informace o teplotě prostředí, ve kterém se těsto vyrábí, stejně jako o teplotě pece jsou velmi důležité v různých fázích přípravy těsta (Akram et al., 2009).

## **Závěr**

Z textu bakalářské práce jednoznačně vyplývá, že pšenice setá patří mezi nejdůležitější obiloviny z hlediska potravinové bezpečnosti, protože disponuje takovými charakteristikami, jako jsou široká adaptabilita, dobrá skladovatelnost a vysoká nutriční hodnota. Větší část celosvětové produkce pšenice (více než tři čtvrtiny) pochází z Asie, Severní Ameriky, Austrálie a Latinské Ameriky. Zásadním problémem, který by měl být vyřešen, je zvýšení světového průměrného výnosu různých odrůd pšenice ze tří na pět tun na jeden hektar, což znamená roční nárůst o 1,3 % do roku 2050, aby byly uspokojeny požadavky rostoucí lidské populace. Aby byla zajištěna její potravinová bezpečnost, do roku 2030 musí být produkce pšenice zvýšena přinejmenším o 50 %.

Je třeba uvést, že předmět zkoumání této bakalářské práce se zaměřuje na zvýšení efektivity zemědělství zlepšením výnosu daného druhu obilovin – pšenice seté. Jedná se o to, nalézt způsoby zvýšení výnosu pšenice prostřednictvím určení vlivu agroekologických podmínek na utváření látkového složení zrna pšenice, což zvyšuje výživovou hodnotu odrůd pšenice. Látkové složení zrna pšenice pak významně ovlivňuje mlýnské a pekařské využití různých odrůd této obiloviny.

## Seznam literatury

Adams V. 2015. Functionality and Structural Properties of Arabinoxylan during Frozen Storage of Yeasted Bread Dough Enriched with Wheat Fiber (Dissertation). University of Guelph, Guelph.

[https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/bitstream/handle/10214/9146/Adams\\_Vivian\\_%20201508\\_PhD.pdf?sequence=1](https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/bitstream/handle/10214/9146/Adams_Vivian_%20201508_PhD.pdf?sequence=1)

Ahmed J., & Auras R. 2011. Effect of acid hydrolysis on rheological and thermal characteristics of lentil starch slurry. *LWT-Food Science and Technology*, 44: 976–983. DOI: [10.1016/j.lwt.2010.08.007](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.08.007)

Akram A., Omid M., Golmohammadi A., Ghasemi VM. 2009. Effects of Wheat Flour and Baking Temperature on the Quality of Iranian Flat Bread – Part I: Physico-chemical Properties. *Asian Journal of Chemistry*, 21: 3910–3920. Dostupné na: [https://asianjournalofchemistry.co.in/User/ViewFreeArticle.aspx?ArticleID=21\\_5\\_74](https://asianjournalofchemistry.co.in/User/ViewFreeArticle.aspx?ArticleID=21_5_74)

Amemiya J., & Menjivar JA. 1992. Comparison of small and large deformation measurements to characterize the rheology of wheat flour doughs. *Journal of Food Engineering*, 16, s. 91–108.

Andersson AAM., Andersson R., Piironen V., Lampi A-M., Nystrom L., Boros D. et al. 2013. Contents of dietary fibre components and their relation to associated bioactive components in whole grain wheat samples from the HEALTHGRAIN diversity screen. *Food Chem* 136: 1243–1248. DOI: [10.1016/j.foodchem.2012.09.074](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.074)

Anderson C., & Simsek S. 2018. What Are the Characteristics of Arabinoxylan Gels? *Food and Nutrition Sciences* 9, 818–833. DOI: [10.4236/fns.2018.97061](https://doi.org/10.4236/fns.2018.97061)

Ang FJ., & Crosby GA. 2005. Formulating Reduced-Calorie Foods with Powdered Cellulose. *Journal of Food Technology* 59(3): 37–38. [https://www.researchgate.net/publication/287716156\\_Formulating\\_reduced-calorie\\_foods\\_with\\_powdered\\_cellulose](https://www.researchgate.net/publication/287716156_Formulating_reduced-calorie_foods_with_powdered_cellulose).

Anjum FM., Khan MR., Din A., Saeed M., Pasha I. Arshad MU. 2007. Wheat gluten: high molecular weight glutenin subunits – structure, genetics, and relation to dough elasticity. *Journal of food science*, 72 (3): R56–R63. DOI: [10.1111/j.1750-3841.2007.00292.x](https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00292.x)

Arendt EK., & Zannini E. 2013. 1 – Wheat and other *Triticum* grains. *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*. Pages 1–66, 67e. <https://doi.org/10.1533/9780857098924.1>

Bacic A., & Stone BA. 1981. Chemistry and organisation of aleurone cell wall components from wheat and barley. *Austr J Plant Phys* 8: 475–49. DOI: <https://doi.org/10.1071/PP9810475>



- Barron C., Surget A., Rouau X. 2007. Relative amounts of tissues in mature wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and their carbohydrate and phenolic acid composition. *Journal of Cereal Science*. 45:88–96. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.07.004>
- Barron C., Samson M-F., Lullien-Pellerin V., Rouau X. 2011. Wheat grain tissue proportions in milling fractions using biochemical marker measurements: Application to different wheat cultivars. *Journal of Cereal Science* 53: 306–311. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.01.013>
- Belderok B., Mesdag H., Donner DA. 2000. *Bread-Making Quality of Wheat*. Springer, New York. ISBN: 978-90-481-5493-7.
- Beneš J. 1979. Pekař, pečivář, cukrář. *Nauka o surovinách pro 1. a 2. ročník odborných učilišť a učňovských škol*. SNTL.
- Biddulph T., Plummer J., Setter T. L., Mares D. J. 2008. Seasonal conditions influence dormancy and preharvest sprouting tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) in the field [Article]. *Field Crops Research*, 107 (2): 116–128. DOI:[10.1016/j.fcr.2008.01.003](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.01.003)
- Blazek J., Copeland L. 2008. Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. *Carbohydrate polymers*, 71: 380–387. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.06.010>
- Bressiani J., Oro T., Santetti GS., et al., 2017. Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size. *Journal of Cereal Science*, vol. 75, pp. 269–277, 2017.
- Bushuk W. 1993. Wheat proteins: structure and functionality in milling and breadmaking [review]. *Pol. I. Food Nutr. Sei.*, Vol. 2/43, No. 4. Department of Food Science, University of Manitoba. <https://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-article-69a4741d-1b19-4834-b5e0-fd6caa769cae/c/5-23.PDF>
- Bushuk W., & Rasper V.F. 1994. *Wheat Production, Properties and Quality*. Springer, Boston, MA. Pages 239. ISBN: 978-0-7514-0181-3. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2672-8>.
- Campbell G.M. 2007. Chapter 7 Roller Milling of Wheat. Editor(s): Agba D. Salman, Mojtaba Ghadiri, Michael J. Hounslow. *Handbook of Powder Technology*. Elsevier Science B.V. 12: 383–419. ISBN 9780444530806. [https://doi.org/10.1016/S0167-3785\(07\)12010-8](https://doi.org/10.1016/S0167-3785(07)12010-8)
- Cauvain SP., & Young LS. 2001. *Baking problems solved*. Woodhead publishing, Cambridge, 280 s. ISBN: 978-1-85573-564-4.
- České noviny (ČTK). 2021. MZe: Sklizeň je u konce, produkce obilovin je 7,55 milionu tun. ISSN: 1213-5003.

Český statistický úřad (ČSÚ). 2021. Odhady sklizně – operativní zpráva – k 15. 9. 2021. Kód: 270130-21. <https://www.czso.cz/documents/10180/142813483/2701302101.pdf/7e9e2323-cbe3-42f9-947d-3d8e4165f19d?version=1.1>

Český statistický úřad (ČSÚ). 2021. Odhady sklizní. Kód: 270150-21. <https://www.czso.cz/csu/czso/cr/odhady-sklizni-zari-2021#>

Chand S. 2021. Difference between Winter Wheat and Spring Wheat. Your Article Library. <https://www.yourarticlelibrary.com/difference/difference-between-winter-wheat-and-spring-wheat/25490>

Chen X., Min D., Yasir TA., Hu YG. 2012. Evaluation of 14 morphological, yield-related and physiological traits as indicators of drought tolerance in Chinese winter bread wheat revealed by analysis of the membership function value of drought tolerance (MFVD). *Field Crops Res.* 137, 195–201. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.09.008

Claire J. 2014. The Chemistry of Baking [Senior Theses]. University of South Carolina – Columbia. [https://scholarcommons.sc.edu/senior\\_theses/23](https://scholarcommons.sc.edu/senior_theses/23)

Cornell H. 2003. In: Cauvain SP (ed) Bread Making: Improving Quality. Woodhead Publishing, Cambridge.

Coulter TP. 2009. Food: the Chemistry of its Components. 5th ed. Royal Society of Chemistry. Print. ISBN: 0854041117.

Courtin C.M., & Delcour J.A., 2002. Arabinoxylans and Endoxylanases in Wheat Flour Bread-making. *Journal of Cereal Science* 35, 225–243. DOI: [10.1006/jcrs.2001.0433](https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0433)

Čurná V., & Lacko-Bartošová M. 2017. Chemical Composition and Nutritional Value of Emmer Wheat (*Triticum dicoccon* Schrank) [Review]. *Journal of Central European Agriculture.* 18(1), p. 117–134. DOI: 10.5513/JCEA01/18.1.1871

David I., Misca C., Rinovetz A., Bujanca G., Jianu C., Danci M. 2014. The influence of beta amylase on the dough obtained from white floure type 650. U.S.A.M.V.B., Banat University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Faculty of Food Processing Technologies, Timisoara, Romania. vol XVII (2), pp.153–159. [https://biologie.uvt.ro/annals/vol\\_17\\_2/AWUTSerBio\\_December2014\\_153-159\\_DAVID.doc.pdf](https://biologie.uvt.ro/annals/vol_17_2/AWUTSerBio_December2014_153-159_DAVID.doc.pdf)

Dubat A. 2007. Collaborative study concerned with measuring damaged starch using an amperometric method. *Cereal Foods World* 52, 319–323. DOI: [10.1094/CFW-52-6-0319S](https://doi.org/10.1094/CFW-52-6-0319S)

Dubat A. 2013. Chapter 12 - Whole-Kernel Mixolab Testing for Different Cereals. [Mixolab](#). A New Approach to Rheology. American Associate of Cereal Chemists International. Pages 85–88. <https://doi.org/10.1016/B978-1-891127-77-9.50016-9>

Dubois M. 1949. Incidences du réglage de la mouture sur les propriétés des farines. *Bull Ensmic* 113, 170–187.

Eck P. 2013. Chapter 13 - Recombinant DNA Technologies in Food. Editor(s): N.A. Michael Eskin, Fereidoon Shahidi. *Biochemistry of Foods (Third Edition)*. Academic Press. Pages 503–556. ISBN 9780122423529. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-091809-9.00013-3>

Edwards MA. 2010. Morphological features of wheat grain and genotype affecting flour yield [PhD thesis]. Southern Cross University, Lismore, NSW.

FAO, 2017. Crops. FAOSTAT Statistics Database. URL <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed 1.28.19)

FAOSTAT. 2018. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Accessed 10 September 2018)

Faris JD. 2014. Wheat Domestication: Key to Agricultural Revolutions Past and Future, in: Tuberosa, R., Graner, A., Frison, E. (Eds.), *Genomics of Plant Genetic Resources: Volume 1. Managing, Sequencing and Mining Genetic Resources*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 439–464. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7572-5\\_18](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7572-5_18)

Fitzpatrick JJ., & Ahrne L. 2005. Food powder handling and processing: industry problems, knowledge barriers and re- search opportunities. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, vol. 44, no. 2, pp. 209–214.

Fox BA., & Cameron AG. 1995. Carbohydrate foods In: *Food Science, Nutrition & Health*. 6<sup>th</sup> Edition. London: Edward Arnold. p 114–154.

Food and Agricultural Organization (FAO). 2021. Food Price Index rises for ninth consecutive month in February. <https://www.fao.org/news/story/ru/item/1378839/icode/>

Geera BP., Nelson JE., Souza E., Huber KC. 2006. Composition and properties of A- and B-type starch granules of wild-type, partial waxy, and waxy soft wheat. *Cereal Chemistry* 83, 551–557. DOI: <https://doi.org/10.1094/CC-83-0551>

Goesaert H., Brijs K., Veraverbeke WS., Courtin CM., Gebruers K., Delcour JA. 2005. Wheat Flour Constituents: How they Impact Bread Quality, and how to Impact their Functionality. *Trends in Food Science & Technology* 16, 12–30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.011>

Gonzalez-Thuillier I., Salt L., Chope G., Penson S., et al. 2015. Distribution of lipids in the grain of wheat (cv Hereward) determined by lipidomic analysis of milling and pearling

fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63 (49). pp. 10705-10716. ISSN 0021-8561. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b05289> Available at <https://centaur.reading.ac.uk/47006/>

Hálková J., Rumišková M., Rieglová J. 2001. *Analýza potravin laboratorní cvičení. Újezd u Brna Ivan Straka, vydavatel odborných publikací. ISBN 80- 864940309.*

Hampl J. 1970. *Cereální chemie a technologie. 1. vydání. Bratislava: SNTL/ALFA, 400 s.*

Hampl J., & Příhoda J. 1985. *Cereální chemie a technologie II – (pekárenství). Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.*

Hampl J. *Cereální chemie a technologie I., VŠCHT PRAHA, vydání 2., 1988, 241 s.*

Haridas RP. 2017. *Unit-1 Physical and Chemical Characteristics of Flour. IGNOU. <http://egyankosh.ac.in//handle/123456789/11076>*

Hlásenská A. *Úpravy jaderných krmiv [Seminární práce]. Mendlova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Ústav výživy zvířat a pícninářství [online]. Dostupné z [www http://www.af.mendelu.cz/dok\\_server/slozka.pl?id=48974;download\\_pdf=71015](http://www.af.mendelu.cz/dok_server/slozka.pl?id=48974;download_pdf=71015)*

Hrabě J., & Komár A. 2003. *Technologie, zbožíznalství a hygiena potravin, III. část – Technologie, zbožíznalství a hygiena potravin rostlinného původu, 1. vyd. Vyškov. 168 s. ISBN 80-7231-107-7.*

Hrabě J., Rop O., Hoza I. 2006 *Technologie potravin rostlinného původu. Zlín: UTB ve Zlíně, 178 s. ISBN 80-7318-372-2.*

Hrabě J., Buňka F., Hoza I. 2007. *Technologie výroby potravin rostlinného původu. 1. vydání. Zlín: Univerzita Tomáše Bati. ISBN 978-80-7318- 520-6.*

Hrabě J., Rop O., Hoza I. 2008. *Technologie výroby potravin rostlinného původu. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 8073183722.*

Huang YC., & Lai HM. 2010. *Noodle quality affected by different cereal starches,* *Journal of Food Engineering*, vol. 97, no. 2, pp. 135–143.

Hussain A. 2009. *Nutritional and mixing characteristics of organically grown wheat genotypes. ISSN 1654-3580. [https://pub.epsilon.slu.se/4074/1/hussain\\_a\\_091026.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/4074/1/hussain_a_091026.pdf).*

Kadlec P. 2002. *Technologie potravin I. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 2002, 300 s. ISBN 80-708-0509-9.*

Kadlec P., Melzoch K., Voldřich M., a kolektiv. 2009. Co byste měli vědět o výrobě potravin? Technologie potravin. KEY Publishing s.r.o. Ostrava. ISBN: 978-80-7418-051-4.

Kent N.L. 1983. Technology of cereals, 3rd ed. Copyright. Pergamon Press Ltd. ISBN 0-08-029801-X Hardcover.

Khan K. 2016. Wheat: Chemistry and Technology. Elsevier Science. P. 1960. ISBN: 9780128104545.

Klepacka J., & Fornal L. 2006. Ferulic acid and its position among the phenolic compounds of wheat [Original Articles]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 46: 639–647. <https://doi.org/10.1080/10408390500511821>

Konopka I., Tańska M., Faron A., Czaplicki S. 2014. Release of Free Ferulic Acid and Changes in Antioxidant Properties during the Wheat and Rye Bread Making Process [Research Article]. Food Science Biotechnology. 23: 831–840. <https://doi.org/10.1007/s10068-014-0112-6>

Kopáčová O. 2007. Trendy ve zpracování cereálií s přihlédnutím zejména k celozrnným výrobkům. Praha, ÚZPI. 55 s. ISBN: 978-80-7271-184-0 (brož.)  
[http://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/File/Kopov\\_Cerelie%20web.pdf](http://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/File/Kopov_Cerelie%20web.pdf)

Křivan V. 2011. Pěstování pšenice v NORI, k. s., ZD. Přešovice a Farm Administration, s. r. o. [Bakalářská práce]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra rostlinné výroby a agroekologie. <https://theses.cz/id/m4by19/1555395>

Kučerová J. Technologie cereálií. Druhé přepracované vydání. V Brně: Mendelova univerzita, 2016. ISBN 978-80-7509-442-1.

Kučerová, J. 2004. Technologie cereálií. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. ISBN 80-7157-811-8.

Kuktaite R. 2004. Protein Quality in Wheat : Changes in Protein Polymer Composition during Grain Development and Dough Processing [Doctoral Thesis]. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Kulp K. 1972. Physicochemical Properties of Starches of Wheats and Flours. Cereal Chem 49, 697 - 706. [https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1972/Documents/chem49\\_697.pdf](https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1972/Documents/chem49_697.pdf)

Lallemand INC. 1997. High-Fibre Bread [Internet] In: Baking Update 2(5). Available from: [http://www.lallemand.com/BakerYeastNA/fr/PDFs/LBU%20PDF%20FILES/2\\_5HIFBR.PDF](http://www.lallemand.com/BakerYeastNA/fr/PDFs/LBU%20PDF%20FILES/2_5HIFBR.PDF)



Liu H., Searle IR., Mather DE., Able AJ., Able JA. 2015. Morphological, physiological and yield responses of durum wheat to pre-anthesis water-deficit stress are genotype-dependent. *Crop Past. Sci.* 66, 1024–1038. DOI: 10.1071/CP15013

Máková M & Klémová L. 2021. Spotřeba potravin a změny ve struktuře jídelníčku. Statistika&My, Český statistický úřad (ČSÚ). <https://www.statistikaamy.cz/2021/04/16/spotreba-potravin-a-zmeny-ve-strukture-jidelnicku>

Mmohamad S., Gaiani C., Scher J., Cuq B., Ehrhardt JJ., Desobry S. 2009. Impact of re-grinding on hydration properties and surface composition of wheat flour,” *Journal of Cereal Science*, vol. 49, pp. 134–140.

Momčilová P. 2003. Pečeme z celozrnného kynutého těsta. Praha: Medical Publishing, 61 s. ISBN 8085936453.

Moudrý J., CSc., a kol. 2011. Alternativní plodiny. Profi Press, Praha. ISBN 978-80-86726-40-3.

Novotná A., & Novotný R. 1987. Chemické kontrolní metody pro 4. ročník SPŠPT. Praha: SNTL, 248 s.

Pandey NeemLal. 2014. Baking quality in wheat: effect of delayed harvest, cultivars, growing conditions and nitrogen fertilization [MSc thesis]. Norwegian University of Life Sciences. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/189635>

Panozzo J., & Eagles H. 2000. Cultivar and environmental effects on quality characters in wheat. II. Protein. *Crop and Pasture Science*, 51 (5): 629–636. DOI: [10.1071/AR99137](https://doi.org/10.1071/AR99137)

Pareyt B., & Delcour JA. 2008. The Role of Wheat Flour Constituents, Sugar, and Fat in Low Moisture Cereal Based Products: A Review on Sugar-Snap Cookies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 48, 824–839. DOI: [10.1080/10408390701719223](https://doi.org/10.1080/10408390701719223)

Parobková E. 1998. Sledování jakostních parametrů pšenice při jejím průmyslovém zpracování ve výrobním závodě Delta a.s. – mlýn Kyjov [absolventská práce]. Bzenec: Vyšší odborná škola potravinářské technologie.

Parry MAJ., Reynolds M., Salvucci ME., Raines C., Andralojc PJ., Zhu XG. 2011. Raising yield potential of wheat. II. Increasing photosynthetic capacity and efficiency. *J. Exp. Bot.* 62, 45–467. DOI: 10.1093/jxb/erq304

Pavliš M., Plisková V., Pliska V. 1980. Průmyslová výroba krmiv a mlynářství. 1. vydání. Praha: SNTL.

Plisková V., & Pavliš M. 1988. Technologie pro 4. ročník SPŠ studijního oboru průmyslová výroba krmiv a mlynářství. Praha: SNTL, 290 s.

Podloucká P., Vaculová K., Martinek P., Polišenská I. 2021. Polyfenolické sloučeniny v obilovinách. Agrotest fyto, s.r.o., Kroměříž. Obilnářské listy – 70 – XXIX. Dostupné na: [https://www.vukrom.cz/userfiles/files/obilnarske\\_listy/2021/2021\\_3/70\\_76.pdf](https://www.vukrom.cz/userfiles/files/obilnarske_listy/2021/2021_3/70_76.pdf)

Pomeranz Y. 1982. Grain Structure and End-Use Properties [Article]. Food Structure: Vol. 1: No. 2 , Article 2. Dostupné na: <https://digitalcommons.usu.edu/foodmicrostructure/vol1/iss2/2>

Pomeranz Y. Wheat: Chemistry and Technology, American Association of Cereal Chemists, 1988, 514 s. ISBN 0-913250-65-1.

Posner E. S. & Hibbs A. N. 2005. Wheat Flour Milling. AACCI International, Inc., 2 ed. Minnesota, U.S.A. ISBN: 978-1-891127-40-3.

Potter J. 2010. Cooking for geeks: real science, great hacks, and good food. Sebastopol, Calif.: O'Reilly, Print. ISBN: 0596805888.

Příhoda J., Humpolíková P., Novotná D. 2003a. Základy pekárenské technologie. Pekář a Cukrář s.r.o. Praha. ISBN: 80-902922-1-6.

Příhoda, J., Skřivan, P., Hrušková, M. 2003. Cereální chemie a technologie I. Praha: VŠCHT v Praze, 203 s. ISBN 80-7080-530-7.

Prugar J., a kolektiv. 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s Komisí jakosti rostlinných produktů ČAZV. ISBN 978-80-86576-28-2.

Raajeswari P.A. Structure of Wheat grain - Classification, Structure, Conclusion. Food and Nutrition. [http://epgp.inflibnet.ac.in/epgpdata/uploads/epgp\\_content/S000444FN/P000546/M011649/ET/1533209377Q-I.pdf](http://epgp.inflibnet.ac.in/epgpdata/uploads/epgp_content/S000444FN/P000546/M011649/ET/1533209377Q-I.pdf)

Ramberg J., & McAnalley B. 2002. From the farm to the kitchen table: A review of the nutrient losses in foods. *GlycoScience & Nutrition*, 3, 1–12.

Rasheed A., Mahmood T., Kazi AG., Ghafoor A., Mujeeb-Kazi A. 2012. Allelic variation and composition of HMW-GS in advanced lines derived from D-genome synthetic hexaploid/ bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J Crop Sci* 15(1):1–7. DOI: [10.1007/s12892-011-0088-1](https://doi.org/10.1007/s12892-011-0088-1)

Rosegrant MW., & Agcaoili M. 2010. Global food demand, supply, and price prospects to 2010. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.

- Saljok A., Hafiz MA., Lissan U. 2016. Botanical description of Wheat and its production in Pakistan [Article]. Hunt for Agricultural Knowledge (AgriHunt).  
<https://agrihunt.com/articles/major-crops/botanical-description-of-wheat-and-its-production-in-pakistan/>
- Sapirstein HD. 2016. Bioactives in Wheat Bran. Reference Module in Food Science. University of Manitoba, Winnipeg, MB, Canada. ISBN 9780081005965. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00109-8>
- Sharma A., Garg S., Sheikh I., Vyas P., Dhaliwal H. S. 2020. Effect of wheat grain protein composition on end-use quality. Association of Food Scientists & Technologists (India). 57(8): 2771–2785. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04222-6>
- Sharma RC., Crossa J., Velu G., Huerta-Espino J., Vargas M., Payne TS., et al. 2012. Genetic gains for grain yield in CIMMYT spring bread wheat across international environments. *Crop Sci.* 52, 1522–1533. DOI: 10.2135/cropsci2011.12.0634
- Shewry PR., & Hey SJ. 2015. The contribution of wheat to human diet and health. *Food and Energy Security* 4: 178–202. DOI: [10.1002/fes3.64](https://doi.org/10.1002/fes3.64)
- Shewry, P.R., Halford, N.G., Belton, P.S., Tatham, A.S., 2002. The Structure and Properties of Gluten: an Elastic Protein from Wheat Grain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 357, 133–142. DOI: [10.1098/rstb.2001.1024](https://doi.org/10.1098/rstb.2001.1024)
- Šicho V. 1969. Potravinářská biochemie. Nakladatelství technické literatury, Praha. ISBN 04-801-69.
- Skládal V. 1963. Pěstování a sklizeň obilí. Praha: SZN, 184 s.
- Skoupil J., Mullerová M., Štrobach J. 1981. Zpracování mouky. Nakladatelství technické literatury, Praha. 286 s.
- Skoupil J. 2005. Suroviny a polotovary pro cukrářskou výrobu. Praha: Společnost cukrářů ČR, 367 s. ISBN 802396061X.
- Slavičková R. 2010. Sledování kvality pšenice pro potravinářské účely [Diplomová práce]. Brno. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Chemická fakulta.
- Slavin JL., Martini MC., Jacobs DR., Marquart L. 1999. Plausible mechanisms for the protectiveness of whole grains. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 70, 459S–463S.
- Sluková, M. 2017. Cereální chemie a technologie. VSCHT Ústav chemie a technologie sacharidů, Praha. ISBN 978-80-7592-000-3.



Sramkova Z., Gregová E., Šturdík E. 2009. Chemical composition and nutritional quality of wheat grain [Review]. *Acta Chimica Slovaca*, Vol.2, No.1, 115–138. Slovak Republic. [http://www.acs.chtf.stuba.sk/papers/acs\\_0041.pdf](http://www.acs.chtf.stuba.sk/papers/acs_0041.pdf)

Stewart B., & Dyke G. 1993. Factors Affecting the Grain Yield, Milling and Breadmaking Quality of Wheat 1969–1972: II. Breadmaking quality in relation to variety and nitrogen fertiliser. *Plant Varieties and Seeds*, 6: 169–169.

Stojceska V., Butler F., Gallagher E., Keehan D. 2007. A comparison of the ability of several small and large deformation rheological measurements of wheat dough to predict baking behaviour. *Journal of Food Engineering*, 83, s. 475–482.

Tao H., Wang P., Wu F., Jin Z., Xu X. 2016. Particle size distribution of wheat starch granules in relation to baking properties of frozen dough. *Carbohydrate Polymers*, vol. 137, pp. 147–153.

Topin V., Radjai F., Delenne JY., Sadoudi A., Mabilille F. 2008. Wheat endosperm as a cohesive granular material. *Journal of Cereal Science* 47, 347–356. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00759643>

Trittinger S. 2019. Wheat (*triticum Aestivum*) Kernel Polymers As Breeding Targets for Improved End-use Quality [Dissertation]. Oregon State University, Oregon.

Velíšek J. 1999. *Chemie potravin 1*. 3.vydání. Tábor: OSSIS. ISBN 8090- 239137.

Vlachová Z. 2012. Zjišťování základních parametrů pšenice potravinářské [Diplomová práce]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín.

Vyhláška Ministerstva zemědělství ČR č. 333/1997 Sb. Vyhláška, kterou se provádí §18 písm. a), d), h), i), j) a k) zákona č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů, pro čerstvé ovoce a čerstvou zeleninu, zpracované ovoce a zpracovanou zeleninu, suché skořápkové plody, houby, brambory a výrobky z nich. V platném znění.

Wang J., Pawelzik E., Weinert J., Zhao Q., Wolf G. A. 2008. Factors influencing falling number in winter wheat [Article]. *European Food Research and Technology*. 226 (6): 1365–1371. DOI:[10.1007/s00217-007-0666-0](https://doi.org/10.1007/s00217-007-0666-0)

Waring S. 1998. Resistant Starch in Food Applications [Internet]. National Starch and Chemical Company. Available from: <http://www.foodinnovation.com/pdfs/resistant.pdf>

Wrigley CW. 2009. Wheat: A Unique Grain for the World, in: Khan, K., Shewry, P. (Eds.), *Wheat Chemistry and Technology*. AACC International, Inc., St. Paul, Minnesota, pp. 1–18.

Wujun M.A., Zitong Y.U., Maoyun S.H.E., ZHAO Y., Shahidul I. 2019. Wheat gluten protein and its impacts on wheat processing quality. State Agriculture Biotechnology Centre, School of Veterinary and Life Sciences, Murdoch University, Australia. 6: 279–287. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019267>

Zhao Y., & Ma W. 2018. Wheat Alpha Amylase [Review Article]. Western Australia State Agriculture Biotechnology Centre, Murdoch University, Australia. ISSN: 2333-7117. <https://www.jscimedcentral.com/Biotechnology/biotechnology-5-1086.pdf>

## Seznam použitých zkratk a symbolů

**ČP** – Číslo poklesu

**WUE** – Water Use Efficiency, efektivita využití vody

**QTL** – Quantitative Trait Loci, lokusy s kvantitativním znakem

**FAO** - Food and Agriculture Organization, Organizace pro výživu a zemědělství Spojených národů

**AX** – Arabinoxylan

**NSP** – Neškrobové polysacharidy

**WE-AX** - Arabinoxylany vodou extrahovatelné

**WU-AX** – Arabinoxylany vodou neextrahovatelné

**HMW** - High molecular weight, Vysokomolekulární gluteninové podjednotky

**LMW** - Low molecular weight, nízkomolekulární gluteninové podjednotky

**HMWGS** – High molecular weight glutenin subunits

**LMWGS** – Low molecular weight glutenin subunits

**TG** – triglyceridy

**MGDG, DGDG** - mono- a di-galaktosyldiglyceridy

**NAPE** - N-acylfosfatidylethanolamin

**PE** – fosfatidylethanolamin

**PG** – fosfatidylglycerol

**PC** - fosfatidylcholin